



POLYTECH[®]
TOURS
Département
Aménagement et Environnement

CITERES
UMR 7324
Cités, Territoires,
Environnement et Sociétés



université
de TOURS

Equipe DATE
Dynamiques et
Actions
Territoriales et

Projet de Fin d'Etudes

Niche réalisée vs résistance physiologique au climat chez les fourmis du genre Formica



DUTERTRE Ophélie

2018

Directeur de recherche
BOULAY Raphaël

Niche réalisée vs résistance physiologique au climat chez les fourmis du genre Formica

**BOULAY Raphaël
2018**

DUTERTRE Ophélie

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je souhaite remercier mon tuteur de recherche, Mr Raphaël BOULAY, enseignant-chercheur à l'Institut de biologie des insectes et à l'Université François Rabelais de Tours , qui s'est rendu disponible afin de m'aider tout au long de ce projet de fin d'étude en répondant à mes questions, qui m'a fait des suggestions et des recommandations me permettant d'avancer dans mes recherches.

AVERTISSEMENTS

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

Introduction	8
Partie 1 : Méthodologie mise en place pour le projet.....	11
1. Récupération des données géographiques.....	11
2. Récupération des données bioclimatiques	13
3. Utilisation des logiciels Qgis, Maxent et Excel	14
4. Exploitation des données physiologiques de résistance au climat.....	16
Partie 2 : Résultats obtenus	19
1. Avec les logiciels R et Excel.....	19
2. Cartes de probabilité de présence des espèces obtenues sur Maxent.....	23
Partie 3 : Interprétation et discussion des résultats	25
1. Analyse des résultats.....	25
2. Regard critique du projet.....	27
Conclusion	29
Annexe	30
Bibliographie.....	33
Table des illustrations	41
Figures	41
Tableaux	41
Table des matières	42

Introduction

L'**écologie animale** est une science qui étudie les interactions des organismes animaux entre eux et avec leur environnement. L'**environnement** des organismes animaux comprend toutes les conditions qui affectent leur survie ainsi que leur reproduction. Plusieurs approches sont possibles afin d'examiner ces relations mais seule celle portant sur les **patrons de distribution** va être étudiée dans le cadre de ce projet de fin d'étude. La **dispersion** et la **distribution** des espèces animales sont déterminées généralement en fonction des variables climatiques actuelles, de l'histoire et de la capacité de dispersion.

En 1917, le naturaliste **Joseph Grinnell** est le premier scientifique à employer le terme de « *niche* ». Cette notion lui permettait ainsi de « *décrire les besoins et les contraintes environnementales d'une espèce* »¹. La **niche écologique** d'une espèce correspond à l'ensemble des variables environnementales biotiques ou abiotiques nécessaires à son maintien dans un site donné. Ces conditions vont donc limiter la distribution des espèces.

George Evelyn Hutchinson (1957) définit le concept de niche écologique comme étant « *un volume à n dimensions, dans lequel chaque point correspond à un état de l'environnement qui permettrait à une espèce d'exister indéfiniment* » ce qui signifie que pour déterminer la niche écologique d'une espèce, il faut identifier comment cette espèce réagit face à son environnement, c'est-à-dire que cela consiste à déterminer quelle est la **limite de tolérance** de l'espèce face aux **principaux facteurs du milieu**. Les notions de niche fondamentale et de niche réalisée ont été introduites par Hutchinson.

Ainsi, il faut distinguer la **niche fondamentale**, c'est-à-dire la niche théorique qui comprend toutes les conditions où peut potentiellement résider une espèce, et la **niche réalisée** qui correspond à la portion de la niche fondamentale qui est réellement utilisée (*Figure 1*). La différence entre les deux est due à la **compétition interspécifique**, c'est-à-dire la compétition entre deux espèces différentes pour l'accès à une même ressource.

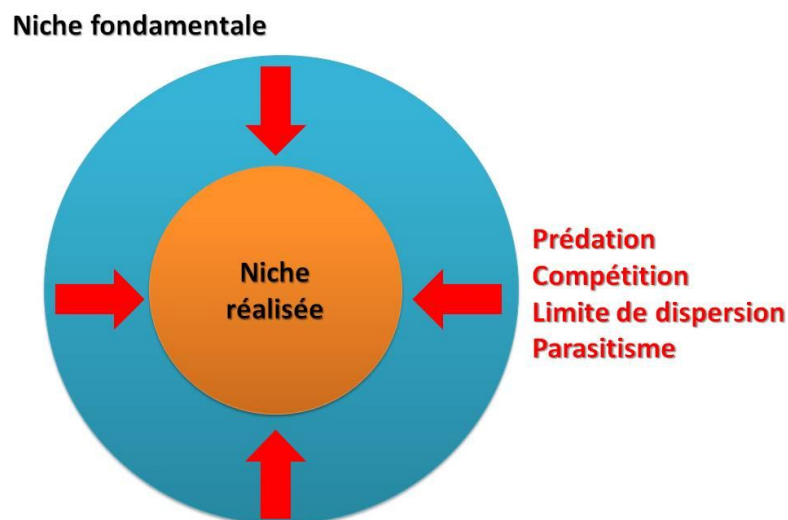


Figure 1 : Niche fondamentale et niche réalisée (Source : <https://fr.slideshare.net/slenoir/thse-15706848>)

¹Mémoire online. « Impact du réchauffement climatique sur la distribution spatiale des ressources halieutiques le long du littoral français : observations et scénarios ». https://www.memoireonline.com/07/13/7231/m_Impact-du-rechauffement-climatique-sur-la-distribution-spatiale-des-ressources-halieutiques-le-long3.html [Consulté le 26/02/2018]

Ce projet de fin d'étude s'intéresse donc à la niche réalisée chez les **fourmis du genre Formica**, aussi appelé fourmis des bois ou fourmis rousse. Ce sont des fourmis forestières vivant principalement dans des forêts de résineux et de feuillus de l'hémisphère nord². L'étude se concentre sur 7 espèces en particulier qui sont : **Formica Cunicularia, F. Fusca, F. Gagates, F. Lugubris, F. Polyetena, F. Selysi et F. Subrufa**.

Ces fourmis du genre Formica sont sensibles aux variations de températures³. C'est pourquoi l'**hypothèse** qui va être testée par la suite est qu'il existe une **relation entre la résistance physiologique au climat chez ces espèces de fourmis et les conditions climatiques où elles vivent**.

Ainsi, les résultats qui seront obtenus, d'après les relations observées entre le **concept de la niche** et la **distribution spatiale des variables environnementales**, permettront d'apporter des éléments afin d'**expliquer la distribution géographique de ces espèces**.

Des **recherches** ont déjà été effectuées sur le sujet de la **niche écologique des espèces**, aussi bien végétales qu'animales avec, par exemple, des espèces végétales alpines⁴ ou bien encore des espèces de vipères⁵. Ces recherches ont mis en évidence le fait que le **climat** est un élément satisfaisant pour conjecturer une grande partie de la distribution des espèces.

Il est important de s'intéresser à la **niche écologique** car elle permet d'apporter des **éléments pour comprendre la distribution spatiale de la biodiversité**. Elle est nécessaire pour étudier les relations entre les espèces et leur milieu afin d'**améliorer la compréhension des interactions** et ainsi déterminer le futur des espèces face aux **changements climatiques** par exemple, puis de transmettre des éléments qui permettront de mettre en place des **plans de gestion** afin de pouvoir anticiper au mieux les bouleversements à venir.

Le **but** de cette étude est donc de comprendre comment les variables climatiques, et plus particulièrement les variables de températures, influencent la distribution de ces espèces de fourmis. Plusieurs grandes **interrogations** peuvent se poser à la lecture du sujet. Le projet permettra donc de répondre aux questions suivantes :

- ➔ *Quelle est la température moyenne sur l'aire de distributions des espèces et ainsi quelle est la niche réalisée de ces espèces ?*
- ➔ *Quel est l'impact de la température sur leur répartition spatiale ?*
- ➔ *Ces fourmis, appartenant au même genre, ont-elles des niches écologiques similaires ?*

Ainsi, comme il a été expliqué, notre attention sera portée sur la répartition géographique des espèces et le climat. Il est alors possible de formuler la **problématique générale** suivante : **la niche réalisée de ces 7 espèces de fourmis dépend-elle de leur résistance physiologique au climat ?**

Pour résumer, la finalité de ce travail est donc d'**estimer la niche**, c'est-à-dire la température moyenne sur l'aire de distribution des différentes espèces de fourmis à étudier, puis de **déterminer**

² Wikipedia. « Formica », <https://fr.wikipedia.org/wiki/Formica> [Consulté le 10/02/2018]

³ Myrmecofourmis. www.myrmecofourmis.com [Consulté le 08/12/2017]

⁴ Jardinalpindulautaret. «Evolution de la niche climatique et de la distribution géographique des espèces végétales alpines ». https://www.jardinalpindulautaret.fr/sites/sajf/files/RECHERCHE/PUBLICATIONS/these_florian_boucher.pdf [Consulté le 19/03/2018]

⁵ Tel.archives-ouvertes. « De la physiologie à la répartition : adaptations climatiques et sensibilité thermique chez une relique glaciaire ». <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00996071/document> [Consulté le 19/03/2018]

s'il existe une corrélation entre les capacités de résistance physiologique au climat chez ces fourmis du genre *Formica* et les conditions climatiques où vivent ces espèces.

Pour répondre à la problématique posée, il sera détaillé, dans un premier temps, la **méthodologie** qui a été utilisée tout au long de ce projet avec tout d'abord le travail de recherche bibliographique qui a été effectué, puis la récupération des données bioclimatiques sur WorldClim, l'utilisation de trois logiciels pour analyser les deux jeux de données, et enfin l'exploitation des données physiologiques. Seront exposés ensuite les **résultats obtenus** avec les trois logiciels évoqués dans la partie précédente. Enfin, dans la dernière partie, ces résultats seront **interprétés et discutés**.

Partie 1 : Méthodologie mise en place pour le projet

1. Récupération des données géographiques

Pour répondre à l'objectif de cette étude, qui est de mettre en évidence une éventuelle corrélation entre la niche réalisée et la résistance physiologique des fourmis du genre *Formica* au climat, il a fallu, dans un premier temps, **récolter des données de distribution des espèces** à l'aide de sites et d'articles scientifiques, puis insérer chaque coordonnée géographique trouvée dans un tableau Excel.

Le premier semestre a donc été consacré à la récolte de ces données qui ont été placées dans un tableau recensant les coordonnées géographiques (latitude, longitude, élévation), en degrés décimaux, pour chaque espèce, ainsi que le pays, et parfois la localité, dans lequel elle se trouve (*Tableau 1*).

Tableau 1 : Paramètres utilisés pour le tableau inventoriant les coordonnées géographiques des espèces

Espèce	Record	X (latitude)	Y (longitude)	Z (élévation)	Pays	Localité	Référence
--------	--------	-----------------	------------------	------------------	------	----------	-----------

Les recherches ont d'abord été effectuées sur les trois **sites** suivants :

- **AntWeb** qui est la base de données la plus importante au monde sur l'histoire des fourmis. Pour les espèces de fourmis étudiées ici, les données récoltées sur ce site proviennent essentiellement de la Belgique. Cette base de données est alimentée principalement par des amateurs,
- **National Biodiversity Network Atlas** qui regroupe des données sur la biodiversité au Royaume-Uni. NBN Atlas permet l'échange de renseignements sur la biodiversité qui proviennent aussi bien d'organismes britanniques de conservation de la faune que de bénévoles. Un groupe de travail est ensuite chargé de contrôler la qualité des données et de les vérifier,
- **AntArea**⁶ qui inventorie la répartition des espèces de fourmis en France métropolitaine. Tout comme AntWeb, une procédure de science participative permet de fournir la base de données du site. Toutes les données doivent cependant être approuvées ensuite par au moins un « *réfèrent taxonomique* ».

Les éléments récupérés sur les trois sites ont ensuite été complétés par des **lectures**, trouvées sur **Google Scholar**, pour certaines espèces quand il a été constaté que leur nombre de points était faible par rapport à celui des autres espèces.

⁶ AntArea. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/legalcode.fr> [Consulté le 16/10/2017]

Le programme **Google Earth** a également été utilisé lorsque les données étaient incomplètes, soit par l'absence d'élévation (Z), soit pour trouver les coordonnées géographiques à partir du nom de la localité où une espèce avait été déclarée présente.

Certaines de ces données sont issues d'**observations historiques** qui ne peuvent donc pas traduire la présence actuelle des espèces du fait des changements qui se sont exercés au cours du temps, dus à des bouleversements écologiques ou bien à des interventions humaines. Cependant, ces données peuvent tout de même être utilisées pour percevoir la distribution spatiale des espèces.

Le tableau Excel de données géographiques réalisé compte au total **2 967 points**, avec le nombre de points pour chaque espèce détaillé dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Nombre de points de répartition géographique par espèce

Espèce	Nombre de points
F. Cunicularia	988
F. Fusca	1 055
F. Gagates	221
F. Lugubris	174
F. Polyclena	412
F. Selysi	68
F. Subrufa	49

Il est déjà possible de constater que le nombre de données obtenu n'est pas homogène entre les 7 espèces. Afin de mieux visualiser ce résultat et ainsi de mieux rendre compte des **déséquilibres**, le graphique ci-dessous a été réalisé :

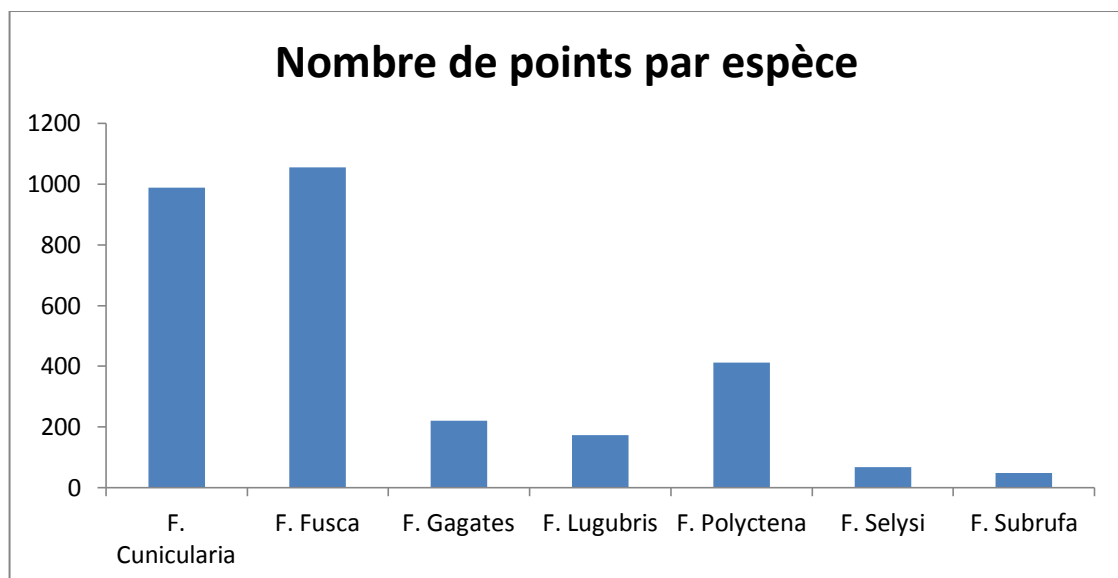


Figure 2: Nombre de points de répartition géographique par espèce sous forme graphique

Le graphique ci-dessus permet donc de mieux constater les **inégalités** entre certaines espèces. En effet, F. Cunicularia et F. Fusca présentent un nombre bien plus important de données de distribution que les autres espèces étudiées.

Un second graphique (*Figure 3*) a ensuite été réalisé afin de visualiser le **nombre de pays** dans lesquels les espèces étaient recensées dans le tableau comportant toutes les coordonnées récupérées, dans le but d'observer si ces données sont diversifiées spatialement.

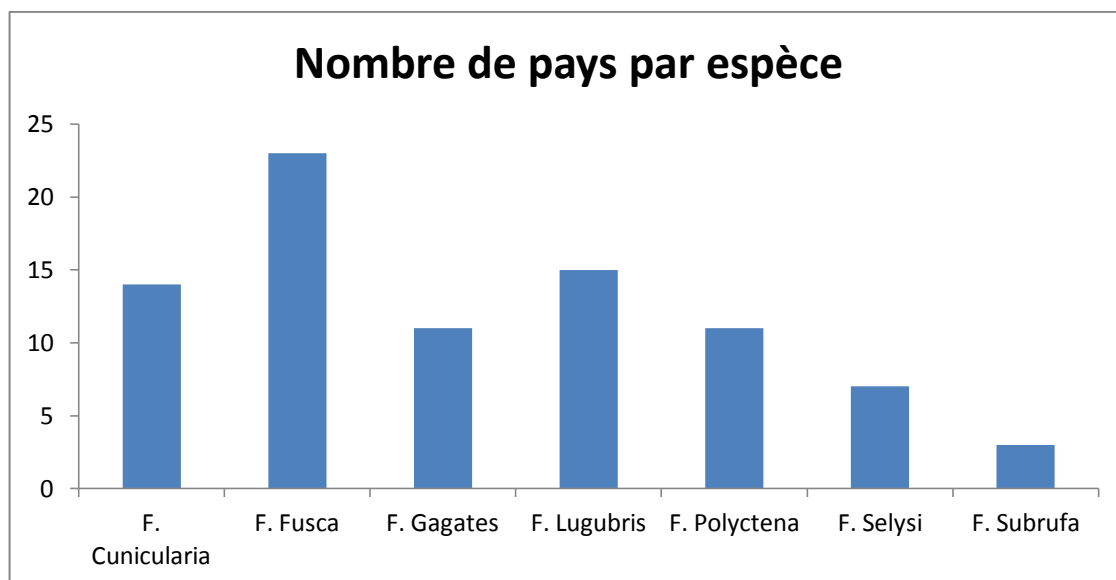


Figure 3: Nombre de pays où les espèces ont été inventoriées

Pour *F. Cunicularia*, *F. Fusca* et *F. Lugubris*, les données récoltées proviennent seulement des trois sites mentionnés plus haut. Toutefois, même si le nombre de sources est faible pour ces espèces, ces dernières sont représentées dans un nombre de pays plus importants que les 4 autres espèces qui, elles, possèdent des données bibliographiques supplémentaires.

Cependant, pour les fourmis qui possèdent peu de données et qui sont peu réparties spatialement, cela peut être dû à **plusieurs raisons** : cela peut venir du fait que l'aire de distribution de ces espèces est restreinte, ou bien cela peut signifier qu'il n'y a pas eu de recherches effectuées pour ces espèces à certains endroits.

2. Récupération des données bioclimatiques

Une fois les données de distribution géographique récupérées, il a ensuite fallu **recueillir des données bioclimatiques**. Celles-ci proviennent du site **WorldClim** qui fournit des données climatiques gratuites pour la modélisation écologique et la cartographie. Les données récupérées correspondent ici aux données bioclimatiques entre 1970 et 2000. L'analyse qui va ensuite découler des deux jeux de données a pour objectif de donner une **première approche de la répartition des espèces dans l'espace**.

Ces **variables bioclimatiques** sont dérivées de la température et des précipitations mensuelles afin de générer plus de variables significatives sur le plan biologique. Celles-ci représentent les tendances annuelles, la saisonnalité et les facteurs environnementaux extrêmes ou limitatifs. Dans le cadre de cette étude, seules les variables de **température** ont été utilisées puisque les données physiologiques des fourmis, comme on le verra dans la suite du projet, sont issues d'une expérience effectuée sur la résistance aux températures et non par rapport aux précipitations.

Les calculs effectués à l'aide du logiciel Maxent, dont le principe d'utilisation sera détaillé ultérieurement, ont été paramétrés de façon à ce que les données de relevés des espèces croisent les **7 variables bioclimatiques**⁷ suivantes :

- *La température moyenne annuelle,*
- *La température maximale de la période la plus chaude,*
- *La température minimale de la période la plus froide,*
- *La température moyenne du trimestre le plus humide,*
- *La température moyenne du trimestre le plus sec,*
- *La température moyenne du trimestre le plus chaud,*
- *La température moyenne du trimestre le plus froid.*

Ces données de température sont en C°*10 permettant ainsi de réduire considérablement la taille des fichiers. Elles ont pour **couverture géographique l'Europe** (Figure 4) et leur résolution spatiale est de 30 secondes ($0,93 * 0,93 = 0,86 \text{ km}^2$ à l'équateur). Il a été choisi de prendre comme limite uniquement l'Europe car les données géographiques trouvées dans la partie précédente se trouvent essentiellement dans cette partie du monde.

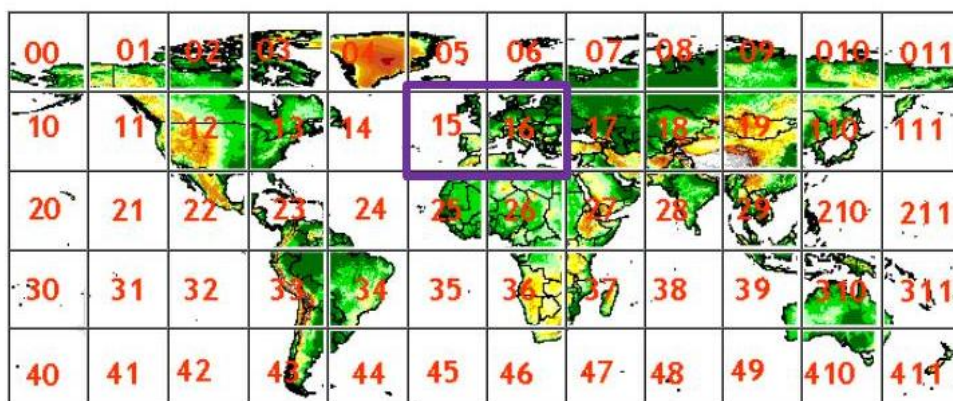


Figure 4 : Couverture géographique des données bioclimatiques sur WorldClim (Source : <http://www.worldclim.org/tiles.php>)

3. Utilisation des logiciels Qgis, Maxent et Excel

Les données bioclimatiques, une fois téléchargées, ont dû être, dans un premier temps, exploitées à l'aide du logiciel de SIG **Qgis** dans le but de les transformer en données raster de type ASCII afin

⁷ WorldClim. <http://www.worldclim.org/bioclim> [Consulté le 12/01/2018]

de pouvoir ensuite être exploitées par **Maxent** et être couplées avec les données d'observations des espèces.

Le logiciel Maxent permet la modélisation de l'entropie de distribution d'une espèce donnée, c'est-à-dire la probabilité d'existence d'un habitat correspondant à celui de l'espèce selon l'analyse de variables environnementales. Ainsi, il permet la **modélisation de la distribution d'espèces**. Il est utilisé pour prédire la **distribution potentielle** des espèces.

Toutefois, afin de pouvoir être exploitées par Maxent, les coordonnées géographiques ont dû également être modifiées en étant, à partir du tableau **Excel**, enregistrées sous la forme d'un fichier **.csv** et comprenant ainsi trois champs correspondant respectivement à **l'espèce, la longitude et la latitude**.

Une fois ces deux jeux de données modifiés en possession, la modélisation a été réalisée avec Maxent dans le but de **recupérer des éléments numériques** correspondant au croisement entre les données géographiques et les données bioclimatiques (*Figure 5*), ce qui a donc permis de déterminer des températures moyennes sur l'aire de distribution des espèces.

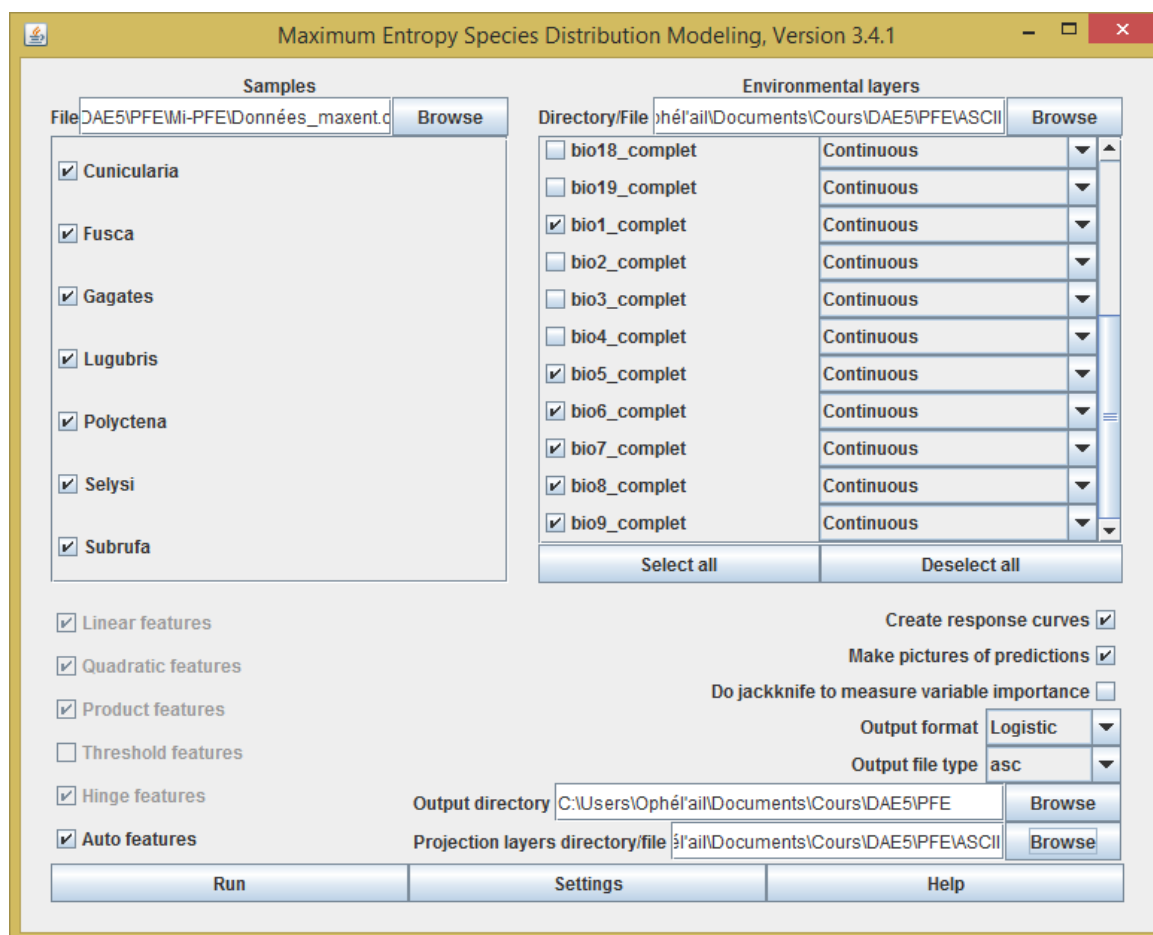


Figure 5 : Croisement sur Maxent des données géographiques et des données bioclimatiques

Les éléments numériques produits correspondent aux 7 variables de température, citées en amont du rapport. Ils communiquent des estimations des **conditions climatiques les plus favorables** à la survie des espèces à un endroit et seront détaillés dans la partie portant sur les résultats.

Le logiciel évalue également la **qualité du modèle** permettant ainsi de prendre du recul par rapport à la méthode utilisée et de garder un **esprit critique** (cf Annexe).

4. Exploitation des données physiologiques de résistance au climat

Les **données physiologiques de résistance au climat** des espèces de fourmis étudiées ici ont ensuite été récupérées. Elles proviennent de conditions expérimentales qui ont été testées sur ces fourmis. Celles-ci ont été placées sur une plaque chauffante. Plusieurs fourmis de la même espèce ont ainsi été soumises à des températures différentes dans le but d'observer si elles étaient résistantes ou non à cette température.

Les données résultantes de cette expérimentation se présentent sous la forme d'un tableau Excel comportant 15 colonnes (*Tableau 3*) mais seulement 3 ont été utilisées pour la suite de l'étude : le nom de l'espèce, la température à laquelle elle a été soumise et si elle a survécu ou non (0 ou 1, 0 étant la survie de l'espèce et 1 sa mort).

Tableau 3 : Paramètres utilisés pour le tableau de l'expérience de résistance aux températures

Col	Id	Ant	Genus	Clade	Species	Temp	Death	Time	Thor	Fem	Tib	Tars	Inteye	Headl
-----	----	-----	-------	-------	---------	------	-------	------	------	-----	-----	------	--------	-------

Toutefois, le nombre d'individus testés par espèce de fourmis n'est pas homogène comme il est possible de le constater sur le graphique ci-dessous. Ainsi, les résultats, qui seront obtenus dans la suite, pour les espèces de fourmis qui ont eu moins d'individus examinés seront donc moins précis que ceux dont l'expérimentation a porté sur un nombre plus important.

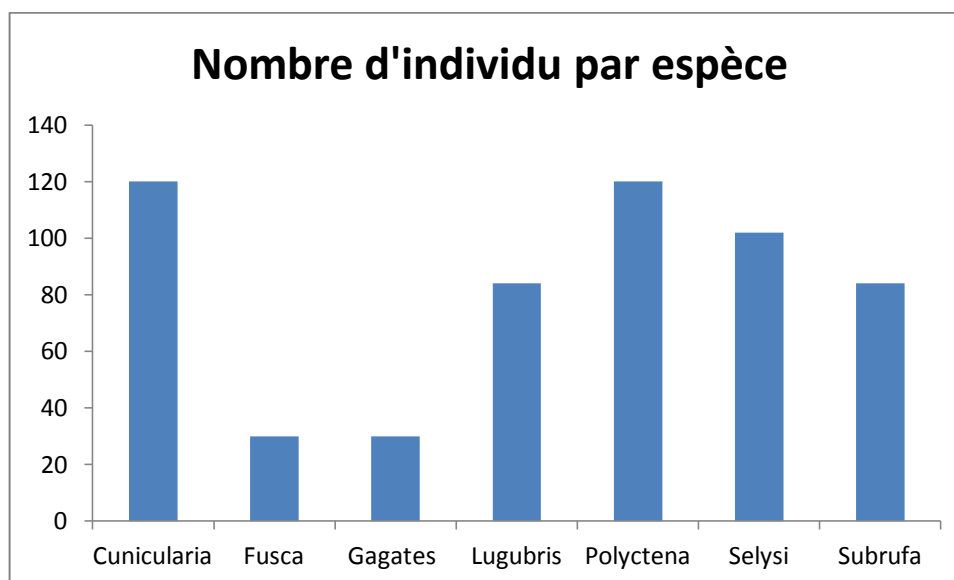


Figure 6 : Nombre d'individus testés pour chaque espèce de fourmis

Le tableau a été exploité sur **R**, un logiciel dédié aux statistiques et à l'analyse de données. Celui-ci a permis, dans un premier temps, de trouver la **LD50** de chaque espèce, c'est-à-dire la valeur de la température pour laquelle 50% des fourmis sont mortes et 50% ont survécu. Cette LD50 est un **indicateur quantitatif** qui mesure la dose d'une substance, ici la température, causant la mort de 50% d'une population animale donnée dans des conditions d'expérimentation, ici la plaque chauffante.

Pour ce faire, il a donc été demandé au logiciel de faire une estimation de la dose létale 50% à partir d'un **modèle de régression logistique** obtenu en appliquant la fonction glm (modèle linéaire généralisé) aux données binomiales.

Ensuite, il a été demandé à R de créer un fichier .csv à partir de la fonction inv.logit(x), c'est-à-dire la **fonction inverse du logarithme**, qui permet de transformer les valeurs 0 et 1, correspondant à la mort ou non de l'individu, en valeurs continues (*Figure 7*).

```
> modcun <- glm(death~temp, binomial, subset=species=="cunicularia", data=data)
> summary(modcun)
> dose.p(modcun, p=0.5)
> predict(modcun)
> y <- inv.logit(x)
> y
> write.csv(y, file="y.csv")
```

Figure 7 : Exemple du script utilisé sur R pour F. Cunicularia

Grâce à ces valeurs ainsi obtenues, il est possible de construire sur **Excel** les **courbes de survie** de chaque espèce, soit la mortalité d'un individu en fonction de la température de la plaque chauffante, avec les valeurs observées et les valeurs prédites de la mortalité.

Puis, avec les valeurs trouvées sur R des LD50 de toutes les espèces et les valeurs les plus favorables des différentes variables de température obtenues sur Maxent pour toutes les espèces également, il est possible de construire un **graphique avec la LD50**, correspondant à la niche fondamentale, **en fonction des conditions climatiques**, correspondant à la niche réalisée. Un graphique a été réalisé pour chaque condition climatique, c'est-à-dire pour chaque variable de température.

Une fois ces graphiques construits, la valeur du **coefficient de détermination R^2** a été insérée. Ce coefficient mesure la qualité de prédiction d'une régression linéaire et varie entre 0 et 1, 0 étant un pouvoir de prédiction faible et 1 un pouvoir de prédiction fort. Cette valeur de R^2 peut également être estimée sur le logiciel R qui permet, dans le même temps, d'avoir la **valeur de Pr**. Cette valeur correspond à la **probabilité de rejeter l'hypothèse H_0** pour laquelle le coefficient est égal à 0.

Ici, on cherche à savoir si la température a un impact sur la valeur de la LD50. Le test effectué sur R a un seuil de signification de 5% (risque d'erreur accepté). Dans ce test, l'hypothèse nulle est : **il n'y a pas de lien entre la température et la LD50**, et le test a pour but de savoir s'il est raisonnable de rejeter cette hypothèse nulle. Si le Pr est très petit, cela signifiera qu'il y a un effet hautement significatif de la variable de température.

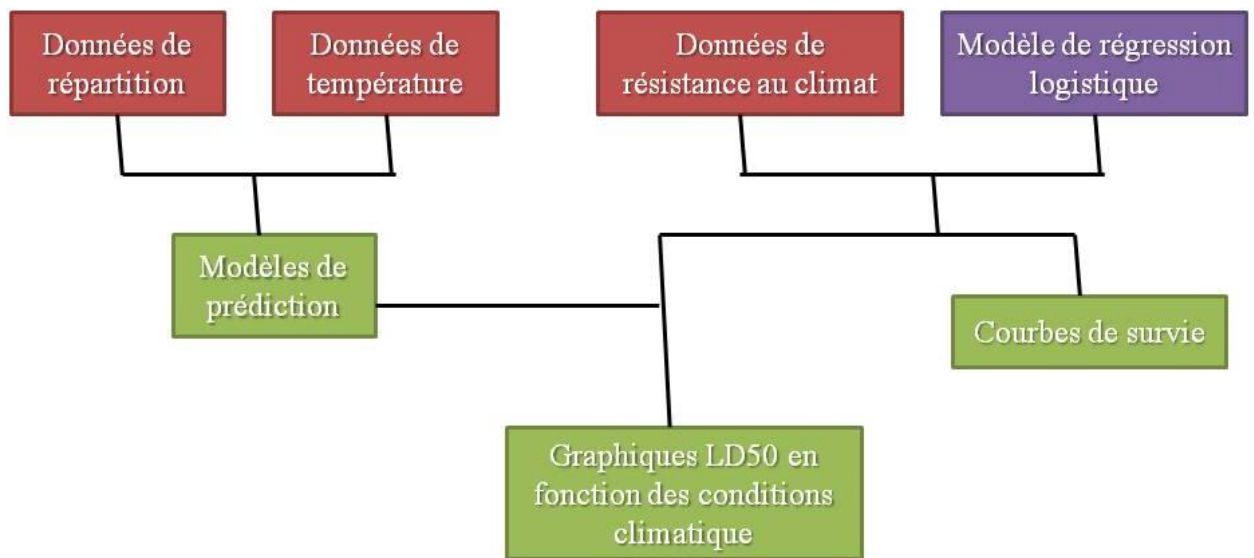


Figure 8 : Résumé de la méthodologie (en rouge : données récupérées ; en violet : logiciel ; en vert : résultats obtenus)

Partie 2 : Résultats obtenus

1. Avec les logiciels R et Excel

Tout d'abord, le tableau ci-dessous répertorie les valeurs de la **LD50**, en degré (°C), pour chaque espèce qui ont été obtenues sur R :

Tableau 4 : Valeurs de LD50 pour chaque espèce

Espèce	LD50
Cunicularia	52,12
Fusca	51
Gagates	49,5
Lugubris	51,47
Polycтена	51,81
Selysi	52,1
Subrufa	55,74

Il est déjà possible de constater qu'une espèce se démarque des autres. En effet, F. Subrufa a une LD50 bien plus importante que les autres espèces.

Cette LD50 se retrouve sur la **courbe de survie** des espèces (*Figure 7*). Celle-ci représente la mort ou non de l'individu en fonction de la température, comme il a été expliqué dans la partie méthodologie. Les points bleus sur les graphiques symbolisent les points d'observation provenant du tableau Excel avec les données physiologiques et la courbe rouge correspond à la prédiction obtenue avec R. Quant à la croix rouge, elle indique la LD50 de chacune des espèces.

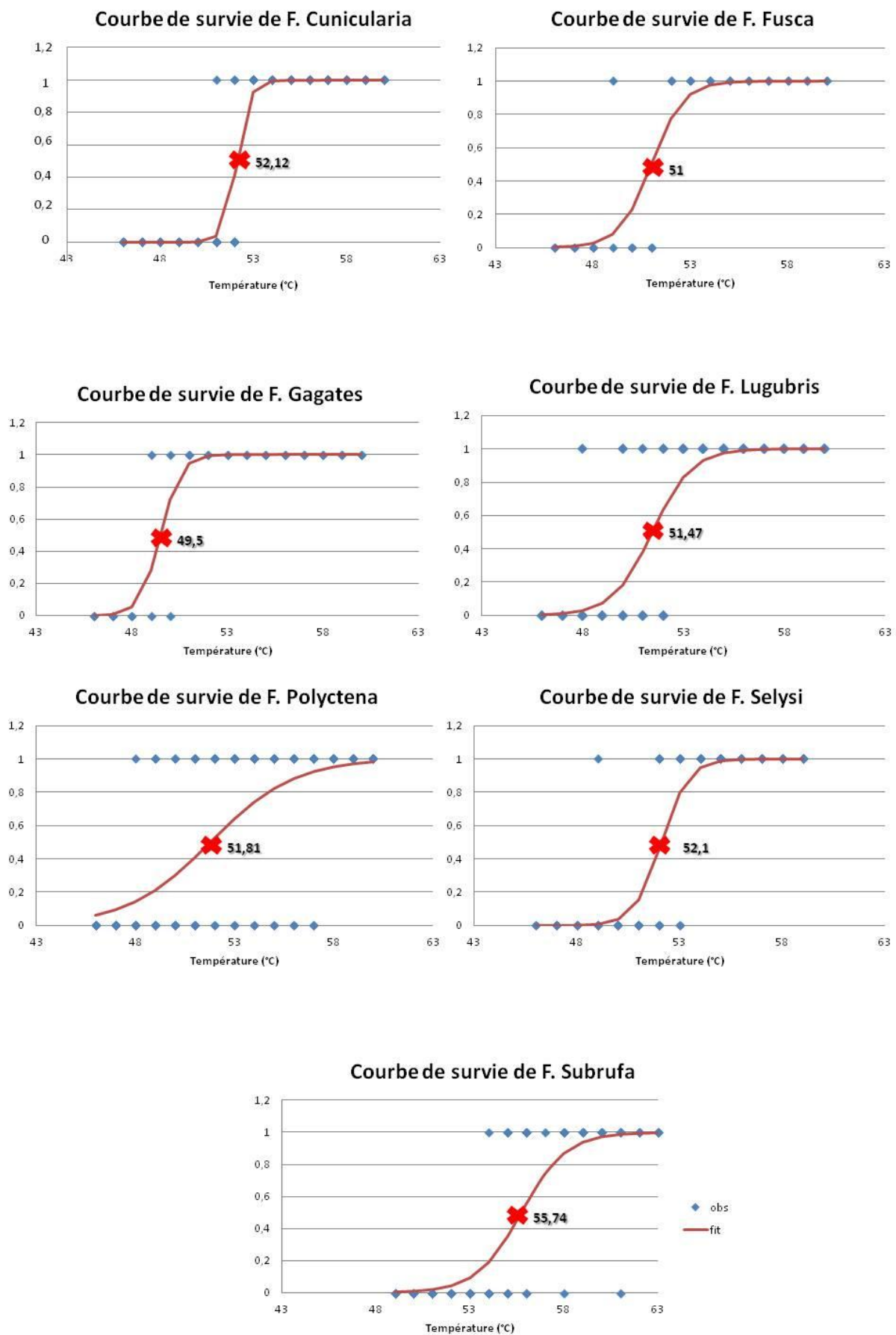


Figure 9 : Courbes de survie pour chaque espèce avec la LD50

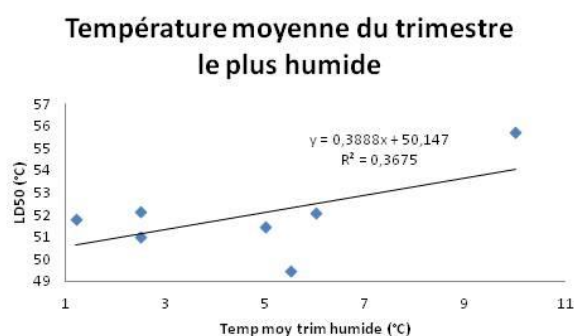
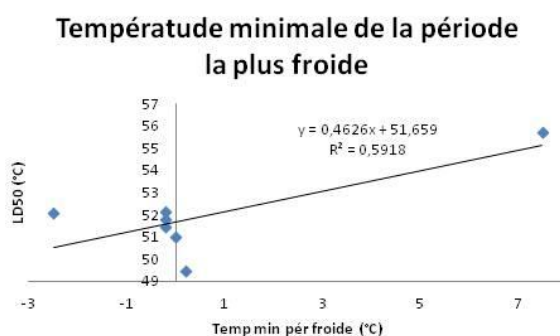
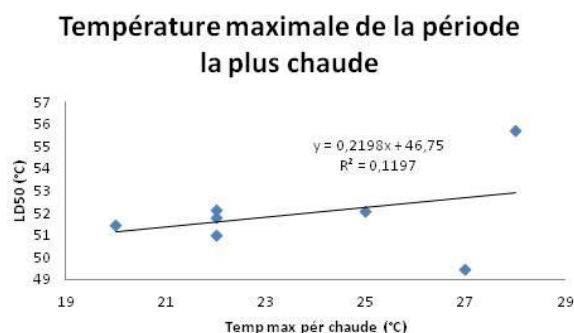
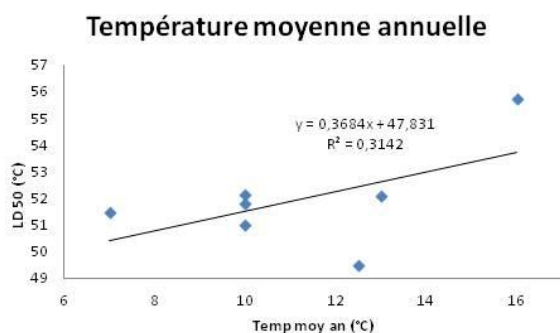
Dans le tableau suivant sont répertoriées, pour chaque espèce, les **valeurs qui leur sont le plus favorable pour chaque variable de température**. Les valeurs sont en degré (°C) et proviennent des résultats obtenus sur Maxent entre le croisement des données géographiques avec les données bioclimatiques.

Tableau 5 : Conditions de température les plus favorables aux espèces

Espèce	Température moyenne annuelle	Température maximale de la période la plus chaude	Température minimale de la période la plus froide	Température moyenne du trimestre le plus humide	Température moyenne du trimestre le plus sec	Température moyenne du trimestre le plus chaud	Température moyenne du trimestre le plus froid
Cunicularia	10	22	-0,2	2,5	6	16	3,5
Fusca	10	22	0	2,5	5,5	16	3
Gagates	12,5	27	0,2	5,5	19	17	5
Lugubris	7	20	-0,2	5	10	14	2,5
Polycтена	10	22	-0,2	1,2	5,5	16	2,5
Selysi	13	25	-2,5	6	19	19	2,5
Subrufa	16	28	7,5	10	24	23	10

Encore une fois, il semblerait que F. Subrufa soit plus résistante aux températures élevées que les autres espèces.

Grâce aux valeurs du tableau précédent et celui de la LD50 (Tableau 4), il a été possible de construire les graphes suivants pour chaque variable de température :



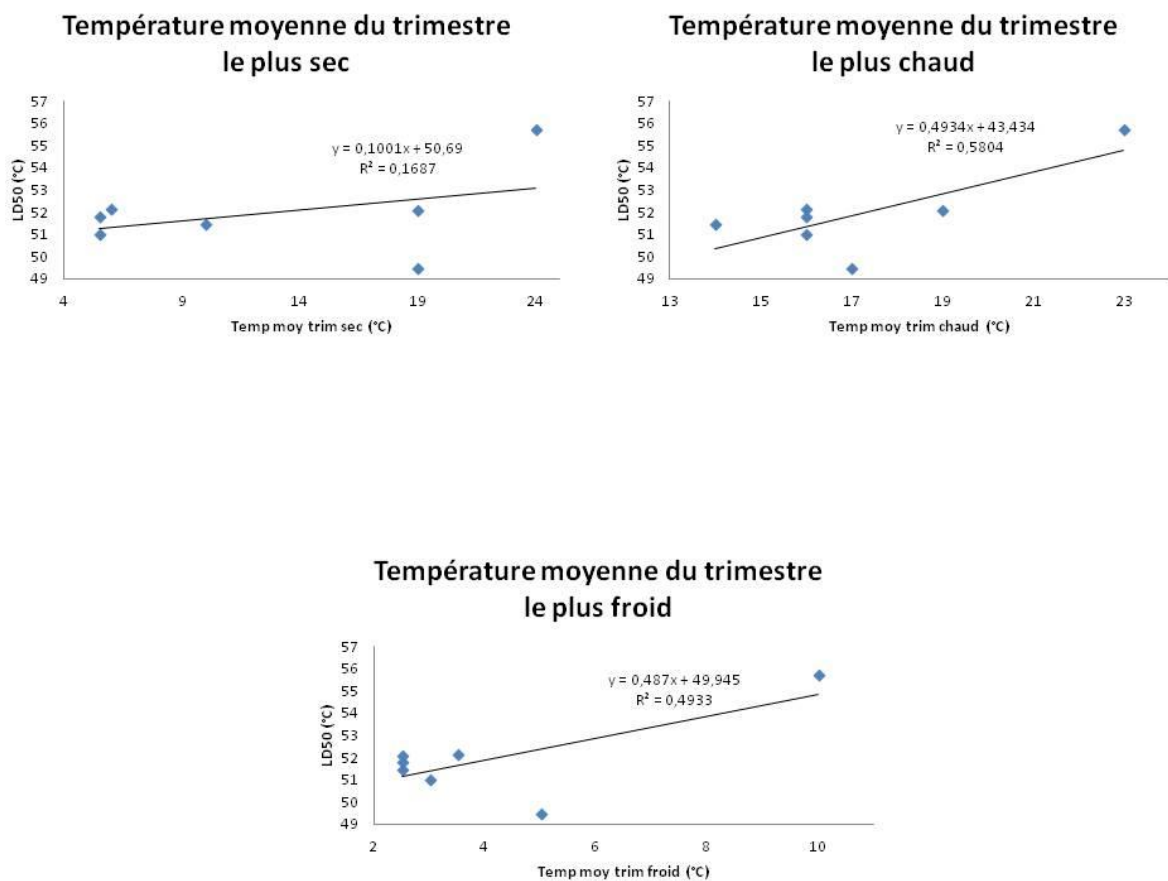


Figure 10 : Modèle logistique pour chaque variable de température

Le coefficient de détermination R^2 a été inséré aux nuages de points. Les **coefficients de détermination** sont, pour la plupart, compris entre 0 et 0,5 ce qui est plutôt **faible** et indique donc que les points des graphiques ne sont pas vraiment alignés, c'est-à-dire que le **pourvoir de prédiction** est assez **médiocre**.

Cela peut peut-être s'expliquer par le fait qu'un point se distingue des autres, celui de **F. Subrufa**. Alors que les autres points se concentrent en bas à gauche, celui de F. Subrufa se situe sur la droite et plus haut, soit avec des valeurs de température plus importantes. Cette espèce semble donc avoir un **impact particulier sur la corrélation**.

Cela peut également être dû au fait que certaines espèces ont eu **moins d'individus testés** lors de l'expérimentation sur la résistance physiologique et ainsi la valeur de la LD50 de ces espèces est moins précise.

Enfin, une autre explication à ce R^2 plutôt faible pourrait être que d'**autres facteurs environnementaux** qui n'ont pas été pris en compte dans cette étude doivent jouer un rôle dans la valeur de la LD50.

Cet autre tableau ci-dessous indique les valeurs des différents **Pr** obtenues sur R pour chaque variable de température :

Tableau 6 : Valeurs des Pr pour chaque variable de température

Variable	Pr
Température moyenne annuelle	0,191
Température maximale de la période la plus chaude	0,447
Température minimale de la période la plus froide	0,043
Température moyenne du trimestre le plus humide	0,149
Température moyenne du trimestre le plus sec	0,360
Température moyenne du trimestre le plus chaud	0,047
Température moyenne du trimestre le plus froid	0,079

Les **valeurs de Pr** pour la température minimale de la période la plus froide et pour la température moyenne du trimestre le plus chaud sont **inférieures au seuil de signification** (5%). Ces deux variables sont marginalement significatives. Ainsi, on n'admet pas que le hasard joue un rôle dans leur modèle et **on rejette donc l'hypothèse nulle**.

Les **valeurs de Pr** pour la température moyenne annuelle, la température maximale de la période la plus chaude, la température moyenne du trimestre le plus humide, la température moyenne du trimestre le plus sec, et enfin pour la température moyenne du trimestre le plus froid sont **supérieures au seuil de signification**. Ainsi, on admet qu'il peut y avoir des fluctuations et **on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle**.

Ainsi, les 5 dernières variables, contre 2 plus haut, montrent que **la température n'a pas d'effet hautement significatif sur la LD50**, c'est-à-dire qu'elle ne permet pas d'expliquer la LD50 et donc, on ne peut pas rejeter l'hypothèse H0 dont le postulat est que la température n'a pas d'impact sur la valeur de la LD50.

2. Cartes de probabilité de présence des espèces obtenues sur Maxent

Les cartes de probabilité de présence des espèces fournies par Maxent permettent de **communiquer visuellement** les modèles de répartition des espèces obtenus en fonction de la température.

Les cartes suivantes sont une représentation du **modèle de distribution** réalisé sur Maxent respectivement pour F. Cunicularia, F. Fusca, F. Gagates, F. Lugubris, F. Polyclena, F. Selysi et F. Subrufa.

Les couleurs les plus chaudes indiquent les zones avec les meilleures conditions de prédictions tandis que les nuances les plus froides indiquent une probabilité de prédiction faible de conditions appropriées. Les points blancs représentent les emplacements de présence pour les « training data » (utilisées pour construire un modèle), et les points violets indiquent les emplacements des « test data » (utilisées pour valider le modèle construit).

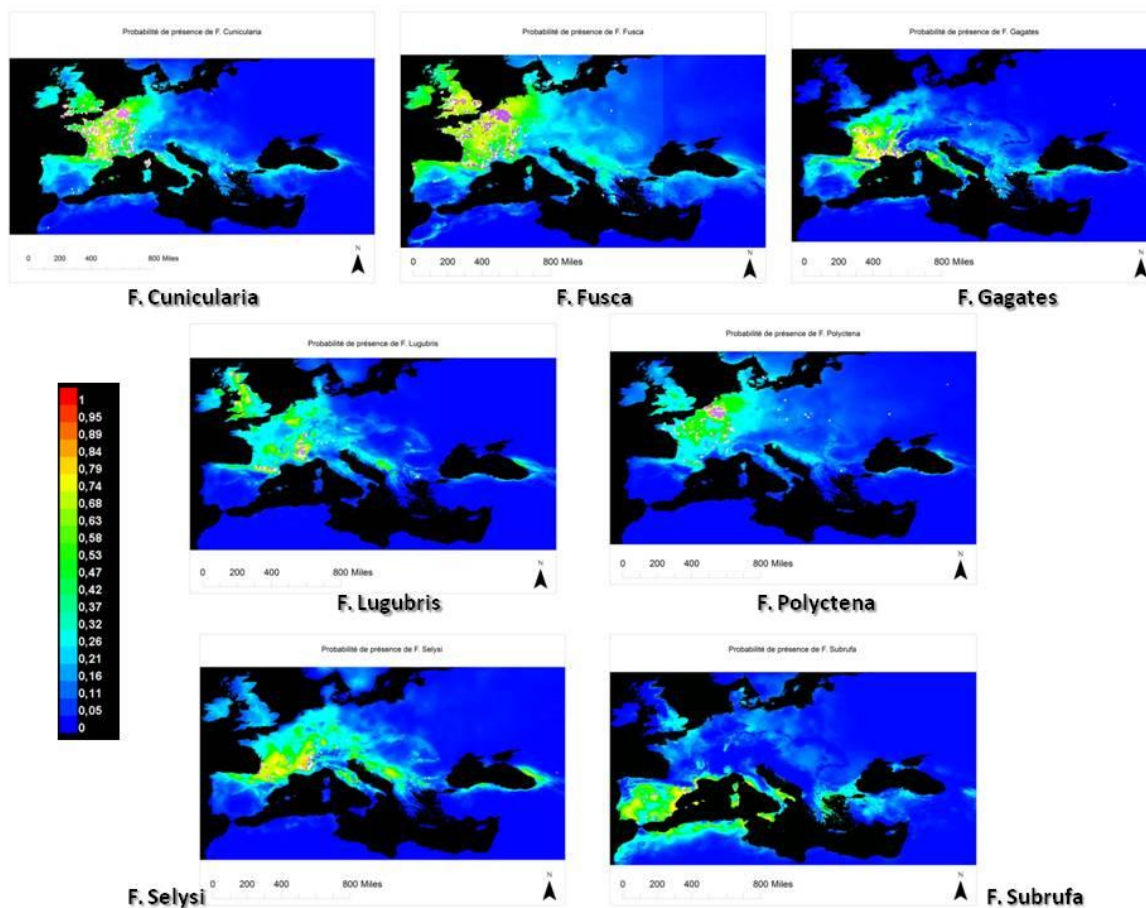


Figure 11 : Cartes de probabilité de présence pour chaque espèce

Il est ainsi possible de constater que toutes les espèces sont présentes en Europe et plus particulièrement en France, sauf *F. Subrufa* qui est essentiellement présente en Espagne et au Nord de l'Afrique. Les cartes semblent encore une fois indiquer que cette espèce se distingue des autres en vivant dans des régions plus chaudes.

F. Cunicularia et *F. Fusca* paraissent avoir des répartitions assez similaires, c'est-à-dire, dans une grande partie de la France, ainsi qu'en Belgique et au Sud de l'Angleterre.

Pour *F. Gagates* et *F. Selysi*, il est possible d'observer qu'elles sont principalement présentes à l'Ouest et au Sud de la France. En revanche, il y a un bleu très foncé dans les montagnes pour *F. Gagates*, ce qui est également le cas pour *F. Subrufa*, et signifie donc que cette espèce n'est pas présente sur ces sites tandis que *F. Lugubris* y est essentiellement comme on peut le voir sur la carte.

Partie 3 : Interprétation et discussion des résultats

1. Analyse des résultats

Cette étude sur la niche écologique tout au long de l'année permet donc maintenant de **répondre aux questions** qui ont été posées dans l'**introduction** du sujet et qui sont :

- ➔ *Quelle est la température moyenne sur l'aire de distributions des espèces et ainsi quelle est la niche réalisée de ces espèces ?*
- ➔ *Quel est l'impact de la température sur la répartition spatiale des espèces ?*
- ➔ *Ces fourmis, appartenant au même genre, ont-elles des niches écologiques similaires ?*

Tout d'abord, pour répondre à la première question, la **niche réalisée** des espèces correspond aux **conditions climatiques les plus favorables à leur installation**. Le tableau 3, obtenu dans la partie des résultats et rappelé ci-dessous, représente les températures les plus favorables à l'installation des espèces et correspond donc à leur niche réalisée.

Tableau 7 : Niche réalisée des 7 espèces de fourmis étudiées

Espèce	Température moyenne annuelle	Température maximale de la période la plus chaude	Température minimale de la période la plus froide	Température moyenne du trimestre le plus humide	Température moyenne du trimestre le plus sec	Température moyenne du trimestre le plus chaud	Température moyenne du trimestre le plus froid
Cunicularia	10	22	-0,2	2,5	6	16	3,5
Fusca	10	22	0	2,5	5,5	16	3
Gagates	12,5	27	0,2	5,5	19	17	5
Lugubris	7	20	-0,2	5	10	14	2,5
Polctena	10	22	-0,2	1,2	5,5	16	2,5
Selysi	13	25	-2,5	6	19	19	2,5
Subrufa	16	28	7,5	10	24	23	10

Toutefois, d'après les résultats des **coefficients de détermination R^2** , il semblerait que, contrairement à ce que l'on pourrait penser, il n'y ait pas vraiment de corrélation entre la niche écologique des espèces et leur résistance physiologique au climat. En effet, leur R^2 est compris entre 0 et 0,5 ce qui est faible et signifie donc que **le pouvoir de prédiction est faible** également. Les **valeurs peu significatives des Pr** concordent également avec les résultats des R^2 .

Ainsi, d'après les résultats obtenus, la température n'est pas le facteur le plus important qui détermine la répartition spatiale de ces espèces. Par conséquent, **d'autres éléments** doivent entrer en jeu dans la **distribution spatiale** de ces fourmis.

En effet, pour **illustrer ce résultat**, on peut prendre l'exemple de F. Cunicularia qui peut survivre jusqu'à environ 52°C d'après les résultats de la LD50, c'est-à-dire que sa niche fondamentale pour la température est de 52°C. Or, on a constaté dans les calculs des variables de température réalisés sur Maxent, que les températures les plus favorables à cette espèce ne dépassaient pas les 16°C, ce qui signifie donc que **la température de sa niche réalisée est bien en-dessous de celle de sa niche**

fondamentale. Ainsi, on peut en déduire qu'il y a **d'autres paramètres environnementaux qui interviennent** dans la distribution de l'espèce et la température ne semble pas en être le facteur principal. On retrouve cette même idée pour les 6 autres espèces étudiées.

Enfin, pour répondre à la dernière question, les **niches écologiques** des espèces ne sont pas les mêmes. Toutefois, comme il a été évoqué avec les cartes de probabilité de présence, les niches de certaines espèces présentent quelques **similitudes**. Seule celle de *F. Subrufa* est véritablement éloignée de la niche écologique des autres fourmis étudiées ce qui confirme son caractère particulier par rapport aux 6 autres espèces. .

La **conclusion générale** des résultats obtenus dans la partie précédente est donc que la LD50 et les variables de température ne sont pas corrélées entre elles, c'est-à-dire que **la température n'est pas le facteur principal qui impacte la répartition spatiale** des 7 espèces de fourmis étudiées.

Aussi, faudrait-il effectuer ce même travail avec des **facteurs environnementaux supplémentaires** en les étudiant à la fois individuellement mais également en les croisant car il peut exister de fortes corrélations entre certaines des variables. Cela permettrait d'obtenir une idée plus précise des facteurs influençant la distribution spatiale des espèces et ainsi, il serait possible de déterminer plus en détail leur niche réalisée.

Afin de mieux comprendre les résultats obtenus, nous allons maintenant répondre aux **questions** suivantes :

- ➔ *Quels sont les mécanismes évolutifs qui permettent d'expliquer la distribution des espèces ?*
- ➔ *Est-ce les populations qui se déplacent de manière à ajuster leur distribution aux conditions optimales ?*
- ➔ *Est-ce que la sélection façonne les populations pour qu'elles reflètent les conditions locales ?*
- ➔ *Quels facteurs n'ont pas été pris en compte et en quoi ils pourraient changer ce résultat ?*

Tout d'abord, la répartition des espèces peut être expliquée par différents **mécanismes évolutifs** qui sont :

- La **dérive génétique** est un processus dû au hasard. Elle se déroule au cœur d'une population, c'est-à-dire d'un ensemble d'individus qui appartiennent à la même espèce et qui habitent dans une même zone. Ce mécanisme engendre une **variation de la fréquence des allèles**.
- La **sélection naturelle** a été introduite par Charles Darwin en 1859 qui a constaté que des changements physico-chimiques dans l'environnement peuvent agir sur la reproduction des espèces. Il en a donc conclu que les **conditions environnementales** où vivent ces espèces fonctionnent comme des **facteurs de la sélection naturelle**. Ainsi, les individus ayant un **avantage sélectif** vont prédominer car ils seront plus susceptibles de se reproduire.
- La **spéciation** est un processus évolutif qui permet la formation de **nouvelles espèces** par **différenciation** au sein d'une population donnée. Ce concept découle de la dérive génétique et de la sélection naturelle qui sont les moteurs de l'évolution.

Dans le cas de cette étude, il est possible de constater qu'une des 7 espèces de fourmis se distingue des autres en présentant une **résistante aux températures élevées**. Cette espèce est **F. Subrufa**. En effet, tous les résultats obtenus, aussi bien numériques que visuels, semblent être en accord avec cette tendance.

Les **cartes de probabilité de présence** signalent que F. Cunicularia, F. Fusca, F. Gagates, F. Lugubris, F. Polycтена et F. Selysi sont principalement présentes en France et en Belgique, alors que F. Subrufa est originaire plus particulièrement d'Espagne. Ces cartes sont cohérentes avec les résultats numériques, notamment avec la **LD50** qui est la plus importante pour F. Subrufa.

Au fil du temps, cette espèce a même fini par se distinguer considérablement des autres espèces du genre Formica. Elle n'appartient d'ailleurs plus vraiment à ce genre et a été reclassée pour devenir **Iberoformica Subrufa**, Iberoformica étant un sous-genre de Formica.

Pour examiner plus en détail la génétique entre F. Subrufa et les autres espèces, il faudrait s'intéresser pourquoi pas à la **phylogénie** qui « *correspond à l'étude des liens existant entre espèces apparentées* »⁸. Cette notion permet d'estimer si les espèces sont éloignées ou non en cherchant leurs ancêtres communs.

Celle-ci permettrait peut être d'expliquer pourquoi Subrufa est passée du genre Formica au sous-genre Iberoformica, et de comprendre comment cette espèce a évolué au fil des générations, à un tel point qu'elle a fini par se différencier réellement des autres espèces du genre Formica. On peut également se poser la question suivante : *Est-ce la dérive génétique ou la sélection naturelle qui est à l'origine de cette spéciation ?*

Il pourrait également être pertinent de prendre en compte l'**anatomie des espèces**. Il existe peut être une correspondance entre leurs caractéristiques physiques et l'environnement de leur aire de distribution. Cela pourrait être dû à la sélection naturelle qui aurait privilégié les individus avec des caractères physiques particuliers leur permettant de vivre dans leur habitat actuel.

Face aux **changements climatiques** à venir, les espèces vont donc devoir s'adapter si le climat est l'un des facteurs qui influe le plus dans leur répartition. Elles pourront soit se déplacer pour retrouver les mêmes conditions qu'elles possèdent dans leur niche écologique actuelle, soit la sélection naturelle va avoir lieu en privilégiant les individus capables de résister à ces modifications. Dans ce deuxième cas, de nouvelles espèces pourront alors voir le jour. Les connaissances en termes de niche permettront également aux scientifiques d'essayer de trouver des solutions afin de préserver ces espèces.

2. Regard critique du projet

Dans tout travail, il est important de garder un **esprit critique**. Il faut savoir **s'interroger** sur les données que l'on trouve et sur les logiciels qui ont été utilisés par exemple afin de **prendre du recul** par rapport aux **résultats obtenus** et d'estimer s'ils sont assez **fiables**. Ainsi, dans ce projet, on peut se **questionner** sur les points suivants :

- ➔ La **qualité des données** trouvées : il peut exister un degré d'incertitude. En effet, certaines données répertoriées sont issues d'**observations historiques**. Ainsi, les espèces se sont peut être déplacées au cours du temps et pourraient ne plus occuper certains espaces. De plus, il n'était parfois pas indiqué précisément les points de coordonnées où un individu avait été

⁸ Futura Science. « Phylogénie ». <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/classification-vivant-phylogenie-4372/> [Consulté le 11/03/2018]

aperçu et juste le **nom de la localité** était précisé. Toutefois, cela n'a pas dû avoir un impact significatif dans la suite de l'étude qui s'est effectuée à grande échelle.

- ➔ La **méthodologie** mise en place : la **méthode** utilisée ici en est une parmi tant d'autres et n'est peut être pas celle qui permet d'avoir les meilleurs résultats. De plus, **peu de points** ont été recueillis pour certaines espèces et donc les résultats sont moins précis que celles qui ont un grand nombre de données. Cette méthodologie permet tout de même d'obtenir une première approche de la distribution des espèces.
- ➔ Les **logiciels** utilisés : **Maxent** est le logiciel qui a été principalement utilisé dans la réalisation de ce projet. Dans la production des résultats, on trouve également des **tests de fiabilité** qui permettent de rendre compte si les modèles produits sont convenables ou non. Ainsi, on peut considérer que les **résultats** provenant du logiciel sont **acceptables** comme on peut le voir avec les graphiques en annexe.
- ➔ Enfin, il faut prendre du recul par rapport au fait que la distribution d'une espèce ne dépend pas que de ses **capacités physiologiques** à supporter les conditions environnementales mais dépend aussi des interactions biotiques. De plus, les **tests de résistances** à la température ont été réalisés sur le très court terme et ne reflètent donc pas la réalité.

Cette étude interroge le **lien entre les variables climatiques et la niche réalisée des fourmis**. L'objectif a été d'évaluer l'effet de la température sur l'aire de distribution de ces espèces. Après des analyses statistiques, il a été possible d'en déduire quelques résultats.

Par ce travail de recherche, l'**hypothèse** posée en introduction, qui était que la résistance physiologique au climat a un impact sur la niche réalisée des 7 espèces de fourmis étudiées ici, a été rejetée. Ainsi, **la température ne semble pas être le facteur environnemental qui influe le plus sur la distribution de ces espèces**.

Cette étude permet donc d'apporter une **première approche** de la distribution spatiale de ces espèces mais, comme il vient d'être dit précédemment, il n'est pas suffisant puisque la température ne paraît pas être le facteur principal de cette répartition. De **nouvelles questions** se posent alors sur les conséquences des autres facteurs sur cette niche.

La réponse à ces nouvelles questions serait très précieuse dans le cadre de ce projet mais pas uniquement car le **problème du changement climatique** va devenir primordial dans les années à venir. Il s'agit donc ici d'un questionnement de recherche important pour le domaine de l'environnement.

Toutefois, comme il a été vu précédemment, le climat n'est pas le seul facteur déterminant la répartition des espèces et peut ne pas être le plus important pour certaines d'entre elles. C'est pourquoi, au regard de cette analyse, il pourrait être intéressant de réaliser cette même étude mais avec d'**autres paramètres** afin de déterminer plus précisément qu'elle est la niche écologique de ces espèces, et peut être d'établir les variables les plus impactantes dans leur distribution géographique.

Le logiciel **Maxent** évalue la qualité de ses modèles permettant ainsi de prendre du recul par rapport à la méthode utilisée et ainsi de garder un esprit critique sur les résultats qui ont été obtenus.

Tout d'abord, le **taux d'omission** permet d'évaluer la capacité prédictive du modèle produit. Il évalue la probabilité que le modèle prédise l'absence de l'espèce à un endroit donné alors qu'elle est en réalité présente. Un taux d'omission faible signifie que le modèle est performant.

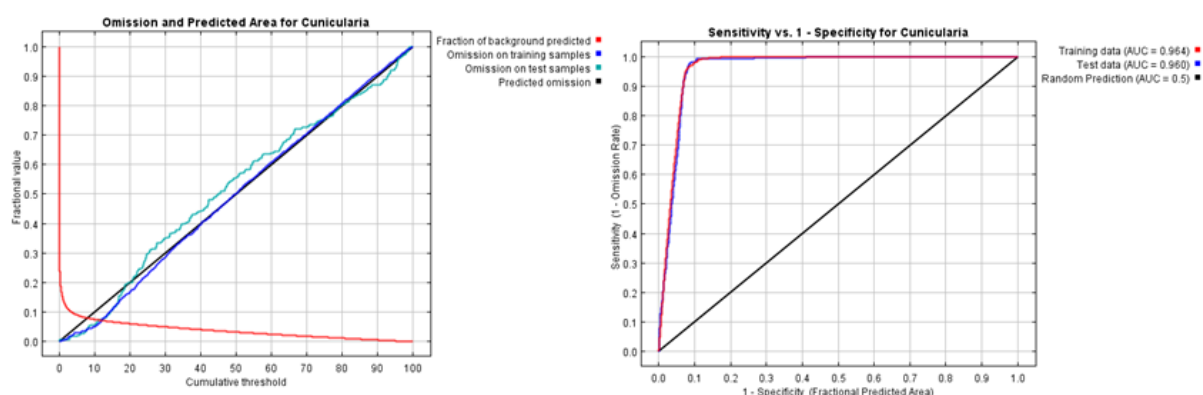
Puis, la **capacité de discrimination** du modèle entre présence et absence de l'espèce est évaluée à partir de la méthode de la **courbe ROC** (Receiver Operating Characteristic), qui repose sur l'estimation de la sensibilité et de la spécificité du modèle :

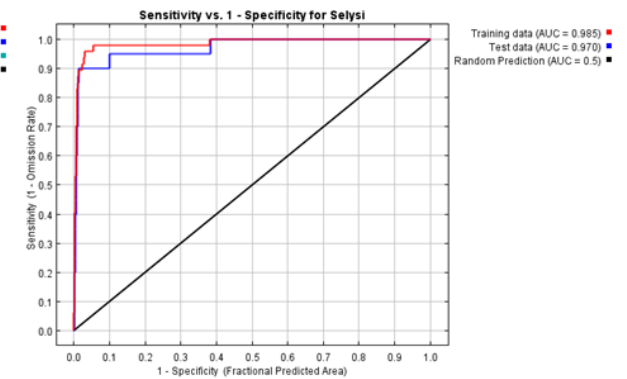
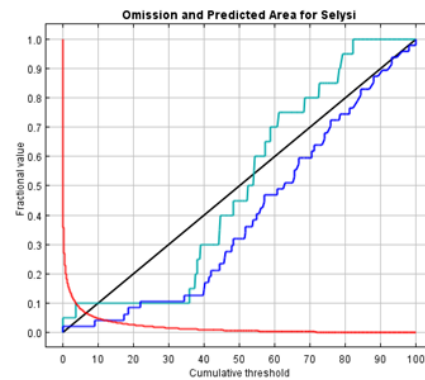
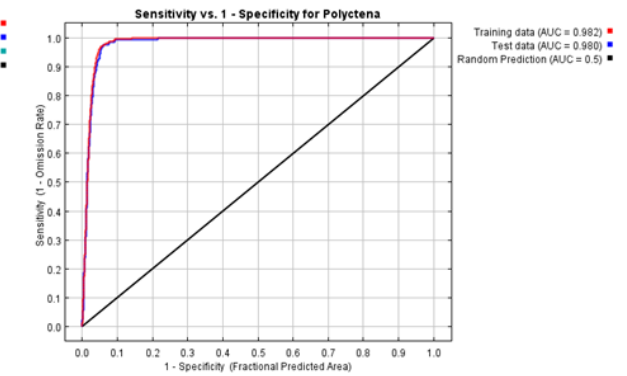
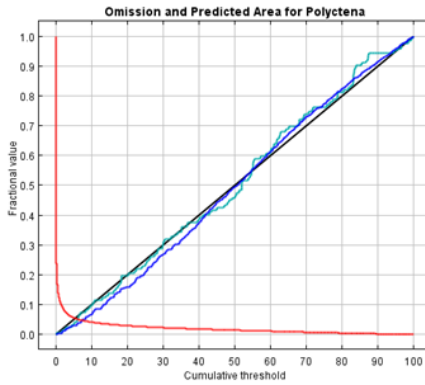
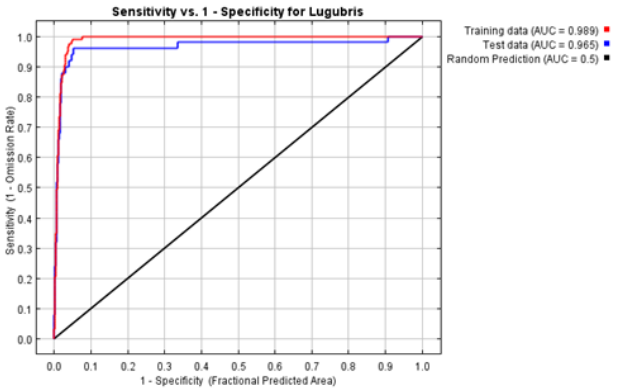
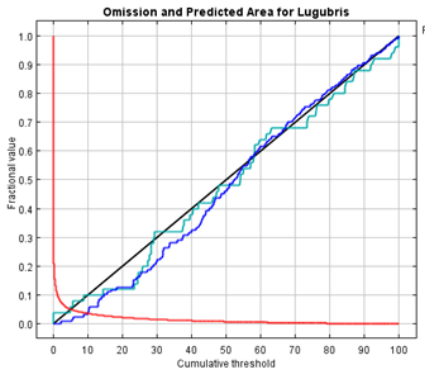
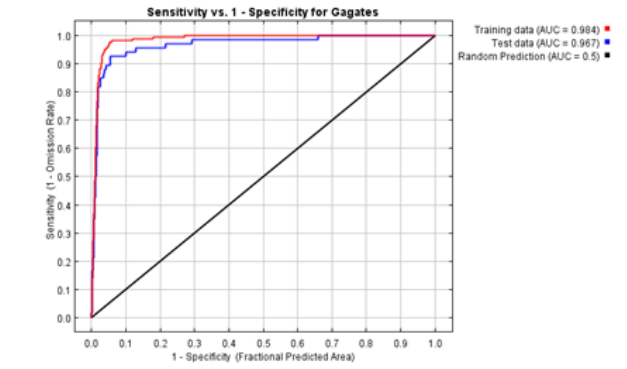
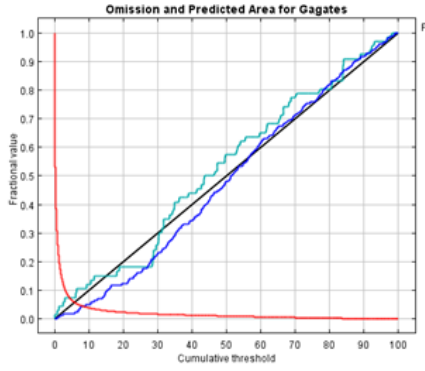
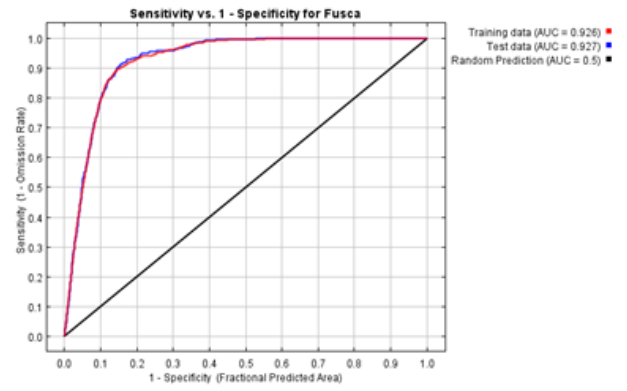
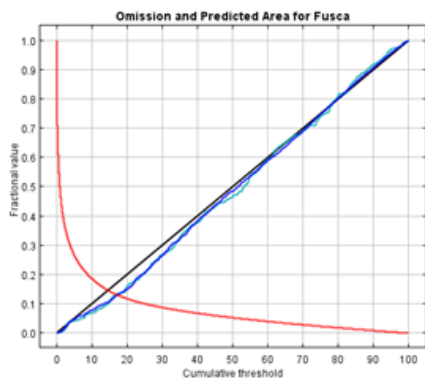
- La **sensibilité** correspond à la probabilité que le modèle identifie une présence « *réelle* » de l'espèce à un endroit donné,
- La **spécificité** correspond à la probabilité que le modèle identifie une absence « *réelle* » de l'espèce à un endroit donné.

Sur le graphique de la courbe ROC, l'axe des coordonnées x représente la sensibilité, soit la fréquence des « *vraies* » présences, et l'axe des y représente « *1 - la spécificité* », soit la fréquence des « *fausses* » présences. La courbe noire représente la courbe ROC dans le pire des cas, c'est-à-dire un modèle aléatoire soumis à une forte influence du hasard. Ainsi, plus la courbe obtenue avec l'application du modèle est proche du coin supérieur gauche du graphe, plus le modèle est fiable.

L'**AUC** (Area Under the Curve) de la courbe ROC est un indicateur du pouvoir de discrimination du modèle et il correspond à la probabilité que le modèle classe correctement une « *vraie* » présence et une « *vraie* » absence. Sa valeur peut être comprise entre 0,5 et 1, avec 0,5 correspondant à l'AUC d'un modèle aléatoire et 1 à un modèle prédisant de façon exacte la réalité.

Les courbes ci-dessous représentent les courbes du taux d'omission et les courbes ROC de chaque espèce :





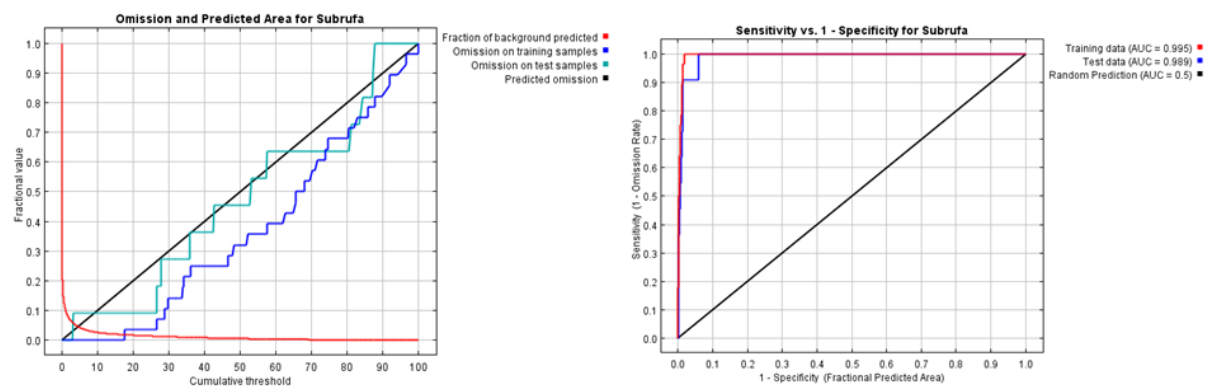


Figure 12 : Taux d'omission et courbe ROC pour chaque espèce

Sur les graphiques de gauche, il est possible de constater que pour la plupart des espèces le taux d'omission (en bleu) se superpose presque à la courbe d'omission prédite (en noir), ce qui signifie que la probabilité d'une erreur de la part du logiciel Maxent sur les absences est faible. *F. Selysi* et *F. Subrufa* ont des courbes qui sont plus éloignées que les autres espèces du fait de leur nombre de points plus faible mais la probabilité d'absence semble rester tout de même correcte.

Pour ce qui est des courbes à droite, elles sont toutes proches du coin supérieur gauche avec un AUC proche de 1 ce qui signifie que le modèle a une bonne précision.

AntArea [Consulté le 21/10/2017]. Disponible sur www.antarea.fr

AntWeb [Consulté le 07/10/2017]. Disponible sur www.antweb.org

NBN Atlas [Consulté le 04/11/2017]. Disponible sur www.nbnatlas.org

Google Earth. Disponible sur <http://earth.google.com>

Minkiewicz Romuald. *Fragmenta faunistica musei zoologici Polonici*, Tom II, Nr 21 [en ligne]. 1935 [Consulté le 01/12/2017]. Disponible sur http://rcin.org.pl/Content/19986/WA058_26766_P256-T2_Frag-Faun-Nr-21.pdf

Pisarski Bohdan. *Fragmenta faunistica*, Tom XV, Nr 13 [en ligne]. 1969 [Consulté le 01/12/2017]. Disponible sur http://rcin.org.pl/Content/43759/WA058_50609_P256-T15_Frag-Faun-Nr-13.pdf

Bernard F. « Remarques sur le peuplement des Baléares en Fourmis ». *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, Tome 47 [en ligne]. La Typo-Litho et Jules Carbonel, 1956 [Consulté le 01/12/2017]. P.254-266 Disponible sur <http://antbase.org/ants/publications/6396/6396.pdf>

Galkowski Christophe. *Une liste des fourmis (Hymenoptera ; Formicidae) récoltées dans la région de Grasse, avec la mention d'une nouvelle espèce de la faune de France* [en ligne]. Bull. Soc. Linn. Provence, 2011 [Consulté le 01/12/2017]. Disponible sur http://www.antwiki.org/wiki/images/b/b5/Galkowski_2011.pdf

Jaquet M. et Frey-Gessner M. « Faune de la Roumanie : insectes récoltés par M. Jaquet en 1898 et déterminés par Monsieur le Professeur J. Kieffer à Bitsch ». *Bulletin de la Société des Sciences de Bucarest-Roumanie* [en ligne], Vol. 9, No. 1, 1900 [Consulté le 01/12/2017]. Disponible sur http://www.jstor.org/stable/43770876?seq=1#page_scan_tab_contents

Seifert Bernhard. *The « Black Bog Ant » Formica picea Nylander, 1846 – a species different from Formica candida Smith, 1878 (Hymenoptera : Formicidae)* [en ligne]. Myrmecologische Nachrichten, 2004 [Consulté le 01/12/2017]. Disponible sur https://www.researchgate.net/profile/Bernhard_Seifert/publication/237529750_The_Black_Bog_Ant_Formica_picea_NYLANDER_1846_-_a_species_different_from_Formica_candida_SMITH_1878_Hymenoptera_Formicidae/links/57603cc008ae227f4a3f225a/The-Black-Bog-Ant-Formica-picea-NYLANDER-1846-a-species-different-from-Formica-candida-SMITH-1878-Hymenoptera-Formicidae.pdf

Gouraud Clément. *Bilan de l'année 2014 : Atlas des Fourmis de Loire-Atlantique (Hymenoptera, Formicidae)* [Compte rendu de la première année d'étude, en ligne]. 2015. Disponible sur http://old.gretia.org/dossiers_liens/lassoc/atlas_fourmis/Bilan%20Formicidae%2044_2014.pdf

Castracani Cristina, Grasso Donato A., Fanfani Alberto et Mori Alessandra. « The ant fauna of Castelporziano Presidential Reserve (Rome, Italy) as a model for the analysis of ant community structure in relation to environmental variation in Mediterranean ecosystem ». *Journal of Insect Conservation* [en ligne], Vol. 14, 2010 [Consulté le 09/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007/s10841-010-9285-3>

Mori A., Grasso D. A., D'ettorre P. et Le Moli F. « Specificity in host choice by the slave-making ant *Polyergus rufescens* Latr. (Hymenoptera Formicidae) ». *Ethology Ecology & Evolution* [en ligne], Vol. 6, 1994 [Consulté le 01/12/2017]. Disponible sur <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03949370.1994.10721979>

Mabelis A.A. « Wood Ant Wars the Relationship Between Aggression and Predation in the Red Wood Ant (*Formica Polycтена* Forst.) ». *Netherlands Journal of Zoology* [Research Article, en ligne], Vol. 29, Issue 4, 1978 [Consulté le 03/12/2017]. Disponible sur <http://booksandjournals.brillonline.com/content/journals/10.1163/002829679x00016>

Frouz J. « The effect of nest moisture on daily temperature regime in the nests of *Formica polycтена* wood ants ». *Insectes Sociaux* [en ligne], Vol. 47, Issue 3, 2000 [Consulté le 03/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007%2FPL00001708?LI=true>

Frouz J. et Finer L. « Diurnal and seasonal fluctuations in wood ant (*Formica polycтена*) nest temperature in two geographically distant populations along a south – north gradient ». *Insectes Sociaux* [en ligne], Vol. 54, Issue 3, 2007 [Consulté le 03/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007/s00040-007-0939-4>

Gorb Stanislav N. et Gorb Elena V. « Removal Rates of Seeds of Five Myrmecochorous Plants by the Ant *Formica polycтена* (Hymenoptera : Formicidae) ». *Oikos* [en ligne], Vol. 73, No. 3, 1995 [Consulté le 03/12/2017]. Disponible sur http://www.jstor.org/stable/3545960?seq=2#page_scan_tab_contents

Migula P. et Glowacka Elżbieta. « Heavy metals as stressing factors in the red wood ants (*Formica polycтена*) from industrially polluted forests ». *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry* [en ligne], Vol. 354, Issues 5-6, 1996 [Consulté le 03/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs0021663540653?LI=true>

Kristiansen S. M. et Amelung W. « Abandoned anthills of *Formica polycтена* and soil heterogeneity in a temperate deciduous forest : morphology and organic matter composition ». *European Journal of Soil Science* [en ligne], Vol. 52, Issue 3, 2001 [Consulté le 03/12/2017]. Disponible sur <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-2389.2001.00390.x/full>

Jaisson Pierre. « L'Imprégnation Dans L'Ontogenèse Des Comportements De Soins Aux Cocons Chez La Jeune Fourmi Rousse (*Formica Polycтена* Forst.) ». *Behaviour* [Research Article, en ligne], Vol. 52, Issue 1, 1974 [Consulté le 03/12/2017]. Disponible sur <http://booksandjournals.brillonline.com/content/journals/10.1163/156853975x00092>

Savolainen Riitta et Vepsäläinen Kari. « Niche Differentiation of Ant Species within Territories of the Wood Ant *Formica polycтена* ». *Oikos* [en ligne], Vol. 56, No. 1, 1989 [Consulté le 03/12/2017]. Disponible sur http://www.jstor.org/stable/3566082?casa_token=R3Do9vHQ70MAAAA:e_qlfo8b9RmdsWO8L EXiwqYCfdru_DaGl1s6kH3d99cVOFhtzmPFY-7Hh4DJufw2Ky7-95f4Kjr2ezbaf45nGern_FI3d_qUXTQEtPsYT6jGqnrM4&seq=2#page_scan_tab_contents

Coenen-Stass Dieter, Schaarschmidt Bernd et Lamprecht Ingolf. « Temperature Distribution and Calorimetric Determination of Heat Production in the Nest of the Wood Ant, *Formica Polycтена* (Hymenoptera, Formicidae) ». *Ecology* [en ligne], Vol. 61, Issue 2, 1980 [Consulté le 03/12/2017]. Disponible sur <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2307/1935180/full>

Beye M., Neumann P. et Moritz R.F.A. « Nestmate recognition and the genetic gestalt in the mound-building ant *Formica polycтена* ». *Insectes Sociaux* [en ligne], Vol. 44, Issue 1, 1997 [Consulté le 03/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs000400050022?LI=true>

- Reznikova Zhanna et Dorosheva Helen. « Impacts of red wood ants *Formica polyctena* on the spatial distribution and behavioural patterns of ground beetles (Carabidae) ». *Pedobiologia* [en ligne], Vol. 48, Issue 1, 2004 [Consulté le 03/12/2017]. Disponible sur <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003140560300012X>
- Jeantet Anne Yvonne. « Recherches histophysiologiques sur le développement post-embryonnaire et le cycle annuel de *Formica* (Hyménoptère) ». *Zeitschrift für Zellforschung und Mikroskopische Anatomie* [en ligne], Vol. 116, Issue 3, 1971 [Consulté le 03/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00330636?LI=true>
- Salvolainen Ritta. « Colony success of the submissive ant *Formica fusca* within territories of the dominant *Formica polyctena* ». *Ecological Entomology* [en ligne], Vol. 15, Issue 1, 1990 [Consulté le 03/12/2017]. Disponible sur <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2311.1990.tb00786.x/full>
- Haccou P. et Hemerik L. « The Influence of Larval Dispersal in the Cinnabar Moth (*Tyria jacobaeae*) on Predation by the Red Wood Ant (*Formica polyctena*) : An Analysis Based on the Proportional Hazards Model ». *Journal of Animal Ecology* [en ligne], Vol. 54, No. 3, 1985 [Consulté le 03/12/2017]. Disponible sur http://www.jstor.org/stable/4376?casa_token=IESxJGqaL-YAAAAA:kpyNdXu38iNtXfcMXW26hvyPPJaDKjvig5eXI8OMRNFnQbcnaA5DwQ4mgIrIrPeiQXc4b5CaWRMvKXS8z591sZF37hbRLoBf0E-eqKOYZHtOLO3UAas&seq=3#page_scan_tab_contents
- Gorb Stanislav N. et Gorb Elena V. « Dropping rates of elaiosome-bearing seeds during transport by ants (*Formica polyctena* Foerst.) : Implications for distance dispersal ». *Acta Oecologica* [en ligne], Vol. 20, Issue 5, 1999 [Consulté le 04/12/2017]. Disponible sur <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1146609X00866187>
- Kristiansen S. M. et Amelung W. « Abandoned anthills of *Formica polyctena* and soil heterogeneity in a temperate deciduous forest : morphology and organic matter composition ». *European Journal of Soil Science* [en ligne], Vol. 52, Issue 3, 2001 [Consulté le 04/12/2017]. Disponible sur <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-2389.2001.00390.x/full>
- Seifert Benhard. « A taxonomic revision of the *Formica cinerea* group (Hymenoptera : Formicidae) ». *Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz*, 2002 [Consulté le 04/12/2017]. Disponible sur <http://antbase.org/ants/publications/20301/20301.pdf>
- Meunier Joël, Delémont Olivier et Lucas Christophe. *Recognition in Ants : Social Origin Matters* [Research Article, en ligne], 2011. Disponible sur <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0019347>
- Lude Armin, Reich Michael et Plachter Harald. « Life Strategies of Ants in Unpredictable Floodplain Habitats of Alpine Rivers (Hymenoptera : Formicidae) ». *Entomologia Generalis* [en ligne], Vol. 24, No. 2, 1999 [Consulté le 04/12/2017]. Disponible sur <http://www.schweizerbart.de/papers/entomologia/detail/24/81795/%23>
- Fresneau Dominique et Errard Christine. « L'identité coloniale et sa « représentation » chez les fourmis ». *Intellectica* [en ligne], 1994 [Consulté le 04/12/2017]. Disponible sur http://intellectica.org/SiteArchives/archives/n19/19_07_Errard.pdf
- Chapuisat Michel, Bocherens Samuel et Rosset Hervé. « Variable queen number in ant colonies : no impact on queen turnover, inbreeding, and population genetic differentiation in the ant *Formica selysi* ». *Evolution* [en ligne], Vol. 63, Issue 12, 2009 [Consulté le 04/12/2017]. Disponible sur <http://www.bioone.org/doi/abs/10.1554/03-351>

Reber A. et Chapuisat M. « Diversity, prevalence and virulence of fungal entomopathogens in colonies of the ant *Formica selysi* ». *Insectes Sociaux* [en ligne], Vol. 59, Issue 2, 2012 [Consulté le 04/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007/s00040-011-0209-3>

Bagnères A. G. et Morgan E. D. « The postpharyngeal glands and the cuticle of Formicidae contain the same characteristic hydrocarbons ». *Experientia* [en ligne], Vol. 47, Issue 1, 1991 [Consulté le 07/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02041269?LI=true>

Vienne C., Soroker V. et Hefetz A. « Congruency of hydrocarbon patterns in heterospecific groups of ants : transfer and / or biosynthesis ? ». *Insectes Sociaux* [en ligne], Vol. 42, Issue 3, 1995 [Consulté le 07/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF01240421?LI=true>

Schwander Tanja, Rosset Hervé et Chapuisat Michel. « Division of labour and worker size polymorphism in ant colonies : the impact of social and genetic factors ». Behavioral Ecology and Sociobiology [en ligne], Vol. 59, Issue 2, 2005 [Consulté le 07/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007/s00265-005-0027-6>

Hefetz A., Errard C. et Cojocaru M. « Heterospecific substances in the postpharyngeal gland secretion of ants reared in mixed groups ». *Naturwissenschaften* [en ligne], Vol. 79, Issue 9, 1992 [Consulté le 07/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF01138575?LI=true>

Errard Christine. « Development of interspecific recognition behavior in the ants *Manica rubica* and *Formica selysi* (Hymenoptera : Formicidae) reared in mixed-species groups ». *Journal of Insect Behavior* [en ligne], Vol. 7, Issue 1, 1994 [Consulté le 07/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF01989829?LI=true>

Bagnères Anne-Genevieve, Errard Christine, Mulheim Catherine, Joulie Catherine et Lange Catherine. « Induced mimicry of colony odors in ants ». *Journal of Chemical Ecology* [en ligne], Vol. 17, Issue 8, 1991 [Consulté le 07/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00984695?LI=true>

Castella G., Christe P. et Chapuisat M. « Covariation between colony social structure and immune defences of workers in the ant *Formica selysi* ». *Insectes Sociaux* [en ligne], Vol. 57, Issue 2, 2010 [Consulté le 07/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007/s00040-010-0076-3>

Errard C. et Hefetz A. « Label familiarity and discriminatory ability of ants reared in mixed groups ». *Insectes Sociaux* [en ligne], Vol. 44, Issue 3, 1997 [Consulté le 07/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs0004000050040?LI=true>

Bagnères Anne Geneviève et Morgan E. David. « A simple method for analysis of insect cuticular hydrocarbons ». *Journal of Chemical Ecology* [en ligne], Vol. 16, Issue 12, 1990 [Consulté le 07/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00982097?LI=true>

Rosset Hervé et Chapuisat Michel. « Sex Allocation Conflict in Ants : When the Queen Rules ». *Current Biology* [en ligne], Vol. 16, Issue 3, 2006 [Consulté le 07/12/2017]. Disponible sur <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982206010025>

Purcell Jessica, Brelsford Alan, Wurm Yannick, Perrin Nicolas et Chapuisat Michel. « Convergent Genetic Architecture Underlies Social Organization in Ants ». *Current Biology* [en ligne], Vol. 24, Issue 22, 2014 [Consulté le 08/12/2017]. Disponible sur <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982214012676>

- Nowbahari Behrouz et Thibout Eric. « Defensive role of *Allium* sulfur compounds for leek moth *Acrolepiopsis assectella* Z. (Lepidoptera) against generalist predators ». *Journal of Chemical Ecology* [en ligne], Vol. 18, Issue 11, 1992 [Consulté le 08/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00981922?LI=true>
- Santos Sonia A.P., Cabanas José Eduardo et Pereira José Alberto. « Abundance and diversity of soil arthropods in olive grove ecosystem (Portugal) : Effect of pitfall trap type ». *European Journal of Soil Biology* [en ligne], Vol. 43, Issue 2, 2007 [Consulté le 08/12/2017]. Disponible sur <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1164556306001014>
- Morris T. I., Campos M., Jervis M. A., McEwen P. K. et Kidd N. A. C. « Potential effects of various ant species on green lacewing *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuropt., Chrysopidae) egg numbers ». *Journal of Applied Entomology* [en ligne], Vol. 122, Issue 1-5, 1998 [Consulté le 08/12/2017]. Disponible sur <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1439-0418.1998.tb01519.x/full>
- Lorite Pedro, Carrillo José Antonio, Tinaut Alberto et Palomeque Teresa. « Evolutionary dynamics of satellite DNA in species of the Genus *Formica* (Hymenoptera, Formicidae) ». *Gene* [en ligne], Vol. 332, 2004 [Consulté le 08/12/2017]. Disponible sur <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378111904001386>
- Restrepo Carlos, Espadaler Xavier et De Haro Andrés. « Contribución al conocimiento faunístico de 10s formícidos del Macizo de Garraf (Barcelona) ». *Orsis*, 1985.
- Zorilla J. M., Serrano J. M., Casado M. A., Acosta F. J. et Pineda F. D. « Structural Characteristics of an Ant Community during Succession ». *Oikos* [en ligne], Vol. 47, No. 3, 1986 [Consulté le 08/12/2017]. Disponible sur http://www.jstor.org/stable/3565447?seq=2#page_scan_tab_contents
- Brewitt K., Piñol J., Werner C., Beyschlag W., Espadaler X., Pérez Hidalgo N. et Platner C. « Evaluating the importance of trophobiosis in a Mediterranean ant community : a stable isotope analysis ». *Insectes Sociaux* [en ligne], Vol. 62, Issue 1, 2015 [Consulté le 08/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007/s00040-014-0375-1>
- Rosa Paiva M., Way Michael J. et Cammel Michael. « Estudo preliminar sobre a distribuição das formigas nos sistemas florestais em Portugal ». *Boletim da Sociedade Portuguesa de Entomologia* [en ligne], Vol. IV-17, No. 119, 1990 [Consulté le 08/12/2017]. Disponible sur <https://run.unl.pt/bitstream/10362/4032/1/1990%20Bolm%20Soc%20Port%20-Ants.pdf>
- Engelbrecht Meike et Garcia-Fayos Patricio. « Mucilage secretion by seeds doubles the chance to escaperemoval by ants ». *Plant Ecology* [en ligne], Vol. 213, Issue 7, 2012 [Consulté le 08/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007/s11258-012-0074-9>
- Tinaut Alberto et Selfa Jesus. « Las hormigas (Hymenoptera, Formicidae) asociadas a pulgones (Hemiptera, Aphididae) en la provincia de Valencia ». *Grasellsia*, 2011.
- Alvarez M., Munguira M. L. et Martinez-Ibañez M. D. « Nuevos datos y recopilación de las relaciones entre Lycaenidae y Formicidae en la Península Ibérica (Lepidoptera: Lycaenidae; Hymenoptera: Formicidae) ». *SHILAP Revta. Lepid.* [en ligne], 2012 [Consulté le 08/12/2017]. Disponible sur <http://www.redalyc.org/html/455/45523388003/>
- Pekar S., Smerda J., Hruskova M., Sedo O., Muster C., Cardoso P., Zdrahal Z., Korenko S., Bures P., Liznarova E. et Sentenska L. « Prey-race drives differentiation of biotypes in ant-eating spiders ». *Journal of Animal Ecology* [en ligne], Vol. 81, Issue 4, 2012 [Consulté le 08/12/2017]. Disponible sur <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2656.2012.01957.x/full>

- Espadaler Xavier et Suñer David. « Per què hi ha formigues del Montgri (Girona) que no es troben a l'illa Meda Gran ». Orsis [en ligne], 1995 [Consulté le 08/12/2017]. Disponible sur <http://www.raco.cat/index.php/Orsis/article/viewFile/24364/89530>
- Cammell M. E., Way M. J. et Paiva M. R. « Diversity and structure of ant communities associated with oak, pine, eucalyptus and arable habitats in Portugal ». Insectes Sociaux [en ligne], Vol. 43, Issue 1, 1996 [Consulté le 09/12/2017]. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF01253954?LI=true>
- Lorite P., Carrillo J. A. et Palomeque T. « Conservation of (TTAGG)_n Telomeric Sequences Among Ants (Hymenoptera, Formicidae) ». Journal of Heredity [en ligne], Vol.93, Issue 4, 2002 [Consulté le 09/12/2017]. Disponible sur <https://academic.oup.com/jhered/article/93/4/282/2187315>
- Miravalles Cavia. « Régimen alimenticio de la hormiga Formica Subrufa (Hymenoptera : Formicidae) ». Sessio Conjunta d'Entomologia [en ligne], 1990 [Consulté le 09/12/2017]. Disponible sur <http://www.raco.cat/index.php/sessioento/article/view/246651>
- Way M.J., Cammell M.E. et Paiva M.R. « Studies on egg predation by ants (Hymenoptera : Formicidae) especially on the eucalyptus borer Phorocantha semipunctata (Coleoptera : Cerambycidae) in Portugal ». Bulletin of Entomological Research [en ligne], Vol. 82, Issue 3, 1992 [Consulté le 09/12/2017]. Disponible sur <https://www.cambridge.org/core/journals/bulletin-of-entomological-research/article/studies-on-egg-predation-by-ants-hymenoptera-formicidae-especially-on-the-eucalyptus-borer-phorocantha-semipunctata-coleoptera-cerambycidae-in-portugal/1CB6E7C8314311A6C6D3A3F99A28EB7A>
- Ruano Francisca, Tinaut Alberto et Soler Juan José. « High surface temperatures select for individual foraging in ants ». Behavioral Ecology [en ligne], Vol. 11, Issue 4, 2000 [Consulté le 09/12/2017]. Disponible sur <https://academic.oup.com/beheco/article/11/4/396/177014>
- Tinaut A. « Description of the male of Formica subrufa Roher, 1859 and the creation of a new subgenus (Hymenoptera : Formicidae) ». Eos [en ligne], Vol. 65, No. 2, 1990 [Consulté le 09/12/2017]. Disponible sur <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19921161155>
- Fouts Robert M. « Parasitic wasps of the genus trimorus in North America ». Proceedings of the United States National Museum [en ligne], Vol. 98, No. 3225, 1948 [Consulté le 09/12/2017]. Disponible sur https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/16477/1/USNMP-98_3225_1948.pdf
- Tizado E. J., Tinaut A. et Nieto Nafria J. M. « Relationships between ants and aphids in the province of Leon (Spain) (Hymenoptera : Formicidae ; Homoptera : Aphididae) ». Vie Milieu [en ligne], 1993 [Consulté le 09/12/2017]. Disponible sur https://www.researchgate.net/profile/Alberto_Tinaut/publication/275932709_Las_hormigas_Hymenoptera_Formicidae_asociadas_a_pulgones_Hemiptera_Aphididae_en_la_provincia_de_Valencia/links/559162b308ae47a349109db9/Las-hormigas-Hymenoptera-Formicidae-asociadas-a-pulgones-Hemiptera-Aphididae-en-la-provincia-de-Valencia.pdf
- Tinaut A. et Ruano F. « Braquipterismo y apterismo en Formicidos. Morfología y biometría en las hembras de especies ibéricas de vida libre (Hymenoptera : Formicidae) ». Graellsia [en ligne], 1992 [Consulté le 09/12/2017]. Disponible sur <http://antbase.org/ants/publications/13200/13200.pdf>

Michael S. O'Donnell et Drew A. Ignizio. *Bioclimatic Predictors for Supporting Ecological Applications in the Conterminous United States*. USGS science for a changing world [en ligne], 2012 [Consulté le 07/01/2018]. Disponible sur <https://pubs.usgs.gov/ds/691/ds691.pdf>

Wikipedia [Consulté le 10/03/2018]. Disponible sur <https://en.wikipedia.org/wiki/Iberoformica>

Wikipedia [Consulté le 10/03/2018]. Disponible sur https://fr.wikipedia.org/wiki/Formica_subrufa

Lexique netmath [Consulté le 09/03/2018]. Disponible sur <https://lexique.netmath.ca/coefficient-de-determination/>

Wikipedia [Consulté le 09/03/2018]. Disponible sur [https://fr.wikipedia.org/wiki/R_\(langage\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/R_(langage))

« Analyse de la niche écologique – Prédire l'occurrence potentielle du caribou boréal menacé afin de soutenir le rétablissement de l'espèce au Canada ». *Examen scientifique aux fins de la désignation de l'habitat essentiel du caribou boréal*. (p. 133 – 258) Environnement Canada [en ligne]. [Consulté le 28/02/2018]. Disponible sur https://www.registrelep-sararegistry.gc.ca/virtual_sara/files/Caribou_Chapter6.4-7_0409_f.pdf

Thomas B., Lutz S. & Rideau C. *Modélisation de la répartition des campagnols aquatiques du genre Arvicola en Normandie*. Groupe Mammalogique Normand, Agence de l'Eau Seine-Normandie, 62 p. + annexes [en ligne], 2015 [Consulté le 28/02/2018]. Disponible sur http://gmnm.asso.fr/public/PIAL_2014-2018/Modelisation_repartition_campagnols_aquatiques_Normandie_GMN_2015.pdf

RDocumentation [Consulté le 05/03/2018]. Disponible sur <https://www.rdocumentation.org/packages/arm/versions/1.9-3/topics/invlogit>

Wikipedia [Consulté le 05/03/2018]. Disponible sur https://fr.wikipedia.org/wiki/Dose_1%C3%A9tale_m%C3%A9diane

Xavier Scheldeman et Maarten van Zonneveld. Manuel de formation à l'analyse spatiale de la diversité et de la distribution des plantes. Biodiversity internationale [en ligne], 2012. [Consulté le 26/02/2018]. Disponible sur https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/user_upload/Manuel_de_formation_a_l_analyse_spatiale_de_la_diversite_et_de_la_distribution_des_plantes.pdf

Phillips S. J. *A Brief Tutorial on Maxent*. AT&T Research [en ligne], 2017 [Consulté le 26/02/2018]. Disponible sur https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/Maxent_tutorial2017.pdf

Jonathan Gaudreau, Liliana Perez et Pierre Legendre. *Identification des variables expliquant la distribution spatiale d'oiseaux de la forêt boréale et modélisation de tendances futures : une approche multivariée*. Cybergeog [en ligne], 2015 [Consulté le 26/02/2018]. Disponible sur <http://journals.openedition.org/cybergeog/26969#tocto1n4>

Sylvain Lenoir. *Impact du réchauffement climatique sur la distribution spatiale des ressources halieutiques le long du littoral français : observations et scénarios*. Thèse [en ligne], 2011 [Consulté le 26/02/2018]. Disponible sur https://www.memoireonline.com/07/13/7231/m_Impact-du-rechauffement-climatique-sur-la-distribution-spatiale-des-ressources-halieutiques-le-long3.html

Michaël Guillon. *De la physiologie à la répartition : adaptations climatiques et sensibilité thermique chez une relique glaciaire*. Thèse [en ligne], 2012 [Consulté le 26/02/2018]. Disponible sur <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00996071/document>

Florian Boucher. *Evolution de la niche climatique et de la distribution géographique des espèces végétales alpines*. Thèse [en ligne], 2013 [Consulté le 27/02/2018]. Disponible sur https://www.jardinalpindulautaret.fr/sites/sajf/files/RECHERCHE/PUBLICATIONS/these_florian_boucher.pdf

« Cours de R pour débutant pressé : les régressions ! ». Bioinfo-fr.net [en ligne], 2015 [Consulté le 16/03/2018]. Disponible sur <https://bioinfo-fr.net/cours-de-r-pour-debutant-presse-les-regressions>

« Seuil de signification – Rejet de l’hypothèse nulle ». Epidémiologie en bref [en ligne] [Consulté le 16/03/2018]. Disponible sur http://www.pifo.uvsq.fr/epideao/esp/chap_2/seuil_de_signification_rejet_de_lhypothse_nulle.html

« Cours de SVT – Dérive génétique et évolution ». Maxicours.com [en ligne] [Consulté le 17/03/2018]. Disponible sur <http://www.maxicours.com/se/fiche/4/0/353340.html>

Table des illustrations

Figures

Figure 1 : Niche fondamentale et niche réalisée (<i>Source : https://fr.slideshare.net/slenoir/thse-15706848</i>).....	8
Figure 2: Nombre de points de répartition géographique par espèce sous forme graphique	12
Figure 3: Nombre de pays où les espèces ont été inventoriées	13
Figure 4 : Couverture géographique des données bioclimatiques sur WorldClim (<i>Source : http://www.worldclim.org/tiles.php</i>)	14
Figure 5 : Croisement sur Maxent des données géographiques et des données bioclimatiques	15
Figure 6 : Nombre d'individus testés pour chaque espèce de fourmis	16
Figure 7 : Exemple du script utilisé sur R pour <i>F. Cunicularia</i>	17
Figure 8 : Résumé de la méthodologie (en rouge : données récupérées ; en violet : logiciel ; en vert : résultats obtenus).....	18
Figure 9 : Courbes de survie pour chaque espèce avec la LD50.....	20
Figure 10 : Modèle logistique pour chaque variable de température	22
Figure 11 : Cartes de probabilité de présence pour chaque espèce	24
Figure 12 : Taux d'omission et courbe ROC pour chaque espèce.....	32

Tableaux

Tableau 1 : Paramètres utilisés pour le tableau inventoriant les coordonnées géographiques des espèces.....	11
Tableau 2 : Nombre de points de répartition géographique par espèce	12
Tableau 3 : Paramètres utilisés pour le tableau de l'expérience de résistance aux températures	16
Tableau 4 : Valeurs de LD50 pour chaque espèce	19
Tableau 5 : Conditions de température les plus favorables aux espèces.....	21
Tableau 6 : Valeurs des Pr pour chaque variable de température	23
Tableau 7 : Niche réalisée des 7 espèces de fourmis étudiées	25

Table des matières

AVERTISSEMENTS

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

Introduction	8
Partie 1 : Méthodologie mise en place pour le projet.....	11
1. Récupération des données géographiques.....	11
2. Récupération des données bioclimatiques	13
3. Utilisation des logiciels Qgis, Maxent et Excel	14
4. Exploitation des données physiologiques de résistance au climat	16
Partie 2 : Résultats obtenus	19
1. Avec les logiciels R et Excel.....	19
2. Cartes de probabilité de présence des espèces obtenues sur Maxent.....	23
Partie 3 : Interprétation et discussion des résultats	25
1. Analyse des résultats.....	25
2. Regard critique du projet.....	27
Conclusion.....	29
Annexe	30
Bibliographie.....	33
Table des illustrations	41
Figures	41
Tableaux	41
Table des matières	42

CITERES

UMR 7324
*Cités, Territoires,
Environnement et
Sociétés*

Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement,
Paysage,
Environnement



35 allée Ferdinand de Lesseps
BP 30553
37205 TOURS cedex 3

Directeur de recherche :

BOULAY Raphaël

DUTERTRE Ophélie

Projet de Fin d'Etudes
DA5
2017-2018

Niche réalisée vs résistance physiologique au climat chez les fourmis du genre Formica

Résumé :

Toute espèce possède une niche écologique déterminée par un ensemble de variables environnementales biotiques ou abiotiques lui permettant de survivre à un endroit donné. Ainsi, ce projet de fin d'étude a pour but de déterminer la niche de 7 espèces de fourmis du genre Formica afin d'estimer s'il y a une corrélation entre leur résistance physiologique au climat et leur distribution. La comparaison entre les données de répartition spatiale et les données de température sur le logiciel Maxent et l'exploitation des données de résistance physiologique au climat sur R et Excel permettent ainsi d'établir la niche réalisée de chaque espèce de fourmis et de déterminer s'il existe une corrélation entre cette niche réalisée et la résistance au climat de ces espèces. Il est important de comprendre le concept de la niche écologique afin de mettre en place des plans de gestion et de conservation des espèces qui pourront être ainsi permettre d'assurer la pérennité de la biodiversité notamment avec les changements climatiques à venir.

Mots Clés : Niche, fourmis, Formica, résistance physiologique, distribution, climat, corrélation, température