

# Proposition de sujet de thèse 2012

**Titre :** Méthodes de conception par optimisation de stratégies spatiales de gestion de communautés de plantes adventices

**Centres INRA :** Toulouse et Dijon

**Unités :**

- UR 875 INRA Toulouse, Unité de Biométrie et Intelligence Artificielle
- UMR 1347 AgroSup-INRA-uB Agroécologie

**Equipes d'accueil :**

- Modélisation des Agro-écosystèmes et décision (MAD)
- Pôle Ecologie des communautés et Durabilité des Systèmes Agricoles.

Le doctorant sera principalement basé dans l'équipe MAD où il pourra bénéficier des compétences méthodologiques présentes dans l'unité. Des longs séjours (3 mois) sont prévus chaque année à Dijon pour s'approprier la problématique agro-écologique et les jeux de données correspondants.

**Responsables scientifiques de la thèse :** S. Gaba (Agroécologie), N. Peyrard (MAD) et Régis Sabbadin (MAD, HDR).

## Descriptif du sujet

### 1 La (les) question(s) de recherche

L'objet de cette thèse est de développer des outils méthodologiques pour la conception de stratégies de gestion des communautés de plantes adventices à l'échelle de la mosaïque paysagère, afin d'optimiser un compromis production agricole et autres services écosystémiques (entre autres services de régulation tels que prédation des graines et pollinisation). Les leviers de gestion sont l'agencement spatial et temporel de la mosaïque paysagère et les modes de gestion au sein des parcelles (culture et inter-culture) mais également des espaces semi-naturels. Ces leviers de gestion permettent de contrôler la répartition spatiale des adventices, et donc d'optimiser les services écologiques rendus par les espèces adventices, tout en limitant les pertes de rendement par compétition avec la culture.

Ce problème peut être vu comme un problème classique de « gestion de production » multi-objectifs, pour lequel des outils mathématiques « classiques » de conception de stratégies de gestion existent. Néanmoins, la caractéristique spatiale du problème d'optimisation fait qu'il est trop complexe à représenter et à résoudre par les outils classiques. Nous devons donc développer d'une part des nouveaux formalismes et d'autre part des méthodes de résolution approchées. Cette thématique

constitue un front de recherche dans les domaines des statistiques spatiales (pour la modélisation) et de l'intelligence artificielle (pour l'optimisation de stratégies de gestion).

## **2 Contexte, enjeux scientifiques et socio-économiques**

La domestication du paysage agricole par l'Homme lui permet d'extraire une production annuellement. Elle a toutefois pour conséquence non désirée le déclin de services écosystémiques tels que la régulation de bioagresseurs, le maintien d'espèces patrimoniales ou encore la pollinisation. La lutte intensive contre la flore adventice dans les parcelles cultivées illustre cette faible prise en considération des services aux écosystèmes. Considérées uniquement comme nuisibles en raison de la compétition qu'elles exercent sur les cultures (Aubertot et al. 2006), la position des espèces adventices dans les agroécosystèmes est aujourd'hui considérée de manière élargie. En effet, le déclin de nombreuses espèces adventices entomogames participe au déclin des pollinisateurs (Potts et al., 2010). De plus, de nombreux travaux suggèrent que les graines de certaines espèces adventices sont au centre des régimes alimentaires d'insectes granivores et contribuent ainsi au maintien d'espèces d'oiseaux en régression (Evans et al., 2011). Dans un contexte d'intensification écologique des systèmes de culture, il apparaît désormais indispensable de concevoir des systèmes de culture durables qui permettent la réalisation d'un double objectif de production agricole allié à un maintien de la fonctionnalité des agro-écosystèmes.

Dans le cas des espèces adventices, la conception de tels systèmes de culture nécessite de prendre en compte les compromis entre perte de rendement et services écosystémiques (régulation et culturel). Ceci peut être envisagé à deux échelles : celle de la parcelle ou celle de la mosaïque paysagère. A l'échelle de la parcelle agricole, l'objectif premier est le rendement agricole. Différentes approches (Munier-Jolain et al. 2002) montrent qu'il est difficile de maintenir des espèces adventices au sein des parcelles cultivées sans introduire de compétition avec la culture. Pour concilier optimisation du rendement agricole et des services écosystémiques, il nous apparaît donc plus pertinent et gérable de raisonner des stratégies de gestion définies à l'échelle supérieure : la mosaïque paysagère. Cette échelle nous permet de concilier les deux objectifs à travers la gestion et l'agencement des habitats de la mosaïque c'est-à-dire les parcelles agricoles et les habitats semi-naturels. On peut décider a priori de la répartition entre ces habitats afin d'optimiser le compromis entre la production d'une part et l'assurance d'une fonctionnalité adaptée aux conditions environnementales locales, d'autre part. C'est cette hypothèse que nous souhaitons tester dans le cadre du sujet de thèse proposé.

Pour l'instant, les outils développés pour concevoir et évaluer des stratégies de gestion des adventices se concentrent sur la réponse des espèces adventices aux techniques agricoles à l'échelle de la parcelle agricole (ex. le modèle FlorSys, Colbach et al. 2008). De plus, ils reposent sur de la comparaison de scénarii. Il n'existe pas de modélisation du problème à l'échelle de la mosaïque, ni de formalisme pour définir une stratégie par optimisation d'un critère (deux critères, ici). Dans ce projet, nous proposons d'utiliser des outils existant en Intelligence Artificielle (IA) pour la formalisation et la résolution de problèmes de décision séquentielle dans l'incertain, prenant en compte la dimension spatiale des processus. Les méthodes proposées en IA n'ont pas été conçues à l'origine pour traiter des problèmes spatialisés, mais elles ont été combinées avec les outils du domaine de la statistique spatiale pour prendre en compte cette spécificité (Sabbadin et al., 2012). Nous nous baserons, entre autres, sur les outils développés au sein de l'unité UBIAT (pionnière dans le domaine) dans le cadre de problèmes de gestion en agronomie (Peyrard et al., 2007 ; Forsell et al., 2009) ou en écologie (Regan et al., 2011; Sabbadin et al., 2007). Ceux-ci offrent à la fois un cadre de représentation et des algorithmes pour concevoir des stratégies de gestion spatialisée des processus agro-écologiques.

### 3 Le contexte méthodologique choisi et les développements envisagés

Afin de modéliser la dynamique spatio-temporelle des communautés adventices, nous nous appuyerons sur les modèles classiques en statistique spatiale (champ de Markov dynamique, processus de contact). Nous utiliserons des outils de l'IA (optimisation combinatoire, optimisation stochastique et programmation dynamique) pour la conception de stratégies de gestion.

L'originalité majeure du sujet tient au fait qu'il propose d'élaborer des outils, non seulement pour *évaluer* des stratégies de gestion, mais aussi pour les *concevoir* par optimisation. De plus, pour l'évaluation des stratégies produites, nous proposons des méthodes formelles d'approximation, et pas seulement des outils basés sur la simulation.

Plus précisément, nous envisageons les développements suivants :

1) Formalisation mathématique d'un problème simplifié de décision spatiale, représentatif du problème de gestion des plantes adventices et dont la problématique de décision est appréhendable facilement par les modélisateur/décideurs. Nous ne nous attacherons pas à construire un modèle reflétant toute la complexité de la dynamique des adventices dans une mosaïque et de leurs effets sur les cultures et les écosystèmes. Nous chercherons à extraire les éléments les plus essentiels pour élaborer un modèle spatio-temporel de décision « simple » et nous travaillerons par scénarii lorsque les connaissances nécessaires ne seront pas disponibles.

Nos premières réflexions nous ont d'ores et déjà amenés à préciser certains éléments qui entreront dans la construction du modèle. Les stratégies proposées devront optimiser :

- un service de production agricole : l'enjeu est de réduire la perte de rendement due à la compétition adventices-culture;
- un service de régulation : les adventices comme ressource trophique pour les espèces granivores (Bohan et al. 2011, Evans et al. 2011) ou pour les pollinisateurs (Gibson et al. 2006).

Les actions disponibles pour optimiser ces services porteront sur le choix des cultures, l'agencement spatial des cultures au sein des parcelles ainsi que sur les itinéraires techniques (désherbage chimique, mécanique ou travail du sol dans les parcelles, traitement des habitats semi-naturels). L'état du système sera défini comme le produit des états (communautés d'espèces adventices présentes) de toutes les parcelles/habitats semi-naturels. Pour la description des états, nous envisageons de nous placer non pas au niveau des espèces, mais au niveau des traits fonctionnels (*sensu* Violle et al. 2007). La communauté d'adventices d'une parcelle pourrait donc être décrite par le vecteur des occurrences ou des notes d'abondance attachées à chaque profil de traits fonctionnels (profil fonctionnel). A un profil fonctionnel seront associées deux notes : l'une mesurant son impact potentiel sur la culture et l'autre son intérêt en tant que ressource trophique.

2) Selon les caractéristiques du modèle qui sera élaboré, nous nous orienterons vers des méthodes de résolution par optimisation différentes. La principale difficulté viendra de la taille de l'espace d'états. Si celle-ci reste modeste, nous pourrions envisager de traiter un problème de décision séquentielle (optimisation des rotations et des pratiques sur plusieurs années), avec des méthodes par programmation dynamique stochastique. Sinon, nous nous orienterons vers une résolution de problèmes non-séquentiels (rotations fixées, optimisation des pratiques année par année), avec des méthodes de la famille de l'optimisation combinatoire, plus simples à mettre en œuvre. Dans tous les cas, un premier travail consistera à réaliser une étude de l'applicabilité des méthodes de la littérature pour la résolution du problème de gestion des adventices, séquentiel ou non séquentiel.

3) A partir de la formalisation du problème de gestion des adventices (point 1) et de l'étude des méthodes d'optimisation de la littérature (point 2), une ou plusieurs méthodes de conception de stratégies de gestion des adventices, prenant en compte les spécificités de ce problème (interaction spatiale, état multivarié, ...) seront proposées.

4) Ces stratégies de gestion des plantes adventices construites par optimisation seront comparées à des méthodes expertes, proposées en général pour résoudre des problèmes non-spatialisés. Les performances relatives des différentes stratégies seront analysées, soit par le calcul (sur des problèmes théoriques, de taille modeste), soit par simulation ou approximation, pour des problèmes plus réalistes.

Outre les retombées attendues en méthodologie (un nouveau cadre pour la décision séquentielle spatialisée et des algorithmes de résolution associés), ces travaux permettront d'obtenir des éléments de réponse aux questions suivantes :

- Quel est le lien entre structure – fonctions – services de production et de régulation ?
- Y a-t-il un intérêt à une gestion des communautés adventices, spatialisée à l'échelle de la mosaïque ?
- Quelle est l'acceptabilité d'une stratégie répondant au double objectif de minimiser les impacts des adventices sur les cultures et d'optimiser les services écologiques rendus ?

N.B. : L'acquisition des connaissances nécessaires en agronomie et en écologie pour construire les modèles ne fait pas partie du travail de thèse, qui se concentrera sur la conception du cadre méthodologique et de méthodes de résolution pour le problème de gestion des adventices. Nous nous baserons sur des travaux passés, en cours et à venir pour construire le modèle.

## Références

- Aubertot, J.-N., Colbach, N., Felix, I., Munier-Jolain, N. & Roger-Estrade, J. (2006) La composante biologique (Chap. 8) dans *L'agronomie aujourd'hui*, eds. Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B. et Roger-Estrade J. Editions Quae.
- Bohan, D.A., Boursault, A., Brooks, D.R. & Petit, S. (2011) National-scale regulation of the weed seedbank by carabid predators. *J. Appl. Ecol.* 48, 888–898.
- Colbach N. , A. Gardarin, S. Granger, J.P. Guillemain, N. Munier-Jolain (2008) La modélisation au service de l'évaluation et de la conception des systèmes de culture intégrés. *Innovations Agronomiques* (2008) 3, 61-73
- Evans D.M. , Michael J.O. Pocock, Joanna Brooks, Jane Memmott (2011) Seeds in farmland food-webs: Resource importance, distribution and the impacts of farm management. *Biological Conservation*, 144, 2941–2950.
- Forsell N., Wikström P., Garcia F., Sabbadin R., Blennow K. and Eriksson L. O. (2009) Management of the risk of wind damage in forestry: a graph-based Markov decision process approach. *Annals of Operations Research*.
- Gibson R.H., Nelson I.L., Hopkins G.W., Hamlett B.J., Memmott J. (2006) Pollinator webs, plant communities and the conservation of rare plants: arable weeds as a case study, *J. Appl. Ecol.* 43, 246–257.

- Munier-Jolain N., Chauvel B., Gasquez J., 2002. Long term modelling of weed control strategies : analysis of threshold-based options for weed species with contrasted competitive abilities. *Weed Research*, 42, 107 - 122
- Peyrard, N, Sabbadin R., Lô-Pelzer E. and Aubertot, JN (2007). A Graph-based Markov Decision Process framework for Optimising Integrated Management of Diseases in Agriculture. In *17th Inter. Congress on Modelling and Simulation (MODSIM'07)*. Christchurch, New-Zealand.
- Potts, S.G., Biesmeijer, J.C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O. & Kunin, W.E. (2010) Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution*.25(6), 345-353
- Regan T J, Chadès I, Possingham HP.( 2011) Optimal strategies for managing invasive plants in partially observable systems. *Journal of Applied Ecology*. 48(1):76-85
- Sabbadin R., N. Peyrard, N. Forsell (2012) A framework and a mean-field algorithm for the local control of spatial processes, *IJAR*, 53(1) : 66-86.
- Sabbadin R., Spring D. and Rabier C.-E. (2007). Dynamic reserve site selection under contagion risk of deforestation. *Ecological Modelling*, vol. 201, pp. 75--81
- Violle C, Navas M. L., Vile D., Kazakou E., Fortunel C., Hummel I., Garnier E. (2007) Let the concept of trait be functional. *Oikos*, 116, 882-892.

#### **4 Les pré-requis pour le candidat**

Au niveau méthodologique, le sujet est à l'interface entre statistique (modélisation, estimation, inférence) et intelligence artificielle (planification dans l'incertain, optimisation discrète). Le candidat devra présenter une solide formation dans l'un des deux domaines ainsi que des notions de base dans l'autre.

#### **5 Les perspectives professionnelles pour le doctorant**

A l'issue de la thèse, le doctorant possédera des connaissances solides en modélisation spatio-temporelle et en optimisation de la décision. En outre, la thèse permettra au candidat, de formation initiale informatique ou statistique algorithmique, d'appliquer des concepts méthodologiques à une problématique en agro-écologie et de contribuer à des échanges pluridisciplinaires, notamment avec ses encadrants et leurs collaborateurs. Les perspectives professionnelles envisageables sont : Recherche en statistique ou IA, Ingénierie dans les instituts de recherche ou techniques en agronomie ou environnement.

#### **6 Les propositions de noms pour le comité de thèse**

Intelligence Artificielle : Alain Dutech (Contrôle optimal, apprentissage par renforcement. LORIA, INRIA Nancy), Florent Teichtel (Contrôle optimal, apprentissage par renforcement. ONERA, Toulouse)

Statistiques : Hervé Monod (Statistiques pour l'agro-écologie. MIA Jouy, INRA), Samuel Soubeyran (Statistiques spatiales. BIOSP, INRA Avignon)

Agro-écologie : Sandrine Petit (Ecologie des Paysages, Prédation des graines adventices par les coléoptères carabidés. UMR Agroécologie, INRA Dijon), Manuel Plantegenest (Ecologie théorique.

interaction biotique. UMR Bio3P, INRA Rennes), Sylvain Plantureux: (Agro-écologie, pollinisation. UMR Nancy-Université - INRA Agronomie et Environnement Nancy-Colmar)

## **7 Le partenariat scientifique et industriel dans lequel s'inscrit le travail**

Une collaboration existe depuis plusieurs années entre l'unité BIAT et l'UMR BGA (UMR Agroécologie au 1<sup>er</sup> janvier 2012- Pôle EcoIDur) autour du développement de méthodes originales pour la gestion des plantes adventices. Ce projet a débuté en 2008, sous la forme d'un projet Idées 2008 du RNSC (Réseau National des Systèmes Complexes). Il se poursuit avec le co-encadrement de la thèse de Mathieu Bonneau (financement SPE-MIA, 2009-2012) sur le développement de méthodes pour l'optimisation de l'échantillonnage spatial avec application à la cartographie d'espèces adventices à l'échelle de la parcelle. La poursuite de ce travail est envisagée dans le cadre du projet Spatial Sampling of Pests (SpaSaP) soumis à l'ANR mais non retenu en 2011 et re-soumis en 2012. Les deux équipes sont également partenaires du projet Européen « Pesticides Use Reduction in Europe » (PURE). Enfin, ce projet de thèse répond aux préoccupations et attentes du méta-programme GISP/SMaCH (Gestion Intégrée de la Santé des Plantes) pour lequel nous avons rédigé une réponse (proposition SAGECA) lors du recensement des projets entrant dans ses thèmes.

## **8 Les publications du laboratoire d'accueil sur le sujet**

### *Publications MAD :*

- Chades, I, Martin, TG, Nicol, S, Burgman, MA, Possingham, HP & Buckley, YM (2011) General rules for managing and surveying networks of pests, diseases, and endangered species. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 180 (20): 8323-8328.
- Forsell, N, Wikström, P, Garcia, F, Sabbadin, R, Blennow, K & Eriksson, L (2009) Management of the risk of wind damage in forestry: a graph-based Markov decision process approach. *Annals of Operations Research*. doi:10.1007/s10479-009-0522-7.
- Peyrard, N, Sabbadin R., Lôt-Pelzer E. and Aubertot, JN (2007). A Graph-based Markov Decision Process framework for Optimising Integrated Management of Diseases in Agriculture. In *17th Inter. Congress on Modelling and Simulation (MODSIM'07)*. Christchurch, New-Zealand.
- Rabier, CE, Sabbadin, R & Spring, D (2007). Dynamic reserve site selection under contagion risk of deforestation. *Ecological Modelling* 201: 75-81.
- Sabbadin, R, Peyrard, N, and Forsell, N (2012). A framework and a mean-field algorithm for the local control of spatial processes. *International Journal of Approximate Reasoning*. 53(1) : 66-86

### *Publications Pôle EcoIDur :*

- Bohan, D.A., Boursault, A., Brooks, D. & Petit, S. (2011). National-scale regulation of the weed seedbank by carabid predators. *Journal of Applied Ecology* 48, 388-398.
- Bourgeois A., Gaba S., Munier-Jolain N., Borgy B., Monestiez P. & Soubeyrand S. (2012). Inferring weed spatial distribution from multi-type data. Sous presse dans *Ecological Modelling*.

- Brooks, DR, Storkey J, Clark, SJ, Firbank LG, Petit, S. & Woiwod IP. (2011). Trophic links between functional groups of arable plants and beetles are stable at a national scale. *Journal of Animal Ecology*. 81(1), 4–13.
- Gaba S., Dessaint F., Chauvel B., Bretagnolle V. & Petit S. (2010) Weed species richness in winter wheat increases with landscape heterogeneity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 138, 10-16.
- Gunton R.M., Petit S. & Gaba S. (2011). Functional traits relating arable weed communities to crop characteristics. *Journal of Vegetation Science*, 22, 541-550.
- Veres, A., Petit, S., Conord, C. & Lavigne, C. (2011) Does landscape composition affect pest abundance and their control by natural enemies? A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 138, 10-16.