

LE BRÛLAGE DIRIGÉ EN FRANCE: OUTIL DE GESTION ET RECHERCHES ASSOCIÉES

Eric Rigolot

Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). Unité de Recherches Forestières Méditerranéennes. Avenue A. Vivaldi, F-84000 Avignon. Tel : (33) 4 90 13 59 35 – Fax : (33) 4 90 13 59 59. E-mail : rigolot@avignon.inra.fr

INTRODUCTION

Le brûlage dirigé est une opération d'aménagement et d'entretien de l'espace comprenant la réduction du combustible sur les ouvrages de prévention des incendies de forêt, ou de gestion des peuplements forestiers, des parcours, des landes et friches. Sur ces zones, le brûlage dirigé consiste à conduire le feu de façon planifiée et ordonnée avec un objectif clairement identifié, sur tout ou partie d'une surface pré-définie et en toute sécurité pour les espaces limitrophes. Les modes opératoires permettent de maîtriser la puissance du feu et de contrôler les impacts sur les différentes composantes du milieu.

Le brûlage dirigé a été introduit en France dans sa version moderne dans les années 1980 à la suite d'une mission aux U.S.A. de responsables forestiers méditerranéens (ALEXANDRIAN *et al.*, 1980). Peu de gestionnaires étant alors intéressés par ce nouvel outil, l'unité "Prévention des Incendies de Forêt" de l'INRA d'Avignon a été chargée de tester sa faisabilité en milieu méditerranéen, son efficacité en tant que technique de débroussaillage et son innocuité sur les composantes à préserver des écosystèmes forestiers. Cette évaluation s'est faite en comparaison des techniques classiques de débroussaillage d'alors, à savoir le débroussaillage manuel et le broyage mécanique. Ainsi des dispositifs ont été installés sur des coupures de combustible linéai-

res en bord de route, dans les principaux écosystèmes arborés méditerranéens (chêne pubescent, pin d'Alep et pin maritime). L'objectif assigné était clairement la réduction du combustible des strates basses. Au fur et à mesure de leur acquisition, les résultats de recherche étaient accueillis avec beaucoup d'intérêt par les gestionnaires, mais sans jamais susciter de véritable vocation.

Ainsi, pendant cette période, le brûlage dirigé n'a pas été au delà de quelques expériences ponctuelles de gestion en France méditerranéenne, même si dans d'autres pays, aux milieux naturels plus favorables, comme le Portugal, les gestionnaires forestiers se sont appropriés la technique plus immédiatement (Silva, 1988). Les premiers véritables programmes de brûlage ont démarré en France en 1987 à la Société d'Élevage des Pyrénées-Orientales (LAMBERT, 1988) et en 1989 avec les Forestiers Sapeurs des Alpes-Maritimes (Robion, 1990).

Le début des années 1990 a vu le nombre des équipes de brûlage se multiplier, les utilisateurs, les milieux traités et les objectifs poursuivis se diversifier. L'utilisation du brûlage dirigé en se développant, s'insère dans le cortège des techniques d'intervention classiques sur le milieu (débroussaillage mécanique, pâturage contrôlé, dessouchage, ...).

Au regard de cette évolution, la première mission de recherche peut être considérée

comme accomplie. De nouvelles questions de recherche sont maintenant posées, que l'équipe tente de résoudre en développant les deux axes d'études suivants :

- mise au point d'un système d'aide à la décision sur la conduite et les effets du brûlage dirigé,
- études expérimentales approfondies des effets du brûlage dirigé sur les différents compartiments des écosystèmes méditerranéens en association avec d'autres équipes de recherche (Universités, CNRS).

Ces points seront successivement développés et illustrés sur des exemples dans la présente communication.

CADRE ACTUEL DE L'UTILISATION DU BRULAGE DIRIGE EN FRANCE

a) Intégration dans une séquence technique

Signalons tout de suite que le brûlage dirigé n'est qu'un outil supplémentaire qui vient compléter tout une gamme de techniques de réduction du combustible comme le débroussaillage manuel ou mécanique, le pâturage et les améliorations pastorales, l'emploi de phytocides.

Chacune de ces techniques a ses avantages et ses inconvénients. Le brûlage dirigé à l'avantage certain de consommer effectivement tout le combustible fin et moyen, alors que le broyage mécanique, par exemple, ne fait que transformer la structure du combustible depuis une végétation sur pied, en un lit de broyat, mais la biomasse reste la même. Un des inconvénients du brûlage dirigé est que sa faisabilité dépend des conditions climatiques.

Il s'agit donc de combiner ces différentes méthodes d'intervention, de les enchaîner judicieusement au sein d'itinéraires techniques adaptés à chaque situation.

b) Développement actuel du brûlage dirigé

Le réseau Brûlage dirigé couvre aujourd'hui une large étendue géographique. Les

départements méditerranéens disposent presque tous d'une à plusieurs équipes de spécialistes, mais la pratique s'étend aussi sur la chaîne Pyrénéenne et sur les Alpes.

Les équipes sont d'origines variées : forestiers, pastoralistes, pompiers, regroupements inter-établissements sur le département. Ce sont des équipes de spécialistes, formées et équipées comme il se doit, et clairement identifiées des autres partenaires départementaux.

Du fait de la distribution des équipes sur toute la façade méditerranéenne et au-delà, une grande variété de milieux sont concernés. La plupart des écosystèmes méditerranéens sont intéressés par les opérations de brûlage dirigé. Des structures de végétation très contrastées sont traitées : landes non arborées, sous-bois, broyat dispersé sur le sol ou groupé en andains, ...

c) Des objectifs diversifiés

L'objectif principal est celui de la défense des forêts contre les incendies par réduction du combustible.

Mais le savoir-faire se développant, les équipes de praticiens découvrent d'autres applications, souvent complémentaires à la réduction du combustible comme:

- la réouverture de landes pour le pâturage ou brûlage d'entretien des refus,
- la création de structures en mosaïque pour favoriser l'habitat de la faune sauvage,
- en sylviculture, le brûlage des rémanents pour faciliter la régénération naturelle, ou plus récemment le dépressage et l'éclaircie thermique,
- la conservation d'une structure paysagère ouverte, diverse et accueillante dans certaines vallées de montagne, où l'agriculture et l'élevage sont en fort déclin,
- la formation des hommes à la lutte peut être aussi une retombée intéressante du brûlage.

Il est intéressant de constater que le brûlage dirigé est souvent introduit par nécessité

technique ou économique pour réduire la masse combustible. Une fois la technique bien maîtrisée par l'équipe de brûlage, des usages différents apparaissent naturellement et l'outil devient rapidement polyvalent avec un large spectre d'applications.

d) Les surfaces traitées et les coûts

Les coûts des brûlages sont très variables du fait de la variété des conditions de milieu, de la qualité du résultat souhaité, et des travaux de sécurité à réaliser préalablement.

On peut dire néanmoins que les coûts de réalisation sont faibles et compétitifs.

On distinguera en outre les brûlages en zone non arborée où les rendements sont excellents car on peut traiter de grandes surfaces assez rapidement, et les zones arborées où les temps de réalisation à l'hectare sont plus importants, le front de flamme avançant lentement pour ménager les arbres. Dans le premier cas les coûts s'échelonnent de 1000 à 5000 F/ha et dans le second de 250 à 500 F/ha.

Les brûlages en zone arborées sur coupure de combustible reviennent en moyenne moitié moins cher que le même chantier débroussaillé mécaniquement.

Si on se réfère aux deux dernières campagnes de brûlage, les surfaces annuellement traitées par cette technique représentent de l'ordre de 6000 à 8000 ha. Les chantiers à vocation pastorale représentent jusqu'à 80% de ce total.

e) Le réseau national des équipes de brûlage dirigé

Le réseau des praticiens du brûlage dirigé s'est constitué autour de l'équipe de prévention des incendies de forêt de l'INRA d'Avignon pendant l'hiver 1989/1990. Il regroupe les premières équipes de gestionnaires qui avaient initié récemment une démarche locale de mise en œuvre de cette nouvelle technique (RIGOLOT, 1992). Il s'agit d'une structure informelle qui a peu à peu

fédéré l'ensemble des équipes s'investissant sur cet outil et qui déborde maintenant largement le cadre initial de la région méditerranéenne.

Les objectifs du réseau sont :

- la diffusion des connaissances,
- l'échange d'expériences,
- la mise en place de formations,
- la dynamisation du dialogue entre chercheurs, agents du développement et gestionnaires.

Les équipes se réunissent lors de rencontres annuelles en fin de campagne de brûlage afin de dresser un bilan de la saison écoulée. Chaque année, une équipe de brûlage différente accueille ces journées qui laissent une grande part aux visites de chantiers. Les IX^o Rencontres se sont déroulées dans le Gard en mai dernier (RIGOLOT, 1997)

Les actions listées ci-dessous récapitulent les grands dossiers traités dans le cadre conjoint du Réseau Brûlage Dirigé :

- un référentiel parcellaire: réalisation en commun d'une fiche de chantier qui est remplie par tous et qui alimente une base de données commune (BDSYSTÈME) [voir plus loin],
- l'élaboration et l'application d'une "Charte de Brûlage dirigé". Elle est le cadre de travail des équipes de brûlage dirigé reconnues par les partenaires institutionnels. La liste des signataires est conservée par la préfecture de zone,
- les aspects d'assurance avec la définition d'un contrat type " brûlage dirigé " négocié avec un grand groupe d'assurance français,
- la formation avec le lancement du "Brevet Brûlage Dirigé" depuis trois ans qui forme 12 spécialistes chaque année (DUCHÉ, 1998),
- l'étude des problèmes législatifs et réglementaires contraignant la pratique du brûlage dirigé (BINGGELI & GAULIER, 1997).

III - BDSYSTÈME: UNE BASE DE DONNÉES SUR LE BRÛLAGE DIRIGÉ ... ET LE PREMIER PAS VERS UN SYSTÈME D'AIDE À LA DÉCISION

L'objectif du projet de création d'un système d'aide à la décision sur le brûlage dirigé est double. D'une part, il devrait permettre d'améliorer la connaissance scientifique et technique et de la modéliser. D'autre part, il offrira une aide aux gestionnaires qui pratiquent le brûlage dirigé ou qui utilisent cette technique dans leurs programmes d'aménagement du territoire (support de décision, simulation, formation).

Les objectifs scientifiques portent sur l'étude d'une large gamme d'écosystèmes et de conditions de brûlage à partir de l'ensemble des pratiques actuelles de la région méditerranéenne et de la chaîne pyrénéenne.

Pour les gestionnaires déjà expérimentés, le système d'aide à la décision proposera une assistance pour l'organisation des différentes étapes de leur saison de brûlage: planification des chantiers à réaliser, bilan annuel statistique, technique et économique de la saison, ...

Enfin, ceux qui débutent dans la pratique pourront utiliser cet outil interactif pour compléter leur formation.

a) Les fiches de brûlage dirigé

La fiche de brûlage dirigé a été conçue en collaboration étroite avec les utilisateurs et a fait l'objet de perfectionnement progressifs. La huitième version actuellement utilisée est un support performant de recueil de données.

Cette fiche "mémoire" est plus qu'un outil de collecte de données. Elle offre au praticien confirmé un guide pour mener une réflexion approfondie sur son chantier afin d'en tirer le maximum d'enseignements. Pour le débutant, elle a un rôle pédagogique en l'invitant à aborder successivement les différentes étapes d'un brûlage, sans en oublier aucune. Cette fiche est a priori remplie pour chaque chantier de brûlage. Elle comporte trois parties:

1. objectifs du chantier et description du milieu (environnement physique et naturel, végétation, ...),
2. données météorologiques et dispositions opérationnelles,

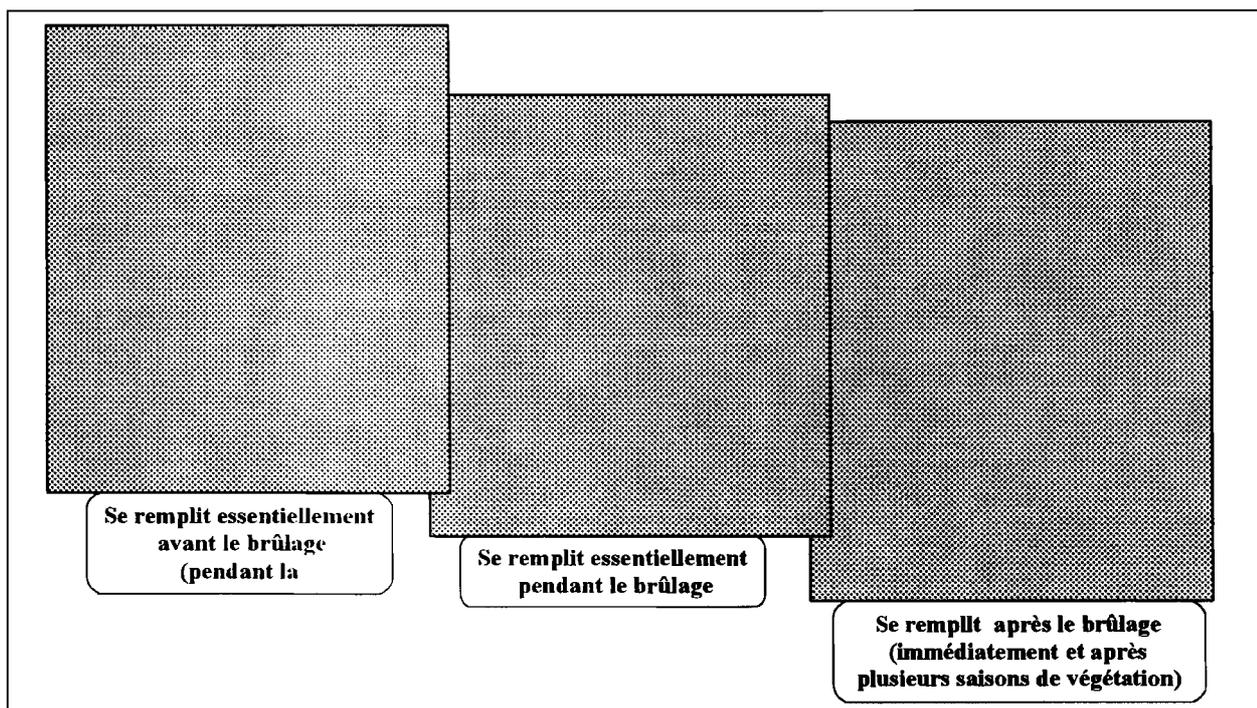


Figure 1.- Les trois fiches françaises de brûlage dirigé

3. évaluation technique, écologique et économique.

Afin de faciliter le remplissage de la fiche, qui se fait essentiellement sur le terrain, la bonne réponse doit être choisie dans une liste préétablie de réponses possibles. Pour la plupart des questions, deux niveaux de réponses ont été inclus:

- ce qui était prévu dans la prescription de l'opération de brûlage,
- ce qui a réellement été constaté pendant le brûlage.

b) Les principes du système d'aide à la décision

Le but de ce projet est de fournir des outils informatiques qui puissent être utilisés par les gestionnaires.

La première fonction est d'améliorer les fondements et de structurer les processus de prise de décision afin de les rendre plus cohérents. Ces objectifs pourront être atteints en offrant un accès facile et une utilisation efficace de l'information et des fonctions d'aide à la décision.

Le système d'aide à la décision sera composé de trois modules spécialisés. La réalisation du module 1 est désormais achevée. Les modules 2 et 3 sont actuellement en cours de développement:

c) La base de données et son système de gestion: BDSYSTÈME

Le module de collecte et de gestion des données a été conçu à partir des informations de la fiche de brûlage dirigé, remplie par les praticiens. Pour ce faire, la méthode Merise, destinée à la conception de bases de données relationnelles, a été choisie (GABAY, 1993). Un modèle conceptuel des données a été rédigé en utilisant le formalisme "entité-relation".

La base de données BDSYSTÈME a été développée sur le logiciel Access, par l'équipe de prévention des incendies de forêt de l'INRA Avignon et l'Ecole des mines de Sophia Antipolis (INRA & Ecole des mines, 1998).

Un éditeur utilisant une présentation proche de celle de la fiche brûlage dirigé a été réalisé afin de faciliter la saisie, la consultation et la modification des données. La base contient actuellement des données fournies par les équipes de brûlage de 13 départements de la façade méditerranéenne et de la chaîne pyrénéenne.

Environ 250 chantiers de brûlage ont été saisis dans la base de données BDSYSTÈME, s'étalant sur 9 campagnes depuis 1990, représentant plus de 7000 ha. La base de données peut être chargée à distance à partir de l'adresse Internet suivante:

http://www-cemef.cma.fr/cemef/groupes/iam/web/european_projects/firetorch/firetorchobj.html

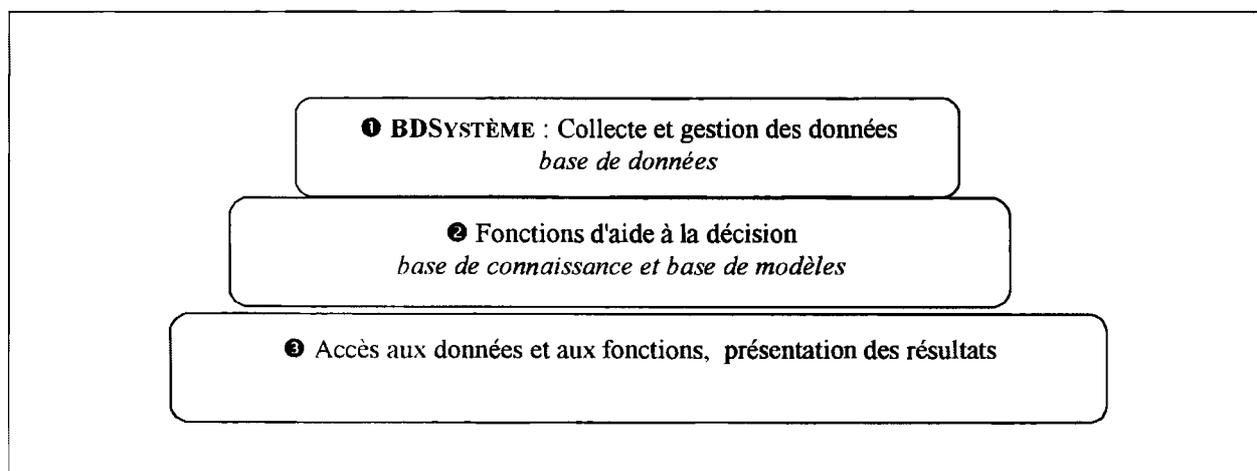


Figure 2.- Les trois modules du système d'aide à la décision

Même pris isolément, BDSYSTÈME est un module fonctionnel du système d'aide à la décision.

Ainsi, pour répondre aux demandes les plus fréquentes des gestionnaires, une série de fonctionnalités sont venues compléter la base de données:

- Evaluation annuelle des campagnes de brûlage par équipe, en trois parties:
 - bilan des opérations: distribution mensuelle des journées de brûlage, répartition par commune, statistiques sur les surfaces traitées, ...
 - bilan des milieux traités: statistiques selon les strates et les espèces, ...
 - bilan économique: coûts par opération et par commune, statistiques des coûts, ...
- Recherches sur mots clefs des listes de chantiers selon le milieu végétal ou la technique de mise à feu,
- Appel de l'assistant pour la formulation de nouvelles requêtes personnalisées,
- Bilan de l'état des saisies dans la base de données.
- Une aide en ligne spécifique a également été développée.

La base de données est aussi un outil précieux pour les scientifiques. Elle permet en effet de travailler sur une quantité importante de données, qui de plus reflètent la très grande variété des milieux traités et des pratiques. Les premières analyses ont été effectuées et concernent essentiellement (GAULIER, 1996):

- des comparaisons par type de formation végétale des conditions de brûlage, du comportement du feu observé, de l'efficacité des opérations, des effets sur la végétation,
- des confrontations entre les prescriptions et les conditions réellement observées pendant les brûlages.

Ce travail a également montré que, malgré le grand nombre d'opérations actuellement enregistrées, le nombre de données n'était pas encore suffisant pour réaliser des analyses plus complexes, qui font intervenir un grand nombre de critères de sélections.

d) Les premiers modules du Système d'aide à la décision

Le système d'aide à la décision est actuellement développé dans le cadre du projet européen Fire-Torch.

Actions	Questions	Assistance pertinente
Intégration du brûlage dans une séquence opérationnelle complète de techniques de réduction de combustible.	Est ce que le brûlage dirigé est la meilleure technique de débroussaillage ?	Support de décision pour choisir la meilleure séquence technique en fonction de chacune des situations.
Définition des objectifs de brûlage.	Quels sont les objectifs ? Quels sont ceux qui sont prioritaires ?	<i>Aucun besoin d'assistance n'a été identifié.</i>
Visite de terrain.	Qui peut s'opposer à l'opération et comment éviter ces critiques ?	Aide à l'argumentaire technique, économique et environnemental pour lever les oppositions
Liste des contraintes.	Quelles sont les contraintes et les risques, comment en tenir compte ?	Diagnostic des pièges.
Remplissage des fiches.		<i>Aucun besoin d'assistance n'a été identifié.</i>

Figure 3.- Décomposition de la phase d'analyse préliminaire

Afin d'identifier les étapes où les gestionnaires pourraient avoir besoin d'assistance, l'opération de brûlage a été décomposée en 5 phases: analyses préliminaires, prescription, préparation, exécution et évaluation (WADE & LUNSFORD, 1989). Chacune d'elles a été décrite de trois façons différentes, avec successivement:

1. la liste des actions à accomplir pour chacune de ces phases,
2. les questions que se posent les praticiens pour réaliser ces actions,
3. l'assistance pertinente que pourrait apporter le système d'aide à la décision pour résoudre ces questions.

Dans le cadre du projet Fire-Torch, les 4 modules d'aide à la décision suivants sont en cours de développement:

- le bilan technique et économique d'une campagne de brûlage dirigé pour une équipe donnée et pour une année donnée (module statistique directement lié à la base de donnée BDSYSTÈME),
- le diagnostic des pièges liés au combustible, à la météorologie ou à la sécurité du personnel,
- les possibilités d'allumage du brûlage selon les conditions de milieu,
- les effets du brûlage dirigé sur les différentes composantes des écosystèmes: la réduction du combustible, les strates arbustive et arborée, le sol, et la faune.

TROIS ILLUSTRATIONS DES RECHERCHES EN COURS SUR LES EFFETS DU BRULAGE DIRIGE SUR LES DIFFERENTS COMPARTIMENTS DES ECOSYSTEMES

1) Le brûlage dirigé comme technique de première éclaircie dans un contexte de prévention des incendies de forêts.

Des brûlages expérimentaux sous régénération dense de pins maritime après incendie ont été initiés en 1995 afin de mettre en relation le comportement du feu, et notamment

les caractéristiques géométriques de la flamme, avec les impacts apparents immédiats, puis les effets différés, sur les arbres. L'objectif à terme est de disposer d'éléments d'aide à la décision pour la maîtrise du brûlage dirigé dans une large gamme de peuplements arborés.

Après la première phase expérimentale de 1995, puis une série de brûlages de gestion en 1996 réalisés sur les acquis de 1995, le dispositif expérimental a été réactivé à l'automne 1997. Il s'agit maintenant de suivre les effets de différents régimes de brûlages dirigés sur la mortalité/survie des pins maritime et la dynamique du combustible. L'objectif est finalement de répondre aux questions suivantes:

Les brûlages dirigés périodiques permettent-ils de diminuer significativement le risque d'incendie dans ce type de formation ? Si oui, avec quel régime de brûlages et en combien d'années parvient-on à ce résultat ?

Le choix des conditions de brûlage permet-il de prévoir suffisamment finement l'impact sur les arbres en terme de taux de survie et de diamètre seuil de survie ? Le brûlage dirigé pourrait-il être un outil précis d'intervention sylvicole ?

a) Description du site

Le site expérimental est situé dans le Massif des Maures dans le département du Var.

Le site a été parcouru par un incendie en 1979 épargnant seulement quelques pins maritime de diamètre important. Les parcelles étudiées sont constituées de la régénération naturelle de pins maritime qui lui ont succédé. Le peuplement est donc âgé d'une vingtaine d'années. Les pins maritime ont un diamètre moyen de 6 cm et une hauteur moyenne de 4 mètres.

Le pin maritime est associé au chêne liège et localement au taillis de châtaignier. La strate arbustive est composée de bouquets épars d'arbousier, de bruyère arborescente et de bruyère à balai.

Le peuplement n'a subi aucun traitement sylvicole avant l'intervention par le brûlage dirigé.

Le recouvrement de la strate arborée est de 90% ; celui de la strate arbustive de 30 à 40% ; celui de la strate herbacée est compris entre 0 et 10%. La couverture morte au sol est pratiquement continue et composée principalement d'aiguilles de pin et de quelques branches mortes. L'épaisseur moyenne de la litière est importante et d'environ 12 cm.

b) Méthode

La survie des pins maritime est évaluée au regard des conditions de brûlage dirigé. Par conditions de brûlage on entend l'un des facteurs suivants ou leur combinaison:

- la conduite du feu (montante ou descendante),
- la saison du brûlage (hiver = repos de la végétation ; printemps = activité végétative),
- caractéristique du combustible (épaisseur de la litière, recouvrement des bruyères, ...),
- la teneur en eau du combustible (litière profonde, superficielle et suspendue),
- les conditions micro-climatiques au sein de la parcelle et à la station météo située à découvert sur la coupure de combustible (température, hygrométrie, vitesse du vent),
- le comportement du feu (vitesse de propagation, hauteur de la flamme).

Les placettes sont installées au cours des brûlages de gestion dès que les conditions recherchées sont réunies, afin de perturber au minimum l'avancement du programme de travail de terrain des gestionnaires.

La valeur des paramètres listés ci-dessus sont notés au moment du passage du front de flamme, puis l'impact sur les pins est évalué dans les semaines qui suivent.

La dynamique du combustible est suivie à travers des trois strates dominantes:

- la litière: stock initial, consommation par le brûlage, chute des aiguilles roussies, chute naturelle des aiguilles,
- les bruyères: recouvrement et hauteur initial, charpentes après l'incendie de 1979, rémanent après chaque brûlage, rejet après brûlage,
- les pins: densité et distribution des diamètres avant intervention, taux et diamètre de mortalité après le premier brûlage, mortalité supplémentaire après les brûlages d'entretien, affaissement et décomposition des pins morts au cours du temps et des brûlages d'entretien.

A ce jour une vingtaine de parcelles ont été installées (5 sur les brûlages de 1995, 7 sur ceux de 1996 et 8 sur ceux de 1998). Quelques parcelles supplémentaires seront installées au cours des derniers brûlages d'ouverture qui restent encore à réaliser au cours de la prochaine saison de brûlage.

c) Résultats préliminaires

Les premiers résultats ne concernent que les quatre parcelles brûlées en 1995 (Tableaux 1, 2).

Les parcelles étudiées possédaient des charges en combustible comparables et voisines de 1kg/m^2 . La première variable qui explique la mortalité est la saison de brûlage dirigé. En effet la parcelle brûlée au printemps (DII) a connu une mortalité des pins de 80% très supérieure aux autres parcelles. Pour les parcelles brûlées au repos végétatif, la mortalité des pins semble plutôt expliquée par le teneur en eau de la litière.

Des brûlages d'entretien ont déjà été menés sur certaines des premières parcelles ouvertes par le brûlage dirigé montrant ainsi la faisabilité de brûlages périodiques. Un échantillon de cinq placettes sera sélectionné pour suivre les effets des brûlages d'entretien: le suivi s'attachera à l'avenir à préciser selon la fréquence des feux, la dynamique de reconstitution du combustible entre deux brûlages, la vitesse de destruction des rémanents de bruyère et des arbres morts, et l'im-

Tableau 1.- Caractéristiques des brûlages

Placette	Date du brûlage	Saison	Conduite du feu	Charge en combustible kg/m ²	Teneur en eau litière %	Ts °C	HR %	Vent général	Intensité kW/m	Vitesse m/h
A	7 mars 95	Hiver	Descendant	1.0	13	7	53	modéré-fort	51	18
C	15 mars 95	Hiver	Descendant	1.2	25	11	60	faible-modéré	37	12
DI	17 mars 95	Hiver	Descendant	0.8	19	12	58	faible-modéré	20	12
DII	9 mai 95	Ptps	Descendant	1.2	18	22	53	faible-modéré	21	18

Tableau 2.- Impacts comparés sur les arbres

Placette	Date du brûlage	Saison	Roussissement du feuillage %	Hauteur de carbonisation maxi (m)	Taux de mortalité %	Diamètre du seuil de mortalité (cm)
A	7 mars 95	Hiver	36	0.8	43	3
C	15 mars 95	Hiver	40	0.7	< 1	-
DI	17 mars 95	Hiver	36	0.8	18	3
DII	9 mai 95	Ptps	84	1.2	80	6

pact des brûlages d'entretien sur les arbres vivants.

Le risque d'attaques par des insectes de type scolytes n'est pas à exclure avec ce genre d'opération. Le risque se concentre autour des mois d'avril à septembre (période d'essaimage), et il est proportionnel au nombre de tiges qui présentent des signes d'affaiblissement pendant cette période. Il est donc préférable de mener les opérations de brûlage en automne, afin que les tiges endommagées aient le temps de mourir et de sécher pendant l'hiver et que leurs tissus soient secs le printemps arrivé.

d) Conclusions

Le brûlage dirigé peut être envisagé pour intervenir dans ce type de régénération naturelle et il est d'ores et déjà assuré que:

- des conditions de brûlage contrastées conduisent à des impacts différenciés sur le taux de survie des arbres et sur les diamètres seuil de mortalité. En ce sens, le

brûlage dirigé est un outil sensible d'éclaircie thermique. Certains facteurs comme le mode de conduite ou la saison du brûlage semblent fortement influencer sur ces paramètres. L'analyse de l'ensemble du dispositif permettra d'identifier la meilleure combinaison de facteurs influant sur la mortalité du pin maritime après brûlage.

- le brûlage dirigé permet de résorber de grandes quantités de combustible tout en conservant l'intégrité de l'étage arboré. Le suivi à long terme de la dynamique du combustible (dégradation des arbres morts, reconstitution de la litière, rejet des bruyères, ...) permettra de déterminer si ce gain n'est que momentané ou durable.

- des répétitions à haute fréquence de brûlages sont possibles dans ce type de milieu. Le suivi des effets de différentes fréquences de repasse en brûlage permettra de déterminer les meilleurs régimes de feu à appliquer selon les objectifs (renforcement de la zone d'appui, valorisation du peuplement, ...).

2) Comparaison des effets de brûlages dirigés périodiques et d'un incendie dans un contexte pastoral (RIGOLOT, *et al.*, 1998)

Cette étude dont les premiers résultats ont été présentés à l'Atelier International de Banyuls-sur-mer, en Septembre 1997 (RIGOLOT *et al.*, 1998) se poursuit actuellement dans le cadre du programme de recherches européen Fire-Torch.

Ce travail vise à mieux comprendre les effets environnementaux de brûlages dirigés périodiques combinés au pâturage bovin sur les landes à *Cytisus purgans*. Il vise aussi à comparer l'impact de cette séquence technique à celui de l'incendie et de la non intervention avec l'abandon à la dynamique naturelle des espaces délaissés par l'agriculture.

a) Description du site et de la méthode

Sur le site de Railleu dans les Pyrénées-Orientales françaises, pour chacune de ces

trois situations évoquées ci-dessus, trois placards permanents ont été installés. A partir de ces mesures, les traitements sont comparés au moyen d'indicateurs calculés caractérisant le risque d'incendie (phytovolume arbustif, recouvrement en *Cytisus purgans*), la diversité floristique (richesse floristique, indice de dominance, indice de diversité de Shannon), la qualité pastorale du milieu (recouvrement herbacé, valeur pastorale) et protection des sols (épaisseur de la couverture morte et pourcentage de sol nu).

b) Résultats

Le phytovolume arbustif est un bon indicateur de la combustibilité des formations végétales (Etienne and Legrand, 1994). A cet égard, la parcelle témoin est extrêmement combustible (phytovolume 13 000 m³/ha environ) et présente, de surcroît, un fort risque d'éclosion d'incendie du fait de l'importance du tapis herbacé (environ 50%). En

Tableau 3.- Statistique de Fisher et niveau de signification de l'analyse de variance(1) ; valeur moyenne (Erreur Standard) and groupements statistiques(2) pour le phytovolume (m³/ha), le recouvrement en *Cytisus purgans* (%), le recouvrement herbacé (%), la richesse floristique, l'indice de diversité H', l'indice de dominance D, l'épaisseur moyenne de la litière (cm), la valeur pastorale, le recouvrement du sol nu (%), selon les régimes de feu.

Indicateurs	F	Niveau de signification	Témoin	Gestion	Incendie
Phytovolume, PV	10.21	*	13348 (3876) a	850 (336) b	832 (429) b
Recouvrement en <i>Cytisus purgans</i> , RCp	75.78	***	64.7 (4.1) a	10.7 (3.8) b	12.0 (2.5) b
Recouvrement herbacé, RH	17.55	**	51.3 (10.8) b	88.3 (3.5) a	34.3 (0.9) b
Richesse floristique, RF	4.74	*	49.0 (2.0) a b	55.7 (1.2) a	41.3 (5.2) b
Indice de dominance, D	28.63	**	0.91 (0.05) a	0.46 (0.02) b	0.39 (0.07) b
Indice de diversité, H'	6.10	*	1.8 (0.2) b	2.5 (0.1) a	2.1 (0.1) a b
Epaisseur moyenne de la litière	5.26	*	14.9 (6.1) a	2.0 (0.4) b	0.0 (0.0) b
Valeur pastorale, VP	26.94	**	23.0 (6.6) b	49.3 (3.3) a	5.2 (1.1) c
Recouvrement du sol nu, RSN	83.76	***	1.0 (0.6) b	5.3 (1.2) b	43.0 (4.2) a

(1) (*), (**) et (***): La probabilité d'avoir une statistique de Fisher-Snedecor supérieure à la valeur contenue dans la colonne F(p=3, n-p=0) est respectivement de 5%, 0.1% et 0.01%

(2) Au sein de chaque ligne, les valeurs moyennes regroupées avec la même lettre par les test LSD ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

revanche, la parcelle traitée par les brûlages dirigés périodiques est peu combustible avec un phytovolume quinze fois moins important (850 m³/ha) que celui de la parcelle témoin. Cette séquence technique est de nature à prévenir les incendies de forêts.

La parcelle incendiée en 1994 a toujours une valeur pastorale particulièrement faible et significativement inférieure à celles des deux autres parcelles (Tableau 3), même si la richesse floristique est maintenant rétablie. En effet, les meilleures graminées d'un point de vue pastoral ont un plateau de tallage superficiel (*Phleum* et *Dactylis*) et sont donc sensibles au feu. Les moins bonnes graminées pastorales ont un rhizome traçant plus profond (*Agrostis* et *Festuca rubra*) et survivent au passage du feu (Métailié, 1981). La valeur pastorale de la parcelle gérée par les brûlages répétés est significativement supérieure à celle de la parcelle témoin. La séquence technique qui combine des brûlages fréquents mais de faibles intensités et une forte pression pastorale permet la pleine valorisation des potentialités pastorales du site, par suppressions répétées de la concurrence arbustive. La valeur pastorale semble être un bon indicateur de la sévérité des perturbations subies par ce type de milieu, et discrimine bien les effets des brûlages dirigés périodiques et de l'incendie.

Le pourcentage de sol nu est significativement supérieur dans la parcelle incendiée que dans les deux autres parcelles. Il est encore supérieur à 40%, trois saisons de végétation après l'incendie (Tableau 3). En revanche la parcelle traitée périodiquement par le brûlage dirigé a un pourcentage de sol nu très faible que l'on ne peut distinguer de celui du témoin. Cette différence entre la parcelle incendiée et la parcelle gérée par les brûlages s'explique d'abord par le plus fort recouvrement herbacé de cette dernière parcelle, mais aussi par sa couverture partielle en litière. La fréquence du feu n'augmente donc pas le pourcentage de sol nu, pourvu que les brûlages soient de faible intensité.

Cet indicateur reflète le degré d'exposition du sol aux risques d'érosion. Il apparaît que le brûlage dirigé et l'incendie ont des consé-

quences très différentes sur le pourcentage de sol nu. Le brûlage dirigé, réalisé dans de bonnes conditions, réduit l'embroussaillage tout en préservant le tapis herbacé, alors que l'incendie supprime durablement toute repousse d'herbe. Les conséquences de l'incendie sont donc, de surcroît, défavorables aux objectifs de gestion pastorale du site.

c) Conclusions

En plus du suivi du phytovolume arbustif, déjà proposé par de nombreux travaux pour évaluer la combustibilité des formations végétales (Etienne & Legrand, 1994), cette étude a permis d'identifier deux indicateurs intéressants de l'évolution de ce type de milieu:

- la valeur pastorale pour évaluer l'adéquation entre les potentialités du milieu et l'objectif de gestion qui lui est assigné,
- le pourcentage de sol nu pour caractériser le risque d'érosion des sols et de pertes de fertilité induites.

Ces indicateurs sont des outils de diagnostic de la pertinence des séquences techniques appliquées par le gestionnaire ou de la sévérité des perturbations accidentelles subies par le milieu.

Il a été ensuite montré que la gestion la plus adaptée au double objectif de gestion pastorale et de prévention active des incendies, passe par des séquences techniques combinant brûlages dirigés périodiques et pâturage. Le milieu est d'abord rouvert par un premier brûlage d'autant plus puissant que le milieu est abandonné depuis longtemps. La gestion pastorale réinvestit la zone et contribue à son entretien extensif. Le brûlage d'ouverture ayant été relativement sévère, un temps de reconstitution du milieu de quelques années doit être assuré. Un second brûlage d'entretien est à réaliser trois ans après l'ouverture si l'on souhaite minimiser le risque d'incendie, ou 5 à 6 ans après avec un risque d'incendie plus élevé. Une forte pression pastorale peut éventuellement abaisser ce risque.

Une fois la phase de réouverture du milieu assurée, on peut opter, soit pour des brûlages en plein assez espacés dans le temps en con-

servant un aléa incendie non nul, mais peu dommageable, soit pour une gestion par le feu très serrée de type "jardinage", avec des passages touffe à touffe pratiquement chaque année qui maintiennent au plus bas l'aléa incendie. Pour trancher entre ces deux options, et préciser le cas échéant l'intervalle de repasse en brûlage dirigé le plus adéquat, il convient de suivre ce site durant une dizaine d'années en confrontant ces deux types de régime de feu.

La non intervention conduit progressivement à l'embroussaillement du milieu et à un arrêt complet de toute pratique pastorale. En effet la parcelle témoin fait l'objet d'un pâturage extensif d'animaux domestiques uniquement parce que la zone voisine est aménagée pour le pâturage. Si ce n'était pas le cas, la lande vieillie ne permettrait plus le parcours. Ce scénario de vieillissement conduit à un stade présylvatique. Le pâturage par les cervidés s'est substitué au pâturage bovin et équin qui a décliné au milieu du siècle, mais n'offre pas une pression de prélèvement susceptible d'avoir des effets significatifs sur le milieu. Le milieu tend à s'homogénéiser structurellement et sa diversité floristique diminue. La combustibilité de la formation végétale augmente de façon concomitante.

L'incendie constitue le scénario catastrophe tant du point de vue écologique que pastoral. Trois ans après cette perturbation, 45 % du sol est nu, la diversité floristique n'est pas complètement rétablie et l'appétence du milieu est nulle. Enfin, les risques de voir les peuplements forestiers voisins atteints ou dévastés par un incendie sont substantiellement accrus.

3) Effets du brûlage dirigé sur les oiseaux dans un maquis méditerranéen (PONS, 1998)

Cette étude a été présentée à l'Atelier International de Banyuls-sur-mer, en Septembre 1997 (Pons, 1998)¹. L'auteur poursuit actuellement des recherches sur les effets des brûlages dirigés sur la faune en

liaison avec l'équipe du CNRS de Banyuls-sur-mer dans le cadre du programme de recherches européen Fire-Torch.

a) Description du site et de la méthode

"La communauté des oiseaux d'un maquis méditerranéen du sud de la France a été suivie deux années avant et quatre années après un brûlage dirigé. La structure de la végétation, la disponibilité en invertébrés, la densité des oiseaux et l'attachement au site ont été étudiés sur une parcelle de 8.25 ha incluse dans une zone expérimentale de 12 ha. Un brûlage dirigé en 1993 a parcouru 76% de la surface de la parcelle, réduisant de 65% le feuillage des arbustes sur les taches brûlées."

b) Résultats

"Une perte globale d'invertébrés des feuillages a été observée après le passage du feu, qui semble cependant compensée par une augmentation des invertébrés terrestres et volants. La densité globale des oiseaux nicheurs n'a apparemment pas été affectée par les modifications de l'habitat.

Les oiseaux nicheurs les plus abondants sur la parcelle ont été les oiseaux inféodés à la strate buissonnante *Sylvia undata* et *S. melanocephala*. La densité de *Sylvia undata* a été assez stable avant le brûlage entre 1991 et 1992 (Figure 4). Elle a chuté la première saison après le brûlage et a ensuite récupéré, en dépassant même la densité avant brûlage au bout de quatre saisons. L'évolution de la population de cette espèce semble bien corrélée avec les changements de couvert de la végétation. La tendance à l'augmentation des populations de *S. melanocephala* en 1991-1992 n'a apparemment pas été perturbée par le brûlage (Figure 4).

Trois comportements spécifiques différents d'espèces de zones ouvertes peuvent être comparés à la figure 5. Le prédateur *Lanius excubitor* ne semble pas affecté par le brûlage. *Lullula arborea* a colonisé la parcelle après le brûlage en exploitant les zones nouvellement ouvertes par le brûlage. *Anthus campestris* avait déjà colonisé une partie de la parcelle en 1992 grâce à l'ouverture du pare feu périphérique.

¹ Des extraits sont ici reproduits avec l'aimable autorisation de l'auteur

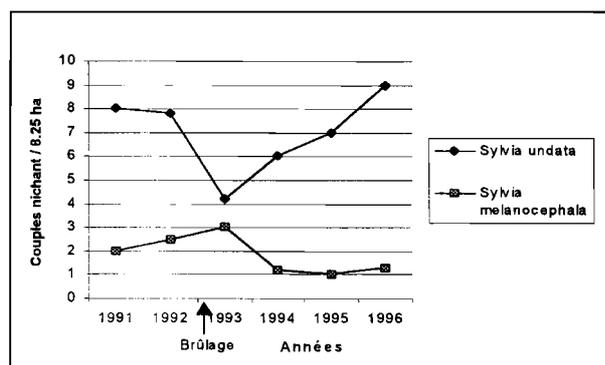


Figure 4.- Densité de deux fauvettes avant et après brûlage dirigé (d'après PONS, 1998).

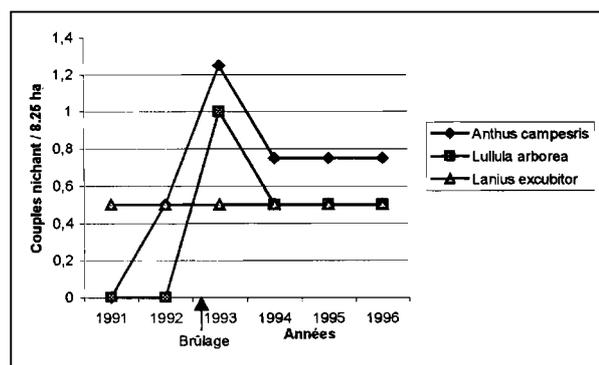


Figure 5.- Densité de trois espèces d'oiseaux de milieux ouverts avant et après brûlage dirigé (d'après PONS, 1998).

La richesse en oiseaux a augmentée de 6 à 8 espèces après le brûlage, du fait de la colonisation par deux espèces des milieux ouverts. Toutes les espèces nichantes présentes avant continuent de nicher après le brûlage et l'attachement au site individuel a été prouvé par des capture-recapture de 4 espèces (la fauvette sédentaire *Sylvia undata*, et *S. melanocephala*, et oiseaux hivernant, le rouge gorge *Erithacus rubecula* et *Regulus ignicapillus*) correspondant à 15% des individus marqués avant le brûlage."

c) Conclusions

"La disponibilité en sites de nichage et en proies, favorisée à la fois par l'hétérogénéité de l'habitat après feu, et par la rapidité de la régénération de la végétation, peuvent expliquer le forte attachement au site observé après le brûlage.

PONS et PRODON (1996) avaient étudié un maquis à *Erica arborea* et avaient trouvé que l'abondance globale des oiseaux après un incendie d'été intense était significativement corrélée au volume du feuillage. La baisse de l'abondance des oiseaux la première saison après l'incendie pouvait donc être expliquée par la diminution du couvert arbustif. Sur le site expérimental de brûlage dirigé, l'abondance globale des oiseaux demeure inchangée après le brûlage: la baisse de densité des oiseaux inféodés à la strate buissonnante est faible et compensée par la colonisation d'oiseaux d'habitats ouverts. Comme les habitats avant feu et les communautés d'oiseaux sont très similaires dans les deux études, il est probable

que les différences des résultats obtenus soient dues aux différences des habitats après feu: la mosaïque de taches brûlées et non brûlées dans la parcelle traitée par le brûlage dirigé augmente la richesse spécifique et favorise la stabilité globale de la densité des oiseaux."

Le brûlage dirigé apparaît donc comme un outil intéressant pour maintien à l'échelle de la parcelle ou du paysage d'une grande variété de structures des milieux qui favorise ainsi la biodiversité.

REFERENCES

- ALEXANDRIAN, D; CHAUTRAND, L. & DELABRAZE, P. 1980. Prescribed fire study tour (voyage d'étude aux Etats Unis d'Amérique sur le feu prescrit). *Forêt Méditerranéenne*, t. II, n°2, pp.229-236.
- BINGGELI, F. & GAULIER, A. 1997. Arrêtés préfectoraux et développement du brûlage dirigé. Le cas des départements de l'Entente. *Pastum*, N° spécial "Brûlage dirigé", pp.31-34.
- DUCHE, Y. 1998. Formation des responsables de chantiers de brûlage dirigé. *Pastum*, N° spécial "Brûlage dirigé", pp.119-120.
- ETIENNE, M. & LEGRAND, C. 1994. *A non-destructive method to estimate shrubland biomass and combustibility*. 2nd International Conference on Forest Fire Research, 21-24 November 1994, Coimbra, Portugal, B25 (I):425-434.
- MOREIRA DA SILVA, J. 1988. La stratégie de l'u-

tilisation du feu dans la lutte contre les incendies forestiers. *Forêt Méditerranéenne*, t. X, n°1, Compte rendu de Foresterranée 87, Groupe de travail "Le feu contre le feu". pp.194-195

ROBION, B. 1990. Le brûlage dirigé: ses applications dans les Alpes-Maritimes. ONF, Service Départemental des Alpes-Maritimes, Conseil Général & DDAF des Alpes-Maritimes. 48p.

LAMBERT, B. 1988. *Brûlage contrôlé et pâturage d'une cistaie*. In: Atelier International sur le brûlage contrôlé. INRA/IUFRO/FAO/CIHE-AM. 14 au 18 Mars 1988, Avignon, France. pp.159-188.

GABAY, J. 1993. Apprendre et pratiquer MERISE. Masson, Paris. 242p.

GAULIER, A. 1996. Premières analyses du contenu de la base données sur le brûlage dirigé (BDSYSTÈME). *Espaces Méditerranéens*, 58p.

INRA; Ecole des Mines de Sophia Antipolis 1998. *BDSYSTÈME: Base de données sur le brûlage dirigé*. Version 2.5 développée sous Access de Microsoft.

METAILIE, J.P. 1981. *Le feu pastoral dans les Pyrénées centrales* (Barousse, Oueil, Larboust). Ed. CNRS. 294p.

PONS, P. 1998. *Bird site tenacity after prescribed burning in mediterranean shrubland*. In International Workshop: Fire, Landscape and Dynamics in the mediterranean Area. Banyuls sur mer, France. 15-19 Septembre 1997.

PONS, P. & PRODON, R. 1996 – Short term temporal patterns in a Mediterranean shrubland bird community after wildfire. *Acta Oecologica*. 17: 29-41.

RIGOLOT, E. 1992. Le brûlage dirigé en région méditerranéenne française. Rencontres forestiers-chercheurs, La Grande Motte, 6-7 Oct. 1992. Editions INRA, *Les Colloques* n°63, pp.223-250.

RIGOLOT. 1997. *Compte rendu des VIII^o Rencontres des équipes de brûlage dirigé*. St Pierre/mer. Aude, Mai 1997.

RIGOLOT, E.; ETIENNE, M.; LAMBERT, B. 1998. *Different fire regime effects on Cytisus purgans community*. In International Workshop: Fire, Landscape and Dynamics in the mediterranean Area. Banyuls sur mer, France. 15-19 Septembre 1997.

WADE D.D. & LUNSFORD, J.D., 1988. *A guide for prescribed fire in southern forest*. USDA Forest Service Technical Publication R8.-TP 11. 56p.