



HAL
open science

Polarisation et charge d'espace dans une résine époxy par mesure Electro Acoustique Pulsée

Olivier Gallot-Lavallée, G. Teyssedre, C. Laurent, S. Rowe

► **To cite this version:**

Olivier Gallot-Lavallée, G. Teyssedre, C. Laurent, S. Rowe. Polarisation et charge d'espace dans une résine époxy par mesure Electro Acoustique Pulsée. MGE, 2003, France. pp.143-5. hal-00182643

HAL Id: hal-00182643

<https://hal.science/hal-00182643>

Submitted on 26 Oct 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Polarisation et charge d'espace dans une résine époxy par mesure Electro Acoustique Pulsée

O.Gallot-lavallée¹, G.Teyssedre¹, C.Laurent¹ et Stephen Rowe²

¹ LGET, Université Paul Sabatier, Toulouse.

² Schneider Electric, Grenoble

Abstract—The “Pulsed Electro Acoustic” technique, which allows probing the space and time dependence of charge density within insulators, has been applied to probe polarisation and space charge phenomena within an epoxy resin. The response is analysed taking account the polarization phenomenon linked to the dipolar nature of epoxy resins. We show notably that it is possible to analyze the polarization through the space charge observation along time. Besides, current measurements are analysed and seem to confirm our interpretations.

Mots clés—PEA ; Epoxy ; Charge d'espace ; Polarisation.

I. OBJECTIFS

Les isolants électriques à base de résine époxy sont des matériaux complexes utilisés en Génie Electrique depuis de nombreuses années. Ils entrent dans la constitution des supports de circuits imprimés, assurent l'isolation de certains transformateurs, sont intégrés dans des dispositifs en moyenne ou haute tension dans lesquels ils assurent le plus souvent un double rôle de support mécanique et d'isolation électrique. Les règles de mise en œuvre et de dimensionnement des résines sont encore largement empiriques.

Dans la perspective où les propriétés diélectriques de transport et de stockage des charges d'espace puissent conditionner les phénomènes de vieillissement, notre objectif a été de caractériser ces propriétés au moyen d'études combinées de distribution spatiale de charge d'espace par méthode PEA (Pulsed Electro Acoustic) [1] et de courants lors des phases de polarisation et de relaxation.

II. MODE EXPERIMENTAL

Les éprouvettes étudiées ne contiennent pas de charges minérales, et sont réalisées sur la base d'un mélange égal en poids de durcisseur HY227 et de résine CY 225 (Cyba Cegy). Leur épaisseur approche les 500 μ m mais l'état de surface offre des variations de 10 μ m. Enfin, elles sont stockées à l'atmosphère ambiante.

Les électrodes du banc d'essai PEA sont en Aluminium à la cathode et polymère chargé au noir de carbone à l'anode

($S=0.5\text{cm}^2$). Les mesures de charge d'espace y ont été réalisées toutes les 20 secondes sous une contrainte de 40kV/mm appliquée durant 1 heure suivi d'une relaxation de durée équivalente. Pour la mise sous tension, la vitesse de montée a été limitée à 1kV/s. Ces mesures ont été menées en utilisant une impulsion électrique maximum de 0.6kV/mm.

Les éprouvettes destinées à la mesure de courant sont pourvues d'électrodes d'Or pulvérisé de géométrie circulaire ($S=20\text{cm}^2$ $e=300\text{\AA}$). Les mesures de courant, ont été réalisées sous vide, toutes les 2s durant 10 cycles (1h de polarisation / 1h de relaxation), pour des champs allant de 4kV/mm à 40kV/mm.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

A. Nature de la charge d'espace

De façon générale, la définition de régions spécifiques, comme par exemple la position des électrodes, ou les limites d'une zone chargée, dans des profils de charge d'espace, est entachée d'une incertitude, due à un phénomène d'étalement des signaux. Cette dégradation a pour origine plusieurs facteurs tels que la dispersion acoustique non homogène dans le matériau, la limitation à la résolution relative à l'acquisition numérique (500MHz) et la dégradation spectrale lors du traitement numérique du signal (fct° de Gauss et Wiener) [4]. Cet étalement du signal est visible sur les profils présentés (fig.1) et qui correspondent aux résultats obtenus en début et fin du cycle de polarisation/relaxation.

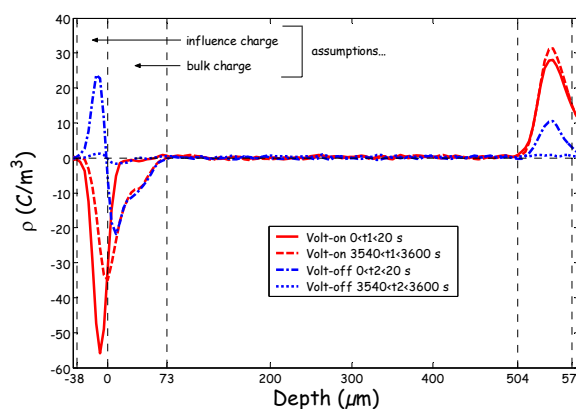


Fig. 1. Space charge profiles during and after DC stress of 40kV/mm. Cathode to the left, anode to the right.

En première conjecture, nous avons défini sur les profils (fig.1 et fig.2) une zone correspondant à la cathode dans laquelle se trouvent les charges d'influence. Sur cette base nous pouvons avancer qu'il se produit sous contrainte, une progression d'homocharges dans le volume affectant par image la charge d'influence. L'amplitude de cette dernière diminue donc au cours du temps. Les densités d'homocharges ne sont pas négligeables dans la mesure où elles sont visibles durant même la polarisation. Consécutivement à cette polarisation une mesure à tension nulle est opérée. Durant cette phase, l'homocharge est révélée, et l'essentiel de cette charge est dissipée dans les 20 premières minutes de relaxation.

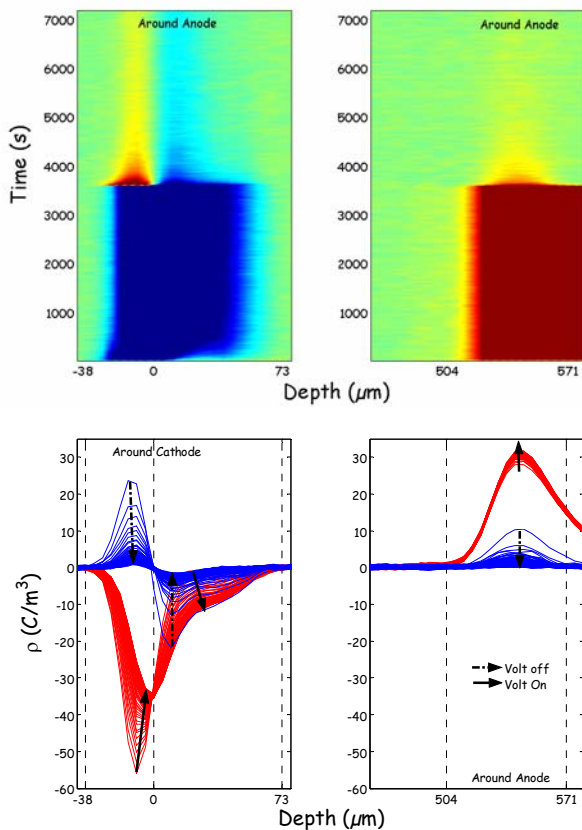


Fig. 2. Top: "spatio-temporal" representation of all space charge distribution profiles performed during the experiment. Bottom: evolution of space charge during the respective volt-on and volt-off.

Une représentation spatio-temporelle (fig.2) nous permet d'apprécier l'évolution de l'ensemble des profils de charges d'espace acquis durant la totalité de l'expérience. Aux environs de la cathode, on peut ainsi observer que le barycentre de la charge d'espace est déplacé vers le volume au cours du temps et sous la contrainte électrique.

Concernant ce qui se passe aux environs de l'anode, il nous est plus difficile d'analyser un quelconque phénomène. Le scénario le plus vraisemblable serait qu'aucun phénomène d'injection n'ait lieu, de sorte que ce que nous observons est simplement l'effet d'une polarisation d'orientation lente. En effet, la distance des homocharges vis-à-vis de l'anode étant importante (en rapport à leur proximité avec la cathode), leur influence peut être négligée (fig.3) et par conséquent ce que l'on y observe ne dépendrait plus que d'un effet de

polarisation. Cependant des éléments de la littérature [3][4] ainsi que notre propre expérience montrent qu'un autre scénario est possible, avec une symétrie de distribution en homocharges (fig.3). Il est donc possible que la dégradation de la résolution soit suffisamment importante pour noyer une éventuelle homocharge à l'anode dans le signal de charge d'influence.

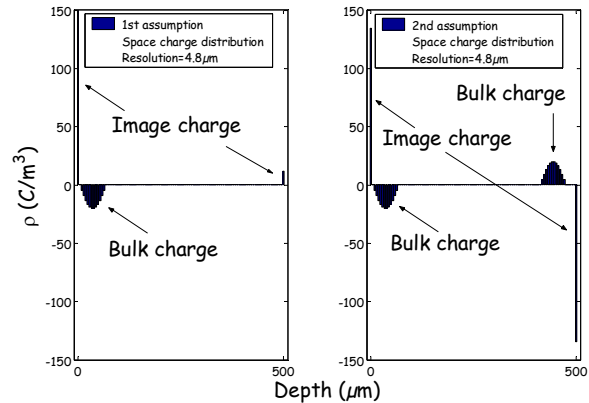


Fig. 3. Left: first scenario of space charge distribution with homocharges close to the cathode. Right: second scenario with bipolar homocharges.

B. Dynamique de la charge d'espace

Si nous restons sur les hypothèses précédentes, à savoir que la charge est suffisamment confinée aux électrodes respectives, alors nous pouvons écrire la relation suivante :

$$Q_{\text{volumique}}(K) \approx -Q_{\text{image}}(K) \quad (1)$$

La charge d'influence étant une superposition des charges image et de polarisation:

$$Q_{\text{influence}}(K) = Q_{\text{polarisation}}(K) + Q_{\text{image}}(K) \quad (2)$$

l'accès aux phénomènes dipolaires à partir des profils de charge d'espace devient possible selon la relation suivante:

$$Q_{\text{polarisation}}(K) = Q_{\text{influence}}(K) + Q_{\text{volumique}}(K) \quad (3)$$

Nous entendons par $Q_{\text{image}}(K)$, la charge cathodique influencée par l'homocharge associée, dite $Q_{\text{volumique}}(K)$. $Q_{\text{polarisation}}(K)$ est utilisé ici pour décrire l'ensemble des charges influencées à la cathode par le phénomène de polarisation. Enfin, $Q_{\text{influence}}(K)$ désigne la charge totale effective sur l'électrode cathodique créée par influence.

Nous avons intégré la charge nette, pour chacune des régions délimitées par des traits pointillés (e.g : fig.2), et la dynamique d'établissement et de dissipation de la charge est représentée (fig.4). Nous constatons que les mouvements de charges sont importants dans les premiers instants de l'application de la contrainte ou du court-circuit, puis deviennent beaucoup plus lents après les 20 premières minutes. Ceci est visible de façon quasi symétrique avec la charge d'influence et la charge volumique de la zone cathodique (fig.4a). Au regard des courbes de $Q_{\text{influence}} + Q_{\text{volumique}}$, censées représenter la variation de la charge de polarisation (eq.3), nous observons

un comportement transitoire du même type que le précédent mais de moindre amplitude (fig.4b). La polarisation augmente au cours du temps sous contrainte, ce qui apparaît cohérent avec un phénomène de polarisation lente supposé présent dans ce type de matériau.

Enfin, si nous n'étions en présence que d'une homocharge cathodique alors les influences ne seraient plus symétriques et nous verrions une légère domination de Qpolarisation(A) sur Qpolarisation(K), ce que nous constatons précisément (fig.4b) lors de la relaxation. L'idée d'une symétrie de distribution demeure cependant en suspens car nous sommes tributaires des bornes d'intégration prises de façon quasi arbitraire.

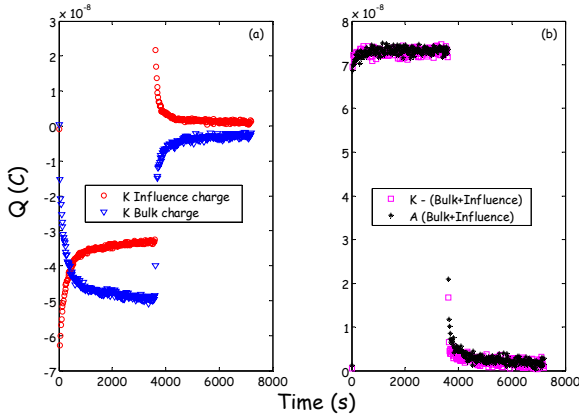


Fig. 4. Dynamic of net charge densities during a polarisation/relaxation cycle. Quantities were integrated in the regions limited by dashed lines in fig1 and 2. A and K stand for anode and cathode, respectively. Left: bulk and influence charge. Right: polarisation charge (x-1 for K).

La (fig.5) permet de comparer les courants mesurés en externe aux courants équivalents déduits des profils de charge d'espace, qui sont théoriquement reliés par la relation suivante :

$$d/dt(Qinfluence(K)) = I_{ext} - I_{cond} \quad (4)$$

$$d/dt(Qinfluence(K)) = -d/dt(QBulk(K)) + d/dt(QPolarization(K)) \quad (5)$$

Où I_{ext} est le courant extérieur et I_{cond} sa composante de conduction ($0.3pA/cm^2$). Sur un plan qualitatif, la cinétique de décroissance des valeurs comparables ($I_{ext} - I_{cond}$ et $d/dt(Qinfluence(K))$) apparaît similaire. Cependant, le courant estimé à partir des mesures de charge d'espace est supérieur (avec 1 ordre de grandeur) au courant externe mesuré.

Au regard de ce décalage quantitatif deux explications nous viennent à l'esprit : premièrement, les électrodes d'or pulvérisé pour la mesure de courant minimiseraient le phénomène d'injection vis-à-vis des contacts classiques utilisés en PEA ; deuxièmement, les mesures de courant sont faites sous vide alors que les mesures PEA sont réalisées dans l'air ambiant et donc humide, ce qui pourrait par exemple renforcer l'injection.

Notons enfin que l'étude du courant en fonction du champ électrique (fig.6) nous a permis d'observer une linéarité du courant en fonction du champ avec une symétrie parfaite entre relaxation et polarisation à la conduction près.

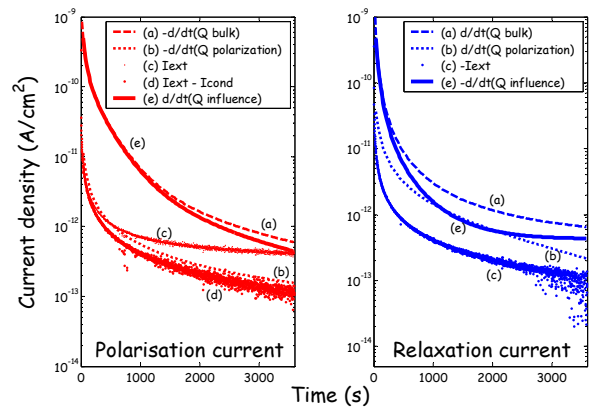


Fig. 5. Experimental current (I_{ext}) and currents deduced from space charge measurements at the cathode. Left: volt-on ; Right: volt-off.

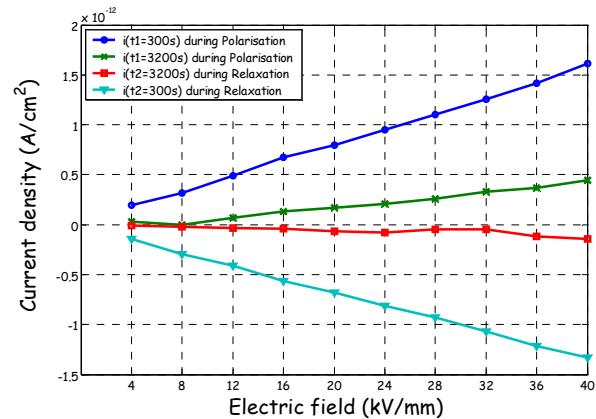


Fig. 6. Field dependence of the current measured at different times in volt-on and volt-off. All phenomena appear linear with field.

IV. CONCLUSIONS

Nous avons par le biais d'hypothèses simplificatrices révélé un marqueur du phénomène de polarisation dipolaire dans une résine époxy, en ayant préalablement défini dans quelles mesures il y avait injection d'homocharges. Par ailleurs, le comportement global en courant semble linéaire en fonction de la contrainte électrique (à la température ambiante), ce qui laisserait penser que les phénomènes d'injection de charges, de conduction et de polarisation le sont aussi, ce qui reste à confirmer...

Références

- [1] O. Gallot-lavallée, "Mesure de la charge d'espace par la méthode Electro-Acoustique-Pulsée", Congrès de la Société Française d'Electrostatique (SFE), Toulouse, 2002.
- [2] M. Jeroense, *Charges and discharges in HVDC Cables*, Ed. Delft University Press, Delft, The Netherlands, 1997, p 186.
- [3] V. Griseri, "The effect of electric fields on an epoxy resin", Thesis, Engineering Dept., Univ. of Leicester UK, 2000, p 114.
- [4] C. Guillermain, "Influence de la température sur l'apparition de charge d'espace dans une résine époxy", Congrès de la SFE, 2002.

E. mail : gallot-lavallee@lget.ups-tlse.fr