PROJET GECOVI

Quel type de gestion du combustible pour quel type de végétation dans quel type d'interface

RESUMÉ

Catégorie de l'appel d'offre : Appel à projets.
Coordination : Mme Anne Ganteaume (INRAE RECOVER).
Durée : 26 mois (15 Nov. 2022 - 15 Janv. 2025).
Partenaires du projet : INRAe, amU, agence MTDA.
Montant de la subvention AFORCE : 5 000 €.

THÉMATIQUES

Anticiper et gérer les risques

AFORCE

CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET

Ce projet de recherche souhaite mettre en avant les impacts des traitements utilisés dans la gestion de la biomasse combustible sur le risque incendie (comportement du feu et les effets en résultant), et sur la vitalité des peuplements arborés, la structure et la composition floristique dans les zones traitées par rapport au témoin. En effet, dans le cadre de la prévention des incendies de forêt à court et long termes, il est indispensable de mieux connaître comment les mécanismes de mise à feu s'opèrent en fonction des différents types de combustibles résultant des traitements (les rémanents et les arbres/arbustes restants).

L'hypothèse de départ de ce travail est que le type et la structure de la végétation, les conditions abiotiques du milieu résultant des traitements de la végétation, mais aussi l'intervalle de retour de chaque traitement, influencent l'ignition et la propagation du feu dans les interfaces habitat-forêt et réseaux-forêt.

PRINCIPAUX LIVRABLES ET PUBLICS CIBLES

Catégorie	Livrable	Description	Publics cibles
Guide technique	Ganteaume A., Boschet A., Cailleret M., 2025. Gestion du combustible pour la prévention des incendies de forêt. >>>>	État des connaissances scientifiques et techniques, implications pour la gestion DFCI.	Institutionnel, gestionnaires du feu, de la forêt et des espaces protégés, propriétaires forestiers, bureaux d'études.
Article de vulgarisation	Ganteaume A., Boschet A., 2025. Forêt méditerranéenne. Tome XLVI, n°2, juin 2025, pp. 107-118. >>>>	Synthèse des résultats du projet, sur la partie inflammabilité.	Institutionnels, gestionnaires du feu, de la forêt et des espaces protégés, propriétaires forestiers, bureaux d'études et associations environnement, laboratoires de recherche.
Séminaire de médiation scientifique	Le 7 mai 2024 à Lamanon, en partenariat avec le PNR des Alpilles, le master de médiation scientifique d'AMU et l'association Les petits débrouillards (155 participants).	Communiquer sur la gestion du risque incendie de forêt par le débroussaillement.	Institutionnel, gestionnaires du feu, de la forêt et des espaces protégés, propriétaires forestiers, bureaux d'études.
Colloque de restitution	Le 14 novembre 2024 au Tholonet (61 participants).	Restitution de l'ensemble des résultats du projet (présentations et table ronde).	Institutionnels, gestionnaires du feu, de la forêt et des espaces protégés, propriétaires forestiers, bureaux d'études et associations environnement, laboratoires de recherche.

PARTENAIRES DU PROJET

INRAE

amU Aix Marseille Université

AGENCE MTDA CONSEIL EN ENVIRONNEMENT

MODE D'EMPLOI

Méthodes de traitement et types de végétation étudiés

Quatre types de traitement de la végétation, parmi les plus fréquemment utilisés, ont été sélectionnés : le brûlage dirigé et le broyage mécanique pour traiter les ligneux (chêne kermès) dans différents massifs des Bouches-du-Rhône, et le fauchage mécanique à l'épareuse et manuel au rotofil pour traiter les herbacées de bord de route (voir Fig. 1 et Fig. 2). Le fauchage entraîne la production de rémanents de coupé laissés sur place, mais une modalité de fauchage mécanique sans résidus de coupe a également été testée pour comparaison. Pour ce qui concerne le broyage mécanique et le brûlage dirigé, l'échantillonnage a également été effectué en fonction de différents intervalles de retour du traitement : l'année du traitement (T0), un an après (T1) et deux ans après (T2), les herbacées étant traitées au moins une fois par an (T0). L'échantillonnage a été réalisé en essayant de respecter au maximum une homogénéité entre les stations.

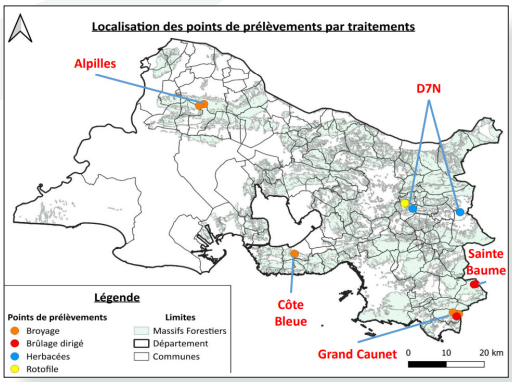

Figure 1 : Carte des sites de prélèvement des modalités étudiées.

A. Végétation cible : ligneux **B.** Végétation cible : ligneux **C.** Végétation cible : herbacées **D.** Végétation cible : herbacées

Figure 2 : Exemple des quatre types de traitement de la végétation sélectionnés (**A.** Broyage mécanique, **B.** Brûlage dirigé, **C.** Épareuse, **D.** Rotofile).

Effet des traitements sur l'inflammabilité

Protocoles de prélèvement et de brûlage

Le prélèvement des échantillons de végétation traitée et témoin a été effectué de manière à garder intacte la structure de la végétation. Pour les ligneux, outre les tiges de chêne Kermès plus ou moins hautes selon l'intervalle de retour, les échantillons étaient principalement constitués de litière de feuilles/aiguilles de pin. La densité apparente de la végétation traitée et le contenu hydrique (FMC) variait également en fonction de l'intervalle de retour et du traitement (valeurs les plus élevées pour le témoin et les plus faibles pour les traitements à T0). Pour les fauchages d'herbacées (recouvrement > 95%), les échantillons étaient exclusivement constitués de Brome pour l'épareuse et principalement d'*Oloptum sp.* pour le rotofil, avec une densité apparente plus faible et un FMC plus élevé dans les témoins, dans les deux cas. Ces paramètres de l'échantillon ainsi que les paramètres environnementaux propres à chaque site peuvent aussi influencer l'inflammabilité. Lorsque significatif, les effets « échantillon » et « site » ont été supprimés au cours des analyses statistiques de façon à ne prendre en compte que l'effet « traitement » dans les analyses.
Pour chaque traitement/témoin, au minimum dix échantillons par site et par intervalle de retour (seulement pour les ligneux) ont été prélevés en été et brûlés en laboratoire juste après prélèvement pour éviter le dessèchement de l'échantillon (821 brûlages au total).

Variables mesurées

Dans cette étude, nous avons évalué l'inflammabilité de la végétation post-traitement au travers de différentes variables caractérisant les trois composantes de l'inflammabilité : (1) pour l'ignitabilité, la fréquence d'ignition (%) et le délai d'ignition ; (2) pour la durabilité, la durée de flamme, et (3) pour la combustibilité : la température maximale émise par les flammes et le flux de chaleur total reçu à 10 et 40 cm au-dessus de l'échantillon, l'intensité du front de flamme, la capacité à propager la flamme, la vitesse de propagation et la hauteur de flamme. La capacité d'ignition de la végétation (composante 1 de l'inflammabilité) a d'abord été étudiée en utilisant un brandon incandescent comme source d'ignition avec un vent de 9,8 km.h-1 afin de reproduire les conditions d'allumage en bord de route dues aux mégots de cigarette. Puis la phase relative à la propagation du feu (composantes 2 et 3) a été évaluée avec un allumage fait à la ligne d'alcool de façon à avoir 100 % d'ignition (et sans vent) pour mimer une propagation du feu de la forêt vers la route.

Effet du traitement sur la diversité floristique et sur la santé des peuplements de pins d'Alep

Huit placettes réparties sur les quatre massifs forestiers ont été étudiées à proximité des placettes échantillonnées pour l'inflammabilité. Pour chacune, trois réplicats de 20 * 20 m en débroussaillé et trois en témoin ont été échantillonnés en gardant des conditions homogènes (8*6, soit 48 sous-placettes au total).
Afin de caractériser les conditions stationnelles et la structure et composition du peuplement de chaque sous-placette, un inventaire dendrométrique en plein a été réalisé (diamètre et espèce de tous les arbres avec un diamètre > 5 cm), et le recouvrement de la végétation dans cinq strates verticales a été estimée. La situation topographique a été estimée visuellement et quantitativement avec le modèle numérique de terrain de l'IGN (calcul d'un indice de position topographique ; TPI), et la réserve utile du sol a été quantifiée à partir des fonctions de pédotransfert de Jamagne en prenant en compte la profondeur du sol mesurée à la tarière et la texture du sol.
Pour l'analyse de la santé des pins d'Alep, le déficit foliaire a été évalué sur 194 arbres (co)dominants selon le protocole utilisé par le Département Santé des Forêts (DSF). Concernant les inventaires floristiques, la présence et l'abondance des plantes vasculaires ont été relevées avec les coefficients de Braun-Blanquet, ce qui nous a permis de quantifier le nombre d'espèces, les (dis)similarités de la communauté végétale et ses caractéristiques fonctionnelles (moyenne et diversité des indices d'Ellenberg).

RÉSULTATS

Evaluation de l'efficacité des méthodes de traitement sur la réduction de l'aléa incendie

Le broyage mécanique et surtout le brûlage dirigé (Fig. 3) entraînent une diminution de l'inflammabilité des échantillons traités par rapport au témoin non-traité (du fait principalement à la réduction de la biomasse et de la hauteur de la végétation traitée) et cela quelle que soit la période de retour. Le broyage mécanique a cependant présenté une forte ignition de la végétation l'année où le traitement a eu lieu et la propagation plus importante des flammes. Cela pourrait s'expliquer par une litière plus importante et une densité de végétation plus forte.

Pour le fauchage mécanique des herbacées, avec ou sans rémanents, on constate une augmentation globale de l'inflammabilité avec notamment une probabilité d'ignition plus forte, ce qui est l'opposé de l'effet attendu. Ce résultat est dû, d'une part à la surface de contact avec le brandon incandescent plus importante que dans la végétation témoin, d'autre part aux rémanents de coupe laissés sur place qui constituent un tapis d'herbacées très sèches propices au feu. Lorsqu'on enlève les rémanents, il ne reste que la litière naturelle de la végétation qui est elle aussi très sèche en période estivale et donc très combustible (favorable à l'ignition et à la propagation du feu). De plus, dans les deux cas traités, les échantillons sont bien plus exposés au vent ce qui diminue le délai d'ignition, mais augmente la vitesse de propagation des flammes qui dépend énormément du vent. Enfin, l'intensité des flammes est plus importante, car elle dépend de la quantité de biomasse disponible (ici certes réduite) mais également de la vitesse de propagation des flammes qui est beaucoup plus importante avec traitement.

Le fauchage manuel au rotofil produit des rémanents dont la structure est plus aérée et moins dense, car discontinus et dispersés avec des orientations différentes ce qui ne permet pas une surface de contact avec le brandon adéquate pour l'ignition. De ce fait ce traitement entraîne soit une diminution significative de l'inflammabilité, soit un effet non significatif par rapport au témoin. Globalement, la quantité de biomasse est diminuée pour une même surface et cette dernière est difficilement mobilisable par les flammes, limitant ainsi fortement l'inflammabilité.

Explication des effets du brûlage dirigé

Réduction de la hauteur de végétation

- Le brûlage dirigé réduit la hauteur de végétation et donc la hauteur de flamme

Réduction de la quantité de biomasse

- Moins de biomasse disponible lors de la combustion donc moins d'énergie dégagée
- Intensité du front de flamme dépend en partie de la quantité de biomasse pour les flammes

Un effet bénéfique ou pas d'effet

- Aucunes variables d'inflammabilité augmenté par le traitement

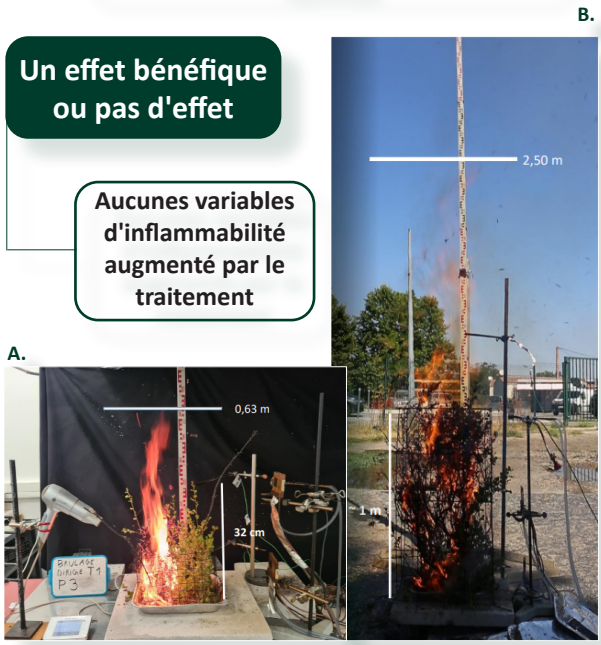

Figure 3 : Comparaison de la hauteur de flamme entre la végétation traitée par brûlage dirigé (**A.**) et témoin (**B.**).

Effet du traitement sur la diversité floristique et sur la santé des peuplements de pins d'Alep

En moyenne, plus d'espèces ont été relevées en zone débroussaillée qu'en zone témoin, mais avec une forte variabilité entre placettes. Dans les Alpilles et sur la Côte Bleue, il y a une vingtaine d'espèces en zone témoin et entre 40 et 60 en zone débroussaillée, alors que sur la Sainte-Baume, ~35 espèces ont été notées quelle que soit la modalité. Cette augmentation de diversité spécifique en zone débroussaillée s'accompagne d'une plus grande richesse fonctionnelle et s'explique par la présence à la fois des espèces pionnières, et des espèces mésophiles et tolérantes à l'ombre, alors que seules ces dernières sont présentes en zone témoin. La variabilité de l'effet traitement entre placettes ne semble pas être causée par le type de traitement appliqué, mais être associée à un effet 'massif forestier' et potentiellement à la proximité aux sources de graines de plantes rudérales. Nous n'avons aussi noté aucun effet significatif du traitement sur les espèces protégées (2 espèces en statut de protection régionale présentes en zones débroussaillée et témoin).

En moyenne, le déficit foliaire est de 44 % (similaire aux observations du DSF en Provence) et est supérieur en zone témoin qu'en zone débroussaillée (48 % vs. 40 %). Les pins les plus gros sont les moins défoliés, mais à même taille le déficit foliaire est plus important en zone débroussaillée qu'en témoin. Les pins les plus défoliés sont situés sur des sols à forte réserve utile ce qui indiquerait une « maladaptation » des arbres ; résultat aussi observé sur d'autres massifs en Provence (mais qui est l'inverse pour le chêne vert ou le pin sylvestre). Au sein d'une placette, la différence de déficit foliaire entre la modalité débroussaillée et la modalité témoin n'est pas associée à l'ouverture du peuplement induit par le débroussaillement, mais s'explique par la différence de réserve utile, les sous-placettes témoin ayant un sol généralement plus profond et avec une meilleure texture.

PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

À propos tout d'abord du débroussaillement dans les massifs, le brûlage dirigé et le broyage mécanique réduisent significativement l'inflammabilité de la végétation post-traitement, l'efficacité dans le temps est meilleure pour le premier.
Pour le fauchage des bords de route, l'emploi de l'épareuse entraîne une augmentation de l'inflammabilité, avec ou sans rémanents de coupe, contrairement au fauchage manuel au rotofil du fait de la différence de structure des rémanents.
Concernant l'état sanitaire de la strate arborée, aucun effet direct du débroussaillement sur le déficit foliaire des pins d'Alep n'a pu être constaté. Les pins en zone témoin sont plus défoliés, mais probablement à cause d'un meilleur sol.
En général, la diversité floristique est plus forte en zone débroussaillée du fait de la présence des espèces pionnières en plus des espèces forestières mésophiles « d'ombre ». Cependant, il existe une forte variabilité entre placettes et entre massifs encore mal expliquée, qui nécessiterait d'être examiné avec un échantillonnage plus conséquent et plus homogène.

CONTACT

La porteuse de projet est Mme Anne GANTEAUME, Directrice de recherche à INRAe à Aix-en-Provence, au sein de l'équipe « Ecosystèmes Méditerranéen et Risque » de l'UMR RECOVER.

Pour plus d'informations sur le projet, vous pouvez aussi contacter M. Maxime CAILLERET (Chargé de recherche) et M. Arthur BOSCHET (Doctorant) de l'UMR RECOVER.

Le projet a été mené avec la participation de l'agence MTDA et de l'Université d'Aix Marseille (amU).

PLUS D'INFORMATIONS

Plus d'informations sont disponibles sur la page projet GECOVI du RMT AFORCE.

Références

[1] Ganteaume A., Boschet A., Cailleret M., 2025. Gestion du combustible pour la prévention des incendies de forêt. État des connaissances scientifiques et techniques, implications pour la gestion DFCI. RMT Aforce, 58 p. >>>>

[2] Ganteaume A., Boschet A., Cailleret M., 2025. Rapport du projet GECOVI - Quel type de gestion du combustible pour quel type de végétation dans quel type d'interface. RMT AFORCE, 59 p. >>>>

[3] Ganteaume A., Boschet A., 2025. La gestion du combustible pour la prévention des feux : les méthodes de traitement réduisent-elles efficacement l'aléa incendie ? Forêt méditerranéenne. Tome XLVI, n°2, juin 2025, pp. 107-118. >>>>

[4] Boschet et al, 2024. Poster sur l'Évaluation de l'inflammabilité de la végétation en fonction des différents types de traitement des combustibles. >>>>

FINANCEURS DU PROJET

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA SOUVERAINETÉ ALIMENTAIRE
France Bois Forêt INTERPROFESSION NATIONALE
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
ADEME
arbre