



UNIVERSITE DE CORSE-PASCAL PAOLI
ECOLE DOCTORALE ENVIRONNEMENT ET SOCIETE
UMR CNRS 6134 (SPE)



Thèse présentée pour l'obtention du grade de
DOCTEUR EN MECANIQUE DES FLUIDES, ENERGETIQUE,
THERMIQUE, COMBUSTION, ACOUSTIQUE
Mention : Energétique et génie des procédés

Soutenue publiquement par
LARA LEONELLI
Le 5 avril 2018

Caractérisation des fumées issues de feux de végétation
contrôlés : termes sources, phases d'émissions et impact
sur les opérationnels

Directeurs :

M. Paul-Antoine SANTONI, Pr, Université de Corse
M. Toussaint BARBONI, Dr, Université de Corse

Rapporteurs :

M. Laurent FERRY, Pr, IMT Mines Alès
Mme Céline MARI, DR, Université de Toulouse III

Jury :

M. Dominique MORVAN, Pr, Aix-Marseille Université
Mme Céline MARI, DR, Université de Toulouse III
M. Laurent FERRY, Pr, IMT Mines Alès
Mme Natalie CHIARAMONTI, Dr, Université de Corse
M. Paul-Antoine SANTONI, Pr, Université de Corse
M. Toussaint BARBONI, Dr, Université de Corse

RESUME

Ce travail de thèse s'inscrit dans le contexte de la protection contre les risques incendies de végétation. L'objectif principal est la caractérisation des fumées et la définition de termes sources et de critères d'inflammation utilisables en modélisation, à des fins d'améliorations des outils d'aides à la décision pour la gestion des risques incendies. Le second objectif est l'observation de l'impact de l'exposition aux fumées sur la santé humaine.

La réaction au feu de deux combustibles végétaux, *Cistus monspeliensis* et *Pteridium aquilinum*, a été étudiée en laboratoire à l'échelle du cône calorimètre et du LSHR (Large Scale Heat Release). L'étude des propriétés d'inflammation et de la dynamique de combustion des végétaux a montré l'influence de leur épaisseur et de leur structure sur le temps et la température d'ignition ainsi que sur l'énergie libérée. Elle a permis de définir une taille limite des particules végétales relative à un changement de comportement au feu ainsi qu'un critère d'inflammation indépendant de l'épaisseur et de la structure du combustible.

La caractérisation des fumées a été réalisée en laboratoire (cône calorimètre et LSHR) et sur le terrain (brûlages dirigés). Elle a mis en exergue l'importance de la phase de combustion pour la composition des émissions, notamment pour les aérosols. D'importantes quantités de goudrons sont émises durant la phase de pré-ignition tandis que les suies sont émises lors de la phase de flamme. Elle a notamment permis le calcul de facteurs d'émission des effluents propres à la végétation méditerranéenne, utilisables dans les modèles de simulation couplés feu/atmosphère. Cette étude a également souligné l'effet d'échelle sur la production et la composition des fumées.

Sur les feux de terrain, cette caractérisation a été effectuée à deux niveaux (dans le panache de fumées et dans l'atmosphère de travail des opérationnels). L'analyse de l'atmosphère de travail des opérationnels en conditions de brûlages dirigés et le suivi de biomarqueurs d'exposition aux fumées ont révélés une surexposition à des composés toxiques (irritants, asphyxiants et CMR : cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques) susceptible d'induire des effets sur la santé. Des recommandations sur les pratiques de brûlages dirigés (période, horaires, conditions atmosphériques, positionnement) ont alors été apportées dans ce travail, en vue de réduire l'exposition aux fumées.

Mots clés : combustion de végétaux, fumées, facteurs d'émission, phases d'émission, toxicité.

ABSTRACT

This thesis fits in the context of the protection against wildfire risks. The main goal is the characterization of smoke and the definition of source terms and ignition criteria, available for modelization, to improve decision support tools for fire risk management. The second objective deals with the impact of smoke exposure on human health.

Flammability of vegetation fuel was studied at laboratory scale using two calorimeters (cone and Large Scale Heat Release), for two species: *Cistus monspeliensis* and *Pteridium aquilinum*. The study of ignition properties and combustion dynamics of plants showed the influence of their thickness and structure on ignition time, ignition temperature and on heat release. A limit size of fuel particles for burning behavior was defined as well as an ignition criterion independent of fuel thickness and structure.

Characterization of smoke was carried out at laboratory scale (cone and LSHR) and ground scale (prescribed burns). It highlights the importance of combustion phases for smoke composition, especially for aerosols. Large quantities of tars are released during the pre-ignition phase while soot are released in flaming phase. Emission factors of effluents characteristic of Mediterranean vegetation were obtained, that can be used in fire/atmosphere modelling. This study also emphasizes the scale effect on smoke production and composition.

During ground fires, the characterization was conducted at two locations (in the smoke plume and in firefighters working atmosphere). The analysis of firefighters working atmosphere in prescribed burning conditions and the following of smoke exposure biomarkers (in exhaled breath and urines) showed an overexposure to toxic compounds (irritating, asphyxiating and CMR: carcinogenic, mutagenic and reprotoxic). Recommendations on prescribed burning practices (period, timetable, atmospheric conditions, positioning) were provided in order to attempt reducing the smoke exposure.

Keywords: combustion of vegetation, smoke, emission factors, emission phases, toxicity.