

# Diffusion anormale dans un modèle de dépôt plasma

Jean-Marc Bauchire<sup>1</sup>, Pascal Brault<sup>1</sup>, François James<sup>2</sup>, & Christophe Josserand<sup>3</sup>

<sup>1</sup> GREMI, UMR 7344, CNRS-Université d'Orléans, BP 6744, 45067 Orléans Cedex 2

<sup>2</sup> MAPMO, UMR 7349, CNRS-Université d'Orléans, BP 6759, 45067 Orléans Cedex 2

<sup>3</sup> Institut D'Alembert, UMR 7190 CNRS & UPMC, Sorbonne Universités, F-75005 Paris, France

christophe.josserand@upmc.fr

Le dépôt plasma d'atomes sur une surface est utilisée dans de nombreuses applications industrielles. Par exemple la dépôt d'atomes de platine sur un substrat poreux carboné permet d'augmenter fortement la catalyse des réactions en jeu dans les piles à combustible [1]. Les atomes créés par un plasma de pulvérisation sont transportés dans le substrat poreux et se déposent le long des parois des pores. Il en résulte, un dépôt atomique dans le substrat dont la densité décroît continument en fonction de la distance à la surface du substrat. Expérimentalement, il a été observé que cette décroissance correspondait à un processus globale de "super"-diffusion anormale. La diffusion anormale peut-être modélisée de manière phénoménologique par un équation de diffusion dont le coefficient de diffusion dépend de la profondeur  $z$  à laquelle on se trouve. Si elle permet de bien retrouver les courbes expérimentales [2], cette modélisation ne permet pas de comprendre *a priori* les origines de la diffusion anormale. Nous proposons pour cela d'étudier un modèle de diffusion dans un milieu poreux qui couplent de manière non-linéaire la diffusion des atomes libres dans le poreux et celle des atomes absorbés par le substrat. Ces deux équations de diffusion sont couplés par la loi d'absorption/désorption des atomes par le substrat. Ce modèle présente donc l'avantage de prendre en compte, même de manière simplifiée, les mécanismes physiques microscopiques pertinents.

De manière plus précise, prenant en compte l'invariance par translation de la dynamique dans les plans horizontaux, on propose donc le système d'équations de diffusion couplés :

$$\begin{cases} \partial_t c_\ell = \partial_z(\kappa_\ell \partial_z c_\ell) + \frac{1}{\tau}(c_s - h(c_\ell)) \\ \partial_t c_s = \partial_z(\kappa_s \partial_z c_s) - \frac{1}{\tau}(c_s - h(c_\ell)), \end{cases} \quad (1)$$

où  $c_\ell(z, t)$  et  $c_s(z, t)$  représentent la densité des atomes libres et absorbés respectivement, fonction de la profondeur  $z$  ( $z = 0$  correspondant à la surface du substrat) et du temps  $t$ . On note  $\kappa_\ell$  et  $\kappa_s$  les coefficients de diffusion de chacun des états, avec  $\kappa_s \ll \kappa_\ell$  traduisant la propriété que la diffusion des atomes absorbés est bien plus lente que celle des atomes libres. Le terme non-linéaire peut-être interprété comme un terme de relaxation vers l'équilibre thermodynamique qui s'écrit :  $c_s = h(c_\ell)$ , avec un temps de relaxation  $\tau$ . Dans la limite de relaxation rapide (en prenant donc dans les équation la limite mathématique  $\tau \rightarrow 0$ ), on peut montrer que la dynamique suit une équation de diffusion non-linéaire pour laquelle des exposant anomaux sont observés numériquement que nous nous proposerons d'expliquer par une approche semi-analytique.

## Références

1. P. Brault, A. Caillard, A. L. Thomann, J. Mathias, C. Charles, R. W. Boswell, S. Escribano, J. Durand and T. Sauvage, *J. Phys. D* **34**, 3419 (2004).
2. P. Brault, C. Josserand, J.-M. Bauchire, A. Caillard, C. Charles and R.W. Boswell, *Phys. Rev. Lett.* **102**, 045901 (2009).
3. Langmuir I., *Jour. Amer. Chem. Soc.*, **40** (1918), n° 9, 1361-1403
4. James F., M. Sepúlveda and P. Valentin, *Math. Models and Methods in Applied Science*, **7** (1997), n° 1, 1-29