



HAL
open science

Des interactions biologiques à l'écologie des perturbations

Anne Ganteaume

► **To cite this version:**

Anne Ganteaume. Des interactions biologiques à l'écologie des perturbations. Sciences de l'environnement. HDR, 2014. tel-02600709

HAL Id: tel-02600709

<https://hal.inrae.fr/tel-02600709>

Submitted on 16 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Mémoire présenté pour l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches

Aix-en-Provence, le 03/10/14

Anne GANTEAUME

Des interactions biologiques à l'écologie des perturbations



JURY:

Pr Thierry TATONI

Dr Philip ROCHE

Dr Mercedes GUIJARRO

Pr Peter FULE

Dr Jean-Luc DUPUY, rapporteur

Pr Vanina PASQUALINI, rapporteur

“All we have to decide is what to do with the time that is given to us “ Gandalf (The Fellowship of the Ring, JRR Tolkien)

Flash back sur ces 20 dernières années...

Bien sûr, j'ai toujours l'impression que c'était hier, l'époque de la thèse, les grandes discussions pour refaire le monde de l'Ecologie avec mes collègues thésards (ils se reconnaîtront), de vrais écologues de terrain par rapport à moi, la dissidente un brin plus zoologue, cantonnée aux serres d'élevage (pas génial comme terrain) et autres laboratoires (à disséquer, disséquer et encore disséquer des larves d'Aleurode).

Puis, c'est l'échappée vers les Tropiques (et même l'Equateur), loin de la recherche en secteur privé (carrément décevante au final), au pays de la fusée Ariane, des bagnards (une pensée pour Dreyfus et Papillon) et de l'Enfer Vert. La Guyane s'est révélée être pour moi le Paradis Vert, avec toutes ces bestioles cacophoniques et cette végétation luxuriante, les indiens Wayana (rencontre d'exception !), la remontée des fleuves en pirogue (impressionnants piroguiers Saramaca)..., l'Amazonie quoi ! Certes il y a eu encore beaucoup de dissections (de moustiques cette fois) mais la finalité du travail - la santé animale (côté CIRAD-EMVT) et la santé publique (côté Institut Pasteur)- m'a permis de me sentir de suite plus utile à la science et nettement moins sous la pression du rendement économique.

Suivent quelques années riches en expériences diversifiées (si d'autres suivent une trajectoire plus linéaire), où alternent travail dans les clubs de plongée sous-marine (c'est l'aventure de l'enseignement de la plongée qui me ramène vers les Tropiques, mais cette fois dans les eaux turquoise des Antilles) et travail scientifique (publier, toujours publier pour garder le lien avec la recherche), cette fois dans l'eau salée. Et voilà, on est sous l'eau, en apesanteur, on compte les poissons, on compte les faisceaux de feuilles de Posidonie, on intoxique les oursins à la Caulerpe (mais ils gèrent plutôt bien et deviennent même accros !), on évalue la productivité d'un récif artificiel, l'impact des activités humaines sur le milieu, ... et toujours on palme, on palme, quelquefois un peu narcosée (c'est cool !), dans le sublime parc national de Port-Cros comme au débouché des émissaires (pas cool !), des fois on a froid... mais toujours on y retourne. Pourquoi cette réorientation thématique ? Il est vrai que très jeune, j'ai été contaminée par le virus « Commandant Cousteau » qui s'est avéré hyper résistant sur le long terme... on n'en guérit jamais vraiment, surtout avec une piqûre de rappel au Grand Bleu. C'était toutefois un virage inévitable, déjà amorcé lors de la fameuse maîtrise d'océanologie à Luminy promotion 85-86 qui m'a permis de côtoyer les « grands » de l'écologie marine en Méditerranée, et d'en recevoir les fondamentaux de cette discipline.

Enfin c'est le dernier virage, inattendu celui-là (!), vers la forêt (vue sous l'angle du combustible) et l'écologie du feu. Nouvelle thématique, tout aussi intéressante ; en milieu marin ou terrestre, la recherche en écologie reste la même : mêmes concepts, mêmes problématiques, même démarche scientifique (mais un travail de terrain nettement moins contraignant !). Cette recherche est menée principalement dans le cadre de programmes

européens et donne donc lieu à de très enrichissantes collaborations avec des équipes étrangères. Autre nouveauté, la coordination d'un programme européen avec la gestion des réunions du programme au Joint Research Centre (basé à Ispra en Italie) qui fût une expérience très enrichissante (certes assez stressante au départ !) et qui m'a permis de me familiariser aux rouages de la Commission Européenne. Et puis il y a aussi les communications dans les congrès, souvent aux Etats-Unis (pour montrer qu'en France, on travaille aussi sur les incendies de forêt même s'ils sont nettement moins spectaculaires) qui sont toujours un challenge pour moi.

Ce que je retire de ces années passées à œuvrer pour la science, c'est l'enrichissement que cela m'a apporté, au travers des collaborations avec les uns et les autres (merci à tous mes collègues !), lors des congrès et réunions à l'étranger (on s'aperçoit alors qu'être chercheur en France c'est pas si mal...), c'est aussi la remise en question permanente, relever des challenges. Non ça n'a pas été facile de se stabiliser professionnellement, ça a été complexe et incertain, mais en y repensant, je ne referai pas différemment. Toute cette diversité d'expériences m'a enrichie sur un plan personnel comme professionnel. C'est cette carrière multi-facettes qui me caractérise pleinement, qui fait mon originalité. C'est aussi un gage de ma capacité d'adaptation face à une diversité de situations, d'environnements, de travaux de recherche ; travaux différents certes, mais avec un même moteur : l'Ecologie et c'est avant tout en temps qu'écologue que je me revendique !

Pour finir, pour en être arrivée où je suis aujourd'hui, je tiens à remercier tous ceux et celles qui ont cru en moi (même quand j'ai douté parfois moi-même), qui m'ont soutenue et encouragée lorsque j'en avais besoin, sans qui je n'aurais peut être pas été aussi tenace. Merci encore. Merci également aux membres du jury pour leur participation et aux rapporteurs qui ont eu la difficile tâche de donner un avis sur le déroulement de ma carrière.

The greatest measure of a man is not the way he handles times of comfort but in the way he rises through controversy and challenges. — (Martin Luther King).



It always seems impossible until it's done

Nelson Mandela



Table des matières

Préambule.....	9
PARTIE 1 : Parcours professionnel, responsabilités et production scientifique.....	10
1. Curriculum vitae.....	11
1.1. Carrière professionnelle.....	11
1.2. Diplômes et formations.....	11
2. Responsabilités de recherche.....	12
2.1. Animation et gestion de projets de recherche.....	12
2.1.1. Responsabilité de projets de recherche européens ou nationaux.....	12
2.1.2. Participation à des projets de recherche européens ou nationaux.....	13
2.2. Les collaborations.....	13
2.2.1. Partenariat français.....	13
2.2.2. Partenariat étranger.....	13
2.3. L'encadrement.....	14
2.3.1. Participation à la formation.....	14
2.3.2. Encadrement d'étudiants.....	14
2.4. Référé dans les comités de lecture.....	15
2.5. Expertise.....	15
2.5.1. Actions nationales.....	15
2.5.2. Actions internationales.....	15
2.6. Participation aux instances d'Irstea.....	16
2.7. Activités d'administration et autres responsabilités collectives.....	16
3. Production scientifique.....	16
3.1. Articles publiés dans des revues internationales indexées (rang A).....	16
3.2. Articles publiés dans des revues à comité de lecture.....	18
3.3. Autres : revues techniques et de vulgarisation.....	18
3.4. Participations à des colloques.....	19
3.1.1. Colloques internationaux.....	19
3.1.2. Colloques nationaux.....	21
PARTIE 2 : Les activités scientifiques.....	22
1. Entomologie : vecteurs et interactions.....	23
1.1. Lutte intégrée.....	24
1.2. Entomologie médicale.....	26
2. Ecologie marine.....	28
2.1. <i>Caulerpa taxifolia</i> : l'alien.....	29
2.2. L'herbier à <i>Posidonia oceanica</i>	30
2.3. Le mérrou brun <i>Epinephelus marginatus</i>	31
3. Ecologie du feu et risque d'incendie en région méditerranéenne.....	34
3.1. Caractérisation de l'inflammabilité de la végétation méditerranéenne.....	38
3.1.1. Inflammabilité de la végétation naturelle.....	40

3.1.2. Inflammabilité de la végétation ornementale : la problématique des interfaces habitat-forêt.....	45
3.2. Combustibilité de la végétation méditerranéenne.....	49
3.2.1. Evaluation de la combustibilité au niveau particulaire.....	49
3.2.2. Evaluation de la combustibilité au niveau du peuplement : importance de la structure de la végétation.....	51
3.2.3. Des données d'entrée pour la simulation du comportement du feu.....	52
3.3. Amélioration de la connaissance de l'environnement spatial des points d'éclosion dans le sud-est de la France.....	53
3.3.1. Variation spatio-temporelle de l'occurrence et de la surface brûlée à l'échelle régionale.....	54
3.3.2. Densité des feux à l'échelle locale.....	56
3.3.3. Les grands feux : facteurs d'ignition et causes.....	57
3.3.4. Les causes de départ de feu à l'échelle européenne.....	59
3.4. Mes perspectives de recherche.....	61
En conclusion.....	67
Bibliographie.....	71
Annexes.....	77

Préambule

Depuis mon doctorat réalisé dans un domaine de recherche très appliqué, mes travaux, touchant différents milieux (terrestre et marin), différents types d'organismes (animaux et végétaux), balayant le large spectre du monde vivant, peuvent présenter une apparente dispersion mais leur unité réside pour une part dans les concepts, le questionnement et les méthodes utilisées pour y répondre. Mais avant tout, le point commun de mes recherches est le domaine de l'écologie, par l'étude des interactions entre les organismes (interaction hôte-parasite, hôte sain-vecteur de maladie, espèce invasive-espèce endémique) et l'étude des perturbations sur ces organismes, perturbations engendrées par des facteurs anthropiques, environnementaux ou par la combinaison des deux dans le cadre du changement global. Ma capacité à travailler sur des sujets de recherches aussi divers vient en grande partie de la variété de mon cursus universitaire qui m'a permis d'acquérir des compétences dans les différents milieux écologiques.

Le document est organisé en deux parties :

-Parcours professionnel.

Dans cette partie, qui débute par mon Curriculum Vitae, je présente les principales étapes ou faits marquants de mon parcours professionnel :

- les responsabilités exercées dans la recherche en termes d'animation collective, de coordination et de participation à des projets de recherche, d'encadrement d'étudiants,
- ma production scientifique et technique à ce jour.

-Activités scientifiques.

J'ai distingué trois principales thématiques qui résument mes travaux de recherche passés et actuels ; l'accent sera surtout mis sur la troisième thématique sur laquelle je travaille depuis une huitaine d'années:

- 1 : Entomologie : vecteurs et interactions
- 2 : Ecologie marine
- 3 : Ecologie du feu et risque d'incendie

Dans chacune de ces parties, je présenterai le contexte des travaux et les principaux résultats des études dans lesquelles j'ai été impliquée sans rechercher l'exhaustivité. Je mentionne dans cette partie des résultats acquis et publiés ainsi que d'autres qui sont encore en cours de réalisation dans le cadre de mes perspectives de recherche pour les années à venir.



PARTIE 1 :
**Parcours professionnel, responsabilités et
production scientifique**



1. Curriculum vitae

NOM : GANTEAUME

Prénom : ANNE

Date de naissance : 26/11/1964

1.1. Carrière professionnelle

Depuis 2012 : **Chargée de recherche 1^{ère} classe à Irstea Aix-en-Provence** dans l'Unité de Recherche « Ecosystèmes Méditerranéens et Risques » (EMAX)

2006-2012 : **CDD Ingénieur-chercheur à Irstea Aix-en-Provence** dans l'Unité de Recherche « Ecosystèmes Méditerranéens et Risques » (EMAX)

- 1994, 1997-2005 : **Ingénieur d'étude en environnement marin :**

- **Ingénieur d'étude au GIS Posidonie**, UMR DIMAR Université de la Méditerranée, Marseille
- **Ingénieur d'étude au Laboratoire ECOMERS**, Université de Nice-Sophia Antipolis, Nice
- **Chargée d'étude environnement à l'Atelier Bleu du Cap de l'Aigle** (CPIE Côte Provençale, La Ciotat)

- 1994-1996 : **Chargée de recherche dans le cadre d'un Post-doctorat** dans les laboratoires de l'Institut Pasteur de la Guyane et du CIRAD-EMVT à Cayenne (Guyane française)

- 1993 : **Chargée d'études à l'Atelier Bleu du Cap de l'Aigle** (CPIE Côte Provençale, La Ciotat)

1.2. Diplômes et formations

Intitulé du titre ou diplôme	Ecole ou université	Lieu	Année
Baccalauréat D	Lycée Lumière	La Ciotat	1982
DEUG B	Université de Provence	Marseille	1983-1984
Licence sciences naturelles	Université de Provence	Marseille	1985
Maitrise océanologie	Université de la Méditerranée	Marseille	1986

Maitrise sciences naturelles	Université de Provence	Marseille	1987
DEA Ecosystèmes Méditerranéens Continentaux	Université de Provence	Marseille	1988
Doctorat en Sciences (option biologie des populations et écologie)	Université de Provence	Marseille	1989-1993

- Formations suivies en cours ou réalisées au cours des années de rattachement à Irstea

2013 : Approfondissement Espagnol (Adiscos formations) 40h

2012 : Statistiques sous R (sigma +) 16h

2011 : Approfondissement en statistiques (sigma +) 16h

2008, 2010 : Approfondissement Anglais (Berlitz, Inlingua) 2x40h

2006, 2007, 2008 : Programmation en R, C et C++, Java (IRD, Cesi Entreprise) 3 x40h

2006 : Utilisation des logiciels de SIG Arc Gis 9.2 (Cerege) 20h

- Langues étrangères

- Anglais : Niveau actuel selon la codification internationale: C1-C2
- Espagnol et Allemand : Niveau actuel selon la codification internationale: B1
- Russe : Niveau actuel selon la codification internationale: A1

2. Responsabilités de recherche

2.1. Animation et gestion de projets de recherche

2.1.1. Responsabilité de projets de recherche à financement européens ou nationaux

En 2008, j'ai pris en charge un appel d'offre pour le projet européen sur les causes de départ de feu financé par le Joint Research Centre (UE) et je l'ai coordonné et géré administrativement durant toute sa durée (2 ans). J'ai piloté les réunions de ce programme en anglais auxquelles participaient de nombreux partenaires étrangers et j'ai représenté Irstea dans les réunions du groupe d'experts européens des feux de forêt de la Commission Européenne.

J'ai piloté plusieurs projets financés par le MEDDTL (2011) dont la rédaction d'une synthèse bibliographique sur les méthodologies de mesure de l'intensité et la sévérité des feux de forêt et un projet sur l'évaluation de l'inflammabilité de la végétation ornementale dans les interfaces habitat-forêt en vue de propositions de plantation d'espèces peu inflammables.

2.1.2. Participation à des projets de recherche européens ou nationaux

Depuis 2006, j'ai participé aux recherches menées dans le cadre de plusieurs programmes de recherches internationaux (Fire Paradox, Firesmart, Fume) et nationaux (Forest Focus). Dans le cadre du programme européen FIRESMART, relatif à l'identification des lacunes et contraintes à une prévention des feux efficace en Europe, j'ai piloté la partie du travail qui concerne l'Unité et pris part aux réunions et workshops du programme qui ont eu lieu à l'étranger.

J'ai également participé à la rédaction des réponses aux appels d'offres pour divers programmes (ANR, projets européens, projets nationaux et régionaux).

2.2. Les collaborations

Mes collaborations avec d'autres organismes ont débouché sur des publications scientifiques ou sur des rapports techniques et livrables de programmes européens. C'est le cas par exemple avec le JRC de la Commission Européenne (1 article scientifique en commun) ou l'INIA à Madrid (3 articles dont un en cours de révision). Une publication est actuellement en cours de rédaction en collaboration avec le CSIRO de Melbourne (Australie). Lors de la réalisation du guide sur le pin d'Alep, j'ai collaboré avec mes collègues de l'INRA d'Avignon pour établir la fiche sur l'inflammabilité et le comportement au feu.

2.2.1. Partenariat français

Au cours de mes activités de recherche, j'ai été amenée à collaborer, au niveau national, avec des organismes tels que l'ONF (département DFCI), l'INRA d'Avignon (Unité de Recherche Ecologie des Forêts Méditerranéennes), l'Université Aix-Marseille (IMBE) notamment dans le cadre des thèses réalisées dans l'Unité de Recherche ou des bureaux d'études (MTDA).

2.2.2. Partenariat étranger

Au niveau international, les différents programmes européens auxquels j'ai participé m'ont permis de travailler et de collaborer avec plusieurs instituts de recherche comme l'INIA-CIFOR (Espagne) ou le Joint Research Centre de la Commission Européenne mais également avec les laboratoires étrangers partenaires dans les différents work packages des programmes européens. Mes différentes participations aux conférences sur les feux de forêt organisées aux Etats-Unis et au Canada, m'ont permis de m'insérer dans le réseau des chercheurs travaillant sur l'inflammabilité de la végétation dans ces pays, avec notamment une collaboration avec le « Forest Fire Laboratory » de l'Université de Humboldt en Californie dans le cadre de la comparaison de l'inflammabilité de différentes espèces de pins françaises et américaines et avec l'USGS dans le cadre de collaborations de recherche bilatérales Irstea-USGS.

Les thématiques liées au risque d'incendie, en particulier dans le cadre du changement climatique, ouvrent de larges opportunités de collaboration au sein des communautés scientifiques. Au niveau international, je conserve, dans ce sens, des liens forts avec les

collaborateurs étrangers avec qui j'ai pu travailler dans le cadre de programmes européens. Une collaboration avec les chercheurs australiens du CSIRO de Melbourne sur la caractérisation du risque d'incendie dans les interfaces habitat-forêt est actuellement en cours avec le démarrage à l'automne 2013 d'une thèse que j'encadre actuellement en co-tutelle avec le CSIRO.

2.3. L'encadrement

2.3.1. Participation à la formation

Année	Niveau	Type	Matière enseignée	Heures
1989-1992	Deug	Cours	Endocrinologie	12h
1989-1992	Deug	Cours	Biologie cellulaire	12h
2008	Engref	Cours	Risque incendie et inflammabilité	4h
2011	Licence	Cours+TD	Risque incendie et inflammabilité	8h
2012	Licence	Cours+TD	Risque incendie et inflammabilité	8h
2013	Licence	Cours+TD	Risque incendie et inflammabilité	8h
2014	Licence	Cours+TD	Risque incendie et inflammabilité	8h

2.3.2. Encadrement d'étudiants

Niveau	Année	Durée du stage	Nom du stagiaire	Thématique	Taux d'encadrement
Thèse	2006-2009	3 ans	Schaffhauser Alice	Risque incendie	20%
M2	2006	6 mois	Dumas Claire	Risque incendie	30%
ISE	2008	2 mois	Pelché Rebecca	Risque incendie	30%
M2	2008	6 mois	Piana Caroline	Risque incendie	50%
M2	2009	6 mois	N'Diaye Aminata	Risque incendie	50%
M2	2009	6 mois	Baudel Jonathan	Risque incendie	30%
M2	2010	6 mois	Lemoine Timothée	Biodiversité	20%

Thèse	2013-2016	3 ans	Lorans Matthieu	Risque incendie	100% (co-tutelle)
BTS	2014	3 mois	Chevalier Claire	Risque incendie	100%

2.4. Référé dans les comités de lecture

- 2014 : International Journal of Wildland Fire
- 2014: Climatic Change
- 2013: Plos One
- 2013: International Journal of wildland Fire
- 2013: Forest Ecology and Management
- 2013: Journal of Environmental Biology
- 2012: Canadian Journal of Forest Research
- 2012: European Journal of Forest Research
- 2012: International Journal of Wildland Fire
- 2011: Scandinavian Journal of Forest Research
- 2010: International Journal of Wildland Fire

2.5. Expertise

2.5.1. Actions nationales

- **2006-2008 Forest Focus : Règlement européen sur le suivi des forêts**
 - Mise en place d'un appui technique pour la saison des feux 2006, en relation avec les partenaires locaux (DDTM, ONF, SDIS, Gendarmerie),
 - Test d'une méthode de cartographie interactive des départ de feu en 2007, en appui dans trois départements (Haute-Corse, Var, Alpes de Haute Provence),
 - Participation à la rédaction et au test du guide méthodologique sur l'amélioration de la connaissance des causes de départ de feu.
- **Inflammabilité de la végétation ornementale (convention DGPR)**
- **2012 Guide Pin d'Alep : « Le pin d'Alep en France 17 fiches pour connaître et gérer »**
 - Réalisation d'une fiche technique

2.5.2. Actions internationales

- Avis d'expert dans le cadre du « workshop on the assessment of forest fire risks and innovative strategies for fire prevention » organisé par le Ministère de l'Environnement grec et d'autres institutions européennes à Rhodes (Mai 2010).
- Présentation des travaux réalisés dans le cadre de l'appel d'offre du Joint Research Centre (Commission Européenne) au groupe européen d'experts des feux de forêt (octobre 2009 et mai 2010).
- Présentation des recherches sur l'écologie du feu de l'UR EMAX à l'USGS (Novembre 2012, Reston, USA).

- Représentation d'Irstea auprès de l'Ambassade de France en Australie dans le cadre de deux missions sur le risque d'incendie en collaboration avec le Pôle de Compétitivité et le SDIS 13 (Octobre 2012 et Mai 2014).
- Co-organisation technique et scientifique du colloque international Forest Fire (Aix-en-Provence, 30 sept. – 02 oct. 2013).

2.6. Participation aux instances d'Irstea

- 2013: Représentante élue du personnel à la Commission Spécialisée du département Territoire
- 2013: Participation au jury de concours pour le recrutement de chargé de recherche 2^{ème} classe
- 2014 : Participation au jury de concours pour le recrutement de chargé de recherche 1^{ème} classe

2.7. Activités d'administration et autres responsabilités collectives

Depuis 2010, je suis membre de l'**International Association of Wildland Fire**.

Depuis de nombreuses années, je suis investie dans la défense du milieu marin méditerranéen. Je suis en particulier membre actif du **Groupe d'Etude du Mérrou (GEM)** et du **GIS Posidonie** (UMR DIMAR, Marseille) qui regroupent la plupart des acteurs de la gestion de la mer méditerranée, et en particulier des universitaires et des membres du CNRS avec qui j'ai collaboré pendant plusieurs années au cours de mon parcours professionnel.

3. Production scientifique

3.1. Articles publiés dans des revues internationales indexées (rang A)

GANTEAUME A., JAPPIOT M., LAMPIN C., CURT T., BORNIET L., 2014. Flammability of litter sampled according to two different methods: comparison of results in laboratory experiments. *International Journal of Wildland Fire* (sous presse).

GANTEAUME A., JAPPIOT M., LAMPIN-MAILLET C., 2013a. Assessing the flammability of surface fuels beneath ornamental vegetation in wildland–urban interfaces, in Provence (south-eastern France). *International Journal of Wildland Fire* 22 (3), 333-342.

GANTEAUME A., JAPPIOT M., LAMPIN C., GUIJARRO M., HERNANDO C., 2013b. Flammability of Some Ornamental Species in Wildland–Urban Interfaces in Southeastern France: Laboratory Assessment at Particle Level *Environmental Management* 52 (2), 467-480.

GANTEAUME A., JAPPIOT M., 2013c. What causes large fires in Southern France. *Forest Ecology and Management* 294, 76–85. doi 10.1016/j.foreco.2012.06.055

GANTEAUME A., CAMIA A., JAPPIOT M., SAN MIGUEL-AYANZ J., LONG-FOURNEL M., LAMPIN C., 2012. A Review of the Main Driving Factors of Forest Fire

Ignition Over Europe. *Environmental Management* 51 (3), 651-662. doi 10.1007/s00267-012-9961-z

GANTEAUME A., GUIJARRO M., JAPPIOT M., HERNANDO C., LAMPIN-MAILLET C., PEREZ-GOROSTIAGA P., VEGA J.A., 2011a. Laboratory characterization of firebrands involved in spot fires. *Annals of Forest Science* 68(3), 531-541 DOI 10.1007/s13595-011-0056-4.

GANTEAUME A., JAPPIOT M., LAMPIN-MAILLET C., CURT T., BORGNIET L., 2011b. Effects of vegetation type and fire regime on flammability of undisturbed litters in Southeastern France. *Forest Ecology and Management* 261, 2223-2231 .

LAMPIN-MAILLET C., LONG-FOURNEL M., **GANTEAUME A., JAPPIOT M., FERRIER J.P., 2010.** Land cover analysis in wildland-urban interfaces according to wildfire risk: a case study in the South of France. *Forest Ecology and Management* 261, 2200-2213.

CURT T., SCHAFFHAUSER A., BORGNIET L., DUMAS C., ESTEVE R., **GANTEAUME A., JAPPIOT M., MARTIN W., N'DIAYE A., POILVET B., 2011.** Litter flammability in oak woodlands and shrublands of southeastern France. *Forest Ecology and Management* 261, 2214-2222.

GANTEAUME A., JAPPIOT M., LAMPIN-MAILLET C., CURT T., BORGNIET L., 2009b. Effects of wildfire recurrence on vegetation structure in limestone Provence (South-Eastern France). *Forest Ecology and Management* 258S: S15-S23.

GANTEAUME A., LAMPIN C., GUIJARRO M., HERNANDO C., JAPPIOT M., FONTURBEL T., PEREZ-GOROSTIAGA P., VEGA J.A., 2009a. Spot fires: Fuel bed flammability and capability of firebrands to ignite fuel beds. *International Journal of Wildland Fires* 18 : 951-969.

BODILIS P., **GANTEAUME A., FRANCOUR P., 2003b.** Presence of 1 year-old dusky groupers along the french Mediterranean coast. *Journal of Fish Biology*, **62**, 242-246.

FRANCOUR P., **GANTEAUME A., 1999.** L'arrivée progressive de jeunes mérous (*Epinephelus marginatus*) en Méditerranée nord-occidentale. *Mar. Life*, **9**(1) : 37-45.

FRANCOUR P., **GANTEAUME A., POULAIN M., 1999.** Effects of boat anchoring in *Posidonia oceanica* seagrass beds in the Port-Cros national park (North western mediterranean sea). *Aquatic Conserv. : Mar. Freshw. Ecosyst.* **9** : 391-400.

GANTEAUME A., GOBERT J., MALESTROIT P., MÉNAGER V., FRANCOUR P. et BOUDOURESQUE C.F., 1998 - *In vitro* consumption of *Caulerpa taxifolia* by *Paracentrotus lividus* : seasonal variations and tolerance effect. *J. Mar. Biol. Ass. UK.*, **78** : 239-248.

GANTEAUME A., TABONE E., POINSOT-BALAGUER N., 1996 - Substrate and food effects on biotic potentialities of *Encarsia formosa*. *Journal of applied Entomology*, **120** : 33-37.

GANTEAUME A., TABONE E., POINSOT-BALAGUER N., 1995 - Variation du potentiel biotique d'*Encarsia formosa* (Hyménoptère: Aphelinidae) après stockage au froid. 1. Du point de vue du taux d'émergence. *Journal of applied Entomology*, **119** : 419-422.

GANTEAUME A., TABONE E., POINSOT-BALAGUER N., 1995 - Variation du potentiel biotique d'*Encarsia formosa* (Hyménoptère: Aphelinidae) après stockage au froid. 2. Du point de vue de la fécondité journalière et de la longévité. *Journal of applied Entomology*, 119 : 547-551.

3.2. Articles publiés dans des revues à comité de lecture

BODILIS P., **GANTEAUME A.**, FRANCOUR P., 2003a. Recruitment of the dusky grouper (*Epinephelus marginatus*) in the North-Western Mediterranean Sea. *Cybium*, **27**(2) : 123-129.

3.3. Autres : revues techniques et de vulgarisation

Publications dans des revues techniques

GANTEAUME A., 2009. De la connaissance des causes de départ de feu à la prévention. *Forêt Entreprise* **185** : 15.

LONG M., RIPERT C., PIANA C., JAPPIOT M., LAMPIN-MAILLET C., **GANTEAUME A.**, ALEXANDRIAN D. et ROUCH L., 2009. Amélioration de la connaissance des causes d'incendie de forêt et mise en place d'une base de données géoréférencées. *Forêt méditerranéenne* **XXX** (3) : 221-230.

GANTEAUME A., BONHOMME P., EMERY E., HERVE G., BOUDOURESQUE C.F., 2005. Impact sur l'herbier à *Posidonia oceanica* de l'amarrage des bateaux de croisière, au large de Porquerolles (Provence, France, Méditerranée). *Trav. Sci. Parc nat. Port-Cros*, **21**, 163-173.

GANTEAUME A., BONHOMME P., BERNARD G., POULAIN M., BOUDOURESQUE C.F., 2005. Impact de l'ancrage des bateaux de plaisance sur la prairie à *Posidonia oceanica* dans le Parc national de Port-Cros (Méditerranée nord-occidentale). *Trav. Sci. Parc nat. Port-Cros*, **21**, 147-162.

Publications dans des ouvrages

GANTEAUME A., DUPUY JL, PIMONT F., 2013 « Inflammabilité et comportement du feu » in « Le pin d'Alep en France 17 fiches pour connaître et gérer », B. Prévosto (coord.), éditions QUAE (à paraître)

GANTEAUME A., LONG M., 2011. Compléments d'enquête sur les départs de feu. *Le livre de la forêt*. Ed. Cemagref.

JAPPIOT M., **GANTEAUME A.**, 2011. Inflammabilité et combustibilité de la végétation méditerranéenne. *Le livre de la forêt*. Ed. Cemagref.

Publications dans des revues de vulgarisation

GANTEAUME A., 2009. Détermination des causes d'incendie de forêt et harmonisation des méthodes pour les rapporter. *InfoDFCI*, **63**, 6.

GANTEAUME A., 2012. Projet Firesmart. *InfoDFCI*, 68, 8.

3.4. Participations à des colloques

2.1.2. Colloques internationaux

GANTEAUME A., 2014. Characterization of the large fire regime in SE France. *Large wildland fires : social, political & ecological effects*, Missoula, USA, May 19 – 23 2014.

GANTEAUME A., 2014. Wildland-Urban Interface fires in SE France. *International Symposium on Bushfire Management*, Canberra, Australia, May 1 -2 2014.

GANTEAUME A., JAPPIOT M., LAMPIN C., ESTEVE R., N'DIAYE A., GUERRA F., LOPEZ J.M., GUIJARRO M., HERNANDO-LARA C., 2013. Role of ornamental vegetation in the propagation of fire in Wildland-Urban interfaces of Southern France: flammability and combustibility of ornamental species. *International conference on forest fire risk modelling and mapping* , Aix-en-Provence, Sept. 30–Oct. 02 2013.

GANTEAUME A., LONG-FOURNEL M., 2013. Spatial variation of driving factors of fire density at local scale in Southeastern France. *4th International Conference on Fire Behaviour and Fuels.*, July 1-4, 2013, St Petersburg, Russia. Communication orale.

GANTEAUME A., JAPPIOT M., 2012. Spatial and temporal variation of fire in Southeastern France. *5th International Fire Ecology & Management Congress Uniting Research, Education and Management*, December 3 – 7 2012, Portland Oregon Convention Center, USA. Communication orale.

GANTEAUME A., JAPPIOT M., CURT T., LAMPIN C., BORGNIE T. L., 2012. Comparison of flammability of litters sampled according to two different methods. *5th International Fire Ecology & Management Congress Uniting Research, Education and Management*, December 3 – 7, 2012, Portland Oregon Convention Center, USA. Poster.

GANTEAUME A., JAPPIOT M., LAMPIN C., ESTEVE R., N'DIAYE A., GUERRA F., LOPEZ J.M., GUIJARRO M., HERNANDO-LARA C., 2012. Assessing and ranking the flammability of ornamental species in WUI (SE France). *12th International Wildland Fire Safety Summit*, Sydney, Australia, 25–26 October 2012. Poster.

GANTEAUME A., JAPPIOT M., LAMPIN C., 2012. Assessing and ranking the flammability of some ornamental plant species to select firewise plants for landscaping in WUI (SE France). *EGU General Assembly*, Vienna, Austria, 22 – 27 April 2012. Poster.

LONG-FOURNEL M., **GANTEAUME A.**, JAPPIOT M., ANDRIENKO G., ANDRIENKO N., 2012. Analysis of fire cause spatial and temporal distribution in France. *EGU General Assembly*, Vienna, Austria, 22 – 27 April 2012. Communication orale.

GANTEAUME A., JAPPIOT M., 2011. What causes large fires in South-Eastern France? *Exploring the mega-fire reality 2011: a Forest Ecology and Management Conference*. 14-17 November 2011, Tallahassee, FL, USA. Communication orale.

GANTEAUME A., JAPPIOT M., LAMPIN-MAILLET C., CURT T., BORGNIE L., ESTEVE R., MARTIN W., N'DIAYE BOUBACAR A., 2011. Effect of fire regime on litter flammability and on structure of *Pinus halepensis* stand. *4th International Conference on Mediterranean Pines*. 06-10 June 2011, Avignon, France. Poster.

LAMPIN C., JAPPIOT M., LONG-FOURNEL M., **GANTEAUME A.**, BOUILLON C., MORGE D., 2011. An innovative approach for wildfire risk spatial assessment in wildland-urban interfaces : a study case in South of France. *Wildfire 2011 5th International Wildland Fire Conference*. 09-13 May 2011, Sun City, South Africa. Communication orale.

JAPPIOT M., **GANTEAUME A.**, LAMPIN-MAILLET C., LONG M., BORGNIE L., CURT T., ESTEVE R., MARTIN W., N'DIAYE BOUBACAR A., 2011. Fuel description at different scales: from the litter to the landscape. *Wildfire 2011 5th International Wildland Fire Conference*. 09-13 May 2011, Sun City, South Africa. Poster.

GANTEAUME A., JAPPIOT M., LAMPIN-MAILLET C., CURT T., BORGNIE L., ESTEVE R., MARTIN W., N'DIAYE-BOUBACAR A., 2010. Comparison of flammability of undisturbed and disturbed litters sampled on limestone-derived soils in Provence (SE France). *Vith International Conference on Forest Fire Research*. 15-19 Nov. 2010, Coimbra (Portugal). Communication orale.

GANTEAUME A., ALEXANDRIAN D., JAPPIOT M., LAMPIN-MAILLET C., CURT T., BORGNIE L., ESTEVE R., MARTIN W., N'DIAYE-BOUBACAR A., 2010. Impact of the live fuel structure on fire behavior in limestone Provence (SE France). *3rd International Conference on Fire Behaviour and Fuels*. 25-29 Oct. 2010, Spokane (WA), USA. Communication orale et poster.

GANTEAUME A., JAPPIOT M., LAMPIN-MAILLET C., CURT T., BORGNIE L., ESTEVE R., MARTIN W., N'DIAYE-BOUBACAR A., 2009. Effects of végétationtype and fire regime on the flammability of non-reconstructed litters sampled in limestone Provence (Southeastern France). *AFE 4th International Congress*. 30 Nov.-4 Dec. 2009, Savannah (GA), USA. Communication orale.

GANTEAUME A., JAPPIOT M., BORGNIE L., LAMPIN-MAILLET C., CURT T., MARTIN W., ESTEVE R., N'DIAYE-BOUBACAR A., 2008. Fuel ecological description in calcareous Provence (Southern France). Effects of wildfire recurrence and of végétationtypes. *IUFRO Conference on Biodiversity on forest ecosystems and landscapes*. 4-8th August 2008, Kamloops (BC), Canada. Poster

GANTEAUME A., JAPPIOT M., LAMPIN-MAILLET C., CURT T., SCHAFFHAUSER A., BORGNIE L., ESTEVE R., MARTIN W., BAUDEL J., 2008. Comparison of the disturbed litter flammability collected on calcareous soils and acidic soils in Southern France. *IUFRO Conference on Biodiversity on forest ecosystems and landscapes*. 4-8th August 2008, Kamloops (BC), Canada. Poster.

CURT T., **GANTEAUME A.**, ALLEAUME S., BORGNIE L., JAPPIOT M., LAMPIN C., CHANDIOUX O., 2007. végétationflammability and ignition potential at road-forest interfaces (Southern France). *IVth International Wildland Fire Conference*, 14-17 mai 2007, Séville (Espagne). Poster.

JAPPIOT M., LAMPIN C., LONG M., RIPERT C., ALEXANDRIAN D., BORGNIET L., BOUILLON C., CHANDIOUX O., D'AVEZAC H., ESTEVE R., **GANTEAUME A.**, LE BIHAN M., MORGE D., PIANA C., ROUCH L., 2007. Improving the identification of the forest fire ignition causes for developing a georeferenced database. *Forest Focus C-studies conference*, European Commission, Directorate General Environment, 22 octobre 2007, Bruxelles (Belgique). Communication orale.

2.1.2. Colloques nationaux

GANTEAUME A., JAPPIOT M., LAMPIN-MAILLET C, CURT T., BORGNIET L., SCHAFFHAUSER A., ESTEVE R., MARTIN W., N'DIAYE-BOUBACAR A, ALEXANDRIAN D., 2010. Le combustible: Evaluation de la combustibilité et de l'inflammabilité de la végétation en Provence. *Colloque de restitution Fire Paradox*. 06 Nov. 2010. Aix en Provence, France. Communication orale.

JAPPIOT M., LAMPIN C., LONG M., RIPERT C., PIANA C., **GANTEAUME A.**, ALEXANDRIAN D., D'AVEZAC H., TATONI T., VALETTE J.C., 2007. Amélioration de l'identification des causes de départ de feux de forêts afin de développer une base de données géoréférencées ». *Séminaire ECOFOR* « suivi continu des forêts », sur la base des projets du programme national « Forest Focus France » et « Biosol », AgroParisTech-Engref, 3 avril 2007, Paris (France). Communication orale.

GANTEAUME A., LAMPIN C., JAPPIOT M., ALEXANDRIAN D., 2006. SALTUS: connaissance et modélisation des sautes de feu. *Rencontres euroméditerranéennes Feux de forêt*, Gardanne, 11-14 décembre 2006, Marseille (France). Communication orale.



PARTIE 2 :

Activités scientifiques

Mes activités de recherche depuis mon doctorat jusqu'à aujourd'hui couvrent plusieurs thématiques, toutes dans le domaine de l'écologie, tant au niveau terrestre que marin, dans le domaine animal ou végétal. Elles illustrent parfaitement ma capacité d'adaptation à travailler sur des sujets totalement différents, dans des environnements géographiques différents. Dans cette partie, je présenterai successivement mes activités dans ces différents domaines en passant plus succinctement sur les deux premières thématiques pour me concentrer plus spécifiquement sur les travaux que j'effectue à Irstea depuis 2006.



1. Entomologie : vecteurs et interactions

Mes travaux de recherche ont débuté sur cette thématique dans le cadre de mon doctorat puis se sont poursuivis lors de mon post-doctorat. J'ai pu ainsi aborder deux disciplines relatives à l'entomologie, tout d'abord la lutte intégrée en travaillant sur la relation hôte-parasite d'un homoptère ravageur des cultures et d'un hyménoptère utilisé comme auxiliaire puis l'entomologie médicale en régions tropicales face aux graves problèmes de santé publique que posent dans ces zones les moustiques vecteurs de graves maladies. L'acquisition des données lors de ces travaux a nécessité l'élevage d'insectes et beaucoup d'expérimentations en laboratoire, que ce soit des dissections ou des analyses chimiques. Ces travaux se sont déroulés dans des structures allant du secteur privé (Etablissement Duclos-Agrobiotech) aux organismes de recherche de type EPST (CIRAD) ou fondation (Institut Pasteur).

1.1. Lutte intégrée

Le contexte

Pour palier les résistances aux produits chimiques développées par les organismes ravageurs des cultures, la lutte intégrée, alliant lutte biologique et lutte chimique raisonnée, faisait son apparition dans les années 70. Pour cela, l'élevage d'organismes auxiliaires des cultures (prédateurs comme la coccinelle, ou parasites des ravageurs) se mettait en place à cette époque. C'est sur l'hyménoptère Aphelinidae *Encarsia formosa*, parasite du ravageur *Trialeurodes vaporariorum* (Aleurode des serres) que j'ai effectué ma thèse de 1989 à 1993, suite à mon stage de DEA (Fig 1.). A cette époque, le département de Lutte Intégrée des Etablissements Duclos Agro-Biotech (Septème les Vallons) commercialisait cet insecte auprès des agriculteurs mais cherchait à améliorer son conditionnement pour l'exportation. Dans ce cadre, mes travaux ont su lier recherche appliquée et recherche fondamentale. Le côté appliqué consistait à travailler sur l'amélioration de la production de cet insecte sur substrat artificiel et sur la mise au point d'une méthode de stockage au froid au stade nymphal (stade auquel *Encarsia* était commercialisé). Le côté fondamental consistait à mesurer l'adaptation au froid de ce parasite par dosage de substances cryoprotectantes (glycérol) et à mettre en évidence l'importance de l'apport d'une substance énergétique pour palier le stress dû au conditionnement.



Fig. 1 : *Encarsia formosa* parasitant une larve d'Aleurode.

Ce qui ressort de ces travaux...

Après la dissection sous binoculaire de milliers de larves d'aleurodes et l'élevage de centaines d'*Encarsia formosa*, les résultats de mes recherches ont montré notamment que :

- le changement de substrat (plante-hôte -> substrat artificiel) ne perturbe pas le potentiel biotique du parasite et l'ajout d'une substance énergétique (sucre) dès l'émergence des insectes permet une augmentation de leur efficacité (Fig. 2),
- le stockage au froid a un effet nocif sur *Encarsia formosa* : diminution du taux

d'émergence avec la diminution des températures de stockage et avec l'augmentation de la durée de stockage à ces températures. L'apport de sucre permettait cependant de palier l'effet dû au froid mais pour une durée de stockage limitée (Fig. 3),

- la photopériode a un effet significatif sur la production de glycérol et sur le potentiel biotique de l'insecte parasite.

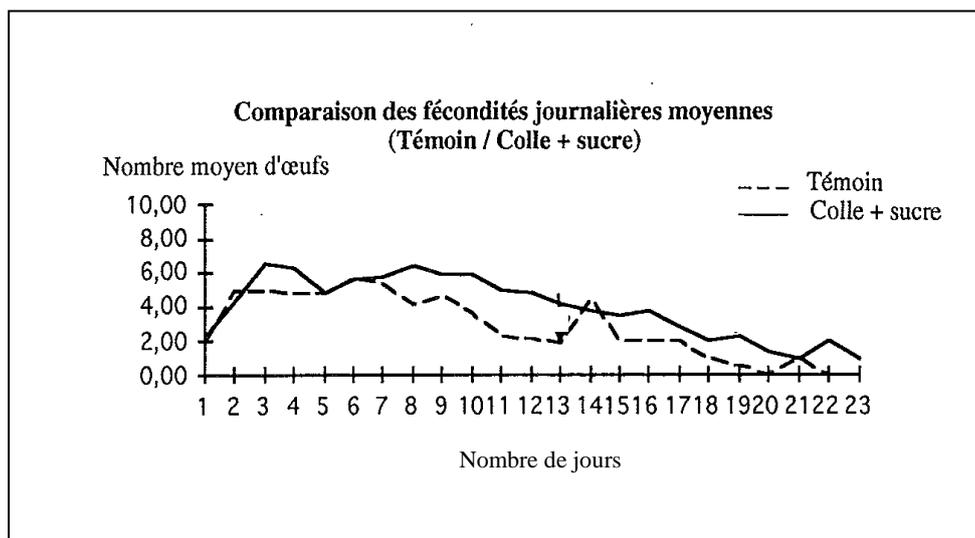


Fig. 2 : Comparaison des fécondités journalières moyennes d'*E. formosa* avec et sans changement de substrat

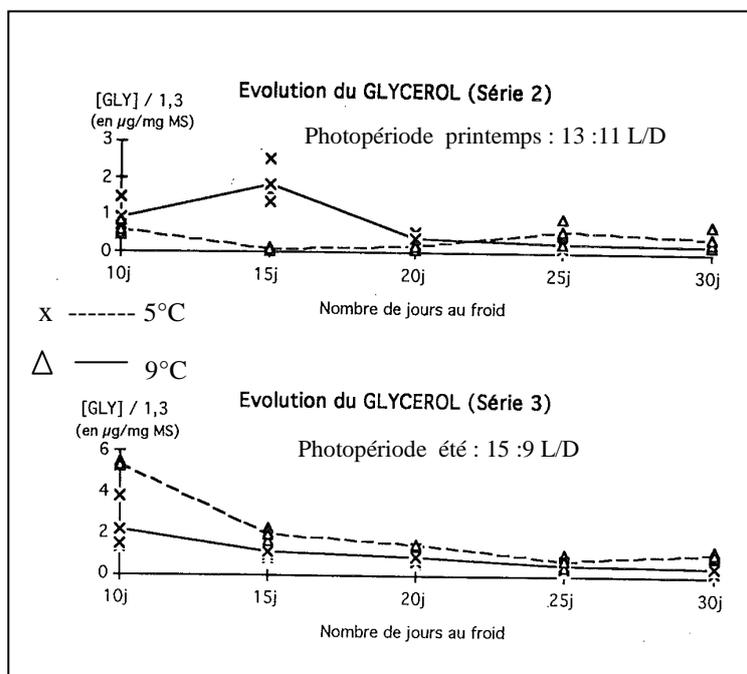


Fig. 3 : Evolution du taux de glycérol en fonction du stockage au froid des nymphes d'*E. formosa*

Valorisation

Ces résultats ont débouché sur la publication de trois articles scientifiques (Ganteaume et al. 1995a, 1995b, 1996).

1.2. Entomologie médicale

Le contexte

Suite à mes travaux de thèse, j'ai effectué, de 1994 à 1996, un post-doctorat à Cayenne dans le cadre d'une collaboration entre l'Institut Pasteur de la Guyane française et le CIRAD-EMVT de Guyane. Ce travail s'inscrivait dans un programme de recherche visant à développer un mécanisme d'immunisation chez les mammifères (ici le cobaye) contre le moustique *Aedes aegypti*, vecteur, en régions tropicales, de maladies comme la dengue et de la fièvre jaune (Fig. 4).



Fig. 4 : *Aedes aegypti*, le moustique tigre vecteur de la fièvre jaune et de la dengue.

Dans ce cadre, il m'a fallu tout d'abord activer la création d'anticorps (mis en évidence par transfert de protéines, le Western blot) contre le moustique chez les cobayes par injection de protéines (de trois classes de taille de protéines solubles + une classe de protéines peu solubles et particules) obtenues après broyat et filtration d'intestins d'*Aedes* puis suivre les potentialités biotiques (mortalité, fécondité totale et taux de nymphose) des moustiques gorgées sur cobayes témoins ou immunisés. La réponse immunitaire a également été étudiée *in vitro* par électrophorèse et Western Blot. Outre l'élevage d'insectes qui m'était familier, ces travaux m'ont permis d'aborder les expérimentations utilisées en biologie moléculaire dans le cadre de la détection et de l'identification de protéines spécifiques dans les échantillons de sang prélevés sur les cobayes.

Ce qui ressort de ces travaux...

- Le taux de nymphose est le seul paramètre biotique à être affecté par l'immunisation mais seulement avec les antigènes de poids moléculaire élevé (diminution de 15% par rapport au lot témoin),
- aucune reconnaissance antigène-anticorps n'a pu être mise en évidence par Western Blot pour la classe de protéines de faible poids moléculaire (< 30 kDa).

Ces résultats pourraient s'expliquer par une séparation insuffisante des antigènes sur la base de leur poids moléculaire voire par l'existence d'épitopes communs aux différentes fractions de protéines. Ce type d'immunisation avait fait ces preuves sur les tiques, vecteurs d'hémoparasites (comme les babésies) chez le bétail ; cependant, le moustique étant un organisme plus évolué anatomiquement et physiologiquement, notamment par la présence d'une membrane péritrophique dans l'intestin qui pourrait ralentir le passage des immunoglobulines dans l'hémolymphe de l'insecte, ce qui expliquerait la mortalité et de la fécondité des *Aedes* n'aient pas diminué significativement suite à l'immunisation des cobayes. Une piste de recherche serait d'utiliser d'autres antigènes cibles que ceux de la paroi intestinale du moustique.



2. Ecologie marine

La maîtrise en océanographie que j'ai effectuée lors de mon cursus universitaire m'a permis d'acquérir de solides connaissances en écologie marine, de me créer un réseau relationnel dans ce milieu, mais également de confirmer un penchant certain pour le travail en milieu marin. Malgré une fin de cursus orientée vers les écosystèmes méditerranéens continentaux avec une thèse puis un post-doctorat dans le domaine de l'entomologie, c'est tout naturellement que, lorsque l'opportunité s'est présentée, j'ai rejoint les équipes travaillant en écologie marine (UMR DIMAR Aix-Marseille Université ; EA4228 ECOMERS Université de Nice-Sophia Antipolis). La plupart de mes travaux de recherche faisaient partie de programmes d'évaluation de l'impact de facteurs extrinsèques (pollution, aménagement, pêche), mais également de l'impact d'une espèce envahissante, la chlorobionte *Caulerpa taxifolia* sur le milieu marin.

Je ne présenterai ici que les principaux axes de recherche dans lesquels j'ai travaillé.

2.1. *Caulerpa taxifolia* : l'« alien »

Le contexte

L'arrivée de cette invasive tropicale et son expansion spectaculaire en Méditerranée nord occidentale dans les années 80 a fait couler beaucoup d'encre et a agité l'opinion publique pendant plus de deux décennies. Régulièrement le problème des espèces invasives se pose sur les côtes méditerranéennes françaises, notamment via les exploitations conchylicoles, mais le problème *Caulerpa taxifolia* était à l'époque sans précédent (je mettrais actuellement un bémol à cela face à l'expansion fulgurante de *Caulerpa racemosa* sur nos côtes...) puisque cette espèce colonisait tous les substrats avec un recouvrement important (Fig. 5) dans une large gamme de profondeur, éliminant les espèces algales endémiques et concurrençant voire supplantant la magnoliophyte endémique de Méditerranée *Posidonia oceanica*, grâce à l'émission de métabolites secondaires toxiques et à une importante capacité à se reproduire végétativement.



Fig. 5 : Frondes de la Chlorobionte *Caulerpa taxifolia*

Au sein de l'UMR DIMAR, dans le cadre du contrat européen DG XI LIFE, mes travaux ont concerné tout d'abord l'étude de la dynamique des peuplements à *Caulerpa taxifolia* avec le suivi d'une station du Cap Martin (Alpes-Maritimes). Il s'agissait de définir leurs modalités de structuration en fonction des facteurs biotiques et mésologiques. Par ailleurs, devant l'étendue des surfaces entièrement colonisées par *C. taxifolia*, la question se posait quant à l'alimentation des espèces herbivores présentes sur ces zones. Mes recherches dans ce domaine se sont rapportées au comportement alimentaire de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* en présence de cette algue. Cet échinoderme est majoritairement herbivore et se nourrit essentiellement d'algues endémiques (non toxiques) et de feuilles de *Posidonie*.

Ce qui ressort de ces travaux...

- La colonisation est maximale sur matre morte où les rhizoïdes de Caulerpe peuvent aisément s'ancrer et minimale sur vase. La colonisation de l'herbier s'effectue principalement par son centre et non par son front à partir de multiples fragments de stolons apportés par la houle,

- en l'espace d'un an, le taux de recouvrement en *C. taxifolia* a augmenté (x 3) dans l'herbier à *Posidonia oceanica* et a diminué (/ 4) sur sable (Fig. 6),
- les frondes de caulerpe sont plus longues dans l'herbier (et particulièrement en front d'herbier) que sur sable ou matte morte du fait de la compétition pour la lumière, particulièrement à l'automne,
- lorsqu'il ne dispose d'aucune autre source de nourriture, l'oursin *Paracentrotus lividus* développe une accoutumance à *C. taxifolia* malgré les métabolites toxiques qu'elle contient, même si les quantités consommées sont faibles par rapport à ce qu'ingère cet oursin lorsqu'il est nourri avec d'autres algues.

Valorisation

Ces travaux ont débouché sur la publication d'un article scientifique (Ganteaume et al. 1997) et sur deux communications dans des colloques internationaux.

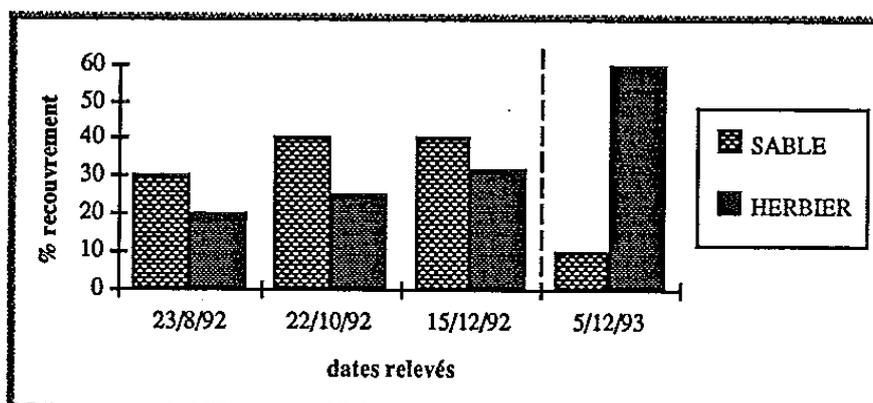


Fig. 6 : Variation de recouvrement en *Caulerpa taxifolia* dans le temps et en fonction du substrat

2.2. L'herbier à *Posidonia oceanica*

Le contexte

Qui ne connaît pas cette magnoliophyte endémique de Méditerranée dont les feuilles en forme de ruban vert foncé ondulent sur le fond au gré de la houle ? Les herbiers de Posidonie constituent l'un des écosystèmes majeurs de Méditerranée, notamment sur fonds sableux, et jouent un rôle important dans la protection des côtes contre l'érosion. Ces herbiers sont utilisés comme bio-indicateurs de la bonne santé du milieu. Malheureusement, les perturbations principalement d'origine anthropiques, ont sévèrement affecté la santé des herbiers, provoquant leur recul sur une grande partie du littoral. Cette espèce, à forte valeur patrimoniale, est donc protégée au niveau national depuis 1988 et au niveau international par la convention de Berne. Au sein du laboratoire EA4228 ECOMERS (Université de Nice-Sophia Antipolis) puis du GIS Posidonie (UMR Dimar Aix-Marseille université), mes

recherches ont concerné l'impact des perturbations telles que les mouillages forains sur l'herbier à *Posidonia oceanica*.

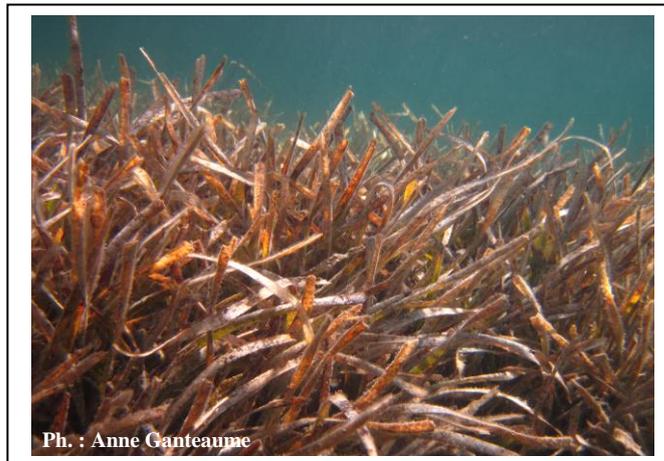


Figure 7 : L'herbier à *Posidonia oceanica*.

Ce qui ressort de ces travaux...

- L'ancrage des bateaux entraîne la destruction de la matte de l'herbier, d'autant plus si sa compacité est faible et ses rhizomes déchaussés,
- la mesure de divers paramètres caractérisant la vitalité de l'herbier à *P. oceanica* a permis de mettre en évidence une corrélation positive entre le recouvrement en herbier ou la densité en faisceaux de feuilles et une forte pression d'ancrage,
- le même type de corrélation a été établi entre la proportion de rhizomes plagiotropes ou le degré de fragmentation de l'herbier et une pression d'ancrage moyenne.

Valorisation

Ces travaux ont débouché sur la publication de trois articles scientifiques (Francour et al. 1999 ; Ganteaume et al. 2005a, 2005b).

2.3. Le mérou brun *Epinephelus marginatus*

Le contexte

Le mérou brun (*Epinephelus marginatus*, Lowe, 1834) est LE poisson emblématique de Méditerranée. Avec son allure débonnaire et sa bonne bouille c'est une star, un brin cabocharde, qui fait son show sous les flashes des appareils photos et fait craquer tous les plongeurs. Il y a encore une vingtaine d'années, on ne rencontrait sur nos côtes que de gros individus, des mâles matures, cette espèce étant hermaphrodite protérogyne, et leur nombre était restreint. Mais depuis les années 90, les effectifs des populations de mérous bruns sont en net progrès partout en Méditerranée française, avec une augmentation progressive des mérous de taille inférieure à 40 cm, donc de jeunes femelles, dans les aires marines protégées ou dans les zones ne bénéficiant d'aucune protection. Dans certains endroits, des phénomènes de

reproduction ont même été constatés. Afin de ne pas rompre ce fragile équilibre, le mérou bénéficie de plusieurs mesures de protection, au niveau européen (annexes III des Conventions de Berne et de Barcelone) et au niveau national où la pêche à l'hameçon et la chasse sous-marine de cette espèce sont interdites par moratoire sur le littoral méditerranéen français (ce moratoire vient d'être reconduit en décembre 2013 pour une durée de dix ans).

Dans le cadre des travaux de recherche du laboratoire EA4228 ECOMERS (Université de Nice-Sophia Antipolis) et du CPIE Côte Provençale (Atelier Bleu du Cap de l'Aigle), j'ai étudié la structure et la dynamique des populations de mérou brun dans les aires marines protégées (Parc national de Port-Cros) et non protégées (Baie de La Ciotat), avec notamment le suivi de l'arrivée progressive de jeunes mérous depuis le début des années 90.

Ce qui ressort de ces travaux...

- Des hypothèses ont pu être avancées quant au recrutement d'*E. marginatus* par dispersion et migration saltatoire. Depuis 1996, ce recrutement est régulier dans les aires marines protégées et est favorisé par le sex-ratio en faveur des femelles, la protection partielle de l'espèce et le réchauffement progressif des eaux de la Méditerranée.
- Dans les zones ne bénéficiant d'aucune protection, les effectifs de mérous bruns sont aussi en augmentation (Fig. 8) et l'évolution de la structure démographique de cette espèce a clairement montré une maturation de la population au cours de temps et des amorces de recrutement à différentes périodes avec la présence d'individus de petite taille dans les comptages (Fig. 9).

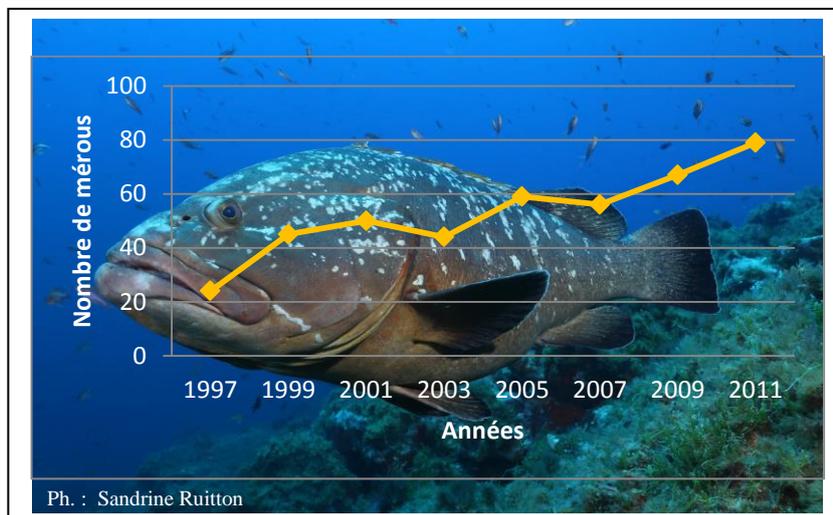


Fig. 8: Evolution des effectifs de mérous entre 1997 et 2011 dans la baie de La Ciotat

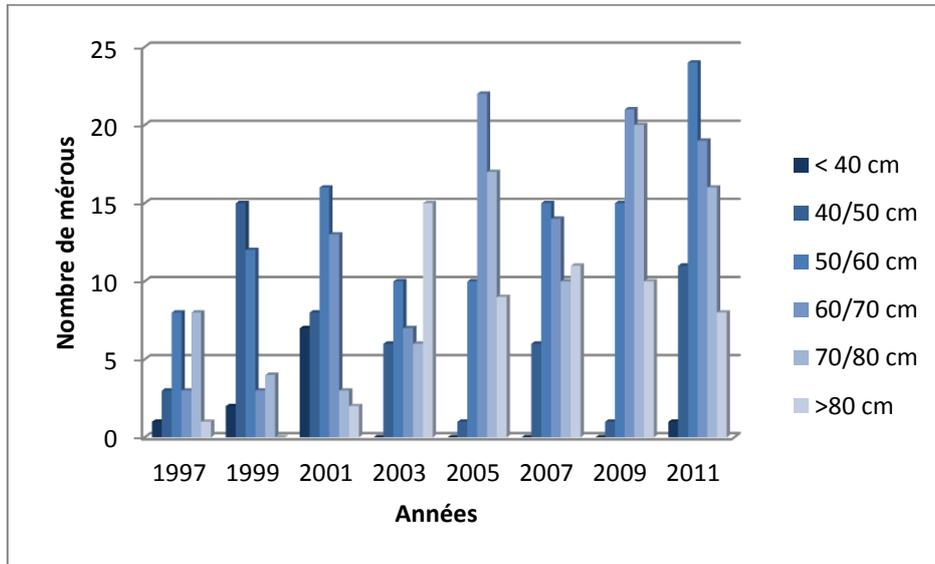


Fig. 9: Evolution de la structure démographique des populations de mérours dans le golfe de La Ciotat entre 1997 et 2011

Valorisation

Ces travaux ont débouché sur la publication de trois articles scientifiques (Francour & Ganteaume 1999 ; Bodilis et al. 2002, 2003) et sur trois communications dans des colloques internationaux.



3. Ecologie du feu et risque d'incendie en région méditerranéenne

L'année 2006 marque un nouveau tournant dans ma carrière scientifique avec une réorientation thématique vers l'écologie terrestre. En effet, à cette époque j'ai été recrutée au sein de l'Unité de Recherche « Ecosystèmes Méditerranéens et Risques » (EMAX) d'Irstea Aix-en-Provence, tout d'abord en CDD puis titularisée en 2012 sur un poste de Chargée de recherche. Mes activités de recherche se rattachent à la thématique du risque d'incendie et elles s'effectuent principalement dans le cadre de programmes de recherche européens (FIRE PARADOX, FIRESMART, FUME, projet du Joint Research Centre) ou nationaux (MAPRAAT-MEDDTL/DGPR). Elles visent notamment à l'amélioration de la connaissance du combustible (inflammabilité, combustibilité) en région méditerranéenne, notamment dans les interfaces habitat-forêt, et de l'environnement spatial des feux dans le contexte du changement global.

Le contexte

La région méditerranéenne française est caractérisée par d'importantes surfaces d'espaces naturels s'entremêlant avec des espaces urbanisés. Soumis à des conditions environnementales très contraignantes (sécheresse climatique, sols dégradés), les écosystèmes méditerranéens sont aussi caractérisés par une biodiversité très élevée. Dans un contexte de mutation rapide des paysages soumis historiquement à un abandon cultural élevé et une croissance urbaine très forte, les systèmes écologiques naturels et semi-naturels sont soumis également à des perturbations récurrentes sous l'action principalement des feux de forêt. Dans ce contexte, améliorer la compréhension des facteurs d'ignition, notamment dans les interfaces habitat-forêt qui sont les plus exposées, permettra une meilleure prise en compte et donc une meilleure prévention du facteur risque d'incendie à l'échelle locale. Un des objectifs de recherche de l'unité EMAX est la production d'une évaluation spatialisée du risque d'incendie, intégratrice de ses deux composantes que sont l'aléa et la vulnérabilité, pour l'aide à la décision de gestion et de maîtrise de ce risque, à plusieurs échelles spatiales et temporelles. Dans ce cadre, mes recherches se sont attachées à l'amélioration de la connaissance des facteurs de risque, notamment en interfaces habitat-forêt, en distinguant les facteurs liés à l'écosystème (e.g. inflammabilité, combustibilité de la végétation) de ceux liés aux systèmes anthropiques notamment par la connaissance de l'aléa d'éclosion.

La zone d'étude

Mes travaux sur le risque d'incendie ont été réalisés en basse Provence, région localisée dans la partie sud-est de la France. Le paysage de cette région est formé d'une mosaïque complexe de zones urbaines et rurales juxtaposées avec des zones couvertes de végétation naturelle qui ont un long passé de perturbations à la fois naturelles et anthropiques (Fig. 10). Les travaux relatifs à l'inflammabilité et la combustibilité de la végétation méditerranéenne ont été menés plus spécifiquement dans les départements des Bouches-du-Rhône et du Var. Dans ce cadre, l'utilisation de la base de données régionale des feux de forêt numérisée a permis de reconstruire l'historique des feux dans cette région depuis 1959 en prenant en compte des variables telles la fréquence des feux sur la période 1959-2008 (combien de fois une zone a été brûlée) ou le temps écoulé depuis le dernier feu. Le régime de feu actuel est caractérisé par une fréquence de feu moyenne relativement basse en certains endroits (ca. 1.5 feux pour une période de 50 ans) et par une dominance des petits feux résultant en une mosaïque de maille fine parsemée de grandes cicatrices de feu résultant d'incendies extrêmes (Faivre et al. 2011).

La région Provence inclut une large gamme d'écosystèmes méditerranéens adaptés au feu et dépendant de la nature du substrat (calcaire ou siliceux). La pinède à *Pinus halepensis* (pin d'Alep) est un des types de végétation forestière les plus fréquents en Provence calcaire (Quézel 2000) et les peuplements mixtes pin-chêne (chêne vert ou chêne pubescent) précèdent souvent la forêt de chêne (Quézel & Médail 2003). En Provence siliceuse, les peuplements à *Quercus suber* (chêne liège) occupent la majorité des surfaces forestières, parfois en mélange avec *Pinus pinaster* (pin maritime) et *Q. pubescens* (chêne pubescent) dans les peuplements matures. En région méditerranéenne française, de grandes surfaces sont occupées par des peuplements bas appelés "garrigue" sur sol calcaire et dominés par *Q. coccifera* (chêne

kermès) ou “maquis” sur sol acide dominés par *Cistus monspeliensis* (ciste de Montpellier), *Calicotome spinosa* (calicotome épineux) ou *Erica arborea* (bruyère arborescente). Ces types de végétation sont représentatifs des séquences de succession post-incendie sur les deux types de substrats et forment une mosaïque de végétation dans le paysage, régulièrement refaçonnée par les incendies de forêt (Tatoni & Roche 1994).

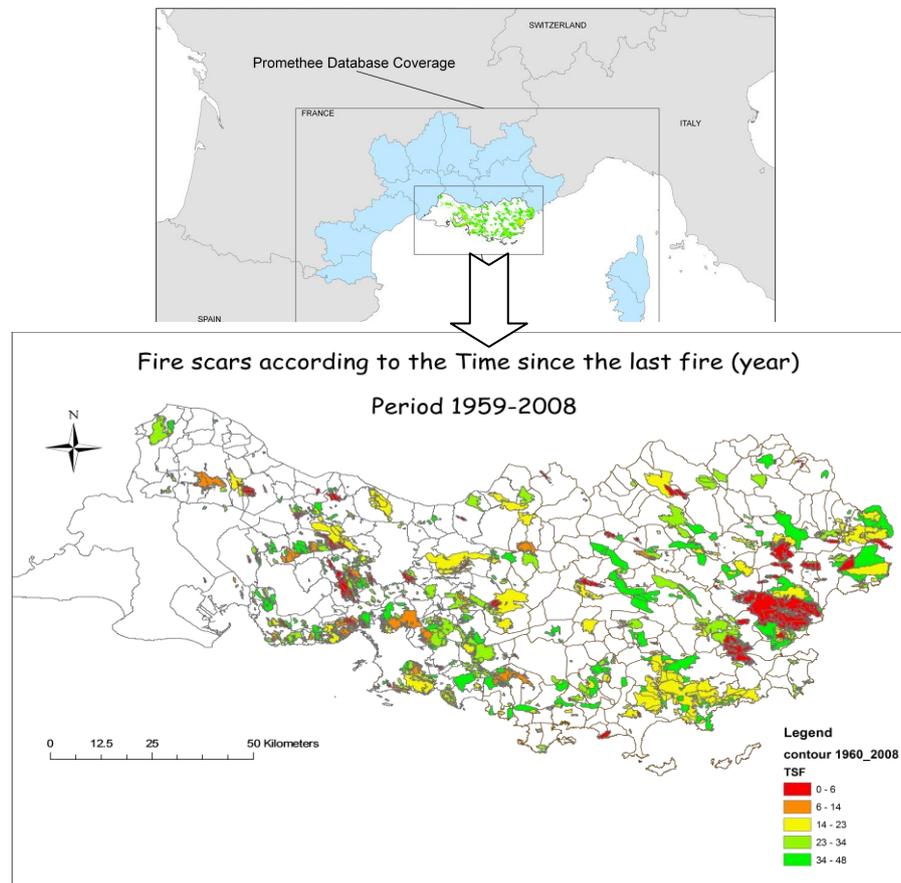


Fig. 10 : Zone d'étude (départements des Bouches du Rhône et du Var) et cicatrices de feu selon l'intervalle depuis le dernier feu dans cette zone.

Le risque d'incendie

Deux composantes forment le risque d'incendie, (i) l'**aléa** qui concerne le phénomène par lui-même et est défini par sa probabilité d'occurrence et son intensité, et (ii) la **vulnérabilité** des enjeux soumis à l'aléa qui est définie par le type d'enjeux et les parades mises en place pour y palier (Fig. 11). L'essentiel de mon travail concerne la composante aléa du risque d'incendie, qui dépend elle-même de facteurs humains et naturels dont la végétation combustible fait partie.

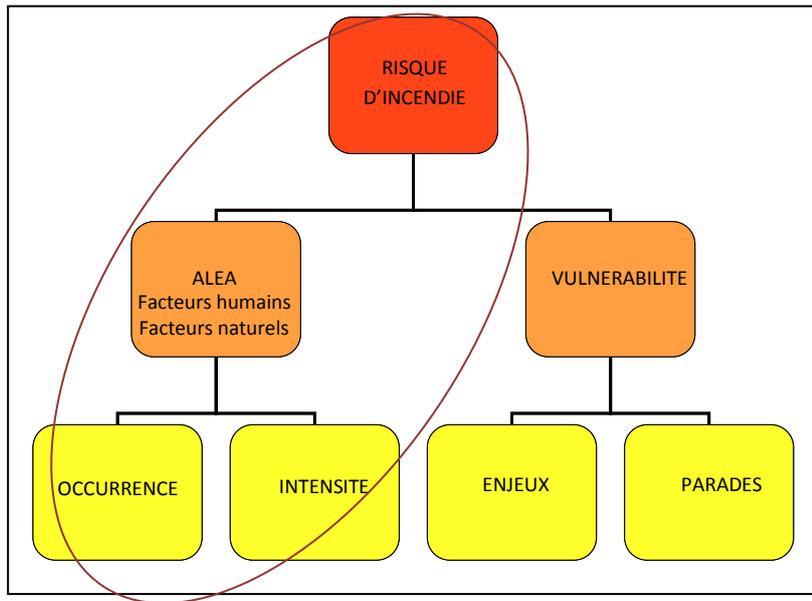


Fig. 11 : Le risque d'incendie et ses composantes

Le combustible est le facteur qui se situe à l'interface des trois éléments définissant un incendie de forêt : l'ignition (le départ du feu), la propagation et les effets post-incendie (Fig. 12). Il est de ce fait un composant essentiel de l'aléa mais c'est aussi un facteur mal connu qui demande à mieux être caractérisé dans le cadre de la prévention du risque d'incendie. La connaissance des combustibles est une part importante de la gestion des feux, nécessaire à la fois pour conserver la biodiversité et pour réduire l'impact néfaste du feu. Le combustible naturel se définit comme tout type de matériel combustible disponible pour l'ignition et la combustion, principalement de la matière organique vivante ou morte. Pour l'évaluation de l'inflammabilité, l'approche expérimentale en laboratoire qui se fonde principalement sur la technique des brûlages d'échantillons de combustible est privilégiée. Dans ce cadre, mes travaux de recherche concernent à la fois le départ de feu avec la caractérisation de l'inflammabilité de la végétation, et la propagation du feu en évaluant la combustibilité de cette végétation méditerranéenne.

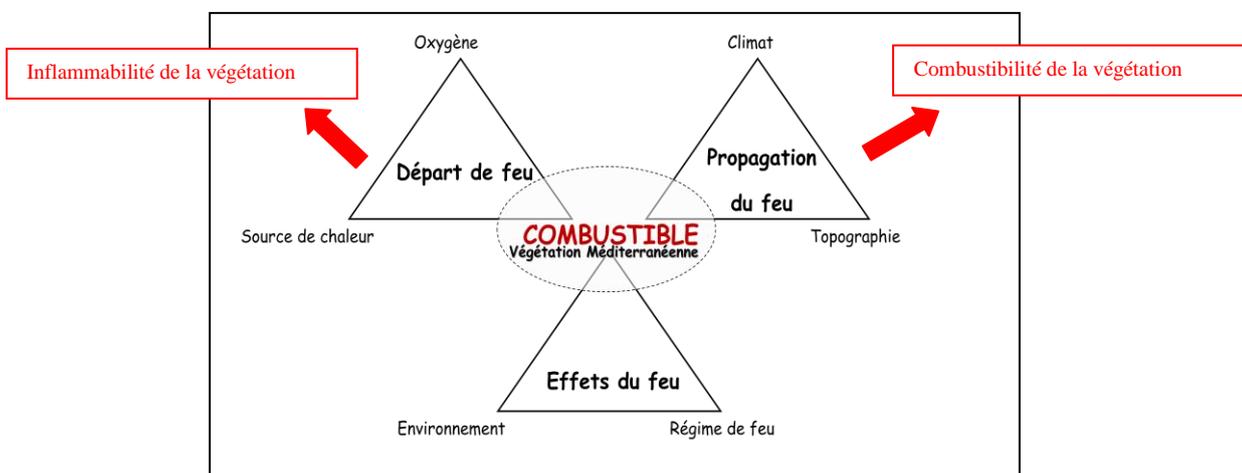


Fig. 12 : Place du combustible dans le déroulement d'un incendie de forêt.

3.1. Caractérisation de l'inflammabilité de la végétation méditerranéenne

L'inflammabilité d'un combustible est « la relative facilité avec laquelle un combustible s'enflamme et entretient la combustion » (selon *Wildland Fire Management Terminology*, FAO 1986); elle est donc étroitement liée à la phase initiale de la propagation du feu. Selon Anderson (1970) et Martin et al. (1993), l'inflammabilité est la résultante de quatre composantes: (i) l'ignitabilité (temps que met un combustible à s'enflammer lorsqu'il est soumis à une certaine source d'ignition), (ii) la durabilité (combien de temps un combustible continue à brûler suite à son ignition), (iii) la combustibilité (comment un combustible brûle relativement à la rapidité et à l'intensité dégagée par le feu), et (iv) la consumabilité (quantité de combustible consommée).

Les combustibles de surface, comme la litière, jouent un rôle crucial dans l'éclosion du feu et dans sa propagation puisqu'ils influencent sa transmission aux strates supérieures de végétation (Bradstock & Cohn 2002 ; Hogkinson 2002) et l'importance de ce combustible lors des incendies a été abordé dans de nombreux travaux que ce soit par rapport aux effets de sa structure ou de sa morphologie (Scarff & Westoby 2006).

Un manque d'études sur l'inflammabilité des litières prélevées intactes

Généralement, les expériences sur l'inflammabilité des litières utilisent des échantillons reconstruits, notamment des échantillons calibrés (en terme de biomasse) de feuilles d'une espèce donnée, d'un mélange de feuilles de différentes espèces ou de combustibles ligneux broyés. De tels travaux, initiés par Mutch (1970) puis Fonda (2001), ont pour but d'étudier l'inflammabilité de la litière en testant l'impact de différents facteurs intrinsèques comme son contenu hydrique (FMC), sa densité apparente (bulk-density), son contenu en éléments chimiques comme les terpènes ou le type de végétation. Cependant, il existe très peu de travaux sur l'inflammabilité des litières non perturbées (dites intactes) qui sont supposées représenter les litières *in situ* (en termes de structure, compacité, composition, etc.). Mes travaux se sont concentrés sur l'étude de litières totalement intactes, plus proches des conditions *in situ* et pourtant peu étudiées. Ceci a demandé la mise au point d'une méthode de récolte des échantillons bien particulière pour tester l'inflammabilité de litières telles qu'elles se présentent sur le terrain, en gardant intacte leur structure et leur composition.

Un protocole de récolte innovant

Le travail sur l'évaluation de l'inflammabilité des litières en région méditerranéenne m'a permis de mettre au point un protocole pour récolter intacts des échantillons de litière ce qui n'avait pas été fait jusqu'à présent puisqu'auparavant les expériences d'inflammabilité étaient réalisées avec des échantillons reconstruits ne prenant en compte que l'horizon supérieur et étant compactés manuellement. L'objectif principal de ce type de prélèvement est de récolter tout l'ensemble de la litière tout en gardant intacte sa structure et sa composition afin de travailler avec des échantillons le plus proches possible des litières *in situ* (Fig. 13).



Fig. 13 : Différentes méthode de récolte de la litière

Un protocole de brûlage bien standardisé

Un protocole de brûlage des litières rigoureux a été mis au point dans l'unité EMAX au cours des différents travaux de recherche sur l'inflammabilité, notamment dans le cadre du programme européen SALTUS. En fonction de la taille des échantillons et des variables de l'inflammabilité recherchées, les expériences de brûlages ont été menées soit au domaine des Vignières de l'INRA d'Avignon (grands échantillons), soit au laboratoire feu d'Irstea (petits échantillons). Lorsque l'impact du contenu hydrique des litières sur l'inflammabilité n'est pas testé, les échantillons récoltés sont séchés à l'étuve de façon à obtenir un FMC homogène sur l'ensemble des litières. Les échantillons sont brûlés sur un banc de brûlage (Fig. 14) dont l'équipement varie en fonction des besoins. Ces brûlages peuvent être réalisés avec différentes vitesses (de 0 à 9.8 kmh^{-1}) et orientations (horizontale ou oblique) de vent ; l'ignition se fait par point source à l'aide d'un morceau de bois calibré enflammé ou incandescent selon l'effet recherché. Les variables enregistrées lors du brûlage sont la fréquence d'ignition (%), le délai d'ignition (s), la durée d'ignition (s), la propagation des flammes dans l'échantillon (nombre de côtés de l'échantillon atteints par les flammes), la vitesse de propagation (cms^{-1}), la hauteur maximale des flammes (cm), la température moyenne émise par les flammes ($^{\circ}\text{C}$) et le taux de matière consommée (%).

Pour chaque type de végétation, un sous-échantillon de litière est trié afin de déterminer les proportions des différents composants de la litière qui peuvent jouer sur l'inflammabilité.



Fig. 14 : Différents dispositifs de brûlage utilisés dans les expériences d'inflammabilité

3.1.1. Inflammabilité de la végétation naturelle

➤ *Rôle des combustibles dans les sautes de feu*

Le contexte

J'ai tout d'abord été confrontée aux travaux sur l'inflammabilité des combustibles à mon arrivée dans l'Unité de Recherche EMAX, lorsque j'ai valorisé les résultats des travaux de recherche sur les sautes de feu effectués dans le cadre du programme européen Saltus. Malgré les dégâts importants en termes de biens et de personnes et la difficulté de contrôle de ce type particulier de propagation du feu, très peu de travaux sur les combustibles méditerranéens impliqués dans les sautes de feu (brandons ou lit de combustible récepteur) avaient été effectués notamment concernant l'évaluation de la capacité des brandons à initier un feu secondaire ou de la capacité d'un lit de combustible récepteur à s'enflammer, en fonction de leurs caractéristiques physiques, de paramètres environnementaux (rôle du vent, du contenu hydrique du brandon, du lit de combustible), du mode d'ignition (brandon enflammé ou incandescent).

Ce qui ressort de ces travaux...

- Sur la base des caractéristiques physiques analysées et des variables d'inflammabilité enregistrées lors du brûlage des brandons, trois groupes de brandons ont pu être identifiés dont l'efficacité varie selon la distance de saute,
- la capacité des brandons à enflammer des litières réceptrices est plus élevée quand les brandons sont enflammés et en absence de vent que lorsqu'ils sont incandescents et avec du vent,

- les modèles de régression logistique développés pour prédire la probabilité d'ignition des litières montrent une relation entre la probabilité d'ignition et le type et le poids des brandons,
- les herbacées sont plus inflammables que les litières d'arbres et d'arbustes et les litières de conifères sont plus inflammables que celles des feuillus,
- une augmentation de la densité apparente et du contenu hydrique du combustible récepteur entraîne une augmentation du délai d'ignition et une diminution des autres variables d'inflammabilité,
- les régressions linéaires ont montré que les taux de propagation des flammes variaient en fonction du lit de combustible et de leur contenu hydrique (chez les espèces arborées seulement, *Pinus halepensis* et *Quercus pubescens* étant les espèces les plus sensibles à la variation du FMC). Pour les valeurs basses de FMC, la litière d'*Ulex parviflorus* et le type d'herbacées le plus dense propagent les flammes le plus rapidement.

Les expériences de brûlage réalisées sur banc de brûlage en utilisant des litières reconstruites ont permis la mise au point de modèles prédictifs d'ignition en fonction des différents types de brandons et de lits de combustible ainsi que des modèles de propagation des flammes en fonction de différents types de lits de combustibles et de différents contenus hydriques. Les résultats relatifs à l'inflammabilité étaient fortement conditionnés par les modalités d'expériences (vent/sans vent, contenu hydrique, type de végétation, etc.), et je me suis basée sur les modalités les plus performantes mais aussi les plus proches de la réalité du terrain pour la suite de mes travaux sur l'inflammabilité.

Valorisation

La valorisation de ces travaux a débouché sur la publication de deux articles scientifiques (Ganteaume et al. 2009a, 2011b) et une communication dans un colloque national.

➤ *Evaluation de l'inflammabilité des litières prélevées en région méditerranéenne française*

Le contexte

Dans le cadre de mes études sur l'inflammabilité de la végétation méditerranéenne, j'ai travaillé essentiellement sur cinq grands types de végétation rencontrés dans le sud-est de la France: (i) les peuplements à *Pinus halepensis*, (ii) les peuplements mixtes pin-chêne, (iii) les peuplements à *Quercus suber*, ainsi que sur deux types de peuplements bas, (iv) la garrigue et (v) le maquis. Les deux derniers types diffèrent par leur composition spécifique mais également par la structure du combustible au sein du peuplement. Outre leur représentativité dans la végétation méditerranéenne, ces types de végétation ont aussi été choisis car ils constituent les types dominants de couvert végétal rencontrés dans la gamme altitudinale dans laquelle a été effectué l'échantillonnage. Par ailleurs, ces types de combustible balayent les différents stades de succession post-incendie que l'on rencontre dans notre région.

L'échantillonnage des litières intactes a été effectué en prenant en compte la variabilité de l'épaisseur de la litière dans chaque placette, les principaux types de végétation représentatifs des écosystèmes méditerranéens (sur sols calcaires et siliceux) ainsi que les différents régimes de feux de la zone d'étude (définis par le nombre de feux ayant brûlé sur une même zone et l'intervalle de temps écoulé depuis le dernier feu). Le but de ce travail était d'évaluer à la fois les effets de ces facteurs sur l'inflammabilité des litières intactes mais également d'expliquer cette inflammabilité par la composition et l'épaisseur des échantillons de litière. Bien sur, il était intéressant de comparer ces résultats à ceux qui sont obtenus en brûlant des échantillons reconstruits; ce type de comparaison n'avait jamais été fait auparavant. Mon but, ici, était de déterminer quelles étaient les différences d'inflammabilité entre les deux types de litières, c'est-à-dire de déterminer quelles étaient les composantes de l'inflammabilité les plus affectées par la reconstruction de la litière et dans quelle mesure. Par ailleurs, il était également important de savoir quels étaient les types de végétation les plus impactés par le type de collecte puisque le type, la taille et les proportions des différents composants du lit de combustible affectent l'inflammabilité (Rothermel 1983). En d'autres termes, la question était de savoir si l'inflammabilité des litières était plus influencée par leur composition ou par leur structure.

Malgré que la plupart des points d'ignition des feux de forêt soit agrégés autour des voies de communication (principalement les routes secondaires), la probabilité d'ignition et la propagation initiale des feux à l'interface route-forêt ont rarement été étudiées. Le combustible au niveau de ces interfaces inclut du combustible mort de surface (litière) et du combustible vivant (herbacées et buissons) qui présentent des caractéristiques spécifiques pouvant influencer la probabilité d'ignition : composition spécifique, cycle annuel de croissance, FMC, etc. Par ailleurs, de par les obligations légales de débroussaillage, la végétation de bord de route est fréquemment entretenue et l'influence de ces traitements sur l'ignition et la propagation initiale du feu était un point intéressant à traiter. Les expériences d'inflammabilité ont été réalisées en laboratoire, en suivant le même protocole que défini précédemment, de façon à évaluer l'effet du type de végétation, du débroussaillage, du mode d'ignition (brandon enflammé ou incandescent), de la vitesse du vent et du FMC sur l'inflammabilité du combustible de bord de route.

Ce qui ressort de ces travaux...

Les expériences de brûlage menées sur les litières intactes ont mis en évidence les résultats suivants:

- l'ignitabilité est la plus importante dans les peuplements mixtes dont les feuilles de chêne rendent la litière plus aérée, alors que les capacités à maintenir l'inflammation et à consommer la biomasse sont plus élevées dans les peuplements de pins, dont les aiguilles forment une litière très compacte,
- les paramètres de la combustibilité (température dégagée par les flammes, hauteur des flammes, etc.) sont liés à l'épaisseur de la litière et les feux récurrents ont entraîné une diminution de la combustibilité des litières du fait de la diminution de leur épaisseur avec la récurrence (Fig. 15).

Travailler sur des échantillons de litière intacte dont la proportion des composants dépend du type de végétation et du régime de feu (Fig. 16), entraîne des variations dans l'inflammabilité des litières :

- les litières riches en débris fins (<2 mm) présentent une ignitabilité réduite du fait de leur forte compacité contrairement à celles riches en brindilles fines d'*Ulex parviflorus*, de compacité moindre, qui brûlent aussi en émettant des températures élevées,
- les litières riches en particules fines et débris grossiers présentent des valeurs élevées de hauteur maximale des flammes, de durée d'inflammation et de propagation des flammes contrairement à celles riches en feuilles sempervirentes, particules grossières et éléments non-combustibles,
- les litières riches en aiguilles présentent un taux de matière consommée élevé et celles riches en herbacées et feuilles caduques brûlent très rapidement.

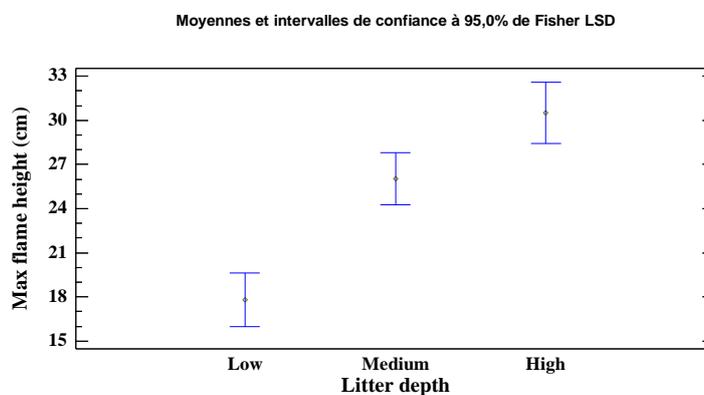


Fig. 15: Variation de la température moyenne émise par les flammes (log-transformé) en fonction de l'épaisseur de la litière (moyenne et écart-type).

La comparaison des résultats obtenus en conditions de laboratoire lors des brûlages d'échantillons de litière prélevés selon les deux méthodes de récolte a montré que :

- seuls le taux de propagation et le taux de litière consommée sont affectés par la méthode de prélèvement ; ces variables étant plus faibles quand les échantillons de litière sont reconstruits du fait de la forte influence de la densité apparente et de la composition des litières,
- même si la méthode de récolte des litières reconstituées est plus facile et plus rapide, la reconstruction ne pourrait pas permettre une évaluation précise de l'inflammabilité supposée représenter les conditions de terrain,
- le classement des types de végétation testés dans ce travail, des plus inflammables au moins inflammables, diffère en fonction du type de récolte des échantillons. Le type de litière intacte le moins inflammable devient le type de litière le plus inflammable une fois la litière reconstruite : les effets de la compaction et de la composition de la litière engendrés par la reconstruction entraînent une augmentation de l'inflammabilité

des litières de chêne liège et de maquis et une diminution de l'inflammabilité des litières des autres types de végétation (Fig. 17).

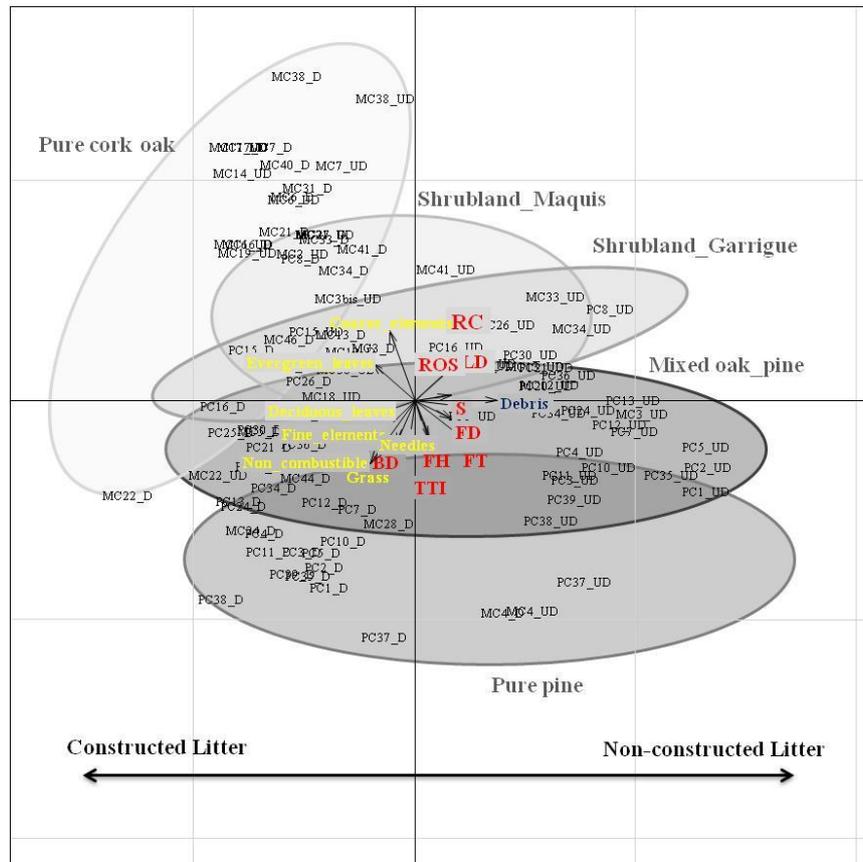


Fig. 16 : Analyse de co-inertie mettant en évidence les liens entre les caractéristiques des échantillons de litière (LD: épaisseur de litière, BD: densité apparente) et leurs variables d'inflammabilité (TTI: délai d'ignition, FD: durée d'inflammation, S: propagation des flammes, ROS: vitesse de propagation, FH: hauteur des flammes maximale, FT: température moyenne émise par les flammes, RC: taux de matière consommée).

Les résultats des expériences relatives à l'étude de l'inflammabilité du combustible de bord de route ont montré que :

- la combinaison du mode d'ignition et de la vitesse du vent affecte fortement la probabilité d'ignition, la durée d'inflammation et la propagation des flammes,
- le FMC et le type de végétation ont un impact significatif sur la durée d'inflammation et la propagation du feu,
- le débroussaillage ne réduit pas significativement la probabilité d'ignition ou la propagation initiale, en particulier avec la modalité vent faible et brandon incandescent et chez les herbacées (du fait de l'épais lit de combustible mort dû au débroussaillage facilement inflammable); ces résultats restent à être confirmés en prenant en compte différents types de gestion de la végétation de bord de route,

- une modélisation de la prédiction de l'ignition et des autres paramètres a été effectuée en utilisant la régression logistique et des régressions multiples en prenant compte les différentes modalités et dans chaque cas, le mode d'ignition et la vitesse du vent ont le plus grand poids.

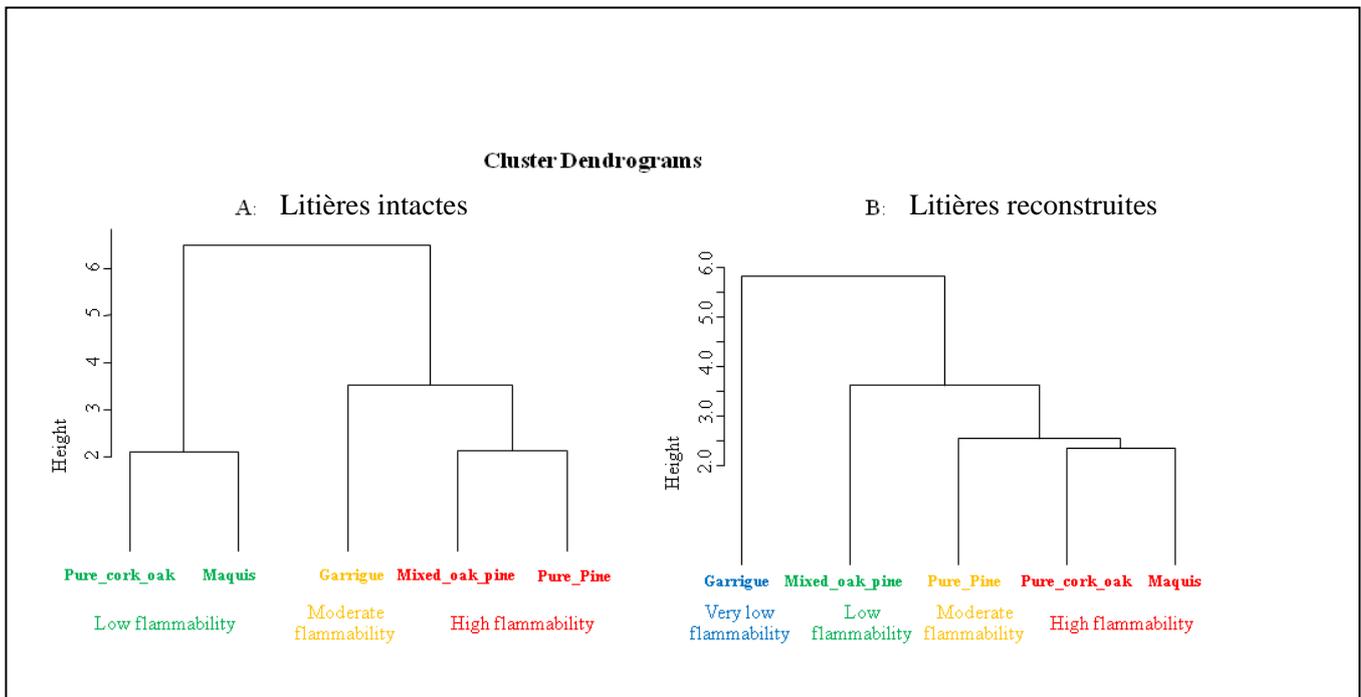


Fig. 17 : Analyse hiérarchique basée sur les variables d'inflammabilité enregistrées lors des brûlages des litières prélevées dans différents types de végétation et selon les deux méthodes de récolte.

Valorisation

Ces travaux relatifs à l'inflammabilité des litières ont débouché sur la publication de 3 articles scientifiques (Ganteaume *et al.* 2011a; Curt *et al.* 2011 ; Ganteaume *et al.* 2014), et sur 5 communications dans des colloques internationaux.

3.1.2. Inflammabilité de la végétation ornementale : la problématique des interfaces habitat-forêt

Le contexte

Il a été montré que l'imbrication croissante des milieux naturels et des constructions issues du processus de périurbanisation induisait une augmentation significative du risque d'éclosion de feux (Lampin-Maillet, 2009). Couplées à ce phénomène, les nouvelles conditions climatiques résultant du changement global sont susceptibles de modifier considérablement le régime des incendies de forêt, notamment en termes de fréquence. Aujourd'hui, de nombreux acteurs gestionnaires de l'espace urbain et forestier, chercheurs, professionnels de la lutte ont besoin, entre autres, d'informations sur le combustible en interface habitat-forêt, notamment sur les espèces végétales d'ornement, pour élaborer des plans d'aménagement, analyser le

comportement potentiel d'un incendie sur un territoire donné, ou estimer le risque et les dommages potentiels dans les interfaces. Cependant, malgré les pertes importantes qui peuvent être occasionnées lors d'un incendie dans ces zones, tant au niveau de la végétation qu'au niveau des structures voire des vies humaines, peu de travaux scientifiques, dont aucun en Europe, ont été réalisés sur l'inflammabilité de la végétation ornementale et sur leur rôle dans la propagation du feu au bâti. Ce manque de données scientifiques sur l'inflammabilité de la végétation d'ornement peut engendrer des incohérences dans les recommandations pour la sélection d'espèces peu inflammables à utiliser en zones d'interfaces habitat-forêt malgré une demande croissante.

Les objectifs

Dans le sud-est de la France, la végétation ornementale se révélant être un vecteur important de la propagation du feu aux bâtis lors des incendies en interfaces habitat-forêt, le but de mon travail a été de caractériser l'inflammabilité et la combustibilité (appréhendée ici par les proportions de particules fines et de particules mortes présentes dans la plante) de cette végétation, de façon à pouvoir identifier les espèces les moins inflammables susceptibles d'être plus utilisées dans ces zones (Programme du MEDDTL/DGPR). Ce travail a consisté à reproduire en laboratoire les deux types de mise à feu les plus répandus dans les interfaces habitat-forêt, la propagation par saute de feu avec l'inflammation de la litière sous la végétation ornementale par un brandon émis par le front de flamme (brûlages de litières) et la propagation par inflammation directe de la végétation exposée à la chaleur radiante émise par le front de flamme (brûlages de feuilles fraîches sur épiradiateur) en prenant en compte plusieurs espèces parmi les plus fréquemment utilisées en végétation ornementale dans le département des Bouches du Rhône (le laurier rose *Nerium oleander*, *Pyracantha coccinea*, le cyprès vert *Cupressus sempervirens*, *Photinia fraseri*, *Pittosporum tobira* et le laurier cerise *Prunus laurocerasus*) et une espèce ayant des caractéristiques foliaires bien spécifiques (le bambou, *Phyllostachys sp.*).

Ce qui ressort des travaux sur l'évaluation de l'inflammabilité des litières...

En ce qui concerne l'étude de l'inflammabilité des litières des sept espèces ornementales étudiées, la fréquence d'ignition, le délai d'ignition, la durée d'inflammation et la propagation initiale des flammes ont été enregistrés lors des brûlages. A cette occasion j'ai pu de nouveau établir la relation entre les proportions des différents composants des litières de chaque espèce et les variables de l'inflammabilité. En effet, ces travaux ont montré l'influence de la proportion en débris des litières sur la fréquence d'ignition et la propagation des flammes (*Photinia*, *Phyllostachys*), de la proportion en particules fines et grossières sur le délai d'ignition (*Pyracantha*) et de la proportion en feuilles sempervirentes (*Prunus*, *Pittosporum*, *Nerium*) dont la grosseur entraîne une diminution de la durée d'inflammation contrairement aux écailles de cyprès.

L'analyse hiérarchique (Fig. 18) a permis de classer les sept espèces en quatre groupes distincts des plus inflammables (*Photinia*, *Prunus*) à la moins inflammable (*Pittosporum*).

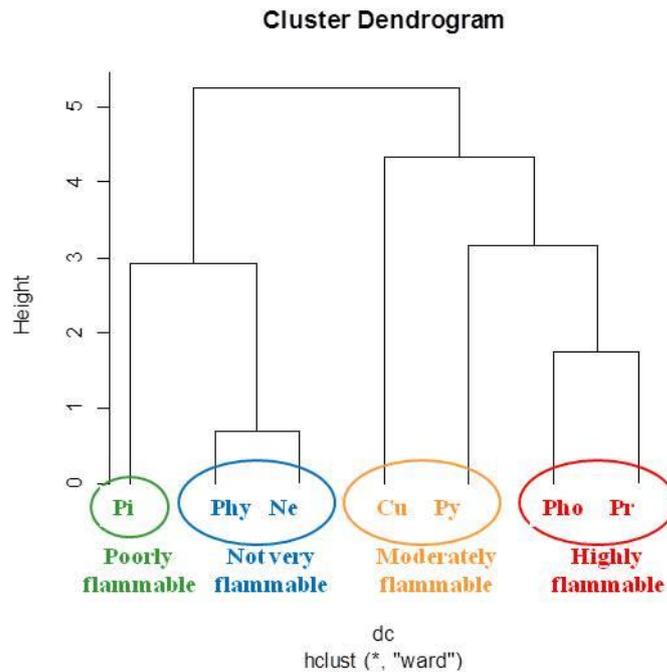


Fig. 18: Analyse hiérarchique basée sur les variables d'inflammabilité (délai d'ignition, durée d'inflammation, propagation initiale des flammes, fréquence d'ignition) enregistrées durant les brûlages des litières des sept espèces étudiées (Pi: *Pittosporum tobira*, Phy: *Phyllostachys sp.*, Ne: *Nerium oleander*, Cu: *Cupressus sempervirens*, Py: *Pyracantha coccinea*, Pho: *Photinia fraseri*, Pr: *Prunus laurocerasus*).

Ce qui ressort des travaux sur l'évaluation de l'inflammabilité au niveau particulière...

En ce qui concerne l'étude de l'inflammabilité des feuilles fraîches des sept espèces ornementales étudiées, seuls, la fréquence d'ignition, le délai d'ignition et la durée d'inflammation ont été enregistrés lors des brûlages sur épiradiateur. A cette occasion j'ai pu de nouveau établir la relation entre les caractéristiques physiques des feuilles et les variables de l'inflammabilité. Ces travaux ont mis en évidence l'importance de l'épaisseur des feuilles sur le délai d'ignition, les plus fines s'enflammant plus rapidement (*Pyracantha coccinea*, *Phyllostachys sp.*), du pouvoir calorifique des feuilles sur la durée d'inflammation et du rapport surface / volume sur la fréquence d'ignition.

L'analyse hiérarchique effectuée sur les variables d'inflammabilité a permis le classement des sept espèces (incluant les feuilles mortes de *Cupressus sempervirens*) en cinq groupes, des espèces extrêmement inflammables (*Cupressus sempervirens* mort) et très inflammables (*Photinia fraseri*, *Phyllostachys sp.*) aux espèces faiblement inflammables (*Pittosporum tobira*) (Fig. 19). Ces résultats confirment la faible inflammabilité de cette dernière espèce.

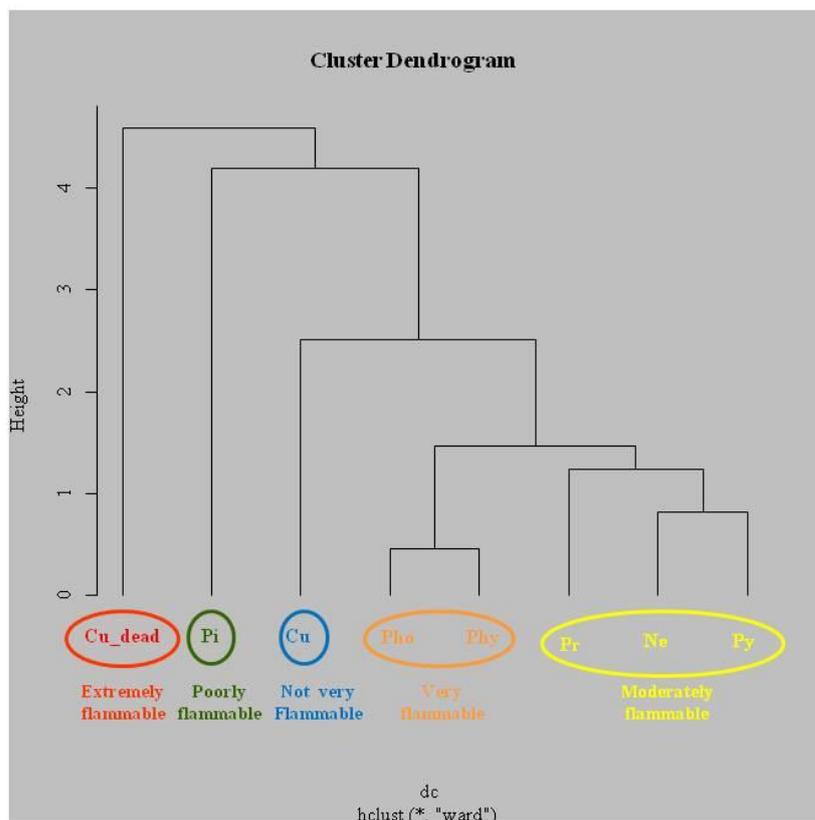


Fig. 19 : Analyse hiérarchique basée sur les variables d’inflammabilité (délai d’ignition, durée d’inflammation, propagation initiale des flammes, fréquence d’ignition) enregistrées durant les brûlages des feuilles des sept espèces étudiées (Pi: *Pittosporum tobira*, Phy: *Phyllostachys sp.*, Ne: *Nerium oleander*, Cu: *Cupressus sempervirens*, Py: *Pyracantha coccinea*, Pho: *Photinia fraseri*, Pr: *Prunus laurocerasus*).

En conclusion

Il ressort de cette étude sur la caractérisation de l’inflammabilité de la végétation ornementale que, quel que soit l’état concerné (feuille fraîche ou litière), certaines espèces sont très peu inflammables (*Pittosporum*) ou très inflammables (*Photinia*) alors que d’autres espèces présentent une inflammabilité qui varie en fonction de l’état de la plante concernée ; *Cupressus* et *Prunus* devenant plus inflammables quand on passe des feuilles fraîches à la litière contrairement au bambou. Une attention particulière doit être portée au cyprès vert, du fait de l’énorme quantité de combustible mort présente au sein de sa canopée ce qui va avoir pour effet de majorer son inflammabilité dans le cas d’un incendie.

De futurs travaux (cf § perspectives de recherches) s’attacheront à évaluer l’inflammabilité de plantes entières mais aussi de groupes de plantes, de façon à acquérir des données nécessaires à la modélisation de la propagation du feu de plante à plante et de la plante au bâti.

Valorisation

Ces travaux ont débouché sur la publication de deux articles scientifiques (Ganteaume et al. 2013a, b) et sur trois communications dans des colloques internationaux.

3.2. Combustibilité de la végétation méditerranéenne

La combustibilité d'un type de végétation peut être définie au travers de la quantité de combustible disponible pour brûler lors d'un incendie de forêt. Son évaluation est un point crucial pour l'aide à la gestion du risque d'incendie et elle passe par une description précise des combustibles.

Le contexte et les objectifs

Comme dans le cadre de l'évaluation de l'inflammabilité de la végétation méditerranéenne, mon travail de recherche s'est également orienté vers l'étude de la combustibilité des principaux types de végétation de Provence calcaire en décrivant ces combustibles à différentes échelles (peuplement, particule) et en mettant en évidence l'impact du régime de feu et du type de végétation sur la structure des peuplements.

Un des objectifs de l'évaluation de la combustibilité de la végétation méditerranéenne est de pouvoir modéliser le comportement du feu dans cette végétation. En prenant en compte les huit des neuf types de combustibles représentatifs de la Provence calcaire (Lampin *et al.*, 2004), j'ai pu simuler la propagation du feu dans ces types de végétation en utilisant le modèle physique de comportement du feu FIRETEC (Linn & Cunningham 2005; Pimont *et al.* 2009), en partenariat avec l'INRA et la société MTDA dans le cadre de programme FIRE PARADOX. Pour cela, j'ai utilisé les données issues des descriptions des combustibles (au niveau particulaire et au niveau du peuplement) en entrée du modèle physique. Les données en sortie de ce modèle sont les vitesses de propagation des flammes dans chaque type de combustible.

3.2.1. Evaluation de la combustibilité au niveau particulaire

La méthode

Tout d'abord, la combustibilité des principales espèces de Provence calcaire a été évaluée au niveau particulaire, en étudiant la distribution spatiale et la densité apparente des différents types de particules (feuilles, particules fines, grossières, mortes ou vivantes) à différentes hauteurs de la canopée (périphérie, centre et base ; Fig. 20) en utilisant la méthode cube (Cohen *et al.* 2003).

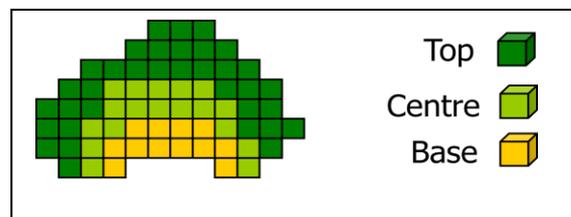


Fig. 20 : Position des différents cubes dans la canopée dans le cadre de la méthode cube (T : Top, C : Centre, B : Base).

Ce qui ressort de ces travaux...

- Les densités apparentes des particules les plus fines (feuilles) sont les plus importantes à la périphérie de la canopée à l'inverse des particules les plus grosses qui sont concentrées à la base de la canopée (Fig. 21). La densité apparente des particules mortes est généralement plus élevée à la base de la canopée.

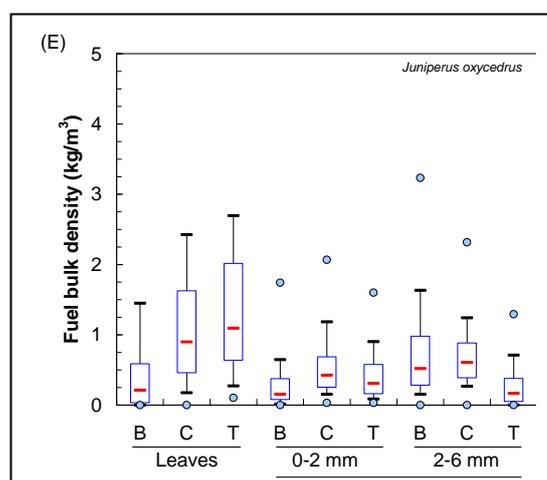


Fig. 21 : Densité apparente (kg/m^3) des feuilles et brindilles de diamètre 0-2 mm et 2-6 mm à la base (B), au centre (C) et à la périphérie (T) de la canopée de *Juniperus oxycedrus*.

- Les proportions des différentes classes de particules varient d'une espèce à l'autre en fonction de leur localisation dans la canopée (Fig. 22).

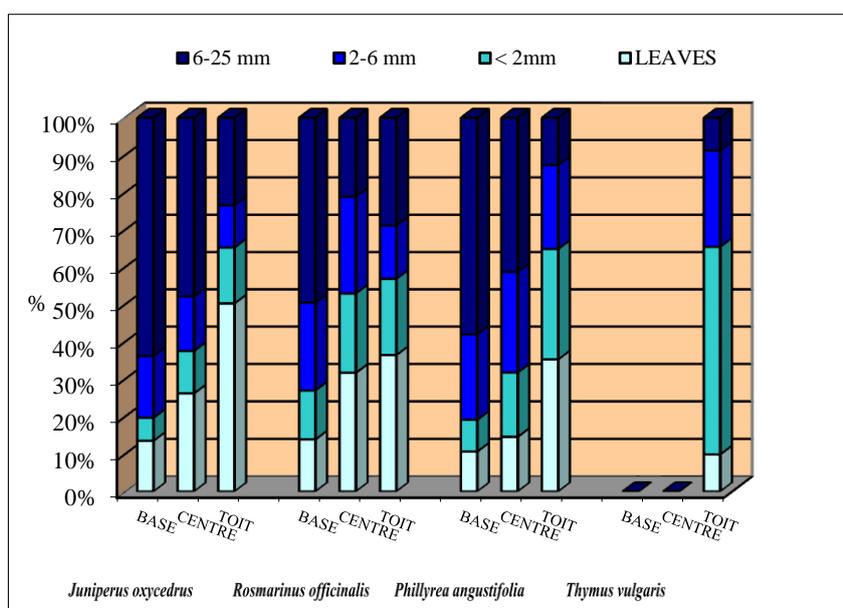


Fig. 22: Proportion des différentes classes de particules en fonction de leur localisation dans la plante

Au cours du programme FIRE PARADOX, une base de données « particule », concernant une quarantaine d'espèces, a été constituée par les pays partenaires en utilisant la même méthodologie.

3.2.2. Evaluation de la combustibilité au niveau du peuplement : importance de la structure de la végétation

La méthode

Dans un deuxième temps, j'ai étudié la combustibilité de la végétation au niveau du peuplement en décrivant la structure de la végétation dans des placettes géoréférencées, notamment les continuités horizontale et verticale des étages du sous-bois et des étages dominants. Pour chaque individu, les paramètres enregistrés étaient l'espèce, le recouvrement et la hauteur, le diamètre des houppiers et des taches de végétation, le recouvrement des différentes strates de hauteur, etc. La litière (profondeur et recouvrement) a également été décrite dans ces placettes.

Les placettes d'étude étaient réparties selon un gradient de récurrence de feux et dans les principaux types de végétation de Provence calcaire. En effet, le comportement du feu, notamment sa vitesse de propagation et son intensité, dépend essentiellement de la structure et de la composition de la végétation. En retour, le régime des feux passés, et particulièrement la récurrence des feux qui est élevée dans le sud-est de la France, affecte la structure de la végétation et donc également la structure du paysage.

Ce qui ressort de ces travaux...

Les travaux sur l'influence du régime de feu sur la structure de la végétation ont montré que le régime de feu, qui est partiellement le résultat des activités humaines en Provence calcaire, a clairement influencé la structure des peuplements et de leur litière:

- la diminution de l'intervalle de temps depuis le dernier feu a causé une ouverture de la végétation similaire à un niveau récent de succession, excepté pour les strates végétales les plus basses (0-1 m : herbacées et buissons bas) pour lesquelles la variation n'est pas significative,
- il n'y a pas de changement significatif dans la continuité horizontale entre les combustibles en fonction du régime de feu ou du type de végétation du fait de la résilience des espèces qui rejettent (*Q. ilex* et *Q. coccifera*) dans le sous-bois et dans ce cas, le risque de feu de surface reste élevé spécialement quand les conditions climatiques sont sévères,
- au contraire, la continuité verticale et la structure des litières sont affectées par le régime de feu notamment dans les pinèdes qui sont moins résilientes,
- cependant le risque d'incendie est élevé dans les peuplements mixtes matures quand l'intervalle de temps depuis le dernier feu est élevé, du fait de l'importante continuité verticale et de la quantité de biomasse élevée dans les étages supérieurs,

- il existe une corrélation positive entre les paramètres de la litière (recouvrement et épaisseur) et le recouvrement en arbres qui est principalement due à la strate occupée par les chênes (6-10 m) dans les peuplements mixtes ; les feuilles de chêne étant moins compactées que les aiguilles de pin.

3.2.3. Des données d'entrée pour la simulation du comportement du feu

La description des combustibles, tant au niveau particulière qu'au niveau du peuplement, permet d'acquérir des données susceptibles d'être utilisées en entrée lors de la simulation du comportement du feu dans ces combustibles.

Ce qui ressort de ces travaux...

Grâce aux simulations utilisant le modèle FIRETEC, j'ai pu regrouper les huit types de végétation de Provence calcaire en fonction de trois types de vitesse de propagation de feu (ROS). Ces vitesses de propagation dépendent essentiellement de la biomasse végétale disponible et de la continuité de la végétation (Fig. 23) :

- ROS faible dans les peuplements arborés ouverts sans continuité verticale de la végétation (jeune pinède, peuplement débroussaillé)
- ROS moyen dans les peuplements bas (garrigue) de faible biomasse mais à forte continuité horizontale
- ROS élevé dans les peuplements fermés matures avec une biomasse élevée dans l'étage dominant où les continuités verticale et horizontale peuvent être élevées (peuplements matures).

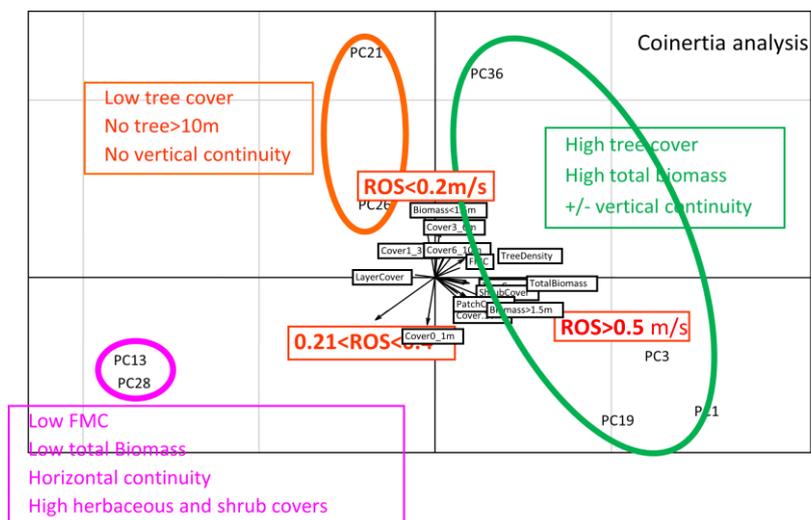


Fig. 23 : Analyse de co-inertie montrant la relation entre les trois vitesses de propagation des flammes (variables dépendantes) et les paramètres du peuplement (variables explicatives).

Les résultats des analyses m'ont permis de mettre en évidence que :

- dans le comportement du feu, la structure du peuplement est plus importante que les espèces qui le composent,
- le risque d'incendie est plus grand dans les peuplements les plus vieux (intervalle depuis le dernier feu élevé) en mettant l'accent sur la gestion prioritaire de ces peuplements matures, notamment dans le cas des pinèdes.

Valorisation

Ces travaux ont débouché sur la publication d'un article scientifique (Ganteaume et al. 2009b) et sur trois communications dans des colloques internationaux.

3.3. Amélioration de la connaissance de l'environnement spatial des points d'éclosion

Dans ce dernier chapitre, je me suis intéressée plus spécifiquement aux facteurs humains de la composante aléa du risque d'incendie. Ces travaux ont été effectués dans le cadre du Programme européen FUME (2010-2013).

Le contexte

Avec l'abandon des zones agricoles qui s'est généralisé en région méditerranéenne dans la seconde partie du XX^{ème} siècle, un important et rapide changement de l'occupation des sols s'est produit impliquant un accroissement de l'urbanisation, avec un développement du tourisme littoral et une construction croissante d'infrastructures en interface habitat-forêt. Avec le changement global, le nombre de départs de feux augmente et connaître les raisons de cette augmentation demandait de mieux comprendre les mécanismes d'ignition et de propagation des feux. En France, la région sud-est est la plus affectée par les incendies de forêt et l'occurrence des feux comme la surface brûlée varient spatialement dans cette région. De ce fait, pour une meilleure prévention des feux, il était nécessaire de mieux comprendre cette variation.

Concernant les facteurs du risque d'incendie liés aux systèmes anthropiques, mon travail s'est concentré sur l'amélioration de la connaissance de l'environnement spatial des points d'éclosion qui passe par une analyse de l'évolution spatio-temporelle des feux dans le sud-est de la France. En effet, notre connaissance de l'aléa d'éclosion d'incendie est très peu approfondie et les études à ce sujet sont peu développées tant concernant l'environnement spatial des points d'éclosion que concernant la connaissance des causes de départ de feu. Or la compréhension de ce phénomène est le socle d'une politique efficace de prévention contre les incendies de forêt.

Les objectifs

La connaissance de l'environnement spatial des points d'éclosion nécessite des analyses (traitements géomatiques et statistiques) de la répartition spatiale des points (à partir de la base de données régionale feu de forêt Prométhée, qui enregistre tous les feux de forêt se produisant dans les 15 départements du sud-est de la France depuis 1973, et de la base de

données des points d'éclosions numérisés de l'ONF depuis 1997), en fonction de paramètres socio-économiques (densité de bâti/population, densité des réseaux de communication, taux de chômage, etc.) et de paramètres plus environnementaux (occupation du sol, topographie, conditions climatiques) qui permettent par exemple, d'évaluer une probabilité d'ignition. L'objectif de cette démarche était de mettre en évidence les principaux facteurs d'ignition, leur variation spatiale et temporelle à différentes échelles, mais aussi leur variation en fonction de la taille des feux, pour expliquer notamment la localisation des éclosions et comprendre quels types d'espaces sont favorables à l'aléa d'éclosion.

3.3.1. Variation spatio-temporelle de l'occurrence, de la surface brûlée et des causes de départ de feu à l'échelle régionale

Le nombre de feux, leur taille et leurs causes ont été étudiés sur deux périodes (1973-1990 et 1991-2010) (Fig. 24), dans trois aires géographiques du sud-est de la France homogènes en termes d'occupation du sol et de conditions climatiques (Fig. 25). Deux tailles de feux (< 100 ha et \geq 100 ha) ont été prises en compte étant donné que les grands feux (\geq 100 ha) ne représentent que 1% du nombre total des feux mais concernent 72% de la surface brûlée totale entre 1973 et 2010.

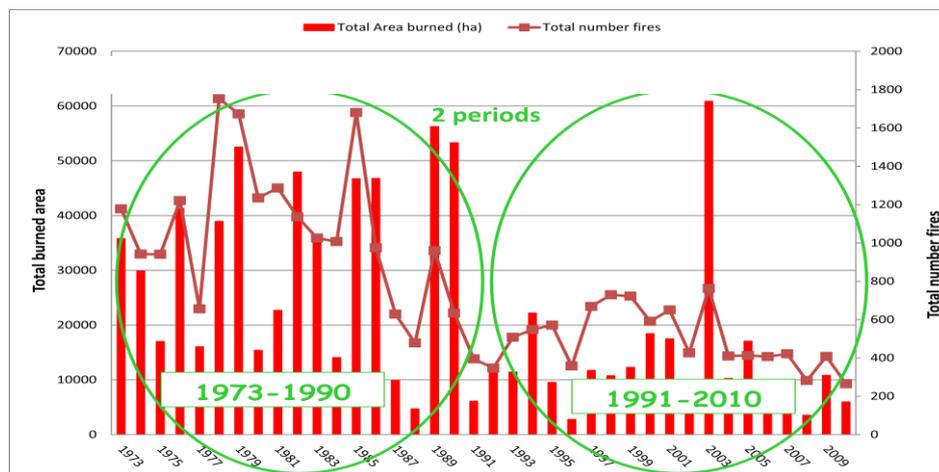


Fig. 24: Variation temporelle de l'occurrence des feux et de la surface brûlée entre 1973 et 2010 dans le SE de la France (Feux > 1 ha).

Ce qui ressort de ces travaux ...

L'analyse de la base de données Prométhée a permis de mettre en évidence une variation spatio-temporelle des feux et de leurs causes dans la zone d'étude. En effet, les trois régions diffèrent significativement en termes d'occurrence et de surface brûlée, la région 1 étant la plus affectée (Fig. 25) et ces paramètres diminuent significativement de la première période à la seconde, excepté pour la région 1 dans laquelle le nombre de feux a augmenté.

Le niveau de connaissance des causes et les causes de départ de feu varient également spatialement et temporellement (Fig. 26) :

- la proportion de causes inconnues est la plus élevée dans la région 1 et cette proportion a diminué entre les deux périodes étudiées,
- les causes principales sont les causes délibérées en région 1 et la négligence durant les activités professionnelles (surtout durant les travaux agricoles) en régions 2 et surtout 3.

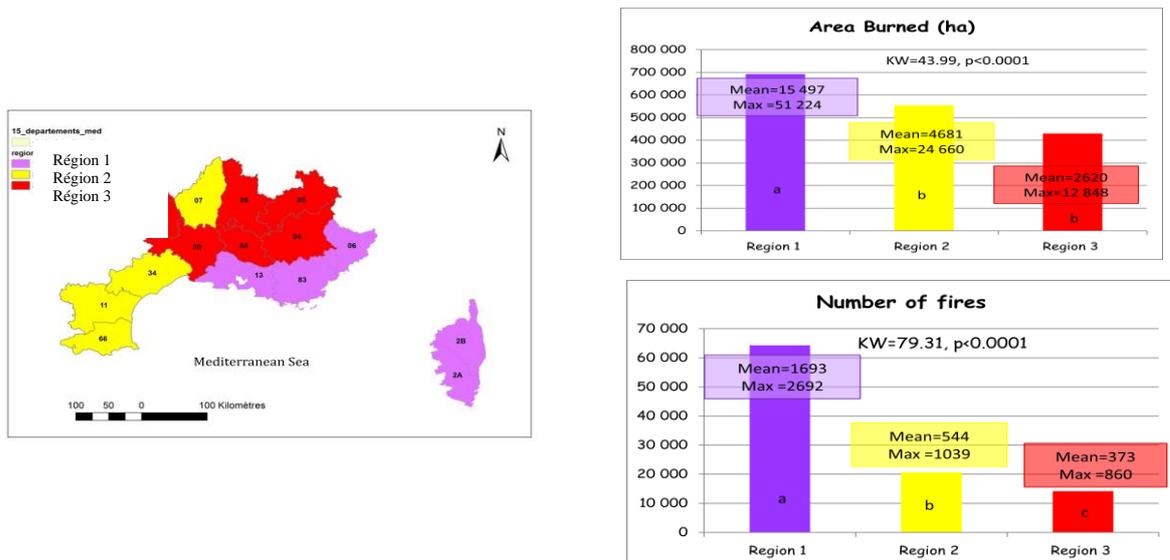
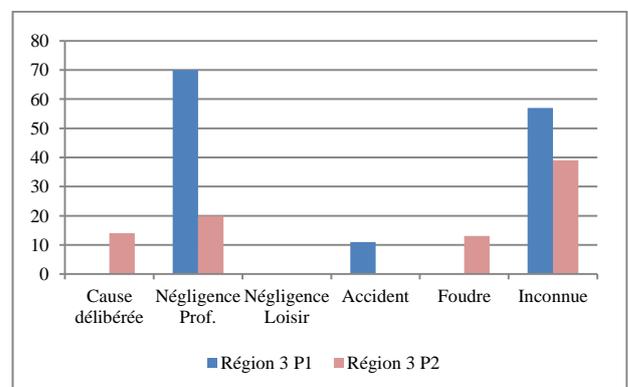
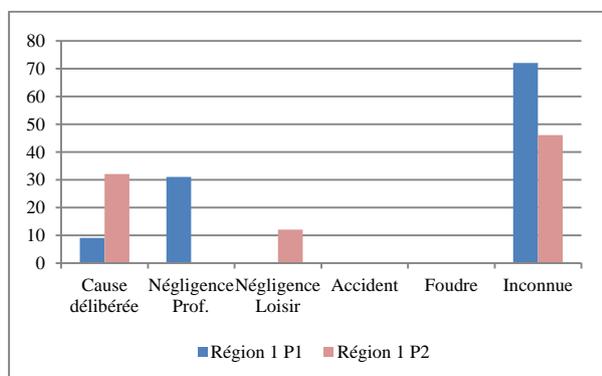


Fig. 25 : Variation spatiale de la taille des feux et de leur occurrence dans la zone d'étude durant la période 1973-2010 (toutes tailles de feux confondues)

Dans l'ensemble, il existe aussi une variation temporelle suivant le changement d'usage des sols mais aussi suivant les saisons:

- les proportions de causes dues à la criminalité et à la négligence durant les activités de loisirs ont augmenté entre les deux périodes, surtout en été,
- les proportions des causes dues aux activités professionnelles, plus fréquentes de l'automne au printemps, ont diminué quelle que soit la région.



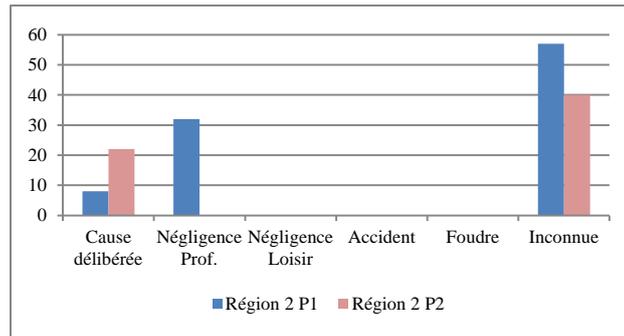


Fig. 26: Variation spatio-temporelle des causes de départ de feu dans le SE de la France (P1 :1973-1990, P2 : 1991-2010)

- les grands feux ($\geq 100\text{ha}$) sont principalement des feux criminels excepté en région 3 où la négligence durant les travaux agricoles est la cause principale alors que les plus petits feux sont principalement dus à la négligence, surtout durant les travaux agricoles,
- avant 1991, la cause principale différait selon les régions, allant de la négligence durant les activités professionnelles (région 3) aux feux criminels (région2) et accidentels dans les dépôts d'ordures (région 1) mais depuis, les feux criminels sont les plus fréquents quelle que soit la région.

Valorisation

Ces travaux ont débouché sur une communication dans un colloque international.

3.3.2. Densité de feux à l'échelle locale

Le contexte et les objectifs

La mise en évidence de la variation spatiale des patrons de feu à l'échelle régionale en fonction de facteurs anthropiques et environnementaux a souligné l'importance d'une analyse plus poussée à plus petite échelle géographique (Fig. 27). Dans ce cadre, mon travail a consisté à identifier les principaux facteurs influant sur la densité de feu à l'échelle locale (groupe de communes) et évaluer leur variation à cette échelle.

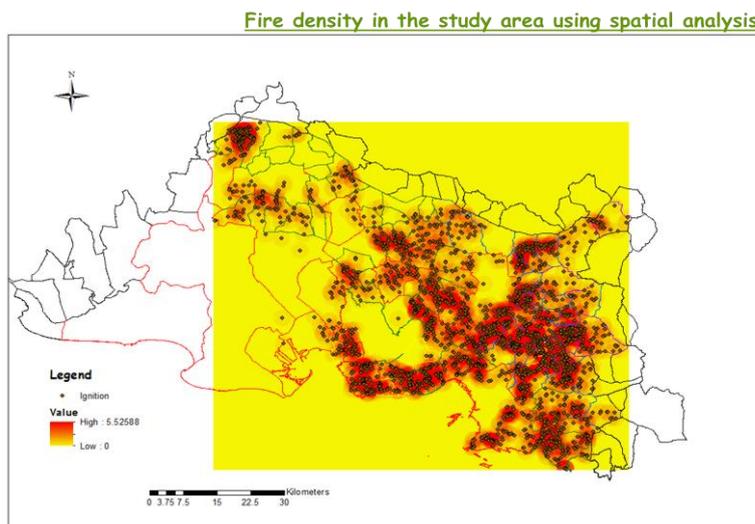


Fig. 27: Densité de feux dans la zone d'étude (Analyse spatiale, Arc Gis 10)

Ce qui ressort de ces travaux...

Ce travail a montré qu'à l'échelle locale, il existait une variation spatiale des « drivers » de la densité de feu et que l'identification de ces facteurs pouvait améliorer la prévention des incendies du fait de leur meilleur ciblage :

- les densités de feu élevées sont principalement liées aux proportions élevées d'interfaces habitat-forêt dans la région,
- la proportion de végétation naturelle (forêt, garrigue, pelouse) et la pente (moyenne à élevée) font partie des principaux facteurs influençant la densité de feu excepté dans le groupe de communes localisées dans la partie est du département où les espaces agricoles sont alors un des facteurs favorisant la densité des feux,
- généralement, dans le reste de la zone d'étude, l'agriculture joue un rôle modérateur sur la densité de feu,
- en fonction des groupes de communes, la densité de feu augmente avec les conditions climatiques fraîches et humides ou chaudes et sèches (correspondant à des altitudes moyennes à élevées), mais elle est toujours atténuée par les conditions climatiques les plus fraîches et humides rencontrées sur les reliefs (altitude très élevée), soulignant ainsi l'étroite relation entre conditions climatiques et altitude,
- une densité élevée des réseaux (essentiellement des routes secondaires) n'a été un facteur influençant la densité de feu que dans deux groupes de communes,
- une forte densité de population/habitation a augmenté la densité de feu dans 2 groupes de communes alors qu'une faible densité réduisait cette densité dans l'ensemble du département, de même l'exposition au vent dominant n'a augmenté la densité de feu que dans un seul groupe de communes.

Valorisation

Ces travaux ont débouché sur une communication dans un colloque international et sont en cours de soumission dans une revue de rang A.

3.3.3. Les grands feux : facteurs d'ignition et causes

Le contexte

En France, la région sud-est concentre 55% du nombre total de feux de 2010 selon la base nationale des feux de forêt. Cependant, depuis 1991, la surface maximale brûlée lors d'un seul évènement n'a jamais excédé 6 744 ha bien que de plus grands feux (qui peuvent être qualifiés de méga-feux) ont brûlé jusqu'à 11 580 ha en 1990 dans cette région (Base de donnée régionale Prométhée). Par contre, plusieurs méga-feux ont brûlé de vastes zones dans d'autres pays méditerranéens comme en Espagne ou au Portugal (EU, 2011), notamment en 2004 (jusqu'à 25 899 ha au Portugal et 25 000 ha en Espagne, lors d'un seul évènement) et 2005 (jusqu'à 17 388 ha au Portugal et plus de 12 000 ha en Espagne).

Les objectifs

Etant donné les dommages énormes occasionnés lors de ces grands feux, tant du point de vue écologique que socio-économique, il est très important de pouvoir enquêter sur ces événements majeurs afin d'améliorer notre compréhension des forces qui les sous-tendent et ainsi réduire leurs effets néfastes. Dans ce cadre, le but de mon travail a été d'identifier les principaux facteurs d'ignition et les causes ayant entraîné de grands feux (≥ 100 ha) dans la région sud-est de la France entre 1997 (date à laquelle la connaissance des causes s'est fortement améliorée) et 2010. En effet, identifier ces facteurs améliorerait notre capacité à cibler les efforts de protection des ressources et à gérer le risque d'incendie au niveau du paysage, notamment si le changement global augmente la probabilité d'occurrence d'événements extrêmes.

Ce qui ressort de ces travaux...

L'analyse de la base de données régionale des feux de forêt Prométhée a montré que :

- Durant la période 1997-2010, moins de 1% des feux (N = 260) enregistrés durant cette période présentaient une surface supérieure ou égale à 100 ha alors que 78% des feux avaient une superficie de moins de 1 ha. Ces grands feux, malgré leur faible nombre, représentent plus de 72% de la surface brûlée totale et ont lieu majoritairement en été.
- Depuis 1997, le nombre de grands feux et les surfaces brûlées par ces feux ont diminué (excepté en 2003 du fait des conditions climatiques extrêmes) (Fig. 28).

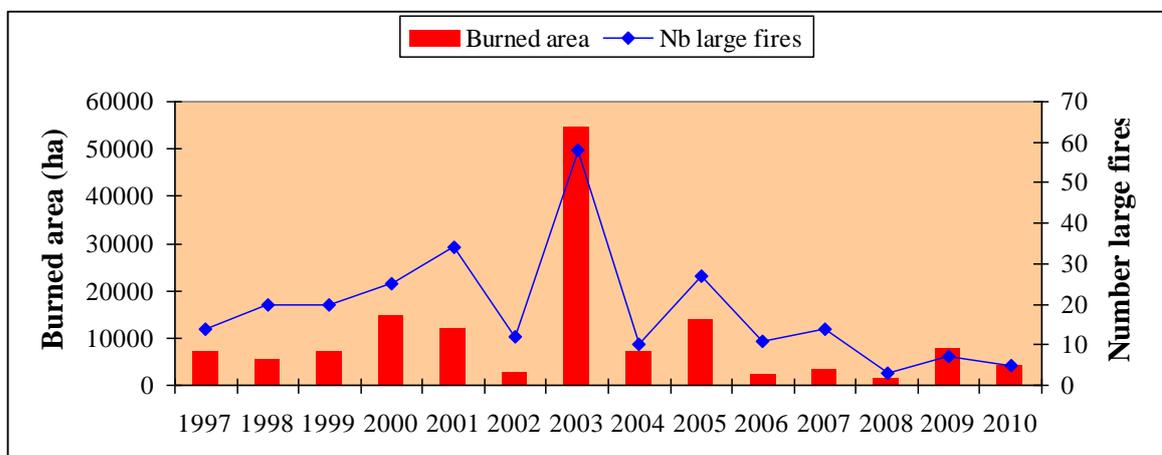


Fig. 28: Nombre et taille des grands feux entre 1997 et 2010 dans le sud de la France. Source: base de données régionale Prométhée (www.promethee.com).

L'identification des « drivers » de l'occurrence et de la taille des grands feux (Fig. 29) a montré d'une part le lien entre le recouvrement en peuplement arbustif et en pâturage, la densité de population et de réseaux secondaires et l'occurrence de grands feux et d'autre part, le lien entre le recouvrement en végétation naturelle (notamment en peuplement arbustif), la pluviosité en automne-hiver, la sécheresse en été pendant de longues périodes, le taux de chômage et la taille de ces feux. Les départements les plus affectés par les grands feux sont ceux situés à l'est de la région, sur la côte méditerranéenne.

Seul le recouvrement en peuplements arbustifs et l'indice de rugosité de la topographie (ruggedness=combinaison de variables topographiques et climatiques) se sont avérés être des descripteurs significatifs à la fois de l'occurrence et de la taille des grands feux (régressions PLS).

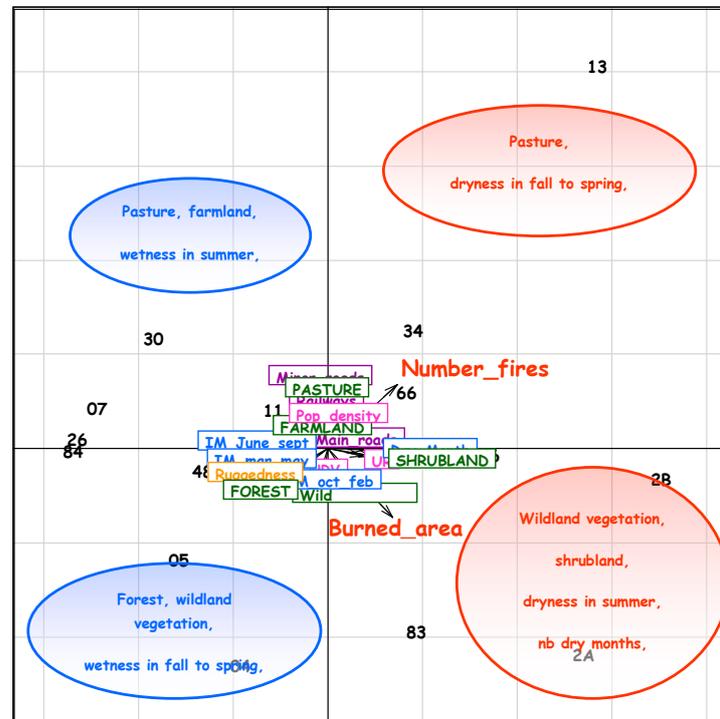


Fig. 29: Analyse de co-inertie montrant l'impact du climat, de l'occupation du sol, de la topographie et des variables socio-économiques sur le nombre et la taille des grands feux dans le sud de la France (IM : Index De Martonne, UR : taux de chômage, NRV : tourisme, Pop : densité de population, 04 à 2B : départements du sud-est de la France).

Valorisation

Ces travaux ont débouché sur la publication d'un article scientifique (Ganteaume & Jappiot 2013c) et sur une communication dans un colloque international.

3.3.4. Les causes de départ de feu à l'échelle européenne

Le contexte et les objectifs

Devant l'hétérogénéité des schémas de classifications de causes de départ de feu des différents pays européens et le manque de détails du schéma de classification européen (seulement quatre classes : inconnue, naturelle, négligence, délibérée), une approche pan-européenne de l'analyse des causes de départs de feu et des principaux facteurs d'ignition s'avérait nécessaire. Pour cela, le Joint Research Centre (JRC) de la Commission Européenne lançait en 2008 un appel à projet dénommé « Determination of forest fire causes and harmonization of methods for reporting them ». J'ai pris en charge cet appel d'offre (rédaction et montage d'un consortium) et je l'ai coordonné et géré administrativement durant toute sa durée (2008-2010). Outre la mise au point d'un schéma de classification harmonisée pour l'Europe, le but de ce projet était aussi de fournir une analyse spatio-temporelle de la

distribution des causes (regroupées en causes naturelle, délibérée, involontaire) et des facteurs d'ignition dans les différents pays européens regroupés en sept régions homogènes en terme d'occupation du sol et conditions climatiques et topographiques.

Ce qui ressort de ces travaux...

Les résultats des modélisations (régressions PLS et régressions de Poisson) ont montré qu'en fonction des régions :

- la densité de feux due à la foudre est principalement favorisée par les variables d'occupation du sol (comme la proportion de végétation naturelle ou de peuplements bas) et est réduite par les variables liées à l'agriculture (densité d'exploitations agricoles, surfaces des cultures, etc.),
- la densité de feux due à la négligence est principalement favorisée par la densité de réseaux et les variables socio-économiques (type tourisme) et est réduite par les variables d'occupation du sol et climatiques,
- la densité de feux criminels est favorisée par la densité de réseaux, la topographie et les variables socio-économiques (de type taux de chômage) et est réduite par les variables climatiques (Fig. 30).

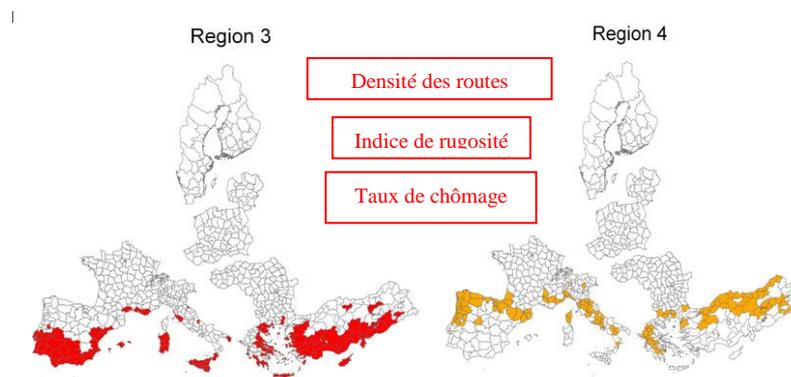


Fig. 30: Variables explicatives les plus significatives pour les causes délibérées (PLS-régression Poisson) dans les régions 3 et 4.

Valorisation

Ces travaux ont débouché sur un article scientifique (Ganteaume et al. 2012) et sur une communication dans un colloque international.

3.4. Mes perspectives de recherche

Suite à l'évaluation du thème de recherche de l'unité EMAX, j'ai pu exposer mon projet de recherche lors de l'évaluation individuelle et, en accord avec les conclusions de cette évaluation, je présente maintenant mes perspectives de recherches pour les années à venir.

Je souhaite poursuivre mes activités de recherche liées à l'inflammabilité/combustibilité de la végétation, notamment en interface habitat-forêt, mais également à l'étude des causes/facteurs d'ignition de départ de feux permettant une meilleure prise en compte du facteur risque incendie à l'échelle locale, ce qui s'intègre parfaitement à la dynamique actuelle de l'équipe (Fig. 31). Plusieurs perspectives de recherche se dégagent de mes travaux actuels ; elles concernent la partie sur la production de connaissances sur le risque d'incendie dans les interfaces (habitat-forêt, mais également réseaux routiers-forêt), notamment sur la propagation du feu dans ces zones hétérogènes ou sur l'effet du débroussaillage sur le risque d'incendie. Elles concernent également l'analyse spatiale des points d'éclosions qui devrait permettre de mieux comprendre les processus locaux de départs de feu liés aux caractéristiques des facteurs végétaux et des facteurs humains. La modélisation de l'aléa devra donc s'effectuer en fonction de paramètres écologiques et anthropiques pour décrire ces processus et l'extrapolation de ces modèles devrait permettre de dégager des patrons à valeur globale, à l'échelle du territoire. A propos de la composante végétale du risque, je souhaite également poursuivre mes activités de recherche en abordant le domaine de l'écologie des perturbations en me concentrant sur l'adaptation des traits fonctionnels de la végétation méditerranéenne à la variation du régime d'incendie dans la perspective du changement global.

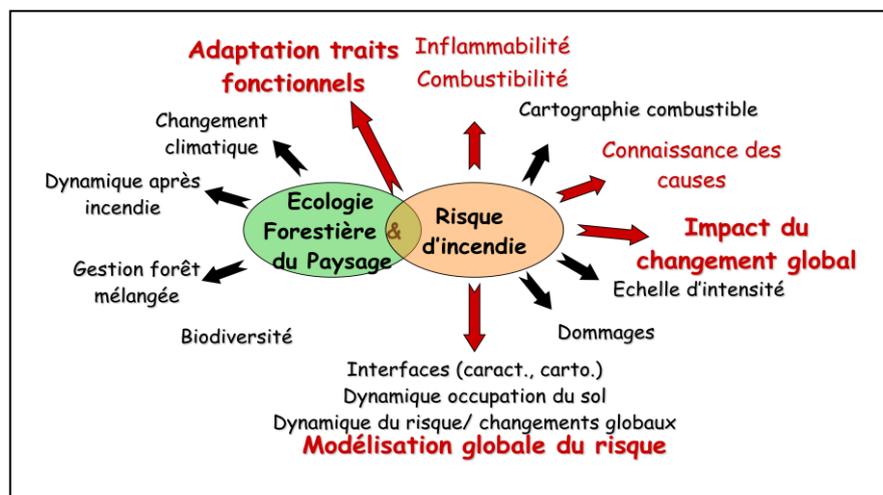


Fig. 31: M'inscrire dans la trajectoire de recherche de l'UR EMAX

➤ Rôle de la végétation d'ornement dans la propagation du feu dans les interfaces habitat-forêt

Pour approcher la modélisation globale du risque d'incendie, il est nécessaire de travailler sur l'évaluation de l'inflammabilité et de la combustibilité des peuplements en interface en lien

avec l'éclosion et la propagation des feux ainsi qu'avec la vulnérabilité du bâti. Cela devrait permettre de répondre à plusieurs questions de recherche portant sur la connaissance des mécanismes de mise à feu de la végétation d'ornement en fonction des essences plantées (sautes de feu, propagation horizontale) et sur le rôle de ces espèces dans la propagation du feu au bâti par exemple. La croissance de l'urbanisation dans les interfaces habitat-forêt pose de plus en plus de questions en terme de gestion de ces espaces au regard du risque d'incendie (Lampin-Maillet et al. 2009). Plusieurs études, dans divers pays, ont démontré que les combustibles en interface habitat-forêt que représentent la végétation ornementale, les objets combustibles (clôtures, garages,...) ont une forte influence sur la propagation du feu et son impact en interface habitat-forêt (Leonard & Blanchi 2005; Ganteaume et al. 2013a,b). Ces combustibles peuvent avoir un rôle de protection contre les effets du feu mais une fois enflammés, peuvent devenir une source de propagation du feu (par rayonnement thermique, convection ou attaque de brandons) (Ramsay et al. 1987; Cohen 2000; Blanchi & Leonard 2008; Stephens et al. 2009). Cependant, malgré les pertes importantes qui peuvent être occasionnées lors d'un incendie en interface habitat-forêt, tant au niveau de la végétation qu'au niveau des structures, peu de travaux scientifiques ont été réalisés sur l'inflammabilité et la combustibilité de la végétation ornementale en Europe (Ganteaume et al. 2013a,b), la majorité provenant des USA (White et al. 1996; Irby et al. 2000; Beall 2001; White et al. 2002; Monroe et al. 2003; Etlinger & Beall 2004; Weise et al. 2005).

Afin d'estimer le risque aux interfaces habitat-forêt, il est possible d'utiliser un simulateur qui prend en compte les interactions de la végétation et la configuration spatiale des zones d'interfaces (Leonard et al. 2009). Il est toutefois nécessaire d'avoir une connaissance précise du comportement des éléments combustibles et de leurs interactions.

Ce travail de recherche devrait contribuer à la connaissance du risque d'incendie dans les interfaces habitat-forêt en permettant de mieux comprendre les processus locaux de départs de feu grâce à l'évaluation de l'inflammabilité et de la combustibilité des principales espèces végétales utilisées en végétation d'ornement. Ce travail contribuera également à la modélisation du risque incendie en interface habitat-forêt à partir de paramètres écologiques et spatiaux (en utilisant le modèle 3D BfVuln développé par le CSIRO) afin de mieux comprendre la propagation du feu dans cet environnement. Les connaissances développées pourront être utilisées par de nombreux acteurs gestionnaires de l'espace urbain et forestier, chercheurs, professionnels de la lutte qui ont besoin, entre autres, d'informations sur le combustible que représentent les espèces végétales d'ornement pour élaborer des plans d'aménagement, analyser le comportement potentiel d'un incendie sur un territoire donné ou estimer le risque et les dommages potentiels dans les interfaces habitat-forêt. Ils pourront également être utilisés pour mieux comprendre le rôle de l'entretien de la végétation (élagage et taille, arrosage, etc.) dans la gestion du risque incendie dans ces zones et donc d'améliorer les politiques de gestion du risque liées au débroussaillage et à l'entretien de la végétation par exemple. Ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre de la thèse de Matthieu Lorans que je co-encadre avec Thierry Taton (IMBE) et qui est réalisée en co-tutelle avec le CSIRO de Melbourne (Justin Leonard et Raphaële Blanchi).

➤ Impact du débroussaillage sur le risque d'incendie

Dans le sud-est de la France, une grande majorité des feux démarrent en bordure d'une voie d'accès ouverte à la circulation publique traversant des massifs forestiers (52% des départs de feu dans les Bouches-du-Rhône), on a pu démontrer, par exemple, que le nombre d'éclosions dans chaque commune était très bien corrélé au linéaire de voies traversant les massifs forestiers de la commune, lui-même corrélé au nombre d'habitants de la commune. L'analyse de la base de données Prométhée montre qu'environ 72% des départs de feu sont localisés le long des réseaux routiers, notamment le long des réseaux secondaires (Ganteaume et al. 2013a, b). Les sources probables d'éclosion sont très variables et comprennent par exemple les mégots de cigarette, les accidents de la route, les travaux de nettoyage des bords de route (engins de fauchage et de débroussaillage, feux dirigés), etc. Les combustibles morts aux interfaces réseaux routiers et forêt sont peu connus en terme de composition, de cycle de croissance annuel, de contenu hydrique et d'inflammabilité (Manzello *et al.* 2006). De plus, les faciès de végétation à ces interfaces peuvent présenter des caractéristiques spécifiques telles que l'abondance des herbacées dont la teneur en eau varie fortement selon la saison et l'heure du jour, notamment du fait de leur exposition au vent et au rayonnement solaire direct en l'absence de canopée. Selon leur biomasse et leur pourcentage de parties mortes, les herbacées peuvent présenter une inflammabilité et un taux de propagation plus importants que ceux trouvés dans les lits de combustibles en forêt : litière, brindilles et feuilles (Cheney *et al.* 1998). Les arbustes sont également communs en bords de route et les mélanges ainsi occasionnés ont une importante hétérogénéité spatiale qui pourrait affecter l'ignition d'un feu ainsi que sa propagation.

Suite aux incendies catastrophiques de 1989-1990 et de 2003 qui ont occasionné de nombreux dommages matériels et humains dans cette région, mais aussi face à l'importance des départs de feux dans ces zones d'interfaces, la réglementation sur le débroussaillage du code forestier français, ayant pour optique la diminution de la biomasse combustible dans ces zones jouxtant les massifs forestiers, a été renforcée dans le sud de la France (arrêtés préfectoraux sur l'obligation légale du débroussaillage, OLD). Pour cela, des traitements mécaniques sont traditionnellement utilisés (Baeza et al. 2003 ; Potts et al. 2010), voire occasionnellement, le brûlage dirigé du sous-bois ou des bords de route qui peut s'avérer problématique (Glitzenstein et al. 2006). De nombreux travaux traitent des effets écologiques de ces traitements sur les communautés végétales débroussaillées, essentiellement sur les peuplements arbustifs (Gomila 1993 ; Tárrega *et al.* 1997; Calvo *et al.* 2002a, 2005; Pereiras & Casal 2002; Martinson & Omi 2003, 2008 ; Potts *et al.* 2010). Cependant, les travaux visant à vérifier leur efficacité quant à la réduction du risque d'ignition sont rares (aucun réalisé en France) et ne concernent qu'un nombre restreint de traitements et d'espèces végétales notamment des landes de bruyère et d'ajonc de Galice en Espagne (Marino et al. 2010, 2011, 2012).

L'objectif principal de ce travail de recherche sera de contribuer à évaluer l'efficacité du débroussaillage dans les interfaces habitat-forêt et réseaux-forêt en étudiant, d'une part, la variation spatio-temporelle des départs de feu et des surfaces brûlées avant et après la mise en place des OLD et, d'autre part, l'efficacité des traitements de combustible (débroussaillage,

brûlage dirigé) sur la diminution du risque d'incendie tant au niveau de l'aléa que de la vulnérabilité notamment dans les zones autour des habitations. Je pense qu'il serait également opportun d'évaluer l'efficacité d'autres formes de traitement de la biomasse végétale telles que le pâturage en bord de route ainsi que d'étudier les traits fonctionnels développés par les plantes, notamment la capacité à rejeter après coupe, en fonction de ces traitements.

➤ **Evolution des traits fonctionnels liés à l'inflammabilité en fonction des régimes de feu**

Le feu est un important processus écologique dans les écosystèmes méditerranéens. A l'échelle de la communauté, il a été établi que les communautés végétales dépendant du feu brûlent plus facilement que celles qui ne le sont pas car, selon Mutch (1970), la sélection naturelle a favorisé le développement de caractéristiques qui les rendent plus inflammables. Cette hypothèse a été reformulée plus tard au niveau de l'individu dans le cadre de la théorie de l'« inclusive fitness » (Bond & Midgley 1995) qui suggère que les traits améliorant l'inflammabilité seraient favorisés chez les individus si l'augmentation de l'inflammabilité entraînait une augmentation de la mortalité des espèces avoisinantes créant ainsi plus d'espace pour le recrutement de l'espèce inflammable. Mais ces traits fonctionnels, comme le rejet, la sérotonie ou la germination stimulée par la chaleur ou la fumée, sont adaptatifs dans les environnements sujets aux incendies. Comme le feu est un facteur environnemental très répandu en région méditerranéenne, les forêts y sont généralement résilientes. Ces espèces, dites pyrophytes, qui ont le potentiel d'influencer leur environnement pour augmenter leur probabilité d'ignition, ont un niveau d'inflammabilité pouvant varier d'une espèce à l'autre. Il est de plus en plus clair que certains traits fonctionnels peuvent influencer le comportement local du feu, notamment chez des espèces ne se reproduisant que par graines (« obligate seeders ») comme chez différentes espèces de pins (Schwilk 2003 ; Schwilk & Caprio 2011). Chez ces espèces, les canopées sont très inflammables (Saura-Mas et al. 2010) et la régénération post-incendie ne dépend que de la banque de graines (Bond & Van Wilgen 1996; Pausas et al. 2004). Par exemple, *Pinus halepensis*, comme d'autres espèces de pins résilients (Fonda 2001 et Fonda *et al.* 1998) possède des cônes sérotonieux et une quantité importante de graines est relâchée par le feu. Certaines études ont suggéré différents mécanismes génétiques pour l'évolution de l'inflammabilité (Kerr et al. 1999; Schwilk & Kerr 2002) ; cependant, les travaux montrant si le feu augmente l'inflammabilité des plantes au sein des populations d'une certaine espèce sont rares et incomplets. Pausas et al. (2012) ont travaillé sur *Ulex parviflorus*, une espèce méditerranéenne qui ne rejette pas et dont la germination est déclenchée par le feu, mais seulement au niveau individuel et sans prendre en compte l'inflammabilité de la litière. Différents traits pourraient être importants pour différents aspects de l'inflammabilité des litières (au sens d'Anderson 1970 et Martin et al. 1993); les traits importants dans le comportement du feu de cime vont être différents de ceux importants pour les feux de surface dépendant plus de la litière.

Certains travaux ont montré que ces espèces sont adaptées à un régime de feu grâce à certains traits de vie plutôt qu'au feu en lui-même (Keeley et al. 2011). Un changement de régime, comme dans le cas d'une intensification de la récurrence des feux dans le cadre du

changement global ou avec la mise en place, dans certaines zones, de brûlages dirigés pour contrôler la biomasse combustible, pourrait mettre en péril ces espèces si ces traits ne varient pas. Il est donc nécessaire de vérifier si les traits fonctionnels qui permettent un accroissement de l'inflammabilité de ces espèces vont varier au sein de populations d'une même espèce soumises à différents régimes de feu. Etudier comment les traits influencent l'inflammabilité d'une espèce (aussi bien celle du combustible mort de surface que celle du combustible dans son ensemble) a le potentiel de relier un important processus écologique, le feu, avec les traits des plantes de mieux en mieux étudiés. Dans le cadre de ce travail, les traits fonctionnels liés à l'inflammabilité seront étudiés chez différentes espèces développant une stratégie « Obligate seeders » en fonction du régime de feux pour mettre en évidence une éventuelle évolution qui conférerait à ces espèces une meilleure inflammabilité lorsque la récurrence des feux s'accroît. L'évolution se traduirait, par exemple, par une augmentation du pourcentage de cônes sérotineux chez le pin d'Alep et une augmentation de l'inflammabilité des litières de cette espèce.

Face au manque actuel de connaissances sur l'influence des traits fonctionnels sur le feu, il est donc important (i) de connaître quels traits sont associés à quelle(s) composante(s) de l'inflammabilité mais aussi (ii) de savoir s'il existe une différence dans l'inflammabilité de différentes populations d'une même espèce soumises à divers régimes de feu et donc (iii) quels traits seront susceptibles d'être modifiés avec le changement de régime. Par ailleurs, il sera intéressant de comparer les résultats obtenus dans le contexte méditerranéen français avec les types d'adaptations développées dans d'autres régions méditerranéennes comme la Californie, l'Australie, le Chili ou l'Afrique du Sud.



En conclusion...



Les différents types de travaux de recherche que j'ai effectués au cours de ma carrière scientifique ont tous une finalité très appliquée, que ce soit pour :

- l'amélioration du processus de commercialisation d'un auxiliaire des cultures,
- la recherche d'un processus permettant la réduction de la transmission vectorielle de maladies,
- l'évaluation de l'impact des activités humaines sur les écosystèmes marins,
- l'évaluation de l'assimilation d'une algue toxique envahissante par une espèce endémique comestible,
- l'évaluation de l'efficacité des mesures de protection et de l'impact du changement climatique sur les populations d'un poisson emblématique de Méditerranée,
- l'évaluation du risque d'incendie, notamment dans les interfaces habitat-forêt pour l'aide à la gestion des territoires.

L'ensemble de mes recherches, qui peuvent paraître hétérogènes et touchant des thématiques très variées, se rapporte à deux des principaux concepts de l'écologie, les interactions entre organismes (hôte-parasite, vecteur-hôte sain, espèce envahissante-espèce endémique) et les perturbations écologiques, ici d'origine anthropique, dans le milieu marin (impact du mouillage, de la chasse sous-marine, etc.) et le milieu terrestre (incendies de forêt), toujours abordés dans le contexte du changement global.

Depuis plusieurs années maintenant, mes recherches se sont orientées sur l'évaluation du risque d'incendie en région méditerranéenne. La région méditerranéenne française est caractérisée par des surfaces importantes d'espaces naturels et forestiers fortement imbriqués avec des espaces urbanisés. Soumis à des conditions environnementales très contraignantes (sécheresse climatique, sols dégradés), les écosystèmes méditerranéens sont également caractérisés par une biodiversité très élevée. Dans un contexte de mutation rapide des paysages soumis historiquement à un abandon culturel élevé et une croissance urbaine très forte, les systèmes écologiques naturels et semi-naturels sont soumis également à des perturbations récurrentes sous l'action principalement de feux de forêt. Tenant compte de ce contexte, la compréhension du risque incendie aux interfaces urbain-forêt, l'analyse et la gestion des capacités de résilience des forêts méditerranéennes aux feux ainsi qu'aux stress climatiques, l'analyse spatio-temporelle des patrons d'organisation du paysage et de la biodiversité forment le cœur des activités de l'unité de recherche EMAX d'Irstea Aix-en-Provence. Dans ce cadre, le but de mes travaux était principalement d'améliorer la prévention des incendies de forêt et il en ressort qu'une prévention efficace passe notamment par :

- une meilleure connaissance des combustibles (inflammabilité et combustibilité) et de leur comportement au feu, notamment dans le contexte du changement climatique favorisant la fréquence des événements extrêmes (sécheresse, canicule, etc.). Cette amélioration des connaissances va permettre une meilleure gestion des peuplements, en combinant par exemple les espèces les moins inflammables et en mieux gérant les continuités horizontales et verticales dans ces peuplements, afin de réduire le risque de feu de cime,

- une meilleure prédiction des feux extrêmes (grands feux et méga-feux), toujours dans le contexte du changement global ; les biomes méditerranéens présentant un des mélanges les plus complexes du point de vue climat, combustibles (écosystèmes des plus inflammables et adaptés au feu) et topographie qui vont influencer énormément l'environnement du feu. Par ailleurs, la forte expansion des interfaces habitat-forêt en région méditerranéenne exacerbe une situation déjà difficile du point de vue du risque d'incendie.

Cependant, il est important de noter que l'extrapolation au terrain des résultats obtenus en laboratoire peut s'avérer problématique et ceux-ci ne peuvent donc pas être utilisés directement pour décrire ou prédire par exemple l'inflammabilité des combustibles dans des conditions naturelles et réelles. Plus d'expérimentations réalisées sur le terrain, lors de brûlages dirigés par exemple, permettraient de valider ces résultats. Les expérimentations réalisées en laboratoire permettent cependant d'acquérir une information qui est utile pour l'évaluation du risque d'incendie en région méditerranéenne, que ce soit concernant la végétation naturelle ou ornementale.

La majeure partie de mes recherches sur les incendies de forêt s'effectue dans le cadre de programmes de recherche européens (Fire Paradox, Firesmart, Fume) ou nationaux (Forest Focus) et de projets d'étude européens (financés par le Joint Research Centre de l'UE) ou nationaux (financés par le MEDDTL). Les thématiques liées au risque incendie, en particulier dans le cadre du changement climatique, ouvrent de larges opportunités de collaboration au sein des communautés scientifiques et techniques nationales (ONF, INRA, Universités, etc.) ou internationales. Je conserve dans ce sens des liens forts avec les collaborateurs étrangers avec qui j'ai pu travailler dans le cadre de programmes européens ou que j'ai pu rencontrer lors de mes interventions dans des colloques scientifiques à l'étranger. Le partenariat dans lequel j'ai développé ces travaux jusqu'à présent s'inscrit dans le cadre présenté figure 32 ; il doit continuer à se structurer à s'étoffer aussi bien sur un plan régional que sur un plan européen et international.



Fig. 32 : Structure du partenariat principal actuel



Bibliographie



- Anderson HE (1970) Forest fuel ignitability. *Fire Technology* **6**: 312-319.
- Baeza MJ, Raventós J, Escarré A, Vallejo VR (2003) The effect of shrub clearing on the control of fire-prone species *Ulex parviflorus*. *Forest Ecology and Management* **186**: 47–59.
- Beall FC (2001) Fire-safe vegetation. In “Introduction to the I-Zone” pp.14.1-14.10. (UC Forest Products Laboratory. Richmond, CA).
- Blanchi R, Leonard J (2008). Property safety: judging structural safety. In *Community Bushfire Safety*, J. Handmer and Haynes, K. (eds), CSIRO Publishing, Melbourne: pp. 77–85.
- Bond WJ, van Wilgen BW (1996) Fire and plants. Chapman and Hall.
- Bradstock RA, Cohn JS (2002) Fire regimes and biodiversity in semi-arid mallee ecosystems. In “Flammable Australia: The Fire Regimes and Biodiversity of a Continent” (Eds RA Bradstock, JE Williams, AM Gill) pp. 238–258 (Cambridge University Press, Cambridge, UK).
- Calvo L, Tárrega R, De Luis E (2002) The dynamics of Mediterranean shrubs species over 12 years following perturbations. *Plant Ecology* **160**: 25–42.
- Calvo L, Tárrega R, De Luis E, Valbuena L, Marcos E (2005) Recovery after experimental cutting and burning in three shrub communities with different dominant species. *Plant Ecology* **180**: 175–185.
- Cheney NP, Sullivan A (1997) Grassfires: Fuel, Weather and Fire Behavior (CSIRO Publishing: Melbourne).
- Cohen JD (2000) Preventing disaster. *Journal of Forestry* **98**(3): 15.
- Cohen M, Rigolot E, Etienne M (2002) Modeling fuel distribution with cellular-automata for fuel-break assessment. In ‘Proceedings of IV international conference on forest fire research, 18-23 November 2002, Luso, Portugal. (Ed. DX. Viegas), (Millpress: Rotterdam).
- Curt T, Schaffhauser A, Borgniet L, Dumas C, Estève R, Ganteaume A, Jappiot M, Martin W, N’Diaye A, Poilvet B (2011) Litter flammability in oak woodlands and shrublands of southeastern France. *Forest Ecology and Management* **261**, 2214-2222.
- Etlinger MG, Beall FC (2004) Development of a laboratory protocol for fire performance of landscape plants. *International Journal of Wildland Fire* **13**: 479-488.
- EU (2011) Forest fires in Europe 2010. Luxembourg, publication office of the EU.
- Faivre N, Roche P, Boer M, McCaw L, Grierson PF (2011) Characterization of landscape pyrodiversity in Mediterranean environments: contrasts and similarities between south-western Australia and south-eastern France. *Landscape Ecology* **26**: 557-571.

- FAO (1986) Wildland Fire Management Terminology. FAO Forestry Paper 70. Rome.
- Fonda RW (2001) Burning characteristics of needles from eight pine species. *Forest Science* 47: 390-396.
- Ganteaume A, Jappiot M, Lampin C, Curt T, Borgniet L (2014) Flammability of litter sampled according to two different methods: comparison of results in laboratory experiments. *International Journal of Wildland Fire* (sous presse).
- Ganteaume A, Jappiot M, Lampin C (2013a) Assessing the flammability of surface fuels beneath ornamental vegetation in wildland–urban interfaces, in Provence (south-eastern France). *International Journal of Wildland Fire* 22 (3): 333-342.
- Ganteaume A, Jappiot M, Lampin C, Guijarro M, Hernando C (2013b) Flammability of Some Ornamental Species in Wildland–Urban Interfaces in Southeastern France: Laboratory Assessment at Particle Level *Environmental Management* 52 (2): 467-480.
- Ganteaume A, Jappiot M (2013c) What causes large fires in Southern France. *Forest Ecology and Management* 294: 76–85.
- Ganteaume A, Camia A, Jappiot M, San Miguel-Ayanz J, Long-Fournel M, Lampin C (2012) A Review of the Main Driving Factors of Forest Fire Ignition Over Europe. *Environmental Management* 51 (3), 651-662.
- Ganteaume A, Guijarro M, Jappiot M, Hernando C, Lampin-Maillet C, Pérez-Gorostiaga P, Vega JA (2011a) Laboratory characterization of firebrands involved in spot fires. *Annals of Forest Science* 68(3), 531-541.
- Ganteaume A, Jappiot M, Lampin-Maillet C, Curt T, and Borgniet L (2011b) Effects of vegetation types and fire regime on flammability of non-constructed litters in south-eastern France. *Forest Ecology and Management* 261: 2223-2231.
- Ganteaume A, Lampin-Maillet C, Guijarro M, Hernando C, Jappiot M, Fonturbel T, Pérez-Gorostiaga P, Vega JA (2009a) Spot fires: fuel bed flammability and capability of firebrands to ignite fuel beds. *International Journal of Wildland Fire* 18: 951-969.
- Ganteaume A, Jappiot M, Lampin-Maillet C, Curt T, Borgniet L (2009b) Fuel characterization and effects of wildfire on limestone soils in southeastern France. *Forest Ecology and Management* 258S: S15-S23.
- Glitzenstein JS, Streng DR, Achtemeier GL, Naeher LP, Wade DD (2006) Fuels and fire behaviour in chipped and unchipped plots: implications for land management near the wildland/urban interface. *Forest Ecology and Management* 236: 18–29.
- Gomila H (1993) Incidences du débroussaillage sur la flore, la végétation et le sol, dans le Sud-Est de la France. Thèse sci. Fac. Sci. et Techn. St-Jérôme, Aix-Marseille III, 195p. + ann.
- Hogkinson KC (2002) Acacia wooded landscapes: effects on functional processes and biological diversity. In “Flammable Australia: The Fire Regimes and Biodiversity of a

- Continent” (Eds. RA Bradstock, JE Williams, AM Gill) pp. 259-277 (Cambridge University Press, Cambridge, UK).
- Irby R, Beall FC, Barette B, Frago M (2000) “Wildland fire hazard assessment”. Final report FEMA. Pp. 1005-1047. (UC Forest Products Laboratory, Richmond, CA).
- Keeley JE, Pausas JG, Rundel PW, Bond WJ, Bradstock RA. 2011. Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in Plant Science* **16**: 406–411.
- Kerr B, Schwilk DW, Bergman A, Feldman MW (1999) Rekindling an old flame: a haploid model for the evolution and impact of flammability in resprouting plants. *Evolutionary Ecology Research* **1**: 807–833.
- Lampin-Maillet C, Jappiot M, Long M, Morge D, Ferrier JP (2009) Characterization and mapping of dwelling types for forest fire prevention. *Comput. Environ. Urban Syst.* **33** : 224-232.
- Lampin C, Chandieux O, Paulet V, Jappiot M (2004) Typologie de la végétation combustible dans les interfaces agriculture forêt urbain, Conseil régional Rapport final. 116 p
- Leonard J, Blanchi R, Leicester RH, Lipkin F, Black J (2009). Profiling urban interface vulnerability. Presented to Fire and Material 2009, 11th International Conference, San Francisco, USA, 26–28 January 2009.
- Leonard J, Blanchi R (2005). Investigation of Bushfire Attack Mechanisms Involved in House Loss in the ACT Bushfire 2003. CSIRO Manufacturing & Infrastructure Technology Report CMIT-2005-377 prepared for Bushfire CRC.
- Linn RR, Cunningham P (2005) Numerical simulations of grass fires using a coupled atmosphere-fire model: basic fire behavior and dependence on wind speed. *Journal of Geophysical Research* 110, D13107 , doi:[10.1029/2004JD005597](https://doi.org/10.1029/2004JD005597).
- Manzello SL, Cleary TG, Shields JR, Yang JC (2006) Ignition of mulch and grasses by firebrands in wildland-urban interface fires. *International Journal of Wildland Fire* **15**: 427-431.
- Marino E, Madrigal J, Guijarro M, Hernando C, Díez C, Fernández C (2010) Flammability descriptors of fine dead fuels resulting from two mechanical treatments in shrubland: a comparative laboratory study. *International Journal of Wildland Fire* **19**: 314–324.
- Marino E, Guijarro M, Hernando C, Madrigal J, Díez C (2011) Fire hazard after prescribed burning in a gorse shrubland: implications for fuel management. *Journal of Environmental Management* **92**: 1003–1011.
- Marino E, Hernando C, Madrigal J, Díez C, Guijarro M (2012) Fuel management effectiveness in a mixed heathland: a comparison of the effect of different treatment types on fire initiation risk. *International Journal of Wildland Fire* **21**: 969–979.
- Martin RE, Gorden DA, Gutierrez ME, Lee DS, Molina DM, Schroeder RA, Sapsis DA, Stephens SL, Chambers M (1993) Assessing the flammability of domestic and wildland

- vegetation. In “Proceedings of the 12th Conference on Fire and Forest Meteorology”, October 26–28, Jekyll Island, Georgia, pp.130-137.
- Monroe MC, Long AJ, Marynowski S (2003) Wildland fire in the Southeast: Negotiating guidelines for defensible space. *Journal of Forestry* **101**: 14–19.
- Mutch RW (1970) Wildland fires and ecosystems-a hypothesis. *Ecology* **51**: 1046-1051.
- Pausas JG, Alessio GA, Moreira B, Corcobado G, 2012. Fires enhance flammability in *Ulex parviflorus*. *New Phytologist* **193**: 18–23.
- Pausas JG, Llovet J, Rodrigo A, Vallejo R (2008) Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? A review. *International Journal of Wildland Fire* **17**: 713-723.
- Peñuelas J, Prieto P, Beier C, Cesaraccio C, De Angelis P, De Datos G, Emmett B, Estiarte M, Garadnai J, Gorissen A, Lang EK, Kröel-Dulay G, Llorens L, Pellizaro G, Riis-Nielsen T, Schmidt IK, Sirca C, Sowerby A, Spano D, Tietema A (2007) Response of plant species richness and primary productivity in shrublands along a north-south gradient in Europe to seven years of experimental warming and drought: reductions in primary productivity in the heat and drought year of 2003. *Global Change Biology* **13**: 2563–2581.
- Pereiras J, Casal M (2002) Dynamics of an *Ulex* shrubland community subjected to prescribed burning. In ‘Fire and Biological Processes’. (Eds L Trabaud, R Prodon) pp. 43–56. (Backhuys Publishers: Leiden, the Netherlands).
- Pimont F., Dupuy J.-L., Linn R.R., Dupont S., 2009. Validation of FIRETEC windflows over a canopy and a fuel-break. *International Journal of Wildland Fire* **18**(7): 775-790.
- Potts JB, Marino E, Stephens SL (2010) Chaparral shrub recovery after fuel reduction: a comparison of prescribed fire and mastication techniques. *Plant Ecology* **210**: 303–315.
- Quézel P (2000) Taxonomy and biogeography of Mediterranean pines (*Pinus halepensis* and *P. brutia*). In “*Ecology, Biogeography and Management of Pinus halepensis and Pinus brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*” (Eds G Ne'eman, and L Trabaud), p 1-12 (Backhuys, Leiden, NL).
- Quézel P, Médail F (2003) Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. In “*Impacts des perturbations anthropiques sur les forêts méditerranéennes*” (Elsevier SAS ed. Paris).
- Rothermel RC (1983) How to predict the spread and intensity of forest and range fires. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station General Technical Report INT-143 (Ogden, UT).
- Saura-Mas S, Paula S, Pausas JG, Lloret F (2010) Fuel loading and flammability in the Mediterranean basin woody species with different post-fire regenerative strategies. *International Journal of Wildland Fire* **19**: 783–794.

- Scarff FR, Westoby M (2006) Leaf litter flammability in some semi-arid Australian woodlands. *Functional Ecology* **20**: 745-752.
- Schwilk DW (2003) Flammability is a niche-construction trait: canopy architecture affects fire intensity. *American Naturalist* **162**: 725–733.
- Schwilk DW, Caprio AC (2011) Scaling from leaf traits to fire behaviour: community composition predicts fire severity in a temperate. *Forest Journal of Ecology* **99**: 970–980.
- Schwilk DW, Kerr B (2002) Genetic niche-hiking: an alternative explanation for the evolution of flammability. *Oikos* **99**: 431–442.
- Stephens, S. L., Adams, M. A., Handmer, J., Kearns, F. R., Leicester, B., Leonard, J. and Moritz, M. A. (2009). Urban–wildland fires: how California and other regions of the US can learn from Australia. *Environmental Research Letters* **4**(1): doi:10.1088/1748-9326/4/1/014010.
- Tárrega R, Luis-Calabuig E, Alonso I (1997) Space-time heterogeneity in the recovery after experimental burning and cutting in a *Cistus laurifolius* shrubland. *Plant Ecology* **129**: 179–187.
- Tatoni T, Roche P (1994) Comparison of old-field and forest revegetation dynamics in Provence. *Journal of Vegetation Science* **5**: 295-302.
- Weise DR, White RH, Beall FC, Etlinger M (2005) Use of the cone calorimeter to detect seasonal differences in selected combustion characteristics of ornamental vegetation. *International Journal of Wildland Fire* **14**: 321–338.
- White RH, Weise DR, Mackes K, Dibble AC (2002) Cone calorimeter testing of vegetation: an update. In ‘35th International Conference on Fire Safety’, July 2002, Ramada Plaza Hotel and Conference Center, Columbus, Ohio. pp. 1-12. (Columbus, OH).



Annexes

