Modèle Collisionnel Radiatif pour l'argon en présence de turbulences plasma :

Approche Stochastique

Mathieu Sarrat, Fabrice Catoire (CELIA - Bordeaux)

INTRODUCTION

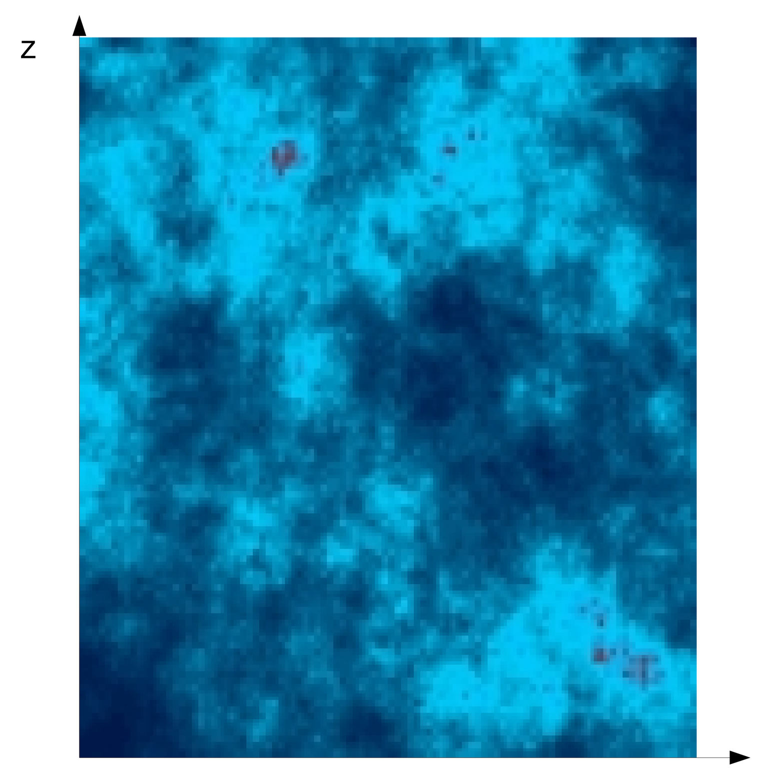
Au cours de ce travail de stage, nous avons développé un modèle collisionnel radiatif pour l'argon, permettant d'évaluer quantitativement l'effet des fluctuations de grandeurs macroscopiques (ici la température T) sur des rapports de raies d'émission de l'argon neutre.

Plus particulièrement, les fluctuations de température sont représentées ici par une succession de paliers statistiquement indépendants. La durée et l'amplitude de ces paliers sont générées aléatoirement selon deux densités de probabilité : la fonction de densité de probabilité (PDF) pour les valeurs de T et la distribution de temps d'attente (WTD) pour la durée des paliers. Cette approche est qualifiée de stochastique.

Nous appliquons ce modèle pour une PDF et une WTD exponentielles et étudions la dépendance des populations vis à vis de la fréquence de turbulence ν, cette dernière étant définie comme l'inverse de la durée moyenne des paliers par le biais de la fonction de corrélation des paliers.

DESCRIPTION DU MODÈLE

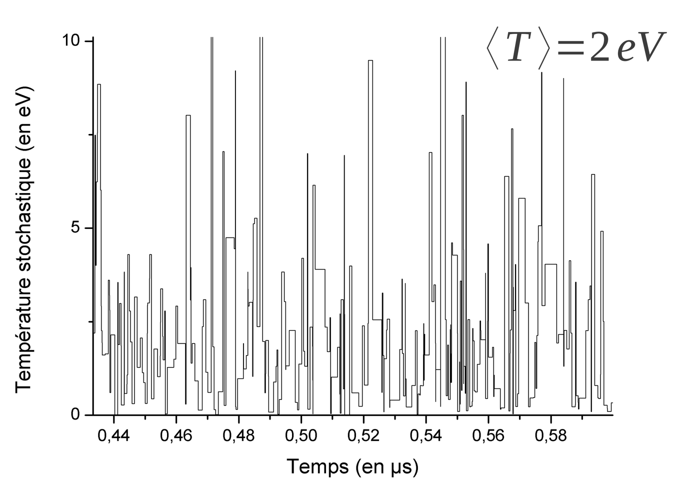
Turbulence et fluctuations



Vue de coupe des fluctuations de densité d'un plasma. Par une approche de type gaz parfait on peut les relier aux fluctuations de T.

$$\varphi(t)=\nu\exp(-\nu t) \quad \text{WTD}$$

$$p(T)=\frac{1}{\langle T\rangle}\exp\left(\frac{-T}{\langle T\rangle}\right) \quad \text{PDF}$$



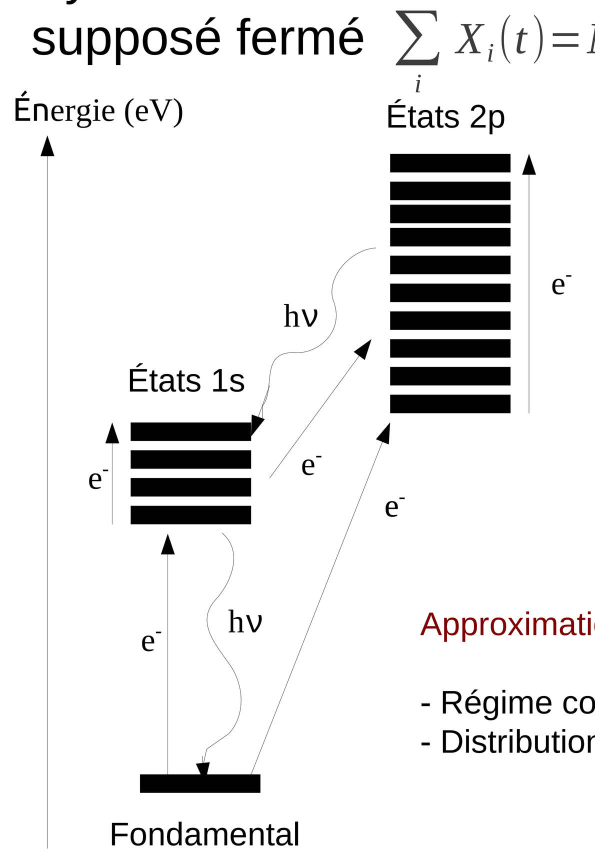
$$C(t)=\frac{\langle\delta T(t)\delta T(0)\rangle}{\langle\delta T(0)^2\rangle}=\int_t^\infty dt\,\varphi(t)$$

est la fonction de corrélation des paliers et on définit :

$$\frac{1}{\nu}=\int_0^\infty t\,\varphi(t)=\langle t\rangle$$

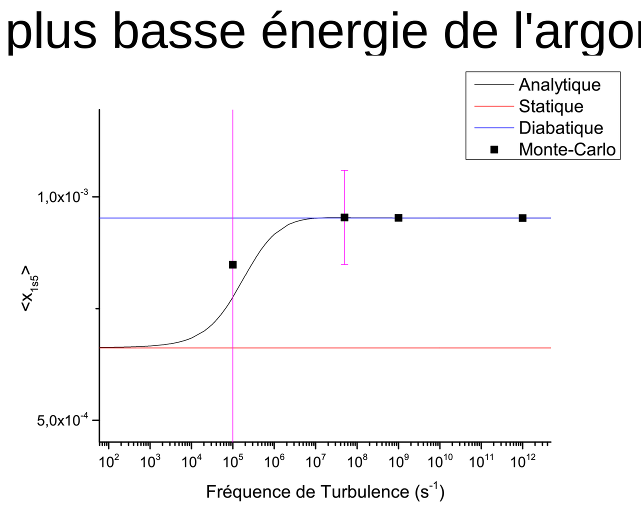
RÉSULTATS

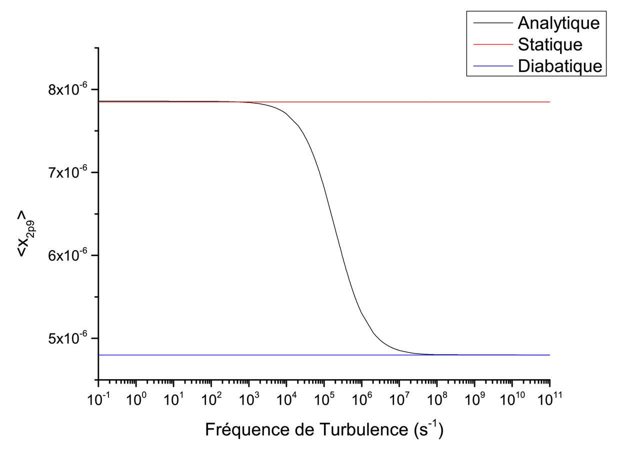
Système constitué des 15 états de plus basse énergie de l'argon, supposé fermé $\sum_i X_i(t)=N_0=cte$



Approximations :

- Régime coronal
- Distribution de Maxwell





MÉTHODES

On veut résoudre l'équation des taux décrivant la dynamique des populations x [1] :

$$\frac{dx}{dt}=M[T]x(t)$$ où M contient les taux de transition.

et où x est normalisé tel que $$x(t)=\frac{X(t)}{\sum_i X_i(t)}=\frac{X(t)}{N_0}$$

Deux méthodes de résolution :

- **méthode de Monte-Carlo**
  - moyenne des populations sur un très grand nombre de cartes de température

- **méthode analytique**
  - donne la dépendance en ν des populations et permet de caractériser totalement deux cas limites (statique pour ν petit et diabatique pour ν grand)

Résolution de l'équation des taux avec fluctuations

$$\frac{dx}{dt}=M[T]x(t) \quad \text{où} \quad x(t)=G(t,0)x_0 \quad \text{et où} \quad G(t)=e^{Mt} \quad \text{pour un palier donné.}$$

En moyennant sur l'ensemble des réalisations possibles :

$$\widetilde{\langle G\rangle}(s)=[Id-\nu\widetilde{G_{ST}}(s)]^{-1}\widetilde{G_{ST}}(s) \quad \text{(on passe dans l'espace de Laplace)}$$

avec $$\widetilde{G_{ST}}(s)=\left\langle\frac{1}{(s+\nu)Id-M[T]}\right\rangle=\int_0^\infty dT\,p(T)\frac{1}{(s+\nu)Id-M[T]}$$

D'où la moyenne de la solution stationnaire : $$\langle x_\infty\rangle=\lim_{s\to0^+}s\widetilde{\langle G\rangle}(s)x_0=\lim_{t\to\infty}\langle x(t)\rangle$$

2 cas limites :

- $\upsilon \ll \upsilon_{at}$: limite **statique** (paliers longs) $\langle x_\infty\rangle\equiv x_{ST}=\int dT p(T)x_\infty[T]$
- $\upsilon \gg \upsilon_{at}$: limite **diabatique** (paliers courts) : $\langle M\rangle x_{DB}=0$

Ces limites ne dépendent pas des populations initiales.

CONCLUSION

Nous avons pu mettre en évidence la dépendance vis à vis de la fréquence de turbulence des populations des quinze premiers états de l'argon neutre, et distingué deux cas limites ainsi que deux types de comportement. Nous avons également constaté l'apparition de résonances dans certains cas, ces résonances pouvant être reliées aux valeurs propres de $\langle M\rangle$, correspondant à l'inverse de durées caractéristiques de la dynamique interne du système en régime diabatique [2]. Il serait intéressant de pouvoir comparer les résultats obtenus à des données expérimentales pour valider ou non les hypothèses sur lesquelles se fonde notre traitement de l'argon, ainsi que de prendre en compte les états 3d de Paschen, proches en terme d'énergie des états 2p. Il serait également intéressant de voir si les collisions avec les ions influent de manière significative sur la dynamique du système.

Références :
[1] F. Catoire *et al.*, *Population kinetics in fluctuating plasmas (Physical Review A 83, 012548, 2011)*
[2] F. Catoire *et al.*, *A resonance effect of the atomic populations kinetics induced by a fluctuating plasma (Eur. Phys. J D 65, 481 488 (2011))*