

CALCUL DE LA DISTRIBUTION DE DERIVEES SPATIALES DU MICROCHAMP IONIQUE DANS LES PLASMAS PAR LA SIMULATION MONTE CARLO

Salima GUERRICHA et Smaïl CHIHI

*Laboratoire de Développement des Energies Nouvelles et Renouvelables dans les Zones Arides et Sahariennes (LENREZA), Faculté des Sciences et Technologie et des Sciences de la Matière,
Université Kasdi Merbah – Ouargla, 30000 Ouargla, Algérie*

E-mail: gusalima@yahoo.com

RÉSUMÉ : Dans ce travail, les fonctions de distribution des dérivées spatiales du microchamp électrique ionique dans les plasmas faiblement couplés ont été calculées. Ont été aussi montrées quelques propriétés de ces distributions par le traitement graphique des courbes représentatives, où nous avons montré que chaque distribution peut être décomposée en deux Gaussiennes.

MOTS-CLÉS : distribution, microchamp, plasma, dérivées spatiales, simulation, Monte Carlo (MC)

1. Introduction

La recherche dans le domaine des profils de raies spectrales émises par les plasmas est essentielle pour la spectroscopie des plasmas. Ces études sur les profils de raies sont aussi importantes en raison de leurs applications dans le diagnostic ainsi qu'en astrophysique pour l'interprétation des spectres provenance des étoiles : la largeur à mi-hauteur d'une raie d'hydrogène, par exemple, est un outil simple et efficace pour la détermination de la densité électronique [1]. Les raies spectrales dans les plasmas diagnostiquent leur température [2].

Pour étudier les formes des raies spectrales (SLS) dans les plasmas, d'une manière plus réaliste, nous devons considérer la non-uniformité du microchamp ionique, car elle est une source d'asymétrie dans la raie considérée [3].

Bien que la question de calcul des fonctions de distribution du microchamp et de ses dérivées spatiales dans le plasma a été traitée depuis quelques décennies [4,5] en utilisant plusieurs modèles, certains d'entre eux s'accordent avec les résultats des études empiriques et la théorie, mais il reste encore des aspects mystérieux qui nécessitent des recherches supplémentaires [6].

2. Simulation Monte Carlo

La simulation MC est une méthode couramment utilisée dans tous les domaines de la science, et repose sur l'utilisation des nombres aléatoires et des statistiques pour résoudre les différents problèmes relatifs aux systèmes à grand nombre de paramètres, grand nombre de particules dans notre cas [7-10] :

$$W(A \rightarrow B) = \begin{cases} \exp(-\Delta U / kT) & \text{si } \Delta U > 0 \\ 1 & \text{si } \Delta U \leq 0 \end{cases}$$

$$\text{si } U(B) > U(A) : \quad \frac{W(A \rightarrow B)}{W(B \rightarrow A)} = \frac{e^{-[U(B)-U(A)]/kT}}{1} = e^{-\Delta U / kT}$$

$$\text{si } U(B) \leq U(A) : \quad \frac{W(A \rightarrow B)}{W(B \rightarrow A)} = \frac{1}{e^{-[U(A)-U(B)]/kT}} = e^{-\Delta U / kT}$$

Donc la transition à la nouvelle configuration B est acceptée avec une probabilité la plus inférieure de deux valeurs 1 ou $e^{-\Delta U / kT}$, Figure 1.

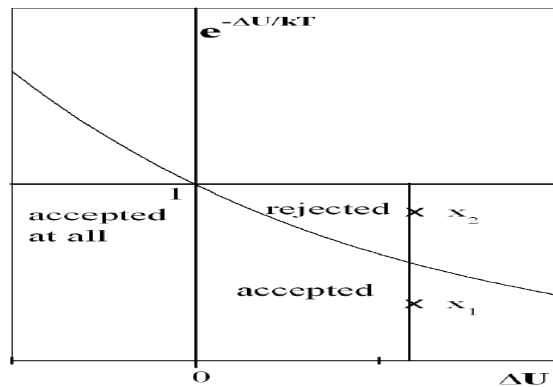


Figure 1: test de Monte Carlo

L'accomplissement du calcul statistique ne peut pas être fait avant que le système n'ait atteint l'équilibre.

3. Les distributions dans les plasmas

Les Plasmas sont constitués d'un très grand nombre de particules en interaction les unes avec les autres, et pour fournir une description macroscopique des phénomènes se déroulant dans le plasma, il convient d'adopter une approximation statistique qui conduit à une réduction significative de la quantité d'informations qui doivent être abordées. Dans la théorie cinétique, il est seulement nécessaire de connaître la fonction de distribution inter particules [11]. Dans le plasma chaud, toutes les quantités nécessaires sont incorporées dans les fonctions de distribution [11].

4. Description du système physique

Nous allons considérer le plasma comme un ensemble de N ions écrantés à la température T, immergés dans une fond continue neutralisant et homogène dans une volume V. Chaque ion interagit avec un autre ion grâce à un potentiel efficace de Debye - Huckel. Ce potentiel inclut les interactions des ions avec les électrons. Il est également supposé que le plasma est en équilibre thermodynamique.

5. Résultats

5.1 Fonctions de distribution du microchamp

D'abord nous calculons les fonctions de distribution des microchamps, pour dégager la valeur la plus probable que nous allons utiliser plus tard comme champ conditionnel lors du calcul de la distribution des dérivés spatiales du microchamp, $w(\vec{E}; \{\partial E_i / \partial x_j\})$. La figure 2 montre quelques résultats de nos calculs des fonctions de distribution du microchamp

$P(E/E_0)$ d'un plasma d'hélium hydrogéné He⁺, moyennement couplé ($\Gamma_{ee} = 0.077 ; 0.169 ; 0.230$).

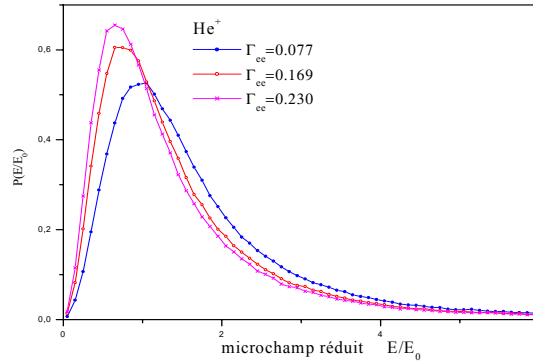


Figure 2: fonction de distribution du microchamp

E : le microchamp ionique, $E_0 = e/r_e^2$: l'unité du microchamp ionique, e : la charge élémentaire, $r_e = (3/4\pi N_e)^{1/3}$: le rayon du sphère électronique, N_e : la densité électronique,

$\Gamma_{ee} = \frac{e^2}{kT r_e}$: le paramètre de couplage, T : la température absolue, k : la constante de Boltzmann.

Ces résultats sont très cohérents avec la plupart de ce qui est dans la littérature, ce qui reconforte notre méthode utilisée, au moins pour les plasmas moyennement couplés.

Illustrées sur la figure 2 les valeurs les plus probables du microchamp à différents paramètres de couplage, et qui peuvent être résumées dans le Tableau (1):

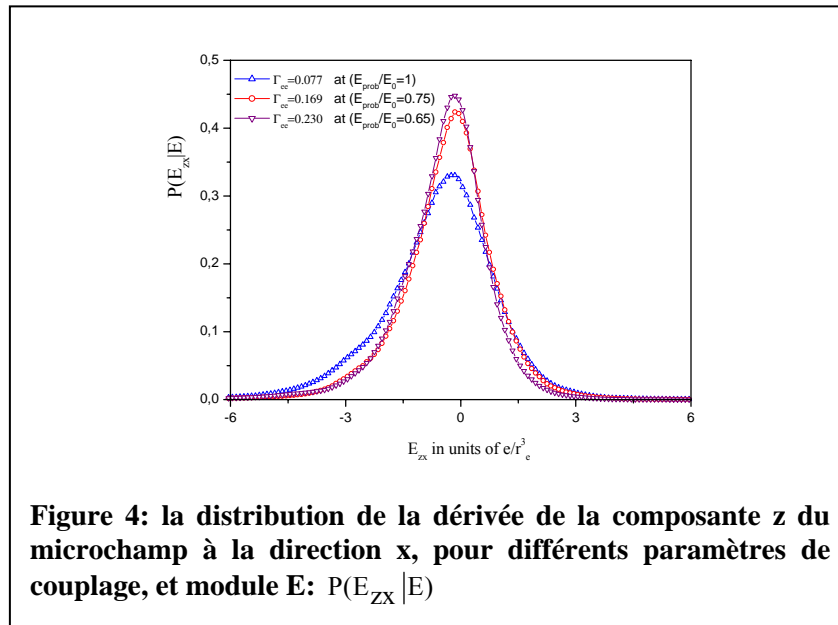
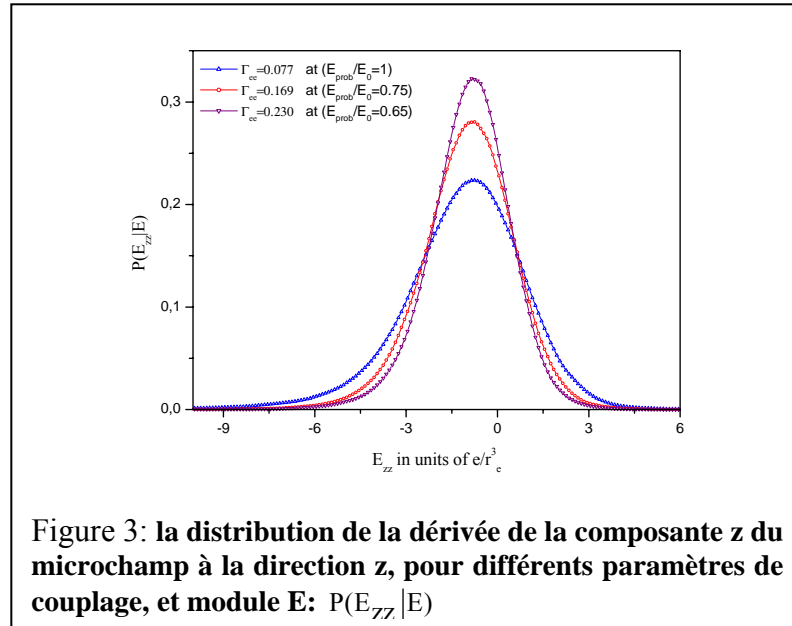
Tableau1: les valeurs plus probables du microchamps, pour différents paramètres de couplages

Paramètre de couplage Γ_{ee}	Microchamp plus probable E_{prob} (on unité de E_0)
0.077	1
0.169	0.75
0.230	0.65

5.2 Fonctions de distribution des dérivées spatiales du microchamp

La fonction de distribution des dérivées spatiales dans le sens x_j décrit la probabilité de trouver la dérivée $\partial E_i / \partial x_j$ égale à une valeur donnée. Si la fonction est conditionnelle, le calcul sera fait sur des configurations conduisant à la même valeur du microchamp.

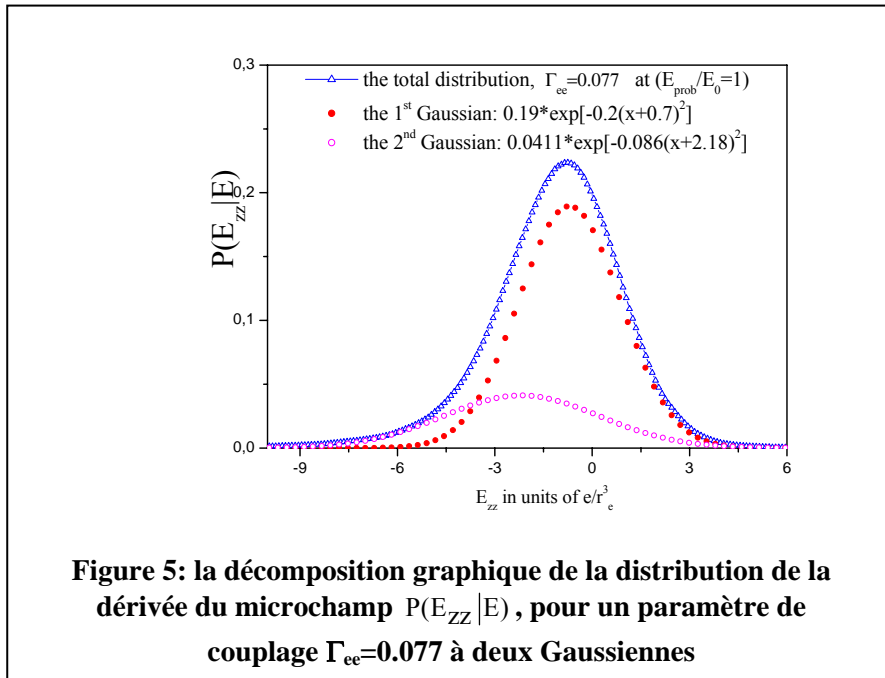
Figure 3 et figure 4 montrent les fonctions de distribution des dérivées spatiales $\partial E_z / \partial z$ et $\partial E_z / \partial x$ conditionnée par le microchamp le plus probable, et ce pour chaque paramètre de couplage. Toutes les dérivées sont portées en unités $\frac{e}{r_e^3}$.



6. Discussion

Il est important de noter que toutes les distributions des microchamps et des ses dérivées spatiales sont liées directement au paramètre du couplage, et pas à la densité ou la température séparément.

L'observation profonde des Figures 3 et 4 montre évidemment un asymétrie : l'aile droite décroît plus rapidement que l'aile gauche ce qui signifie que la distribution n'est pas exactement Gaussienne, comme que l'indiquent Kilcrease and Murillo dans leurs travaux[12]. L'analyse graphique plus précise de distribution de la dérivée spatiale selon z du microchamp E_z montre que nous pouvons dissocier cette distribution en deux Gaussiennes (voir Figure 5).



Références

- [1] H. R. Griem, J. Halenka and W. Olchawa, *J. Phys. B*, 38, 975–1000 (2005)
- [2] O. Golosnoy, *Plasma Physics Reports*, Vol. 27, No. 6, pp. 497–506 (2001)
- [3] J. Halenka and W. Olchawa, *Eur. Phys. J. D* 42, 425-433 (2007)
- [4] J. Holtsmark, *Ann. Phys* **58**, 577 (1919)
- [5] V. Demura and G. V. Sholin, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 15, 881 (1975)
- [6] A. V. Demura; *International Journal of Spectroscopy* **Volume 2010**, (2010)
- [7] Michael S. Murillo and Jon C. Weisheit, *Physics Reports*, 302, 1-65 (1998)
- [8] Michael S. Murillo and Jon C. Weisheit, *Physics Reports*, 302, 1-65 (1998)
- [9] Nikolaos LIMNIOS, "*Introduction à la méthode de Monte Carlo*", Université Technologique de Compiègne (UTC) (2005)
- [10] Don L. McLeish, "*Monte Carlo Methods in Finance*", N/A, (August 2000)
- [11] Vladimir V. Uchaikin and Vladimir M. Zolotarev, "*CHANCE and STABILITY Stable Distributions and their Applications*", VSP (1999)
- [12] D. P. Kilcrease and M. S. Murillo, *J. Quant. Spect. Radiat. Transf.*, **Vol. 65**, 343 (2000)
- [13] K. Chenini, F. Khelfaoui, S. Guerricha, S. Chihi, A. Ouahab, and M.T. Meftah, *Contrib. Plasma Phys.* **51**, No. 1, 34 – 43 (2011)