

Une méthode d'aide au choix des combinaisons techniques pour l'entretien des coupures de combustible

par Catherine LEGRAND *, Michel ETIENNE * et Eric RIGOLOT **

Introduction

Pour réduire la sensibilité des formations végétales méditerranéennes au risque d'incendie, de nombreux dispositifs nouveaux de protection ont été mis en place, en particulier après les grands incendies de 1986, 1989 et 1990. Ces dispositifs consistent à créer et entretenir des discontinuités horizontales et verticales dans la végétation, sur des coupures de combustible qui doivent être capables de réduire la vitesse de propagation et la puissance d'un incendie (TRABAUD, 1989). L'implantation, la forme et la largeur de ces coupures dépend principalement de la pente et de l'exposition par rapport au vent et au massif à protéger (DELABRAZE, 1990), mais également de leur objectif et de leur rôle dans la lutte (arrêt de la progression du feu, réduction de la puissance des flammes,...).

Que ces coupures de combustible aient été créées par des moyens lourds (fleco ou godet) ou légers (broyeurs voire troupeaux), l'entretien est classiquement assuré par broyage manuel ou mécanique. Cependant, de nombreuses techniques alternatives ou complémentaires ont été testées depuis une dizaine d'années (brûlage dirigé, traitement chimique, pâturage...). VALETTE *et al.* (1993) ont souligné l'intérêt de combiner plusieurs de ces techniques sur un même site afin d'améliorer les rapports coût/efficacité en fonction des objectifs dominants affectés à la coupure et au

massif forestier qu'elle protège (P.F.C.I.¹, production, pastoral, cynégétique, loisirs). Dans tous les cas, il faut éviter l'accumulation de combustible avant l'été et augmenter la durée entre deux passages d'entretien, tout en minimisant les coûts d'intervention.

En effet la sensibilité d'un peuplement à l'incendie peut être caractérisée par le degré d'inflammabilité² des espèces qui le constituent et son degré de combustibilité³. La continuité entre strates, la phytomasse par unité de surface, la pente, la part d'éléments fins et la compacité des espèces du sous-bois, leur teneur en eau et leur composition chimique sont les principaux facteurs qui agissent sur la vitesse de propagation du feu et sur sa puissance potentielle (TRABAUD, 1971; PAPIO et TRABAUD, 1990; FORGEARD et LEBOUVIER, 1991). La majorité de ces facteurs sont difficilement modifiables directement car ils sont propres à l'espèce (ARMAND *et al.*, 1993), ou encore liés aux conditions climatiques du moment. Le gestionnaire ne pourra donc agir que sur l'accumulation de combustible sur pied et sa distribution dans l'espace (concept que nous résumerons par le terme d'embroussaillage).

La dynamique initiale d'embroussaillage est liée à deux paramètres principaux : la capacité de régénération après ouverture du milieu (semis, rejet, drageon) et le taux de croissance en phase de colonisation (LEGRAND, 1992). A moyen terme, l'intensité de la concurrence par rapport à l'élément le plus limitant du milieu (eau, lumière ou élé-

* I.N.R.A. - Unité d'écodéveloppement, Domaine Saint Paul 84143 Montfavet

** I.N.R.A. - Laboratoire de recherches forestières méditerranéennes, Unité de prévention des incendies de forêts - Av. A. Vivaldi 84000 Avignon

1 - Protection des forêts contre les incendies

2 - Propriété à s'enflammer au contact d'une source de chaleur.

3 - Propriété d'un végétal ou d'un ensemble de végétaux à propager le feu en se consumant.

ments minéraux) intervient comme un régulateur de vitesse et oriente la succession végétale (ETIENNE *et al.*, 1991).

L'objet de cette étude est de proposer une méthode permettant d'évaluer l'efficacité sur plusieurs années d'itinéraires techniques combinant différentes méthodes d'entretien des coupures de combustible (celles-ci auront été préalablement implantées et équipées en fonction d'un plan d'aménagement du massif, de contraintes topographiques et d'un scénario de lutte). Cette méthode vise à synthétiser les connaissances actuelles aussi diverses que la faisabilité des combinaisons de traitements, leur efficacité sur la dynamique du combustible, le coût et l'impact social de ces interventions. Elle devrait permettre d'assister les choix des gestionnaires dans un domaine où les impératifs économiques orientent souvent les décisions sans disposer d'un recul suffisant.

Dans un premier temps les critères d'évaluation sont identifiés. En s'appuyant sur l'exemple d'un écosystème choisi, chaque technique d'entretien est ensuite évaluée individuellement pour en distinguer les caractéristiques propres. Des combinaisons de deux techniques sont ensuite introduites pour illustrer les synergies ou faire apparaître des effets compensateurs. Elles sont complétées par une analyse économique qui compare différents scénarios mettant en œuvre des itinéraires complexes à l'échelle de la décennie.

En dernier lieu un aperçu est donné sur les adaptations nécessaires à l'application de cette démarche dans d'autres écosystèmes méditerranéens.

Méthode d'évaluation

Les combinaisons techniques proposées dans la suite de ce travail sont l'illustration d'une méthode de raisonnement basée sur une représentation schématique de l'embroussaillage. La croissance de la strate arbustive et de la strate herbacée provoque une accumulation du combustible sur pied et de la couverture morte (litière, herbes sèches, brindilles) qui entraîne une augmentation de l'inflammabilité et de la combustibilité par la présence d'éléments fins et l'augmentation de la phytomasse. Les possibilités d'action du gestionnaire portent sur la réduction de cette couverture morte, sur la diminution du phytovolume aérien arbustif ainsi que sur la limitation de la croissance des strates basses du sous-bois. Chaque itinéraire technique testé modifie le fonctionnement de l'écosystème forestier en favorisant le développement d'une strate au détriment de l'autre et en modifiant la composition botanique du sous-bois vers des peuplements moins combustibles.

Dans les itinéraires techniques envisagés, interviennent les cinq techniques élémentaires suivantes : broyage mécanique (Broyage), brûlage dirigé (Brûlage), pâturage (Pâturage), traitement chimique (Chimique) et dessouchage (Dessouch). La technique "pâturage" sous-entend un sursemis (Ssemis) et des fertilisations (Fertilis) annuelles lorsque la strate herbacée naturelle est rare, cas de la forêt des Maures et de la forêt littorale, et seulement des fertilisations annuelles pour la pinède sur sol calcaire. La technique "dessouchage"

consiste à décaper le sol sur l'ensemble de la coupure et rassembler le tout (arbustes, herbacées, litière, terre) en andains. Ces techniques sont comprises ici dans le sens défini par VALETTE *et al.* (1993).

Les combinaisons techniques envisagées ont été évaluées en fonction d'une quinzaine de critères (GILLON *et al.*, 1991), regroupés en cinq catégories :

1 - La **FAISABILITÉ TECHNIQUE** évalue la complexité et les conditions d'application de la technique d'ouverture ou d'entretien choisie. Elle est jugée selon cinq critères :

- **contrainte climatique** (Météo) : la longueur de la période au cours de laquelle la technique peut être utilisée est décisive pour ce critère, mais des éléments de sécurité sont également à prendre en compte ;

- **contrainte d'accessibilité** (Accès) : ce critère ne peut être évalué qu'au cas par cas, les conditions topographiques, le niveau d'enrochement et la densité du couvert arboré étant les principales limitations ;

- **contrainte de vecteur** (Vecteur) : le manque de strate herbacée ou de couverture morte ou encore la trop forte densité du maquis peuvent être des obstacles à l'application de certaines techniques ;

- **facilité de mise en œuvre** (Facilité) : ici, c'est l'itinéraire technique dans sa globalité qui est jugé en fonction de la complexité des opérations à mener, des besoins d'organisation et de technicité des praticiens qu'elles impliquent et du degré de coordination nécessaire entre les différents volets, par exemple forestier et pastoral ;

- **travail** (Travail) : il s'agit de la quantité de main d'œuvre nécessaire à la réalisation d'aménagements P.F.C.I. ;

2 - L'**EFFICACITÉ P.F.C.I. IMMÉDIATE** évalue l'effet à court terme de la technique choisie sur la quantité et la structure du combustible rémanent. La période concernée s'étale depuis le traitement jusqu'à l'issue de la première saison de végétation. Quatre critères ont été retenus :

- **contrôle de la strate arbustive** (Arbustes) : ce critère apprécie le degré de dégagement du combustible vivant par la technique utilisée ;

- **contrôle de la strate herbacée** (Herbe) : il s'agit d'une estimation de la quantité d'herbe résiduelle en fin de printemps ;

- **contrôle de la couverture morte** (Cv morte) : c'est l'état et la quantité de la litière, du broyat, des chicots et du bois mort présents juste avant la période des incendies ;

- **dommage aux arbres** (Arbres) : ce critère évalue les blessures ou la mortalité directe occasionnées au couvert forestier et à sa régénération par les traitements appliqués.

3 - L'**EFFICACITÉ P.F.C.I. À MOYEN TERME** quantifie les besoins d'entretien en jugeant de la périodicité des interventions et des effets retardés ou cumulatifs des techniques appliquées. La période concernée s'étale globalement depuis la seconde jusqu'à la quatrième saison de végétation. Elle évalue l'évolution dans le temps des quatre critères précédents :



Photo 1 : Blessures au collet dues à un engin de débroussaillage. Photo E.Rigolot/I.N.R.A.

- **contrôle de la strate arbustive** : ce critère mesure la vitesse de repousse des arbustes et la dynamique de leur agencement dans l'espace, ainsi que la rémanence des charpentes mortes sur pied ;
- **contrôle de la strate herbacée** : il s'agit d'une estimation de la quantité d'herbe résiduelle en fin de printemps ;
- **contrôle de la couverture morte** : c'est l'évolution de l'état et de la quantité de la litière, du broyat et des chicots ;
- **dommage aux arbres** : ce critère évalue les effets retardés (infestation, dépérissement, récupération, ...) des traitements sur le couvert forestier et sur sa régénération.

4 - L'EFFICACITÉ SOCIALE ET ENVIRONNEMENTALE juge l'effet de l'aménagement sur le paysage, sur la facilité d'utilisation par les services d'incendie, sur l'impact vis-à-vis des usagers traditionnels de la forêt (chasseurs de sangliers en particulier) et, dans le cas de coupures pâturées, sur la production fourragère. Six critères ont été retenus :

- **impact paysager** (Paysage) : il s'agit d'apprécier le degré de perturbation de l'écosystème forestier initial et d'évaluer la rémanence des effets des traitements appliqués en terme paysager ;
- **circulation des services d'incendie** (Circul) : juge de la capacité de la technique d'entretien à permettre sur la coupe un déploiement et une manœuvre aisés des équipes de lutte contre les incendies ;
- **impact cynégétique** (Chasse) : ce critère tient compte de l'appréciation des chasseurs vis-à-vis de la coupe en terme de structure, de zone de tir et d'aire de gagnage pour le gibier⁴ ;
- **production fourragère** (Fourrage) : c'est une synthèse entre des données quantitatives (matière sèche produite à l'année) et qualitatives (% de légumineuses et saisonnalité de la production).



Photo 2 : Les sursemis attirent également les lièvres... Photo M.Etienne/I.N.R.A.

5 - L'EFFICACITÉ ÉCONOMIQUE mesure le **coût moyen global** d'un scénario (Coût10) estimé sur la base de l'ensemble des interventions ayant participé à l'aménagement et avec le plus de recul possible (amortissement sur 5 voire 10 ans).

Notre expérience des milieux provençaux et languedociens nous a permis d'apprécier de manière qualitative les différents critères⁵ en se limitant à trois classes : + : très bon ou facile, 0 : moyen ou peu facile, - : mauvais ou difficile.

4 - Ces paramètres seront différents selon le type de gibier chassé (sanglier/lapin-perdrix)

5 - Ces appréciations ont été faites en début d'été pour évaluer un risque estival

Exemple d'appli- cation au massif des Maures

1 - Définition du cas d'étude

Le massif des Maures a été choisi comme cas d'étude car les conditions physiques locales permettent la mise en œuvre de toutes les techniques citées ci-dessus et notamment le dessouchage. Parmi les écosystèmes représentés dans ce massif, celui à bruyère arborescente (*Erica arborea* L.) dominante et à cistes, sous peuplement peu dense de chêne liège, pin pignon et pin maritime, a été retenu car de nombreuses références sont disponibles pour ce type de milieu (ARMAND *et al*, 1993 ; ETIENNE *et al*, 1991 ; LEGRAND, 1992).

Les combinaisons techniques sont appliquées sur une coupe de combustible stratégique de 100 m de largeur, ouverte mécaniquement 3 ans auparavant. Parmi les modalités d'application possibles de chacune de ces techniques, les suivantes ont été retenues :

- le broyage est effectué par un gyrobroyeur à chaînes tracté;
- le pâturage est assuré par des bovins en transhumance hivernale, et implique l'amélioration du tapis herbacé par sursemis (avec fertilisation annuelle), la présence de clôtures et de points d'eau ;
- le phytocide employé est le triclopyr, à raison de 4800 g/ha de matière active ce qui

Technique	Critères de faisabilité technique	Note	Argumentaire
Broyage	Météo	+	Tout temps
	Accès	-	Forte pente, présence de cailloux et forte densité des arbres gênants
	Vecteur	+	Pas nécessaire
	Facilité	+	Organisation facile et nombreuses entreprises disponibles
	Travail	+	1 chauffeur et mécanisation
Pâturage	Météo	-	Période favorable aux sursemis restreinte
	Accès	+	Tout terrain
	Vecteur	+	Fourrage = sursemis
	Facilité	-	Aménagements pastoraux nécessaires + berger expérimenté
	Travail	0	Si fertilisation mécanique
Chimique	Météo	-	Vent nul nécessaire
	Accès	0	Forte densité d'arbres gênante
	Vecteur	+	Bruyère sensible au Triclopyr
	Facilité	0	Equipe expérimentée
	Travail	+	1 à 2 opérateurs seulement
Brûlage	Météo	-	Période favorable au feu restreinte
	Accès	+	Tout terrain
	Vecteur	-	Combustible fin au sol nécessaire
	Facilité	0	Equipe très expérimentée
	Travail	0	3 personnes minimum
Dessouchage	Météo	+	Tout temps
	Accès	0	Forte densité d'arbres gênante
	Vecteur	+	Pas nécessaire
	Facilité	+	Organisation facile et nombreuses entreprises disponibles
	Travail	+	1 chauffeur et mécanisation

Tab. I : Valeurs des critères de faisabilité technique des cinq méthodes d'entretien des débroussailllements dans la forêt des Maures.

+ : très bon ou facile, 0 : moyen ou peu facile, - : mauvais ou difficile

Technique	Critères d'efficacité P.F.C.I. immédiate	Note	Argumentaire
Broyage	Arbustes	+	Destruction totale
	Herbe	+	Destruction totale
	Cv morte	-	Accumulation de broyat
	Arbres	0	Blessures aux collets
Pâturage	Arbustes	0	Consommation sélective des parties vertes
	Herbe	+	Consommation totale
	Cv morte	0	Accélération de la décomposition par fertilisation
	Arbres	+	Aucun dommage
Chimique	Arbustes	-	Végétation sèche sur pied
	Herbe	0	Matière non active sur les graminées
	Cv morte	0	Inchangée
	Arbres	+	Innocuité sur le chêne liège
Brûlage	Arbustes	0	Charpentes sur pied
	Herbe	+	Bien brûlée
	Cv morte	+	Bien brûlée
	Arbres	-	Carbonisation des troncs et dessèchements foliaires
Dessouchage	Arbustes	+	Destruction totale
	Herbe	+	Destruction totale
	Cv morte	0	Pas de litière mais andains
	Arbres	0	Blessures aux collets

Tab. II : Valeurs des critères d'efficacité P.F.C.I. immédiate des cinq méthodes d'entretien des débroussailllements dans la forêt des Maures.

Technique	Critères d'efficacité P.F.C.I. à moyen terme	Note	Argumentaire
Broyage	Arbustes	0	Repousse dynamique
	Herbe	0	Herbe favorisée les premières années
	Cv morte	0	Décomposition partielle
	Arbres	+	Blessures cicatrisées
Pâturage	Arbustes	0	Consommation stimulée mais repousse favorisée par fertilisation
	Herbe	+	Trèfle bien pâturé et sans résidu estival
	Cv morte	+	Décomposition totale
	Arbres	+	Blessures cicatrisées
Chimique	Arbustes	+	Bonne rémanence du traitement
	Herbe	0	Herbe favorisée les 1 ^{ères} années
	Cv morte	-	Défoliation des arbustes et fragmentation des charpentes
	Arbres	+	Innocuité sur les chênes liège car cimes protégées lors du traitement
Brûlage	Arbustes	0	Repousse dynamique du ciste par levée de dormance
	Herbe	0	Herbe favorisée les 1 ^{ères} années
	Cv morte	0	Chute du feuillage sec des arbres
	Arbres	+	Récupération
Dessouchage	Arbustes	0	Souches déstabilisées mais ciste favorisé
	Herbe	-	Herbe favorisée à long terme
	Cv morte	+	Non reconstituée et andains partiellement décomposés
	Arbres	0	Blessures cicatrisées mais chablis possible sur le pin

Tab. III : Valeurs des critères d'efficacité P.F.C.I. à moyen terme des 5 méthodes d'entretien des débroussailllements dans la forêt des Maures.

+ : très bon ou facile, 0 : moyen ou peu facile, - : mauvais ou difficile

représente 10 l/ha de spécialité commerciale. Cette substance a une très bonne efficacité sur la bruyère arborescente, plus faible sur la bruyère à balai et préserve la strate herbacée (MARÉCHAL *et al.*, 1984). Il faut compter environ 3 semaines pour permettre le pâturage après traitement. L'application se fait à la rampe si la parcelle à traiter est accessible (1 opérateur) ou à la lance dans le cas contraire (2 opérateurs).

- le brûlage (BINGGELI, 1991) est réalisé par une équipe de 2 personnes disposant d'un moyen d'extinction propre (Dangel) ;

- le dessouchage est réalisé au bulldozer équipé d'une lame Fleco. Les fragments ligneux sont rassemblés en andains, souvent localisés en lisière de la coupure de combustible.

2 - Efficacité des techniques d'entretien

Technique	Critères d'efficacité sociale	Note	Argumentaire
Broyage	Paysage	+	Milieu accueillant
	Circul.	+	Milieu ouvert
	Fourrage	0	Espèces spontanées peu appétentes
	Chasse	0	Milieu artificialisé
Pâturage	Paysage	+	Milieu accueillant
	Circul.	+	Milieu ouvert
	Fourrage	+	Bonne productivité et appétence du trèfle
	Chasse	0	Clôtures et chien de berger, mais sursemis
Chimique	Paysage	-	Végétation sèche
	Circul.	0	Charpentes
	Fourrage	0	Espèces spontanées peu appétentes
	Chasse	-	Traitement chimique mal considéré
Brûlage	Paysage	-	Milieu carbonisé
	Circul.	0	Charpentes
	Fourrage	-	Espèces spontanées (Cistes) non appétentes
	Chasse	0	Salissant mais multiplication des lisières
Dessouchage	Paysage	-	Sol dénudé et érosion
	Circul.	+	Milieu ouvert
	Fourrage	0	Herbacées spontanées favorisées peu appétentes
	Chasse	-	Milieu très artificialisé

Tab. IV : Valeurs des critères d'efficacité sociale des 5 méthodes d'entretien des débroussailllements dans la forêt des Maures.

Les tableaux I à IV présentent et justifient les notes attribuées par critère à chaque technique.

Les différences observées entre les effets à court terme et à moyen terme invitent à juger les techniques avec un recul suffisant. Ainsi, les dessèchements spectaculaires des cimes observés après brûlage dirigé ont un effet négligeable sur la croissance des arbres. Au contraire, le dessouchage laisse un milieu très ouvert qui est rapidement et massivement recolonisé par les cistes et la strate herbacée.

En terme strictement P.F.C.I., aucune technique ne satisfait tous les critères à la fois ; on est donc naturellement amené à les combiner entre elles.

	faisabilité		technique		efficacité P.F.C.I. immédiate		efficacité P.F.C.I. moyen terme		efficacité sociale	
Broyage+ Brûlage	Météo	0	Facilité + Travail 0	Arbustes	+	Arbustes	0	Paysage	+	
	Accès	0		Herbe	+	Herbe	0	Circul	+	
	Vecteur	+		Cv morte	+	Cv morte	0	Chasse	0	
				Arbres	0	Arbres	+	Fourrage	0	
Broyage+ Pâturage	Météo	0	Facilité 0 Travail 0	Arbustes	+	Arbustes	+	Paysage	+	
	Accès	0		Herbe	+	Herbe	+	Circul	+	
	Vecteur	+		Cv mort	-	Cv morte	+	Chasse	0	
				Arbres	0	Arbres	+	Fourrage	0	
Chimique+ Broyage	Météo	0	Facilité 0 Travail 0	Arbustes	+	Arbustes	+	Paysage	+	
	Accès	0		Herbe	0	Herbe	0	Circul	+	
	Vecteur	0		Cv morte	-	Cv morte	0	Chasse	0	
				Arbres	0	Arbres	+	Fourrage	-	
Chimique+ Brûlage	Météo	-	Facilité - Travail 0	Arbustes	0	Arbustes	0	Paysage	-	
	Accès	0		Herbe	+	Herbe	0	Circul	0	
	Vecteur	0		Cv morte	+	Cv morte	0	Chasse	-	
				Arbres	-	Arbres	+	Fourrage	-	
Chimique+ Pâturage	Météo	-	Facilité - Travail 0	Arbustes	-	Arbustes	0	Paysage	0	
	Accès	0		Herbe	0	Herbe	+	Circul	0	
	Vecteur	+		Cv morte	0	Cv morte	+	Chasse	-	
				Arbres	+	Arbres	+	Fourrage	+	
Brûlage+ Pâturage	Météo	-	Facilité - Travail -	Arbustes	0	Arbustes	0	Paysage	-	
	Accès	+		Herbe	0	Herbe	+	Circul	0	
	Vecteur	0		Cv morte	+	Cv morte	+	Chasse	0	
				Arbres	-	Arbres	+	Fourrage	0	
Dessouchage+ Brûlage	Météo	0	Facilité 0 Travail 0	Arbustes	+	Arbustes	0	Paysage	-	
	Accès	-		Herbe	+	Herbe	-	Circul	+	
	Vecteur	+		Cv mort	+	Cv morte	+	Chasse	-	
				Arbres	0	Arbres	0	Fourrage	-	
Dessouchage+ Pâturage	Météo	0	Facilité 0 Travail -	Arbustes	+	Arbustes	+	Paysage	0	
	Accès	0		Herbe	+	Herbe	+	Circul	+	
	Vecteur	+		Cv morte	0	Cv morte	0	Chasse	0	
				Arbres	0	Arbres	0	Fourrage	+	

Tab. V : Appréciation qualitative de différentes combinaisons de traitements d'entretien dans la forêt des Maures.

+ : très bon, 0 : moyen, - : médiocre.

En gras figurent les appréciations commentées dans le texte.

3 - Evaluation des combinaisons de techniques d'entretien

Le tableau V récapitule les notes données aux critères retenus dans le cas de combinaisons de 2 techniques différentes mises en œuvre successivement. La note résultante n'est pas toujours la somme arithmétique des notes élémentaires, des effets compensateurs ou des synergies apparaissant parfois.

Ainsi, le broyage provoque une accumulation de matière morte au sol, qui représente un vecteur de feu d'autant meilleur que la couche est uniforme (Vecteur = +). Cette litière peut être réduite soit par brûlage lequel sera alors facile à conduire (Facilité = +), soit grâce aux fertilisations liées au pâturage qui permettent d'activer la décomposition (Cv morte moyen terme = +). La combinaison du dessouchage et du pâturage accroît les risques d'érosion sur pente forte (Paysage = 0) et nécessite un grand nombre de passage sur la parcelle (Travail = -).

Dans le cas de brûlage après dessouchage, difficile à réaliser

car une certaine quantité de terre est mêlée à l'andain (Facilité = 0), les germinations de cistes sont limitées à la surface effectivement brûlée (Arbustes à moyen terme = 0). Bien que la croissance soit relativement lente, on peut espérer réduire très notablement la densité en rebrûlant dans les deux ans, avant que les cistes n'aient fleuri et reconstitué le stock de graines.

Le brûlage ou le pâturage suivant une application de phytocide constituent des enchaînements de deux techniques nécessitant des niveaux de formation et de compétence rarement réunis (Facilité = -).

La végétation sur pied est un bon vecteur pour le produit chimique, mais les structures desséchées restent sur pied après traitement et doivent être contrôlées soit par broyage (Arbustes effet immédiat = + mais Cv morte immédiate = -), soit par brûlage (Arbustes effet immédiat = 0 mais Cv morte immédiate = +). Dans le premier cas, le paysage est ouvert et agréable (Circul = + et Paysage = +), alors que les structures ligneuses noircies qui restent sur pied après le brûlage

sont moins agréables visuellement et diminuent l'accessibilité (Circul = 0 et Paysa = -). Si le traitement chimique est suivi de pâturage, la strate arbustive reste sur pied. Le contrôle est considéré comme mauvais (Arbustes moyen terme = -), le paysage peu agréable (Paysage = 0) et la circulation difficile (Circul = 0).

Le broyage suivi de pâturage a une bonne efficacité à moyen terme du fait de la double action de la concurrence des sursemis sur la repousse arbustive et de la pression de pâturage (Arbustes moyen terme = +). La fertilisation accélère la décomposition naturelle du broyat (Cv morte moyen terme = +).

A ce stade de la réflexion on pourrait envisager de sommer les notes et de classer ainsi les combinaisons techniques. Cependant deux raisons s'y opposent :

- les notes sont qualitatives et une pondération des critères devrait intervenir au cas par cas, en fonction des objectifs de la coupure et après consultation avec les partenaires locaux (services forestiers, services chargés de la lutte, autres utilisateurs de la forêt) ;
- le critère économique doit s'ajouter aux précédents pour compléter l'évaluation.

Coûts des combinaisons techniques

L'évaluation économique des différents scénarios d'entretien a été réalisée dans le même cas de figure que celui défini plus haut.

Les éléments pris en compte dans le calcul des coûts (Cf. Tab. VI)

Tab. VI (ci-contre) : Coûts (FHT/ha) retenus pour l'élaboration du prix de revient de l'entretien des coupures de combustible (cas d'une forêt des Maures)



Photo 3 : Consommation sélective de la bruyère arborescente (à gauche). La bruyère à balais n'est pas touchée.

Photo M.Etienne/I.N.R.A.



Photo 4 : Critère paysager : érosion après dessouchage en crête.

Photo M.Etienne/I.N.R.A.

Technique	Particularité	Coût
Broyage		3000
Brûlage	en plein : d'andains :	2200 500
Traitement chimique		3500
Dessouchage		3500
Semis	à la volée : au Dutzi :	1500 3500
Fertilisation d'installation	pour du trèfle : pour des graminées :	1000 1000
Fertilisation d'entretien	pour du trèfle : pour des graminées :	450 500

année combinaison	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Broyage+ Brûlage	Broyage Brûlage		Brûlage		Brûlage				
Chimique+ Brûlage	Chimique Brûlage		Brûlage		Brûlage				
Broyage+ Ssemis -t	Broyage Fertilis -t Ssemis -t	Fertilis -t	Broyage Fertilis -t	Fertilis -t	Fertilis -t	Broyage Fertilis -t	Fertilis -t	Fertilis -t	Fertilis -t
Chimique+ Ssemis -t	Chimique Fertilis -t Ssemis -t	Fertilis -t	Fertilis -t	Broyage Fertilis -t	Fertilis -t	Fertilis -t	Broyage Fertilis -t	Fertilis -t	Fertilis -t
Chimique+ Broyage	Chimique Broyage			Chimique Broyage					
Brûlage+ Ssemis -g	Brûlage Fertilis -g Ssemis -g	Fertilis -g	Brûlage Fertilis -g	Fertilis -g	Fertilis -g Ssemis -g	Fertilis -g	Fertilis -g	Fertilis -g	Brûlage Fertilis -g
Dessouch+ Brûlage	Dessouch Brûlage		Broyage		Broyage				
Dessouch+ Ssemis -t	Dessouch Fertilis -t Ssemis -t	Fertilis -t	Fertilis -t	Fertilis -t	Broyage Fertilis -t	Fertilis -t	Fertilis -t	Fertilis -t	Fertilis -t

Tab. VII : Coûts d'entretien d'un maquis à bruyère selon les combinaisons techniques.
t : trèfle souterrain, g : graminée.

ne se réfèrent donc qu’à la stricte application de la technique choisie selon la modalité précisée en début de chapitre. Il s’agit toujours d’un prix entreprise sauf pour le brûlage dirigé qui ne fait pas encore l’objet d’une application généralisée et pour lequel les prix proposés sont probablement sous-estimés. Quant au pâturage, nous n’avons pris en compte que le coût des sursemis ou semis et fertilisations qui lui sont obligatoirement associés dans les scénarios que nous avons élaborés, bien qu’il soit indispensable de prévoir un minimum d’aménagements particuliers (clôtures, points d’eau, parcs de tri) pour garantir l’action des troupeaux sur les coupures de combustible.

L’évaluation du coût de combinaisons techniques n’ayant une signification que sur une longue période, plusieurs scénarios d’entretien ont été envisagés sur un pas de temps de 9 ans (Cf. Tab. VII) pour une coupure de combustible donnée. Les diverses opérations ont été programmées en fonction de l’orientation donnée par le choix des techniques initiales.

Broyage et brûlage ou phytocide et brûlage ont pour résultat une importante levée de ciste nécessitant une repasse d’entretien au bout de 2 ans afin d’épuiser le stock de graines tout en évitant son renouvellement. Un doute subsiste sur le nombre de répétitions de brûlage nécessaires pour garantir cet épuisement mais le phytovolume ne devrait pas atteindre 2000 m³ ha⁻¹ avant 6 à 8 ans.

Broyage et sursemis de trèfle ou phytocide et sursemis ont pour but de diminuer la vigueur des souches de bruyères et de contrôler leur repousse par abroutissement et concurrence herbacée. Cette dernière ne devient cependant réellement

efficace qu’une fois le sursemis bien installé, soit après la deuxième opération d’entretien. Celle-ci est retardée après phytocide car la vigueur des souches est affectée par la matière active. Ensuite, l’effet combiné du pâturage et du sursemis permet un allongement progressif de la durée entre les débroussailllements.

Phytocide puis broyage des jeunes repousses et des structures ligneuses érigées (lorsque les réserves des souches ont été mobilisées pour la croissance) ont un effet dépressif cumulé sur la vigueur de la bruyère. La répétition d’un traitement chimique est un scénario qui n’a pas encore été testé et dont on ne connaît pas les effets sur la végétation. L’hypothèse est donc faite qu’une repasse en broyage est nécessaire 5 ans plus tard.

Le sursemis après brûlage a pour but de limiter la croissance des très nombreuses plantules de ciste apparues après le feu. Le choix d’une graminée qui produit un “paillasson” après les gelées permet d’employer à nouveau le feu comme méthode de repasse, 2 ans après le premier brûlage. Cette fréquence est nécessaire pour éviter la reconstitution du stock de graines de ciste et ainsi allonger l’intervalle de temps entre le 2^{ème} et le 3^{ème} entretien à 6 ans. Par contre, les graminées présentent l’inconvénient d’une durée de vie réduite à 5 ans, ce qui nécessite de refaire régulièrement le sursemis. Elles sont associées à une fertilisation azotée qui stimule également la croissance des arbustes.

Le dessouchage et le brûlage permettent l’éradication de la bruyère mais provoquent une forte levée de cistes, par scarification mécanique par le passage des engins ou par échauf-



Photo 5 : Etouffement d'une souche à bruyère arborescente par un sursemis de trèfle souterrain.

Photo M.Etienne/I.N.R.A.

fement des graines. La dynamique engendrée sur ce type de sol après labour oblige à intervenir en entretien tous les 3 ans.

Le sursemis de trèfle après dessouchage permet de limiter la croissance des cistes par concurrence, surtout si la première vague de plantules est détruite par le passage du rotavator du Dutzi, alors que la bruyère est éradiquée. Les débroussailllements d'entretien sont alors prévus tous les 5 ans.

Pour intégrer l'effet échelonné des différentes combinaisons techniques, nous avons calculé le coût moyen hectare en amortissant le cumul des travaux sur 8, 9 ou 10 ans (Cf. Tab. VIII). Bien que la fourchette des coûts se maintienne entre 1200 et 1900 F/ha, le classement relatif des combinaisons varie selon le délai d'amortissement choisi. Les com-

Combinaison technique	8 ans	9 ans	10 ans
Broyage + Brûlage	1200	1067	1180
Chimique + Brûlage	1300	1156	1260
Dessouch + Brûlage	1250	1111	1300
Broyage + Ssemis -t	1719	1578	1465
Chimique + Ssemis -t	1781	1633	1515
Brûlag + Ssemis -g	1500	1667	1550
Dessouch + Ssemis -t	1713	1572	1765
Chimique + Broyage	1625	1444	1950

Tab. VIII : Coût moyen à l'hectare (F HT/ha) des combinaisons techniques d'entretien de coupe de combustible dans le massif des Maures, selon trois délais d'amortissement.

binaisons techniques les moins onéreuses restent toutefois celles utilisant le brûlage, quelle que soit la technique d'ouverture. La faisabilité à grande échelle du brûlage dirigé et son coût réel restent toutefois à affiner, sachant que sa généralisation pose, de façon accrue, le problème de son extrême exigence sur le plan des conditions climatiques. Un deuxième calcul effectué en augmentant le coût du brûlage de 1000 F/ha ramène en effet la fourchette entre 1400 et 1900 F/ha sur 10 ans, avec 4 combinaisons techniques à moins de 1500 F/ha/an (dessouchage et brûlage, broyage et sursemis de trèfle, broyage et brûlage, traitement chimique et sursemis de trèfle).

Discussion

Comme le montre le tableau V, il n'existe pas de technique, ni même de scénario, qui soit satisfaisant dans l'absolu pour entretenir une coupe de combustible. Avant de faire son choix, le gestionnaire doit d'abord définir clairement le(s) objectif(s) assigné(s) à cet espace (protection contre les incendies mais aussi rôle sylvicole, cynégétique, paysager, pastoral...), ainsi que ses principales caractéristiques (sol, pente, enrochement, densité arborée, type de végétation).

1 - Efficacité en fonction du milieu

Afin d'ouvrir la discussion à une plus grande variété de contextes, nous avons choisi trois types de peuplements arborés en Provence, dans lesquels des coupures de combustibles ont été établies avec différents objectifs (Cf. Tab. IX) : une forêt typique des Maures telle qu'elle a été décrite précédemment, une pinède caractéristique d'un milieu calcaire

étage arboré	densité du couvert	étage arbustif	pente	objectif secondaire
pin maritime + chêne liège	moyenne	maquis vigoureux bruyère arborescente	forte	pastoral
pin d'Alep	forte	garrigue chêne kermès	faible	production bois
pin pignon + chêne liège	forte	maquis clair cistes	faible	paysage, loisirs

Tab. IX : Exemples des caractéristiques et des objectifs affectés à des coupures de combustible en Provence

et une forêt littorale en Provence cristalline.

Dans les garrigues calcaires, le dessouchage est difficile à réaliser du fait de la compacité de la roche, ce qui augmente son coût. De plus, il fragmente les racines rhizomateuses du chêne kermès et favorise ainsi sa capacité à rejeter. La puissance de l'appareil racinaire de cette espèce, et surtout sa capacité à emmagasiner des réserves, lui confère une certaine résistance au traitement chimique : une application d'automne et une forte dose de triclopyr (6000 g/ha de matière active) est conseillée dans ce cas, qui entraîne un surcoût de 20% par rapport à la dose classiquement utilisée pour cette matière active (4800 g/ha). La nature du sol constitue également un obstacle à la technique du sursemis dont les résultats sont peu satisfaisants. Une amélioration pastorale passe alors par une simple fertilisation annuelle dans le but de favoriser le développement du brome érigé. Dans ce type de milieu, l'offre fourragère est constituée uniquement par le tapis herbacé, de médiocre qualité lorsqu'il n'est pas amélioré, car le chêne kermès est une espèce très peu consommée. Ainsi, l'éventail des techniques permettant de contrôler le développement de la strate arbustive apparaît plus limité que dans les forêts des Maures.

Dans les forêts littorales à maquis clair, les sols sont plus squelettiques et moins actifs que dans le massif des Maures, d'où une décomposition plus lente du broyat. Par ailleurs, il est indispensable de sursemer pour créer une ressource fourragère si un objectif pastoral est associé à la protection, la strate herbacée étant naturellement pauvre même lorsqu'elle est fertilisée. Par rapport au cas des Maures, les cistacées qui se reproduisent par semis sont présentes en nombre plus important, ce qui limite l'efficacité des techniques. En effet, le travail du sol et l'emploi du brûlage dirigé favorisent leur germination par scarification mécanique pour le premier, thermique pour le second. De plus, ce genre n'est pas sensible aux différentes substances chimiques testées jusqu'à présent.

2 - Efficacité en fonction de l'objectif

En dehors de tout problème économique ou social, le choix d'une combinaison technique peut être réalisé en fonction de l'efficacité attendue, elle-même jugée selon les objectifs assignés à la coupure (Cf. Tab. IX). Dans le cas d'un objectif strictement P.F.C.I., seuls les critères de contrôle des strates arbustives (Arbustes), herbacées (Herbe) et de la couverture morte (Cv morte) sont pris en compte et doivent atteindre un niveau au moins satisfaisant (Cf. Tab. X). Dans le cas d'objectifs associés à la P.F.C.I., la couverture morte n'est plus prévalente et d'autres critères deviennent déterminants : la production fourragère (Fourrage) si l'objectif est pastoral, le paysage (Paysage) et son accessibilité (Accès) si les activités de loisirs sont importantes, ou encore les dommages sur les arbres (Arbres) et l'accessibilité aux machines quand il y a production de bois.

Ainsi, en appliquant la méthode d'évaluation proposée pour les Maures aux coupures de combustible du littoral cristallin ou sur milieu calcaire, et en croisant avec l'objectif assigné



Photo 6 : Brûlage et pâturage. Photo E.Rigolot/I.N.R.A.

et les niveaux d'exigence qui en découlent, on constate que le choix de scénarios techniques est restreint (Cf. Tab. XI). Le broyage apparaît dans toutes les combinaisons sauf une, en association avec le brûlage ou le pâturage ; le dessouchage et l'emploi des phytocides sont beaucoup moins satisfaisants. Signalons que, dans le cas d'un objectif pastoral, la combinaison broyage et brûlage dans la forêt des Maures ne nécessite pas d'amélioration du milieu à condition que les animaux soient complétés.

Dans tous les cas, le choix d'une combinaison de techniques ne dépend pas seulement des effets à moyen terme mais également des conséquences prévisibles sur la fréquence des opérations d'entretien et de la technique qui peut alors être utilisée. Ainsi, les ouvertures par traitement chimique et sursemis, dessouchage et brûlage ou dessouchage et sursemis du tableau VII sont suivies d'entretien par broyage car la modification de la structure du milieu permet difficilement l'utilisation d'une autre technique.

Par ailleurs, si les critères d'impact sur le milieu sont pertinents dans la prise de décision des gestionnaires, d'autres, tels les critères sociaux ou économiques, peuvent constituer de véritables obstacles à l'utilisation de certaines techniques. Ainsi, il peut exister des oppositions locales farouches à l'utilisation des phytocides, du brûlage ou du dessouchage pour des raisons paysagères ou écologiques.

Ces oppositions engendrent un certain nombre de contraintes qui doivent être prises en compte par le gestionnaire sous la forme d'objectifs secondaires qu'il assigne à la coupe de combustible (le paysage devra rester "beau" et "agréable" pour contenir les promeneurs et les chasseurs).

Enfin, si le coût d'entretien d'une coupe de combustible est relativement peu variable selon le scénario envisagé (Cf. Tab. VIII), il conviendrait cependant d'établir un rapport "qualité/prix", sur des bases qui ne soient plus empiriques, afin de motiver la décision finale

Il apparaît finalement que le choix d'une combinaison technique d'entretien des coupures de combustible doit autant tenir compte des objectifs fixés et des attentes des utilisateurs que du coût de sa mise en place et de son entretien. La démarche que nous proposons dans cet article fournit des éléments de diagnostic permettant de prendre une décision réfléchie en face d'une situation donnée. Il reste à débattre avec les différents gestionnaires de la notation des critères selon l'expérience de chacun et à tester cette méthode sur des milieux contrastés, selon des combinaisons techniques plus variées et à partir de modèles établis sur des pas de temps plus longs. C'est l'un des résultats attendus du "Réseau Coupures de Combustible" mis en place depuis 1992 et regroupant l'I.N.R.A.⁶, l'O.N.F.⁷, le C.E.R.P.A.M.⁸, le S.I.M.E.⁹, des S.I.V.O.M.¹⁰ et l'Association des Communes forestières du Var.

C.L., M.E., E.R.

6 - Institut national de la recherche agromomique
7 - Office national des forêts
8 - Centre d'études et de réalisations pastorales Alpes-Méditerranée
9 - Service interdépartemental montage-élevage
10 - Syndicat intercommunal à vocations multiples

objectif	critère	efficacité à court terme (1)	efficacité à moyen terme (2)
P.F.C.I.	Arbustes	+	+ ou 0
	Herbe	+	+ ou 0
	Cv morte	0	+
P.F.C.I. + pastoral	Arbustes	+	+ ou 0
	Herbe	+	+ ou 0
	Fourrage		+ (ou 0 si animaux complémentés)
P.F.C.I. + récréation	Arbustes	+	+ ou 0
	Herbe	+	+ ou 0
	Paysage		+
	Accès		+
P.F.C.I. + production bois	Arbustes	+	+ ou 0
	Herbe	+	+ ou 0
	Arbres	+ ou 0	+
	Accès		+

Tab. X : Facteurs prépondérants et niveaux de satisfaction requis selon les objectifs assignés à une coupe de combustible.
+ : très bon, 0 : moyen, - : médiocre.

milieu	objectif	combinaison satisfaisante
forêt des Maures	P.F.C.I. + pastoral	Broyage + Pâturage Dessouch + Pâturage Broyage + Brûlage
garrigue calcaire	P.F.C.I. + sylvicole	Broyage + Brûlage Chimique + Broyage
forêt littorale	P.F.C.I. + récréation	Broyage + Brûlage Broyage + Pâturage

Tab. XI : Combinaisons techniques satisfaisantes en fonction du milieu et de l'objectif de la coupe de combustible.

Références bibliographiques

- ARMAND D., ETIENNE M., LEGRAND C., MARÉCHAL J., VALETTE J.C. Phytovolume, phytomasse et relations structurales chez quelques arbustes méditerranéens. *Annales des Sciences Forestières* 50(1), 1993, 79-89.
- BINGGELI F. Expérimentations sur le brûlage dirigé dans le Massif des Maures. Rapport d'activité 1991, 37 p.
- DELABRAZE P. Quelques concepts sylvicoles et principes d'aménagement de prévention et de prévision des risques d'incendie. *Revue Forestière Française* 42 n° spécial, 1990, 182-185.
- ETIENNE M., LEGRAND C., ARMAND D. Stratégies d'occupation de l'espace par les petits ligneux après débroussaillage en région méditerranéenne française. *Annales des Sciences Forestières* 48 (6), 1991, 667-677.
- FORGEARD F., LEBOUVIER M. Inflammabilité et combustibilité des principales espèces végétales des landes de Bretagne. *Bulletin d'Ecologie* 22 (3-4), 1991, 389-404.
- GILLON D., BERTRAND M., ETIENNE M., LEGRAND C., LUMARET J.P., RIGOLOT E., VALETTE J.C. Prévention des incendies de forêt en région méditerranéenne par utilisation du feu et du pâturage contrôlés : impact sur l'écosystème forestier. Rapp. Final CEE n°EV4V-0088-F (CD), CEFÉ Montpellier, 1991, 59 p.
- LEGRAND C. Régénération d'espèces arbustives méditerranéennes par rejet ou semis après brûlage dirigé et pâturage. Thèse Ecologie, Univ. Aix-Marseille III, 1992, 92p.
- MARÉCHAL, J., DELABRAZE, P., VALETTE, J.C. Entretien des pare-feu arborés de Provence cristalline : efficacité du Triclopyr Ester. 12e Conf. Columa, Journées d'études sur le désherbage, 15-16 décembre 1983, Paris, Tome 3 : 287-297.
- PAPIO C., TRABAUD L. Structural characteristics of fuel components of 5 Mediterranean shrubs.. *Forest Ecology and Management* 35 (3-4), 1990, 249-259.
- TRABAUD L. Les combustibles végétaux dans le département de l'Hérault. Document CEPE-CNRS, Montpellier, 1971, 78 p.
- TRABAUD L. Les feux de forêts. Mécanismes, comportement et environnement. France Sélection, 1989, 278 p.
- VALETTE J.C., RIGOLOT E., ETIENNE M. Intégration des techniques de débroussaillage dans l'aménagement de défense de la forêt contre les incendies. *Forêt Méditerranéenne* 14(2), 1993, 141-154.

Résumé

Une méthode est proposée pour évaluer plusieurs combinaisons techniques d'ouverture et d'entretien de coupures de combustible associant le débroussaillage, le brûlage, le dessouchage, l'application de phytocides et le pâturage. La faisabilité technique, l'efficacité P.F.C.I. immédiate et à moyen terme, l'impact social et le coût économique sont les critères retenus. Un exemple est développé pour le massif des Maures et une comparaison avec d'autres types de peuplements met en évidence, dans le choix de l'itinéraire technique, le rôle des caractéristiques du milieu (type de végétation, topographie...) et des différents objectifs assignés à la coupe (P.F.C.I., récréation, sylviculture, chasse...).

Resumen

Se propone una metodología de evaluación de técnicas de creación y de mantención de cortafuegos combinando desbroce, quema, desmonte, fitocidas o pastoreo. Los criterios de evaluación son la factibilidad técnica, la eficacia de la protección contra los incendios a corto y mediano plazo, el impacto social y el costo económico. Comparando el ejemplo de la serranía de los Maures con otros tipos de bosques de la región mediterránea francesa se demuestra la importancia de las características del medio ambiente (tipo de vegetación, topografía,...) y de los objetivos asignados al bosque (prevención de incendios, recreación, silvicultura, caza,...).

Summary

A method is proposed to help decision-making to combine techniques for opening and clearing fuel-breaks by roller chopping, prescribed burning, brush hogging, herbicide spraying, or controlled grazing. Qualitative criteria are used for evaluating the technical and economic feasibility as well as short- and mid-term effectiveness against wild-fires. The method is applied to the example of the forests of the Maures massif. A comparison with other fuel-break networks in the French Mediterranean region highlights the importance of environmental constraints (e.g., vegetation type, topography) and forest management objectives (e.g., fire prevention, hunting, recreation, timber production, etc) in the elaboration of a viable, long-term technical plan.