

Offre de sujet de thèse

Titre	Invasions biologiques végétales : modéliser les stratégies d'intervention précoce et de contrôle sur le long-terme et évaluer leur efficacité en fonction du niveau de prolifération
Discipline	Mathématiques Appliquées
Thématiques	Invasions biologiques, processus aléatoires, théorie du contrôle
Directeur de thèse	Sophie Martin - sophie.martin@irstea.fr
Encadrement	Mathématiques : Isabelle Alvarez, Sophie Martin, Charline Smadi, UR Irstea LISC (Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Complexes). Ecologie des invasions biologiques : Fanny Dommanget, Bjoern Reineking, UR Irstea EMGR, équipe « Dynamiques et gestions des écosystèmes ».
Lieu de la thèse	Institut des Systèmes Complexes de Paris Île-de-France, 113 rue Nationale, 75013 Paris
Profil candidat	Master 2 ou équivalent en mathématiques appliquées intéressé par les applications des mathématiques en écologie, avec une spécialité dans les domaines suivants : modélisation, systèmes dynamiques, processus aléatoires ou théorie du contrôle.
Résumé	<p>La thèse à défendre est que modéliser le phénomène des invasions biologiques végétales conjointement dans le formalisme des inclusions différentielles et dans celui des processus probabilistes peut permettre d'évaluer les capacités de gestion du phénomène d'invasion dans son ensemble. En effet, des modèles probabilistes d'invasion peuvent être utilisés lorsque le nombre d'individus d'une espèce est faible (ce qui est nécessairement le cas au début du processus d'invasion) et les dynamiques gouvernées par des inclusions différentielles lorsque l'approximation champ moyen est valide (l'ensemble des individus de l'espèce invasive est du même ordre de grandeur que celui de l'espèce native).</p> <p>Dans le cadre d'une invasion biologique végétale, par exemple les invasions de renouées asiatiques, la question posée est de déterminer quelles sont les stratégies efficaces, intervention précoce ou contrôle sur le long terme, en fonction du stade de prolifération, et les seuils de prolifération qui font passer d'un stade à l'autre.</p> <p>D'un point de vue méthodologie, l'originalité de ce travail de thèse réside dans le fait de poser des problèmes de gestion viable dans le cadre de dynamiques hybrides, pas uniquement des inclusions différentielles mais également des processus aléatoires.</p>
Contexte	<p>La problématique des invasions biologiques est développée depuis plusieurs années dans l'équipe EDGE d'Irstea Grenoble au travers d'approches expérimentales et observationnelles [4] et d'approches par modélisation [10, 9]. A titre d'exemple, l'équipe a investigué les déterminants de la performance locale des renouées asiatiques en fonction de différents facteurs biotiques et abiotiques ainsi que sur la dynamique de colonisation spatiale des populations de ramets à l'échelle de la communauté végétale et du paysage. Par ailleurs, l'équipe travaille activement sur la modélisation de la dynamique de populations d'espèces végétales invasives par modèles individus-centrés spatialement explicites.</p> <p>Tous les milieux ne possèdent pas la même résistance à l'invasion car ils vont différer par l'intensité de compétition, de prédation ou de facilitation entre les espèces. La gestion peut intervenir sur les équilibres compétitifs par des actions directes et indirectes, en contraignant par exemple le développement des invasives et / ou en stimulant le potentiel compétitif de la communauté végétale native.</p>

Des modèles ayant comme variables des densités de populations ont été utilisés par le LISC pour mener des études de viabilité, un de ses axes majeurs de recherche. Un problème de viabilité est un problème de gestion qui se pose lorsque les dynamiques d'un système peuvent être influencées par des actions de gestion et que ces dynamiques sont confrontées à des propriétés souhaitables du système que l'on désire conserver. Résoudre un problème de viabilité consiste à déterminer les états viables du système, à partir desquels les propriétés souhaitables peuvent être conservées à condition de mener les politiques d'action adéquates. Le LISC a mené des études de viabilité concernant par exemple l'eutrophisation des lacs [6] et la préservation de la forêt malgache [3]. L'ensemble des états viables constitue le noyau de viabilité. Dans les études de viabilité menées jusqu'à présent, le cadre mathématique utilisé est celui des inclusions différentielles et les variables utilisées pour décrire le système sont des variables macroscopiques ce qui nécessite que les fluctuations individuelles soient négligeables. Lorsque le nombre d'individus d'une espèce est très faible (et que l'approximation champ moyen n'est donc pas valide) ce qui est nécessairement le cas au début du processus d'invasion, des modèles probabilistes d'invasion sont utilisés (pour le cas de l'invasion d'un allèle mutant dans une population [8, 7]).

Objectif

Dans le cadre de l'invasion biologique pour une espèce végétale, le premier objectif est de reconstruire les dynamiques à deux niveaux d'échelle : le niveau microscopique ou individuel qui sera utilisé lorsque le nombre d'individus d'une espèce est faible et le niveau macroscopique qui peut décrire le système lorsque l'approximation champ moyen est valide et qui sera probablement celui des politiques d'action envisagées.

Le second objectif est d'étudier les dynamiques d'invasion modélisées en tenant compte de l'influence des politiques d'action afin de répondre, dans le cadre de la modélisation effectuée, à l'enjeu de gestion énoncé plus haut : déterminer quelles sont les stratégies efficaces en fonction du stade de prolifération et les seuils de prolifération qui font passer d'un stade à l'autre.

Méthode

- Modélisation du phénomène d'invasion
Concernant l'interprétation des dynamiques dans le formalisme des modèles probabilistes (échelle micro) ou des inclusions différentielles (échelle macro), plusieurs pistes seront suivies et leurs résultats confrontés :
 - faire un traitement statistique des résultats des modèles individus-centrés étudiés par l'équipe EDGE pour déduire les évolutions de variables agrégées ;
 - à partir des dynamiques décrites dans ces modèles individus-centrés, utiliser des méthodes de moyennage pour déterminer les dynamiques de variables agrégées et utiliser les résultats des simulations pour quantifier les écarts à la moyenne ;
 - faire une étude bibliographique pour voir si certains modèles existants utilisent des formalismes proches de ceux que nous souhaitons utiliser.

Les choix d'échelles et des actions de gestion à considérer sont des points particulièrement importants.

- Question théorique posée
La question à laquelle nous nous intéressons est l'existence de politiques de gestion qui assurent que l'objectif de gestion des espèces invasives puisse être rempli pour tout t et, si oui, à partir de quel état de départ.

C'est une question classique de viabilité lorsque le système étudié peut être modélisé par un système dynamique contrôlé [2] prenant éventuellement en compte l'incertitude (la viabilité tychastique [1] est celle du pire des cas, la viabilité stochastique [5] est évaluée en moyenne).

Cependant, cette question de viabilité n'est pas étudiée à notre connaissance dans le cadre des processus aléatoires.

Or, la modélisation du phénomène d'invasion nécessite d'utiliser le cadre des systèmes dynamiques avec des variables macroscopiques lorsque les nombres d'individus des différentes populations sont comparables et celui des processus aléatoires décrivant l'état de chaque individu lorsque le nombre d'individus d'une population est faible. L'originalité du travail proposé est ainsi de se poser la question de la viabilité dans le cadre de dynamiques hybrides.

Références bibliographiques

- [1] J.-P. Aubin, L. Chen, and O. Dordan. *Tychastic Measure of Viability Risk. A viabilist portfolio performance and insurance approach*. Springer, Berlin, 2014.
- [2] J.P. Aubin. *Viability Theory*. Birkhauser, Basel, 1991.
- [3] C. Bernard and S. Martin. Comparing the sustainability of different action policy possibilities : Application to the issue of both household survival and forest preservation in the corridor of fianarantsoa. *Mathematical Biosciences*, 245(2) :322–330, 2013.
- [4] F. Dommangeat, A. Evette A, and T. Spiegelberger. Differential allelopathic effects of japanese knotweed on willow and cottonwood cuttings used in riverbank restoration techniques. *Journal of Environmental Management*, 132 :71–78, 2014.
- [5] L. Doyen and M. De Lara. Stochastic viability and dynamic programming. *Systems and Control Letters*, 59 :629–634, 2010.
- [6] S. Martin. The cost of restoration as a way of defining resilience : a viability approach applied to a model of lake eutrophication. *Ecology and Society*, 9(2) :19, 2004.
- [7] Brink-Spalink Rebekka and Charline Smadi. Genealogies of two linked neutral loci after a selective sweep in a large population of varying size. *arXiv preprint arXiv :1502.03837*, 2015.
- [8] C. Smadi. An eco-evolutionary approach of adaptation and recombination in a large population of varying size. *Stochastic Processes and their Applications*, 125(5) :2054–2095, 2015.
- [9] R. S. Snell, A. Huth, J. E. M. S. Nabel, G. Bocedi, J. M. J. Travis, D. Gravel, H. Bugmann, A. G. Gutierrez, T. Hickler, S. I. Higgins, B. Reineking, M. Scherstjanoi, N. Zurbriggen, and H. Lischke. Using dynamic vegetation models to simulate plant range shifts. *Ecography*, 37(12) :1184–1197, December 2014.
- [10] GR Walther, A Roques, PE Hulme, MT Sykes, P Pysek, I Kuhn, M Zobel, S Bacher, Z Botta-Dukat, H Bugmann, B Czucz, J Dauber, T Hickler, V Jarosik, M Kenis, S Klotz, D Minchin, M Moora, W Nentwig, J Ott, VE Panov, B Reineking, C Robinet, V Semchenko, W Solarz, W Thuiller, M Vila, K Vohland, and J Settele. Alien species in a warmer world : risks and opportunities. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(12) :686–693, December 2009.

Date de début de la thèse 1 novembre 2017