

Les raies Lyman- $\alpha_1$  et Lyman- $\alpha_2$  associées aux transitions  $2p \ ^2P_{3/2} \rightarrow 1s \ ^2S_{1/2}$  et  $2p \ ^2P_{1/2} \rightarrow 1s \ ^2S_{1/2}$  dans des ions hydrogénoïdes fortement chargés sont fréquemment observées dans les spectres d'émission X-mou (domaine de longueur d'onde  $\sim 1-25 \text{ \AA}$ ) d'une grande variété de plasmas chauds. Cela concerne aussi bien les plasmas présents dans l'Univers, notamment les couronnes stellaires et les restes de supernovae, que ceux produits en laboratoire, notamment les plasmas produits par laser et les plasmas de tokamak.

A côté de ces raies on observe un deuxième type de raies dont certaines peuvent être assez intenses et qui présentent une grande importance pour les diagnostics des plasmas. Ces raies, appelées raies satellites, sont dues aux transitions du type  $2s2p \rightarrow 1s2s$  ou  $2p^2 \rightarrow 1s2p$ . Elles correspondent à la transition parente  $2p \rightarrow 1s$  en présence d'un électron lié spectateur  $2s$  ou  $2p$ , et sont issues des niveaux doublement excités  $2l2p$  (avec  $l=0$  ou  $1$ ) situés au dessus de la première limite d'ionisation de l'ion héliumoïde correspondant. Dans le cas des plasmas chauds et peu denses, où la presque totalité des ions héliumoïdes sont dans leur niveau fondamental  $1s^2 \ ^1S_0$ , les raies satellites  $2l2p \rightarrow 1s2l'$  sont formées principalement à partir du processus de capture diélectronique des ions hydrogénoïdes. Dans ce processus qui est le processus atomique inverse de l'autoionisation, un électron libre du plasma est capturé par l'ion hydrogénoïde avec simultanément excitation de l'électron lié  $1s$  de l'ion cible hydrogénoïde.

Depuis les travaux pionniers de Gabriel et collaborateurs en 1972 [1-4], il est clairement établi que l'analyse des raies Lyman- $\alpha$  et des raies satellites associées constitue un moyen efficace pour effectuer un diagnostic des plasmas émissifs et pour connaître ainsi les conditions physiques régnantes à l'origine de telles émissions. Plus précisément, la température électronique d'un plasma chaud peut être déduite spectroscopiquement avec fiabilité à partir de la mesure du rapport d'intensité de raies satellites de recombinaison diélectronique sur celle de la raie de résonance associée. Ce rapport varie typiquement fortement avec la température et ne nécessite pas d'hypothèses associées aux calculs d'équilibre d'ionisation puisque les deux types de raies sont produites à partir du même ion.

Dans ce mémoire, nous avons entrepris une étude théorique détaillée des intensités relatives des raies de résonance Lyman- $\alpha$  de l'ion calcium  $\text{Ca}^{19+}$  et des raies satellites diélectroniques de l'ion  $\text{Ca}^{18+}$  émises dans le domaine de longueur d'onde 3.01–3.06 Å par un plasma chaud dont la distribution d'énergie des électrons libres est supposé Maxwellienne. Tous les processus atomiques pouvant contribuer à la formation de ces raies ont été pris en compte, ceci dans le cadre d'un plasma de densité relativement basse. Précisément, nous avons inclus l'excitation par impact d'électrons (directe et résonnante à partir du niveau fondamental  $n=1$ ), les cascades radiatives provenant de niveaux supérieurs  $n=3-4$ , ainsi que la recombinaison radiative des ions nus  $\text{Ca}^{20+}$  pour la formation des raies Ly- $\alpha_1$  et Ly- $\alpha_2$ . D'autre part, pour la formation des raies satellites nous avons considéré la recombinaison diélectronique des ions  $\text{Ca}^{19+}$ . Toutes les données atomiques de base –à savoir énergies de niveaux, probabilités de transition radiative, probabilités d'autoionisation, forces de collision–nécessaires à la détermination des intensités des raies ont été obtenues au moyen du code FAC (Flexible Atomic Code) mis au point par Gu en 2003 [5], et qui est réputé donner des résultats précis. Nous avons calculé les rapports d'intensité de raies en fonction de la température électronique du plasma émissif dans un large intervalle entre  $5 \times 10^6$  et  $3.5 \times 10^7$  K. Nous avons appliqué nos calculs des deux rapports d'intensité  $J/\text{Ly-}\alpha_1$  et  $J/(\text{Ly-}\alpha_2 + \text{M1})$ , où  $J$  correspond à la raie satellite diélectronique  $2p^2 \ ^1D_2 \rightarrow 1s2p \ ^1P_1$  qui est la plus intense, pour déduire la température électronique à partir du spectre de l'ion  $\text{Ca}^{19+}$  observé de plasmas d'éruption solaire [6].

Le contenu du présent travail de recherche sera structuré dans ce mémoire à travers les chapitres suivants :

Le premier chapitre comportera les généralités sur les plasmas chauds. Cela concerne aussi bien les plasmas présents dans l'Univers, c'est-à-dire les plasmas astrophysiques, que ceux produits en laboratoire, notamment les plasmas de tokamak. Puis, nous donnons un bref aperçu sur la spectroscopie des rayons X.

En deuxième chapitre, nous exposons les différents processus atomiques se produisant dans les plasmas chauds considérés, parmi lesquels on peut citer l'excitation et la désexcitation collisionnelles, l'excitation résonnante, l'ionisation collisionnelle et la

recombinaison à trois corps, photoionisation et recombinaison radiative, recombinaison diélectronique et autoionisation, et émission spontanée et induite.

Le troisième chapitre sera consacré aux diagnostics en température des plasmas chauds. En premier lieu, nous rappelons les différents modèles qui décrivent les plasmas homogènes uniformes et stationnaires selon leurs températures et leurs densités. Par la suite, nous présenterons deux méthodes spectroscopiques considérées comme outils efficaces de diagnostic de la température électronique des plasmas chauds dans l'hypothèse d'une distribution Maxwellienne d'électrons libres.

Dans le quatrième chapitre, nous effectuerons des calculs de rapports d'intensité de raies satellites de recombinaison diélectronique dans l'ion  $\text{Ca}^{18+}$  sur celles des raies  $\text{Ly-}\alpha_1$ ,  $\text{Ly-}\alpha_2$  et M1 émises par les ions hydrogéoïdes  $\text{Ca}^{19+}$ , qui apparaissent dans le domaine de longueur d'onde 3.017–3.080 Å en fonction de la température électronique  $T_e$  du plasma émissif variant de  $5 \times 10^6$  à  $35 \times 10^6$  K. Nous avons mentionné dans ce chapitre les cascades radiatives issues des niveaux supérieurs, l'intensité relative des raies de résonance, puis nous avons exposé et discuté les données atomiques et nos résultats numériques sur les variations des rapports d'intensité en fonction de la température électronique. Enfin, nous avons présenté des applications aux diagnostics des plasmas d'éruptions solaires. Mentionnons que nous avons obtenu des résultats proches de ceux qui ont été publiés par Blanchet et al. [7].

Enfin nous terminons ce Mémoire par une conclusion générale.