DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE
PLAN DE COURS – HIVER 2024

SIGLE DU COURS : **PHY 1973**

TITRE DU COURS : **Astrobiologie**
L'origine et l'évolution de la vie dans l'Univers

NOMBRE DE CRÉDITS : **3**

MODE D'ENSEIGNEMENT : **Présentiel**

BUT DU COURS :
Quelle est l'origine de la vie? Quels mécanismes évolutifs ont mené au développement des formes complexes de la vie? Sommes-nous seuls dans l'Univers? Ces questions à propos de l'apparition de la vie sur notre planète et (possiblement) ailleurs fascinent l'humanité depuis la nuit des temps. Les découvertes scientifiques récentes dans les domaines de l'astronomie, de la biologie, de la biochimie et de la géologie permettent, pour la première fois, de répondre, à tout le moins en partie, à ces questions. L'objectif du cours est de décrire, tant du point de vue théorique que des données d'observation, l'origine et l'évolution de la complexité dans l'Univers en mettant l'accent sur les processus qui ont favorisé l'apparition de la vie. Ce cours s'adresse à toutes les personnes intéressées par la quête des origines et de l'évolution de la vie, et ne nécessite aucun préalable.

PROFESSEUR : **Robert Lamontagne**
Courriel : robert.lamontagne@umontreal.ca

CORRECTEURS : **Dominic Couture**
Courriel : dominic.couture.1@umontreal.ca

Fallah-Zarrinkar Amirhossein
Courriel : amirhossein.fallah.zarrinkar@umontreal.ca

BARÈME DU COURS : **Résumé de lectures – 40% (19 février 2024)**
Pecha Kucha 20x20 – 60% (15 avril 2024)

PROGRAMME DU COURS :

Le cours est divisé en vingt-six (26) présentations d'environ 75 minutes. **Chaque semaine, il y aura deux présentations en classe**, séparées par une pause de 10 minutes. Les sujets couverts seront :

1. **Qu'est-ce que l'astrobiologie ? (08/01)**
    - Définition et brève histoire de l'astrobiologie
    - Les principes de base : médiocrité, uniformité, plénitude
2. **Qu'est-ce que la vie ? (08/01)**
    - Comment définir la vie ?
    - L'ordre, le désordre et la complexité
    - Vers une définition « thermodynamique » de la vie
3. **Le Big Bang et l'origine de la matière (15/01)**
    - La structure et l'organisation de la matière
    - La théorie du Big Bang
    - Les observations cosmologiques
4. **L'origine et l'évolution des galaxies (15/01)**
    - L'origine des galaxies
    - La structure et l'évolution des galaxies
    - L'expansion et l'origine de la complexité
    - Les galaxies et la vie
5. **L'origine et l'évolution des étoiles (22/01)**
    - Les pouponnières stellaires
    - La structure interne et les réactions thermonucléaires de fusion
    - La diversité des étoiles
6. **La mort des étoiles et l'origine des éléments (22/01)**
    - La nucléosynthèse stellaire
    - La mort des étoiles
    - La chimie interstellaire
7. **Le système solaire (29/02)**
    - L'inventaire des structures
    - La dynamique du système solaire
8. **Les planètes extrasolaires – I (29/02)**
    - La découverte des planètes extrasolaires
    - L'inventaire des planètes extrasolaires
    - Les propriétés physiques des planètes extrasolaires

9. **L'origine et les caractéristiques des systèmes planétaires (05/02)**
    - La nébuleuse protosolaire
    - Le rôle de la coagulation et de la gravité
    - La zone d'habitabilité
10. **L'évolution des systèmes planétaires (05/02)**
    - Chaos et bombardements dans le système solaire
    - L'origine de la Lune
    - L'extension de la zone d'habitabilité
    - La mort des systèmes planétaires
11. **La formation et l'évolution de la Terre – I (12/02)**
    - Les méthodes de datation et l'âge de la Terre
    - L'activité géologique et l'origine des continents
    - L'activité géologique et la régulation du climat
12. **La formation et l'évolution de la Terre – II (12/02)**
    - L'origine de l'atmosphère et des océans
    - Une description de la Terre prébiotique
    - L'évolution de l'atmosphère
13. **Introduction à l'évolution biologique (19/02)**
    - Les composés biologiques importants
    - Les molécules organiques
    - Le rôle de l'ADN, de l'ARN et des protéines
    - Les cellules
14. **L'origine de la vie sur Terre (19/02)**
    - Les hypothèses sur les origines de la vie
    - L'évolution chimique
    - Le rôle des minéraux
    - L'origine de la première cellule
15. **La vie microbienne (26/03)**
    - La recherche des fossiles primitifs
    - La vie dans les environnements extrêmes
16. **L'arbre du vivant (26/03)**
    - La classification des espèces
    - La phylogénie moléculaire
    - L'arbre universel du vivant
    - Existe-t-il un ancêtre commun universel ?
17. **Le développement des formes complexes de la vie (11/03)**
    - La période précambrienne
    - L'explosion (?) du cambrien

18. L'évolution et les extinctions massives (11/03)

- Les grandes extinctions
- La Terre boule de neige
- La grande extinction du Permien-Trias
- L'impact de Chicxulub et l'extinction des dinosaures

19. L'énigme de la diversification (18/03)

- L'évolution des espèces
- Les extinctions et la diversité
- La photosynthèse et la révolution de l'oxygène
- L'apparition de l'intelligence est-elle inévitable ?

20. Le destin de la vie sur Terre (18/03)

- La 6e extinction
- Le retour des glaciers
- Le retour du supercontinent
- La disparition des océans

21. La vie ailleurs dans le système solaire – I (25/03)

- L'origine des martiens
- L'évolution géophysique de la planète Mars
- L'évolution biologique sur la planète Mars ?

22. La vie ailleurs dans le système solaire – II (25/03)

- Les mondes glacés – Europe, Ganymède, Encelade
- Titan – un environnement terrestre primitif
- La planète Vénus
- Des fossiles sur la Lune ?

23. Les planètes extrasolaires – II (08/04)

- Découvrir des exoterres
- Les biosignatures spectrales
- Découvrir la vie sur un autre monde

24. La vie ailleurs dans l'Univers (08/04)

- La recherche de civilisations extraterrestres
- L'équation de Drake
- Le principe de médiocrité revu et corrigé

25. L'humanité dans l'espace (15/04)

- L'adaptation à la vie dans l'espace
- Les dangers de la vie dans l'espace
- La conquête du système solaire
- La conquête des étoiles

26. Les OVNIS : mythes et réalité (15/04)

ÉVALUATION ET BARÈME :

Il n'y a pas d'examen traditionnel dans le cadre de ce cours. Le barème proposé fait usage de deux modes d'évaluation : 1) un résumé de lectures et 2) une présentation de style « Pecha Kucha ».

1) Résumé de lectures :

Le **premier travail** (40% de la note finale) consiste en une recherche bibliographique suivie de la rédaction d'un **résumé de vos lectures d'environ 4 000 mots**. La date de remise est, au plus tard, le **lundi 19 février 2024**. Le thème devra être choisi parmi la liste suivante :

1) Comment a-t-on défini la vie au cours de l'histoire?
2) Copernic, Galilée, Kepler et le développement du modèle héliocentrique.
3) L'origine de la théorie du Big Bang et comment elle s'est imposée au 20e siècle.
4) Le rôle de la matière sombre dans l'origine et l'évolution des galaxies.
5) Le télescope *Euclid* et l'étude de l'énergie sombre.
6) L'origine des éléments du Tableau périodique.
7) L'activité solaire et ses impacts sur notre planète.
8) Les astéroïdes géocroiseurs : comment les repérer et comment protéger la Terre?
9) De la dérive des continents à la tectonique des plaques.
10) L'origine et l'évolution de l'atmosphère de la Terre.

2) Présentation Pecha Kucha :

Le **deuxième travail** (60% de la note finale) consiste aussi en une recherche bibliographique suivie de la production d'une présentation **Pecha Kucha 20x20**. Un Pecha Kucha est un format de présentation PowerPoint où il faut illustrer et narrer un propos à partir de **20 images** qui défilent l'une à la suite de l'autre au rythme de **20 secondes** chacune. **Les images et la narration défilent automatiquement**.

Les liens suivants expliquent ce qu'est un PechaKucha. Le premier est un *méta* Pecha Kucha (en anglais), et le deuxième est le site officiel des Pecha Kucha. Vous y trouverez de nombreux exemples, dont l'un présentant l'importance du choix des images. Les deux autres liens, en français, donnent aussi des informations très utiles sur ce type de présentation.

https://www.youtube.com/watch?v=32WEzM3LFhw
https://www.pechakucha.org/

https://communagir.org/contenus-et-outils/communagir-pour-emporter/les-outils-d-animation/pecha-kucha/
http://www.deskmag.com/fr/pecha-kucha-l-art-de-pitcher-en-6-min-40-sec

La date de remise est, au plus tard, le **lundi 15 avril 2024**. Le thème devra être choisi parmi la liste suivante :

1) L'expérience de Miller-Urey d'hier à aujourd'hui.
2) Le milieu interstellaire et la création de molécules organiques.
3) Les virus sont-ils vivants ?
4) Les micro-organismes de l'extrême.
5) Les supernovas et leur rôle dans les extinctions de masse.
6) L'intérêt des lunes Europe, Ganymède et Encelade.
7) *Dragonfly*, la prochaine grande mission vers Saturne.
8) L'étude des planètes du système Trappist 1.
9) La mission Artémis 2.
10) L'origine de l'équation de Drake et des premières recherches de la vie extraterrestre intelligente.

INSTRUCTIONS GÉNÉRALES POUR LES TRAVAUX :

- Les thèmes proposés sont des thèmes mineurs, dans le sens qu'ils sont mentionnés en classe mais pas abordés de façon détaillée. Chaque thème exige donc une recherche bibliographique.
- Cette recherche devrait idéalement faire appel à des ressources de type « papier » et de type « toile WWW ». Le réseau des bibliothèques de l'Université de Montréal pourrait vous être utile. N'hésitez pas à utiliser leurs ressources.
- En général, les références à des livres très généraux, par exemple ceux de Gilmour & Sephton ou Goldsmith & Owen (voir la bibliographie à la fin) ne sont pas suffisantes. De même, les références à Wikipédia peuvent servir de point de départ mais ne sont pas suffisantes.
- En plus de l'internet et de livres, n'oubliez pas de jeter un coup d'œil à l'index de revues comme *Québec Science, La Recherche*, *Scientific American* ou sa version française *Pour la Science.*
- Le travail peut être fait individuellement ou en équipe; **deux (2)** étudiant(e)s (maximum) peuvent former une équipe. La même note sera attribuée à chaque membre de l'équipe.

Vous pouvez consulter les documents « **Consignes et grille d'évaluation du TP no.1** », ainsi que « **Consignes et grille d'évaluation du TP no.2** », disponibles sur la page StudiUM du cours, pour obtenir toutes les informations spécifiques aux travaux.

ATTENTION :

- Autant que possible, vous devez mettre l'accent sur les **connaissances scientifiques qui sont en lien avec l'astrobiologie**.
- Assurez-vous de formuler l'information pertinente **dans vos propres mots** et de **citer vos sources**, autant pour le contenu que pour les images.

- Le plagiat à l'Université de Montréal est sanctionné par le Règlement disciplinaire sur la fraude et le plagiat concernant les étudiants. Pour plus de renseignements, consultez le site www.integrite.umontreal.ca.
- **Les dates de remise (19 février et 15 avril) sont fermes. Une pénalité de 5% par journée de retard sera appliquée.**

MATÉRIEL DIDACTIQUE :

Tous les lundis, les fichiers PDF des présentations en classe seront disponibles sur la page StudiUM du cours. Quelques exemplaires de livres tels que « The Search for Life in the Universe » de Donald Goldsmith et Tobias Owen et « An Introduction to Astrobiology » de Iain Gilmour et Mark Sephton sont disponibles à la bibliothèque des sciences de l'Université de Montréal, située sur le campus MIL. L'achat de livres n'est pas obligatoire, mais ces ouvrages offrent un résumé assez complet de la discipline.

BIBLIOGRAPHIE :

Plusieurs autres ouvrages, ici-bas, sont aussi disponibles à la bibliothèque des sciences. Des extraits de certains livres sont disponibles en ligne en cliquant sur l'hyperlien.

- Adams, F. 2002, *Origins of Existence – How Life Emerged in the Universe*, Free Press.
- Catling, D.C. 2013, Astrobiology – A very short introduction, Oxford.
- Chaisson, E. 2001, *Cosmic Evolution – The Rise of Complexity in Nature*, Harvard University Press.
- Cockell, C.S. 2003, *Impossible Extinction*, Cambridge University Press.
- Darling, D. 2001, *Life Everywhere – The Maverick Science of Astrobiology*, Basic Books.
- Davies, P. 2010, *The Eerie Silence*, HMH Publishing Company.
- Dick, S.J. 1996, *The Biological Universe*, Cambridge University Press.
- Friend, T. 2007, *The Third Domain*, Joseph Henry Press
- Gargaud, M. 2001, *L'Environnement de la Terre Primitive*, Presses Universitaires de Bordeaux.
- Gargaud, M. 2003, *Les Traces du Vivant*, Presses Universitaires de Bordeaux.
- Gargaud, M., Barbier, B., Martin, H., & Reisse, J. 2005, *Lectures in Astrobiology*, Vol. I, Springer-Verlag.
- Gilmour, I., & Sephton, M.A. 2011, *An Introduction to Astrobiology*, Cambridge University Press.
- Goldsmith, D., & Owen, T. 2002, *The Search for Life in the Universe*, 3e édition, University Science Book.
- Horneck, G. & Rettberg, P. 2007, *Complete course in astrobiology*, Wiley-VCH

- Jones, B. 2004, *Life in the Solar System and beyond*, Springer-Praxis.
- Pudritz, R., Higgs, P., & Stone, J. 2007, *Planetary Systems and the Origins of Life*, Cambridge University Press.
- Ruse, M., & Travis, J. 2009, *Evolution: The First Four Billion Years*, Harvard University Press.
- Séguin, M., & Villeneuve, B. 2001, *Astronomie & Astrophysique – Cinq grandes idées pour explorer et comprendre l'Univers*, 2e édition, Éditions du renouveau pédagogique.
- Schulze-Makuch, D. & Irwin, L.N. 2004, *Life in the Universe*, Springer-Verlag.
- Ulmschneider, P. 2003, *Intelligent Life in the Universe*, Springer-Verlag.
- Ward, P.D., & Brownlee, D. 2000, *Rare Earth*, Copernicus (Springer-Verlag).
- Ward, P.D., & Brownlee, D. 2002, *The Life and Death of Planet Earth*, Piatkus.
- Ward, P.D. 2005, *Life as we do not know it*, Viking.
- Webb, S. 2015, If the universe is teeming with aliens… Where is everybody?, Springer.

Finalement, les sites web suivants offrent du matériel intéressant:

- La revue Astrobiology : http://www.liebertpub.com/AST
- NASA Astrobiology : http://astrobiology.nasa.gov/
- Universe Today : http://www.universetoday.com/

- Podcast Astronomy Cast : http://www.astronomycast.com/
- Youtube NASA Astrobiology Institute : http://www.youtube.com/user/NAIVideoResources
- Youtube SETI Institute : http://www.youtube.com/user/setiinstitute
- Are we alone ? : http://www.arewealone.us