

Un résumé de ma thèse :

Le changement climatique et les invasions biologiques sont parmi les plus grandes menaces de la biodiversité et leurs impacts pourraient augmenter jusqu'à la fin du siècle. Parmi les espèces envahissantes, les fourmis sont un groupe particulièrement néfaste dû à leurs impacts sur les espèces natives, les processus écosystémiques, la santé, l'agriculture et l'économie. L'objectif de cette thèse était de prédire les invasions de fourmis – en particulier avec le changement climatique qui pourrait favoriser les invasions en éliminant des barrières thermiques. J'ai utilisé trois approches complémentaires afin d'étudier le potentiel de différentes espèces à envahir : des modèles de distribution, des expériences comportementales et l'analyse d'une base de données de traits écologiques.

J'ai modélisé l'aire favorable pour 15 espèces de fourmis parmi les pires, à la fois globalement, par continents, et dans les 34 hotspots de biodiversité. La distribution potentielle de seulement cinq espèces est prédite de diminuer (jusqu'à 35.8%) avec le changement climatique et l'aire potentielle diminue pour la plupart des espèces jusqu'à 63.2%. Les hotspots d'invasions de fourmis se situaient surtout dans des régions tropicales et subtropicales, notamment en Amérique du Sud, en Afrique, en Asie et sur les îles océaniques et ils correspondent particulièrement aux hotspots de biodiversité. Contrairement à ce qui est généralement admis, le changement climatique et les invasions biologiques n'agiront pas de manière synergique pour les fourmis. Par ailleurs, j'ai trouvé que les impacts du changement climatique changent avec le temps et peuvent même inverser la tendance de l'impact (d'une augmentation à une diminution ou inversement). Par contre, les invasions de fourmis resteront probablement un problème global majeur, en particulier dans les zones où les hotspots de biodiversité et les hotspots d'invasion se superposent.

Les modèles de distribution ont identifié de larges zones de recouvrement entre aires favorables de plusieurs espèces de fourmis envahissantes. Dans le futur, ces espèces pourraient arriver simultanément dans les mêmes régions et entrer en compétition. Dans une série d'expériences, j'ai testé les différences comportementales entre 7 espèces de fourmis envahissantes (*Anoplolepis gracilipes*, *Paratrechina longicornis*, *Myrmica rubra*, *Linepithema humile*, *Lasius neglectus*, *Wasmannia auropunctata* et *Pheidole megacephala*). J'ai découvert deux stratégies comportementales différentes. Les interactions au niveau de la colonie ont suivi des processus démographiques plus complexes. De plus, j'ai mis au point deux expériences pour tester la capacité des fourmis envahissantes à explorer un nouvel espace et à exploiter des ressources. J'ai trouvé des différences significatives entre espèces et leur capacité à dominer par interférence comportementale était négativement corrélée à leurs capacités à découvrir et exploiter des ressources. Cette série d'expériences suggère que les 'mécanismes' d'invasion sont plus complexes que ce qui est généralement suggéré et que différentes espèces pourraient utiliser des stratégies comportementales différentes.

Etant donné qu'il existe plus de 250 espèces de fourmis exotiques, il serait intéressant de pouvoir identifier à l'avance des futurs envahisseurs potentiels. Afin d'identifier des traits associés au caractère envahissant des fourmis, j'ai mis en place une base de données qui contient 2193 espèces de fourmis et 24 traits écologiques. J'ai effectué une analyse préliminaire de différences de traits entre fourmis natives et envahissantes qui a montré qu'il existe clairement des groupements distincts de natives et envahissantes, avec les espèces exotiques au milieu. Ces résultats pourraient servir de base pour construire un modèle prédictif des invasions de fourmis.

Ces différentes approches (modèles, expériences, base de données) sont complémentaires car elles s'intéressent à des aspects différents du futur des invasions de fourmis qui sera vraisemblablement fortement influencé par le changement climatique. Les pires envahisseurs de demain ne seront probablement pas les mêmes qu'aujourd'hui et les zones les plus à risque pourraient changer également.

In English :

Climate change and biological invasions are both among the greatest threats to biodiversity and their impacts might increase by the end of the century. Among invasive species, ants are a prominent group due to their negative impacts on native species, ecosystem processes, human and animal health, agro-ecosystems and the economy. The objective of this thesis was to forecast future ant invasions – especially in the light of on-going climate change, which is generally thought to favour invasive species by removing thermal barriers. I used three complementary approaches to study the potential of different ant species to invade in the future: species distribution modelling, behavioural experiments and the analysis of a database of ecological traits.

I modelled suitable area for 15 of the worst invasive ant species, both currently and with predicted climate change, globally, regionally and within the world's 34 biodiversity hotspots. Surprisingly, the potential distribution of only five species was predicted to increase (up to 35.8%) with climate change, with most declining by up to 63.3%. The ant invasion hotspots are predominantly in tropical and subtropical regions of South America, Africa, Asia and Oceanic islands, and particularly correspond with biodiversity hotspots. Contrary to general expectations, climate change and biological invasions will not systematically act synergistically for ants. In addition, I found that the impacts of climate change can change over time and even reverse the trend of the impact (*i.e.*, an increase instead of a decrease or vice versa). However, ant invasions will likely remain as a major global problem, especially where invasion hotspots coincide with biodiversity hotspots.

The species distribution models have identified large potentially overlapping distributions of several invasive ants. In the future, these species may arrive simultaneously in the same regions and compete with each other. In a series of experiments, I tested behavioural differences among 7 highly invasive ant species (*Anoplolepis gracilipes*, *Paratrechina longicornis*, *Myrmica rubra*, *Linepithema humile*, *Lasius neglectus*, *Wasmannia auropunctata* and *Pheidole megacephala*). I discovered two different behavioural strategies among invasive ants. Interactions at the colony level, exhibited more complex demographic processes and more variability. Further, I investigated resource competition and differences in resource exploitation. I found significant differences among species, with competitive abilities that were negatively correlated with behavioural dominance. This series of experiments suggests that the 'mechanisms' of invasiveness are more complex than previously thought and that different invasive ant species may use different behavioural strategies.

Since there are more than 250 exotic species of ants, it would be interesting to identify potential future invaders. In order to identify traits associated with invasiveness in ants, I set up a database with 2193 ant species and 24 ecological characteristics. I performed a preliminary analysis of trait differences between native and invasive ants that shows clearly different clusters of invasive and native species, with exotic species in between. These results could be used as a basis to construct a predictive model of future ant invasions.

The different methods used (models, experiments, database) are complementary in that they explore different aspects of the future ant invasions which are likely to be influenced by on-going climate change. The worst invaders of tomorrow may not be the same as today and similarly, areas most at risk are likely to change.