

# Algorithmique des jeux pour la gestion en agroécologie

## Résumé

Cette thèse vise à développer de nouvelles approches de la théorie des jeux algorithmiques, au croisement des *jeux hypergraphiques* et des *jeux bayésiens*, et plus généralement pour un ensemble de cadres de la famille des *jeux complexes* (jeux séquentiels, jeux stochastiques, Processus Décisionnels de Markov multi-agents). Ces nouvelles approches seront mises en œuvre pour aborder des problèmes d'agroécologie, autour de la *conservation de la biodiversité* et de la *gestion des services écosystémiques*. L'enjeu de cette thèse est l'étude des liens entre jeux à information incomplète, jeux hypergraphiques et jeux séquentiels, des points de vue théorique et algorithmique. Nous démontrerons l'intérêt pratique de ces avancées pour la gestion de la biodiversité et des services écosystémiques à l'échelle d'un territoire. A cet effet, nous mobiliserons des partenaires écologues avec lesquels des collaborations sont en cours, sur les liens entre décision séquentielle dans l'incertain et écologie.

## Question de recherche

La théorie algorithmique des jeux [Nis07] s'est développée récemment, à l'interface des sciences de la décision et de l'intelligence artificielle. Elle vise à étudier, d'un point de vue algorithmique, des jeux « complexes » à résoudre. Cette complexité peut venir du nombre élevé de joueurs, de la structure des interactions entre les joueurs, de la connaissance seulement partielle du modèle de jeu, d'aspects dynamiques des interactions, etc. Même si l'économie est le domaine d'application privilégié de la théorie des jeux, les domaines de l'écologie ou de l'épidémiologie recèlent de nombreux problèmes de décision complexes, mono ou multijoueurs [Sab16], [Nic17].

Le cadre des *jeux graphiques et hypergraphiques* [Kea01] permet de modéliser des problèmes dont les interactions entre joueurs sont « locales ». Les jeux graphiques sont décrits de manière compacte, ce qui permet d'aborder des cas mettant en jeu de nombreux agents. D'un autre côté, le calcul de solutions, et en particulier le calcul d'*équilibres de Nash*, purs ou mixtes devient difficile (au sens de la théorie de la complexité). Les *jeux à information incomplète* [Har67] forment une extension orthogonale des jeux classiques, qui permet de prendre en compte des connaissances probabilistes sur l'environnement des agents, voire des connaissances que les agents ont sur les stratégies.

Des liens ont été établis dans les années 70 [How74] entre certains types simples de jeux graphiques (les jeux *polymatriciels*, où les agents n'interagissent que par paires) et les jeux à information incomplète. Mais depuis, ces liens n'ont pas été étendus à, ni exploités pour, l'étude des jeux hypergraphiques. [Sin04], [Son07] ont bien considéré des jeux graphiques à information incomplète, mais se sont contentés d'extensions simplistes des approches existantes de calcul d'équilibre approché. En tout état de cause, les approches actuelles de résolution des jeux hypergraphiques sont incapables de résoudre des jeux complexes impliquant à la fois de nombreux joueurs, une information incomplète sur les préférences des autres joueurs et l'aspect « séquentiel » de ces problèmes de décision multi-acteurs.

C'est ce défi que nous souhaitons relever en recherchant et expérimentant des méthodes originales, que nous illustrerons sur des problèmes de gestion de la biodiversité et des services écosystémiques à l'échelle d'un territoire. A cet effet, nous mobiliserons des partenaires écologues avec lesquels des collaborations sont en cours, sur les liens entre décision séquentielle dans l'incertain et écologie [McD16], [Nic17], [Xia18].

## Programme de recherche

La mise en évidence et l'exploitation des liens entre jeux graphiques, jeux bayésiens et jeux séquentiels mènera à des avancées théoriques valorisables par le candidat. Pour ce qui est de la partie « algorithmique » de la thèse, nous pouvons nous appuyer sur l'expérience de nos deux équipes (ADRIA-IRIT et MIAT-INRA) dans le domaine de la décision séquentielle dans des problèmes mono-acteur, ainsi que dans le domaine de la théorie des jeux et de son algorithmique. Les méthodes de résolution envisagées se basent soit sur des approches existantes (méthodes de continuation, algorithmes de messages), soit sur des méthodes que nous avons déjà explorées pour la décision mono-acteur (apprentissage par renforcement). Enfin, l'intérêt des méthodes développées sera évalué sur des problèmes que l'INRA a abordé par le passé sous l'angle de la décision mono-acteur, et pour lesquels les modèles existants et nos partenaires « experts » seront mobilisés.

Le programme de recherche passera par les 4 étapes suivantes :

1. **Familiarisation** de l'étudiant avec le cadre de la théorie des jeux algorithmiques, les différentes familles de problèmes d'intérêt pour la thèse et l'algorithmique du calcul d'équilibres de Nash dans les jeux complexes.
2. **Contribution théorique.** Formalisation théorique du lien entre jeux bayésiens et jeux hypergraphiques, proposition d'un cadre théorique unifié et étude des propriétés des équilibres.
3. **Contribution algorithmique.** Recherche d'algorithmes originaux de calcul d'équilibres dans les jeux bayésiens et les jeux graphiques. En particulier, des approches basées sur "l'échantillonnage" de jeux bayésiens et l'apprentissage par renforcement nous semblent prometteuses. Si ces approches peuvent sembler naturelles dans le cadre des jeux bayésiens, elles sont totalement originales dans le cadre des jeux graphiques!
4. **Contribution finalisée.** De nombreux problèmes de gestion en agroécologie impliquent des acteurs répartis sur un territoire. Nous comptons aborder au moins un de ces problèmes, en prenant en compte ses aspects non-coopératifs, spatialisés et à information incomplète. L'objectif sera ici de fournir aux agroécologues de nouveaux outils de gestion à l'échelle du territoire.

### Environnement de la thèse et prérequis

La Thèse se déroulera à Toulouse. L'étudiant(e) sera accueilli(e) dans l'Unité INRA-MIAT. Elle sera co-supervisée par Hélène Fargier (IRIT-CNRS) et Régis Sabbadin (MIAT-INRA). Un diplôme de Master 2 en Intelligence Artificielle, Recherche Opérationnelle ou Mathématiques Appliquées, ou un diplôme d'école d'ingénieur est requis pour la thèse. Des compétences théoriques solides ainsi qu'un goût pour l'implémentation des méthodes développées et leur application à des questions de recherche en écologie seront très utiles pour cette thèse.

Les candidat(e)s sont invité(e)s à envoyer une lettre de motivation, un CV ainsi que leurs relevés de notes de M2 et M1 à [helene.fargier@irit.fr](mailto:helene.fargier@irit.fr) et [regis.sabbadin@inra.fr](mailto:regis.sabbadin@inra.fr). Des noms de personnes référentes (encadrants de stages, enseignants) sont également attendues.

### Références bibliographiques

- [Ben17] N. Ben Amor, H. Fargier, and R. Sabbadin. Equilibria in ordinal games: A framework based on possibility theory. *IJCAI*, 2017.
- [Cro17] M.J. Cros, J.N. Aubertot, N. Peyrard, and R. Sabbadin. Gmdptoolbox: A matlab library for designing spatial management policies. application to the long-term collective management of an airborne disease. *PLoS One*, 12(10), 2017.
- [Har67] J.C. Harsanyi. Games with incomplete information played by bayesian players, i-iii. part i. the basic model. *Management science*, 14(3), 1967.
- [How74] J.T. Howson and R.W. Rosenthal. Bayesian equilibria of finite two-person games with incomplete information. *Management Science*, 21(3), 1974.
- [Kea01] M. Kearns, M. Littman, and S. Singh. Graphical models for game theory. In Proc. of the 17th UAI, 2001.
- [McD16] E. McDonald-Madden, R. Sabbadin, E.T. Game, P.W.J. Baxter, I. Chadès, and HP Possingham. Using food-web theory to conserve ecosystems. *Nature Communications*, 7(6), 2016.
- [Nic17] S. Nicol, R. Sabbadin, N. Peyrard, and I. Chadès. Finding the best management policy to eradicate invasive species from spatial ecological networks with simultaneous actions. *Journal of Applied Ecology*, 54(6), 2017.
- [Nis07] N. Nisam, T. Roughgarden, E. Tardos, and V. V. Vazirani, editors. *Algorithmic Game Theory*. Cambridge University Press, 2007.
- [Sab16] R. Sabbadin and A. F. Viet. Leader-follower MDP models with factored state space and many followers - followers abstraction, structured dynamics and state aggregation. *ECAI*, 2016.
- [Sin04] S. Singh, V. Soni, and M.P. Wellman. Computing approximate Bayes-Nash equilibria in tree-games of incomplete information. *EC*, 2004.
- [Son07] V. Soni, S. Singh, and M.P. Wellman. Constraints satisfaction algorithms for graphical games. *AAMAS*, 2007.
- [Xia18] H. Xiao, L.E. Dee, I. Chadès, N. Peyrard, R. Sabbadin, M. Stringer, and E. McDonald-Madden. Win-wins for biodiversity and ecosystem service conservation depend on the trophic levels of the species providing services. *Journal of Applied Ecology*, 55(5), 2018.