

RAPPORT DE COMITE DE SUIVI DE THESE **En 1^{ère} ANNEE pour la réinscription en 2^{nde} année**

POUR EN FACILITER LA LECTURE, LES TEXTES DES FORMULAIRES DE COMITE DE SUIVI SONT VALABLES AU MASCULIN COMME AU FEMININ

Document mis à jour 18 janvier 2022

Le comité doit vérifier le bon déroulement de la formation du doctorant et l'avancement de la thèse. Il formule des recommandations qui seront adressées au doctorant, à son directeur de thèse et au directeur de l'École Doctorale.

*AVANT DE COMMENCER A REMPLIR CE DOCUMENT : Merci de vérifier qu'il s'agit de la **dernière version**, disponible sur le site internet de l'ED GAIA (au bas de la page d'accueil, rubrique "Documents à télécharger"). Les versions précédentes ne seront pas prises en compte.*

*NB: Penser à consulter la **convention de formation individuelle** (CFI) (arrêté du 25 mai 2016, article 12) signée entre le doctorant et la direction de thèse comprenant des informations sur la situation contractuelle du doctorant, son projet doctoral, la planification et la valorisation des travaux, les modalités de l'encadrement, les projets et le parcours de formation.*

Consignes pour l'organisation du CST :

- **Le CST sera organisé entre le 1^{er} mars et le 7 octobre AU PLUS TARD (et devra dater de moins de 6 mois au moment de la réinscription)**
- Le comité, **présidé par le référent**, commence par une présentation du doctorant (problématique, objectifs, avancement des travaux, ...), suivie d'une discussion sur les aspects scientifiques et pratiques de la thèse en présence de l'ensemble des membres du comité.
- Prévoir ensuite deux entretiens i) en présence du doctorant et en l'absence de l'équipe de direction, ii) en l'absence du doctorant et en présence de l'équipe de direction-
- Le référent doit envoyer le rapport de CST à l'ensemble des membres du comité et au doctorant puis le déposer sur la plateforme ADUM via son compte personnel **au plus tard 1 semaine après la tenue du comité.**

Première partie : A pré-remplir par le Doctorant (et à vérifier par le DT)

Nom et prénom du doctorant : VALLET Lilian

Date de première inscription en thèse : 01/10/2021

Date du comité de suivi de thèse : 13/06/2022

Date de soutenance envisagée :

Titre de la thèse : Risque incendie et Durabilité des stocks de carbone des agro- écosystèmes

Filière doctorale : EFSA (Ecologie Fonctionnelle et Sciences Agronomiques)

Discipline du doctorat (mentionnée sur le Diplôme) : Ecologie fonctionnelle

(Liste des 14 disciplines : site web GAIA)

Unité de recherche de rattachement : CEFE – Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive

Unités de recherche partenaires (le cas échéant) :

Mode de financement : ½ financement contrat doctoral ADEME, ½ finacement projet H2020 FIREURISK porté par l'IRD

Confidentialité : ~~OUI~~ / NON (rayer la mention inutile)

Cotutelle internationale : ~~OUI~~/ NON (rayer la mention inutile)

Composition du comité de suivi de thèse :

Pour chaque membre, préciser impérativement : nom, fonction, organisme et ville

- Directeur de thèse (avec HDR) : Florent MOUILLOT, chargé de recherche, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, IRD, Montpellier

- Co-directeur de thèse (avec HDR) le cas échéant : Xavier MORIN, directeur de recherche, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, CNRS, Montpellier

- Co-encadrant(s) de thèse (le cas échéant) :

- Membre/s extérieur/s à la thèse et à l'ED (**non impliqué dans le projet de thèse** et notamment **pas l'industriel financeur** dans le cas d'une CIFRE) : Thomas LAUVAUX, Chargé de recherche MOPGA, LSCE - Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, CNRS, Saclay

- Représentant de la direction de l'UMR/UR d'accueil (**nommé par la direction de l'UMR, non impliqué dans la thèse**) : Sarah CUBAYNES, Maître de Conférences, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, CNRS, Montpellier

- Référent de l'ED GAIA (Nom et Unité de recherche, doit être dans GAIA mais **extérieur à l'Unité de rattachement**) : Raphaël PELISSIER, Directeur de recherche, UMR AMAP - botanique et Modélisation de l'Architecture des Plantes et des végétations, IRD, Montpellier

- Autre(s) membre(s) « invité(s) » : Alba DEPARTE, Ingénieur filière forêt - bois, Service Agriculture et Forêts, ADEME, Angers

Seconde partie : A remplir par le doctorant

Cette partie est contrôlée par le référent lors du comité de thèse

Tous ces points sont à aborder absolument lors du comité de thèse, et doivent faire chacun l'objet d'un commentaire de longueur adaptée.

A. Résumé des objectifs scientifiques et stratégie de recherche (1/2 page) (Un rapport plus détaillé est à mettre en annexe à la fin du document).

Tâche 1 : Reconstitution des surfaces incendiées agricoles et forestières

Tâche 1.1 : Production d'une base de données de polygone de feux en zone forestière de 1985 à 2021 à l'échelle de la France

Couplage d'images satellites, détection de hotspots et données de recensement

Utilisation d'une méthode de contouring des surfaces brûlées

Nettoyage automatique et semi-automatique des polygones

Tâche 1.2 : Publication d'une base de données des feux agricoles en France de 2000 à 2021

Analyse des dynamiques spatio-temporelle

Comparaison avec méthode de détection des hotspots

Bilan des surfaces brûlées et des émissions carbone

Tâche 2 : Analyse de l'aléa incendie et de la résilience des écosystèmes forestiers

Production d'un modèle d'aléa incendie pouvant alimenter des modèles de végétation

Analyse de la résilience des écosystèmes et de l'aléa incendie

Tâche 3 : Analyse théorique des processus de coexistence post-perturbation

Compréhension des processus de coexistence encadré par la théorie moderne de la coexistence

Adaptation d'un modèle de trouée pour étudier la coexistence des espèces post-perturbation

Analyse des mécanismes de *temporal storage effect* et *sub-additive growth*

Exploration des traits fonctionnels pouvant expliquer la coexistence des espèces

Tâche 4 : Modélisation des flux de carbone passés et futurs

Couplage du modèle d'aléa incendie avec les modèles de végétations pour étudier les émissions et la fixation carbone par les écosystèmes forestiers, passés et futurs.

Tâche 5 : Etude de pyrogéographie fonctionnelle

Comparaison des traits écophysiologiques et des régimes de feux (*TRY-FRY comparison*)

B. Points restant à développer, calendrier, moyens pour réaliser la thèse (1/2 page)

Le tableau ci-après renseigne de la progression et des tâches prévisionnelles de la thèse. La tâche 1 est particulièrement avancée et fera l'objet d'une soumission d'article dans les prochains mois. La Tâche 3 a elle aussi bien progressé puisque celle-ci a été principalement réalisé au cours du stage de Master 2

Les Tâches 2 et 4 seront à réalisé au cours de la deuxième et troisième année de thèse

La Tâche 5 n'est pas véritablement incluse dans le projet de thèse. Cependant, les données existent d'ores et déjà et je porte un intérêt particulier à ce sujet.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
Tache 1												
Base feux agricoles	X	X	X									
Base feux forets		X	X	X								
Publication 1				X								
Tâche 2												
Analyse de résilience					X	X	X					
Analyse d'aléa						X	X					
Publication 2							X					
Tâche 3												
Analyse des simulations								X				
Publication 3								X				
Tâche4												
Couplage des modèles									X	X		
Simulation										X		
Publication 4											X	
Tâche 5												
TRY-FRY comparison				(X)			(X)			(X)		
Rédaction thèse												
												X

C. Environnement de la thèse/ Autres activités du doctorant

- Insertion dans l'équipe d'accueil :
 - Ayant réalisé mon stage de Master 2 au sein de la même équipe et d'ores et déjà encadré par Xavier MORIN, mon insertion a été particulièrement facilitée. Ainsi, j'ai pu participer à la construction du projet de thèse porté par Florent MOUILLOT. Je collabore également avec d'autres membres de l'équipe, comme Isabelle CHUINE pour l'utilisation des modèles de végétation et Jean-Marc OURCIVAL sur la base de données des feux agricoles
 - Au niveau du laboratoire, je me suis engagé à présider le comité d'animation. Cela me permet notamment d'échanger avec l'ensemble de la communauté scientifique du CEFÉ, en particulier les membres non-permanents.
 - Plus largement, le projet européen FirEurisk finançant pour moitié ma thèse, me permet de développer mon réseau de connaissance et de collaboration sur mes thématiques de recherches à l'échelle internationale.
- Modules de formation complémentaire réalisés et à prévoir (préciser le nombre d'heures ; séparer les formations d'ouverture des formations scientifiques) :
 - Theory-driven analysis of ecological data (16 mai 2022 - 20 mai 2022) Cesab-FRB et le GDR TheoMoDive, à Montpellier - 25 heures
 - MOOC Intégrité scientifique dans les métiers de la recherche (01 septembre 2021) En ligne - 15 heures
 - Statistiques bayésiennes avec R (11 avril 2022 - 12 avril 2022)
 - MOOC Rédiger et publier un article scientifique (01 septembre 2021) En ligne - 15 heures
- Participations à des congrès nationaux/internationaux réalisées et à prévoir (préciser si elles ont donné lieu à une présentation orale ou à un poster) :
 - GDR TheoMoDive (22 novembre 2021) Jean-Christophe Poggiale - Aix-en-Provence - 8 heures
 - 3rd Plenary meeting of the FirEurisk project (30 mars 2022 - 1 avril 2022) Association for the Development of Industrial Aerodynamics (ADAI) at Coimbra, Portugal - 8 heures

- Journée de rentrée des doctorants de l'ED Gaia (25 janvier 2022) ZOOM- 2 heures
- Cérémonie de Rentrée des doctorants du Collège Doctoral de l'Université de Montpellier (25 janvier 2022 - 25 janvier 2022) EN DISTANCIEL - Webinaire Zoom
- Journées des doctorants de l'ADEME (15 mars 2022 – 16 mars 2022) – 8 heures
- Journées des doctorants du CEFE (1 juin 2022) – 8 heures

A VENIR :

- IX International conference on forest fire research (11 novembre 2022 – 18 novembre 2022)
- SFE² GfÖ EEF Joint meeting, International Conference on Ecological Sciences (21 novembre 2022 – 25 novembre 2022) ?
- Médiation scientifique
 - DECLICS 2021 (15 novembre 2021 - 15 novembre 2021) Héloïse Dufour - 3 heures
- Publications (distinguer les ACL-Articles à Comité de Lecture) (état d'avancement, date prévue de la soumission d'articles) :
 - Short Paper dans livret de conférence (publication per se) : Agricultural fires in France : a first national overview from data mining – Coimbra University Press
 - Soumission à venir dans *Agriculture, Ecosystems & Environment* (août-septembre 2022)

Troisième partie : A remplir par le référent

A. Entretiens menés par le référent de l'ED (à réaliser absolument) : si souci majeur ou mineur, faire impérativement remonter le souci au responsable de la filière concernée.

- Entretien en présence de l'équipe de direction et en l'absence du doctorant :

Bref résumé (obligatoire) :

- Entretien avec le doctorant (sans l'équipe de direction) :
Bref résumé (obligatoire) :

B. Le doctorant a été formé à l'« éthique et à l'intégrité scientifique » (arrêté de mai 2016).

OUI / NON (rayer la mention inutile)

C. Convention individuelle de formation. Contrôler et valider la convention avec la direction de thèse. Si nécessaire la faire compléter et la déposer de nouveau sous ADUM

Quatrième partie : A remplir par le référent avec l'approbation de l'ensemble des membres du comité.

Dépôt du rapport définitif par le référent *via ADUM*
1 semaine après la tenue du comité maximum

(Pour ce premier comité, prévenir l'administration GAIA pour créer le lien informatique entre le doctorant et le référent pour que ce dernier puisse déposer le compte rendu via ADUM)

**CONCLUSION et AVIS DU COMITE POUR
UNE REINSCRIPTION EN SECONDE ANNEE**
Bilan du comité de suivi, préconisations (1/2 page maximum)

Conclusion :

Avis : Favorable – Défavorable – Réservé
(rayer impérativement les mentions inutiles)

Signature du référent*:

** signature électronique possible*

Signature du directeur de thèse* :

** signature électronique possible*

ANNEXE : rapport détaillé sur l'avancement des travaux de thèse (10 pages max)

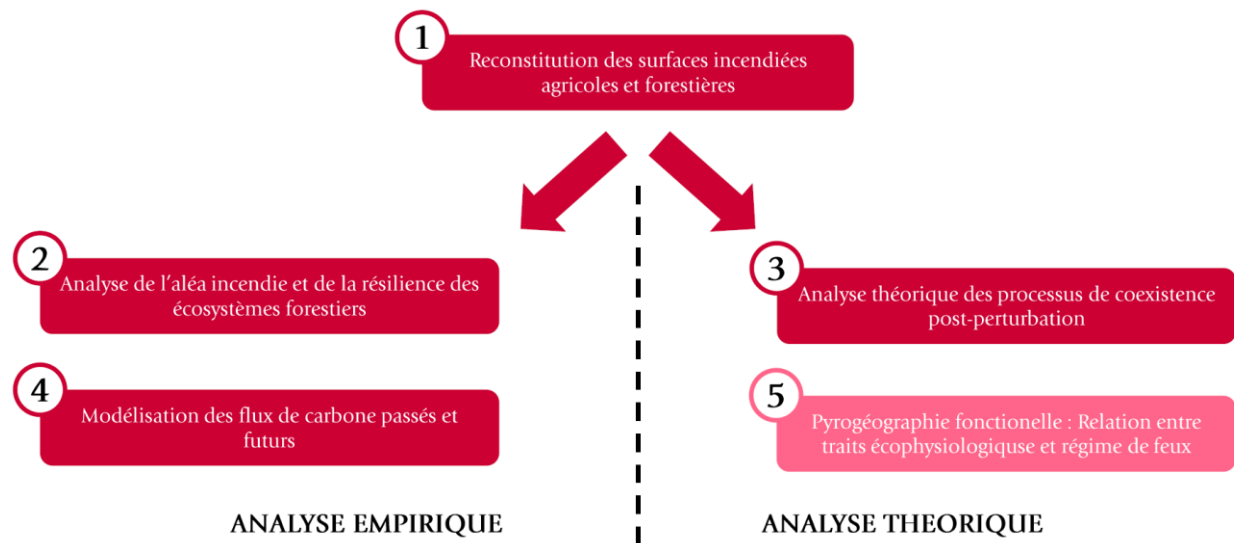


Figure 1 : Présentation des tâches de la thèse

Tâche 1 : Reconstitution des surfaces incendiées agricoles et forestières

Tâche 1.1 : Production d'une base de données de polygone de feux en zone forestière de 1985 à 2021 à l'échelle de la France

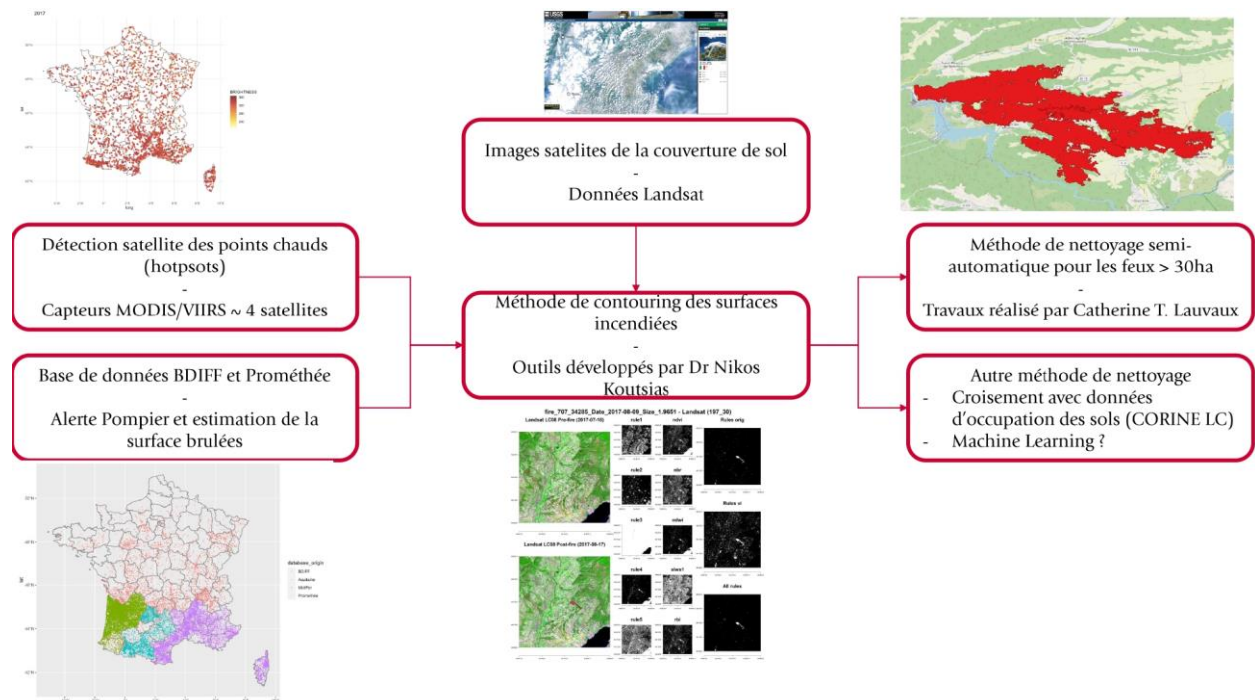


Figure 2 : Schéma conceptuel de la Tâche 1.1

La Tâche 1.1 a tout d'abord nécessité la collecte de données de détection satellite des points chauds. Ces « hotspots » sont détectés par des capteurs spectroradiomètre, MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer, à bord des satellites Terra puis Aqua) ou VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite à bord des satellites Suomi NPP et NOAA-20). Ces points de chaleurs correspondent à une détection de forte chaleur sur un point

précis et sont donc généralement associés à des feux, que ce soit en milieu naturel, urbain ou industriel. Ces données ne permettent pas d'estimer la surface brûlée associée, cependant un indice appelé « brightness » permet une estimation de l'intensité du feu.

D'autres bases de données, faisant recensement des feux en France, ont été requises pour cette tâche. La Base de Données sur les Incendies de Forêts en France (BDIFF) et la Base Prométhée (zone méditerranéenne) permettent un recensement précis et complet des feux de forêts depuis 1985. Ces bases de données reposent principalement sur les alertes données aux autorités, tel que les pompiers. Elles renseignent ainsi sur la nature de l'alerte, mais fournissent également une estimation de la surface brûlée.

Les données de hotspots et de recensement assurent ainsi une excellente qualité temporelle et de localisation. Celles-ci seront ainsi utilisées pour alimenter une méthode de contouring des feux développée par N. Koustias. L'estimation d'intensité du feu et de surface brûlée permettront par ailleurs de pondérer cette méthode et d'ajuster le contour final obtenu.

La méthode développée repose sur une comparaison d'images satellite de couverture de sol obtenus grâce aux satellites Landsat. Dans un premier temps, nous transmettons à l'outil les données de localisation spatiale et temporelle. Le modèle va alors comparer les images satellites disponibles pour ces occurrences. Si le modèle observe une différence de couverture de sol, il dessinera le contour de ces zones. Cette méthode repose sur différentes techniques de filtrage par applications de couches : D'une part, il s'agit de réduire les obstacles environnementaux (ex : nuage) pouvant réduire la qualité de l'image observée. D'autre part, il s'agit de se focaliser sur les zones d'intérêt et ainsi filtrer les zones sur lesquelles l'apparition de feux est impossible (plan d'eau, neige, étendues rocailleuses, ...). Dans un second temps, après une période d'entraînement et de calibration, l'outil sera en mesure de produire les contours de feux sans reposer sur des données de recensements.

Une fois l'ensemble des polygones de feux obtenus, un lourd travail de nettoyage est nécessaire. Pour les feux de très grande taille (>30 ha), une méthode précise et semi-automatique de nettoyage a été mise en place par C. Lauvaux. Pour l'ensemble des autres feux, différentes méthodes sont envisageables et seront à discuter. Tout d'abord, un filtre général peut être réalisé par croisement avec des données d'occupation des sols (CORINE LandCover). Cela permettrait de focaliser notre approche sur les zones forestières et agricoles. Dans un second temps, une approche par Machine Learning permettrait de détecter les pixels isolés et/ou les motifs ne pouvant pas correspondre à un contour de feu. Enfin, un travail de nettoyage systématique par l'utilisation de l'outil Google Engine, peut-être à considérer, bien que ceci représenterait une tâche particulièrement lourde à réaliser.

Tâche 1.2 : Publication d'une base de données des feux agricoles en France de 2000 à 2021

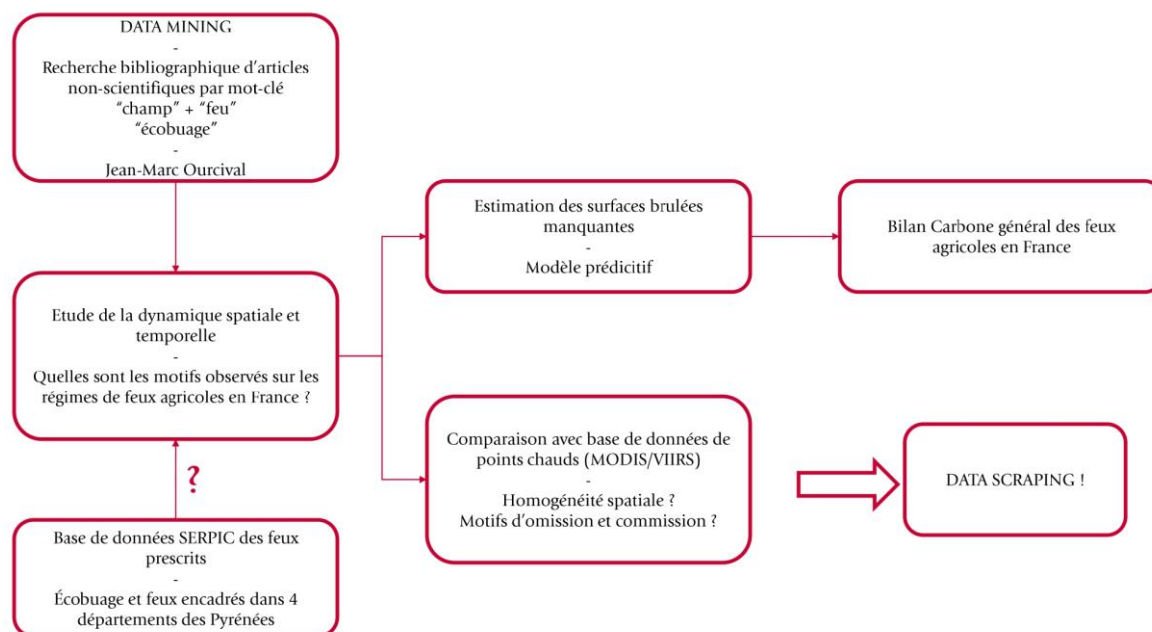


Figure 3 : Schéma conceptuel de la Tâche 1.2

Les données et outils présentées pour l'étude des feux en zones forestières sont difficilement applicables pour l'analyse des incendies en zones agricoles. Concernant l'utilisation des données de hotspots, deux difficultés apparaissent. Tout d'abord, le temps de passage d'un satellite au-dessus d'une même zone peut varier entre 6 et 24 heures. Or les feux agricoles peuvent avoir une combustion particulièrement rapide ou peut être rapidement pris en charge par les autorités. D'autre part, les feux agricoles, présentant une biomasse brûlée plus faible que les incendies en forêts, sont généralement de plus faible intensité. Pour ces deux raisons, les systèmes de spectroradiomètre embarqué ne sont pas systématiquement en mesure de détecter ce type de feux. À propos des recensements réalisés dans les bases BDIFF et Prométhée, ceux-ci peuvent correspondre à n'importe quel type de feux (forêts, agricoles, urbains, ...) il est ainsi difficile de les distinguer. Enfin, la méthode de comparaison d'image satellite semble difficilement applicable aux feux agricoles, car celle-ci repose sur une différence de longueur d'onde observée (i.e. couleur) avant et après incendie. Cependant, une faible différence de couleur (ex : maïs) peut mener à l'omission de l'incendie. À l'inverse, une forte différence de couleur perçue, mais associée à la récolte d'un champ (ex : blé), peut mener à la commission d'un feu. La méthode utilisée dans la tâche 1.1 semble ainsi inadéquate à l'étude des feux agricoles.

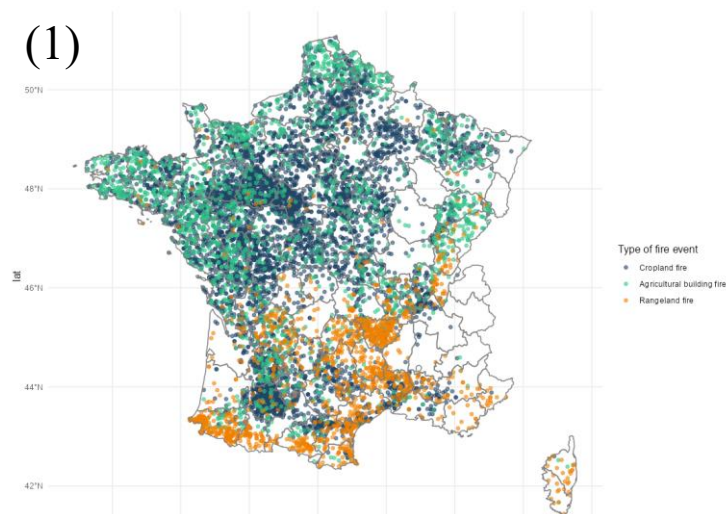
Des travaux de Data mining ont ainsi été réalisés par JM.Ourcival afin de rassembler des données sur les feux agricoles de 2000 à 2021. Cette méthode repose sur la recherche bibliographique d'articles non-scientifiques par mots-clés. Différentes associations de mots clés ont été testées comme « feu »+ « champ » dans le but d'obtenir un maximum d'événement recensant des feux en zones agricoles. Le terme « écobuage », faisant référence à une méthode de brûlage encadré afin d'obtenir des surfaces paissables, a été utilisé pour garantir l'obtention de données en zones de pâturage.

Ce travail de data mining a abouti à l'obtention de 12453 événements de feux agricoles (6008 feux de champs, 2400 feux de bâtiments et 1577 feux pastoraux). Pour chaque occurrence, la date, la localisation (commune et position géographique) et le type de végétation brûlée ont été recensés. Pour les feux de champs, l'estimation de la surface brûlée, lorsque celle-ci était

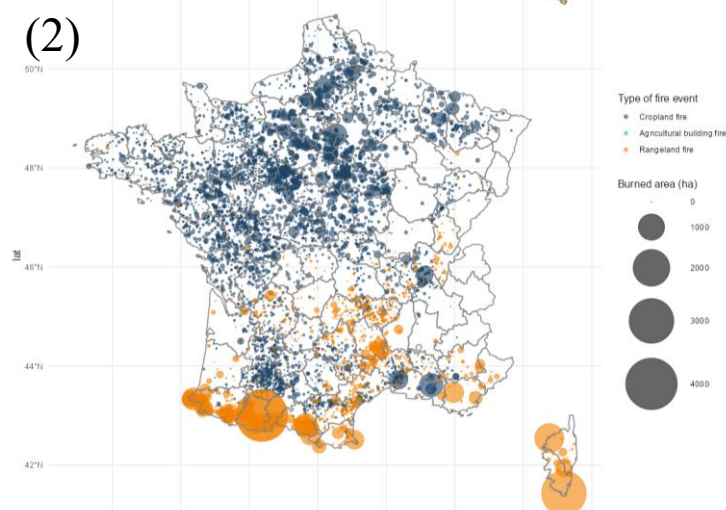
disponible, a également été ajouté à la base de données. Concernant les feux de bâtiments, la masse sèche brûlée a pareillement été inscrite.

La construction de cette base de données devrait être renforcée dans l'avenir par

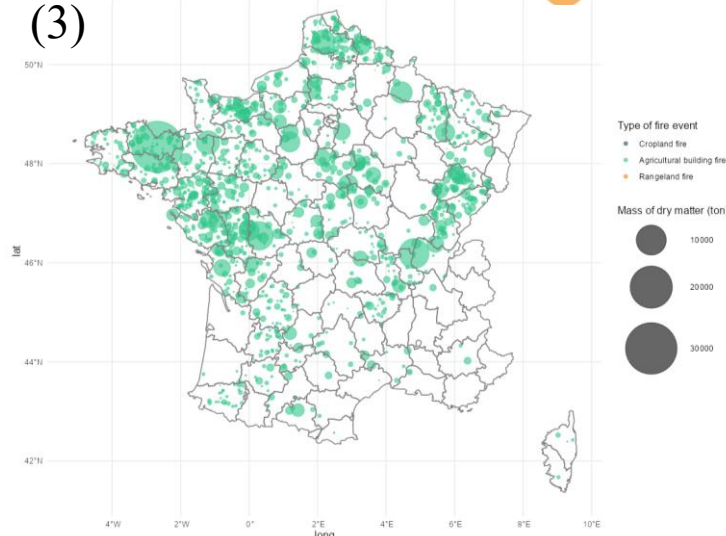
(1)



(2)



(3)



l'obtention de données sur les feux prescrits/encadrés dans les Pyrénées. La base de données SERPIC recense en effet les demandes, et plus récemment les brûlages effectifs, associées à ces types de feux dans quatre départements pyrénéens. Une convention de mise à disposition des données et en cours de signature.

L'acquisition de ces données nous permet alors d'étudier la dynamique spatiale et temporelle des feux agricoles.

Figure 4 : Distribution spatiale des différents types de feux agricoles en France de 2000 à 2021

La figure 4.1 montre la répartition spatiale des incendies agricoles, qui sont présents sur la quasi-totalité du territoire, y compris dans les milieux tempérés et méditerranéens. Les régions les moins touchées peuvent correspondre aux grandes régions viticoles françaises, dont l'inflammabilité s'avère très faible (régions de Bordeaux, Bourgogne et Alsace). Les régions de haute altitude (Alpes) et celles largement couvertes de forêts (Landes) semblent également moins touchées par les incendies agricoles.

Les incendies de cultures paraissent se concentrer dans les grandes régions de production agricole françaises, principalement la plaine de la Beauce au sud de Paris et la Bretagne à l'ouest.

La surface brûlée (figure 4.2) semble particulièrement importante dans les régions agricoles entourant la capitale, appartenant à des zones homogènes essentiellement composées de grands champs de céréales.

Les incendies de bâtiments agricoles (Figure 4.3) suivent largement la répartition des incendies de cultures. La masse de matière sèche brûlée apparaît comme particulièrement importante dans l'Ouest de la France, région où le stockage de bétail et donc de fourrage est important. Les

bâtiments de stockage étant généralement situés à proximité des bâtiments d'élevage (porcheries par exemple), ces incendies peuvent entraîner la mort d'une grande partie du cheptel et avoir de graves conséquences économiques.

Les feux de pâturage touchent particulièrement les hauts plateaux, notamment dans les Pyrénées, en Corse et dans le Massif central. Cette répartition correspond à la poursuite de la pratique de l'"écobuage" dans le sud de la France. Cette pratique, réglementée par l'État, consiste à brûler les plantes sur pied pour fertiliser le sol et faciliter le pâturage. Les feux particulièrement répandus dans les Pyrénées sont probablement des feux mixtes (affectant en partie la forêt), probablement des feux prescrits échappés ou des feux involontaires.

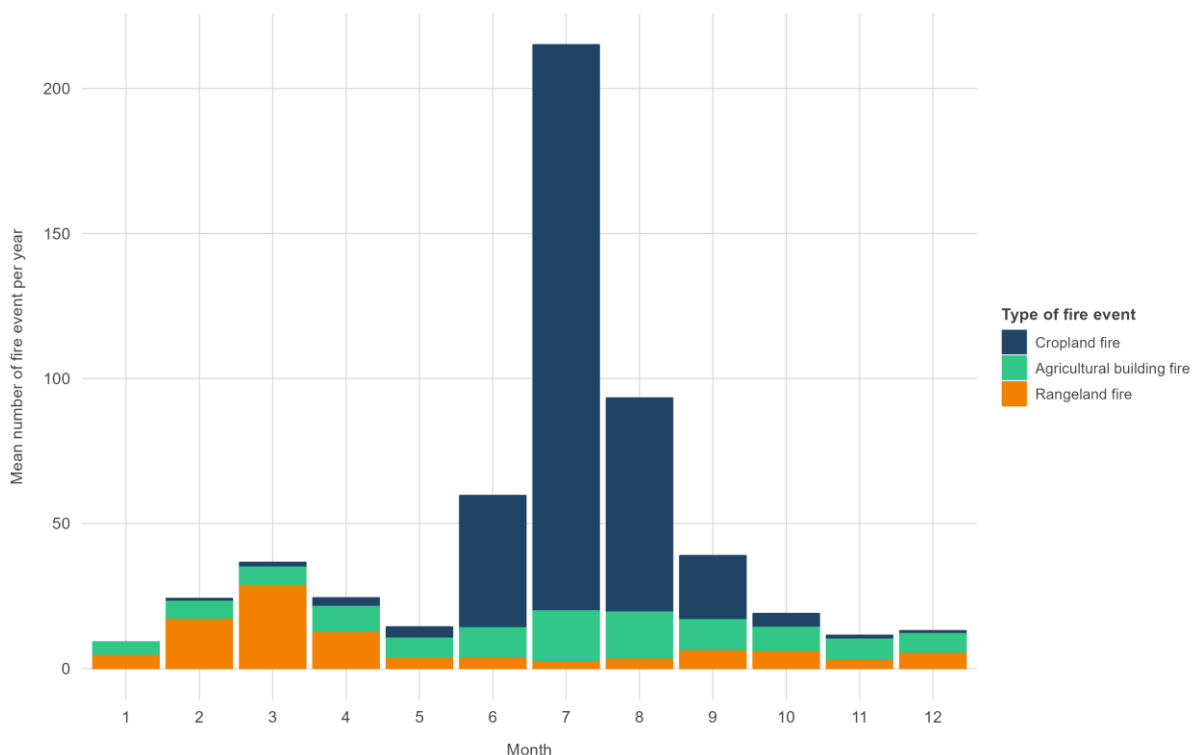


Figure 5 : Saisonnalité des feux agricoles en France sur la période 2000-2021

Les incendies agricoles sont marqués par une forte saisonnalité, le pic étant atteint en juillet avec une moyenne de plus de 200 incendies agricoles par mois (figure 5). Ce pic est principalement dû à la forte augmentation des incendies de cultures de juin à août. Cette période est caractérisée par une forte augmentation des températures et une diminution des précipitations, notamment autour du bassin méditerranéen. Ces conditions climatiques favorisent le brûlage des parcelles dont la biomasse s'est accumulée depuis le début du printemps.

Les incendies de bâtiments agricoles se produisent presque uniformément tout au long de l'année. Si les conditions climatiques peuvent expliquer leur apparition le reste de l'année, les incendies de bâtiments en hiver peuvent probablement être attribués à des dysfonctionnements mécaniques et technologiques conduisant à l'allumage du feu.

Les feux pastoraux apparaissent surtout en février-mars, mais aussi en septembre-octobre, spécifiquement pour les années 2007, 2016, 2018. Ces feux correspondent en grande partie à des feux prescrits soumis à une autorisation délivrée uniquement durant cette période. Cet encadrement du feu permet de limiter la période d'apparition de ce type de feu en le réduisant aux périodes où le risque de dispersion est faible.

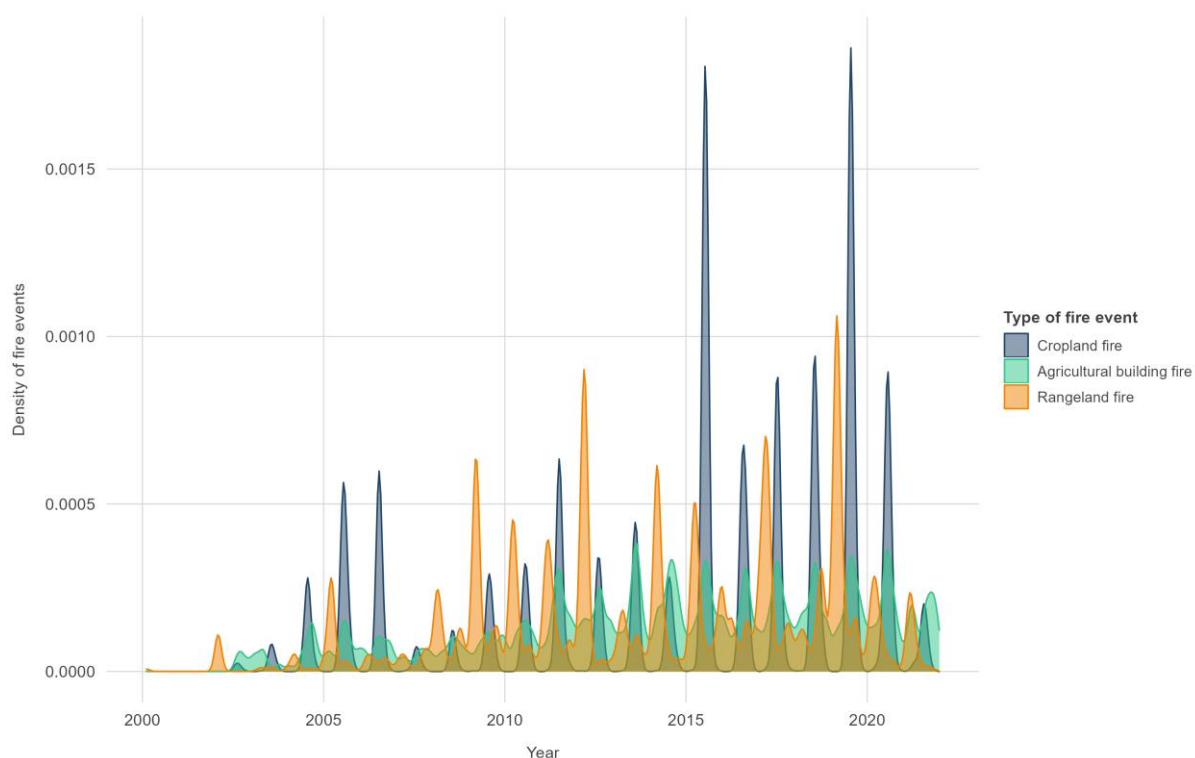


Figure 6 : Dynamique temporelle des feux agricoles français de 2000 à 2021

La figure 6 montre l'évolution des incendies agricoles dans le temps. On constate une forte saisonnalité et l'apparition d'années particulièrement extrêmes. Plus précisément, les années 2015 et 2019 pour les feux de cultures et les années 2012 et 2019 pour les feux de parcours présentent un nombre très élevé de feux. Ces années sont caractérisées par des températures particulièrement élevées en début de saison liées à des vagues de chaleur liées ou non au phénomène El Nino. Ces conditions climatiques entraînent des sécheresses précoces, réduisant la teneur en eau de la végétation et augmentant son inflammabilité pendant la saison de croissance.

La quantité d'informations disponibles sur la période d'étude semble varier. En effet, les données disponibles avant 2003 ne semblent pas permettre une vision globale de l'occurrence des incendies agricoles en France. La méthode bibliographique utilisée paraît ainsi être destinée à une période récente, où il existe une forte couverture des événements d'incendie par les médias locaux. Nos données ne nous permettent pas de conclure à une augmentation potentielle des incendies agricoles.

Cette base de données peut alors être utilisée pour réaliser un bilan carbone des feux agricoles en France. Pour cela, il s'agit dans un premier temps d'estimer la surface brûlée des feux pour lesquels l'information n'était pas disponible. Ainsi, nous avons construit un modèle prédictif prenant en compte différentes variables :

- Date d'occurrence
- Localisation d'occurrence
- Type de végétation
- Données climatiques (ERA5-Land)
 - Humidité Relative
 - Vitesse du vent
 - Température moyenne journalière

La calibration de ce modèle est en cours. Le nombre conséquent de données disponibles renforce notre confiance sur la qualité prédictive de celui-ci.

Une fois l'ensemble des données de surface brûlées obtenus, nous serons en mesure de construire un bilan carbone prenant en compte le type de végétation brûlée. Pour cela, nous nous appuierons sur la base de données de la Statistique agricole annuelle (AGRESTE). Celle-ci offre une valeur de rendement moyen pour chaque département français, sur la période donnée. Cette classification offre une précision variable permettant d'affiner plus ou moins notre bilan d'émission carbone. Nous produirons ainsi une estimation des émissions liées aux feux agricoles, données jusqu'alors absente des bilans carbone nationaux.

Une comparaison avec les données de détection des points chauds est elle aussi envisagée. Cette comparaison bilatérale a deux objectifs principaux : (1) Vérifier l'homogénéité de nos données : L'effort de mise à disposition du public sur ces feux est-elle le même partout en France ? Les départements « habitués » à ce type de feux ont-ils tendances à moins rendre compte de ce type d'évènement ? (2) La méthode de détection des points de chaleurs est-elle suffisante pour rendre compte de la dynamique spatio-temporelle lié aux feux agricoles ?

Les données de détection ont été agrégées et la comparaison avec la base de données construite est en cours.

L'étape finale de ce projet serait alors de migrer du DATA MINING (méthode semi-automatique d'obtention des données) au DATA SCRAPING. Ce type de méthode consiste à construire des outils d'acquisition de la donnée de manière complètement automatique. Il s'agit d'entraîner la méthode sur un certains nombres d'articles obtenus par validation des sorties afin de rendre l'outil entièrement autonome. Cela permettrait d'automatiser l'acquisition de nouvelles données dans l'avenir.

Tâche 2 : Analyse de l'aléa incendie et de la résilience des écosystèmes forestiers

Le principal objectif de la Tâche 2 consiste à produire un modèle d'aléa incendie pouvant alimenter des modèles de végétation. Pour cela, différentes variables seront identifier, notamment :

- Climat
 - Indice de sécheresse
 - Humidité Relative
 - Vitesse du vent
 - Température moyenne journalière
- Topologie
- Conditions édaphiques
- Variables socio-économiques (infrastructures humaines)
- Type de végétation

Dans un second temps, une comparaison des données acquise dans la Tache 1.1 et des données d'inventaires forestiers sera réalisé pour étudier la résilience des écosystèmes forestiers face à ce type de perturbations.

La Tâche 2 n'ayant pas débuté, celle-ci sera uniquement présentée lors de la réunion du comité de suivis. Cette tâche occupant une partie centrale de la thèse, une discussion approfondie lors de la réunion sera nécessaire pour l'aborder au mieux.

Tâche 3 : Analyse théorique des processus de coexistence post-perturbation

L'objectif de cette tâche est d'étudier les processus de coexistence dans le cadre théorique proposée par la théorie moderne de la coexistence de Chesson. Nous cherchons ici à comprendre quel mécanisme conduit à la coexistence des espèces après un retour à un sol nu. L'un des mécanismes développés par cette théorie est appelé le *storage effect temporel*. Il stipule que la coexistence est permise par le fait que les espèces sont favorisées à différentes périodes de leurs développements post-perturbation.

Pour tester l'impact de ce mécanisme dans les communautés forestières, nous nous sommes appuyées sur le modèle de dynamique forestière FORCEEPS, développé par X. Morin. Ce modèle de troué est initialement utilisé pour étudier la compétition entre espèces. La compétition pour la lumière y prend une place importante. Ce modèle s'est avéré efficace dans la prédiction de la composition en espèce ainsi que dans la productivité des communautés méditerranéennes, tempérées et boréales. Pour l'étude de la coexistence, un processus de contrôle de la régénération a dû être implémenté. Ce feedback entre communauté actuelle et semis permet d'empêcher une surestimation de la coexistence simulée.

Le modèle étant calibré pour de nombreuses espèces forestières, nous en avons sélectionné 12 pour tester le mécanisme du *storage effect temporel*. Pour chaque paire d'espèces, nous avons réalisé une simulation depuis un sol nu. Afin de tester l'effet du contrôle de régénération, ces simulations ont été réalisées avec et sans son implémentation. Enfin, nous avons réédité ce protocole sur 10 sites à travers l'Europe, ayant des conditions topo-climatiques variées.

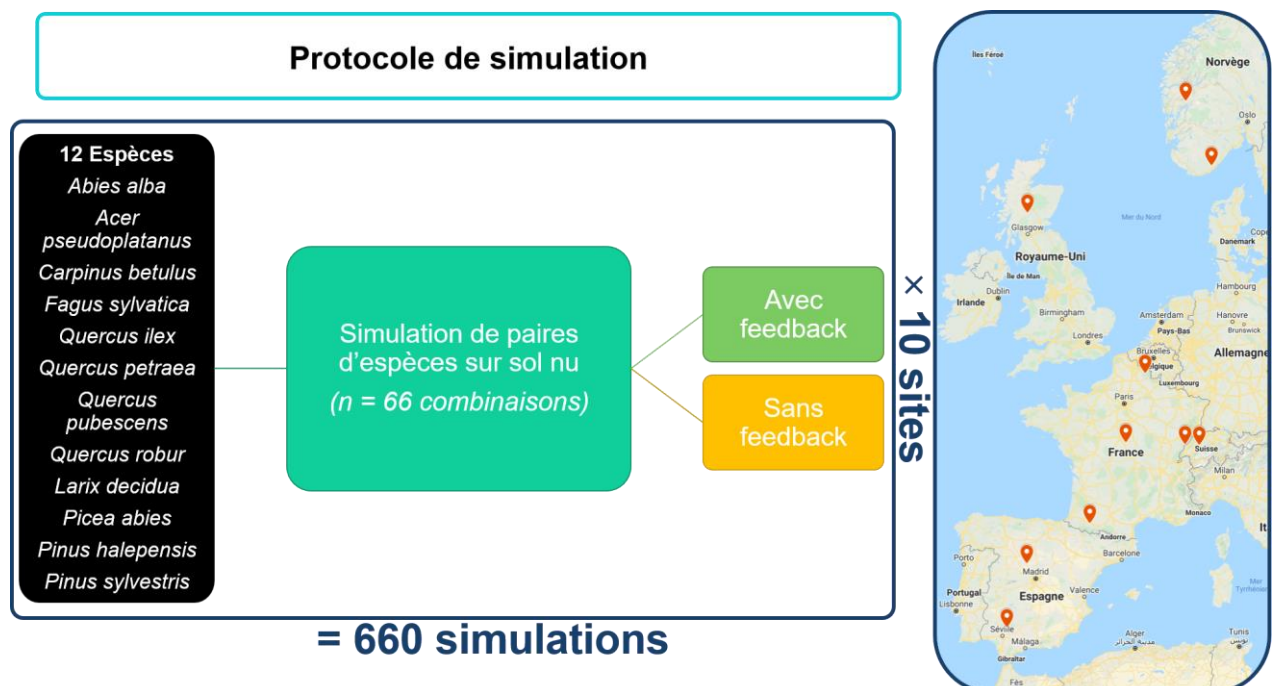


Figure 7 : Protocole de simulation utilisé pour la tâche 3

Nous observons tout d'abord que le modèle est bel et bien en mesure de simuler de la coexistence entre espèce. L'implémentation du contrôle de régénération entraîne une réduction du nombre d'espèces coexistantes, mais ne modifie par leur identité

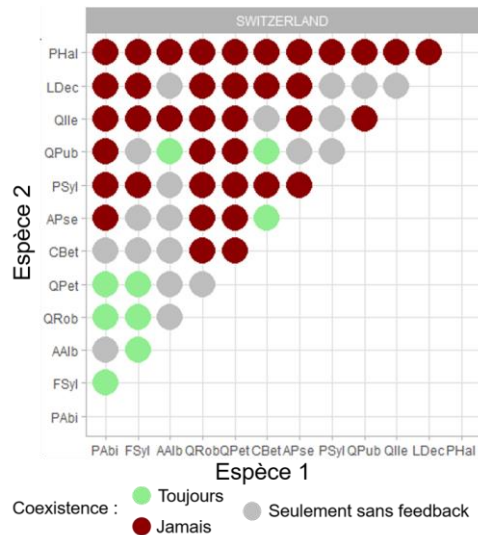


Figure 8 : Résultat des simulations par paires d'espèce sur le site suisse

Concernant le test du *storage effect temporel*, l'hypothèse était que la présence de ce mécanisme serait observable par une corrélation temporelle négative entre les taux de croissances des deux espèces. Or, les 71 paires d'espèces coexistantes à travers nos simulations présentent toutes une corrélation positive de leurs taux de croissance.

Ce résultat nous a amené à pousser nos analyses vers l'étude des traits fonctionnels de ces espèces d'arbres forestiers. En effet, de nombreuses études discutent l'applicabilité de la théorie moderne de la coexistence sur ces espèces longévives et dont la structure spatiale de la communauté joue un rôle central dans la croissance des individus.

Notre analyse des traits fonctionnels des espèces coexistantes mènent à deux tendances principales. (1) Les espèces qui coexistent présentent des valeurs de traits similaires. Dans ce cas, les conditions topologiques et climatiques mèneraient à la sélection d'une valeur de traits adapté, comme la hauteur maximale dans la figure 8. (2) Les espèces qui coexistent disposent de valeurs de traits différentes (non extrêmes). Cette différence de traits mènerait alors à une complémentarité fonctionnelle entre les deux espèces permettant d'assurer leur coexistence stable dans le temps. Cette complémentarité est associée à des trade-off lié à différentes stratégies, comme présenté dans la figure 8, entre la tolérance à l'ombre et le taux de croissance optimal.

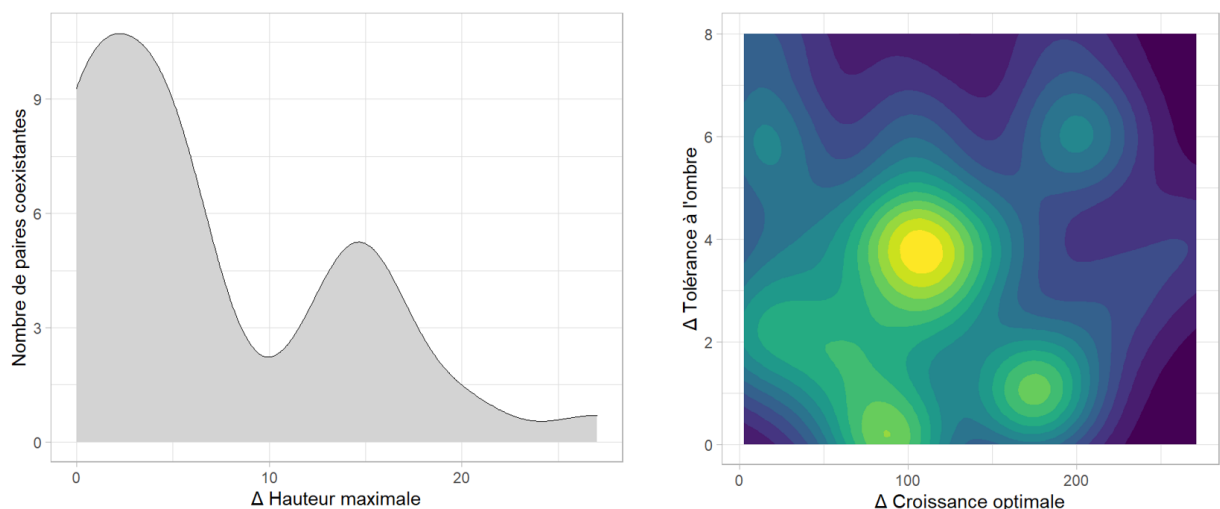


Figure 9 : Analyse de la coexistence en fonction des différences de valeurs de traits entre espèces coexistantes

Les résultats de cette Tâche semblent montrer que l'étude des traits fonctionnels semble davantage adaptée que la prise en compte de mécanisme de coexistence, dans l'étude de la dynamique post-perturbation. Ces résultats seront centraux dans le couplage du modèle d'aléa incendie avec les modèles de végétation de la Tâche 4. Ils permettront aussi d'appuyer l'importance de la réalisation de la tâche 5 afin d'améliorer notre compréhension du lien entre traits écophysiologiques des plantes et traits fonctionnels associés aux régimes de feux.

Tâche 4 : Modélisation des flux de carbone passés et futurs

L'objectif de la Tâche 4 sera de réaliser un couplage du modèle d'aléa incendie avec les modèles de végétations pour étudier les émissions et la fixation carbone par les écosystèmes forestiers, passés et futurs. Pour cela, cinq modèles ont été sélectionnés :

- Aléa incendie
- Répartition d'espèce basée sur la phénologie et le succès reproducteur : Phenofit
- Croissance et de compétition forestière : FORCEEPS
- Bilan hydrique : SIERRA
- Cycles biogéochimiques : CASA

Cette tâche apparaît comme très en lien avec le projet de thèse de T. Postic réalisé au sein de l'équipe, s'attellant au couplage des modèles Phenofit et FORCEEPS notamment. La réalisation de ce couplage permettra dans un premier temps de simuler les flux de carbones passés émis par les incendies sur la période 1985-2021, ainsi que leurs impacts sur la végétation. Ensuite, il sera possible de simuler les futures émissions carbones, associés à différents scénarii de changements climatiques. La prise en compte de la gestion forestière et de son évolution sera éventuellement réalisé par l'implémentation d'un module de gestion dans le modèle FORCEEPS initié par les travaux de M. Jourdan.

A l'image de la Tâche 2, celle-ci sera uniquement exposée au cours du comité de suivis et fera l'objet de discussions approfondies pour l'appréhender au mieux.

Tâche 5 : Etude de pyrogéographie fonctionnelle

Cette ultime tâche n'est pas initialement inscrite dans le projet de thèse. Cependant, au vu des résultats obtenus dans la Tâche 3 et considérant mon intérêt particulier pour ces thématiques de recherche, elle apparaît comme un complément judicieux aux travaux précédent.

Les travaux de la tâche 1 à 4 permettront d'avoir une vision systémique et globale de l'interrelation entre régime de feux et végétation en milieux méditerranéen et tempéré. Ces interactions feu-végétations pourront être étudié par le spectre des théories associées aux traits fonctionnels. Deux bases de données existantes, TRY pour les traits fonctionnels végétaux et FRY pour les pyro-traites fonctionnels, seront alors exploitées dans cet objectif. Il s'agira ainsi de définir un cadre théorique associant traits végétaux et pyro-traites pour approfondir notre compréhension des régimes de feux actuels, de la résilience des écosystèmes et de leurs évolutions respectives dans le futur.

Cette tâche étant particulièrement exploratoire, elle sera elle-aussi simplement présenté au cours de la réunion du comité de thèse, en espérant susciter chez ses membres un intérêt particulier.