EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE D'UN PLASMA SOUMIS A UN COURANT DE DECHARGE

Soubbaramayer, C. Mercier

► To cite this version:

Soubbaramayer, C. Mercier. EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE D'UN PLASMA SOUMIS A UN COURANT DE DECHARGE. Journal de Physique Colloques, 1971, 32 (C5), pp.C5b-79-C5b-80. 10.1051/jphyscol:1971582 . jpa-00214801

HAL Id: jpa-00214801

<https://hal.science/jpa-00214801>

Submitted on 1 Jan 1971

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE D'UN PLASMA SOUMIS A UN COURANT DE DECHARGE

C. Mercier et Soubbaramayer

ASSOCIATION EURATOM-CEA

Département de la Physique du Plasma et de la Fusion Contrôlée

Centre d'Etudes Nucléaires

Boîte Postale n° 6 - 92 Fontenay-aux-Roses (France)

Résumé

L'évolution d'un plasma soumis à un courant de décharge est simulée par un modèle mathématique. Une expression est proposée pour la conductivité thermique électronique permettant d'expliquer les principaux résultats expérimentaux sur T.3 (KURCHATOV) et S.T (PRINCETON).

Abstract

A mathematical model simulates the evolution of a plasma submitted to a discharge current. We propose an expression of the thermal electronic conductivity allowing us to explain the important experimental results on T.3 (KURCHATOV) and S.T (PRINCETON).

I - INTRODUCTION. L'évolution spatio-temporelle d'un plasma soumis à un courant de décharge est décrite par un modèle [1] magnéto-dynamique à deux fluides. Les appareils du type TOKOMAK confinent en effet le plasma par ce procédé et donnent actuellement de bonnes performances. L'analyse du bilan énergétique dans les expériences de KURCHATOV ou de PRINCETON montre que les effets prédominants peuvent se ramener aux diffusions du courant électrique, de la chaleur électronique et de la chaleur ionique sous l'effet des coefficients de transport (résistivité électrique, conductivités thermiques électronique et ionique) d'une source d'énergie (effet JOULE) et d'un transfert d'énergie des électrons aux ions par collisions COULOMBIENNES. Les conductivités thermiques des électrons et des ions entraînent des pertes d'énergie de surface.

II - MODELE MATHEMATIQUE. En approximation cylindrique, le système des équations des 3 diffusions ci-dessus citées s'écrit donc :

$$(1) \begin{cases} \frac{\partial J}{\partial t} - \frac{1}{4\pi} \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left[\rho \frac{\partial}{\partial \rho} (\eta J) \right] = 0 \\ n_e \frac{\partial T_e}{\partial t} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho k_e \frac{\partial T_e}{\partial \rho} \right) - \eta J^2 + \alpha (T_e - T_i) = 0 \\ n_i \frac{\partial T_i}{\partial t} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho k_i \frac{\partial T_i}{\partial \rho} \right) - \alpha (T_e - T_i) = 0 \end{cases}$$

où ρ, t sont les coordonnées radiales et temporelles, J la densité du courant électrique, T_e et T_i les températures électronique et ionique, η la résistivité électrique, k_e et k_i les conductivités thermiques électronique et ionique, α le coefficient de transfert d'énergie des électrons aux ions, n_e la densité des électrons ($n_e = n_i$).

Les conditions initiales et aux limites sont :

$$(2) \begin{cases} t=0 & J, T_e, T_i \text{ donnés} \\ \rho=0 & \frac{\partial}{\partial \rho} = 0 \\ \rho=a & T_e = T_i = 0 \end{cases} \quad \int_0^a J \rho d\rho 2\pi = I(t) \\ I(t) \text{ donné}$$

a le rayon du plasma (donné).

Les équations (1) et (2) constituent le modèle. Le système est complet si l'on se donne les fonctions n_e, η, k_e, k_i et α . Nous prendrons, $n_e(\rho)$ mesuré, l'expression classique pour α , l'expression des particules trappées de GALEEV-SAGDEV pour k_i , et pour η l'expression de SPITZER de la résistivité électrique corrigée des effets d'impuretés et de la dérive des électrons due au champ électrique. Quant à k_e , on sait que les expressions classiques ou néo-

classiques n'expliquent pas les très nombreux résultats expérimentaux. Nous avons choisi le modèle suivant : soit θ le cisaillement à la périphérie du plasma. On sait qu'une grande valeur de θ est un facteur de stabilisation vis-à-vis de quelques types d'instabilités. Désignons par θ_{crit} une certaine valeur critique du cisaillement et posons :

$$(3) \begin{cases} K_e = K_0 \nu r_\phi^2 & \text{pour } \theta < \theta_{crit} \\ K_e = \lambda K_{eGS} & \text{pour } \theta > \theta_{crit} \end{cases}$$

où ν est la fréquence de collision des électrons, r_ϕ le rayon de Larmor de l'électron dans le champ poloidal B_ϕ , K_{eGS} l'expression de K_e donnée par GALEEV-SAGDEV, K_0 et λ deux constantes. Des calculs numériques [2] faits sur un ordinateur ont donné les résultats suivants, qui sont tous en accord avec les résultats expérimentaux.

III - RESULTATS .

1°/ - Au début de la décharge, on a $\theta < \theta_{crit}$. La chaleur diffuse très rapidement vers l'axe du plasma. Les effets de peau de température disparaissent quelques millisecondes après le début de la décharge.

2°/ - Pour des expériences à forte valeur du cisaillement (expériences sur T.3) le plasma débute par $\theta < \theta_{crit}$ et passe

ensuite dans la région $\theta > \theta_{crit}$. Un état stationnaire, du type "parabolique", s'établit assez rapidement (quelques dizaines de millisecondes).

3°/ - Pour des expériences à faible valeur de cisaillement (expérience Princeton) le plasma reste dans la zone $\theta < \theta_{crit}$. Aucun état stationnaire n'est atteint, les profils de température (du type $\log p$ sauf pour $p=0$) se piquant de plus en plus vers l'axe.

4°/ - Pour des valeurs données du courant de décharge et du champ magnétique, une augmentation de densité électronique fait passer le plasma par des états transitoires à forte valeur de l'inductance. Ceci peut provoquer divers effets (instabilités M.H.D., déplacement du plasma vers les parois, dérive des électrons, rayons X etc...) rendant prohibitifs ces états transitoires.

5°/ - Une deuxième remontée du courant de décharge peut entraîner un refroidissement du plasma (effet MIRNOV).

6°/ - La valeur de la température mesurée à un instant donné dépend fortement du profil du courant de décharge.

IV - CONCLUSION. On retrouve qualitativement et même quantitativement les principaux résultats expérimentaux connus actuellement. Il faut remarquer l'influence prépondérante de la dépendance fonctionnelle des coefficients K_e (par exemple en $T^{3/2}$ pour $\theta > \theta_{crit}$ et $T^{-1/2}$ pour $\theta < \theta_{crit}$). Une approche analytique simplifiée confirme l'importance qualitative de cette dépendance

BIBLIOGRAPHIE

- [1] MERCIER (C.) et SOUBBARAMAYER, Communication à la 4ème Conférence Internationale sur la Fusion Contrôlée (AIEA, Madison 1971).
KOSTOMAROV, 4ème Conférence Européenne sur la

- Fusion Contrôlée (Rome, Sept. 1971)
[2] L'étude numérique du système (1) et (2) a été faite par BOUJOT (J.P.) sur l'IBM-360-91 de Saclay.