

**FACULTÉ DES ARTS ET DES SCIENCES**  
**DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE**  
**AUTOMNE 2013**  
**PLAN DE COURS**

---

**Sigle du cours:** PHY 1234

**Titre du cours:** Introduction à la physique numérique

**Nombre de crédits:** 3

**Professeur:** Paul Charbonneau (B-418; 343-2332; paulchar@astro.umontreal.ca)

---

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

Ce cours est offert principalement aux étudiant(e)s inscrit(e)s au premier cycle en physique et au programme bidisciplinaire mathématique+physique. Le cours vise trois objectifs complémentaires: premièrement, maîtriser les bases de la programmation scientifique, utilisant le langage C; deuxièmement, vous bâtir une “boîte à outils” de méthodes, approches et outils numériques et graphiques permettant de solutionner sur ordinateurs divers problèmes rencontrés dans d’autres cours de physique (Différentiation et intégration numériques, solution d’équations différentielles nonlinéaires, Monte Carlo, optimisation, modélisation évolutive, etc.); troisièmement, offrir une introduction à certains domaines de la physique contemporaine où l’approche numérique est centrale: diffusion, agrégation, chaos, criticalité, complexité, etc.

### **Horaire des cours, Automne 2013**

- Mercredi 13:30-15:30, Salle G-615, Pavillon Roger-Gaudry;
- Jeudi 10:30-13:30, Labo Section A, M-625 et M-635, Pavillon Roger Gaudry;
- Vendredi 8:30-11:30, Labo Section B, M-635, Pavillon Roger Gaudry.

### **Notes de cours et ouvrages de références**

Des notes de cours en format pdf couvrant l’ensemble de la matière seront disponibles via la page Web du cours (voir ci-dessous). Il est cependant fortement suggéré de vous procurer l’un ou l’autre des ouvrages suivants, pour une introduction systématique à la programmation en C:

Delannoy, C., *Le livre du C premier langage*, Éditions Eyrolles (2007),

Delannoy, C., *programmer en langage C*, 5<sup>e</sup> éd., Éditions Eyrolles (2009).

Aitken, P.G, & Jones, B.L. *Le langage C*, 2<sup>e</sup> éd., Pearson (2012).

Ceux et celles ayant déjà fait un peu de programmation dans quelque langage que ce soit devraient se procurer le second ou troisième de ces bouquins, et les débutant(e)s complets le premier.

### **Démonstrateurs**

Les démonstrateurs pour les séances de travaux pratiques en laboratoire sont:

- Frédérick Dallaire, frederick.dallaire@umontreal.ca
- Fabrice Debris, fabrice.debris@umontreal.ca
- Nicolas Lawson, lawson@astro.umontreal.ca
- Olivia Scallon, o.scallon@umontreal.ca

## Évaluation

- Rapports de laboratoire (6 rapports): 60% de la note finale.
- Projet final: 40%.

## Page Web

La page Web suivante inclut une description de la matière couverte chaque semaine, donne accès à des copies du matériel didactique supplémentaire présenté en classe (images, animations, etc), ainsi qu'à certains des codes sources en C discutés dans les notes:

<http://www.astro.umontreal.ca/~paulchar/phy1234/phy1234.html>

---

## MATIÈRE COUVERTE

### 1. la physique numérique

- 1.1 La modélisation
- 1.2 Représentation numérique
- 1.3 Les algorithmes
- 1.4 La programmation
- 1.5 Pourquoi le C?
- 1.6 L'analyse numérique
- 1.7 La physique numérique

### 2. Dérivées, interpolation et intégration

- 2.1 Le développement en série de Taylor
- 2.2 Dérivées d'une fonction
- 2.3 Interpolation
- 2.4 Intégration
- 2.5 Coda, en plus qu'une variable

### 3. Équations différentielles ordinaires

- 3.1 Repenser  $F = ma$
- 3.2 La méthode d'Euler
- 3.3 Le pendule linéaire
- 3.4 Le pendule nonlinéaire
- 3.5 Au delà d'Euler

### 4. Nonlinéarité et chaos

- 4.1 Encore le pendule
- 4.2 L'espace de phase
- 4.3 Le pendule amorti
- 4.4 Le pendule forcé
- 4.5 Excitation paramétrique
- 4.6 Le pendule forcé et amorti
- 4.7 Bifurcations

- 4.8 Le chaos
- 4.9 Chaos  $\neq$  aléatoire

## 5. Monte Carlo

- 5.1 Nombre aléatoires
- 5.2 Fonctions de distribution
- 5.3 Distributions non-uniformes
- 5.4 Évaluation d'intégrales par Monte Carlo
- 5.5 L'approche à l'équilibre
- 5.6 Réalisme physique et irréversibilité

## 6. Racines et optimisation

- 6.1 La diffraction
- 6.2 La bisection
- 6.3 La méthode de Newton
- 6.4 Maximisation (et minimisation)
- 6.5 Méthode de grimpe
- 6.6 La grimpe stochastique
- 6.7 Régression linéaire

## 7. Marche aléatoire et diffusion

- 7.1 Les processus stochastiques
- 7.2 Marche aléatoire
- 7.3 Diffusion = marche aléatoire
- 7.4 Marche aléatoire sur réseau
- 7.5 Agrégation
- 7.6 L'invariance d'échelle
- 7.7 Les fractales et leur mesure
- 7.8 La dimension fractale

## 8. Criticalité

- 8.1 La percolation
- 8.2 Percolation en 1D
- 8.3 Percolation en 2D
- 8.4 Invariance d'échelle et universalité
- 8.5 Systèmes critiques en physique

## 9. Complexité

- 9.1 La complexité
- 9.2 Le modèle Tas-De-Sable
- 9.3 La criticalité auto-régulée
- 9.4 Le modèle Feu-De-Fôret
- 9.5 Retour sur l'invariance d'échelle
- 9.6 Le modèle embouteillage
- 9.7 Complexité  $\neq$  Stochasticité  $\neq$  Chaos
- 9.8 Complexité et émergence

## 10. Calcul évolutif

- 10.1 Retour sur la modélisation
  - 10.2 La puissance de la sélection cumulative
  - 10.3 Un algorithme évolutif de base
  - 10.4 La diffraction 2D, troisième tour
  - 10.5 Les algorithmes génétiques
- 

## LABORATOIRES

Les séances de travaux pratiques en laboratoire informatique sont une composante essentielle et **obligatoire** de ce cours. Les deux premiers laboratoires ne demanderont pas de remise de rapport. Les quatre suivants seront regroupés en deux rapports (Labos 3 + 4 et 5 + 6). Les quatre derniers demanderont la remise d'un rapport chacun. Des notes de laboratoires seront distribuées une semaine avant chaque séance. Cette année les thèmes des labos sont les suivants:

1. **Bonjour Monsieur le Professeur (5/6 sept.)**
2. **La parabole de la chute (12/13 sept.)**
3. **Intégrales définies ou pas (19/20 sept.)**
4. **Analyse de Fourier (26/27 sept.)**
5. **Orbites planétaires (3/4 oct.)**
6. **Instabilités et chaos (10/11 oct.)**
7. **Intégration Monte Carlo (31 oct./1 nov.)**
8. **Interaction radiation-matière (7/8 nov.)**
9. **Diffusion et agrégation (14/15 nov.)**
10. **Pandémie! (21/22 nov.)**

Notez bien: les séances du 28/29 novembre seront utilisées pour lancer votre projet de fin de session, dont le rapport devra être remis au plus tard le vendredi 13 décembre 2013, et qui tient lieu d'examen final pour ce cours.