

**FACULTÉ DES ARTS ET DES SCIENCES  
DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE  
AUTOMNE 2022**

**PLAN DE COURS**

---

**Sigle du cours:** PHY 6756

**Titre du cours:** Fluides Astrophysiques

**Nombre de crédits:** 3

**Professeur:** Paul Charbonneau (B-3013; paul.charbonneau@umontreal.ca)

---

### **Description et buts du cours**

Ce cours est offert aux étudiant(e)s inscrit(e)s au deuxième ou troisième cycle en physique. Le cours vise à introduire les bases physiques de l'hydrodynamique et de la magnétohydrodynamique, dans le contexte des écoulements fluides en astrophysique. Le cours est subdivisé en trois sections. La première, de nature magistrale, introduira les concepts physiques requis par la suite. La seconde présentera leur application dans le contexte spécifique de quelques cas astrophysiques d'intérêt, soit les vents coronaux, les disques d'accrétion et l'amplification des champs magnétiques par effet dynamo. La troisième partie du cours consistera en une série de projets cadrant dans les thèmes du cours, développés par les étudiant(e)s, présentés oralement au groupe et en version écrite comme travail de fin de session, ceci tenant lieu d'examen final.

### **Horaire des cours, Automne 2022**

- Sera fixé début septembre

### **Manuel de cours et ouvrages de référence**

Des notes en format pdf couvrant l'ensemble de la matière des première et seconde parties du cours seront disponibles via la page Web du cours (voir ci-dessous). L'ouvrage suivant est recommandé comme référence additionnelle:

Choudhuri, A.R., *The Physics of Fluids and Plasmas*, Cambridge University Press, 1998

L'un ou l'autre des ouvrages suivants pourrait néanmoins servir de complément utile aux notes de cours, et/ou comme ouvrage de référence par rapport aux thématiques couvertes:

Charbonneau, P., *Solar and Stellar dynamos*, Springer, 2013

Goedbloed, H., & Poedts, S., *Principles of Magnetohydrodynamics*, Cambridge University Press, 2004

Hartmann, L., *Accretion processes in star formation*, Cambridge University Press, 1998

Lamers, J.G.L.M., & Cassinelli, J.P., *Introduction to stellar winds*, Cambridge University Press, 1999

Pringle, J., & King, A., *Astrophysical Flows*, Cambridge University Press, 2007

## Évaluation

- Examen mi-session “take-home”: 30% de la note finale;
- Présentation orale du projet: 40% de la note finale;
- Rapport de projet écrit: 30% de la note finale;

## Page Web

La page Web suivante inclut un horaire détaillé de chaque cours, et donne accès à des copies du matériel didactique supplémentaire présenté en classe (images, animations, etc);

<http://www.astro.umontreal.ca/~paulchar/phy6756/phy6756.html>

---

## MATIÈRE COUVERTE

### PREMIÈRE PARTIE: NOTIONS FONDAMENTALES

#### 1. L'essentiel de l'hydrodynamique

- 1.1 Qu'est-ce-qu'un fluide?
- 1.2 Les équations de l'hydrodynamique
- 1.3 Écoulements compressibles
- 1.4 Fluides en rotation
- 1.5 La turbulence

#### 2. Magnétohydrodynamique

- 2.1 L'équation d'induction magnétohydrodynamique
- 2.2 Analyse dimensionnelle
- 2.3 La force de Lorentz
- 2.4 Exemple: cisaillement d'un champ poloidal
- 2.5 L'énergie magnétique
- 2.6 Le chauffage de Joule
- 2.7 Le théorème d'Alfvén
- 2.8 Ondes magnétohydrodynamiques
- 2.9 Le potentiel vecteur et l'hélicité magnétique
- 2.10 Origine des champs magnétiques en astrophysique

#### Bonus: Hydrodynamique Radiative

- Quatre heures de cours par Thomas J. Bogdan.

### DEUXIÈME PARTIE: APPLICATIONS

#### 3. Les vents coronaux

- 3.1 Les couronnes solaire et stellaires
- 3.2 Couronnes polytropique en équilibre hydrostatique
- 3.3 Vents polytropiques
- 3.4 Vents coronaux magnetisés
- 3.5 Les vents magnétohydrodynamiques
- 3.6 Le freinage rotationnel des étoiles
- 3.7 Au delà des vents coronaux

#### 4. Les disques d'accrétion

- 4.1 L'accrétion et la formation des étoiles
- 4.2 Le disque Képlérien
- 4.3 Le modèle du disque mince
- 4.4 Instabilité hydrodynamiques
- 4.5 Les disques magnétisés
- 4.6 Les jets

#### 5. Dynamos astrophysiques

- 5.1 L'aspect observationnel
- 5.2 Une dynamo mécanique simple
- 5.3 Théorèmes anti-dynamos
- 5.4 Dynamos en champ moyen
- 5.5 Les dynamos en champs moyens axisymétriques
- 5.6 Simulations numériques magnétohydrodynamiques
- 5.7 Autres classes de dynamos solaire/stellaire
- 5.8 Dynamos galactiques

### TROISIÈME PARTIE: PROJETS

La liste suivante n'est ni exhaustive ni finale; les étudiant(e)s seront encouragé(e)s à choisir leur propre thématique, sujette à approbation par le professeur.

- Vents radiatifs
- Instabilité de Jeans et fragmentation
- Effondrement des nuages protostellaires
- (Magnéto)Hydrodynamique relativiste
- (Magnéto)Hydrodynamique des systèmes binaires
- Éruptions solaires/stellaires
- Formation et Migration des (exo)planètes
- Explosion des supernovae de type II
- Interactions magnétiques étoiles–disques
- Ondes de densité dans les disques galactiques