

M2 LISTE of ELECTIVE COURSES

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : S&T_Master Physique **Numéro de l'UE :** Nom

complet de l'UE : 902 Physics and Technology of Magnetized Fusion Plasmas Composante de

rattachement : FA0 Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Etienne Gravier

etienne.gravier@univ-lorraine.fr

Enseignements composants l'UE	CNU	CM	TD	PRJ	EqTD
902 Physics and Technology of Magnetized Fusion Plasmas	3000	30			45

lorraine.fr Semestre : 9 Volume horaire enseigné : 30h, Nombre de crédits ECTS : 3 Volume horaire

travail personnel de l'étudiant : 30h Langue d'enseignement de l'UE : Anglais

Descriptif

Cet enseignement est une introduction générale à la physique des plasmas de fusion par confinement magnétique. Il introduit les divers concepts théoriques et technologiques des réacteurs de fusion magnétique. Après une introduction générale, ce cours reprend les concepts fondamentaux de la physique des plasmas indispensables à la compréhension des plasmas dits de fusion. Il introduit les éléments de base de la magnétohydrodynamique conduisant à l'étude de l'équilibre macroscopique du plasma confiné et à l'équation de Grad-Shafranov, ainsi que la stabilité des plasmas en géométrie magnétique et en coordonnées de flux. Le but est de familiariser les étudiants avec les concepts très divers allant de la dynamique des particules chargées, de la théorie hamiltonienne, des ondes et du chauffage jusqu'au concept de transport. Il s'agit d'avoir une idée générale des phénomènes physiques rencontrés dans les plasmas de réacteur (confinement, instabilités, disruption, transition LH, etc.). Une seconde partie concerne l'aspect technologique lié à la conception du réacteur, le problème du confinement et la réalisation des bobines magnétiques supraconductrices, les techniques de chauffage additionnel, l'injection des neutres, les divers concepts de divertors et limiteurs, l'extraction de puissance, les matériaux en présence des flux de neutrons élevés.

This teaching is a general introduction to the physics of fusion plasmas by magnetic confinement. It introduces the various theoretical and technological concepts of magnetic fusion reactors. After a general introduction, this course takes up the fundamental concepts of the physics of the plasmas essential to the understanding of the plasmas known as fusion. It introduces the basic elements of magnetohydrodynamics leading to the study of the macroscopic equilibrium of confined plasma and the Grad-Shafranov equation, as well as the stability of plasmas in magnetic geometry and flux coordinates. The aim is to familiarize students with a wide range of concepts ranging from loaded particle dynamics, Hamiltonian theory, waves and heating to the concept of transport. It is a question of having a general idea of the physical phenomena encountered in the reactor plasmas (confinement, instabilities, disruption, LH transition, etc.). A second part concerns the technological aspect related to the design of the reactor, the confinement problem and the production of superconducting magnetic coils, additional heating techniques, neutron injection, various diverter and limiting concepts, extraction Power, materials in the presence of high neutron fluxes.

Pré-requis

Bases de la physique des plasmas - Basic plasma physics. En fonction du public suivant l'UE, l'enseignement se fera en anglais ou en français -Teaching will be in English or French according to the audience attending the lectures.

Acquis d'apprentissage

Mouvement d'une particule chargée dans une configuration électromagnétique donnée Single particle motion in a nonuniform electromagnetic field. Magnétohydrodynamique (équilibre et stabilité du plasma) - MagnetoHydroDynamics (plasma equilibrium and stability). Modélisation et simulations - Modelling and numerical simulations. Bobines magnétiques, confinement, transport, chauffage - Magnetic coils, confinement, transport, heating. Allumage thermonucléaire - Fusion ignition. Conception et dimensionnement d'un réacteur - Reactor design.

Compétences visées

A l'issue de cet enseignement, l'étudiant pourra identifier les divers problèmes liés aux plasmas de fusion et les modèles utiles pour les étudier (fluide, MHD et/ou gyrocinétique, interaction plasma paroi, chauffage, transport, chaos et turbulence, modélisation numérique...). Ces notions seront abordées en détail dans les UE suivantes. L'étudiant sera également capable d'énoncer les principales difficultés technologiques liées au projet ITER.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : S&T_Master Physique **Numéro de l'UE :** Nom

complet de l'UE : 903 Equilibrium and MagnetoHydroDynamics Composante de rattachement : FA0

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Etienne Gravier etienne.gravier@univ-lorraine.fr

lorraine.fr Semestre : 9 Volume horaire enseigné : 30h, Nombre de crédits ECTS : 3 Volume horaire

travail personnel de l'étudiant : 30h Langue d'enseignement de l'UE : Anglais

Enseignements composants l'UE	CNU	CM	TD	PRJ	EqTD
902 Physics and Technology of Magnetized	3000	30			45

Descriptif

L'objectif de cet enseignement est de découvrir et utiliser le modèle magnétohydrodynamique (MHD) permettant d'étudier les conditions d'équilibre et d'instabilité d'un plasma magnétisé à l'échelle macroscopique. Il permettra notamment d'établir la configuration magnétique idéale pour le confinement du plasma. Ce modèle permet également de connaître les situations critiques pour un plasma magnétisé, situations engendrant des instabilités à l'échelle macroscopique qui sont impérativement à éviter dans les plasmas de fusion.

The objective of this teaching is to discover and use the magnetohydrodynamic model (MHD) to study the equilibrium and instability conditions of a magnetized plasma on a macroscopic scale. In particular, it will make it possible to establish the ideal magnetic configuration for plasma confinement. This model also makes it possible to know the critical situations for a magnetized plasma, situations generating instabilities on a macroscopic scale which must be avoided in fusion plasmas.

Pré-requis

Bases de la physique des plasmas - Basic plasma physics. UE 902 (Physique et technologie des plasmas magnétisés - Physics and Technology of Magnetized Plasmas). En fonction du public suivant l'UE, l'enseignement se fera en anglais ou en français - Teaching will be in English or French according to the audience attending the lectures.

Acquis d'apprentissage

Echelles spatiales typiques dans les plasmas - Typical spatial scales in plasmas. De l'équation de Vlasov à un modèle fluide, le problème de la fermeture - From Vlasov to a fluid description, closure problem. Le tenseur de pression et ses fermetures - Full pressure tensor and its closures. Exemples de modélisation à différentes échelles de temps ou spatiales - Examples of modelling at different temporal or spatial scales. Equilibre dynamique du plasma magnétisé et paramétrisation d'un champ magnétique - Dynamic stationary equilibria in magnetized plasmas and parametrization of a magnetic field. Généralités sur le problème du confinement - Generalities about the confinement problem. Instabilités MHD dans un plasma magnétisé - MHD instabilities in magnetized plasmas. Invariants topologiques dans un plasma magnétisé idéal, et leur violation - Topological invariants in a magnetized ideal plasma, and their violation. Reconnexion magnétique - Magnetic reconnection.

Compétences visées

L'étudiant devra être capable de décrire grâce à la MHD les conditions d'équilibre macroscopique du plasma, ainsi que les principales instabilités MHD que l'on peut trouver dans un plasma magnétisé, notamment de fusion. En fonction des phénomènes physiques étudiés, il devra également être capable de gérer les différentes hypothèses permettant d'établir les relations de fermeture du modèle fluide.

The student must be able to describe the macroscopic equilibrium conditions of the plasma, as well as the main MHD instabilities that can be found in a magnetized plasma, in particular a fusion plasma. Depending on the physical phenomena studied, he will also have to be able to manage the various hypotheses making it possible to establish the closure relations of the fluid model.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : S&T_Master Physique **Numéro de l'UE :** Nom

complet de l'UE : 904 Turbulence & Transport Composante de rattachement : FA0 Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Etienne Gravier etienne.gravier@univ

lorraine.fr Semestre : 9 Volume horaire enseigné : 30h, Nombre de crédits ECTS : 3 Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 30h Langue d'enseignement de l'UE : Anglais

Enseignements composants l'UE	CNU	CM	TD	PRJ	EqTD
902 Physics and Technology of Magnetized	3000	30			45

Descriptif

Dans un premier temps, le contexte de la thématique transport et turbulence sera présenté : pourquoi cette thématique représente-t-elle un enjeu majeur de la physique des plasmas ? Ensuite, les différents modèles permettant d'étudier le transport et la turbulence dans les plasmas seront décrits (modèles cinétiques et fluides, coefficients de transport), avec des exemples concrets d'application. Le transport dû aux collisions (transport néoclassique, régime banane, régime plateau et régime de Pfirsch-Schlüter) et le transport anormal (turbulent, dû aux instabilités) seront étudiés. Les phénomènes non-linéaires d'interaction ondes-particules seront évoqués par l'intermédiaire de la théorie quasi-linéaire. Enfin, les applications spécifiques aux réacteurs à fusion tels qu'ITER seront présentées.

In the first place, the context of the transport and turbulence theme will be presented: why is this topic a major stake in plasma physics? Then, the different models allowing to study the transport and the turbulence in the plasmas will be described (kinetic models and fluids, transport coefficients), with concrete examples of application. The transport due to collisions (neoclassical transport, banana regime, plateau regime and Pfirsch-Schlüter regime) and abnormal transport (turbulent, due to instabilities) will be studied. The non-linear phenomena of wave-particle interaction will be evoked via the quasi-linear theory. Finally, applications specific to fusion reactors such as ITER will be presented.

Pré-requis

Bases de la physique des plasmas - Basic plasma physics. UE 902 (Physique et technologie des plasmas magnétisés - Physics and Technology of Magnetized Plasmas). En fonction du public suivant l'UE, l'enseignement se fera en anglais ou en français - Teaching will be in English or French according to the audience attending the lectures.

Acquis d'apprentissage

Introduction, temps de confinement de l'énergie, instabilité, transport anormal – Introduction, energy confinement time, instability, anomalous transport. Le modèle fluide et les équations de transport (équations de Braginskii) - The fluid model and the transport equations (Braginskii). Diffusion dans les gaz faiblement et complètement ionisés, loi de Fick, résolution de l'équation de diffusion, diffusion perpendiculaire au champ magnétique - Diffusion in weakly and fully ionized gases, Fick's law, solving the diffusion equation, diffusion across a magnetic field.

Diffusion (modèle de la marche aléatoire) - Diffusion as a random walk. Collisions coulombiennes - Coulomb collisions. Transport classique et néoclassique - Classical and neoclassical transport. Transport anormal, fluctuations électromagnétiques et transport associé, théorie de la longueur de mélange pour évaluer le niveau de turbulence - Anomalous transport, electromagnetic fluctuations and associated transport, mixing length estimate for the turbulence level. Instabilités d'interchange et ITG – ITG and interchange instabilities. L'équation de Fokker-Planck - The Fokker-Planck equation. Diffusion quasi-linéaire dans l'espace des vitesses, théorie linéaire, amortissement Landau, dérivation de l'équation de diffusion quasi-linéaire, conservation de l'énergie, évolution des particules résonnantes - Quasi-linear velocity space diffusion, linear theory, the derivation of the quasi-linear diffusion equation, conservation of energy, behaviour of resonant particles. Auto-organisation – Self-organization. Etat de l'art en transport et turbulence - State of the art in transport and turbulence.

Compétences visées

L'étudiant devra être capable de comprendre pourquoi la notion de transport est intimement liée à la production d'énergie grâce à la fusion. En fonction des paramètres du plasma, il sera également capable d'utiliser différents modèles permettant d'étudier les instabilités pouvant apparaître dans le plasma, et le transport et la turbulence qui en découlent. De même pour le transport lié aux collisions coulombiennes. Il pourra ainsi évaluer et estimer les coefficients de transport de matière et de chaleur dans un plasma. Enfin, il sera capable de décrire certains phénomènes non-linéaires grâce à la théorie quasi-linéaire, et définir les principaux enjeux actuels de la thématique transport, notamment dans le cadre de la fusion et du réacteur ITER.

The student will have to be able to understand why the notion of transport is intimately linked to the production of energy through fusion. Depending on the parameters of the plasma, it will also be able to use different models to study the instabilities that can appear in the plasma, and the resulting transport and turbulence. Similarly for the transport related to coulombian collisions. It will thus be able to evaluate and estimate the coefficients of transport of material and heat in a plasma. Finally, it will be able to describe certain non-linear phenomena thanks to the quasi-linear theory, and define the main current stakes of the transport theme, notably in the context of fusion and the ITER reactor.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : S&T_Master Physique **Numéro de l'UE :** Nom

complet de l'UE : 905 Heating Composante de rattachement : FA0 Nom du responsable de l'UE et

adresse électronique : Etienne Gravier etienne.gravier@univ

lorraine.fr Semestre : 9 Volume horaire enseigné : 30h, Nombre de crédits ECTS : 3 Volume horaire

travail personnel de l'étudiant : 30h Langue d'enseignement de l'UE : Anglais

Enseignements composants l'UE	CNU	CM	TD	PRJ	EqTD
902 Physics and	3000	30			45

Descriptif

Les connaissances à acquérir concernent aussi bien la technologie que la théorie du fonctionnement des chauffages utilisés dans les plasmas de fusion confinés par un champ magnétique. Les quatre principaux types de chauffage seront décrits ainsi que les mécanismes de base des échanges énergétiques entre ondes et particules et particules-particules. Les conditions et les domaines d'utilisation seront présentés. Pour les aspects technologiques, les sources de puissance (ondes ou particules rapides) et leurs caractéristiques seront décrites ainsi que les procédés de transport de la puissance de la source au plasma (couplage). Une revue détaillée des problèmes actuels concernant les chauffages sera aussi présentée.

The knowledge to be acquired concerns both the technology and the theory of operation of the heaters used in fusion plasmas confined by a magnetic field. The four main types of heating will be described as well as the basic mechanisms of energy exchanges between waves and particles and particles. Conditions and areas of use will be presented. For the technological aspects, the sources of power (waves or fast particles) and their characteristics will be described as well as the methods of transport of the power from the source to the plasma (coupling). A detailed review of current heating problems will also be presented.

Pré-requis

Bases de la physique des plasmas - Basic plasma physics. UE 902 (Physique et technologie des plasmas magnétisés - Physics and Technology of Magnetized Plasmas). En fonction du public suivant l'UE, l'enseignement se fera en anglais ou en français -Teaching will be in English or French according to the audience attending the lectures.

Acquis d'apprentissage

Physique du chauffage et de la génération de courant - Heating and power generation. Propagation d'ondes en plasma chaud, interaction ondes/particules (coupures et résonances, conversion de mode) - Wave propagation in a high temperature plasma, wave-particle interaction (cuts and resonances, mode conversion). Injection de neutres - Neutral beam injection. Calcul des taux d'amortissement incluant les fonctions de distribution des particules rapides -Damping rate with fast particle distribution functions. Présentation des différents types de chauffage incluant les conditions d'utilisation (accessibilités, limitations, etc.) - Different types of heating including the conditions of use (accessibility, limitations, etc.) Introduction aux technologies mise en œuvre pour les différents types de chauffage -Implemented technologies for different types of heating.

Compétences visées

L'étudiant devra être capable de calculer le taux d'amortissement et la zone de dépôt de la puissance injectée pour chaque type de chauffage à l'aide de modèles simplifiés. Pour un type d'expérience donnée, l'étudiant devrait être en mesure de déterminer quel est le type de chauffage

le plus approprié en prenant aussi en compte les aspects technologiques incluant la notion d'efficacité et de performance. Les concepts d'accessibilité, de domaine de fonctionnement, interactions émetteur-plasma devraient être maîtrisés.

The student must be able to calculate the damping rate and the area of deposition of the power injected for each type of heating using simplified models. For a given type of experiment, the student should be able to determine the most appropriate type of heating by also taking into account the technological aspects including the concept of efficiency and performance. The concepts of accessibility, domain of operation, emitter-plasma interactions should be controlled.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : S&T_Master Physique **Numéro de l'UE :** Nom complet de l'UE : 906 Plasma Wall Interactions

Composante de rattachement : FA0

Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Etienne Gravier etienne.gravier@univ-lorraine.fr

lorraine.fr Semestre : 9 Volume horaire enseigné : 30h, Nombre de crédits ECTS : 3 Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 30h Langue d'enseignement de l'UE : Anglais

Enseignements composants l'UE	CNU	CM	TD	PRJ	EqTD
902 Physics and Technology of Magnetized	3000	30			45

Descriptif

Cet enseignement développe les concepts de l'interaction plasma paroi pour l'étude de la physique des plasmas de bord en fusion magnétique et des instabilités rencontrées. Le but de cet enseignement est de fournir une première approche des phénomènes physiques dans la région des plasmas de bord (rappels des modèles de base de l'interaction plasma-paroi, effets collisionnels, gaines et pré-gaines magnétiques, modélisation fluide et/ou cinétique de la SOL, phénomènes d'ionisation, recombinaison). Le but sera d'aborder deux domaines importants, celui des matériaux face au plasmas (PFCs) et de l'extraction de puissance, puis celui de la physique du bord lié à l'apparition de la turbulence associée.

This teaching develops the concepts of the plasma wall interaction for the study of the physics of edge plasmas in magnetic fusion and the instabilities encountered. The aim of this teaching is to provide an initial approach to physical phenomena in the field plasmas region (reminders of basic models of plasma-wall interaction, collisional effects, magnetic sheaths and pre-sheaths, fluid modeling and / or Kinetics of the SOL, ionization phenomena, recombination). The aim will be to address two important fields, that of materials versus plasmas (PFCs) and power extraction, and that of edge physics linked to the appearance of associated turbulence.

Pré-requis

Bases de la physique des plasmas - Basic plasma physics. UE 902 (Physique et technologie des plasmas magnétisés - Physics and Technology of Magnetized Plasmas). En fonction du public suivant l'UE, l'enseignement se fera en anglais ou en français -Teaching will be in English or French according to the audience attending the lectures.

Acquis d'apprentissage

Rôle de la Scrape-Of-Layer (SOL) dans les machines à fusion et défis - Role of the Scrape-Off Layer (SOL) in magnetized fusion devices and specific challenges. Processus collisionnels dans les plasmas : collisions coulombiennes, taux de transfert de quantité de mouvement et d'énergie - Collision processes in plasmas: Coulomb collisions, momentum and energy transfer rates.

Modélisation fluide et cinétique de la SOL - Fluid and kinetic modelling of the Scrape-off layer.

Physique de la gaine, implications pour l'équilibre parallèle et perpendiculaire de la SOL -Sheath physics, implications for the parallel and perpendicular equilibrium of the SOL.

La SOL non isotherme - The non-isothermal SOL.

Équilibre d'ionisation dans un plasma : modèle de Bohr, section efficace d'ionisation, équilibre entre ionisation et recombinaison - Ionization balance in plasma: Bohr's model, ionization cross-section, recombination and ionization balance. Le mécanisme de recyclage et bilan de particules, recyclage,

modèle d'Enhelhardt's, modèles de réservoirs, flux de particules sur la paroi, processus de pulvérisation, choix des matériaux faisant face au plasma - The recycling mechanism and particle balance, overall picture of recycling, particle confinement time with Enhelhardt's model, reservoir models, particle fluxes on the wall, sputtering processes, choices of materials for plasma facing components (PFCs).

Compétences visées

L'étudiant devra être capable de décrire la physique de base des plasmas de bord, et notamment la notion d'interaction plasma-paroi (recyclage, flux de particules, pulvérisation, etc.). Il devra pouvoir expliquer le choix des matériaux faisant face au plasma dans un réacteur comme ITER.

The student should be able to describe the basic physics of on-board plasmas, in particular the notion of plasma-wall interaction (recycling, particle flux, spraying, etc.). He will have to be able to explain the choice of the materials facing the plasma in a reactor like ITER.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : S&T_Master Physique **Numéro de l'UE :** Nom

complet de l'UE : 907 Modelling and Numerical Methods Composante de rattachement : FA0 Nom du

responsable de l'UE et adresse électronique : Etienne Gravier etienne.gravier@univ

lorraine.fr Semestre : 9 Volume horaire enseigné : 30h, Nombre de crédits ECTS : 3 Volume horaire travail personnel de l'étudiant : 30h Langue d'enseignement de l'UE : Anglais

Enseignements composants l'UE	CNU	CM	TD	PRJ	EqTD
902 Physics and Technology of Magnetized	3000	30			45

Descriptif

La partie "fondements théoriques" fournira les étapes fondamentales nécessaires au développement d'un modèle numérique. Les équations différentielles seront divisées en plusieurs catégories, afin d'aider à reconnaître les cas où un traitement analytique est possible, et les cas où, au contraire, telle ou telle approche numérique est nécessaire. Les différentes étapes du développement et de l'analyse d'une méthode numérique seront étudiées : normalisation, discrétisation, analyse de consistance et stabilité. Des exemples de méthodes fondamentales seront introduites et classifiées. La partie "Traitement complet de problèmes types" reprendra les briques élémentaires étudiées dans la première partie, afin de décrire comment traiter du début à la fin un certain nombre de problèmes types issus de la physique : équations du mouvement, équation d'advection, et équation de diffusion. Toutes les étapes seront développées, de la formulation du modèle, à l'implémentation et l'utilisation du code de simulation numérique.

The "theoretical foundations" part will provide the basic steps necessary for the development of a numerical model. Differential equations will be divided into several categories to help recognize cases where analytical processing is possible, and cases where, on the contrary, a numerical approach is necessary. The different stages of the development and analysis of a numerical method will be studied: standardization, discretization, consistency analysis and stability. Examples of basic methods will be introduced and classified. The part "Complete treatment of typical problems" will take up the elementary bricks studied in the first part, in order to describe how to treat from beginning to end a number of typical problems arising from physics: equations of motion, advection equation, and Diffusion equation. All stages will be developed, from the formulation of the model, to the implementation and use of the numerical simulation code.

Pré-requis

Connaissance basique d'un langage de programmation Basic knowledge of a programming language. En fonction du public suivant l'UE, l'enseignement se fera en anglais ou en français - Teaching will be in English or French according to the audience attending the lectures.

Acquis d'apprentissage

1. Fondamentaux théoriques - Fundamentals Introduction, motivations (problèmes types, solvabilité analytique des équations différentielles selon leur type) - Introduction, motivations (challenges, solving differential equations according their types). Normalisation, discrétisation - Normalization and discretization.

Consistance et stabilité des schémas numériques - Consistency and stability of numerical schemes. Schémas explicites et implicites, saute-mouton - Explicit and implicit schemes, leapfrog. Méthodes directes et itératives - Direct and iterative methods. Différences finies - Finite differences.

2. Traitement complet de problèmes types - Solving typical problems. Equations du mouvement, e.g. pendule simple (méthodes d'Euler, optionnellement Runge-Kutta explicite ordre 4) - Equations of motion, e.g. simple pendulum (Euler methods, optionally explicit Runge-Kutta 4th

order). Advection 1D à vitesse uniforme et constante (méthodes d'interpolation polynomiale) - 1D advection with uniform and constant velocity (polynomial interpolation methods). Équation de diffusion (Crank-Nicholson) - Diffusion equation (Crank-Nicholson).

Compétences visées

A l'issue de cet enseignement, l'étudiant pourra reconnaître les problèmes qui nécessitent une approche numérique. Il saura choisir et appliquer une méthode numérique pour résoudre des problèmes simples. Il saura déterminer la consistance (si le schéma numérique est adapté au modèle analytique), la stabilité, et l'ordre de précision d'un schéma numérique. L'étudiant aura également connaissance d'au moins une méthode numérique pour chacun des problèmes les plus courants : équation différentielle ordinaire, équation différentielle aux dérivées partielles d'ordre 1 ou 2. L'étudiant sera en mesure d'implémenter cette méthode pour la mettre en application à la résolution de problèmes types.

At the end of this course, students will be able to recognize problems that require a digital approach. He will be able to choose and apply a numerical method to solve simple problems. He will be able to determine the consistency (if the numerical scheme is adapted to the analytical model), the stability, and the order of precision of a numerical scheme. The student will also be aware of at least one numerical method for each of the most common problems: ordinary differential equation, differential equation with partial derivatives of order 1 or 2. The student will be able to implement this method for the Apply to problem solving.

Mention et/ou parcours dont relève cette UE : S&T_Master Physique **Numéro de l'UE :** Nom

complet de l'UE : 908 Diagnostics for Fluctuations & Data Processing Methods Composante de

rattachement : FA0 Nom du responsable de l'UE et adresse électronique : Etienne Gravier

etienne.gravier@univ-lorraine.fr

Semestre : 9 Volume horaire enseigné : 30h, Nombre de crédits ECTS : 3 Volume horaire travail

personnel de l'étudiant : 30h Langue d'enseignement de l'UE : Anglais

Enseignements composants l'UE	CNU	CM	TD	PRJ	EqTD
902 Physics and Technology of Magnetized Fusion Plasmas	3000	30			45

Descriptif

La physique de base des diagnostics nécessaires à la mesure des grandeurs caractéristiques de la turbulence est décrite et leurs domaines d'utilisation précisés. Pour chaque diagnostic présenté une analyse détaillée est fournie, reliant les grandeurs fluctuantes mesurées aux propriétés de la turbulence (amplitude, phase, corrélation, spectres en fréquence et nombre d'onde quand cela est possible). Cet enseignement couvre les principaux diagnostics rencontrés en physique des plasmas : sondes de Langmuir, interférométrie, réflectométrie, imagerie rapide, spectroscopie, sondage par faisceau de particules. Cet enseignement aborde également les outils d'analyse de signaux numérisés : analyse statistique, ajustements linéaires, transformation de Fourier discrète, analyse spectrale, filtrage en ondelettes.

The basic physics of the diagnostics necessary for the measurement of the characteristic quantities of the turbulence is described and their fields of use specified. For each diagnosis, detailed analysis is provided, linking the measured fluctuating quantities to the properties of the turbulence (amplitude, phase, correlation, frequency spectra and wave number whenever possible). This teaching covers the main diagnostics encountered in plasma physics: Langmuir probes, interferometry, reflectometry, rapid imaging, spectroscopy, particle beam sampling. This teaching also deals with tools for analyzing digitized signals: statistical analysis, linear adjustments, discrete Fourier transformation, spectral analysis, wavelet filtering.

Pré-requis

Physique des plasmas (propagation d'ondes, gaines), outils mathématiques (transformation de Fourier, probabilités) - Plasma physics (wave propagation, sheaths), mathematical tools (Fourier transform, probabilities). En fonction du public suivant l'UE, l'enseignement se fera en anglais ou en français - Teaching will be in English or French according to the audience attending the lectures.

Acquis d'apprentissage

Introduction, fluctuations dans les plasmas, grandeurs physiques, turbulence électrostatique versus turbulence MHD - Introduction, plasma fluctuations, physical quantities, electrostatic turbulence versus MHD turbulence.

I. Diffusion dépolarisante : réflectométrie, à fréquence fixe (fluctuation ou Doppler), à deux fréquences (de corrélation), à balayage en fréquence - Depolarization scattering: reflectometry, with fixed frequency (fluctuation or Doppler), two frequencies (correlation), in sweep frequency. Sondes électrostatiques - Electrostatic probes. Autres diagnostics et imagerie pour la turbulence : BES, contraste de phase, faisceau d'ions, etc. - Other diagnostics and imaging for turbulence:

BES, phase contrast, ion beam, etc.

II. Méthodes d'analyse de séries temporelles mono ou multi-variables - Methods of analysis of time series with single or multiple variables. Séries temporelles et processus stochastiques, outils statistiques et estimation spectrale, analyse bayésienne, fits linéaires - Time series and stochastic processes, statistical and spectral estimation, Bayesian analysis, linear fits. Filtrage, analyse en ondelettes continues et discrètes, caractérisation de processus dynamiques complexes et non linéaires - Filtering, continuous and discrete wavelet analysis, characterization of complex and nonlinear dynamic processes.

Compétences visées

L'étudiant devra être capable de déterminer l'expression liant la grandeur fluctuante turbulente à la grandeur fournie par le diagnostic à l'aide de modèles simplifiés. L'étudiant, pour un cas type, devrait être en capacité de déterminer quel est le diagnostic le plus approprié pour estimer une grandeur caractéristique de la turbulence. Les concepts liés à chaque diagnostic devraient être maîtrisés et l'étudiant devrait être en mesure d'indiquer si le diagnostic considéré est en capacité d'effectuer la mesure souhaitée.

The student should be able to determine the expression linking the fluctuating turbulent quantity to the magnitude provided by the diagnosis using simplified models. The student, for a typical case, should be able to determine which diagnosis is most appropriate for estimating a characteristic magnitude of turbulence. The concepts associated with each diagnosis should be controlled and the student should be able to indicate whether the diagnosis is capable of performing the desired measurement.

Cette UE donne également à l'étudiant les outils nécessaires pour effectuer un travail autonome de traitement de signaux expérimentaux ou numériques. This UE also gives students the tools to perform autonomous processing of experimental or digital signals.

Il devra maîtriser les fonctions d'analyse du signal (densité spectrale, fonction de corrélation, ...), connaître les propriétés de la transformée de Fourier discrète et ses limites, être capable de calculer les coefficients d'un ajustement linéaire et d'évaluer la pertinence de l'ajustement par analyse des résidus, maîtriser les outils de filtrage linéaire tant dans le domaine de Fourier que dans le domaine réel (fonction de Green) et avoir compris le lien entre les deux, savoir évaluer des barres d'erreurs en utilisant des outils statistiques adaptés (y compris en utilisant des notions d'analyse bayésienne) pour les incertitudes statistiques et rechercher les erreurs systématiques. Il devra savoir ce qu'est une ondelette discrète et ses propriétés, effectuer une transformation en ondelette, savoir ce qu'est une ondelette continue.

It must master the functions of signal analysis (spectral density, correlation function, ...), know the properties of the discrete Fourier transform and its limits, be able to calculate the coefficients of a linear fit and evaluate the Relevance of the adjustment by residual analysis, mastering the linear filtering tools in both the Fourier domain and the real domain (Green's function) and understanding the link between the two, namely evaluating error bars using Adapted statistical tools (including using Bayesian analysis) for statistical uncertainties and to investigate systematic errors. He will have to know what a discrete wavelet and its properties are, to make a wavelet transformation, to know what a continuous wavelet is.