

**Introduction à la relativité générale**  
**PHY-4201/PHY-7007**  
**Département de Physique, génie physique et optique, Université Laval**  
**Session: Automne 2019**

---

### Responsables

---

**Professeur:** Luc Marleau, VCH-3417  
tél : (418) 656-2131 x2643  
fax: (418) 656-5902  
courriel: lmarleau@phy.ulaval.ca  
site web: <http://feynman.phy.ulaval.ca/marleau/marleau.html>

**Dépanneur/correcteur:** Geneviève Boudreau (genevieve.boudreau.3@ulaval.ca) (correctrice)

---

### Horaire

---

Jeudi 12h30-15h20 PLT-2510 cours en classe

---

### Références principales

---

Le premier ouvrage sont des notes de cours qui ont servi de base au livre publié plus récemment :

- *Lecture Notes on General Relativity*, Sean M. Carroll, <https://arxiv.org/abs/gr-qc/9712019>
- *Spacetime and geometry : an introduction to general relativity*, Sean M. Carroll, Pearson (New York, 2014), ISBN : 1292026634.

---

### Références complémentaires

---

Il existe de multiples ouvrages portant sur la relativité générale mais deux d'entre-eux sont particulièrement bien adaptés au niveau du cours:

- *A first course in general relativity*, Bernard F. Schutz, Cambridge University Press (Cambridge, 2009), ISBN : 9780521887052.
- *Gravity : an introduction to Einstein's general relativity*, James B. Hartle, Addison-Wesley (San Francisco, Calif. [u.a.], 2003) ISBN : 0805386629.

Ressources additionnelles:

- *Relativity, Gravitation and Cosmology*, Lambourne, Robert J.A. (Cambridge University Press 2010)
- *Problem Book in Relativity and Gravitation*, Lightman, A.P., Press, W.H., Price, R.H., & Teukolsky, S.A., (Princeton 1975)
- *Black Holes*, Luminet, J.P. (Cambridge 1992)
- *Gravitation*, Misner, C., Thorne, K., & Wheeler, J. (Freeman 1973) — MTW
- *Time Machines*, Nahim, P.J. (AIP 1993)
- *Spacetime Physics, Introduction to Special Relativity*, Taylor, E.F., & Wheeler, J. (Freeman 1992)
- *Exploring Black Holes*, Taylor, E.F., & Wheeler, J. (Addison Wesley 2000)
- *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy*, Thorne, K.S. (Norton 1994)
- *General Relativity*, Wald, R. (Chicago 1984)
- *Gravitation and Cosmology*, Weinberg, S. (Wiley 1972)

---

## But du Cours

---

Le cours vise:

- à introduire, en utilisant le langage de la physique moderne, les concepts fondamentaux de la relativité générale, en insistant sur l'aspect géométrique de la théorie et le caractère physique des phénomènes, et
- à donner un aperçu des applications actuelles, du point de vue des situations rencontrées en astrophysique dans le contexte des trous noirs.

Les connaissances acquises devront se situer à un niveau équivalent à celui du livre de référence.

---

## Contenu et objectifs

---

### Contenu:

- Rappel de notions d'algèbre tensorielle et de calcul tensoriel.
- Intégration, variation et symétrie.
- La relativité spéciale revisitée.
- Les principes de la relativité générale.
- Équations de champ.
- Tenseur énergie-impulsion.
- Structure des équations de champ.
- Solution de Schwarzschild.
- Vérifications expérimentales de la relativité générale.
- Applications aux trous noirs, aux ondes gravitationnelles
- (Applications à la cosmologie ne seront pas traitées ici.)

### Objectifs:

Les objectifs du cours sont de permettre à l'étudiant(e) de:

- comprendre les limites de la théorie Newtonienne de la gravité;
- apprécier clairement les concepts de base et les principes de la relativité générale;
- s'initier à certaines des applications les plus connues et importantes de la relativité générale dans le domaine des trous noirs.

### Qualités ou de compétences développées dans le programme:

À la fin du cours (et selon la matière couverte dans le cours), l'étudiant devra pouvoir:

- effectuer des opérations tensorielles de base;
  - donner une interprétation physique des tenseurs importants en relativité générale;
  - expliquer comment on obtient la métrique de Schwarzschild à partir des équations du champ de la relativité générale et en donner les principales propriétés;
  - dériver les trajectoires de particules et photons pour la métrique de Schwarzschild (trous noirs) et en donner une interprétation physique.
  - décrire les propriétés importantes de la métrique de Kerr qui la distinguent de la métrique de Schwarzschild;
  - solutionner des problèmes simples impliquant différents observateurs physiques affectés par le champ gravitationnel d'un trou noir.
- 

## Mode d'évaluation

---

- L'évaluation est basée sur deux examens partiels obligatoires et une série de devoirs à remettre. La note est calculée selon:

Évaluation Séries d'exercices	Travaux à remettre à des dates précises	Pondération
1 <sup>ier</sup> examen:	1 <sup>e</sup> partie 24 octobre 2019	35%
2 <sup>e</sup> examen:	2 <sup>e</sup> partie 19 décembre 2019	35%

- La note de passage est de 50% et correspondra à la frontière entre les cotes *D* et *E*. Les notes supérieures à la note de passage couvriront le reste du spectre de cotes, soit de *D* à *A*<sup>+</sup> comme établi dans le tableau ci-bas.

Tableau de conversion: Notes vs Cotes									
90	≤	<i>A</i> <sup>+</sup>	<	100	70	≤	<i>C</i> <sup>+</sup>	<	74
86	≤	<i>A</i>	<	90	65	≤	<i>C</i>	<	70
82	≤	<i>A</i> <sup>-</sup>	<	86	60	≤	<i>C</i> <sup>-</sup>	<	65
80	≤	<i>B</i> <sup>+</sup>	<	82	55	≤	<i>D</i> <sup>+</sup>	<	60
77	≤	<i>B</i>	<	80	50	≤	<i>D</i>	<	55
74	≤	<i>B</i> <sup>-</sup>	<	77			<i>E</i>	<	50

- La cotation est établie en fonction des objectifs du cours et non la force du groupe mais on pourra tenir compte de la difficulté des questionnaires. Dans la correction, l'importance est accordée aux hypothèses de départ et à la justesse du raisonnement plus qu'à l'exactitude des calculs numériques. La qualité de la langue est aussi un critère de correction.

1

#### <sup>1</sup>Règles disciplinaires:

Tout étudiant qui commet une infraction au Règlement disciplinaire à l'intention des étudiants de l'Université Laval dans le cadre du présent cours, notamment en matière de plagiat, est passible des sanctions qui sont prévues dans ce règlement. Il est très important pour tout étudiant de prendre connaissance des articles 28 à 32 du Règlement disciplinaire. Celui-ci peut être consulté à l'adresse suivante: [http://www.ulaval.ca/sg/reg/reglements/reglement\\_disciplinaire.pdf](http://www.ulaval.ca/sg/reg/reglements/reglement_disciplinaire.pdf)

Plagiat: Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.