

GÉO6341 – AUTOMNE 2011

Étude des systèmes complexes

Professeure :	Lael Parrott Professeure agrégée Département de géographie, Université de Montréal
Bureau :	Pavillon Strathcona, 520 Côte Ste. Catherine, Montréal, local 429-3
Heures de consultation :	les mercredis de 10h30 – 12h30 ou sur rendez-vous
Courriel :	lael.parrott@umontreal.ca
Assistante :	Élise Filotas Stagiaire postdoctorale Centre d'étude de la forêt
Consultation :	Sur rendez-vous
Courriel :	larose_filotas.elise@uqam.ca
Horaire :	lundi de 9h00 à 12h00
Local :	Salle P-217 au pavillon Roger-Gaudry, UdeM 12 et 19 septembre 3, 10, 17, 24 et 31 octobre 7 et 28 novembre 5 décembre Salle S-116 au pavillon Roger-Gaudry, UdeM 26 septembre 14 et 21 novembre

Objectifs

Ce cours vise à introduire les concepts fondamentaux et les avancées récentes reliés à l'étude des systèmes complexes. À la fin du cours, l'étudiant(e) sera en mesure de définir qu'est-ce qu'on entend par « système complexe » et de décrire comment la complexité se manifeste dans le monde naturel. Ensuite, il/elle sera capable d'analyser des données expérimentales pour démontrer l'évidence de la dynamique non-linéaire typique de la complexité et de comparer ses observations avec certains modèles d'organisation proposés dans la littérature récente. Cette année nous porterons une attention particulière à l'application de la science de la complexité à la gestion de l'environnement, de l'échelle des écosystèmes aux paysages régionaux. Nous étudierons le paysage en tant que système socio-écologique couplé, explorant comment l'étude des systèmes complexes pourrait nous apporter des nouvelles approches et visions en gestion durable des ressources.

Ce cours, offert par le Département de géographie à l'Université de Montréal, fait partie du *Programme d'étude interuniversitaire en modélisation de la complexité de la forêt*.

Plan du cours

1. Introduction

Survol des origines de la discipline, des chercheurs et des instituts de recherche fondateurs. Discussion des principales caractéristiques d'un système complexe et des définitions du terme « complexité ».

2. Chaos et dynamique non-linéaire : concepts de base

L'étude des systèmes complexes découle, en partie, de la recherche de mécanismes responsables de la dynamique non-linéaire dans les systèmes naturels. Nous examinerons les concepts de base, incluant : l'espace des phases, chaos et attracteurs étranges et des méthodes de détection de chaos dans un signal.

3. Caractérisation de la complexité dans les séries temporelles

Comment peut-on caractériser la classe de dynamique typique d'un système complexe? Quelle est la différence entre « chaotique » et « complexe »? Nous étudierons quelques méthodes quantitatives récentes.

4. Fractales et le concept d'échelle

Les systèmes complexes sont souvent caractérisés par une structure ou une dynamique dite « invariante » d'échelle. Dans cette partie du cours, nous investiguerons ce phénomène à partir de la littérature sur les fractales, le bruit $1/f$ et la théorie de « self-organised criticality ».

5. Réseaux complexes

La structure d'une vaste gamme de systèmes complexes peut être analysée à partir de la théorie des graphes, en représentant un système comme étant un réseau de nœuds connectés par de liens. Nous comparons quelques modèles de réseaux complexes (les réseaux « small-world » et les réseaux « scale-free ») avec des réseaux réguliers et aléatoires.

6. Complexité, écologie et gestion des ressources

Comment incorporer la science de la complexité dans l'analyse et la gestion des écosystèmes? Dans cette dernière partie du cours nous discuterons de la littérature récente en complexité écologique et systèmes socio-écologiques complexes.

Modalités d'enseignement

Cours avec interactions, échanges et discussion. Vous êtes responsables de votre propre apprentissage ! Chaque semaine, des lectures et/ou un petit exercice (ex. l'investigation d'un logiciel d'analyse ou l'essai d'un modèle) accompagnant la leçon seront assignés. Il est anticipé que vous apporterez au cours des commentaires, des questions, etc. reliés à ce travail hebdomadaire. Le cours sera offert via vidéoconférence aux étudiants à l'extérieur de Montréal.

Évaluation

Travaux pratiques (2 @ 15 % chacun)

- TP #1 : Analyse des séries chronologiques
TP #2 : Analyse d'un réseau complexe

Les TPs consisteront d'exercices pratiques illustrant les concepts présentés dans le cours et feront une partie essentielle de l'apprentissage. L'évaluation sera basée sur l'approche et l'imagination portée au problème plutôt que sur sa solution.

Notez qu'une connaissance de base de la programmation sera requise pour l'exécution des TPs (un environnement d'analyse tel que MATLAB ou R est recommandé).

Présentation (20 %)

Chaque étudiant sera invité à faire une présentation en classe portant sur un des articles dans la liste de lectures recommandées. L'objectif de la présentation est de nous éclaircir sur le sujet de l'article en faisant une analyse critique de son contenu. Pour étoffer votre analyse, nous vous encourageons à faire la recherche d'autres articles par les mêmes auteurs, la lecture des références de base sur lesquelles l'article est fondé, une investigation des biographies des auteurs principaux, etc. Le calendrier des présentations sera déterminé en classe les lundis 12 et 19 septembre. Votre note sera déterminée par vos pairs et par les professeurs. Durée : 30 minutes.

Travail de session : Essai théorique (50 %)

Le travail de session vous donnera l'opportunité d'étudier plus profondément un des sujets touchés dans le cours. Plusieurs options sont possibles pour ce travail, qui peut prendre la forme d'une revue de la littérature sur un aspect de la complexité ou d'une analyse des caractéristiques complexes d'un système en particulier, par exemple. Lorsque possible, nous vous encourageons fortement à choisir un sujet lié à votre propre sujet de thèse ou de mémoire.

Dates importantes

17 octobre	Date limite pour remettre le TP1
21 novembre	Date limite pour remettre le TP2
12 décembre	Remise des rapports du travail de session

Manuel de cours et recueil de textes

L'achat du livre « Complexity : A Guided Tour » par Mélanie Mitchell est fortement recommandé. Ce livre est un bon survol de l'étude des systèmes complexes et nous nous

servirons de plusieurs chapitres comme tremplin pour introduire des sujets. Ce livre est disponible pour achat en ligne via Amazon.com ou d'autres fournisseurs.

Les autres textes seront disponibles en format PDF.

Calendrier

Date	Sujet	Lectures
12 sept	Présentation du plan de cours Survol des origines de la discipline, des chercheurs et des instituts de recherche fondateurs. Discussion des principales caractéristiques d'un système complexe et des définitions du terme « complexité ». Introduction au chaos (L. Parrott et E. Filotas)	(Cho, 2009) (Mitchell, 2009), Ch. 1
19 sept	Chaos, suite (E. Filotas)	(Crutchfield et al., 1986) Mitchell, Ch. 2
26 sept	Chaos, suite (E. Filotas)	(Hilborn, 2000), Ch. 9 sur la détection et la caractérisation du chaos; (Benincà et al., 2008)
3 oct	Mesures de complexité dans des données temporelles & spatio-temporelles (L. Parrott)	Mitchell, Ch. 7, (Gell-Mann and Lloyd, 1996; Parrott, 2010; Parrott et al., 2008)
10 oct	<i>Action de grâce. Congé.</i>	
17 oct	Structures et dynamiques invariantes à l'échelle – Fractales et « Self-organized criticality » (SOC) (E. Filotas) Remise du TP 1	Mitchell, Ch. 17 (Bak and Chen, 1991; West and Shlesinger, 1990) (Brown et al., 2002; Malamud et al., 1998)
24 oct	<i>Semaine de lecture. Congé.</i>	
31 oct	Réseaux « small-world » et « scale-free » (L. Parrott)	Mitchell, Ch. 15 & 16 (Albert et al., 2000; Barabasi and Albert, 1999; Onnela et al., 2007; Watts and Strogatz, 1998)
7 nov	Réseaux écologiques complexes (L. Parrott)	(Banašek-Richter et al., 2009; Dunne et al., 2002; Montoya and Solé, 2002; Williams et al., 2002)
14 nov	Complexité, résilience et écosystèmes (L. Parrott)	(Gunderson and Holling, 2002) (Chapitre 2) Hughes et al., 2005;(Liu et al., 2007)
21 nov	Systèmes socio-écologiques couplés (L. Parrott) Remise du TP2	(Bennett and McGinnis, 2008; Gonzalès and Parrott, 2011)

28 nov	Changements de régime & résilience (E. Filotas)	(Hsieh et al., 2005; Scheffer et al., 2009; Scheffer et al., 2001; Scheffer and Carpenter, 2003)
5 déc	Le paysage en tant que système complexe: défis de gestion (L. Parrott) Conclusion (tous)	(Armitage et al., 2008; Harris, 2009; Lindenmayer et al., 2008)

Fraude et plagiat : Tolérance zéro

En tant que membres de la communauté universitaire, nous sommes tous tenus de pratiquer un code de conduite respectant l'intégrité académique. L'Université de Montréal adopte la définition du *Center for Academic Integrity* selon laquelle l'intégrité académique est « un engagement à respecter, quelles que soient les circonstances, les cinq valeurs fondamentales suivantes: honnêteté, confiance, justice, respect, responsabilité. Les pratiques découlant de ces valeurs permettent aux universités de bien remplir leur mission d'enseignement et de recherche et de contribuer de façon positive à la société dans laquelle elles évoluent. » (Comité sur l'intégrité, Université de Montréal, <http://www.integrite.umontreal.ca/definitions/integrite.html>).

En tant qu'étudiants inscrits à l'Université de Montréal, vous avez la responsabilité de bien vous informer de ce code de conduite et surtout des règlements disciplinaires reliés aux infractions. En effet, « Il incombe...à tous les étudiants de comprendre ce qu'on entend par tricherie, plagiat et autres infractions académiques, ainsi que les conséquences que peuvent avoir de telles actions... » (Université McGill, Resolution on Academic Integrity)

Au Département de géographie, nous sommes fiers de travailler dans un environnement d'intégrité académique où **la fraude et le plagiat ne sont pas tolérés**.

Pour de plus amples informations sur l'intégrité académique et pour prendre connaissance du règlement sur le plagiat de l'Université de Montréal, veuillez consulter le site : www.integrite.umontreal.ca.

Bibliographie

Albert, R., Hawoong, J., Barabasi, A., 2000. Error and attack tolerance of complex networks. *Nature* 406.

Armitage, D.R., Plummer, R., Berkes, F., Arthur, R.I., Charles, A.T., Davidson-Hunt, I.J., Diduck, A.P., Doubleday, N.C., Johnson, D.S., Marschke, M., 2008. Adaptive co-management for social-ecological complexity. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7(2), 95-102.

Bak, P., Chen, K., 1991. Self-organized criticality. *Scientific American* 264, 46-53.

Banašek-Richter, C., Bersier, L.F., Cattin, M.F., Baltensperger, R., Gabriel, J.P., Merz, Y., Ulanowicz, R.E., Tavares, A.F., Williams, D.D., Ruitter, P.C., 2009. Complexity in quantitative food webs. *Ecology* 90(6), 1470-1477.

- Barabasi, A., Albert, R., 1999. Emergence of scaling in random networks. *Science* 286, 509-512.
- Benincà, E., Huisman, J., Heerkloss, R., Jöhnk, K., Branco, P., Van Nes, E., Scheffer, M., Ellner, S., 2008. Chaos in a long-term experiment with a plankton community. *Nature* 451(7180), 822-825.
- Bennett, D., McGinnis, D., 2008. Coupled and complex: Human-environment interaction in the Greater Yellowstone Ecosystem, USA. *Geoforum* 39(2), 833--845.
- Brown, J.H., Gupta, V.K., Li, B.-L., Milne, B.T., Restrepo, C., West, G.B., 2002. The fractal nature of nature: power laws, ecological complexity and biodiversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 357(1421), 619-626.
- Cho, A., 2009. Ourselves and our interactions: The ultimate physics problem? *Science* 325, 406-408.
- Crutchfield, J.P., Farmer, J.D., Packard, N.H., Shaw, R.S., 1986. Chaos. *Scientific American* 255(6), 46-57.
- Dunne, J.A., Williams, R.J., Martinez, N., 2002. Network structure and biodiversity loss in food webs: Robustness increases with connectance. *Ecology Letters* 5, 558-567.
- Gell-Mann, M., Lloyd, S., 1996. Information measures, effective complexity and total information. *Complexity* 2(1), 44-52.
- Gonzalès, R., Parrott, L., 2011. Network theory in the assessment of the sustainability of social-ecological systems. *Geography Compass* In press.
- Gunderson, L.H., Holling, C., 2002. *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*. Island Press.
- Harris, G., 2009. Seeking Sustainability within Complex Regional Natural Resource Management Systems, In: Meyer, W. (Ed.), *Place and Purpose 2009*. Spatial Sciences Institute: Adelaide, South Australia.
- Hilborn, R., 2000. *Chaos and Non-Linear Dynamics : An Introduction for Scientists and Engineers*. Oxford University Press, London.
- Hsieh, C.H., Glaser, S.M., Lucas, A.J., Sugihara, G., 2005. Distinguishing random environmental fluctuations from ecological catastrophes for the North Pacific Ocean. *Nature* 435, 336-340.
- Lindenmayer, D., Hobbs, R.J., Montague Drake, R., Alexandra, J., Bennett, A., Burgman, M., Cale, P., Calhoun, A., Cramer, V., Cullen, P., 2008. A checklist for ecological management of landscapes for conservation. *Ecology Letters* 11(1), 78-91.
- Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S.R., Folke, C., Alberti, M., Redman, C.L., Schneider, S.H., Ostrom, E., Pell, A.N., Lubchenco, J., others, 2007. Coupled human and natural systems. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 36(8), 639-649.
- Malamud, B.D., Morein, G., Turcotte, D.L., 1998. Forest-fires: An example of self-organized critical behavior. *Science* 281, 1840-1842.
- Mitchell, M., 2009. *Complexity: A guided tour*. Oxford University Press, USA.
- Montoya, J., Solé, R., 2002. Small World Patterns in Food Webs. *Journal of Theoretical Biology* 214, 405-412.

- Onnela, J.P., Saramäki, J., Hyvönen, J., Szabó, G., Lazer, D., Kaski, K., Kertész, J., Barabási, A.L., 2007. Structure and tie strengths in mobile communication networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104(18), 7332.
- Parrott, L., 2010. Measuring Ecological Complexity. *Ecological Indicators* 10, 1069-1076.
- Parrott, L., Proulx, R., Thibert-Plante, X., 2008. Three-dimensional metrics for the analysis of spatiotemporal data in ecology. *Ecological Informatics* 3(6), 343-353.
- Scheffer, M., Bascompte, J., Brock, W.A., Brovkin, V., Carpenter, S.R., Dakos, V., Held, H., van Nes, E.H., Rietkerk, M., Sugihara, G., 2009. Early-warning signals for critical transitions. *Nature* 461(7260), 53-59.
- Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J., Folkes, C., Walker, B., 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* 413, 591-596.
- Scheffer, M., Carpenter, S.R., 2003. Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. *Trends in Ecology & Evolution* 18(12), 648-656.
- Watts, D., Strogatz, S., 1998. Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature* 393(440-442).
- West, B.J., Shlesinger, M., 1990. The noise in natural phenomena. *American Scientist* 78(1), 40-45.
- Williams, R.J., Berlow, E., Dunne, J.A., Barabasi, A., Martinez, N., 2002. Two degrees of separation in complex food webs. *PNAS* 99(20), 12913-12916.