

# Mécanismes d'écoulement des charges à la surface des polymères granulaires

Miloud Kachi <sup>a \*</sup>, Lucien Dascalescu <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire de Génie Electrique de Guelma, Université 8Mai 1945-Guelma, B.P 401, Guelma, Algérie

<sup>b</sup> Institut PPRIME, Université de Poitiers, avenue de Varsovie, 16021, Angoulême, France

---

## ARTICLE INFO

Article history :  
Received November 2013  
Accepted January 2014

Keywords :  
Matériaux granulaires ;  
Déclin de la charge ;  
Potentiel de surface ;  
mesures électrostatiques.

---

## ABSTRACT

Les forces électriques s'exerçant sur des polymères granulaires chargés sont mises à profit dans plusieurs processus électrostatiques. La dynamique de charges de surface de ces matériaux est très importante pour ce type de processus. Le but de ce papier est d'analyser l'écoulement des charges à la surface de couches compactes de polymères granulaires, en interprétant les mesures sans contact réalisées par trois sondes de potentiel, de champ et de charge, ayant chacune une taille différente. Des mesures du profil de potentiel à différents instants sont également réalisées afin d'expliquer les différences entre les vitesses de déclin de potentiel, de champ et de charge mesurées par les trois sondes. Les résultats mettent en évidence un écoulement transversal et longitudinal de la charge surfacique.

©2014 LESI. All right reserved.

---

## 1. Introduction

La dynamique des charges à la surface des matériaux isolants peut être perçue comme un indicateur des propriétés surfaciques et volumiques du matériau. Au cours des trois dernières décennies, le déclin du potentiel électrique et la répartition de celui-ci à la surface de ces matériaux ont été intensivement étudiés afin d'expliquer cette dynamique et sa relation avec les caractéristiques de l'isolant. La caractérisation des matériaux isolants par la méthode du Déclin de Potentiel de Surface (DPS) a été surtout appliquée pour le cas des films polymères. Les chercheurs s'accordent sur le fait que le déclin du potentiel peut être causé par quatre mécanismes possibles : l'injection de la charge dans le volume du matériau, la conduction, la polarisation et la neutralisation par des ions présents dans l'air ambiant. Ces mécanismes peuvent coexister pour provoquer le déclin de potentiel mais la prépondérance de l'un ou de l'autre de ces mécanismes dépend des propriétés diélectriques du matériau, de ses dimensions et des conditions ambiantes [1-8].

Dans plusieurs applications électrostatiques, telle que la séparation des isolants [9], les

---

\*Email : miloud.kachi@gmail.com

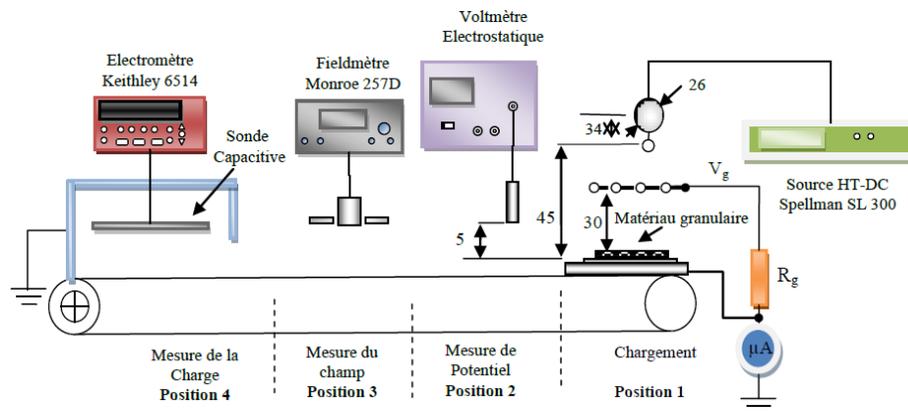
matériaux polymères se présentent sous forme de granules d'où la nécessité de mesurer l'écoulement de charges à la surface de ce type de matériaux. Ce papier a comme but de caractériser la dynamique spatio-temporelle de la charge électrique des couches compactes de matériaux granulaires par la mesure de grandeurs surfaciques : potentiel, champ et charge, et de déterminer les mécanismes qui en sont responsables.

## 2. Procédure expérimentale

Deux types de mesures ont été réalisées : des mesures de déclin de la charge, du champ et du potentiel et des mesures de distribution du potentiel à la surface des couches de granules. Chaque procédure de mesure sera décrite séparément.

### 2.1. Mesures de déclin de la charge, du champ et du potentiel

Les mesures ont été réalisées sur quatre types de matériaux de différentes formes et tailles à savoir le polyéthylène PE, le polycarbonate PC, le polyamide PA et le Acrylonitrile butadiène styrène ABS. Les mesures ont été réalisées sur des échantillons constitués d'une monocouche de granules (poids : 11 grammes), déposés sur une aire de  $7.5\text{cm} \times 8\text{cm}$  sur la surface d'une plaque d'aluminium mise à la masse. La figure 1 illustre le schéma de principe de l'installation utilisée. Une bande transporteuse, qui supporte le porte-échantillon, déplace celui-ci du poste de chargement (1) vers les postes de mesures : du potentiel (2), du champ (3) et de la charge (4). Les échantillons ont été chargés avec une décharge couronne négative générée par une électrode de type triode, composée de fil de tungstène suspendu au dessus d'une grille métallique, placée entre l'électrode et l'échantillon, afin d'uniformiser et contrôler le chargement. Les dimensions en millimètre sont indiquées sur la figure 1. Le chargement dure 10 s sous une tension de  $20,6\text{kV}$  et un courant de grille de  $100\mu\text{A}$ . Sachant que la résistance de grille est  $R_g = 50\text{M}\Omega$  le niveau de chargement maximal est limité à la tension de grille  $V_g = R_g \cdot I_g$  et se situe à environ  $5\text{kV}$ . Dès l'achèvement du processus de chargement, la bande transporteuse déplace l'échantillon au poste 2 pour la mesure du déclin de potentiel. La distance entre la sonde de potentiel et la surface de l'échantillon est fixée à 5 mm.



**Fig. 1.** Montage expérimental utilisé pour la mesure de déclin de la charge, du champ et du potentiel (dimensions en mm).

Les mesures de potentiel ont été répétées cinq fois pour chaque type de matériau. En

suivant la même procédure, on a également réalisé des mesures du champ et de la charge (Fig.1. poste 3 et 4 respectivement). La sonde capacitive pour la mesure de la charge est constituée d'une plaque métallique, de dimensions  $13\text{cm} \times 19.5\text{cm}$ , incorporée dans une boîte métallique de protection sans qu'il y ait un contact électrique entre eux. La plaque métallique est reliée à un électromètre Keithly 6514 réglé en mode mesure de charge. Ainsi toutes les mesures sont automatiquement enregistrées sur ordinateur à travers le système d'acquisition géré par le logiciel LabView. Il convient de signaler que les expériences ont été réalisées à l'air libre à une température entre  $17^\circ\text{C}$  et  $19^\circ\text{C}$  et une humidité entre 37% et 40%.

## 2.2. Mesure de la distribution du potentiel de surface

La mesure de la distribution spatiale du potentiel à la surface de la couche de granule à des temps différés permet de quantifier l'importance de la conduction surfacique, ce qui peut expliquer en partie les courbes de déclin. Les échantillons ont été chargés par décharge couronne, comme expliqué précédemment, puis déplacés sous la sonde de potentiel avec une vitesse fixe d'environ  $2.7\text{cm}/\text{sec}$ . L'échantillon a été scanné plusieurs fois après le chargement en vue d'obtenir le profil du potentiel à différents instants.

## 3. Résultats et discussion

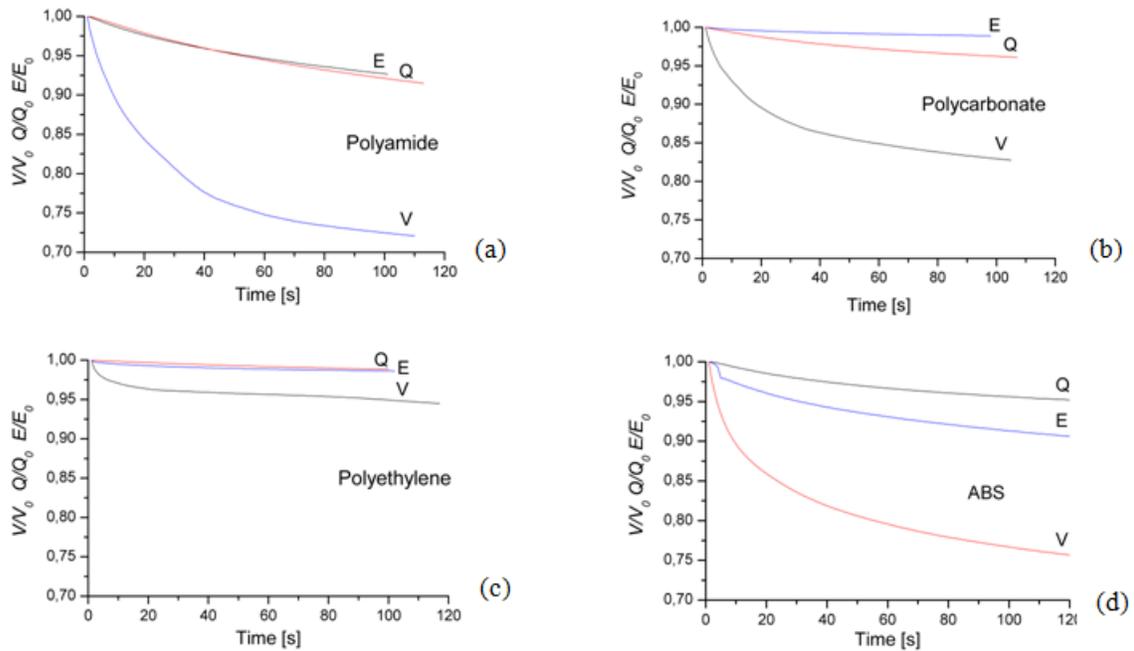
### 3.1. Déclin des grandeurs surfaciques : charge, champ et potentiel

La figure 2 montre les résultats de mesures de déclin de la charge, du champ et du potentiel à la surface des quatre matériaux : le polyamide, le polyéthylène, le polycarbonate et l'ABS. Les courbes représentent les valeurs moyennes de cinq expériences faites pour chaque type de matériau, exprimées par rapport aux valeurs initiales (premières valeurs enregistrées)  $Q_0$ ,  $E_0$  et  $V_0$ .

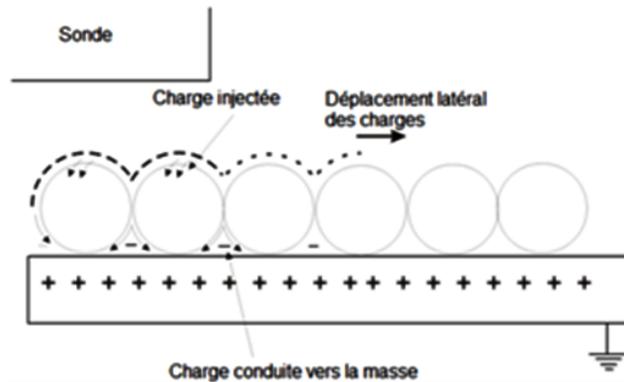
Les trois techniques indiquent des taux de déclin différents pour chaque type de matériau. Cependant, comme première observation, le déclin de potentiel est plus rapide que celui de la charge ou du champ. Le déclin de ces derniers est rapproché (fig. 2). Cette différence peut être expliquée par l'influence du capteur lui-même sur le mécanisme de déclin et la différence des zones de couplage due à la taille des capteurs. En plus de la différence entre leurs caractéristiques physiques (conductivité et permittivité), l'effet de la nature du matériau est plutôt relié à la taille et la forme des grains. Plus les grains sont petits et bien arrangés (cas de l'ABS), plus le comportement de la couche se rapproche de celui des films.

### 3.2. Mécanismes de déclin de la charge

Plusieurs mécanismes peuvent exister durant le processus de déclin de la charge à la surface des couches de granules. Parmi ces mécanismes, l'injection de charge et la conduction surfacique peuvent être considérées dans le cas des granules comme dominants, étant donné la nature non polaire des matériaux étudiés. La figure 3 illustre les mécanismes de déclin de la charge dans le cas des matériaux granulaires. L'injection de charge dans le volume du grain ne peut être activée que lorsque le champ appliqué est suffisamment élevé.



**Fig. 2.** Courbes de déclin de potentiel  $V$ , du champ  $E$  et de la charge  $Q$  à la surface des quatre matériaux : (a) polyamide, (b) polycarbonate, (c) polyéthylène et (d) ABS. Les courbes sont en valeurs relatives par rapport aux premières valeurs enregistrées  $V_0$ ,  $E_0$  et  $Q_0$ .



**Fig. 3.** Principe du mécanisme de déclin des charges dans le cas des couches de granules.

Avec un potentiel de surface inférieur à  $5kV$  pour le cas de tous les matériaux, la valeur moyenne du champ appliqué à la couche de granule d'épaisseur  $2\text{ mm}$  est environ  $E = V/d = 2.5kV/mm$ , ce qui représente une valeur nettement inférieure au seuil d'activation indiqué dans la littérature :  $25kV/mm$  [8]. Si on écarte l'amplification du champ par les aspérités à la surface du granule, le phénomène d'injection peut être négligé.

En raison de la nature granulaire des matériaux et la structure de la couche, le mécanisme dominant, et qui peut expliquer les courbes de déclin, est la conduction surfacique.

En effet, en se déplaçant à la surface de chaque grain, et à la surface de la couche entière, les charges peuvent emprunter deux voies : une partie de la charge se déplace latéralement à la surface de la couche en s'éloignant de la sonde et une autre partie est

conduite vers la masse à travers la couche de grains où elle sera neutralisée (Fig.3).

### 3.3. Influence de la taille de la sonde

Pour montrer l'influence de la taille du capteur sur la mesure du taux de déclin, on suppose la coexistence des deux phénomènes, injection dans le volume et conduction surfacique. Dans le cas de la sonde de potentiel, le déclin de potentiel mesuré est dû à l'injection des charges dans le volume, dont la partie de charge injectée est notée  $Q_{inj}$ , mais aussi à la conduction surfacique vers la masse  $Q_{scg}$  et à la conduction surfacique latérale  $Q_{disp}$ . Mathématiquement, le taux de déclin de potentiel  $V_p$  mesuré par le voltmètre électrostatique peut être exprimé comme suit :

$$\frac{dV_p}{dt} = f(Q_{inj}, Q_{scg}, Q_{disp}) \quad (1)$$

Le taux de déclin mesuré inclut alors la variation due aux trois voies possibles ( $Q_{inj}$ ,  $Q_{scg}$ ,  $Q_{disp}$ ).

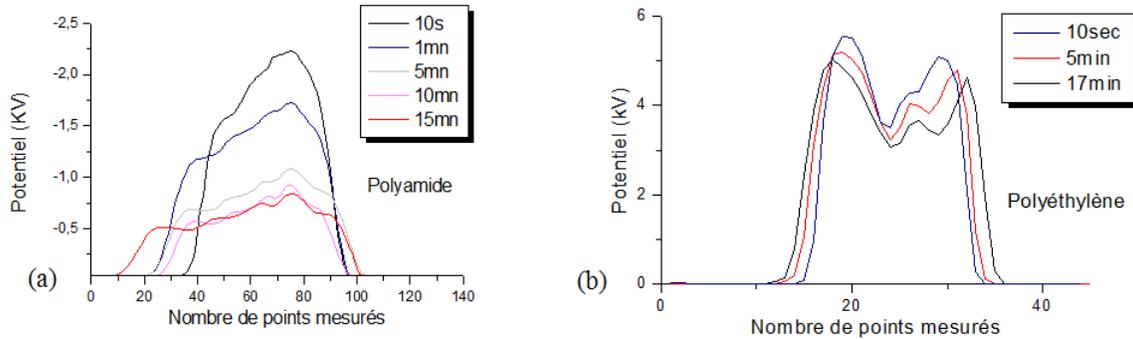
La sonde capacitive pour la mesure de la charge, qui est une plaque métallique de larges dimensions, mesure la réduction de la charge  $Q_{ch}$  due à l'injection et à la conduction surfacique vers la masse. Dans ce cas, le déplacement latéral des charges n'affecte pas la quantité de charge en couplage avec la sonde car, en raison des larges dimensions, la quantité de charges qui se déplace est encore sous la sonde et en couplage avec elle. La sonde voit alors la charge sur toute la surface sans être affectée par l'éloignement du centre, ce qui peut être exprimé par :

$$\frac{dQ_{ch}}{dt} = f(Q_{inj}, Q_{scg}) \quad (2)$$

Il s'ensuit alors que la grande taille du capteur de charge et la petite taille de celui du potentiel peuvent expliquer, même partiellement, la différence observée sur les taux de déclin indiqués par les trois mesures. Ce résultat se justifie encore par les courbes de champ qui se rapproche de ceux de la charge et ce du fait de la taille relativement grande du capteur de champ.

### 3.4. Distribution du potentiel à la surface des couches de granules

La Fig. 4 montre les résultats des mesures de la distribution du potentiel sur la surface des couches de polyéthylène et polyamide. Ces mesures montrent une évolution du potentiel qui se fait dans les deux directions, latérale et transversale (conduction vers la masse). L'évolution bidirectionnelle dans ce cas implique l'existence, à la fois, de la conduction surfacique latérale et la conduction surfacique vers la masse, en plus du phénomène de l'injection qui peut s'établir suite à l'amplification du champ.



**Fig. 4.** Distribution du potentiel sur la surface des couches de (a) polyamide et (b) polyéthylène à plusieurs instants.

#### 4. Conclusions

Les mesures de déclin des grandeurs surfaciques (charge, champ et potentiel), en utilisant des sondes de différentes tailles, auxquelles s'est ajoutée la mesure de la distribution du potentiel à la surface des monocouches ont conduit aux conclusions suivantes :

- les sondes indiquent des taux de déclin différents en raison de la différence de leurs tailles. Les petites sondes mesurent l'écoulement de la charge dû à tous les mécanismes possibles (écoulement transversal et longitudinal) tandis que les sondes de larges dimensions sont moins influencées par le déplacement longitudinal des charges.
- Pour le cas des monocouches de granules, le déplacement des charges peut être dans les deux directions, longitudinale et transversale, à cause de la conduction surfacique vers la masse et la conduction le long de la couche.

#### REFERENCES

- [1] Molinié, P., Goldman, M., Gattelet, J., 1995. Surface potential decay on corona-charged epoxy samples due to polarization processes, *J. Phys. D : Appl. Phys.*, vol. 28, pp. 1601-1610.
- [2] Molinié, P., 2005. Measuring and modeling transient insulator response to charging : the contribution of surface potential studies, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 12, pp. 939-950.
- [3] Wintle, H.J., 2003. Charge Motion in Technical Insulators : Facts, Fancies and Simulations, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 10, No. 5.
- [4] Crisci, A., Gosse, B., Gosse, J.-P., Ollier-Duréault, V., 1998. Surface-potential decay due to surface conduction, *Eur. Phys. J. AP*, vol. 4, pp. 107 - 116.
- [5] Herous, L., Nemamcha, M., Remadnia, M., Dascalescu, L., 2009. Factors that influence the surface potential decay on a thin film of polyethylene terephthalate (PET), *Journal of Electrostatics*, vol. 67, pp. 198-202.
- [6] Herous, L., Nemamcha, M., Remadnia, M., Dascalescu, L., 2009. Factors that influence the surface potential decay on a thin film of polyethylene terephthalate (PET), *Journal of Electrostatics*, vol. 67, pp. 198-202.
- [7] Pedro Llovera., Philippe Molinié., Anabel Soria., A. Quijano., 2009. Measurements

- of electrostatic potential and electric fields in some industrial applications : Basic principles, *Journal of Electrostatics*, vol. 67, pp. 457-461.
- [8] Xu, Z., Zhang, L., Chen, G., 2007. Decay of electric charge on corona charged polyethylene, *J. Phys.D : Appl. Phys*, vol. 40, pp. 7085-7089.
- [9] Tilmatine, A., Medles, K., Bendimerad, S.-E ., Boukholda, F., Dascalescu, L., 2009. Electrostatic separators of particles : Application to plastic/metal, metal/metal and plastic/plastic mixtures, *Waste Management*, vol. 29, pp. 228-232.
- [10] Dascalescu, L., Mihalcioiu, A., Stochita, A., Notingher, P. V., 2008. Charge-Decay Characteristics of Granular Materials Forming Monolayers at the Surface of Grounded Electrodes, *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 44, . pp. 20 - 24.