

Anne GANTEAUME - Arthur BOSCHET - Maxime CAILLERET
INRAE

Gestion du combustible pour la prévention des incendies de forêt



GUIDE TECHNIQUE

État des connaissances scientifiques et techniques
Implications pour la gestion DFCI

Coordination : Anne GANTEAUME

INRAE

amU
Aix Marseille Université

AGENCE
MTDA
CONSEIL EN ENVIRONNEMENT

AFORCE

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
Liberté
Égalité
Fraternité

MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE
Liberté
Égalité
Fraternité

FRANCE
BOIS
FORÊT
INTERPROFESSION
NATIONALE
www.franceboisforet.fr

arbre

CNPF

RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité
ADEME
AGENCE NATIONALE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

Crédits photos

Arthur Boschet/INRAE : pages 1, 19, 22, 23 26, 41, 42, 43, 48, 49

Maxime Cailleret/INRAE : page 44

Sabine Débit/Cerpam : page 27

Rémi Dureau/Cerpam : page 52

Anne Ganteaume/INRAE : pages 17, 20, 21, 24, 51

ONF : page 18

Gérard Paillard/INRAE : page 15

Christian Slagmulder/INRAE : page 13

Wikimedia commons : pages 25, 34, 50

Cet ouvrage a été réalisé dans le cadre du programme Gecovi « Quel type de gestion du combustible pour quel type de végétation dans quel type d'interface », financé par le CNPF et l'Ademe dans le cadre du RMT Aforce « Adaptation des forêts au changement climatique ».

Référence à citer

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.

© INRAE et Cardère éditeur 2025

ISBN 978-2-37649-043-2

Aux termes du Code de la Propriété intellectuelle, toute reproduction ou représentation, intégrale ou partielle, de la présente publication, faite par quelque procédé que ce soit (reprographie, microfilmage, scannérisation, numérisation...) sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L.335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. L'autorisation d'effectuer des reproductions par reprographie doit être obtenue auprès du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) - 20 rue des Grands Augustins 75006 Paris - Tél. 01 44 07 47 70 / Fax 01 46 34 67 19.

Les auteurs remercient

- les casernes de Meyrargues et d'Aubagne (Sdis13) pour la mise à disposition d'un espace sécurisé pour le brûlage des échantillons de végétation témoin ;
- les forestiers-sapeurs du conseil départemental 13, la cellule de brûlage dirigé du Sdis13, les agents de protection de la forêt méditerranéenne de l'ONF, le parc naturel régional des Alpilles et l'Entente Valabre pour leur mise à disposition des bases de données de traitement du combustible et leur aide dans la réalisation du plan d'échantillonnage ;
- Mathieu Audouard, Jean-Michel Lopez, Christian Travaglini, Andy Dieudonné, Valentine Aubard, Fanny Cornuéjols (INRAE) pour leurs contributions aux expérimentations et prospections sur le terrain menées dans le cadre du projet Gecovi ;
- Sylvie Vanpeene (INRAE) pour la relecture attentive qui a contribué à la qualité de cet ouvrage.

sommaire

3

Remerciements

6

INTRODUCTION

Contexte des traitements de végétation

Des réseaux malgré tout encore fortement sources de départs de feux

Bases de données sur les équipements de DFCI

Le projet Gecovi

Objectifs de ce guide

12

DIFFÉRENTS TYPES DE COUPURES DE COMBUSTIBLE

Les bandes débroussaillées de sécurité (BDS) dans les massifs

Les coupures intramassif

Les coupures agricoles intermassifs

Les interfaces habitat-forêt et les bandes débroussaillées de sécurité le long des voies d'accès

Débroussaillage aux abords des constructions des particuliers

Débroussaillage en bordure des infrastructures linéaires

20

LES ACTEURS DE LA GESTION DU COMBUSTIBLE

Forestiers-sapeurs

Les agents de protection de la forêt méditerranéenne (APFM)

Le service départemental d'incendie et de secours (Sdis)

22

QUELLES MÉTHODES DE TRAITEMENT DU COMBUSTIBLE ?

Le débroussaillage

Le débroussaillage manuel

Le débroussaillage mécanique

Le fauchage de bord de route/autoroute ou chez les particuliers

Fauchage manuel

Fauchage mécanique

Le brûlage dirigé

Le pastoralisme, le sylvopastoralisme, l'écopastoralisme

Les coûts de traitement

30

COHÉRENCE DES ENJEUX DFCI, PAYSAGERS ET ENVIRONNEMENTAUX

- Impact des traitements mécaniques sur la biodiversité et les sols
- Impact du brûlage dirigé sur la biodiversité et les sols
- Impact du pastoralisme sur la biodiversité et les sols
- Du matériel et des pratiques adaptés à une gestion intégrée de la végétation
- Adapter le calendrier des travaux pour une gestion intégrée de la végétation
- Gestion de la végétation et du paysage dans la DFCI

40

MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE DE L'IMPACT DU TRAITEMENT ET RÉSULTATS

- Les types de traitement étudiés et les sites échantillonnés
- Étude de l'impact des traitements du combustible sur l'inflammabilité de la végétation post-traitement
- Quelques résultats concernant l'impact du traitement sur l'inflammabilité
- Étude de l'impact des traitements du combustible sur la biodiversité floristique et sur l'état de santé des peuplements arborés
 - Qu'est-ce que la végétation post-traitement ?*
 - Un prélèvement des échantillons adapté*
 - L'inflammabilité, qu'est-ce que c'est ?*
 - Que mesure-t-on et comment ?*
 - Des sources d'ignition adaptées*
- Quelques résultats sur l'impact du traitement sur la diversité floristique et la santé des peuplements arborés

47

FICHES TRAITEMENTS

- Brûlage dirigé
- Broyage mécanique
- Fauchage mécanique
- Fauchage/débroussaillage manuel
- Pastoralisme

53

CONCLUSIONS RELATIVES AU PROJET GECOV

54

Références

56

Sigles et acronymes utilisés

introduction

Contexte des traitements de végétation

L'augmentation, dans les années 1980, des incendies de forêt en région méditerranéenne française a amené les collectivités publiques à développer une importante politique de prévention des incendies en complément des efforts qui étaient engagés en matière de lutte (Curt & Fréjaville 2018). En effet, suite à la déprise agricole au cours du xx^e siècle, la recolonisation du milieu par la forêt, d'abord sous forme de friche ou d'embroussaillage autrefois entretenus par les troupeaux, a entraîné une accumulation de combustible responsable de l'intensification des feux de forêt (38 % de la surface de la région Sud-Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) est couverte de forêts).

Parallèlement, l'augmentation de la fréquentation des massifs par le public et l'accentuation du mitage des espaces forestiers par les habitations (entraînant une augmentation des surfaces d'interface habitat-forêt) ont engendré un accroissement du nombre de départs de feux dans ces zones (Chappaz & Ganteaume 2022).

La politique de prévention des incendies de forêt mise en œuvre dans le cadre de la défense des forêts contre les incendies était, au départ, fondée sur un aménagement et un cloisonnement des massifs forestiers avec des coupures de combustible. Il pouvait s'agir de réaménager le territoire (remises en cultures agricoles, pâturage, installations de vergers ou de vignes, etc.) ou de réaliser des traitements mécaniques pour la réduction de la biomasse combustible, voire des brûlages dirigés.

Les ruptures dans la continuité du couvert forestier ainsi créées avaient pour objectif de ralentir la progression des incendies et d'en diminuer l'intensité et l'ampleur. Outre l'effet de ces traitements sur le comportement du feu, ils permettent également d'améliorer la lutte contre les incendies en facilitant l'accès, la circulation et l'engagement des moyens de lutte. Les coupures de combustible ne concernent en général qu'un faible pourcentage de la superficie forestière (en général plutôt voisin de 3 à 5 % selon les départements). Le traitement du combustible concerne aussi des linéaires de réseaux importants (1700 km de pistes DFCI, sans compter les coupures de combustible, et 12 631 km de bords de route à faucher dans les Bouches-du-Rhône : fig.1).

La défense des forêts contre les incendies (DFCI)

La mission de défense des forêts contre les incendies (DFCI), pilotée par l'ONF, met en œuvre les plans de protection de la forêt contre l'incendie (PPFCI), souvent établis à l'échelle du département pour guider l'action collective, et les plans de massifs qui sont la déclinaison par massif du PPFCI. Ces plans définissent les outils de programmation, d'aménagement et d'entretien des massifs, issus du Code forestier.

Le Code forestier prévoit, par exemple, l'obligation légale de débroussaillage (OLD) qui impose au propriétaire de tout bâtiment situé dans une zone exposée au risque d'incendie de maintenir un espacement entre les arbres et de réduire les matières végétales combustibles (herbe, broussaille, branchages, feuilles, etc.) dans un rayon de cinquante mètres (voir 100 m sur arrêté municipal) autour de sa construction. Ainsi, dans les 32 départements les plus méridionaux de la France, le Code forestier impose le débroussaillage des lieux habités situés en interface habitat-forêt, de leurs abords, et des réseaux qui les desservent. L'obligation légale de débroussaillage, stipulée dans l'article L.134-6 du Code forestier, est l'une des dispositions les plus importantes, mais aussi les plus discutées et dont l'application n'est malheureusement pas encore suffisamment respectée.

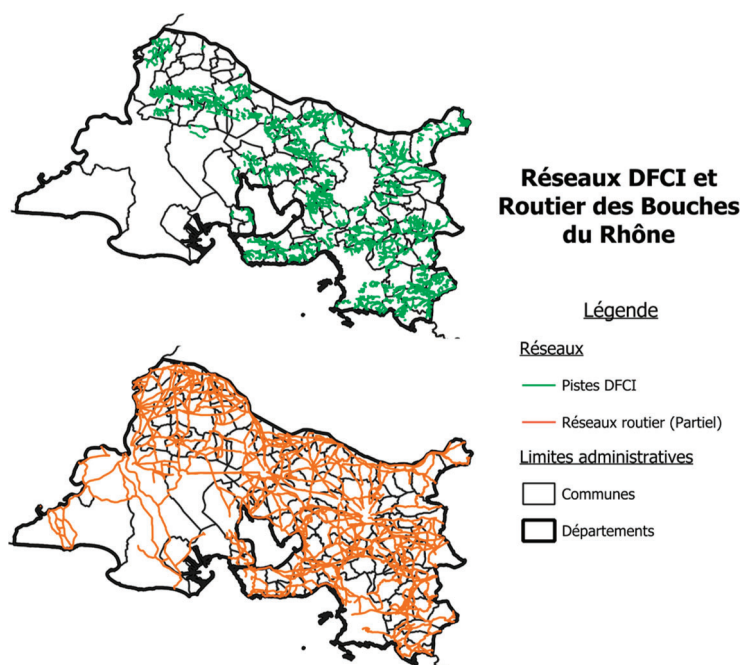


Figure 1. Réseaux de pistes DFCI (en haut) et routiers (en bas) dans les Bouches-du-Rhône (Source : BDTOPO IGN 2022 et INSEE 2022)

Des réseaux malgré tout encore fortement sources de départs de feux

Malgré la mise en place de la réglementation pour la prévention des incendies de forêt, les départs de feux se produisent le plus fréquemment le long des réseaux et dans les interfaces habitat-forêt (Ganteaume & Long-Fournel 2015; Chappaz & Ganteaume 2022). Les mégots de cigarette restent la principale cause involontaire de départ de feux en bord de route (fig.2, www.bdiff.agriculture.gouv.fr) sans que l'on observe de diminution dans le temps (c.-à-d. augmentation du nombre de départ de feux et des surfaces brûlées dus aux mégots de cigarette le long des routes dans les Bouches-du-Rhône : fig.3, www.bdiff.agriculture.gouv.fr).

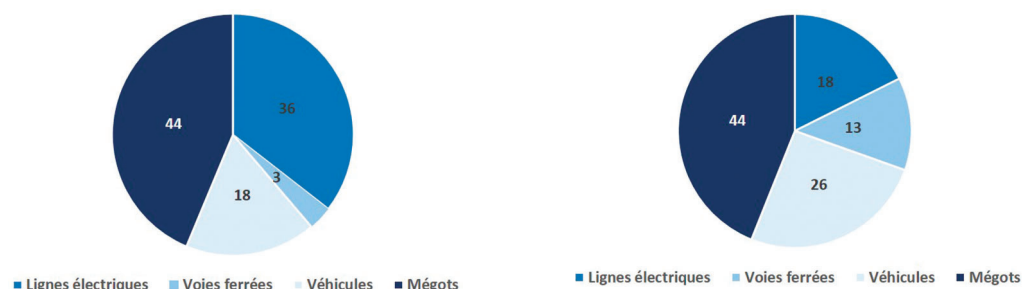


Figure 2. Départs de feux en bord de réseaux (%) dans le Var (à gauche) et les Bouches-du-Rhône (à droite) (source : www.bdiff.agriculture.gouv.fr)

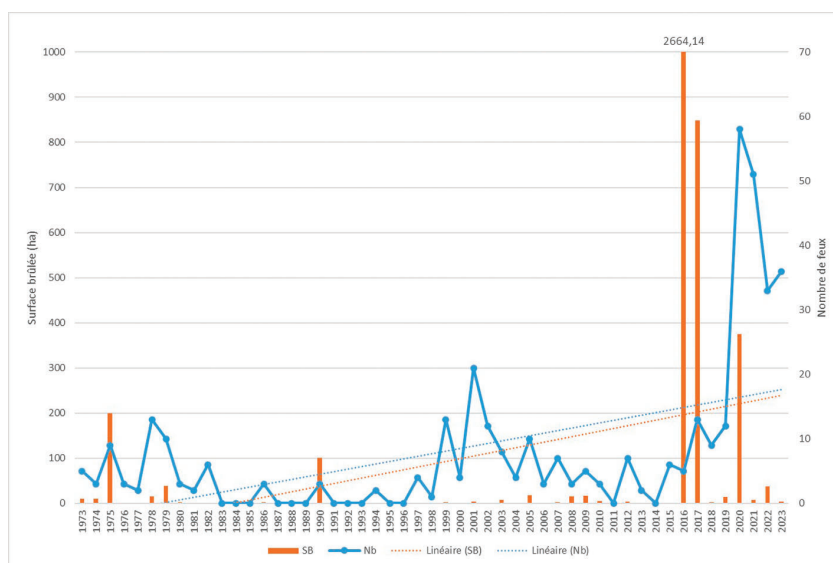


Figure 3. Évolution du nombre de départ de feux et des surfaces brûlées dus aux mégots de cigarette dans les Bouches-du-Rhône (à noter qu'en début de période, avant 1997 notamment, les faibles valeurs sont dues à une mauvaise détection des causes) (source : www.bdiff.agriculture.gouv.fr)

Bases de données sur les équipements de DFCI

La plateforme OpenDFCI (<https://opendfci.fr/>) permet la diffusion de la base de données zonale mutualisée et actualisée des équipements DFCI auprès des différents acteurs de prévention et de lutte contre les feux de forêt, sous forme d'une cartographie homogène et continue sur les 15 départements méditerranéens, avec le soutien financier des crédits du CFM (conservatoire de la forêt méditerranéenne). Chaque partenaire départemental possède également sa propre cartographie DFCI dédiée et personnalisée, et en lien direct avec la présente cartographie zonale. Dans le département des Bouches-du-Rhône, le partage des données est effectif pour les fichiers SIG, sur la plateforme Open DFCI 13 qui remplace l'ancien SIG DFCI 13 (<https://opendfci.fr/13/>). Les partenaires peuvent télécharger les données. Un fichier des contours des zones traitées par brûlage dirigé est également disponible.

Dans le Var, outre l'Open DFCI 83, il existe aussi Remocra qui est une plateforme collaborative destinée en premier lieu au Sdis mais également conçue pour dématérialiser et automatiser les échanges documentaires avec les partenaires institutionnels comme : communes, EPIC, sociétés d'affermage, DDT & DDTM. Le module DFCI est dédié au partage d'information et d'atlas liés à la défense des forêts contre les incendies. Chaque sapeur, centre d'incendie et de secours ou partenaire est en mesure de télécharger le dernier atlas de sa zone de compétence avec les dernières informations du service SIG (cartes et dépôt des fichiers de réception des travaux). Par ailleurs, ce module autorise les partenaires comme l'ONF à déposer les procès-verbaux d'entretien des pistes à caractère DFCI.

Le projet Gecovi

Depuis leur mise en place, peu de travaux ont été réalisés pour évaluer l'efficacité des méthodes de traitement de la végétation sur la réduction du risque d'incendie (diminution de l'aléa et de la vulnérabilité des enjeux). De plus, cette évaluation du risque incendie est généralement effectuée avec une vision à court terme sans prendre en compte l'évolution de la santé de la végétation restante (notamment de la strate arborée) qui influence à moyen terme la quantité de combustible vivant et sec (et donc le risque d'incendie), ni en considérant d'autres services rendus par la forêt comme la diversité floristique qu'elle héberge. Il existe donc une réelle lacune scientifique dans ce domaine en France où il reste à identifier les effets réels des principales méthodes de traitements utilisées sur le comportement du feu.

Les objectifs du projet Gecovi sont donc à la fois (1) de mettre en évidence l'impact de la méthode de traitement de la végétation sur son inflammabilité, en termes d'éclosion (c.-à-d. ignition) et de début de la propagation du feu ; et (2) d'estimer ces impacts sur la diversité spécifique et fonctionnelle de la flore forestière, et sur la santé des peuplements arborés situés sur les zones traitées.

Ce travail poursuit donc, d'une part un objectif scientifique d'évaluation de l'inflammabilité associée aux combustibles de surface nouvellement créés après traitements ou à la nouvelle structure de la végétation post-traitement ; d'autre part un objectif appliqué d'aide à la décision sur la prévention des départs de feux et de leur propagation en interface habitat-forêt et réseaux-forêt (choix du type de traitement en fonction de la végétation pour avoir un impact maximal sur la réduction du risque d'incendie).

Objectifs de ce guide

Ce guide a pour objectif d'améliorer la connaissance des différents types de traitements du combustible utilisés dans le cadre de la gestion du combustible réglementaire le long des réseaux de communications et autour des habitations situées en interface habitat-forêt, mais également dans le cadre de coupures de combustible dans les massifs forestiers (incluant les traitements le long des pistes DFCI). Les traitements abordés ici concernent les différents types de débroussaillage mécanique et par brûlage dirigé, ainsi que le fauchage de la strate herbacée (mécanique et manuel) et le pastoralisme.

Le contenu de ce guide est basé sur les résultats obtenus dans le cadre du projet Gecovi mais également sur des données collectées dans divers documents traitant de la gestion du combustible et lors d'interviews d'acteurs de la gestion du combustible. Il permet une meilleure connaissance de ces traitements en appréciant leurs avantages et leurs inconvénients en termes de diminution du risque d'incendie, de l'impact sur la diversité floristique et des peuplements arborés, mais aussi en termes de coût de réalisation et de surface traitée.

différents types de coupures de combustible

Dans les massifs forestiers, les axes des coupures de combustible sont identifiés au niveau des plans de massif et leur entretien est réalisé selon la programmation fixée dans les plans intercommunaux de débroussaillage et d'aménagement forestier (Pidaf) et effectué par les Départements et l'ONF ou par les collectivités.

Il existe aussi des coupures de combustible réglementaires dans le cadre des OLD et mises en œuvre par arrêtés préfectoraux qui concernent les bandes de débroussaillage de sécurité (BDS) le long des réseaux (routes, autoroutes, voies ferrées, lignes électriques) à l'interface avec la forêt mais également autour des habitations situées à moins de 200 m d'un massif forestier (interface habitat-forêt). Ces BDS visent, d'une part à limiter les départs de feux dans ces interfaces, d'autre part à mettre en sécurité les biens et les personnes en diminuant la propagation et l'intensité d'un feu arrivant sur l'interface. Que ce soit le long des pistes DFCI dans les massifs ou le long des réseaux, les BDS sont régulièrement entretenues; la fréquence de retour dépendant du type de végétation concernée (herbacées ou ligneux), le but étant essentiellement de constituer des zones d'appui à la lutte. En région Sud-Paca, par exemple, l'objectif est de maintenir le phytovolume arbustif (volume occupé par la strate arbustive) en deçà du seuil de 2 500 m³/ha (limite définie empiriquement par les forestiers et les pompiers); au-delà de ce niveau, les services de lutte ne peuvent intervenir efficacement contre un incendie (Thavaud 2009).

Les bandes débroussaillées de sécurité (BDS) dans les massifs

On les trouve le long des pistes DFCI et des routes ouvertes à la circulation et soumises aux OLD (Art. L 134-10 du Code forestier, arrêté préfectoral en vigueur).

Le long des pistes DFCI dans les massifs, elles sont plutôt destinées à améliorer les conditions de sécurité des personnels de lutte contre les feux de forêt, se situant de part et d'autre de la piste sur une largeur totale de 20 m à 100 m et pouvant être dissymétriques (fig.4). Les largeurs de débroussaillage le long des pistes DFCI sont fixées dans les plans de massifs et sont modulées en fonction des conditions (relief, contrainte technique, etc.) et de l'exposition au risque incendie.

Sur les trois premiers mètres de part et d'autre de la bande de roulement de la piste, la végétation sera totalement supprimée par coupe et broyage en plein (c.-à-d. glakis), à l'exception des arbres remarquables qui peuvent être maintenus. L'opération de débroussaillage comme définie peut maintenir éventuellement des ligneux hauts à faible densité pour ralentir la vitesse du vent, limiter la repousse

différents types de coupures de combustible

des ligneux bas et améliorer l'esthétique des ouvrages. Enfin l'élagage des arbres conservés est indispensable pour créer une discontinuité verticale, limiter le risque de propagation vers la cime, faciliter la visibilité et les manœuvres des engins de lutte.



Figure 4. Débroussaillage en bord de piste DFCI
© Christian Slagmulder/INRAE

Les coupures intramassif

L'aménagement consiste principalement à constituer des zones d'appui à la lutte, en permettant à des groupes d'attaque de pompiers de s'établir et d'intervenir directement sur le flanc de l'incendie pour limiter la puissance du feu (fig.5). Dans ces zones, le combustible doit être très fortement réduit afin de sécuriser l'intervention des services de lutte, et régulièrement entretenu pour éviter une repousse végétale trop importante.

Dans les coupures intramassif entretenues par l'activité pastorale, l'impact du pâturage sur la végétation devra souvent être accompagné d'interventions mécaniques, de brûlage dirigé, voire de feux pastoraux (Thavaud 2009).



Figure 5. La notion de coupe de combustible (Thavaud 2009)

Les coupures agricoles intermassifs

Le dispositif d'aménagement DFCI des massifs forestiers s'est souvent appuyé sur des zones d'ancrage constituées par les axes agricoles existants, plaines viticoles ou arboricoles type oliveraies, encore appelées coupures agricoles intermassifs (fig.6). Dans plusieurs départements, elles sont jugées prioritaires pour conserver une discontinuité entre les massifs et éviter que le feu ne se propage d'un massif à un autre. Dans ces espaces agricoles intermassifs, les actions de prévention et d'entretien doivent aussi porter sur :

- les mèches pour le feu que constituent les bandes et fossés enherbés ainsi que les interrangs enherbés s'ils sont conservés en été (végétation asséchée très inflammable) et les haies de végétation naturelle qui entourent les cultures ;
- les friches ;
- les cultures de céréales après récolte, les chaumes constituant de forts vecteurs pour les feux courants.



Figure 6. Coupure de combustible agricole © Gérard Paillard/INRAE

Les interfaces habitat-forêt et les bandes débroussaillées de sécurité le long des voies d'accès

Certains départements du sud-est de la France présentent d'importantes zones de mitage, c'est-à-dire d'habitations au contact ou dispersées dans la forêt, (c.-à-d. à moins de 200 m d'un massif forestier, fig.7). Ces zones sont appelées « interfaces habitat-forêt ». Les habitations en interface doivent être capables de s'auto-protéger lors d'un incendie pour anticiper l'éventuelle absence ou le nombre insuffisant de moyens de lutte contre les incendies (ce qui peut être le cas lorsque plusieurs feux menacent simultanément de nombreuses maisons). Pour les résidents de ces zones d'interfaces, la capacité à vivre en sécurité dans un environnement potentiellement soumis au risque d'incendie dépend de la mise en place de moyens avant l'arrivée du feu. En premier lieu, l'autoprotection passe par la réalisation du débroussaillage obligatoire autour des constructions et voies d'accès situées dans ces zones. Par ailleurs, l'autoprotection concerne également l'aménagement de la végétation et de tout autre élément combustible aux abords des bâtis de façon à les rendre plus résilients face à un incendie, mais également de permettre la mise en sécurité des habitants s'y trouvant ou s'y réfugiant.

Dans le cadre de la gestion du combustible en interface habitat-forêt, on recherche donc un rôle passif (sans moyens de lutte) face au front de feu, pour réduire les effets du feu et ainsi améliorer les conditions de sécurité des zones supportant une activité humaine. La priorité sera de réduire le plus possible la biomasse combustible ainsi que les continuités horizontales et verticales afin d'atténuer le plus possible l'intensité du front du feu (c.-à-d. lutte du feu passive).

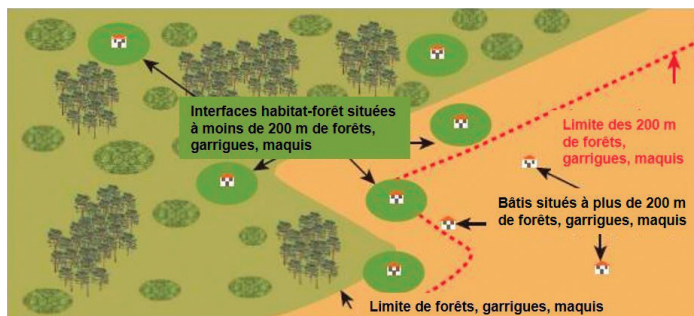


Figure 7. L'interface habitat-forêt est l'espace inscrit dans un environnement de 100 m autour des habitations situées à moins de 200 m d'une forêt, garrigue ou maquis (article L322.3 du Code forestier). D'après Lampin-Maillet (2009)

La gestion des zones d'interface habitat-forêt est devenue une priorité pour de nombreux services et collectivités dans la mesure où la mise en sécurité des personnes et la protection des habitations mobilisent beaucoup les pompiers lors des grands incendies au détriment de la lutte à mener sur les coupures au sein des massifs.

Débroussaillage aux abords des constructions des particuliers

La réglementation (dans le cadre des OLD) prévoit un débroussaillage sur une largeur de 50 m autour des constructions (et jusqu'à 100 m selon les cas, sur décret municipal), chantiers et installations et sur une profondeur pouvant aller jusqu'à 10 m autour des voies privées y donnant accès. Ces OLD sont à la charge des propriétaires, y compris, si nécessaire, sur les fonds voisins, s'ils sont situés dans le rayon des 50 m (fig.8). Par débroussaillage, le législateur entend aussi le « maintien en état débroussaillé » des terrains concernés, alors que la végétation peut être très dynamique, ce qui implique des interventions régulières pour remplir cet objectif.

Débroussailler 50 m autour des habitations

Cette profondeur de 50 m a été fixée de manière empirique il y a plusieurs décennies. En effet, les services chargés de la protection des forêts contre les incendies avaient observé une baisse sensible de la puissance de la plupart des fronts de feu au-delà de cette distance, permettant ainsi d'y engager une action efficace de lutte contre l'incendie, dans des conditions de sécurité acceptables dans la plupart des cas. Cette référence de 50 m a aussi été retenue car elle est facile à mémoriser par les personnes visées par ces OLD, puisqu'elle impose à toute maison isolée de se retrouver au centre d'une zone débroussaillée d'au moins 100 m de large et d'une surface d'environ 1 ha. Cependant cette distance pourrait ne pas être suffisante en cas de synergie entre les effets du vent et de la pente sur le comportement du feu (Ganteaume et al. 2023).



Figure 8. OLD respectées en interface habitat-forêt © Anne Ganteaume/INRAE

De nombreux feux démarrent dans les interfaces (risque induit) ou en forêt, et affectent ensuite les interfaces (risque subi). Dans un département fortement peuplé comme les Bouches-du-Rhône, les interfaces habitat-forêt sont nombreuses (Chappaz & Ganteaume 2022), avec plus de 250 000 constructions individuelles soumises aux obligations légales de débroussaillage (OLD), dans 112 communes sur 119.

Les retours d'expérience concernant l'efficacité du débroussaillage autour des bâtiments lors du passage d'un feu majeur faisaient apparaître que la bonne réalisation des OLD protégeait les constructions des flammes dans la majorité des cas (80 %). Inversement, quand les prescriptions n'étaient pas respectées, les habitations étaient fortement susceptibles de subir des dégâts *a minima* extérieurs (par exemple volets, façades ou toitures endommagés), voire intérieurs jusqu'à la destruction du bâtiment, comme ce fut le cas lors du feu de Rognac (2016). Ce constat a incité la Préfecture à renforcer la mise en œuvre du débroussaillage aux abords des constructions ainsi que les contrôles de leur application. Le taux de conformité aux OLD est mal connu mais il est vraisemblablement faible, de l'ordre de 30 % lors des premières visites. À l'issue de la procédure complète toutefois, on atteint un taux de conformité de 80 %. D'autre part, l'implication des communes dans l'application de cette réglementation peut être améliorée.

Le feu de Rognac

Le feu de Rognac s'est déclaré le 10 août 2016 et a brûlé 2 663 ha, dont 2 000 ha en interface habitat-forêt et en milieu urbain affectant trois communes en périphérie de Marseille. Dans la plupart des cas, les OLD étaient peu ou pas respectées. En particulier, les houppiers des arbres n'étaient pas suffisamment mis à distance, et même souvent trop près des bâtis (voire les surplombant). Plus de 1 000 bâtiments ont été menacés par l'incendie, 117 d'entre eux ont été touchés et une quarantaine d'habitations ont été partiellement ou totalement détruites (fig.9).



Figure 9. Bâti détruit lors du feu de Rognac © ONF

Dans les arrêtés préfectoraux sur le débroussaillage, il est important de préciser la définition des haies et alignements (hauteur, linéaire, éventuellement largeur) qui jouent le rôle de mèches et permettent la propagation du feu au sein des zones urbanisées, pouvant entraîner des dégâts importants aux structures comme on le constate souvent lors des retours d'expérience incendies. Dans ces arrêtés, il est d'ailleurs stipulé que le débroussaillage doit interrompre la continuité des haies et plantations d'alignement avec les constructions.

Débroussaillage en bordure des infrastructures linéaires

Le Code forestier impose des travaux de débroussaillage préventifs le long des ouvrages linéaires à risque (fig.10), que ce soit pour les voies ouvertes à la circulation publique (Art L. 134-10), les lignes électriques à fils nus (Art L. 134-11) et les voies ferrées (Art L. 134-12). Les travaux le long de ces infrastructures sont définis par arrêtés préfectoraux. L'État, les collectivités territoriales, les sociétés concessionnaires d'autoroutes, RFF, Enedis et RTE, etc. ont l'obligation d'entretenir les BDS dont ils ont la charge.

Depuis la loi de décentralisation de 2004 et le transfert des routes d'intérêt local aux départements, 11 directions interdépartementales des routes (DIR) ont été créées pour gérer le réseau routier national. Dans ce cadre, par exemple, la DIR Méditerranée (DirMed) assure la gestion des routes nationales et autoroutes non concédées conservées par l'État dans le sud-est de la France. Elle gère donc un réseau particulièrement exposé au risque incendie et doit notamment assurer l'entretien, l'exploitation et la gestion du domaine public routier national et du domaine privé de l'État qui s'y rattache, en prenant en compte ce risque. La surface à débroussailler sur le réseau DirMed est évaluée à 319 ha (DirMed 2018). L'entretien des dépendances vertes est quant à lui sous-traité, sauf cas particulier du fauchage parfois encore réalisé localement.



Figure 10. Débroussaillage effectué en bord de route © Arthur Boschet/INRAE

Les équipements et constructions concernées par les OLD dépendent de différents acteurs du territoire et les surfaces traitées peuvent varier en fonction de l'importance de l'aléa (tabl.1). Par exemple, pour la région Sud-Paca, les OLD des routes départementales sont réalisées par la direction de la Forêt du département.

Tableau 1. Obligations légales de débroussaillage* des différents acteurs du département des Bouches-du-Rhône

* Dans les unités menacées et dans les terrains en nature de bois inclus dans les unités sensibles, tels que définis par l'arrêté préfectoral n° 1271 du 23 mai 2003

Acteurs	Équipements ou constructions concernés	Largeurs correspondantes en mètres (sauf prescriptions particulières et en fonction d'un cas général ou de l'aléa)			
		Règle générale	Aléa faible	Aléa moyen	Aléa fort
Conseil départemental	Routes départementales Sites départementaux Pistes DFCI 1 ^{re} catégorie		5	10	20
État (via la DIR)	Routes nationales		5	10	20
Commune	Établissements publics Chemins communaux Chemins ruraux	50	- -	5 5	10 10
Enedis, RTE	Lignes basse tension Poteaux basse tension Lignes moyenne et haute tension Poteaux moyenne et haute tension		- - - -	10 20 5 10	20 50 10 20
RFF	Voies ferrées		-	3	7
Sociétés d'autoroute	Autoroutes		5	10	20
Propriétés privés	Abords des habitations Voies d'accès	50 10			

les acteurs de la gestion du combustible

Forestiers-sapeurs

Dans le cadre de leurs actions en matière de prévention et de lutte contre les feux de forêts, les départements disposent d'unités de forestiers-sapeurs (ForSap) mises en place depuis plusieurs dizaines d'années. Par exemple, le service des forestiers-sapeurs du département des Bouches-du-Rhône existe depuis 1974. Chaque unité dispose plusieurs engins de débroussaillage mécanique, dont des broyeurs de pierres et des compacteurs.

Les ForSap assurent une mission de surveillance pendant la période estivale représentant un tiers de leur temps de travail annuel. En dehors de cette période, ils réalisent des débroussailllements de prévention. Les opérations d'entretien sont majoritaires et sont mécanisées (à plus de 80 %); ils peuvent également faire partie des équipes de brûlage dirigé (fig.11). Depuis 20 ans, ils réalisent quasi exclusivement le débroussaillage des coupures de combustible, des poudrières et des BDS des pistes. Depuis peu, ils débroussaillent ponctuellement des bordures de routes départementales qui sont majoritairement entretenues par des entreprises.



Figure 11. Forestier-sapeur réalisant un brûlage dirigé
© Anne Ganteaume/INRAE

Les agents de protection de la forêt méditerranéenne (APFM)

Les APFM sont des ouvriers forestiers spécialisés de l'Office national des forêts (ONF). Ces agents sont répartis sur dix départements du sud de la France. Par exemple, le département des Bouches-du-Rhône dispose de 5 unités APFM localisées dans 5 communes du département. Les APFM participent au dispositif de surveillance estival, aux brûlages dirigés et aux travaux de débroussaillage hors de la saison des feux.

les acteurs de la gestion du combustible

Outre l'outillage manuel usuel (tronçonneuses, débroussailleuses, perches élagueuses, etc.), chaque unité dispose d'un tracteur forestier, de microtracteurs porte-outil (pouvant être équipés d'un broyeur à marteaux fixe, d'une déchiqueteuse, tarière mécanique, etc.), de déchiqueteuses sur remorque et de porte-char pour la mobilisation rapide de l'ensemble de ces matériels sur le territoire départemental.

En dehors des périodes à haut risque d'incendies de forêts, les personnels APFM sont chargés de réaliser des travaux sur des équipements DFCI, afin de les maintenir en état opérationnel pour les services de secours (débroussaillage des abords des pistes et sur les coupures de combustible, mise en œuvre de chantiers de brûlage dirigé pour l'entretien de BDS et de coupures de combustible).

Le service départemental d'incendie et de secours (Sdis)

Outre leur action dans la suppression des feux, les agents des Sdis participent aussi aux cellules départementales de brûlage dirigé, aux côtés des ForSap et des APFM (fig.12). Le Sdis anime généralement ces cellules dont l'activité se déroule sur la base d'un programme annuel approuvé par la direction départementale des Territoires (et de la Mer).



Figure 12. Équipe de brûlage dirigé composée de personnels du Sdis13, ForSap et APFM
© Anne Ganteaume/INRAE

quelles méthodes de traitement du combustible ?

Qu'elles soient mécaniques, manuelles ou demandant l'intervention du bétail ou la mise en place de feux contrôlés, différentes méthodes sont utilisées dans le cadre du traitement du combustible en DFCI. Ces méthodes peuvent être combinées dans le temps. Elles sont utilisées en fonction du type de végétation, du type de terrain, des enjeux à défendre, etc. Chaque méthode a son intervalle de retour pertinent.

Le débroussaillage

La végétation ligneuse est principalement visée par le débroussaillage (c.-à-d. élagage d'arbres, broyage d'arbustes).

Les forestiers-sapeurs interviennent sur les débroussailllements (travaux mécaniques) en entretien des coupures de combustible dans les massifs et sur les BDS des pistes. En moyenne, sur la période 2008-2017 dans les Bouches-du-Rhône, 2 061 ha ont été débroussaillés annuellement par les forestiers-sapeurs. En dehors des années exceptionnelles, la moyenne des surfaces débroussaillées est plutôt de l'ordre de 2 200 ha/an. La majorité (80 à 90 %) des travaux sont des travaux d'entretien, réalisés en moyenne tous les 4 ans. D'autre part, les APFM débroussaillent en moyenne 400 ha/an, essentiellement de façon manuelle. Au niveau départemental, 8 000 ha sont débroussaillés en bordure des pistes (MTDA 2024).

Le débroussaillage manuel

C'est la technique la plus simple. Elle fait appel à du matériel léger (outils à mains, fig.13, débroussaillieuse à dos). Ce matériel permet un travail précis, mais demande du temps et peut donc représenter un coût important. Cette technique est généralement réservée aux parcelles non mécanisables (forte pente, forte pierrosité, densité excessive d'arbres), difficiles d'accès, ou dans le cas de contraintes particulières externes imposées par un gestionnaire (protection d'espèces végétales ou animales, milieu fragile, risque lié à la fréquentation humaine notamment en bordure d'axes routiers).



Figure 13. Débroussaillieuse utilisée par les APFM lors de traitements manuels du combustible © Arthur Boschet/INRAE

quelles méthodes de traitement du combustible ?

Le débroussaillage mécanique

Les zones à débroussailler sont essentiellement entretenues par gyrobroyage afin de réduire la biomasse combustible grâce à différents types d'engins (Thavaud 2009). Par exemple, l'utilisation de tracteurs à pneus munis de gyrobroyeurs à marteaux type Chaptrack (fig.14), qui peuvent, pour certains, avoir une fonction de dessouchage, permet le broyage de la végétation sans avoir à incinérer les rémanents de coupe. Le broyeur à marteau peut être équipé de patins pour réguler la hauteur de coupe. Cette technique n'est applicable qu'en zone mécanisable et a donc été longtemps très dépendante du relief et de la rugosité du sol.

Avec le perfectionnement des moyens de traction (puissance, motricité, pneumatiques), les possibilités d'accès sont de plus en plus importantes et la limite des 30 % de pente est souvent dépassée avec les engins chenillards (fig.15). Les broyeurs mécaniques permettent aussi bien l'ouverture que l'entretien, même dans les cas de végétation très abondante. En revanche, le diamètre des branches à gyrobroyer reste souvent le facteur limitant de ces engins. La période d'intervention est également importante, si possible à la fin de l'automne, le froid hivernal ayant un effet dans le ralentissement des repousses.

Le broyage mécanique laisse sur le sol un broyat de qualité très différente suivant le type de broyeur :

- un broyat fin avec les rotobroyeurs à axe horizontal ;
- un broyat grossier avec les gyrobroyeurs à axe vertical, à chaînes ou couteaux qui met plusieurs années à se décomposer. Il peut freiner la réinstallation des herbacées mais il peut aussi augmenter la biomasse combustible sèche.



Figure 14. Tracteur équipé d'un gyrobroyeur à marteaux utilisé par les APFM lors de broyage mécanique
© Arthur Boschet/INRAE



Figure 15. Pelle mécanique équipée d'un broyeur sur chenille à bras mobile © Arthur Boschet/INRAE

On peut accélérer le processus de décomposition en réalisant un sursemis, en apportant une fertilisation azotée (comme réalisé sur les dépendances vertes le long des réseaux) ou en pratiquant un feu dirigé complémentaire. Le type de broyeur utilisé a également une incidence sur la reprise des rejets pour les espèces qui rejettent de souche : rapide avec l'utilisation de couteaux, plus lente avec chaînes ou marteaux ; dans ce cas, le rejet est déchiqueté, ce qui perturbe sa reprise (Cerema 2021).

D'autres types d'engins peuvent être utilisés sur les dépendances vertes en bords de routes comme différents types de lamiers (à scies, à plateaux, etc.) pour l'élagage des arbres, sécateurs, rotofaucheuse/débroussailleuse mécanique utilisée pour les massifs d'arbustes et de ronciers comme pour la strate herbacée, ou même de barre de coupe pour le fauchage, moins impactante pour la faune que le broyeur (Cerema 2021).

Le fauchage de bord de route/autoroute ou chez les particuliers

Le fauchage concerne le traitement de la strate herbacée en bords de routes ou chez les particuliers. Dans le cadre de la gestion des dépendances vertes du réseau routier national, le terme le plus communément utilisé est celui de « fauchage ». Pourtant, la technique utilisée est en réalité souvent le broyage, qui n'implique pas d'enlever les déchets végétaux. À l'inverse, le fauchage requiert cette exportation de la biomasse et donc un matériel particulier pour ce faire. Or, les équipes d'entretien ne disposent pas toujours de l'équipement approprié pour le fauchage.

Fauchage manuel

Le rotofil/débroussailleuse manuelle est un matériel qui n'a que peu d'usage chez les gestionnaires routiers mais est fréquemment utilisé par les particuliers lors de la mise en œuvre des OLD (fig.16). Compte tenu des faibles rendements, ces appareils éprouvants pour les agents ne sont utilisés que pour les finitions des abords des sites méritant une attention particulière, comme les aires de services. Les tondeuses sont utilisées sur de grandes surfaces planes telles que des aires de repos ou de services ou chez les particuliers. La tonte, comme les broyats, peut faire l'objet d'une valorisation.

Fauchage mécanique

Là encore différents types d'engins sont utilisés (Cerema 2021). Les rotofaucheuses, qui en fait procèdent à un broyage, sont les matériels les plus communs.



Figure 16. Fauchage manuel au rotofil
© Anne Ganteaume/INRAE

La rotofaucheuse peut être axiale (avant/arrière), latérale ou déportée à l'aide d'un bras articulé fixé sur un tracteur ou automotrice et guidée manuellement par un agent.

Il existe plusieurs largeurs de coupe (généralement de 1,2 m à 2 m) et la hauteur de coupe peut être réglée pour respecter les hauteurs préconisées, notamment pour un effet moindre sur la faune (voir p. 30-31 pour l'impact du fauchage sur la biodiversité). La vitesse d'avancement préconisée de 3 à 5 km/h est adaptée en fonction du terrain, de la végétation et du rendu désiré. Le sens de fauchage (sens inverse des roues du tracteur) permet de couper la végétation par le pied et de la déposer derrière le rouleau palpeur.

L'épareuse à bras articulé (fig.17) est adaptée à toutes les situations de fauchage (accotement, fossés, talus, etc.). La vitesse d'avancement préconisée sur accotements est de 4 km/h et est adaptée en fonction du terrain ou de la végétation et du rendu. Elle est notamment réduite en situation de déblais/remblais. Ce type de matériel ne réalise pas de coupe nette, mais broie la végétation.

Les robots, quant à eux, sont réservés aux sites particuliers où le tracteur ne peut accéder, où l'écopâturage est impossible et où la végétation doit être gérée pour des questions de sécurité et de pérennité des équipements. Il convient de ne pas banaliser l'utilisation de ces robots sur des zones compatibles avec la gestion différenciée et le maintien de zones refuges.

La faucheuse sous glissière peut être simple ou double et est utilisée sous les linéaires de glissière pour gérer la végétation. La distance entre le plateau et l'extrémité du couteau de coupe est de 15 mm, ce qui assure (avec les phénomènes d'aspiration) une coupe de précision. Chaque disque de coupe dispose de couteaux mobiles de type fléau ou fixe. La vitesse d'avancement préconisée de 1 à 2 km/h est adaptée en fonction du terrain, de la végétation et du rendu désiré.



Figure 17. Fauchage mécanique à l'épareuse à bras articulé
© Accoroutiste anon. CC BY-SA via WC

Le brûlage dirigé

Cette technique consiste à appliquer le feu de manière contrôlée (de faible à moyenne intensité) sur une surface prédéfinie, et en toute sécurité pour les personnels la mettant en œuvre et pour les espaces riverains. L'utilisation des brûlages dirigés exigeant une très bonne maîtrise technique, sa mise en œuvre sur les coupures de combustible est le plus souvent assurée par des équipes spécialisées (forestiers-sapeurs, APFM, Sdis) formées et équipées, qui réalisent des chantiers de brûlage dirigé au sens de la loi forestière (fig.18). Ces équipes sont présentes dans la majorité des 15 départements du sud-est de la France (correspondant à la zone couverte par la base de données régionale des feux Prométhée) et

peuvent intervenir à la demande des éleveurs (feux pastoraux) et des gestionnaires DFCI. Pour garantir la sécurité des chantiers, des travaux préalables sont la plupart du temps indispensables autour de la zone à brûler (layons de délimitation et de mise à feu). Les conditions climatiques doivent également être favorables : absence de vent ou vent très faible, hygrométries du sol et de la végétation particulières (d'où peu de fenêtres météo favorables), ce qui explique le faible nombre de travaux réalisés par rapport à ce qui est prévu initialement. Il est

de plus indispensable de respecter les contraintes réglementaires (prescrites dans un arrêté préfectoral) qui précisent les périodes pendant lesquelles l'incinération des végétaux sur pied est possible et les conditions d'autorisation ou de limitation.

Les feux sont essentiellement conduits en hiver, pendant la période la plus froide et sèche (de décembre-janvier à mars), afin de diminuer la propagation et la puissance du feu et favoriser la pousse de l'herbe de printemps.

Le brûlage dirigé se développe d'année en année mais son potentiel est encore mal exploité. Une programmation annuelle est établie par l'équipe de brûlage dirigé, ponctuellement en concertation avec le Cerpam si un passage des troupeaux est nécessaire en région Sud-Paca. La programmation vise à assurer une cohérence avec les autres travaux de débroussaillage, notamment ceux des forestiers-sapeurs. La pratique du brûlage dirigé permet aussi de former les personnels des services d'incendie et d'entretenir leur compétence pour l'usage du feu tactique. Malgré les avantages qu'il présente, le brûlage dirigé suscite encore des réticences auprès de certains acteurs. Un important travail de dialogue a été mené afin de mieux faire connaître et accepter cette technique, notamment au travers des rencontres nationales des équipes de brûlage dirigé.

Au total, les surfaces annuellement traitées représentent 6 000 à 8 000 ha pour l'ensemble des départements du Réseau des équipes de brûlage dirigé. Pour les Bouches-du-Rhône, d'après les données du Sdis13, entre 2008 et 2017, 414 ha ont été traités en brûlage dirigé (en ouverture ou en entretien), soit en moyenne 41 ha/an dont 9,2 ha traités en ouverture annuellement et donc une trentaine d'hectares en entretien (MTDA 2024).



Figure 18. Brûlage dirigé dans le massif du Grand-Caunet, Bouches-du-Rhône © Arthur Boschet/INRAE

Le pastoralisme, le sylvopastoralisme, l'écopastoralisme

La pratique séculaire du pâturage en forêt a peu à peu disparu de nos territoires avec la déprise agricole qui s'est intensifiée au milieu du ^{xx}^e siècle, laissant libre cours à la reconquête des terres par la forêt. C'est cette augmentation spectaculaire des surfaces forestières, notamment dans le sud de la France, qui a permis le retour de nos jours du sylvopastoralisme dans les forêts méditerranéennes. En effet, ces forêts apportent fourrage et ombrage aux troupeaux qui entretiennent les sous-étages arbustif et herbacé, œuvrant ainsi pour la protection des forêts contre les incendies. Les aménagements sylvo-pastoraux destinés à diminuer la sensibilité aux incendies des massifs forestiers (pastoralisme DFCI) sont nés dans le cadre de la politique de prévention commencée dans les années 1980. Ils résultent d'une volonté partagée des forestiers et des professionnels agricoles.

Ce type de pastoralisme intervient généralement dans l'entretien des bandes débroussaillées de sécurité des pistes DFCI ou des zones débroussaillées type coupures de combustible dans les massifs (fig.19). Tous les types d'animaux, aussi bien les ovins que les bovins, les caprins, les asins et les équins, semblent aptes à l'entretien des aménagements forestiers, de manière efficace pour peu que le mode de conduite pastorale adopté par l'éleveur ou le berger soit bien adapté à l'objectif de gestion du milieu (Thavaud 2009). À l'apogée du dispositif en 2000, plus de 37 000 ha sont ainsi entretenus par le pastoralisme en Corse, Languedoc-Roussillon et Sud-Paca, et les mesures agro-environnementales à objectif DFCI sont présentes dans 8 départements des régions Occitanie et Sud-Paca. On a constaté néanmoins une diminution du nombre de contrats et des surfaces engagées à partir de l'année 2000. Par ailleurs, le retour du loup, pourrait, à terme, menacer cette activité. En effet, la nécessité pour les éleveurs de protéger leurs troupeaux augmente leurs charges (surcoûts dus aux équipements nécessaires, aux pertes, etc.), voire conduit certains d'entre eux à renoncer au pâturage (MTDA 2024).

Au cours du temps, l'entretien pastoral participe à la diminution de la quantité de biomasse combustible et permet de réduire les fréquences d'interventions des brûlages dirigés ou des traitements mécaniques. L'état de la végétation sur une coupure de combustible n'est pas stable ; il évolue après le débroussaillage d'ouverture en fonction de la dynamique de la végétation. Cette dynamique varie suivant les zones géographiques en fonction des conditions édaphiques (sols), topographiques (altitude, exposition, pente), climatiques (températures, pluviométrie)



Figure 19. Pâturage d'ovins sur pinède débroussaillée en bord de piste DFCI © Sabine Débit/Cerparm

et des espèces présentes. C'est la combinaison de techniques d'entretien (débranchaillement mécanique, manuel, feu contrôlé), avec une conduite pastorale appropriée (complémentation, gardiennage serré, rotation en parcs de pâturage) qui conduit aux meilleurs résultats (fig.20 et 21).

Les forestiers et les collectivités territoriales peuvent ainsi entretenir une surface croissante de coupures de combustible à moindre coût. Les éleveurs, quant à eux, bénéficient de différentes aides, dont des fonds européens (type Mesures agro-environnementales et climatiques) qui varient au cours du temps, notamment pour compenser les surcoûts engendrés par les contraintes DFCI. Après incendie, il est également nécessaire d'analyser l'opportunité d'autoriser le pâturage pour façonner le peuplement qui se régénère (l'article L131-4 du Code forestier prévoit la possibilité de dérogations à l'interdiction de pâturage pendant 10 ans).

Le pastoralisme, lorsqu'il est réalisé sans surpâturage, joue un rôle décisif, tant pour la préservation de la biodiversité (voir p. 34 « Impact du pastoralisme sur la biodiversité et les sols »), que pour la protection des forêts face aux incendies. Quelles que soient les techniques utilisées, une bonne gestion pastorale doit être appliquée après débranchaillement pour éviter de repasser trop souvent sur la même parcelle et entraîner une dégradation de la qualité de la flore pastorale, notamment. Par ailleurs, l'écopâturage est une pratique qui se développe sur les dépendances des infrastructures routières, notamment celles dont la gestion est difficilement ou inutilement mécanisable, mais qu'il est nécessaire de maintenir en strate herbacée ou arbustive, comme les abords de bassins d'assainissement (Cerema 2021).

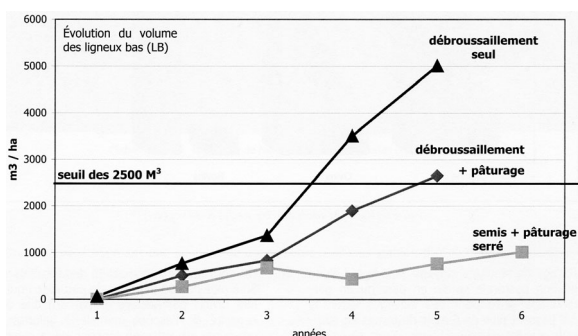


Figure 20. Comparaison des techniques d'entretien en maquis haut (ovins, massif des Maures, Var) (Source Thavaud 2009)

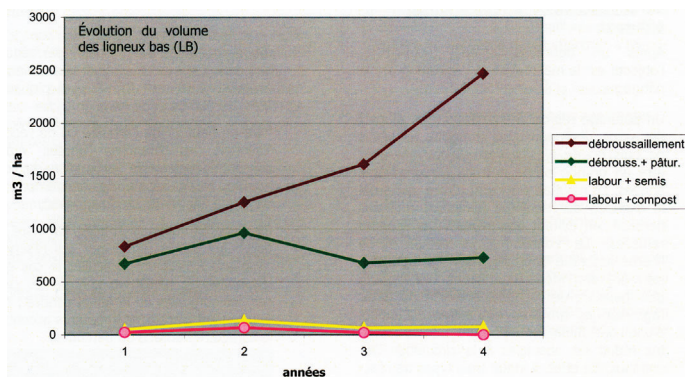


Figure 21. Comparaison des techniques d'entretien sur garrigue à chêne kermès (ovins en gardiennage, Lançon, Bouches-du-Rhône) (Source Thavaud 2009)

Les coûts de traitement

D'un point de vue économique, les différents types de traitement du combustible sont plus ou moins coûteux en fonction du nombre d'engins et de personnes impliqués.

Pour le brûlage dirigé, les coûts dépendent des objectifs assignés au chantier, du type de milieu et de la superficie de chaque parcelle. Ils seront de l'ordre de 50 à 100 €/ha pour les zones non arborées et des chantiers d'assez grandes surfaces. Dans ces mêmes conditions, un entretien mécanique aurait un coût d'environ 500 €/ha. Pour les zones non ou peu arborées et pour les petits chantiers de brûlage dirigé, les coûts s'élèveraient à 100 à 200 €/ha, en fonction de l'accessibilité, des prescriptions particulières à respecter, en particulier le brûlage par petites taches. Dans ces mêmes conditions, le débroussaillage mécanique n'est pas possible partout et est d'un coût relativement élevé, au moins 800 à 1 000 €/ha. Enfin, pour le brûlage dirigé sur zones arborées (les rendements sont plus faibles car le feu est plus lent pour ménager les arbres, avec plus de travaux préparatoires et de précautions particulières au bénéfice de certaines espèces), le chantier coûte de 200 à 1 000 €/ha. Les coûts sont aussi plus élevés pour des chantiers linéaires et étroits (entretien de bords de routes). Dans ces conditions, le débroussaillage manuel est le plus fréquent, avec un coût d'autant plus élevé que les prescriptions techniques sont importantes, variant de 2 000 à 4 000 €/ha. Dans tous les cas, le respect des nouvelles dispositions réglementaires, en particulier concernant le recueil des autorisations des propriétaires et leur information, a un coût non négligeable, qui selon la complexité du foncier peut même être élevé (Duché & Rigolot 2004).

Concernant l'entretien d'un ouvrage DFCI, le pastoralisme est la solution la moins coûteuse qui nécessite une convention (de cinq ans généralement) d'entretien entre le maître d'ouvrage et l'éleveur, l'entretien étant généralement réalisé à titre gratuit.

cohérence des enjeux DFCI, paysagers et environnementaux

Actuellement, la dynamique naturelle des écosystèmes forestiers tend vers une fermeture des milieux, en particulier en région montagnarde et méditerranéenne, en raison de la déprise pastorale/agricole (IGN 2024). Outre la problématique incendie de forêt, cette dynamique peut constituer une menace pour certains milieux ouverts qui abritent souvent une biodiversité riche. Le maintien et la restauration de milieux ouverts au sein des massifs forestiers peuvent présenter des bénéfices pour de nombreuses espèces, végétales comme animales, associées à ces milieux. De plus, certaines espèces nécessitent la juxtaposition de milieux fermés et ouverts pour assurer leur cycle biologique (p. ex. la tortue d'Hermann). Augmenter les secteurs de mosaïques ouvertes traditionnelles grâce à la gestion du combustible à but DFCI est donc favorable à la biodiversité. Néanmoins, le débroussaillage n'est pas forcément sans impact sur les espèces présentes, et les surfaces à débroussailler sont aussi un habitat pour nombre d'entre elles. Leur traitement, quelle que soit son ampleur, est soumis de fait au respect du Code de l'environnement et en particulier à la séquence « éviter, réduire, compenser » (art. L 110-1) et à la réglementation relative à la protection des espèces (art. L 411-1), qui en sont des aspects majeurs (Cerema 2023) mais également, depuis le 29 mars 2024, au nouvel arrêté relatif aux obligations légales de débroussaillage pris en application de l'article L 131-10 du Code forestier (<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000049345913>).

Impact des traitements mécaniques sur la biodiversité et les sols

L'évaluation de l'impact des OLD sur la biodiversité est variable selon les sources. Pour l'ONF (2025), le débroussaillage réglementaire ne doit être « ni une coupe rase, ni un défrichement » et doit conserver le couvert forestier, ce qui, grâce à l'ouverture du milieu, conduit à une biodiversité plus grande, en créant « des corridors écologiques ou des zones de chasse pour certaines espèces, notamment les chauves-souris ». D'après le Cerema (2023), en revanche, fauchage et débroussaillage représentent toujours un impact pour la faune : perte de ressource alimentaire et d'abri ; cet impact étant amplifié au printemps ou en été, notamment en cas d'abattage massif (grand nombre d'arbres).

Diverses espèces sont particulièrement sensibles aux OLD. C'est le cas de certaines espèces végétales ligneuses ou herbacées, d'insectes, notamment les coléoptères sapro-xylophages (en cas d'abattage, élagage ou suppression du bois mort) et les papillons au stade œufs et chenilles, voire chrysalides (Gomila 1993). Pour les espèces végétales annuelles ou bulbeuses, les oiseaux et les reptiles, les impacts peuvent être réduits par une planification qui respecte les périodes de fructification, de reproduction et d'hivernage.

cohérence des enjeux DFCI, paysagers et environnementaux

Les impacts potentiels des OLD peuvent être aggravés par la destruction des individus par la fauche ou le gyrobroyage pour les espèces à mobilité réduite ou nulle et, plus globalement, par la perte de diversité spécifique aux abords des routes (Gomila 1993). Vennetier et al. (2012) démontrent qu'en Provence calcaire, où se situe la zone d'étude, le débroussaillage réalisé avec des engins mécaniques lourds et sans sélectivité (comme le long des voies de communication) a un impact défavorable sur le potentiel mellifère de la flore. Ce potentiel reste quasiment nul les trois années suivant le débroussaillage et n'est pas compensé par la légère augmentation des mellifères herbacées. D'après Gomila (1993), toujours en Provence calcaire, on observe une diminution de la qualité des sols dans les bandes débroussaillées : appauvrissement en matière organique en lien avec la réduction de la litière et l'exportation de la biomasse coupée, augmentation des mécanismes d'érosion par la suppression des strates supérieures (intensifiant le ruissellement des eaux de pluie). Cette érosion accroît la teneur en calcaire total, lessive le sol et diminue *in fine* sa capacité de rétention d'eau. La destruction du couvert végétal augmente le flux lumineux au sol et favorise la circulation de l'air, ce qui contribue à une élévation de la température et de la sécheresse. En conséquence de l'évolution de ces divers paramètres, la végétation évolue vers des espèces xérophiles et oligotrophes, avec une nette augmentation en espèces héliophiles due à l'ouverture du milieu (Hadar et al. 1999, Pérez-Ramos et al. 2008).

Le broyage du combustible, bien qu'il se produise principalement sur les layons traités, ne semble pas augmenter le compactage préjudiciable du sol en raison de la couche protectrice de débris créée par le matériau broyé (Moghaddas & Stephens 2008). Ce type de traitement ne semble pas non plus avoir d'impact sur d'autres caractéristiques chimiques du sol (Moghaddas & Stephens 2007, 2008). Cependant, le passage répété des engins utilisés lors des traitements, plus que les traitements en eux-mêmes, peuvent avoir un impact non négligeable sur le sol. Le compactage du sol conséquent des éclaircies forestières peut être un facteur de risque important pour la détérioration du sol, et conduire à l'érosion, à la perte de nutriments et à la baisse de la qualité du sol. Bien que le lien entre le compactage et la réduction de la productivité du site soit incertain, une approche prudente est recommandée pour la réduction du combustible en identifiant les conditions de sol à haut risque (par exemple, humide, argileux, faible teneur en matière organique) et en mettant en œuvre les meilleures pratiques de gestion, notamment en évitant les travaux lorsque l'humidité du sol est élevée. Par ailleurs, la création d'ornières, en particulier dans les sols humides, peut persister pendant plusieurs années, altérant le flux hydraulique du sol et diminuant la productivité, la croissance des racines et la décomposition de la matière organique. Le déplacement du sol lors des travaux peut aussi entraîner la dégradation de la qualité du site en exposant le sous-sol et en modifiant l'hydrologie, endommager les racines, et provoquer le déracinement des arbres (Busse et al. 2014).

Impact du brûlage dirigé sur la biodiversité et les sols

De nombreuses études ont été menées sur les effets des brûlages dirigés durant les dernières décennies. Les recherches actuelles se concentrent sur l'étude des séquences de traitements de la végétation, où le brûlage dirigé est plus ou moins prépondérant, en faisant varier des paramètres tels que la saison, la dimension du chantier, la fréquence d'intervention et la puissance du feu.

En général, le brûlage dirigé modifie peu la composition floristique spécifique des écosystèmes, du moment qu'ils ont souvent été soumis à des perturbations anthropiques, notamment le feu. Par exemple, la régénération par rejets est une réponse fréquente des peuplements méditerranéens, en garrigue ou en forêt, qui est d'autant plus favorisée que la perturbation est répétée (feu, coupe, pâturage). Cependant, la dominance entre espèces peut changer après un brûlage dirigé, au moins temporairement, en fonction de l'intensité et de la récurrence des feux et de la sensibilité de l'écosystème. L'ouverture du milieu favorise aussi temporairement les espèces colonisatrices, ce qui peut entraîner une augmentation de la diversité floristique pendant quelques années. Les espèces se régénérant par graines (pin d'Alep, cistes, etc.) peuvent être favorisées lorsque l'échauffement lève la dormance des graines accumulées dans les couches superficielles du sol, si l'intensité du feu n'est pas trop importante. La puissance du feu est un paramètre fondamental à évaluer, car elle a des conséquences importantes sur le milieu. Lors de brûlages d'entretien, l'élévation de température dans le sol est faible (400 à 500 °C), alors que lors de brûlages d'ouverture, elle peut être beaucoup plus élevée (jusqu'à 900 °C et 100 °C dans les premiers centimètres de sol) du fait de la phytomasse plus importante (Gillon 1990). Il est important de ne pas détruire complètement la litière et l'humus lors du brûlage ; des conditions environnementales peu favorables au développement d'un feu de forte intensité doivent donc être privilégiées. Les impacts de l'échauffement sur les sols ne doivent pas être négligés et leur résilience varie en fonction de l'intensité du feu. En Provence calcaire, des suivis ont montré l'innocuité des brûlages dirigés sur le pin d'Alep et la sensibilité du chêne vert mais également la rémanence du traitement sur les strates basses ligneuses (p. ex. chêne kermès) et herbacées. Ces brûlages permettent de maintenir la biomasse combustible en dessous du seuil des 2 500 m³/ha pendant 3 à 4 ans (Duché & Rigolot 2004).

Concernant l'impact sur la faune, une comparaison des études ouest méditerranéennes (Orazio 1999, Pons 1999) et nord-américaines, qui concernent surtout les premières années après le feu, montre que les bouleversements faunistiques dans les communautés de mammifères, d'oiseaux (malgré une grande diversité des réponses spécifiques) et dans la faune de micro-arthropodes, sont bien plus faibles après brûlage dirigé qu'après incendie, du fait de la faible intensité. Le brûlage dirigé aurait même un effet positif sur les communautés de l'entomofaune. Pour l'avifaune, les réponses semblent surtout conditionnées par la disponibilité en ressources au sens large (la plus limitante étant le site de nidification) et

La tortue d'Hermann

Au sens de la terminologie UICN (Union internationale pour la conservation de la Nature), la tortue d'Hermann (*Testudo hermanni hermanni*) est classée en tant que « quasi menacée » sur la Liste rouge mondiale et « vulnérable » sur la Liste rouge de France. Elle est également présente sur la liste des espèces protégées de France. Les populations varoises entrent dans la catégorie « en danger ». Comme pour d'autres espèces menacées, cette situation est provoquée par une convergence de facteurs dont la part relative varie selon les sites. En France, l'espèce se rencontre dans le département du Var et en Corse. Le plus gros noyau continental de population est situé dans la plaine et le massif des Maures. Le réseau de coupures de combustible entretenues est particulièrement important dans le Var avec pas moins de 8 000 km linéaires de pistes DFCI. La tortue d'Hermann, pleinement concernée par la problématique des incendies de forêts, l'est également par la gestion DFCI.



Concernant le débroussaillage mécanique, des individus sont régulièrement détruits par le passage de gyro-broyeurs. La mortalité engendrée par ces engins a été évaluée à 69 % en moyenne (jusqu'à 80 %) (fig. 22). Cette proportion reste mal connue à ce jour et pourrait varier en fonction des coupures (localisation, stade de développement de la végétation, etc.). La DFCI prend d'ores et déjà en compte cette problématique de conservation en effectuant des débroussaillages manuels dans les secteurs les plus sensibles. L'effort doit être concentré sur l'identification des zones les plus sensibles pour les tortues et l'adaptation des moyens et solutions en lien avec le caractère opérationnel des ouvrages DFCI (Celse et al. 2014).

Concernant le brûlage dirigé, le taux de mortalité théorique moyen enregistré (70 % de la population de tortue présente sur le site brûlé) est particulièrement important. Une espèce longévive (à faible taux de croissance) telle que la tortue d'Hermann ne peut supporter un taux de mortalité si important comme le pourraient des espèces à fort taux de croissance. Un tel taux est proche de ceux provoqués par les incendies de forêt. Si ces derniers ont un impact variable, un taux moyen de mortalité de 72,3 % a été établi après des prospections réalisées sur 6 sites incendiés entre 1979 et 2005 (Celse et al. 2014). L'objectif des brûlages dirigés est de réduire l'inflammabilité du milieu *via* la réduction du biovolume inflammable, souvent constitué par la litière, élément essentiel à l'hibernation de la tortue d'Hermann. La technique de brûlage elle-même est susceptible d'entraîner des variations de température importantes, notamment selon la largeur des bandes de brûlages effectuées entraînant un comportement du feu plus ou moins intense. Cette intensité pourrait donc être contrôlée, de façon à avoir le moins de conséquences

possible sur la température au niveau de la litière. Cependant, étant donné qu'il est *a priori* difficile de faire chuter le taux de mortalité à un niveau acceptable pour l'espèce, une des solutions serait d'utiliser les chiens habilités pour détecter les tortues afin de les prélever avant le brûlage, sachant que les surfaces brûlées au cours d'un brûlage dirigé restent modestes donc assez faciles à prospecter.

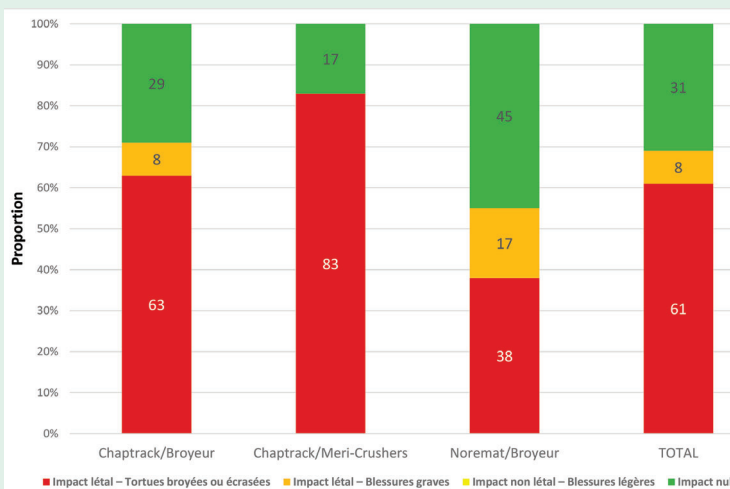


Figure 22. Proportion de modèles par classe d'impact en fonction des tracteurs et outils utilisés (source : Celse et al. 2014)

par le comportement de fidélité au territoire, qui induit des délais dans la réponse des populations aux perturbations. Par ailleurs on note des exemples d'emploi du brûlage dirigé dans la gestion d'espèces menacées ou d'espèces-gibier (Pons 1999). Celse et al. (2014) soulignent cependant l'effet néfaste du brûlage dirigé sur la tortue d'Hermann (voir encadré p. 33). En effet, à l'époque où sont réalisés les brûlages, les tortues sont en hibernation sous quelques centimètres de litière ou dans des buissons qui sont principalement affectés par le feu.

Alors que les incendies de forêt peuvent atteindre des températures de 600 à 1000 °C, les brûlages dirigés ne dépassent généralement pas 210 °C, ce qui limite les dommages au sol éventuellement aux quelques centimètres supérieurs. L'hétérogénéité fonctionnelle du sol est aussi augmentée et il y a peu ou pas de perte d'azote minéral par volatilisation (San Emeterio et al. 2016). Ces brûlages dirigés sont utilisés de préférence dans des zones à forte biomasse, créant ainsi un enrichissement en azote (San Emeterio et al. 2016). Cependant lorsqu'ils sont répétés, ils peuvent avoir des effets cumulatifs sur l'activité microbienne (Boerner & Brinkman 2003). Le feu affecte aussi directement la composition des nutriments du sol, en augmentant l'azote disponible et le pH (Moghaddas & Stephens 2007). Bien qu'une partie de la matière organique du sol soit perdue par la combustion, les brûlages dirigés peuvent accélérer la minéralisation de la matière organique du sol en nutriments disponibles (Neary et al. 2005). Par rapport aux feux intenses, ils entraînent des réductions moins importantes de la matière organique du sol et une plus grande activité microbienne (Rasmussen et al. 2018).

Impact du pastoralisme sur la biodiversité et les sols

Gaubert & Heighton (2024) ont montré que le pâturage raisonné, pratiqué de manière alternée ou diversifiée et sans surpâturage, peut favoriser l'augmentation du carbone dans le sol en stimulant la productivité des plantes et en optimisant l'exposition à la lumière. Cependant, l'intensification du pâturage produit un effet inverse en réduisant la surface foliaire, déséquilibrant les cycles du carbone et de l'azote, et modifiant la composition des espèces végétales, ce qui diminue la capacité de séquestration du carbone et la résilience des zones pastorales.

Par ailleurs, certaines études ont montré des impacts négatifs du pâturage, même non intensif, sur la structure et la fonction des sols, notamment par le compactage causé par le piétinement du bétail, qui peut affecter l'infiltration de l'eau, la disponibilité des nutriments et les communautés microbiennes. Limiter le nombre de bêtes et le temps de passage sur une parcelle permettrait de réduire l'effet délétère d'un piétinement trop intense.

Concernant l'impact sur la faune, le pastoralisme peut contribuer à la lutte contre le déclin des insectes

pollinisateurs et favoriser certaines espèces d'invertébrés. Cependant, l'utilisation d'antiparasitaires et d'herbicides dans les activités pastorales a un effet négatif sur ces communautés. De plus, le pastoralisme intensif a généralement plus d'effets négatifs que positifs sur les populations de vertébrés sauvages, notamment dans le cas de pâturage intensif.

Il est important de noter que l'impact du pastoralisme dépend des types de pâtures et des pratiques mises en place. Un pastoralisme raisonné, avec des pratiques telles que la transhumance, la rotation des pâtures, la diversité des races domestiques et une faible charge médicamenteuse, aura un impact négatif faible sur l'environnement. Il est utile au maintien d'une certaine diversité de paysages. À l'inverse, le surpâturage a des impacts très souvent négatifs, transformant les effets positifs en effets négatifs sur la biodiversité.

En conclusion, le pastoralisme peut avoir des effets positifs ou négatifs sur l'environnement, selon les pratiques mises en œuvre. Un pastoralisme raisonné est essentiel pour minimiser les impacts négatifs et maximiser les bénéfices pour la biodiversité et la séquestration du carbone.

Du matériel et des pratiques adaptés à une gestion intégrée de la végétation

Les gestionnaires ont à disposition différents matériels qui répondent chacun à une ou plusieurs problématiques pour le respect de la biodiversité. En complément de l'innovation et des changements des matériels, des progrès sont déjà possibles sur les matériels existants en cadrant mieux leurs champs d'utilisation, en interdisant les traitements inutiles, en ajustant les réglages (hauteur, puissance) et en accompagnant les agents par des formations et des conseils dans les changements de pratique. En effet, les milliers de km² de dépendances vertes le long des réseaux peuvent représenter une zone de développement de premier ordre pour les communautés d'insectes et peuvent être considérées comme des habitats potentiellement très favorables, sous réserve d'une gestion adéquate. Cette gestion écologique, adaptée aux contraintes spécifiques de chaque site, permet donc à la fois d'assurer ce rôle d'habitat et de faciliter l'entretien, tout en respectant la sécurité des usagers. Les bénéfices tirés d'une fauche, même non tardive, sont supérieurs au broyage, en termes de diversité de couvert végétal. Par ailleurs, des bandes non fauchées (ou fauchées tous les 2 ans) peuvent être mises en place sur les dépendances vertes, permettant d'offrir une mosaïque de milieux (Cerema 2021). En effet, une gestion en mosaïque ou en damier ou par patch sur un linéaire défini ou sur les aires de repos et les grands délaissés permet de constituer des habitats refuges. Lorsque la présence d'espèces patrimoniales est connue, il peut être intéressant d'équiper les matériels de fauche/broyage avec des systèmes de barres d'envol, afin que les animaux soient effarouchés avant le passage de l'engin, mais également de commencer le traitement par le centre de la zone et en élargissant les cercles (rectangles) pour que la faune puisse s'échapper.

Les machines portatives individuelles sont d'une utilisation idéale, pour un plus grand respect de la biodiversité et des habitats. Elles sont en effet plus souples par rapport aux machines lourdes et idéales sur des linéaires qui ne nécessitent pas de faire appel à de lourdes interventions mécanisées et pour des travaux plus ponctuels. La vitesse est également un facteur à ajuster pour préserver la biodiversité en diminuant la mortalité directe. L'avantage des débroussailluses est de permettre la mise en œuvre de techniques de fauche si possible haute (env. 20 cm) afin de préserver la petite faune vivant au sol et à la base des plantes. Elles n'engendrent qu'un seul point de coupe – l'insecte tombant avec la tige – et permettent de préserver des bandes-refuges pour de nombreuses espèces prairiales. Une hauteur de coupe relevée (> 8 cm) préserve donc la faune (petits mammifères et insectes) présente dans le sol et dans la litière mais aussi les pollinisateurs nichant sur le sol ou dans les chaumes (fig.23). La hauteur de fauchage raisonnée à plus de 12 cm est préférée à un fauchage plus court, notamment au vu des résultats obtenus sur les tests d'inflammabilité (voir chapitre suivant), mais aussi du fait de la meilleure préservation de certaines espèces de taille plus importante, p. ex. les rosettes des orchidées et les tortues. En outre, la différence de hauteur de végétation est identique après quelques semaines quelle que soit la hauteur de coupe (Cerema 2023). Par ailleurs, la seule contrainte mentionnée par l'arrêté préfectoral actuel est une hauteur maximum de 40 cm pour la végétation ligneuse, ce qui semble compatible avec un fauchage à 10-15 cm.

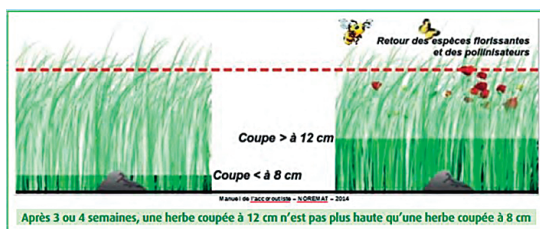


Figure 23. Effet de l'augmentation de la hauteur de coupe
© Noremat (source : Cerema 2021)

Adapter le calendrier des travaux pour une gestion intégrée de la végétation

Pour les entretiens d'ouvrages, poursuivre la prise en compte des enjeux environnementaux et paysagers dans le programme de travaux (dans le cadre de l'animation des plans de massif) est nécessaire. Cela exige la consultation de gestionnaires et la proposition de mesures d'adaptation/réduction d'impact équilibrées, le cas échéant. La principale mesure de réduction des impacts sur la biodiversité est l'adaptation du calendrier des travaux en fonction des enjeux présents. Ce calendrier écologique doit être consulté et pris en compte dans la mesure du possible, sans toutefois remettre en cause la sécurité des intervenants qui doit rester la priorité. Par ailleurs, sensibiliser et former les intervenants (entreprises) pour intégrer les enjeux/mesures de réduction des impacts en termes de réalisation est aussi indispensable.

Il faut donc que la mise en œuvre des travaux de débroussaillage contre le risque d'incendie tienne compte des cycles biologiques des espèces – au moins celles qui sont protégées – et garantisse à la fois la préservation des habitats naturels ainsi que la fonctionnalité des écosystèmes, et la sécurité des personnes et des biens. L'arrêté du 29 mars 2024 fait d'ailleurs un focus sur la réalisation des obligations légales de débroussaillage au regard de la biodiversité. De manière générale, les périodes allant du printemps au milieu de l'été sont à proscrire pour les travaux lourds (abattage et débroussaillage), période très sensible du cycle biologique de nombreuses espèces (nidification, etc.). Par ailleurs, une vigilance s'impose pendant le plein hiver, période sensible pour des espèces qui ont besoin d'une étape de repos complet, voire d'hivernage ou d'hibernation. Par exemple, les travaux d'abattage sont à conduire avec prudence : il faut s'assurer de l'absence de chiroptères qui hibernent à cette période. Concernant le fauchage et le broyage des herbacées, un traitement tardif (fin d'été ou automne) serait moins néfaste pour les pollinisateurs qu'un fauchage précoce. Le fauchage en mai-juin conforme à la période préconisée par Cerema (2023) pour la bande de sécurité peut être considéré comme appropriée pour les zones OLD, même si ce fauchage reste encore impactant à la fin du printemps.

À titre d'exemple, dans le parc national des Calanques (Bouches-du-Rhône) où le risque d'incendie est élevé, il est globalement conseillé de réaliser les travaux entre le 1^{er} octobre et le 28 février (fig.24). La période de mars à juin étant sensible d'un point de vue écologique (période de reproduction et de nidification pour de nombreuses espèces patrimoniales du territoire, mais également de floraison). Par ailleurs, la période estivale rend la végétation particulièrement sèche et sensible aux incendies et la réalisation des travaux en forêt à cette période peut induire un risque de départ de feu potentiel (augmentation de la probabilité d'incendies). En cas d'impossibilité de respecter le calendrier pour la réalisation des travaux de réduction de la masse combustible, leur mise en œuvre devra dépendre du niveau de risque journalier en vertu de l'arrêté préfectoral 13-2016-02-03-003.

Gestion de la végétation et du paysage dans la DFCI

Outre le respect d'un calendrier adapté et d'une gestion si possible extensive de la végétation et respectueuse de la biodiversité, la DFCI doit aussi prendre en compte les aspects de paysage pour un meilleur respect de la biodiversité. C'est ce qui est effectué dans le cadre du débroussaillage alvéolaire, qui permet de conserver des massifs irréguliers de végétation non traitée (de forme non géométrique, de 20 à 50 m²) séparés d'au moins 5 m (distance réglementaire par arrêté préfectoral), comme aménagé. À l'extérieur des alvéoles, l'ensemble de la végétation est traité afin de ne pas excéder 40 cm de hauteur à la repousse. Le dessin des alvéoles s'appuie en priorité sur le relief et les éléments paysagers de milieu ouvert déjà présents sur le site (zones herbacées, lapiaz, éboulis, pierriers).

Ce débroussaillage alvéolaire permet de créer une mosaïque de végétation alternant milieux ouverts et milieux fermés. La discontinuité de végétation ainsi créée est à la fois favorable à la DFCI et à la biodiversité, car elle constitue des habitats pérennes ou des abris ponctuels précieux pour la faune et la flore et favorise la diversité et le bon fonctionnement de l'écosystème forestier sur le long terme. Il faut toutefois prendre soin d'éviter la création de couloirs débroussaillés dans le sens de la pente qui augmenteraient le risque d'érosion et de ruissellement en plus d'impacter considérablement le paysage.

À l'extérieur du périmètre concerné par le débroussaillage, des alvéoles de petite taille ($< 50 \text{ m}^2$) peuvent ponctuellement être créées afin de favoriser une limite non géométrique (sinueuse) de celles-ci et d'ainsi permettre une meilleure intégration paysagère.

Par ailleurs, la mise à distance des alvéoles avec les milieux ouverts permet d'une part une mise en valeur paysagère de celles-ci et d'autre part, de ralentir la fermeture, et la disparition à terme, de ces zones de grand intérêt. Il faut également éviter le débroussaillage des milieux naturellement ouverts, éléments importants pour la diversité biologique et paysagère du territoire, car les passages avec une débroussailleuse ou avec des engins type broyeur forestier peuvent déstructurer par retournement et tassement ces habitats fragiles et leurs espèces spécifiques, souvent rares et protégées.

Enfin, ils constituent également des zones naturelles de rupture de la continuité verticale et horizontale de moindre combustibilité (art. 11 de l'arrêté préfectoral des Bouches-du-Rhône du 12/11/2014 relatif au débroussaillage).



Figure 24. Calendrier écologique et périodes de risque accru dans le parc national des Calanques (source : PN Calanques)

méthodologie d'étude de l'impact du traitement et résultats

Les types de traitement étudiés et les sites échantillonnés

Après entretien avec différents acteurs du domaine de la prévention du risque incendie et de la gestion du débroussaillage (conseil départemental 13 – direction de la forêt; Sdis13; ONF, etc.), et après prospection sur le terrain pour identifier des zones débroussaillées, il a été décidé de travailler sur les méthodes de traitement du combustible les plus fréquemment utilisées dans les Bouches-du-Rhône (mais aussi ailleurs dans le monde) et pour lesquelles nous avons le plus de données. Ces méthodes sont : le broyage mécanique, le brûlage dirigé, le fauchage manuel avec le rotofil ainsi que le fauchage mécanique des herbacées de bord de route à l'épareuse. Lors du fauchage, les rémanents de coupe sont laissés sur place, mais nous avons voulu également tester une modalité sans rémanent pour le fauchage mécanique afin de voir si l'effet sur l'inflammabilité variait.

Les stations étudiées pour le débroussaillage font partie de différents massifs forestiers des Bouches-du-Rhône : massifs des Alpilles et de la Côte Bleue pour le broyage, massif du Grand Caunet pour le broyage mécanique et le brûlage dirigé, massif de la Sainte-Baume pour le brûlage dirigé. Concernant le fauchage mécanique et manuel des herbacées, les stations échantillonnées se trouvaient le long de la D7N près d'Aix-en-Provence. L'échantillonnage a été réalisé en essayant de respecter au maximum une homogénéité entre les stations (fig.25.)

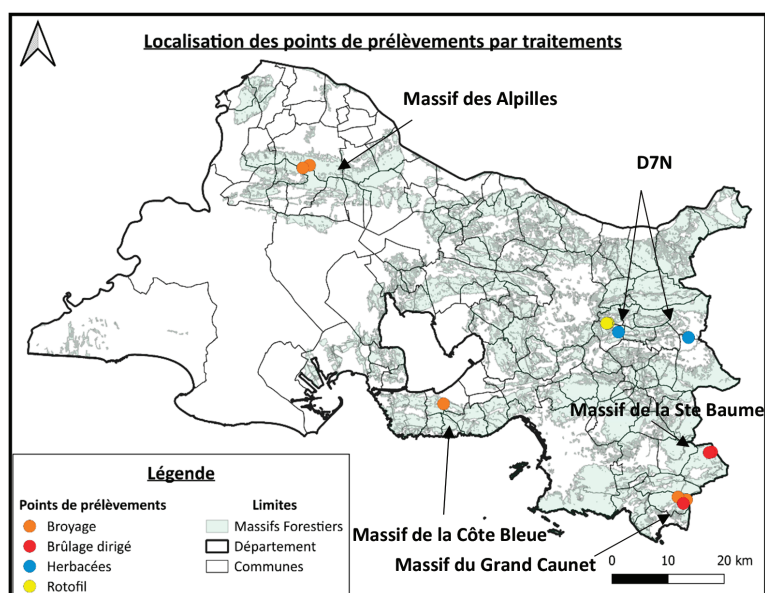


Figure 25. Sites échantillonnés en fonction du type de traitement (Bouches-du-Rhône)

méthodologie d'étude de l'impact du traitement et résultats

Étude de l'impact des traitements du combustible sur l'inflammabilité de la végétation post-traitement

Qu'est-ce que la végétation post-traitement ?

La végétation (ligneuse ou herbacée) post-traitement comprend aussi bien la strate de végétation qui a subi le traitement (accompagnée de la litière et des éventuelles herbacées poussant au pied des ligneux) que d'éventuels rémanents de coupe en fonction du traitement appliqué. La hauteur, la biomasse/densité et la structure de la végétation traitée diffèrent du témoin (fig.26 et 27).

Un prélèvement des échantillons adapté

La méthode de prélèvement varie en fonction du type de végétation ciblé (ligneux ou herbacées). Dans tous les cas, le prélèvement se fait en perturbant le moins possible la structure de la végétation (notamment herbacées et litière), en utilisant des gabarits pour découper des morceaux de sol (comprenant les herbacées, la litière et les horizons supérieurs de l'humus). Pour les échantillons de végétation ligneuse, les tiges sont coupées à ras (fig.28) et leur structure est reconstituée au laboratoire juste avant brûlage (la profondeur des racines ne permettant pas leur extraction avec le reste de la litière). Les échantillons sont brûlés juste après avoir été prélevés pour éviter toute déperdition hydrique de la végétation (surtout en ce qui concerne les herbacées).



Figure 26. Végétation ligneuse post-traitement 2 ans après débroussaillage (a) et témoin non traité (b) a) H = 30 cm b) H = 95 cm © Arthur Boschet/INRAE



Figure 27. Herbacées après fauchage manuel au rotofil (a) et témoin non traité (b) © Arthur Boschet/INRAE



Figure 28. Méthodes de prélèvement des échantillons de végétation ligneuse (a) et herbacée (b) © Arthur Boschet/INRAE

L'inflammabilité : qu'est-ce que c'est ?

L'inflammabilité est la capacité d'un combustible à s'enflammer et à maintenir sa combustion. Elle est évaluée au travers de différentes variables correspondant aux principales composantes de l'inflammabilité, notamment l'ignitabilité qui se réfère à la capacité du combustible à s'enflammer, la durabilité qui est la capacité à maintenir la flamme et la combustibilité qui se réfère à l'intensité dégagée par le feu et à sa propagation (Anderson 1970).

Que mesure-t-on et comment ?

Pour évaluer l'inflammabilité de la végétation post-traitement, on dispose d'un banc de brûlage composé de différents instruments permettant l'enregistrement de différentes variables de l'inflammabilité (fig.29):

- une caméra qui enregistre les brûlages ;
- l'échantillon repose sur une balance pour enregistrer la perte de masse au cours du brûlage ;
- 2 thermocouples, positionnés à 10 et 40 cm au-dessus de l'échantillon, enregistrent l'évolution de la température émise par les flammes ;
- 2 fluxmètres localisés à 30 cm de l'échantillon et à 10 et 40 cm de hauteur enregistrent l'évolution du flux total de chaleur reçue ;
- une règle positionnée derrière l'échantillon permet d'évaluer la hauteur des flammes (confirmée par la vidéo) ;
- un chronomètre enregistre le délai d'ignition, la durée de flamme et permet le calcul de la vitesse de propagation ;
- la capacité de propagation du feu est évaluée visuellement (nombre de côtés de l'échantillon atteints par les flammes) ;
- l'intensité du front de flamme est calculée par la formule de Byram (tenant compte de la vitesse de propagation, de la masse brûlée et de la chaleur spécifique de la végétation).

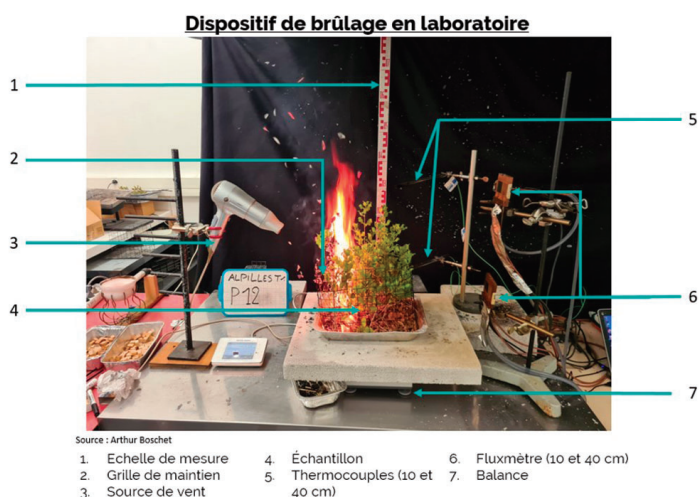


Figure 29. Dispositif de brûlage utilisé pour l'évaluation de l'inflammabilité de la végétation post-traitement et des témoins © Arthur Boschet/INRAE

Des sources d'ignition adaptées

Deux scénarios représentatifs des feux en interface ont été envisagés :

1. Le départ de feu provoqué par un jet de mégots en bord de route. Dans ce cas, on veut principalement évaluer la capacité d'ignition de l'échantillon (c.-à-d. la fréquence d'ignition). La source de chaleur est un brandon incandescent positionné au centre de l'échantillon (fig.30) et une source de vent (9,8 km/h) est nécessaire.



Figure 30. Ignition au brandon incandescent © Arthur Boschet/INRAE

2. La propagation du feu depuis la forêt vers l'interface. L'ignition se fait avec une ligne d'alcool de façon à générer un front de flamme (fig.31).

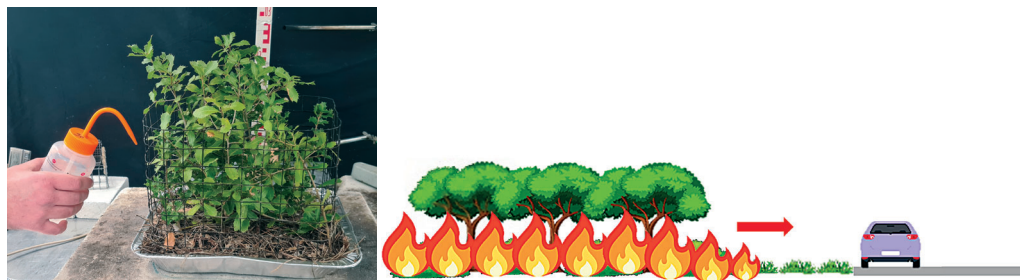


Figure 31. Ignition à la ligne d'alcool © Arthur Boschet/INRAE

En fonction de la taille des échantillons, les brûlages sont effectués en laboratoire (végétation post-traitement et témoins herbacés) ou en extérieur (végétation et témoin ligneux) dans des conditions environnementales les plus homogènes possibles.

Quelques résultats concernant l'impact du traitement sur l'inflammabilité

Le broyage mécanique et surtout le brûlage dirigé entraînent une diminution de l'inflammabilité des échantillons traités par rapport au témoin non traité (du fait principalement de 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 à la fois une plus forte ignition de la végétation, l'année où le traitement a eu lieu, et une propagation plus importante des flammes. Cela pourrait s'expliquer par une litière plus abondante et une densité de végétation plus élevée.

Pour le fauchage mécanique des herbacées, avec ou sans rémanents, l'inflammabilité a globalement augmenté pour les échantillons traités, avec notamment une probabilité d'ignition plus forte (ce qui est à l'opposé de l'effet attendu) du fait i) d'une surface de contact entre le brandon incandescent et la végétation traitée plus grande que dans la végétation témoin et ii) du tapis d'herbacées très sèches propices au feu constitué par les rémanents de coupe laissés sur place ou de la litière naturelle de la végétation, elle aussi très sèche en période estivale, lorsqu'on les enlève. De plus, dans les deux cas, les échantillons traités laissent mieux circuler l'air et sont bien plus exposés au vent.

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 suffisante (notamment ne permettant pas d'ignition au brandon). De ce fait ce traitement entraîne soit une diminution 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.

Étude de l'impact des traitements du combustible sur la biodiversité floristique et sur l'état de santé des peuplements arborés

Pour estimer l'impact du débroussaillage sur la santé du pin d'Alep et sur la diversité de la flore, nous avons étudié 8 sites. Pour chacun d'entre eux, trois placettes de 400 m² ont été étudiées en zone débroussaillée (encadré rouge de la figure 32) et en zone témoin non gérée à proximité (encadré bleu). Sur ces placettes, nous avons relevé la topographie, le type de sol, et estimé la densité de la végétation en mesurant le diamètre des arbres et le recouvrement des strates basses.

La santé des pins d'Alep a été décrite en estimant visuellement le pourcentage de feuillage manquant dans le houppier (fig.33) et la diversité floristique a été quantifiée en comptant le nombre d'espèces présentes et leur abondance, débouchant sur le calcul de plusieurs indices de diversité.



Figure 32. Positionnement des placettes de relevés en zones débroussaillées et en zones témoin adjacentes

© Google Earth, © Maxime Cailleret/INRAE

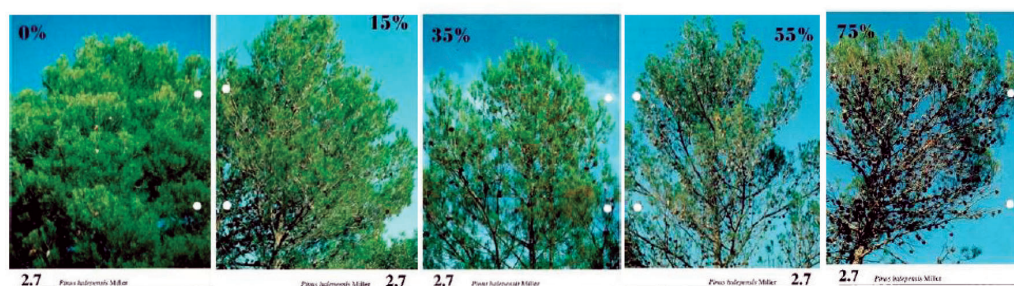


Figure 33. Exemple de photos de référence du protocole Deperis pour estimer visuellement le déficit foliaire du pin d'Alep (en %) (source : Dpt Santé des forêts, <https://agriculture.gouv.fr/telecharger/128047>)

Quelques résultats sur l'impact du traitement sur la diversité floristique et la santé des peuplements arborés

La diversité floristique forestière et la richesse fonctionnelle sont plus importantes en zone débroussaillée qu'en zone témoin (deux fois plus d'espèces relevées dans les Alpilles et sur la Côte Bleue, mais pas de différence sur la Sainte-Baume). Un cortège d'espèces plus pionnières a été relevé en zone débroussaillée et la présence des espèces plus mésophiles en zone témoin serait due à un effet de la réserve utile et du microclimat forestier. Nous n'avons pas constaté de différence claire sur les besoins en température. Par ailleurs, aucun effet significatif du traitement n'a pu être mis en évidence sur les espèces protégées (deux espèces en statut de protection régionale).

Concernant l'état sanitaire de la strate arborée, le déficit foliaire est de 44 % en moyenne (similaire aux valeurs DSF, et autres massifs), supérieur en zone témoin qu'en zone débroussaillée (48 % vs. 40 %). Un effet de l'ouverture du peuplement n'a pas été observé. Les pins les plus gros sont les moins défoliés mais pour une 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 « mal adaptation » 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 modalité débroussaillée et modalité témoin s'explique par la différence de réserve utile mais n'indique pas d'effet direct du débroussaillage.

Fiches traitements (par types de traitement)

Pour chacun des cinq grands types de traitement, chaque fiche présente différentes informations :



Le type de végétation concernée par le traitement (herbacées, ligneux, litière)



La topographie pour laquelle le traitement peut être réalisé



Les surfaces traitées annuelles



Les types d'engins/troupeaux



Les opérateurs du traitement



Les coûts de réalisation



Le type d'interfaces où a lieu le traitement (massif/ routes ou habitat)



La fréquence de retour du traitement généralement appliquée



Les impacts sur l'inflammabilité et l'efficacité dans le temps, la biodiversité floristique, l'état de santé des peuplements arborés, le sol, la faune

L'impact sur l'inflammabilité peut être très négatif, négatif, nul, positif, très positif :

- -- NS + ++



BRÛLAGE DIRIGÉ



Type de végétation concernée
Ligneux bas (et herbacées/litière)



Impact sur l'inflammabilité de la végétation post-traitement

Phase Ignition au brandon

Phase Propagation du feu



Topographie
Tout type de relief, notamment quand le débroussaillage mécanique ne peut avoir lieu



ignitabilité **NS**



durabilité **NS**



combustibilité **--**



Surface traitée
~ 4,9 ha/chantier ou en moyenne 33 ha/an (période 2001-2022, Bouches-du-Rhône, Sdis13)



Efficacité du traitement dans le temps
Effet durable sur 3 ans



Opérateurs
Équipes de brûlage dirigé : pompiers (Sdis)
ForSap (départements), APFM (ONF)



Impact sur la diversité floristique
Faible si feu peu intense : favorise la régénération par graines d'espèces adaptées au feu (type cistes)



Coûts de réalisation
~ 500 €/ha



Impact sur l'état sanitaire des peuplements de pin d'Alep

Aucun si l'intensité dégagée est faible à moyenne



Interface concernée
BDS et coupures de combustible dans les massifs



Impact sur le sol

Aucun si l'intensité dégagée est faible à moyenne



Fréquence de retour
3 à 4 ans



Impact sur la faune

Principalement faible mais variable selon les taxons

BROYAGE MÉCANIQUE



© A. Boschet/INRAE



Type de végétation concernée

Ligneux en sous-bois ou en peuplement type garrigue, maquis ou lande



Topographie

Relief plus ou moins prononcé mais pas escarpé



Surface traitée

En moyenne 2550 ha/an (ForSap)



Types d'engins

Broyeurs forestiers (pneus et chenilles), tracteurs, pelle avec bras mécanique



Opérateurs

APFM, ForSap



Coûts de réalisation

~ 2500-3000 €/ha



Interface concernée

Dans les massifs: BDS, coupures de combustible. En bord de route (mais aussi de voies ferrées et de lignes électriques): BDS



Fréquence de retour

3 à 4 ans



Impact sur l'inflammabilité de la végétation post-traitement

Phase Ignition au brandon

Phase Propagation du feu



ignitabilité NS



durabilité NS



combustibilité -



Efficacité du traitement dans le temps

Stable sur 3 ans mais fréquence d'ignition et propagation augmentées juste après le traitement



Impact sur la diversité floristique

Augmentation de la biodiversité floristique par ouverture du milieu mais impact variable selon les taxons. La planification devra respecter la période de floraison et fructification nécessaire.



Impact sur l'état sanitaire des peuplements de pin d'Alep

Faible



Impact sur le sol

Impact non négligeable. Le matériel devra être adapté (c.à.d. augmentation de la hauteur des patins)



Impact sur la faune

Variable selon les taxons. Par exemple impact fort sur les espèces à faible mobilité (tortue). La planification devra respecter les périodes de reproduction et d'hivernage nécessaires.



© Florent - CC BY-SA via WC

FAUCHAGE MÉCANIQUE



Type de végétation concernée
Herbacées



Impact sur l'inflammabilité de la végétation post-traitement

Phase Ignition au brandon

Phase Propagation du feu



ignitabilité ++



durabilité NS



combustibilité +



Topographie

Pas de relief : bord de route et talus (grâce au bras articulé)



Efficacité du traitement dans le temps

Dépendant de la repousse de la végétation



Surface traitée

En moyenne 164 ha/an (DirMed Sud)



Types d'engins

Épareuse, pelle avec bras mécanique



Impact sur la diversité floristique

Intensifie la repousse



Opérateurs

DirMed Sud, communes, entreprises privées (prestataires)



Impact sur l'état sanitaire des peuplements de pin d'Alep

Aucun



Impact sur le sol

Faible



Coûts de réalisation

1,40 M€/an (DirMed Sud)



Interface concernée

En bord de route et d'autoroute, mais également de voies ferrées et de lignes électriques



Impact sur la faune

Dépend des dispositifs (hauteur de coupe, barre d'envol) et du calendrier des travaux



Fréquence de retour

Minimum une fois par an

FAUCHAGE/DÉBROUSSAILLEMENT MANUEL



© A. Ganteaume/INRAE



Type de végétation concernée
Herbacées, petits ligneux



Topographie
Terrains non mécanisables (forte pente, enjeu important, petite surface, etc.)



Surface traitée
0,2-0,4 ha/jour (ForSap)



Types d'engins
Pour le fauchage : rotofil, tondeuse. Pour le débroussaillage : débroussailluse à couteaux



Opérateurs
ForSap (selon chantier), communes, entreprises privées, particuliers



Coûts de réalisation
Dépendant du chantier : 1 agent ForSap ~ 500 €/jour



Interface concernée
En bord de route et d'autoroute, mais également de voies ferrées et de lignes électriques, BDS dans les massifs



Fréquence de retour
Minimum une fois par an



Impact sur l'inflammabilité de la végétation post-traitement

Phase Ignition au brandon

Phase Propagation du feu



ignitabilité NS



durabilité NS



combustibilité -



Efficacité du traitement dans le temps
Dépendant de la repousse de la végétation



Impact sur la diversité floristique

Intensifie la repousse des herbacées et les rejets des ligneux type chêne



Impact sur l'état sanitaire des peuplements de pin d'Alep

Aucun



Impact sur le sol

Faible



Impact sur la faune

Faible (si bien géré)



PASTORALISME



Type de végétation concernée

Herbacées et petits ligneux selon le type de troupeau



Impact sur l'inflammabilité de la végétation post-traitement

Traitement non effectué



Topographie

Tout type de terrain



Efficacité du traitement dans le temps

Dépendant de la repousse de la végétation



Surface traitée

(Dans le cadre de contrats agri-environnementaux): variable dans le temps en fonction du nombre d'éleveurs contractants. Exemple: 4 796 ha (114 éleveurs) dans le Gard en 2000 vs 172 ha (7 éleveurs) en 2008 vs 950 ha (12 éleveurs) en 2024 (source: Chambre régionale d'Agriculture d'Occitanie)



Types de troupeau

Principalement ovins et caprins; bovins, asins et équins moins fréquents; camélidés à la marge



Impact sur la diversité floristique

Effets positifs ou négatifs variables selon les pratiques



Opérateurs

Éleveurs, bergers



Impact sur l'état sanitaire des peuplements de pin d'Alep

Aucun



Coûts de réalisation

Faible à nul



Impact sur le sol

Effets positifs ou négatifs variables selon les pratiques



Interface concernée

Principalement dans les massifs: BDS et coupures de combustible



Impact sur la faune

Effets positifs ou négatifs variables selon les pratiques



Fréquence de retour

Une à plusieurs fois par an

conclusions relatives au projet Gecovi

Les résultats du projet Gecovi ont montré que, concernant l'impact des méthodes de traitement de la végétation sur l'inflammabilité de la végétation résiduelle, le brûlage dirigé est la méthode la plus efficace pour traiter le combustible en massifs, car il réduit fortement l'inflammabilité et son effet bénéfique se prolonge dans le temps. Le broyage mécanique reste, quant à lui, efficace, cependant moins que le précédent traitement. Il présente un risque d'ignition plus élevé l'année du traitement. Idéalement, il faudrait privilégier le brûlage dirigé, mais cette méthode est très dépendante de la météo et peut poser problème dans les espaces protégés. Le broyage mécanique, bien que moins efficace, couvre de plus grandes surfaces et est applicable toute l'année mais est plus coûteux. En complément de ces deux types de traitement, la végétation peut être entretenue par le pastoralisme. Concernant les bords de route, le fauchage mécanique, comme pratiqué actuellement, est inefficace et augmente même l'inflammabilité. Le fauchage manuel, au rotofil par exemple, serait une alternative efficace, mais demande plus de temps et de main-d'œuvre pour les grandes surfaces. Il pourrait être aussi recommandé de modifier la hauteur de coupe de l'épareuse ou d'avancer la période de fauchage pour que la hauteur de la végétation post-traitement soit suffisamment élevée pour diminuer efficacement l'inflammabilité comme dans le cas du rotofil. Par ailleurs, en termes de perspectives, il conviendrait de poursuivre ce type de travail en passant à l'échelle spatiale supérieure (placette d'étude *in situ*) en réalisant des brûlages dirigés sur végétation traitée par différentes méthodes et témoin, voire en effectuant des simulations du comportement du feu sur ces types de scénarios de traitement de la végétation.

Concernant l'impact sur la diversité floristique forestière et sur la santé des peuplements de pins d'Alep, compte tenu du peu de sites suivis (8 placettes ; 4 massifs), il est difficile de conclure sur les causes de variation entre placettes de l'impact du débroussaillage. Cependant, les résultats ont montré qu'en moyenne, les pins d'Alep en zone débroussaillée sont moins défoliés qu'en zone témoin et que le débroussaillage a un effet positif sur la richesse spécifique et fonctionnelle de la flore vasculaire. Cette étude montre également l'intérêt de travailler par paires (modalité traitée vs. témoin), d'avoir des répliquats car il existe une forte hétérogénéité environnementale, même à l'échelle locale d'un pare-feu ou d'une sous-placette de 400 m². Il est également important de pouvoir caractériser au mieux toutes les composantes de l'environnement local en termes de densité et de structure du peuplement ainsi que des conditions topographiques et édaphiques. L'approche utilisée dans le cadre de ce projet devrait ainsi être répliquée sur un échantillonnage plus conséquent, notamment au sein des massifs, afin de pouvoir donner des indications plus robustes aux gestionnaires de ces espaces naturels.

références

- Anderson H.E., 1970. "Forest fuel ignitability", *Fire Technology* 6:312-319.
- Boerner R.E.J., Brinkman J.A., 2003. "Fire frequency and soil enzyme activity in southern Ohio oak-hickory forests", *Appl. Soil Ecol.* 23:137-146.
- Busse M.D., Hubbert K.R., Moghaddas E.E.Y., 2014. *Fuel reduction practices and their effects on soil quality*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-241. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, 156 p.
- Celse J., Catard A., Caron S. et al., 2014. *Guide de gestion des populations et des habitats de la tortue d'Hermann*. Life 08 NAT/F/000475. Arpe-Paca, 210 p.
- Cerema, 2021. *Adapter la gestion des bords de route pour préserver les insectes pollinisateurs sauvages*. Bron : Cerema.
- Cerema, 2023. *Rapport d'étude sur la biodiversité et entretien courant des dépendances*. Rédigé pour la DIRE, en 2 parties : Notice finale et Recommandations.
- Chappaz F., Ganteaume A., 2022. "Role of land-cover and WUI types on spatio-temporal dynamics of fires in the French Mediterranean area", *Risk analysis* 43(5):1032-1057. DOI: 10.1111/risa.13979.
- Curt T., Fréjaville T., 2018. "Wildfire Policy in Mediterranean France: How Far is it Efficient and Sustainable?", *Risk analysis* 38(3):472-488. DOI: 10.1111/risa.12855.
- Dirmed, 2018. *Obligations légales de débroussaillage*. Document de politique interne.
- Duché Y., Rigolot É., 2004. « Équipement du territoire : le brûlage dirigé, bases scientifiques et réalisations », *Rendez-vous Techniques de l'ONF* 4 :36-40. fthal-02673729
- Ganteaume A., Guillaume B., Girardin B., Guerra F., 2023. "CFD Modeling of WUI Fire Behavior in Historical Fire Cases According to Different Fuel Management Scenarios", *Int. J. Wildland Fire* 32:363-379.
- Ganteaume A., Long-Fournel M., 2015. "Driving factors in fire density can spatially vary at the local scale in south-eastern France", *Int. J. Wildland Fire* 24:650-664. <http://dx.doi.org/10.1071/WF13209>.
- Gaubert P., Heighton S., 2024. *Le Pastoralisme en France : Synthèse des connaissances scientifiques sur la pratique du pastoralisme en France, ses effets sur l'environnement et son impact sur les grands carnivores*. Rapport d'étude One Voice, 39 p.
- Gillon D., 1990. « Les effets des feux sur la richesse en éléments minéraux et sur l'activité biologique des sols », *Revue Forestière Française* n° spécial « Espaces forestiers et incendies » :295-302.
- Gomila H., 1993. *Incidences du débroussaillage sur la flore, la végétation et le sol, dans le sud-est de la France*. Thèse de doctorat, Aix-Marseille 3. <http://www.theses.fr/1993AIX3>.
- Hadar L., Noy-Meir I., Perevolotsky A., 1999. "The effect of shrub clearing and grazing on the composition of a Mediterranean plant community: functional groups versus species", *J. Veg. Sci.* 10:673-682.
- IGN, 2024. *Inventaire Forestier National : Mémento édition 2024*. 70 p.
- Lampin-Maillet C., 2009. *Caractérisation de la relation entre organisation spatiale d'un territoire et risque d'incendie : Le cas des interfaces habitat-forêt du sud de la France*. Thèse doct. univ. Aix-Marseille, mention Lettres & Sci. hum. (Géogr.-Struct. Dynam. spatiales). 325 p. + ann.
- Moghaddas E.E.Y., Stephens S.L., 2007. "Thinning, burning, and thin-burn fuel treatment effects on soil properties in a Sierra Nevada mixed-conifer forest", *Forest Ecol. Manage.* 250(3):156- 166. doi:10.1016/j.foreco.2007.05.011

- Moghaddas E.Y., Stephens S.L., 2008. "Mechanized fuel treatment effects on soil compaction in Sierra Nevada mixed-conifer stands", *Forest Ecol. Manage.* 255:3098-3106.
- MTDA, 2024. *Plan départemental de protection des forêts contre les incendies des Bouches-du-Rhône (2023-2032)*. 229 p.
- Neary D.G., Ryan K.C., DeBano L.F., 2005. *Wildland Fire in Ecosystems: Effects of Fire on Soil and Water*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT, p. 250, General Technical Report RMRS-GTR-42 Vol. 4.
- ONF, 2025. *Foire aux questions : les obligations légales de débroussaillage (OLD)*. <https://www.onf.fr/produits-services/actualites/+/1525::foire-auxquestions-faq-les-obligations-legales-de-debroussaillage-old.html>
- Orazio C., 1999. *Étude bibliographique sur les effets du brûlage dirigé sur l'écosystème forestier*. Rapport ONF-INRA. 140 p.
- Pérez-Ramos M., Zavala M.A., Marañón T., Díaz-Villa M.D., Valladares F., 2008. "Dynamics of understorey herbaceous plant diversity following shrub clearing of cork oak forests: A five-year study", *Forest Ecol. Manage.* 255(8-9):3242-3253.
- Pons P., 1999. « Brûlage dirigé et incendie sauvage: Ont-ils l'un et l'autre le même impact sur l'avifaune ? » *Forêt Médit.* XX(2) :103-114.
- Rasmussen A.L., Brewer J.S., Jackson C.R., Hoeksema J.D., 2018. "Tree thinning and fire affect ectomycorrhizal fungal communities and enzyme activities", *Ecosphere* 9(10):e02471. 10.1002/ecs2.2471
- San Emeterio L., Múgica L., Ugarte M.D., Goicoa T., Canals R.M., 2016. "Sustainability of traditional pastoral fires in highlands under global change: effects of soil function and nutrient cycling", *Agric. Ecosyst. Environ.*, 235:155-163. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.009>.
- Thavaud P. (coord.), 2009. *Entretien des coupures de combustible par le pastoralisme : guide pratique*. Réseau Coupures de combustible n° 12, 68 p.
- Vennetier M., Baudel J., Piana C. et al., 2012. « Débroussailllements réglementaires et potentiel apicole. Premiers résultats en Provence calcaire et perspectives », *Forêt Médit.* 23(2) :207-220. fhal-01117930.

sigles et acronymes utilisés

Ademe	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
APFM	Agent de protection de la forêt méditerranéenne
BDS	Bande de débroussaillage de sécurité
BDIFF	Base de données sur les incendies de forêt en France
Cerpam	Centre d'études et de réalisations pastorales Alpes-Méditerranée
CFM	Conservatoire de la forêt méditerranéenne
CNPF	Centre national de la propriété forestière
DDT/M	Direction départementale du territoire / et de la mer
DFCI	Défense des forêts contre les incendies
DIR	Direction interdépartementale des routes
DirMed	Direction interdépartementale des routes Méditerranée
DSF	Département de la santé des forêts
Enedis	Énergie distribution (ex-ERDF Électricité réseau distribution France)
Epic	Établissement public à caractère industriel et commercial
ForSap	Forestier sapeur
IGN	Institut géographique national
INRAE	Institut national de recherche pour l'agronomie, l'alimentation et l'environnement
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques
OLD	Obligation légale de débroussaillage
ONF	Office national des forêts
Pidaf	Plan intercommunal de débroussaillage et d'aménagement forestier
PPFCI	Plan de protection de la forêt contre l'incendie
RFF	Réseau ferré de France
RMT Aforce	Réseau mixte technologique « Adaptation des forêts au changement climatique »
RTE	Réseau de transport d'électricité
Sdis	Service départemental d'incendie et de secours
SIG	Système d'information géographique
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature

Contact

INRAE, site d'Aix-en-Provence
Équipe de recherche Écosystèmes Méditerranéens et Risques
3275 route de Cézanne, CS 40061
13182 Aix-en-Provence cedex 5
anne.ganteaume@inrae.fr

Document préparé pour une diffusion numérique
en mars 2025
pour INRAE Aix-en-Provence
par Cardère éditeur
dépôt légal mars 2025
isbn 978-2-37649-043-2

