

Proposition de sujet de thèse :

Interactions entre dépérissements forestiers et communautés d'insectes arboricoles

Christophe BOUGET (directeur), Aurélien SALLE (co-encadrant)

Sommaire

Sommaire	2
Résumé.....	3
Abstract: How forest diebacks drive tree-associated insect communities.....	4
Contexte et enjeux	5
Descriptif des travaux.....	6
Problématique du projet doctoral.....	6
Méthodes envisagées.....	6
Cas d'études	6
Valorisation de données déjà acquises : réponse des communautés lignicoles à un gradient d'intensité du dépérissement	7
Participation à l'acquisition de données	8
Faisabilité et programme prévisionnel.....	10
Valorisation des travaux doctoraux.....	11
Publications potentielles et journaux envisagés	11
Applications potentielles	12
Cohérence du projet avec les priorités stratégiques de l'unité et de l'établissement	12
Adéquation avec l'objectif des équipes d'accueil et perspectives de collaboration externe ...	12
Lien avec les ADD et DSS de l'établissement.....	13
Organisation	14
Financement.....	14
Encadrement et organisation	14
Profil du candidat recherché	14
Références.....	15

Résumé

Les scénarios du climat futur font craindre que les dépérissements forestiers ne s'amplifient dans les forêts tempérées, en fréquence, en magnitude et en étendue, durant les prochaines années. Il existe actuellement relativement peu d'études sur le rôle des coléoptères cambioxylophages et xylophages dans l'aggravation du dépérissement, et aucune étude quant aux conséquences du dépérissement et de la foresterie dédiée aux secteurs dépérissants sur la biodiversité des insectes forestiers.

Un dépérissement se traduit par un affaiblissement généralisé des arbres et une transformation progressive et profonde de l'écosystème forestier à plusieurs échelles spatiales emboîtées, de la canopée de l'arbre au paysage régional. Les dépérissements forestiers sont ainsi susceptibles de modifier les conditions d'habitat des communautés d'insectes forestiers, en particulier lignicoles et saproxyliques.

Le projet doctoral abordera les effets de l'intensité de dépérissement sur la structure du peuplement et les communautés de coléoptères saproxyliques, la modulation de ces effets écologiques par la gestion appliquée dans les parcelles dépérissantes et les interactions entre coléoptères cambioxylophages (potentiels facteurs aggravants) et intensité du dépérissement.

Le travail doctoral s'appuiera sur plusieurs cas d'étude inscrits dans des projets de l'équipe, en cours d'exercice, en démarrage, ou en cours d'évaluation. Dans plusieurs contextes forestiers (sapin pectiné dans les Pyrénées, chêne pédonculé et frêne dans le Centre Val-de-Loire), ces projets offrent l'opportunité d'analyser les effets de l'intensité du dépérissement mesuré à différentes échelles spatiales (arbre, peuplement, paysage) sur la réponse locale des communautés d'insectes lignicoles.

Le-la doctorant-e sera fortement impliqué-e dans la valorisation des données récemment acquises (projets Climtree et Buche) et sera responsable de la conception, de la mise en œuvre et de l'analyse des échantillonnages de caractérisation des communautés d'insectes sur un gradient de chênaies dépérissantes (projet Canopée), tout en participant à des volets périphériques (structure génétique des populations d'insectes cambioxylophages, écologie fonctionnelle des relations proies-insectivores, relation insectes / écophysiologie de l'arbre...).

Abstract: How forest diebacks drive tree-associated insect communities

The scenarios of climate change raise fears that forest dieback may increase in temperate forests in terms of frequency, magnitude and extent over the next decades. Ecological effects of forest diebacks remain poorly known. There are currently relatively few studies about the role of cambiohagous beetles in worsening dieback, and no study on the effects of both dieback and forestry dedicated to declining areas on forest insect biodiversity.

Forest dieback results in widespread weakening of trees and a gradual and profound transformation of the forest ecosystem at multiple nested spatial scales, from the tree canopy to the regional landscape. Forest dieback is thus likely to modify the habitat conditions of forest insect communities, particularly saproxylic communities.

The PhD project will address (i) the effects of dieback intensity on stand structure and saproxylic beetle communities, (ii) the modulation of these ecological effects by salvage logging in the declining plots and (iii) the interactions between cambiohagous beetles (potential aggravating factors) and dieback intensity.

The PhD work will be based on several case studies included in ongoing projects lead by the Biodiv team. In several forest contexts (silver fir in the Pyrenees, pedunculate oak and ash in the Center Val-de-Loire), these projects deal with the effects of the dieback intensity measured at different spatial scales (tree, stand, landscape) on the local response of wood-associated insect communities.

The PhD student will be strongly involved in the processing of recently collected data (Climtree and Buche projects) and will be responsible for the design, implementation and analysis of insect sampling over a gradient of declining oak forests (Canopy project), while participating in add-on components (genetic structure of cambiohagous insect populations, functional ecology of prey-insectivorous relationships, insects and tree ecophysiology ...).

Contexte et enjeux

La distribution des essences forestières subit actuellement de nombreux changements, par substitution naturelle, ou par substitution sylvicole via la plantation d'essences mieux adaptées au climat après dépérissement sous contraintes climatiques (Piedallu et al. 2009). L'état transitoire des peuplements en dépérissement pose la question de la dynamique induite des communautés.

Les peuplements forestiers peuvent subir des processus de déclin complexes et évolutifs. Ces dépérissements se traduisent par une baisse généralisée et progressive de vitalité des peuplements sous l'action de facteurs prédisposants et déclenchants, pouvant aboutir, suite à l'intervention de facteurs aggravants comme des parasites de faiblesse, à des mortalités massives d'arbres étalées sur quelques années.

Le risque de grands dépérissements forestiers s'est accru récemment de manière sensible dans le monde, le nombre de signalements ayant été multiplié par trois depuis une quinzaine d'années. Cet accroissement est clairement imputable au changement climatique, sécheresse et températures trop élevées, en été comme en hiver (Vennetier, 2012). Les scénarios du climat futur font craindre que ces phénomènes ne s'amplifient encore rapidement, en devenant plus fréquents, plus sévères et plus étendus (van Mantgem et al., 2009 ; McDowell & Allen, 2015). Plus spécifiquement, les prédictions climatiques pour l'Europe suggèrent une augmentation progressive de la fréquence et l'intensité des sécheresses (IPCC 2013). Si elles n'ont pas encore de conséquences majeures en termes de déclin dans les milieux tempérés, ces modifications climatiques affectent déjà les massifs forestiers méditerranéens du Sud de l'Europe, pour de nombreuses essences (Carnicer et al., 2011). Il est probable que dans un futur proche, les effets s'étendent aux milieux tempérés (Allen et al., 2010).

Un dépérissement se traduisant pour l'arbre par une baisse généralisée et progressive de vitalité, il implique généralement une réduction de la croissance et des mortalités d'organes pérennes (branches, rameaux notamment chez les feuillus) ou des pertes prématurées d'aiguilles chez les conifères. La perte de vigueur se répercute fortement sur les canopées qui s'éclaircissent et où des cavités se forment au niveau des trous alimentaires des pics et des nécroses aux nœuds des branches tombées. La perte de feuillage affecte probablement plusieurs variables microclimatiques comme l'intensité lumineuse, la température et l'humidité (Ishii et al. 2004). D'autres symptômes plus spécifiques (e.g. suintements de sève fermentée, décollement d'écorce...) peuvent survenir, et une accumulation de différents types de bois morts perchés, au sol et érigés, est aussi observée. La transformation profonde des habitats forestiers, notamment en termes de créations de microhabitats et d'apparition/disparition de ressources trophiques, a probablement des répercussions profondes sur les peuplements d'insectes saproxyliques (c'est-à-dire « dépendant des tissus ligneux morts ou dépérissants d'arbres morts ou vivants, ou d'autres espèces saproxyliques » ; Bouget et al., 2005), voire sur des communautés d'insectes appartenant à d'autres guildes (e.g. phyllophages, pollinisateurs, etc.). L'affaiblissement généralisé de ces peuplements les rend aussi colonisables par des ravageurs secondaires, notamment des scolytes, platypes, longicornes et buprestes, agissant alors comme des facteurs aggravants (Sallé et al. 2014) et donc l'impact économique devient alors significatif. Des modifications profondes des communautés d'insectes forestiers, lignicoles, sont donc attendues dans le cadre d'un dépérissement.

En termes de gestion, les peuplements présentant des dépérissements plus ou moins marqués, et ayant par conséquent un avenir compromis en termes de production, sont souvent les cibles

prioritaires des travaux de récolte en forêt, selon leur valeur économique et les risques sanitaires encourus pour les parcelles voisines. L'état observé d'un peuplement dépérissant est donc la résultante de l'évolution naturelle de la forêt et des opérations de sylviculture plus ou moins dynamique qui sont menées, avec ou non un prélèvement rapide de « produits accidentels » (arbres dépérissants ou morts). L'impact écologique sur la biodiversité saproxylique de ces pratiques de « salvage logging » est débattu dans la littérature (e.g. Thorn et al. 2018) et serait particulièrement important à appréhender dans le contexte des dépérissements forestiers.

Actuellement, il existe relativement peu d'études sur le rôle des coléoptères cambioxyphages et xylophages dans l'aggravation du dépérissement (mais voir Fan et al., 2008 et Haavik et al. 2015), et aucune étude quant aux conséquences du dépérissement et de la foresterie dédiée aux secteurs dépérissants sur la biodiversité des insectes forestiers.

Descriptif des travaux

Problématique du projet doctoral

Un dépérissement se traduit par un affaiblissement généralisé des arbres et une transformation progressive et profonde de différents compartiments de l'écosystème forestier, notamment de la canopée : modification des ressources (habitats et trophiques), modification du microclimat, et probablement modification des interactions biotiques (ex. pression de prédation). Les dépérissements forestiers sont ainsi susceptibles de modifier les conditions d'habitat des communautés d'insectes forestiers, en particulier saproxyliques.

A trois échelles spatiales emboîtées, de l'arbre au paysage, en passant par le peuplement, le projet doctoral abordera les questions suivantes :

1. Comment l'intensité de dépérissement affecte-t-elle la structure du peuplement et de sa capacité d'accueil biotique (bois mort, dendromicrohabitats, ouverture) ?
2. Au sein des communautés lignicoles, quelles interactions observe-t-on entre communautés de coléoptères saproxyliques / populations de coléoptères cambioxyphages (potentiels facteurs aggravants) et intensité du dépérissement ?
3. La gestion des parcelles dépérissantes (coupes sanitaires, récolte de produits accidentels) module-t-elle la réponse des communautés de coléoptères lignicoles au dépérissement ?

Méthodes envisagées

Le travail doctoral s'appuiera sur plusieurs cas d'étude inscrits dans des projets de l'équipe, en cours d'exercice, en démarrage, ou en cours d'évaluation. Ces cas portent sur l'analyse des effets de l'intensité du dépérissement mesuré à différentes échelles spatiales sur la réponse locale des communautés d'insectes lignicoles.

Cas d'études

Essence dépérissante cible	Projet	Echelle spatiale d'étude	Données disponibles
Chêne pédonculé	BUCHÉ 2016-2018	Peuplement	Acquises
	CANOPEE 2019-2021	Peuplement + arbre	A acquérir
Sapin pectiné	CLIMTREE 2016-2020	Peuplement + paysage	En cours d'acquisition
Frêne	YGGDRASIL 2020-2022	Arbre	A acquérir

Valorisation de données déjà acquises : réponse des communautés lignicoles à un gradient d'intensité du dépérissement

Projet Climtree (Impact écologique du dépérissement du sapin dans les forêts de montagne)

Dans le cadre du projet CLIMTREE (Impacts écologique et socioéconomique du dépérissement des arbres induits par les changements climatiques dans les forêts de montagne), financé par un programme Belmont-Forum dédié aux montagnes comme sentinelles du changement climatique, nous étudions les effets du dépérissement du sapin pectiné sur la diversité des communautés de coléoptères saproxyliques dans les Pyrénées.

En région méditerranéenne, le sapin pectiné se trouve dans la limite sud de son aire de répartition (Chéret et al. 1987) et, depuis 2003, des dépérissements sont observés dans l'Aude et dans le Vaucluse, à basse altitude. Dans l'Aude, sur le plateau de Sault, ce sont les peuplements d'altitude inférieure à 1000 m, exposés au sud et sur les crêtes qui sont les plus touchés (Boutte et Girard, 2008). D'après les données du DSF, le déficit foliaire moyen du sapin pectiné a tendance à augmenter dans les Pyrénées depuis 2000. Sur la base de ces constats, nous avons bâti un plan d'échantillonnage de 56 placettes réparties dans deux territoires pyrénéens (pays de Sault (09 & 11) et vallée d'Aure (65), et balayant un gradient de dépérissement local croisé avec une classe globale d'intensité du dépérissement à l'échelle du paysage, évalué avec l'évolution temporelle de l'indice « Spring greenness », un indicateur phénologique lié à l'activité de la végétation au printemps (Lambert et al. 2013). A l'échelle locale (1 ha), le plan d'échantillonnage comporte les modalités suivantes : (i) peuplement non dépérisant, (ii) peuplement peu dépérisant et non exploité (depuis au moins 5 ans), (iii) peuplement fortement dépérisant et non exploité (depuis au moins 5 ans) et (iv) peuplement fortement dépérisant avec récolte des produits accidentels.

Chaque placette, à niveau de dépérissement homogène, a fait l'objet en 2017 d'une évaluation des communautés de coléoptères saproxyliques, et d'une caractérisation environnementale (structure dendrométrique du peuplement, profils de bois mort et de dendromicrohabitats, degré d'ouverture de la canopée, niveau de dépérissement, densité de gui). La description du dépérissement a été réalisée avec la méthode ARCHI (Giraud, 2012 ; Drenou et al., 2013) sur les 20 arbres adultes les plus proches du centre de placette. Les données entomologiques sont en cours de dépouillement, et le tableau définitif sera disponible début 2019 pour analyse. Climtree étant un projet international concerté, il est envisagé de mutualiser les données obtenues avec des protocoles analogues en France (n=56 placettes, essence dépérisante = sapin pectiné), en Allemagne (n=30, essence dépérisante = épicéa commun) et en Chine (n=30, essence dépérisante = pin du Yunnan), afin d'en faire une analyse conjointe par le doctorant (cf tableau des valorisations potentielles ci-dessous).

Projet Buche (Buprestes associés aux dépérissements de chênes à Vierzon)

Le chêne est une essence majeure de production en France, dont les dépérissements constatés depuis plusieurs années dans certaines forêts de la région Centre-Val de Loire préoccupent les gestionnaires forestiers. Les causes de ces dépérissements sont multiples et complexes. Les fortes contraintes de l'hydromorphie temporaire du sol (ennoisement de surface au printemps, sécheresse du sol en été) et l'histoire sylvicole du massif (surexploitation pour alimenter les forges, pâturage) ont favorisé le chêne pédonculé au détriment du chêne sessile. Des dépérissements de chênes pédonculés ont été signalés dans les années 1920, 1940 et 1980, et entre 2000 et 2004, avec une culmination très marquée en 2003. L'implantation de chêne pédonculé loin de son optimum

stationnel et l'âge apparaissent comme les facteurs prédisposants les plus probables. Les sécheresses répétées, la période exceptionnelle de canicule 2003, les printemps humides de 1998 à 2002, les attaques d'oïdium réitérées ont constitué une conjoncture sanitaire néfaste qui a exacerbé un contexte stationnel défavorable. Le rôle des agents biotiques comme les agriles dans l'aggravation du phénomène de dépérissement est méconnu (Brown et al., 2015).

En 2016, un plan d'échantillonnage a été implanté dans les forêts domaniales de Vierzon et Vouzeron, pour la caractérisation des communautés d'insectes lignicoles dans des peuplements pas, peu ou très dépérissants. Un accent a été mis sur les buprestes xylophages, une communauté d'insectes ravageurs secondaires, agissant comme des agents aggravants de dépérissement des chênes. Ce groupe d'insecte inclut en outre des espèces invasives potentielles à forte nuisibilité et des espèces thermophiles dont la distribution évolue avec le réchauffement climatique. En dépit de leur rôle fonctionnel important dans le contexte des dépérissements forestiers, les communautés de buprestes forestiers n'ont fait l'objet que de très peu d'études (e.g. Redilla & McCullough, 2017). Le dispositif de piégeage a été réitéré en 2017 et 2018, et sera prolongé dans l'objectif d'obtenir une série temporelle de 2016 à 2020. Les premiers résultats ont validé l'intérêt des pièges Lindgren verts, développés récemment pour le suivi de l'agrile du frêne en Amérique du Nord, pour le suivi des communautés de buprestes. Les communautés de buprestes et autres coléoptères lignicoles collectées se séparent en fonction du niveau de dépérissement, tant en termes d'abondance que de richesse spécifique. La variation interannuelle est forte et souligne l'intérêt d'un suivi de ces communautés sur une longue période. L'inventaire des espèces est en cours de validation et ces données feront l'objet d'une valorisation prochaine.

Le développement des larves de buprestes au niveau des troncs entraîne fréquemment l'apparition de suintements noirâtres sur l'écorce, probablement liés à des écoulements de sève fermentée, qui constituent des micro-habitats exploités par un cortège d'organismes bien caractéristique. Certains taxons peuvent réaliser l'ensemble de leur développement dans ces coulées de sève alors que d'autres, notamment des espèces patrimoniales comme les lucanes, cétoines et grands longicornes, sont réputées exploiter occasionnellement ces coulées comme ressource trophique au stade adulte (Yoshimoto et al, 2005). L'intérêt de ces suintements en tant que micro-milieux favorables au développement et au maintien d'espèces patrimoniales est mal connu. En sus des données sur les assemblages de coléoptères lignicoles des canopées, un échantillonnage complémentaire a été conduit sur ces micro-milieux particuliers. En 2016, des mini-pièges à interception, combinant les principes du piège vitre et du piège Malaise, ont été implantés sur des suintements actifs (i.e. avec des écoulements de sève fraîche) ou des écorces témoins intactes pour collecter les insectes visiteurs. Les données sont actuellement en cours de traitement et feront l'objet d'une valorisation prochainement.

Participation à l'acquisition de données

Projet Canopée (Conséquences d'un dépérissement sur la biodiversité associée aux canopées)

Le dépérissement des chênes fera également l'objet du projet Canopée démarrant en 2019. Le premier volet, central pour le projet, porte sur la caractérisation des effets du dépérissement sur les communautés d'insectes se développant et circulant dans les canopées de chênes. Un échantillonnage sera réalisé dans quatre forêts domaniales de la Région Centre-Val de Loire, à niveau de dépérissement modéré (Châteauroux), faible (Orléans et Boulogne) ou fort (Vierzon) à l'échelle du

massif. Les groupes cibles sont les buprestes xylophages et les autres insectes saproxyliques, pour leur valeur patrimoniale et leur importance fonctionnelle, en particulier la faune auxiliaire des prédateurs et des parasitoïdes présents dans les galeries (Kenis et Hilczanski, 2004). Le projet CANOPEE permettra ainsi de prolonger le suivi temporel des communautés de buprestes amorcé par le projet BUCHE et d'avoir une vision à moyen terme des fluctuations des communautés de buprestes en relation avec l'état sanitaire des peuplements de chênes. Il est difficile d'évaluer le rôle des insectes cambioxylophages (ou phloéophages, i.e. consommateurs des tissus externes du bois, incl. les deux cambiums, assises génératrices de l'arbre) dans l'aggravation du syndrome de dépérissement, et donc de séparer précisément la relation de causalité partielle ou de conséquence entre le dépérissement et les densités d'insectes. A Vierzon, le doctorant disposera toutefois à cet effet d'une série temporelle de 6 ans, plus longue que le délai présumé des processus (réponse des insectes au dépérissement et induction du dépérissement par les insectes). Comme dans le projet Clintree, la quantification de l'intensité du dépérissement fera appel à des variables agrégeant les données dendrométriques classiques et celles des protocoles dédiés (ARCHI notamment). Pour qualifier le statut actuel des peuplements au sein de l'épisode de dépérissement, les responsables du projet procéderont (i) à une enquête auprès des services de gestion des forêts domaniales concernées, et (ii) à une photointerprétation cinématique de photos anciennes.

En addition aux piégeages classiques sur le gradient de dépérissement, le plan d'échantillonnage du projet Canopée, ou une fraction seulement, pourra servir de support à un échantillonnage plus expérimental de certaines guildes saproxyliques. Le principe sera d'exposer plusieurs types de substrats pièges standards (fagots suspendus de branches fraîchement mortes, sporophores de champignons saproxyliques préalablement stérilisés, cavités artificielles à terreau ; Mestre et al. 2018, Zapponi et al. 2014) dans différents contextes de dépérissement local et paysager afin de mesurer l'effet de la quantité d'habitat sur la colonisation d'un microhabitat. D'autre part, la biomasse d'autres guildes non saproxyliques (notamment phyllophages défoliateurs), au rôle reconnu dans les réseaux trophiques, notamment comme ressources d'oiseaux insectivores, pourrait être quantifiée. Le doctorant sera fortement impliqué dans ce premier volet et contribuera à la conception des protocoles expérimentaux, l'acquisition des données et leur analyse. Enfin, une réflexion sera conduite sur l'intérêt d'analyser certaines variations morphométriques intra-spécifiques sur une sélection d'espèces dans le gradient écologique parcouru dans le plan d'expérience.

En sus d'une activité centrale dans ce volet 1, il sera proposé au doctorant de s'impliquer dans les volets 2 (en concertation avec S. Bankhead-Dronnet, LBLGC-EBI) et 4 (en concertation avec M. Baltzinger, EFNO) du projet.

Le volet 2 porte sur une évaluation des effets du dépérissement à deux échelles spatiales (massif vs. parcelle) sur la structure génétique des populations d'*Agrilus biguttatus*, une des espèces impliquées dans les dépérissements de chênes. Comme d'autres espèces d'*Agrilus* de la communauté, *A. biguttatus*, naturellement présente en zone méridionale et tempérée en Europe est en expansion vers le Nord, en particulier en Grande-Bretagne où elle semble impliquée dans des phénomènes de dépérissement aigu des chênes (acute oak decline) (Brown et al., 2017). En dépit de leur importance écologique et économique, très peu d'études ont été menées sur la génétique des populations d'agriles (Keever et al., 2013), ce qui permettrait pourtant de mieux appréhender la dynamique temporelle et spatiale de ces espèces.

Le volet 4 a pour but d'explorer, par la voie semi-expérimentale, les liens fonctionnels entre l'avifaune forestière insectivore et les canopées d'arbres dépérissants, susceptibles d'héberger des communautés d'insectes proies plus diverses et/ou plus nombreuses que les arbres sains. Certains travaux montrent néanmoins que la modification de l'architecture des canopées et les changements microclimatiques induits par l'intensification des dépérissements sont susceptibles d'altérer le comportement de prospection et de nidification des oiseaux insectivores et de réduire leur abondance et leur diversité (e.g. Montague-Drake et al., 2009). La pression de prédation exercée par l'avifaune sur les populations d'insectes xylophages ou défoliateurs peut donc varier avec le dépérissement. Pour quantifier l'activité de prédation par les oiseaux insectivores, des dispositifs d'exclusion de prédateurs seront mis en place sur des rameaux d'arbres sains et dépérissants afin de comparer l'abondance des xylophages observée en présence ou en l'absence d'oiseaux.

Enfin, l'étudiant pourra participer, sous une forme à définir (co-encadrement d'un stage de M2...), aux investigations sur l'interaction entre insectes et état physiologique de arbres, en potentielle collaboration avec l'équipe ForHet d'EFNO et le LBLGC, dans l'objectif de démêler les déterminants biotiques et abiotiques du dépérissement des chênes, en s'appuyant sur le schéma conceptuel proposé par Anderreg et al. (2015).

Yggdrasil (Impact de la chalarose sur la diversité spécifique associée au Frêne)

En vertu (i) du succès du projet suivant à l'APR-IR régional en 2019, et (ii) de la faisabilité d'ajouter une participation à un autre projet collaboratif sans risque de sur-dispersion, un cas d'étude supplémentaire pourra être inclus dans le panorama des analyses de dépérissement du projet doctoral, à travers le projet Yggdrasil (*Impact de la chalarose sur la diversité génétique du Frêne et la diversité spécifique associée au Frêne en Région Centre et mise en œuvre d'une stratégie participative de conservation à l'échelle régionale – 2020-2023*). Ici, le dépérissement des frênes chalarosés est induit par un champignon pathogène envahissant. L'analyse de l'impact de la chalarose sur la diversité spécifique des insectes associés aux Frênes sera conduite à l'échelle de l'arbre, par mise en émergence de branches mortes des houppiers dépérissants, en parallèle de l'étude des bryophytes et des lichens épiphytes. L'effet de la maladie (arbre sain versus malade) sera étudié dans des contextes contrastés (haie, forêt alluviale, forêt non alluviale).

Faisabilité et programme prévisionnel

Projet	Contributions du doctorant
BUCHE 2016-2018	Participation à l'analyse des données et à la rédaction d'un article
CLIMTREE 2016-2020	Participation à l'analyse des données et à la rédaction d'un article
CANOPEE 2019-2021	Acquisition des données du module principal, conception/mise en œuvre de modules périphériques, analyse des données, rédaction d'un article
YGGDRASIL 2020-2022	Acquisition des données, analyse des données, participation à la rédaction d'un article collectif

Calendrier prévisionnel des premiers mois d'activité

	2019	2020				2021			
Tâches	3 ^e T	1 ^{er} T	2 ^e T	3 ^e T	4 ^e T	1 ^{er} T	2 ^e T	3 ^e T	4 ^e T
Valorisation des données Climtree & BUCHE									
Développement de marqueurs microsatellites et analyses de diversité génétique (CANOPEE - volet 2)									
Mise au point des protocoles d'échantillonnage expérimentaux (CANOPEE -volets 1 & 4)									
Collecte et analyse des données sur les dispositifs déjà existants (CANOPEE volet 1)									
Valorisation des données (CANOPEE volet 2)									
Mise en place des dispositifs expérimentaux et collecte des données (CANOPEE volets 1&4)									
Fin de collecte et analyse des données (CANOPEE- volet 1)									
Rédaction d'un article de synthèse bibliographique									

Dans la mesure du possible, sera proposé au doctorant un court séjour à l'étranger, probablement au sein d'un laboratoire d'un des partenaires du projet Climtree, dans le cadre d'une analyse conjointe des données mutualisées.

Valorisation des travaux doctoraux

Publications potentielles et journaux envisagés

L'analyse des données fera appel aux outils fréquentistes classiques de l'écologie des communautés et aux modèles d'équation structurelles (SEM) permettant de quantifier des relations de cause à effet décrites par un modèle théorique impliquant des effets directs et indirects.

Le doctorant sera invité à communiquer ses résultats en colloques internationaux (ex. ICE 2020). Il est d'autre part fléché comme auteur principal de plusieurs publications, dont les contours sont précisés ci-dessous, et sera associé comme co-auteur à d'autres articles potentiels (cf tableau ci-dessous).

D'autre part, l'opportunité de valoriser des données nationales constituent une piste à explorer : données issues du protocole annuel DEPEFEU (dépérissement des feuillus) et réseau systématique d'observation des agents aggravants des dépérissements par le DSF, et données IFN-IGN sur la mortalité de branches dans les forêts françaises. En effet, adossées à des données de cinétique météorologique dans le cadre de séries temporelles, ces éléments pourraient contribuer à démêler les déterminants biotiques et abiotiques des dépérissements. Les conséquences encore inconnues de la sécheresse estivale de 2018 sur les forêts françaises pourraient stimuler des initiatives nationales dans lesquelles ce projet de thèse s'inscrirait logiquement.

Titre des publications envisagées	Projet	Journal cible	
How forest diebacks drive insect biodiversity : a literature review	Climtree/Canopée		auteur principal
Tree-dieback and salvage logging as drivers of wood-associated beetle communities in mountain coniferous forests : case studies in France, Germany and China	Climtree	<i>Journal of Applied Ecology</i>	auteur principal
Exploring diversity patterns of saproxylic beetles in declining oak stands with standardized habitat patches	Canopée	<i>Insect conservation and diversity</i>	auteur principal
Forest diebacks and saproxylic beetle diversity : a focus on sap runs and declining canopies in oak trees	BUCHE	<i>European Journal of Forest Research</i>	co-auteur
Effects of tree-dieback levels on buprestid beetle assemblages in temperate oak forests	Canopée	<i>Forest Ecology and Management</i>	co-auteur
Experimental analysis of bird insectivory on declining oak trees	Canopée	<i>Functional Ecology</i>	co-auteur
Insect species at stake from Ash dieback	Yggdrasil	<i>Ecological entomology</i>	co-auteur
Inference of population structure of buprestid oak borers in declining forests from microsatellite data	Canopée		co-auteur

Applications potentielles

Au-delà des investigations méthodologiques (e.g. substrats pièges = microhabitats artificiels standardisés), le travail doctoral permettra d'estimer si un compromis peut être trouvé entre coupes sanitaires et rétention conservatoire dans les peuplements forestiers dépérissants, en étudiant la valeur écologique, pour la biodiversité, des arbres selon leur état sanitaire.

Cohérence du projet avec les priorités stratégiques de l'unité et de l'établissement

Adéquation avec l'objectif des équipes d'accueil et perspectives de collaboration externe

Ce projet prolonge les travaux conduits par EFNO sur les liens entre intensité des perturbations naturelles et/ou anthropiques et patrons de biodiversité dans un contexte climatique changeant. Il s'inscrit ainsi dans la lignée du projet SAPROCLIM (2016-2018), relatif aux conséquences, pour les espèces du complexe saproxylique, des substitutions d'essences sous contraintes climatiques, via la régénération naturelle d'essences indigènes mieux adaptées ou via la plantation d'essences exotiques.

Le projet de thèse pourra s'appuyer sur un ensemble de projets consacrés aux dépérissements, en cours dans l'équipe Biodiv, tels que BUCHE (*Buprestes associés aux dépérissements de chênes*, 2016-2018, Ministère de l'Agriculture, partenaire : LBLGC), SAPROCLIM (*Changement climatique, substitution d'essences et communautés d'insectes saproxyliques*, 2016-2018, MTES-DEB, partenaire : INRA Dynafor), CLIMTREE (*Ecological and socioeconomic impacts of climate-induced tree diebacks in highland forests*, 2016-2020, Belmont Forum, partenaires : INRA Dynafor, IRBI, INRA URZF, Bavarian Forest National Park, University of Greifswald, Institute IGB Berlin, Kunming Institute of Zoology, Kunming Institute of Botany, MNHN, Padova University), CANOPEE (*Biodiversité des insectes des canopées de chênes dépérissants*, 2019-2021, APR-IR Centre-Val de Loire, partenaires : LBLGC, IRBI,

INRA-URZF) qui étudient les impacts du dépérissement et des changements d'essence induits par le changement climatique sur la biodiversité forestière. Il permettra de renforcer les liens entre les quatre laboratoires régionaux travaillant sur des modèles « insectes » au sein du Réseau Thématique Régional Entomocentre (LBLGC, INRA-URZF, Irstea-EFNO, CNRS-IRBI), pôle entomologique en région Centre-Val de Loire, unique en France.

Un co-encadrement de la thèse sera assuré par Aurélien Sallé (MCU, LBLGC-EBI, Univ. Orléans), coordonnateur de plusieurs projets mentionnés ci-dessus (BUCHE, CANOPEE). L'équipe Entomologie et Biologie Intégrée du LBLGC développe depuis peu une thématique de recherche autour des buprestes forestiers, en étroite collaboration avec EFNO. Le doctorant pourra ainsi profiter des compétences du LBLGC sur les relations arbres – insectes et leur modulation environnementale (climatiques ou liées à l'état physiologique de l'arbre-hôte), ainsi que des compétences méthodologiques et théoriques en génétique des populations et en écophysiologie végétale.

Une collaboration sera recherchée avec un doctorant du projet Climtree (Lucas Sire, IRBI, 2017-2020, *Impact des changements globaux et des coupes de récupération sur les communautés d'arthropodes des forêts de montagne des Pyrénées françaises par approche de séquençage haut-débit (métabarcoding)*), dont le thème central est davantage méthodologique.

Lien avec les ADD et DSS de l'établissement

La majorité des travaux s'inséreront dans le DSS « Biodiversité, gestion et dynamique des écosystèmes, services écosystémiques ». Néanmoins la thèse s'inscrit dans la philosophie du DSS «Risques naturels, sanitaires et environnementaux».

Les travaux doctoraux entrent en résonance avec plusieurs orientations du DD du Département Territoires. Ils alimenteront majoritairement les sous-axes 1 et 2 de l'ADD «biodiversité et fonctionnalités écologiques» :

- Sous-axe 1 « Mieux comprendre, mesurer et prédire la biodiversité, la structure, la dynamique et le fonctionnement des forêts » : rôle des interactions biotiques dans la dynamique de la biodiversité et le fonctionnement des forêts, réponse de la biodiversité aux contraintes environnementales (climat...) et aux pressions liées aux activités humaines ;
- Sous-axe 2 « Mieux comprendre et gérer les relations et compromis entre conservation de la biodiversité, fonctions et services écosystémiques » : relations et arbitrages entre biodiversité et services (incl. production) lors des exploitations « sanitaires » (Climtree).

Les recherches contribueront secondairement à l'ADD « Adaptation des territoires au changement global » - sous-axe : « Caractériser et prédire la réponse des socio-écosystèmes (résilience, résistance, dynamiques) aux changements globaux », via l'analyse des adaptations de la gestion forestière au changement climatique [exploitations « sanitaires » dans les secteurs dépérissants] et des effets en cascade du changement climatique sur le fonctionnement de l'écosystème forestier et sa biodiversité.

Organisation

Financement

Le financement du contrat de l'étudiant pourrait provenir pour moitié d'Irstea et pour moitié de la région Centre. Les frais de fonctionnement inhérents à l'activité de collecte des données empiriques proviendront majoritairement des conventions des projets associés (BUCHE, CLIMTREE, CANOPEE).

Encadrement et organisation

Directeur de thèse : Christophe Bouget (ICPEF, EFNO, Biodiv)

Co-encadrant : Aurélien Sallé (MCU, LBLGC-EBI, Univ. Orléans)

Groupement et unité : *Nogent-sur-Vernisson EFNO* ; Département : *Territoires*

L'étudiant sera basé au laboratoire EFNO à Irstea Nogent-sur-Vernisson, et travaillera en collaboration étroite avec l'équipe technique du laboratoire (TR+IE, taxinomie, échantillonnage). Il sera inscrit à l'école doctorale ED 549 SSBCV "Santé - Sciences Biologiques - Chimie du Vivant" Orléans-Tours.

Composition prévisionnelle du comité de thèse:

- Dr Aurélien Sallé (LBLGC), entomologiste, co-encadrant de la thèse, coordinateur du projet Canopée
- François-Xavier Saintonge, phyto-pathologiste, DSF
- Dr Laurent Larrieu, écologue et gestionnaire forestier (CRPF-INRA Dynafor)
- Dr Bastien Castagneyrol, écologue fonctionnel, spécialiste de l'herbivorie forestière (INRA Biogeco)
- Dr Vincent Boulanger, écologue et gestionnaire forestier (ONF)
- Dr Carlos Lopez-Vaamonde (INRA URZF), entomologiste et généticien, coordinateur du projet Climtree

Profil du candidat recherché

Etudiant disposant d'un Master recherche en écologie, formé aux méthodes scientifiques générales (bibliographie, hypothèses, statistiques...), avec le goût et une formation pour la l'analyse des données de communautés, des connaissances en écologie forestière et entomologique, un bon niveau rédactionnel en anglais et de bonnes capacités relationnelles pour interagir avec les différents partenaires des projets autour desquels la thèse s'articule.

Références

- Allen, C. D. et al. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259, 660-684
- Anderegg, W.R.L. & J.A. Hicke, R.A. Fisher, C.D. Allen, J. Aukema, B. Bentz, S. Hood, J.W. Lichstein, A.K. Macalady, N. McDowell, Y. Pan, K. Raffa, A. Sala, J.D. Shaw, N.L. Stephenson, C. Tague, M. Zeppel. 2015. Tree mortality from drought, insects, and their interactions in a changing climate. *New Phytol.*, 208 : 674-683
- Bouget, C., Brustel, H., Nageleisen, L.M. - 2005. Nomenclature des groupes écologiques d'insectes liés au bois : synthèse et mise au point sémantique. *Comptes Rendus Biologies*, vol. 328, p. 936 - 948
- Brown, N., Inward, D. J., Jeger, M., & Denman, S. (2014). A review of *Agrilus biguttatus* in UK forests and its relationship with acute oak decline. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 88(1), 53-63.
- Brown, N., Jeger, M., Kirk, S., Williams, D., Xu, X., Pautasso, M., & Denman, S. (2017). Acute Oak Decline and *Agrilus biguttatus*: the co-occurrence of stem bleeding and D-shaped emergence holes in Great Britain. *Forests*, 8(3), 87.
- Chéret V. Dagnac J, Fromard F, (1987) Le dépérissement du sapin dans les Pyrénées luchonnaises. *Rev For Fr* 34:12-24
- Fan, Z., Kabrick, J.M., Spetich, M.A., Shifley, S.R., Jensen, R.G. 2008. Oak mortality associated with crown dieback and oak borer attack in the Ozark Highlands. *Forest Ecology and Management* 255: 2297-2305
- Haavik, L.J.; Flint, M.L.; Coleman, T.W.; Venette, R.C.; Seybold, S.J. 2015. Goldspotted oak borer effects on tree health and colonization patterns at six newly-established sites. *Agricultural and Forest Entomology* 17: 146-157
- Ishii, H. T., Tanabe, S. I., & Hiura, T. (2004). Exploring the relationships among canopy structure, stand productivity, and biodiversity of temperate forest ecosystems. *Forest Science*, 50(3), 342-355.
- Keever, C. C., Nieman, C., Ramsay, L., Ritland, C. E., Bauer, L. S., Lyons, D. B., & Cory, J. S. (2013). Microsatellite population genetics of the emerald ash borer (*Agrilus planipennis* Fairmaire): comparisons between Asian and North American populations. *Biological Invasions*, 15(7), 1537-1559.
- Kenis, M., & Hilszczanski, J. (2007). Natural enemies of Cerambycidae and Buprestidae infesting living trees. In *Bark and wood boring insects in living trees in Europe, a synthesis* (pp. 475-498). Springer, Dordrecht.
- Lambert, J., Drenou, C., Denux, J.P., Balent, G., Cheret, V. 2013. Monitoring forest decline through remote sensing time series analysis. *GIScience & Remote Sensing*, 50, 4, 437-457
- Maroschek, M., Seidl, R. & Netherer, S. L., M.J. . Climate change impacts on goods and services of European mountain forests. *Unasylva* 60, 76-80 (2009).
- Mason, W. L., Petr, M. & Bathgate, S. Silvicultural strategies for adapting planted forests to climate change: from theory to practice. *Journal of Forest Science* 58, 265-277 (2012).
- McDowell, N. G. & Allen, C. D. Darcy's law predicts widespread forest mortality under climate warming. *Nature Climate Change*, doi:10.1038/nclimate2641 (2015).
- Montague-Drake, R. M., Lindenmayer, D. B., & Cunningham, R. B. (2009). Factors affecting site occupancy by woodland bird species of conservation concern. *Biological Conservation*, 142(12), 2896-2903.
- Piedallu C., Perez V., Gégout JC., Lebourgeois F., Bertrand, R., 2009. Impact potentiel du changement climatique sur la distribution de l'Epicéa, du Sapin, du Hêtre et du Chêne sessile en France. *Revue Forestière Française*, Vol. 61, N° 6, p. 567-593
- Redilla, K. M., & McCullough, D. G. (2017). Species assemblage of buprestid beetles in four hardwood cover types in Michigan. *Canadian Journal of Forest Research*, 47(8), 1131-1139.
- Sallé A., Nageleisen L.M., Lieutier F. (2014) Bark and wood boring insects involved in oak declines in Europe: Current knowledge and future prospects in a context of climate change. *Forest Ecology and Management* 328, 79-93
- Thorn, S. & C. Bässler, R. Brandl, P.J. Burton, R. Cahall, J.L. Campbell, J. Castro, C.-Y. Choi, T. Cobb, D.C. Donato, E. Durska, J.B. Fontaine, S. Gauthier, C. Hebert, T. Hothorn, R.L. Hutto, E.-J. Lee, A.B. Leverkus, D.B. Lindenmayer, M.K. Obrist, J. Rost, S. Seibold, R. Seidl, D. Thom, K. Waldron, B. Wermelinger, M.-B. Winter, M. Zmihorski, J. Müller. 2018. Impacts of salvage logging on biodiversity: a meta-analysis. *J. Appl. Ecol.*, 55, pp. 279-289,
- van Mantgem, P. J. et al. Widespread increase of tree mortality rates in the western United States. *Science* 323, 521-524 (2009).
- Vennetier, M. 2012. Changement climatique et dépérissements forestiers : causes et conséquences. *Changement climatique et modification forestière*, Cahiers d'études, n°22, CNRS, p. 50 - 60
- Yoshimoto, J., Kakutani, T., & Nishida, T. (2005). Influence of resource abundance on the structure of the insect community attracted to fermented tree sap. *Ecological research*, 20(4), 405-414.
- Zapponi L, Minari E, Longo L, Toni I, Mason F, Campanaro A, 2014. The Habitat-Trees experiment: using exotic tree species as new microhabitats for the native fauna. *iForest* 8: 464-470