

Le programme de recherche dans le domaine de la fusion thermonucléaire consiste à porter un gaz composé d'éléments légers à des températures extrêmement élevées et de le confiner pendant un temps suffisamment long dans un volume fini. La machine de type Tokamak, réacteur de fusion toroïdal axialement symétrique et qui a fait l'objet d'une part croissante des recherches sur le confinement magnétique d'un plasma de fusion a donné à ce jour les résultats les plus satisfaisants, a d'abord été décrite. Le potentiel réacteur du Tokamak pourrait être considérablement amélioré s'il était amené à opérer en régime permanent. Ceci ne serait possible que si la conduction de courant toroïdal se faisait d'une manière continue et non inductive. Les différentes méthodes de chauffage et de conduction de courant dans les plasmas de Tokamak ont été passées en revue. L'accent a été mis sur la nécessité d'utiliser une méthode de chauffage auxiliaire étant donné que le chauffage par effet Joule a des limites physiques. Le chauffage à l'aide d'une onde hybride inférieure et d'une onde cyclotronique électronique ou chauffage radiofréquence ont été introduits. L'action de la composante parallèle au champ magnétique toroïdal du champ électrique de l'onde hybride inférieure sur une classe particulière d'électrons du plasma et l'absorption par amortissement Landau par ces électrons ont été décrites. Le chauffage et la conduction de courant à l'aide d'un champ électromagnétique oscillant à la fréquence cyclotronique électronique et la localisation de l'absorption de l'énergie de l'onde ont été mis en exergue. La relation de dispersion, la condition de résonance et la fraction de l'énergie déposée dans le plasma ont été abordés. L'électron, sujet à de fréquentes collisions coulombiennes, interagit avec les autres particules chargées du plasma. Les opérateurs de collision relativiste et non relativiste électrons-ion et électron-électron ont été développés à partir de la forme Landau des intégrales de collisions. Dans le but d'étudier le chauffage et la conduction de courant à l'aide d'une onde hybride inférieure avec les électrons non relativistes, nous avons résolu l'équation quasilineaire de Fokker-Planck composée de l'opérateur non relativiste de collision et de l'opérateur de diffusion quasilineaire à l'aide de la méthode numérique Alternating Direction Implicit (A.D.I), basée sur les différences finies. Chaque opérateur de dérivation qui agit sur la fonction de distribution est approximé par des différences finies

en chaque point de la grille de discrétisation. Par la subdivision de l'intervalle de temps en deux sous intervalles et en considérant la fonction de distribution implicite par rapport à l'une des variables et explicite par rapport aux autres et par la considération des conditions aux limites sur la fonction de distribution, nous obtenons des systèmes tridiagonaux dans chaque sous intervalle dont la résolution est effectuée grâce à la méthode de décomposition LU . Certains auteurs utilisent au contraire la méthode des éléments finis [36], où la fonction de distribution est développée sur des fonctions de base telles les fonctions chapeaux, d'autres se penchent sur des solutions analytiques approchées en utilisant un développement sur la base des polynômes de Legendre [40]. Nous avons montré qu'un régime permanent s'établit, résultat d'un équilibre entre les collisions et la diffusion quasilinear par l'onde hybride inférieure. Etant donné que l'onde hybride inférieure diffuse les électrons en résonance avec celle-ci dans la direction du champ magnétique toroïdal, nous avons intégré, à l'instant où le régime permanent est établi, la fonction de distribution des électrons sur la composante perpendiculaire au champ magnétique toroïdal de la vitesse des électrons. L'allure de la fonction de distribution des vitesses présente un quasi-plateau dans la région de résonance avec l'onde hybride inférieure indiquant la naissance d'une population d'électrons chauds et énergétiques. En dehors de la région de résonance, l'allure de la fonction de distribution des vitesses n'est plus maxwellienne indiquant la formation d'une population d'électrons suprathermiques très énergétiques. Nos résultats montrent que l'amortissement Landau de l'onde hybride inférieure augmente la température perpendiculaire des électrons du quasi-plateau, sujets à de rares collisions, ces électrons peuvent conserver la direction et le module de leurs vitesses assez longtemps et constituent donc la majorité des porteurs de courant toroïdal. La puissance dissipée par l'onde hybride inférieure dans le plasma pour entretenir ce courant et l'efficacité de conduction de la méthode de chauffage par l'onde hybride inférieure ont alors été calculées en fonction de la position radiale. Nos résultats sont en bon accord avec ceux établis dans la littérature [11] [16]. La diffusion rapide des électrons du quasi-plateau induit un champ électrique qui a tendance à les retenir et à s'opposer à l'augmentation du courant toroïdal ainsi conduit. Nos résultats numériques montrent qu'une augmentation des valeurs du champ électrique induit détruit le quasi-plateau et la queue suprathermique de la fonction de distribution des électrons. De même leur température perpendiculaire. Nous avons simulé, en dernière étape, les conséquences de la dégradation du temps de confinement de l'énergie des électrons suprathermiques. Nous avons montré qu'une diminution du temps de confinement limite la formation des électrons du quasi-plateau et des électrons suprathermiques et entraîne une diminution de la température perpendiculaire et du courant toroïdal.

Dans le but de compléter notre étude nous avons simulé le chauffage et la conduction du courant dans un plasma chauffé à l'aide d'une onde cyclotronique électronique en présence d'une onde hybride

inférieure. Le plasma est d'abord chauffé à l'aide d'une onde hybride inférieure, ensuite nous lui superposons une onde cyclotronique électronique. Nous avons alors opté pour un modèle cinétique dont l'équation de base est l'équation relativiste quasilineaire de Fokker-Planck composée de l'opérateur relativiste de collision et de l'opérateur de diffusion quasilineaire. Nous avons alors résolu, à l'aide de la méthode numérique A.D.I, l'équation relativiste quasilineaire de Fokker-Planck. Les résultats montrent qu'un régime permanent s'établit, résultat d'un équilibre entre les collisions et la diffusion quasilineaire. En régime permanent, nous avons montré l'existence d'un quasi-plateau dans la courbe de la fonction de distribution des moments des électrons relativistes dans la direction parallèle au champ magnétique toroïdal indiquant la formation d'une population d'électrons relativistes chauds et énergétiques qui constituent la majorité des porteurs du courant toroïdal. Nous avons montré aussi que l'amortissement Landau de l'énergie de l'onde hybride inférieure augmente la température perpendiculaire des électrons relativistes. De même nous avons montré l'existence d'un régime permanent dans le cadre du chauffage et la conduction du courant à l'aide d'une onde cyclotronique électronique injecté dans un plasma de Tokamak. Nos résultats indiquent une déformation asymétrique dans la courbe de la fonction de distribution des moments des électrons indiquant la formation d'électrons chauds et énergétiques et la génération d'un courant non nul en régime permanent. L'énergie déposée par l'onde cyclotronique électronique dans le plasma est directement transférée aux électrons relativistes sous forme d'énergie cinétique perpendiculaire. Ceci est confirmé par la distorsion de la courbe de la température perpendiculaire. Une combinaison d'une onde hybride inférieure et d'une onde cyclotronique électronique a donné de meilleurs résultats : une population d'électrons chauds et énergétique plus nombreuse une augmentation de la température perpendiculaire et une densité de courant toroïdale plus grande. Les résultats montrent que la densité de courant toroïdal conduit par la combinaison des deux ondes est supérieure à la somme des densités de courant conduit par chaque onde séparément, signe que des phénomènes non linéaires se sont manifestés.

Les perspectives de notre travail sont multiples. Nous nous proposons à l'avenir de faire l'investigation numérique du chauffage radiofréquence sous l'influence de la diffusion spatiale [41], [42] des électrons suprathermiques du plasma et la modification apportée aux grandeurs physiques que nous avons calculées précédemment.