

Titre : Plasmas spatiaux

Sigle : O3

Coordinateur de l'UE : Philippe SAVOINI, Laboratoire de Physique des Plasmas, Ecole Polytechnique

Equipe pédagogique : Philippe SAVOINI, Arnaud ZASLAVSKY

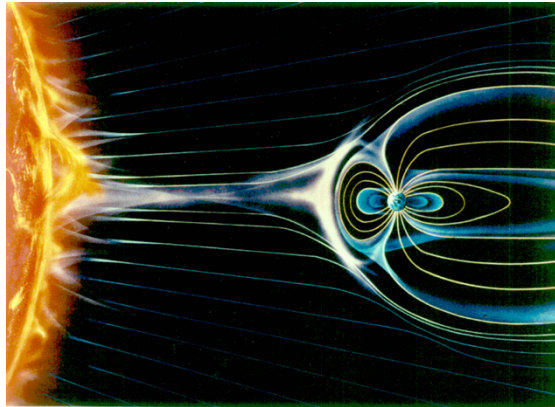
Prérequis : Masters M1 de Physique et Ecoles d'Ingénieurs.

Crédits : 3 ECTS

Langue : Français/Anglais

Mots-clefs : Plasmas spatiaux & Astrophysique. Zones frontières et phénomènes d'accélération.

Ce module a pour objectif de présenter les plasmas de l'environnement des astres magnétisés. Les concepts sont principalement présentés pour la Terre et les planètes du système solaire – ces environnements, étudiés in-situ, étant les mieux connus. Cependant, ces concepts sont applicables à des plasmas plus lointains.



Vue d'artiste représentant l'interaction entre le vent solaire et la magnétosphère terrestre. Cette image résume les différentes régions qui seront décrites en détail dans le cours, du Soleil jusqu'à l'ionosphère terrestre en passant par l'onde de choc sans collision présente en amont de la magnétosphère.

Le plasma « spatial » le plus proche de nous est situé à environ 70 kilomètres d'altitude, où l'ionisation de la haute atmosphère par le rayonnement UV solaire produit une couche de plasma, résistive et magnétisée, dite ionosphère.

Bien plus loin, le milieu interplanétaire est parcouru par un plasma en expansion supersonique (300 à 800 km/seconde), en provenance du Soleil. C'est le vent solaire.

Entre les deux existe une zone contrôlée par le champ magnétique terrestre appelée la magnétosphère. Le plasma dans cette région est non collisionnel, continuellement hors équilibre thermodynamique, soumis à d'irrégulières reconfigurations de sa topologie magnétique.

D'un point de vue astrophysique, ces régions représentent un modèle utilisable pour mieux comprendre d'autres objets dont l'exploration *in-situ* est rare (magnétosphères des planètes Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune), voire impossible (exoplanètes, couronnes d'étoiles, environnements d'astres magnétisés comme des étoiles jeunes, des pulsars, jets supersoniques / super magnétosoniques), etc.

Du point de vue de la physique des plasmas, la magnétosphère et le vent solaire sont d'excellents laboratoires permettant l'étude des plasmas sans collisions, très intéressants pour la compréhension des processus de transport dans des systèmes sans résistivité ni viscosité, de la turbulence, des interactions ondes-plasma, des phénomènes d'accélération, etc.

Le cours est essentiellement consacré aux concepts de base, illustrés d'exemples

d'application en physique spatiale et en astrophysique. Il consiste en 4 sections indépendantes :

Le vent solaire : Dans cette section sont présentés le modèle de Parker du vent solaire, les notions de vents rapide et lent, le transport du champ magnétique solaire, et la variabilité du vent. Ces concepts sont utiles pour l'étude de l'environnement de toutes les étoiles « standard », les étoiles à éjection de matière (étoiles T-tauri, géantes rouges) et certaines étoiles compactes (pulsars).

Les notions de frontières et de discontinuités : L'approche fluide nous permet de classifier les différentes frontières pouvant exister dans les plasmas sans collision. Ces frontières, au nombre de 4 (discontinuité de contact, tangentielle, rotationnelle ou choc) sont présentes partout dans notre environnement proche (choc terrestre, magnétogaine, magnétopause, couche neutre, lobes, plasmasphère, zones aurorales) et sont d'un intérêt universel pour les plasmas astrophysiques.

Le modèle de la magnétosphère : Cette région séparant l'ionosphère du vent solaire est l'une des plus complexes de notre environnement immédiat ; elle est le siège de phénomènes énergétiques très importants tels que les sous-orages magnétiques (sources des aurores boréales et australes). Toutes les planètes magnétisées ont une magnétosphère. L'environnement de certaines étoiles est également traité comme une magnétosphère : étoiles à neutrons, naines blanches, trous noirs.

L'ionosphère : Cette couche de plasma en contact avec l'atmosphère neutre de la Terre est la région où se déroulent des processus d'ionisation et de recombinaison. Les notions de couche d'ionisation de Chapman sont présentées, ainsi que le couplage plasma/neutres, les systèmes de courant ionosphériques et la diffusion ambipolaire. Ces concepts sont utiles à l'étude de toutes les planètes dotées d'une atmosphère.