

**\*\*English version below\*\***

Bonjour à tous,

J'ai le plaisir de vous inviter à ma soutenance de thèse intitulée "Pulsations d'intensité de longue période : signature de la stratification et de la fréquence du chauffage dans les boucles coronales solaires"

Elle aura lieu le 29 septembre à 10h30 en salle 1-2-3.

Vous êtes également bienvenus au pot qui suivra.

En espérant vous voir nombreux!

Amicalement,

Clara

Résumé : Il a été découvert récemment que les pulsations d'intensité de longue période (entre 3 et 16 heures) sont très répandues dans la couronne solaire et en particulier dans les boucles coronales. Les processus de chauffage des boucles coronales, qui permettent de porter le plasma à des températures de l'ordre du million de degrés et de le maintenir confiné à ces températures, restent mal compris. Ces pulsations dans l'extrême ultraviolet amènent de nouvelles contraintes observationnelles pour les modèles de boucles coronales et par conséquent pour mieux comprendre leur dynamique et leur chauffage. Le thème central de cette thèse est l'exploration des origines physiques possibles pour ce phénomène.

J'ai dans un premier temps utilisé un code de détection, initialement développé pour les données de l'imageur SoHO/EIT, sur l'archive de l'instrument SDO/AIA. J'ai pu détecter des milliers d'événements sur six ans de données, la moitié d'entre eux se concentrant dans des régions actives et environ la moitié encore de ces événements pouvant être clairement identifiés dans des boucles. Parmi ces milliers d'événements, j'ai sélectionné trois cas associés à des boucles, avec un signal de détection fort et permettant d'explorer une large gamme de périodes.

Grâce à l'utilisation des six bandes coronales d'AIA, j'ai pu dans un deuxième temps réaliser une analyse de la structure thermique de ces boucles via la reconstruction de la mesure d'émission différentielle (DEM, pour Differential Emission Measure) et l'étude des décalages temporels entre les intensités des six bandes. La température et la densité du plasma reconstruites évoluent de façon périodique avec un retard temporel entre ces deux quantités. Ce comportement, caractéristique de cycles d'évaporation et de condensation du plasma, m'a permis de rapprocher ces pulsations d'intensité à un phénomène bien connu dans les simulations numériques et pour des structures comme les protubérances et la pluie coronale : l'absence d'équilibre thermique ou thermal non-equilibrium (TNE). Une analyse des caractéristiques des spectres de puissances observés a permis par ailleurs de confirmer cette conclusion. Le TNE intervient lorsque le chauffage dans les boucles est stratifié en altitude, avec un chauffage plus important à basse altitude et lorsque le chauffage est quasi-constant. L'identification non ambiguë du TNE dans les boucles a donc des implications très importantes pour la compréhension du chauffage des boucles.

Dans un troisième temps, je me suis attachée à reproduire ces pulsations d'intensité par la simulation et à déterminer les propriétés intrinsèques des boucles qui favorisent l'apparition de ces cycles d'évolution dans certaines boucles. J'ai notamment utilisé des extrapolations du champ magnétique des trois régions étudiées en détail avec AIA, pour étudier la géométrie de boucles. Ces géométries ont ensuite été utilisées en entrée du code de simulation hydrodynamique 1D. J'ai alors balayé l'espace des paramètres des fonctions de chauffage utilisées et pu déterminer que les

conditions d'apparition de cycles de TNE proviennent d'une combinaison de la géométrie de la boucle et des paramètres du chauffage (asymétrie et puissance). Ce qui explique que certaines boucles présentent des pulsations d'intensité et d'autres non. J'ai de plus étudié une simulation en particulier, dont les paramètres physiques du plasma sont proches de ceux observés pour un cas étudié avec AIA. Les intensités EUV alors simulées reproduisent bien celles observées. Le modèle étudié permet d'expliquer les pulsations observées en terme de cycles d'évaporations et condensation incomplètes (températures et densités du plasma qui restent coronales).

-----

Hello everyone,

I am pleased to invite you to my PhD defense on "Long-period intensity pulsations as the manifestation of heating stratification and timescale in solar coronal loops".

It will be held the 29th of September at 10:30 in room 1-2-3.

You are also very welcome to the buffet that will follow.

Kind regards,

Clara

Abstract: Long-period EUV intensity pulsations (periods from 3 to 16 hours) have been found recently to be very common in the solar corona and especially in coronal loops. The heating mechanism(s) of solar coronal loops that generate million-degree plasma and maintain it confined at this temperature remain unknown. These intensity pulsations (extreme ultraviolet) provide new constraints for loops models and thus to better understand coronal loops dynamics and heating. The central topic of this thesis is to explore the possible physical explanations for this phenomenon.

First, I used a detection code, initially developed for SoHO/EIT images, on the SDO/AIA archive. I detected thousands of events in the six years of data, half of them corresponding to active regions and about the half of whom are identified as corresponding to coronal loops. I selected three cases of long-period intensity pulsation events in loops, with a clear detection signal and allowing to scan different periods.

Second, using the six coronal channels of AIA, I made a detailed study of the thermal structure of these loops. I used both differential emission measure (DEM) reconstructions and an analysis of the time-lags between the intensities in the six channels. The temperature and the density are found to be periodic with a time delay between these two physical parameters of the plasma. This behavior is characteristic of evaporation and condensation cycles of the plasma and it allowed me to connect these intensity pulsations to thermal non-equilibrium (TNE), a well-know phenomenon in numerical simulations and for structures such as prominences and coronal rain. Moreover, an analysis based only on the shape of power spectra allowed to confirm this conclusion. TNE happens when the heating is highly-stratified (mainly concentrated at low altitudes) and quasi-constant. Unambiguous identification of TNE in coronal loops has thus important implications for understanding coronal heating.

Third, I aimed at reproducing the observed intensity pulsations by simulations and at determining the intrinsic properties of coronal loops that favor these particular cycles of evolution. I made extrapolations of the magnetic field for the three regions studied to determine the loops geometry. These geometries have been then used as inputs for 1D hydrodynamic simulations. I conducted a parameter space study that revealed that the TNE cycles occurrence is sensitive to a combination of the loop geometry and heating parameters (asymmetry and heating power). This allows me to explain why these pulsations are encountered in some loops but not in all. I studied one simulation in particular, matching the observed characteristics of the plasma evolution. I derived the

corresponding AIA synthetic intensities which reproduced the main characteristics of the observed pulsations. This model allows me to explain the observed pulsations as evaporation and incomplete condensation cycles (temperature and density remaining coronal).