

EVALUATION DE L'EFFICACITE DES COUPURES DE COMBUSTIBLE
--

Eric RIGOLOTT & Jean-Luc DUPUY – Institut National de la Recherche Agronomique,
Prévention des Incendie de Forêt, Avignon

1- Introduction

L'évaluation de l'efficacité des coupures de combustible est l'objectif de l'un des groupes de travail du Réseau Coupures de Combustible (RCC) depuis 1997. Les bases de la méthode d'évaluation à dire d'experts ont été jetées dans ce cadre. A partir de novembre 1998, l'étude s'est transformée en un projet de recherches plus complet financé dans le cadre du Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) sur les incendies de forêt pour une durée de 3 ans. Ce projet de recherches est coordonné par l'équipe Prévention des Incendies de Forêt de l'INRA d'Avignon et regroupe comme autres partenaires l'Unité d'Ecodéveloppement de l'INRA d'Avignon, l'Institut Universitaire des Systèmes Thermiques et Industriels (IUSTI) de l'Université de Provence à Marseille, la Section Technique Interrégionale de l'ONF à Avignon, le Pôle Cindynique de l'Ecole des Mines de Paris à Sophia Antipolis.

2- Objectifs finalisés

L'objectif premier d'une coupure de combustible, en termes de DFCI, est qu'un feu incident ne puisse la franchir. L'efficacité locale, c'est à dire l'efficacité à l'échelle d'un segment de coupure (une centaine de mètres) que l'incendie est supposé atteindre suivant un scénario donné, doit être appréciée en ce sens.

L'étude vise à donner des éléments d'évaluation de l'efficacité locale d'une coupure de combustible afin d'apporter une aide à la décision à la fois aux gestionnaires chargés de la conception de coupures ou de la programmation de travaux d'entretien, et aux services de lutte contre les incendies utilisateurs de l'ouvrage. A ce jour, seuls des seuils d'embroussaillement très empiriques sont disponibles à cet effet. Cette démarche s'inscrit dans le sens d'une optimisation des dépenses engagées pour la conception et l'entretien des ouvrages de prévention.

La finalité de ce projet est de proposer des critères d'évaluation plus pertinents, qui prennent mieux en compte le rôle des caractéristiques de la végétation d'un segment de coupure et de son voisinage, ainsi que l'implantation et les équipements de ce segment, sur le niveau de sécurité et la facilité d'action pour les forces de luttés amenées à utiliser l'ouvrage et finalement sur son niveau d'efficacité selon les conditions météorologiques locales.

L'évaluation de l'efficacité de la coupure de combustible prise dans sa globalité est volontairement exclue des objectifs du projet. Les paramètres appréciables concernant la globalité de la coupure, comme la continuité de l'ouvrage, les délais d'accès, la qualité des accès, ... ne sont pas pris en compte dans l'évaluation des segments présentés. Ces aspects seront abordés dans une étude ultérieure avec un protocole approprié.

3- Contexte scientifique

La possibilité d'arrêter un incendie se produisant suivant un scénario donné (conditions météorologiques, configuration du feu) sur un segment de coupure dépend (i) des caractéristiques attendues du feu incident et du feu sur la coupure, (ii) de la perception du niveau de sécurité des moyens engagés et du niveau de difficulté de la lutte.

Deux approches complémentaires sont mises en œuvre pour tenir compte de ces deux composantes. La première approche passe par la modélisation physique du comportement du feu (dite approche par modélisation). La seconde passe par l'expertise effectuée par des pompiers, et plus largement par des personnes ayant une expérience de la lutte contre les incendies de forêt (dite approche à dire d'expert).

L'approche par modélisation s'appuie sur le développement récent par l'IUSTI de modèles physiques du comportement du feu qui fournissent un cadre théorique robuste pour la description du phénomène. Dans cette approche dite « mécaniste », le feu de forêt est considéré comme un écoulement multiphasique, réactif et radiatif. De premiers résultats encourageants ont été obtenus à l'échelle du laboratoire. L'élaboration de modèles issus de l'approche mécaniste, adaptés à des échelles plus grandes, est actuellement un enjeu de recherche. Parce que l'évaluation de l'efficacité des coupures de combustible impose des échelles de prédiction plus grandes mais demeurant raisonnables, elle offre un cadre attractif à la fois pour montrer les potentialités de l'approche mécaniste, pour l'éprouver, et pour améliorer le contenu des modèles qu'elle produit. Cette voie est aujourd'hui la seule possible pour aborder les problèmes de composition hétérogène et de répartition spatiale non uniforme

de la végétation rencontrées sur les coupures de combustible, et pour fournir les prédictions adéquates de la difficulté de combattre le feu.

L'approche à dire d'expert repose sur le recueil d'avis d'experts mis en situation sur des segments de coupures de combustible préalablement décrits avec précision (végétation, topographie, équipements). Il s'agit, pour un segment et un scénario donnés, de demander aux experts (i) d'évaluer les caractéristiques attendues du feu incident et du feu sur la coupure, (ii) de fournir des informations en relation avec la lutte contre l'incendie pour identifier les points faibles de la coupure, (iii) d'émettre un avis sur le risque de franchissement de ce segment de coupure par le feu et les raisons de ce risque.

Une fois recueillie cette connaissance, il convient de mettre en relation le niveau d'efficacité de la coupure avec les caractéristiques du segment de coupure et les scénarios envisagés. L'efficacité dépend de critères à identifier et à combiner pour définir des niveaux.

En terme scientifique, l'intérêt de l'approche à dire d'expert réside dans la mise au point de méthodes adaptées à l'analyse et la structuration d'informations tirées du retour d'expérience de la lutte contre les incendies de forêt.

L'approche par modélisation ne permet pas de fournir directement une évaluation de l'efficacité. En revanche, elle permet de déterminer objectivement des critères relatifs au comportement attendu du feu. Il convient donc d'en tirer des éléments synthétiques contribuant, avec la connaissance tirée de l'approche à dire d'expert, à quantifier le niveau d'efficacité d'un segment de coupure.

4- Démarche scientifique et premiers résultats

4.1. Typologie des coupures de combustible et choix des segments

Cette tâche vise à réaliser une typologie opérationnelle des coupures de combustible et à identifier les critères d'échantillonnages des segments à retenir pour les expertises.

La typologie réalisée a largement servi de base à celle présentée en session 1 à laquelle on se reportera. Le premier critère retenu pour la sélection des segments est relatif aux strates de végétation, avec pour la strate arborée, la nature de l'espèce dominante, la densité des arbres sur la coupure et dans certains cas le type de sylviculture, et pour la strate arbustive, le niveau d'embroussaillage. Les autres critères pris en compte sont relatifs aux caractéristiques de la coupure avec notamment sa largeur, sa position topographique et l'emplacement de la piste.

Pour la campagne d'évaluation 1999, 25 segments ont été retenus. Le tableau 1 donne leur répartition selon l'espèce d'arbre dominante et la localisation géographique. Une seconde série de segments complétant la première sera sélectionnée pour l'année 2000.

Tableau 1 : Répartition des segments retenus pour la campagne d'évaluation 1999

Zone d'étude	Départements	Chêne vert	Pin d'Alep	Chêne liège	Pin maritime	Total
Provence calcaire	84	4	2	0	0	6
	13	0	7	0	0	7
	30	1	0	0	0	1
Provence cristalline	83	0	0	5	1	6
Corse	2A	0	0	2	3	5
	Total	5	9	7	4	25

4.2. Description du combustible

Il s'agit de caractériser la végétation en termes de quantité, de composition et de structure, sur le segment, en détaillant certains paramètres nécessaires à l'approche par modélisation.

La méthode retenue consiste en la description des différentes strates de végétation sur des segments de coupure de largeur de 50 m et d'une longueur égale à la largeur de la coupure augmentée de 25 m dans le peuplement non débroussaillé de part et d'autre de la coupure. Les évaluations sont effectuées sur des carrés unitaires de 25 m de côté. Sur chaque carré unitaire, et pour chaque strate de végétation, les mesures du recouvrement et de la hauteur des trois espèces dominantes et de l'ensemble de la strate sont complétées par une évaluation de la fragmentation/agrégation du combustible. De plus un transect médian de l'ensemble de la bande décrite, permet une description fine de la structure de la végétation.

Des procédures automatisées sont actuellement mises au point pour transformer les données de base récoltées sur le terrain de remplissage en données d'entrée pour les modèles.

Les premières descriptions de segments font apparaître des comparaisons inédites entre les caractéristiques de la végétation sur la coupure de combustible et dans peuplement adjacent, notamment en ce qui concerne la structure de la strate arborée. Deux cas peuvent illustrer ce propos :

- La coupure de combustible des Taillades dans le Vaucluse est une interface forêt-urbanisme en piémont Ouest du Massif du Petit Luberon. Le segment étudié d'une longueur de 100 m est dominé par du pin d'Alep de 8 à 16 mètres de hauteur. La figure 1a illustre l'éclaircie réalisée sur les pins d'Alep lors de la création de la coupure de combustible en diminuant la densité des arbres de 500 tiges/ha à 350 tiges/ha.
- La coupure de combustible de Cadenet est une coupure stratégique en position de crête au cœur d'un massif isolé en plaine de Durance (Vaucluse). Le segment étudié d'une largeur de 80 m est dominé par du chêne vert de 4 à 8 m de hauteur. La figure 1b illustre la forte éclaircie réalisée, notamment dans les cépées de chêne vert, pour structurer la strate arborer de la coupure par balivage, ramenant la densité des arbres de 1300 tiges/h à 200 tiges/ha.

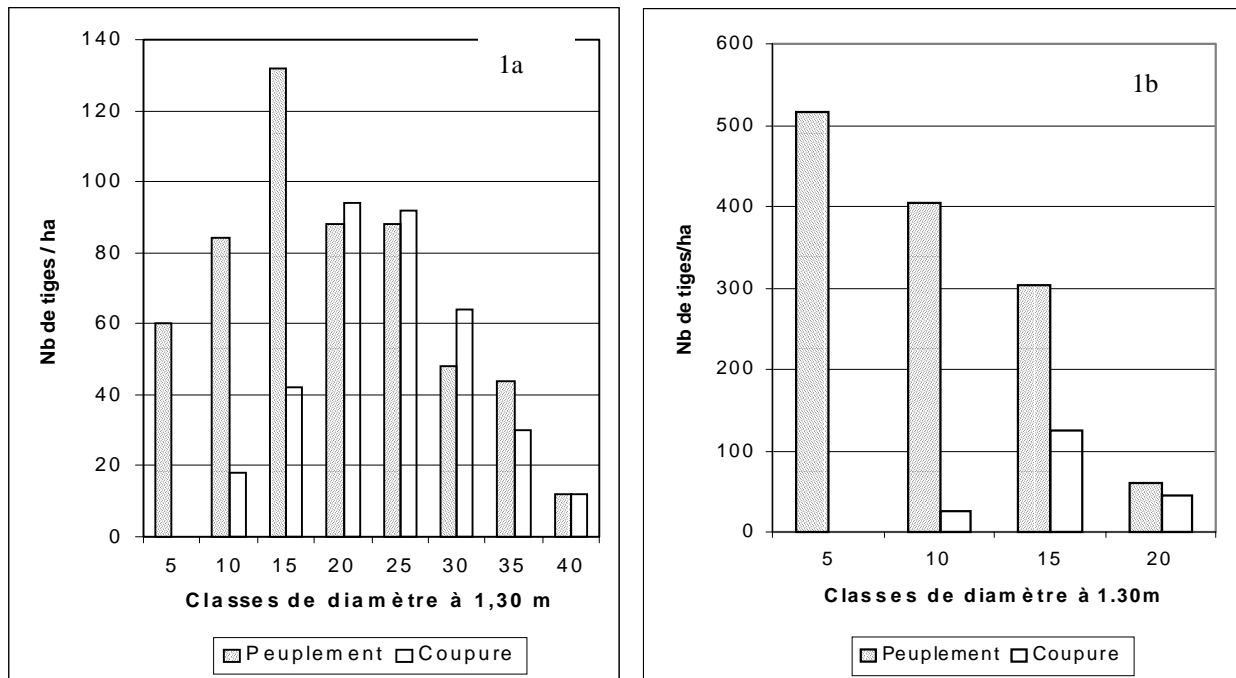


Figure 1 : Distribution des classes de diamètre des arbres sur la coupure de combustible et dans le peuplement voisin sur les segments des Taillades (1a) et de Cadenet (1b).

4.3. Modélisation du comportement du feu

Les coupures présentent un milieu combustible caractérisé par des discontinuités horizontales et verticales. Il s'agit successivement de :

- simuler numériquement le passage du feu de touffe à touffe, ou de touffe à houppier, ou encore de houppier à houppier, à l'aide des modèles d'écoulement multiphasique « complets ». Ces simulations seront validées à l'aide d'expériences de laboratoire qui seront conduites dans les prochains mois sur un nouveau dispositif mis en place par l'équipe INRA-PIF (feux « statiques »).
- élaborer des modèles approchés de ces phénomènes sur la base de la compréhension et de la description physique apportées par les simulations précédentes. Ces modèles approchés sont destinés à simuler le comportement du feu à l'échelle de la coupure. Outre la volonté de prendre en compte l'effet des discontinuités de la végétation sur le comportement du feu, ces modèles approchés innoveront dans le traitement des écoulements de gaz autour du foyer et de leurs conséquences sur la propagation du feu et des flux thermiques à distance.

Ces différents types de modèles, leurs possibilités et leurs limites actuelles, sont présentés dans la session 2 (« Les apports possibles de la physique du feu... »).

4.4. Approche à dire d'expert

Dans chacune des trois zones géographiques énumérées au tableau 1, un groupe d'une dizaine d'évaluateurs a été constitué de pompiers et forestiers ayant une expérience vécue des incendies de forêt. Une grille d'évaluation de l'efficacité des segments de coupure de combustible a été mise au point et les évaluateurs ont été entraînés à son utilisation. Quatre scénarios d'incendie ont été définis qui combinent la direction de propagation du feu (feu de face ou de flanc) et la vitesse du vent (60 km/h et 20 km/h). Sur chaque segment visité un ou plusieurs scénarios sont proposés au groupe d'évaluateurs. Lors de la campagne d'évaluation 1999, 25 segments ont été visités pour un total d'une quarantaine de paires segment/scénario.

L'information recueillie est traitée en mettant en relation des paramètres de description des segments et des indicateurs d'efficacité, en combinant des méthodes statistiques de correspondance entre classes et des méthodes d'extraction de la connaissance. Dans un deuxième temps, des critères d'évaluation de l'efficacité des coupures sont construits à partir des paramètres pertinents retenus par ces deux méthodes.

Deux groupes d'indicateurs d'efficacité sont actuellement élaborés : des indicateurs de franchissement de la coupure de combustible (Probabilité de saute, probabilité de feu de cime, probabilité de feu courant) et des indicateurs de facilité de lutte (sentiment de sécurité, manœuvrabilité, gêne des fumées). Chaque indicateur d'efficacité est relié à des paramètres pris en compte dans les descriptions de segments. Ainsi la probabilité de franchissement en cime peut être exprimé notamment en fonction de la hauteur et de la densité des arbres et de la largeur de la coupure de combustible. L'analyse statistique permet d'identifier la combinaison des meilleures prédicteurs de chaque variable à expliquer.

Dans l'attente d'une analyse approfondies de l'ensemble des données recueillies, une analyse préliminaire des évaluations réalisées met en évidence la très forte préoccupation des évaluateurs par rapport à la strate arborée. La trop forte densité des arbres sur les coupures de combustible visitées est le point le plus souvent souligné. Ce point est renforcé par la difficulté rencontrée lors de la phase d'échantillonnage pour localiser des segments de coupure avec une densité des arbres en modalité faible.

A titre d'illustration, les segments des Taillades et de Cadenet évoqués plus haut ont été évalués de la manière suivante dans le cadre d'un scénario avec vent à 20 km/h et feu de face.

Question 8 : Pensez vous arrêter le feu sur ce segment de coupure ?

Sur le segment des Taillades, 75% des évaluateurs imaginent un passage en cime généralisé sur la coupure, et 67% d'entre eux envisagent d'arrêter le feu par divers actions de lutte. Tous les évaluateurs proposent l'éclaircie des pins comme première mesure d'amélioration du segment.

Sur celui de Cadenet, aucun évaluateur n'imagine un passage en cime généralisé sur la coupure et ils envisagent tous d'être en mesure de bloquer l'incendie sur ce segment. Aucune proposition d'amélioration du segment n'est signalée dans ce cas.

Malgré une moindre largeur et des arbres plus petits, le segment de Cadenet semble plus efficace aux évaluateurs parce que les arbres y sont plus éloignés : la distance moyenne entre cimes sur la coupure est de deux mètres au Taillades contre 12 mètres à Cadenet. L'éclaircie aux Taillades à uniquement consisté à éliminer les petits diamètres, sans mettre à distance les gros arbres conservés (Figure 1a).

4.5. Validation des résultats

Feux de validation des modèles de comportement

Comme déjà mentionné, certaines étapes de l'amélioration des modèles ou de la conception de nouveaux modèles, nécessitent d'être validées en réalisant des feux expérimentaux de laboratoire (banc thermique). Ces travaux sont actuellement en cours.

Des feux expérimentaux de terrain très instrumentés vont aussi être réalisés l'hiver prochain sur des coupures de combustible afin de valider les modèles à ce nouveau niveau d'échelle. Les conditions de brûlage devront si possibles être bien différenciées en terme de structure du combustible et de scénarios météorologiques. Bien entendu, ces feux expérimentaux ne peuvent pas être conduits dans les périodes où les conditions sont les plus sévères. Des situations de transition seront particulièrement recherchées : passage de touffe à touffe ou non, passage aux cimes localisé, ...).

Analyses après incendies

Des rapprochements seront effectués entre les études de cas réalisées dans le cadre des analyses après incendies touchant des coupures de combustible (cf. intervention Lambert et al. dans la même session) et les segments analysés dans le cadre de l'approche à dire d'expert. Ces rapprochements se faisant sur la base de la structure de la végétation et du contexte météorologique, ils permettront une validation partielle des critères d'évaluation proposés.

Enfin, les enseignements des retours d'expérience effectués par les services de lutte sur des coupures similaires aux coupures étudiées seront intégrés dans ces analyses.

5- Conclusions

L'efficacité locale d'un segment de coupure constitue un des critères conditionnant les décisions du gestionnaire ou des services de lutte quant aux actions à conduire. Le niveau de ce critère doit être traduit en termes de règles pour l'action :

- seuils d'embroussaillement,
- seuils caractérisant les discontinuités dans la répartition du combustible y compris de la strate arborée,
- espèces végétales à favoriser ou éliminer,
- position topographique et largeur locale de la coupure,
- caractéristiques et emplacement des équipements (pistes, bandes décapées, ...).