

# Prévention et lutte contre les grands incendies de forêts

*par Robert CHEVROU \**

## 1. Introduction

Le 25 juillet 1997, le feu prend sur la décharge contrôlée de Septèmes-les-Vallons, près de Marseille. La température de l'air est de l'ordre de 30°C, le vent souffle à 55 km/h avec des rafales à 90 km/h, et le feu saute dans la garrigue voisine de la décharge.

Les pompiers arrivés rapidement sur les lieux ne peuvent maîtriser le feu qui saute plusieurs obstacles (routes, pistes et pare-feu plus ou moins larges) ; la tête de l'incendie se propage à vitesse élevée (estimation de 0,36 m/s) ; des renforts sont acheminés pour atteindre un total d'environ 1500 pompiers avec 400 véhicules.

L'incendie longe de nombreux lotissements ; le flanc du feu est maîtrisé dans des conditions très difficiles.

Le vent faiblit le 26 au soir, et l'incendie semble être sous contrôle dans la nuit ; il reste à le surveiller, et à éteindre les surfaces encore enflammées, ainsi que d'éventuelles reprises.

La surface totale brûlée est d'environ 3500 ha.

Cet événement conduit à poser diverses questions.

- De nombreux feux partent des décharges et des dépôts d'ordures dont la plupart ne sont ni autorisés ni contrôlés ; mais la plupart des incendies sont dus à l'imprudence ou à la malveillance (les avis étant partagés sur leurs proportions respectives). Peut-on en réduire le nombre ?

- Si 95% des feux sont maîtrisés avant que la surface brûlée n'atteigne 5 ha, quelques-uns échappent aux premiers secours et détruisent plusieurs centaines d'hectares, voire plusieurs milliers. Pourquoi ?

- A quoi servent les pare-feu et les coupures (vertes, grandes, stratégiques selon la terminologie en usage) et les autres infrastructures de défense des forêts contre les incendies (DFCI) ?

- Comment se fait-il que des centaines de pompiers ne puissent arrêter un incendie ?

Nous nous proposons de répondre à ces questions et à d'autres en montrant qu'il est difficile, voire impossible, de supprimer totalement les mises à feu et les éclosions dans l'espace naturel ;

d'éteindre tous les incendies avant qu'ils n'atteignent la surface de 5 ha ; de construire des pare-feu ou des coupures qui puissent les arrêter tous.

Nous proposerons divers moyens propres à améliorer l'efficacité des infrastructures de prévention et de lutte, aussi bien que la stratégie, en vue de réduire le nombre de grands incendies.

## 2. Statistiques

### Nombres d'incendies et surfaces totales brûlées chaque année depuis 1973

Le tableau suivant donne les nombres d'incendies et les surfaces brûlées enregistrés chaque année depuis 1973 dans les 15 départements du sud-est regroupés dans l'Entente interdépartementale, d'après le fichier Prométhée consulté le 1er août 1997 par minitel (3615, Prometel), ainsi que les surfaces moyennes brûlées par feu. Les incendies du département de la Drôme ne sont pris en compte que depuis 1988.

\* 13, rue du Clair soleil,  
34430 Saint-Jean-de-Védas  
Tél : 04 67 42 31 03

année	nombre de feux	surface totale (ha)	surface moyenne par feu (ha)	année	nombre de feux	surface totale (ha)	surface moyenne par feu (ha)
1973	2375	36903	15,54	1985	3732	46638	12,50
1974	1909	30144	15,79	1986	2657	46157	17,37
1975	2460	17525	7,12	1987	2116	10392	4,91
1976	2897	41943	14,48	1988	2240	5165	2,31
1977	1699	16399	9,65	1989	3321	56922	17,14
1978	4383	39291	8,96 (1)	1990	3299	54730	16,59
1979	4176	53275	12,76	1991	2372	6543	2,76
1980	3563	15684	4,40	1992	2712	12740	4,70
1981	3457	23455	6,78	1993	2962	11774	3,98
1982	2912	48771	16,75	1994	2518	22577	8,97
1983	2776	48620	17,51	1995	2346	9933	4,23
1984	2684	14664	5,46	1996	1789	3119	1,74
				<b>moyennes</b>	<b>2806</b>	<b>28057</b>	<b>9,68</b>

**Tableau 1 : Nombre d’incendies et surfaces brûlées dans les 15 départements de «l’Entente»**

(1) Source : MAP/MI 1997 ; les données Prométhée pour l'année 1978 (4367 et 57329 ha) ont été corrigées en éliminant des incendies ayant touché la France les surfaces brûlées en Espagne qui avaient été enregistrées à tort (le feu ne reconnaît pas les frontières).

**Analyse de ces statistiques**

Les nombres des incendies varient relativement peu, de 1 à 2,5, avec un minimum de 1699 feux en 1977 et un maximum de 4383 en 1978 ; les surfaces totales annuelles varient bien-plus, de 1 à 18, avec 3119 ha en 1996 et 56922 ha en 1989 ; la surface moyenne par feu varie, elle, dans une proportion intermédiaire, de 1 à 10, avec 1,74 ha en 1996 et plus de 17 ha en 1983, 1986, et 1989.

Le nombre d’éclosions dépend de celui des mises à feu et de l’inflammabilité de la végétation c’est-à-dire de son état hydrique déterminé par la sécheresse et l’humidité du sol et de l’air.

La surface moyenne brûlée par feu traduirait l’efficacité de la lutte ; elle dépendrait des conditions météorologiques, avec une surface moyenne plus élevée lorsque l’air et la végétation sont très secs et le vent très fort, ce qui crée des incendies très nombreux, très puissants, et très difficiles à combattre (Benoit de Coignac, 1996). La surface totale brûlée, étroitement liée à la surface moyenne par feu, dépend de ces mêmes conditions météorologiques.

Le nombre des mises à feu par

imprudence serait, pour sa part, lié à la densité de la population dans l’espace naturel et à ses abords, ce qui dépend des conditions météorologiques (selon que le temps est ensoleillé ou pluvieux), particulièrement les samedis, dimanches, et autres jours fériés (on observe un maximum d’éclosions les samedis et dimanches).

Aux années relativement "humides" correspondraient une présence moindre du public dans l’espace naturel, donc moins de mises à feu par imprudence, des éclosions plus difficiles, des feux de faible puissance, donc faciles à maîtriser, et une surface moyenne par feu très faible.

Sur ces 24 années, on compte 11 années fastes qui ont présenté des conditions de lutte faciles ou assez faciles, avec des surfaces totales annuelles brûlées inférieures à 20000 ha (moyennes annuelles de 2449 feux, 11267 ha, 4,66 ha par feu) ; 10 années néfastes avec des surfaces totales annuelles brûlées supérieures à 36000 hectares (moyennes annuelles de 3253 feux, 47325 ha, 14,96 ha par feu) ; et 3 années moyennes, avec 22577 ha en 1994, 23455 ha en 1981, et 30144 ha en 1974, année où le nombre des incendies est l’un des plus faibles de la série, et où la surface moyenne par feu

est l’une des plus élevées.

Les années néfastes se répartissent sur l’ensemble de la période et elles coïncident, globalement, avec les années où la sécheresse prolongée a été accompagnée de plusieurs jours de très hautes températures et de vents très forts. La comparaison avec les pays voisins montre, comme on peut s’y attendre, que ces conditions extrêmes ne se retrouvent pas les mêmes années dans les différents pays, et que les comparaisons "annuelles brutes" ne sont pas pertinentes ; 1981 et 1988 ont été des années très mauvaises en Italie, bonnes en France ; 1982, 1986, 1989 de bonnes années en Italie, très mauvaises en France ; 1983, 1985, et 1990 de très mauvaises années en Italie et en France.

Depuis 1991, les surfaces totales annuelles brûlées, bien qu’irrégulières, sont nettement inférieures à la moyenne de la période de 24 ans, mais on peut se rappeler que les conditions météorologiques ont été particulièrement favorables à la lutte, comme le souligne l’Institut des aménagements régionaux et de l’environnement (IARE, 1994), sauf pour de courtes périodes en quelques endroits, notamment en Corse.

Globalement, il apparaît une décroissance notable des surfaces totales brûlées, notamment depuis 1990, ainsi qu'une faible décroissance des nombres de feux annuels. Si l'on suppose que la variabilité des surfaces brûlées dépend principalement des conditions météorologiques, une analyse statistique de ces données globales montre qu'il n'existe pas de tendance significative à la baisse de ces surfaces, pour l'ensemble des 24 années ; la tendance d'une décroissance des dégâts (tout juste significative) pour les 11 années fastes serait équilibrée par leur croissance (non significative) pour les 10 années néfastes.

## Optimisme ou pessimisme ?

Il n'est pas douteux que des progrès sensibles ont été réalisés dans la prévention des incendies et dans la stratégie et la tactique de lutte : les délais d'intervention ont été réduits, les incendies sont éteints plus tôt (Benoit de Coignac, 1996), et, en 1996, 95% des feux ont été éteints avant d'atteindre 5 ha ; les pompiers maîtrisent aujourd'hui des incendies rapides qui ne l'auraient pas été il y a 15 ou 20 ans (Drouet et Feuillet, 1986).

Néanmoins, face à un incendie de forte puissance se déplaçant rapidement dans une végétation dense, il a été observé, dans tous les pays, qu'aucun moyen de lutte ne permet de le contrôler (Benoit de Coignac, 1996, Pyne et al, 1996). Teusan (1995) de l'Institut national de la recherche agronomique, se demande si la réduction des surfaces brûlées observées après 1990 ne provient pas seulement des conditions météorologiques favorables ; Ragus (1996) de la Direction de la sécurité civile, estime qu'on ne peut pas éradiquer les grands incendies ; Ningre (1996) de l'Administration des forêts, observe que l'année 1996 a été exceptionnelle, et *"il est à la fois logique de croire à l'efficacité des moyens (mis en oeuvre), et difficile d'en apporter la démonstration ..."*. L'IARE remarque que si les grands incendies sont moins fréquents, ils tendent à devenir de plus en plus grands. *"On peut être à peu près certain que de très grands incendies ne manqueront pas de se produire au cours des décennies à venir"* (IARE, 1994).

Selon le Centre interrégional de coordination opérationnelle de la sécurité civile à Valabre (CIRCOSC, 1990), les grands incendies de 1989 *"sont dus sans nul doute à la sécheresse exceptionnelle qui a sévi sur l'ensemble de la France"*, les feux inhabituels en dehors du sud-est en apportant témoignage ; *"nous savons que, confrontés à des situations identiques à celles de cet été, les moyens de lutte les plus performants peuvent se montrer temporairement impuissants..."*. *"Déficit hydrique et vent fort sont les principaux facteurs d'évolution défavorables des incendies"* (CIRCOSC, 1992).

Benoit de Coignac (1990) observe que, dans le sud-est, *"en 1987 puis 1988, nous avons assisté à une absence quasi-totale de Grand incendie, due essentiellement au climat extrêmement favorable et aussi, il faut bien le dire, à une amélioration sensible de la rapidité des interventions... Certains furent même tentés de penser qu'enfin la solution miracle pour supprimer ces catastrophes était sur le point d'aboutir..."*. Malheureusement, les années 1989 et 1990 ont montré qu'il n'en était rien.

Lesgourgues (1990) évoque la *"perte de mémoire collective des ravages des incendies de forêts"* pour illustrer les polémiques concernant la DFCI dans le sud-ouest, qui semblent avoir découlé d'une longue période sans grands incendies, avant que ne se déclarent ceux du Porge-Lacanau

(3654 ha le 18-07- 89) et de Saint-Aubin-Carcans (5636 ha le 31-03-90), qui ont menacé des villes, des villages, et des campings. Plus généralement, la mémoire des catastrophes serait *"brouillée par les intérêts, les préjugés, les expériences et les préoccupations du moment"* (D'Ercole et Dollfus, 1995).

D'autres auteurs affirment leur optimisme quant à l'avenir, tandis que Bernard (1997) suggère que les grands incendies dépendraient des cycles solaires, et prévoit le pire pour 1997, 1999, et 2002.

Dans l'immédiat et jusqu'à plus ample informé, il vaut mieux s'en rapporter à l'évidence : la simultanéité de sécheresse, de hautes températures, de vents forts, de mises à feu, et d'éclosions, est la cause principale des bilans catastrophiques.

Il faudrait pouvoir proscrire tout excès d'optimisme ou de pessimisme en matière de prévention et de lutte contre les incendies de forêts, car cela peut conduire à faire des erreurs de programmation et de réglementation. Ainsi, en Californie, les grands incendies du début du siècle ont conduit à adopter une réglementation particulière pour les matériaux des toits des maisons, qui fut abandonnée quelques décennies plus tard, à tort comme l'ont montré les incendies des années 1990 (Pyne et al, 1996), où des milliers de maisons ont été détruites.



Photo 1

Photo DDSIS Hérault

### 3. Mises à feu

#### Différentes sources de mise à feu

Une mise à feu correspond à l'apport du feu dans l'espace naturel au contact de matériaux combustibles quelconques. Cette mise à feu peut être due à des causes naturelles (foudre) ou présumées naturelles (inflammation spontanée de tas de feuilles, de branches, de copeaux) ; le plus souvent la mise à feu est due à l'homme, volontairement (en vue de nuire, ou à travers des travaux) ou par imprudence (braises, étincelles, brandons, etc.).

Les sources de braises, d'étincelles, et de brandons sont, par exemple : les braises des mégots de cigarettes des promeneurs aussi bien que ceux des occupants des véhicules sur les voies de circulation (Alexandrian, 1995) ; les étincelles venant des véhicules et des trains (échappement, freins, frottements divers) : on peut voir de nombreux feux sur le terre-plein central des autoroutes (Favre, 1992) ; il est assez fréquent que les trains mettent le feu le long des voies ferrées : de nombreux feux début 1997 entre Lunel et Nîmes, le 5 septembre 1997 entre Agde et Sète ; le 8 avril 1997, une cinquantaine d'éclosions entre Bordeaux et Dax, dont l'une provoqua un incendie de forêt de 450 ha à Ychoux (Landes).

Il faut aussi évoquer les étincelles des engins et des outils utilisés sur les chantiers dans l'espace naturel pour les travaux agricoles et forestiers, ou au voisinage de cet espace dans des chantiers industriels (soudure, impacts des scies avec des objets métalliques ou des pierres) ; les braises, étincelles et brandons issus des dépôts d'ordures ; les braises des grills portables ou non, utilisés pour la cuisson des aliments par les forestiers, les agriculteurs, les ouvriers, les promeneurs, ou les vacanciers ; les étincelles et les brandons projetés par les colonnes de convection de tous les feux isolés, parfois très éloignés de l'espace naturel, tels ceux des barbecues, ou ceux destinés à détruire quelques feuilles ou papiers, dans un jardin ou sur un chantier.

Il serait difficile de faire une liste complète des diverses sources de feu ;



Photo 2 : La Grande - Motte, 1993

on ne les connaît sans doute pas toutes, et certaines sont controversées, voire niées ; dans les années 1960, certains forestiers doutaient qu'un mégot, une allumette ou un briquet puissent mettre le feu, et nous avons assisté à une tentative de démonstration en forêt de Fontainebleau, heureusement interrompue avant d'en connaître le dénouement.

#### Les mises à feu par imprudence

L'imprudence est à l'origine de nombreux accidents et de nombreux incendies. On espère en diminuer les effets par l'information du public, notamment par des campagnes de sensibilisation ciblées.

Les efforts dans ce sens des services de la Sécurité routière semblent avoir obtenu quelques succès ; mais il est patent que leurs effets arrivent à une limite extrême ; de nouveaux progrès seront très difficiles à obtenir sans une surveillance et des contrôles accrus.

Il faut constater que les imprudences sont extrêmement nombreuses mais qu'elles ne débouchent pas toutes sur des accidents ou des incendies. Ainsi, par temps de brouillard, un très grand nombre de véhicules circulent sur les voies à des vitesses excessives, et le nombre des accidents reste faible quoique trop élevé. On peut en déduire que la probabilité d'accident est très faible et que le nombre d'accidents est le produit d'un très grand nombre

d'imprudences par une probabilité d'occurrence très faible.

C'est d'ailleurs cette faible probabilité, ou fréquence, d'accident qui donne un faux sentiment de sécurité aux automobilistes et les incite à conduire à des vitesses excessives.

Pour montrer comment nous apprécions le niveau de risque, Hirsch et al (1996) décomposent sa perception en 4 éléments : a.- la probabilité d'occurrence ; b.- la gravité du danger ; c/ les implications sur le mode de vie (on sous-estimerait un danger qui oblige à modifier les habitudes) ; d/ la responsabilité directe : *"le fumeur ou le conducteur a la sensation de prendre un risque calculé qu'il a l'illusion de maîtriser. Il perd cette illusion quand il pense que sa vie dépend"* d'une autre personne ou d'un "groupe anonyme" de personnes.

On évoque plus facilement les incendiaires et les pyromanes que les milliers d'imprudents ; on attribue peut-être beaucoup trop d'éclosions de feux aux premiers, parce que l'imprudent c'est chacun d'entre nous, ce qu'il est fort désagréable de devoir admettre.

En pratique, tous les événements à haut risque et à faible probabilité peuvent conduire à des raisonnements et des comportements inadéquats (excès ou insuffisance de prudence ou de publicité), tant de la part des personnes qui sont exposées aux accidents et aux incendies que de celle des

Photo DDSIS Hérault

responsables chargés d'en réduire les effets.

Il faut continuer les campagnes d'information et de sensibilisation du public pour deux raisons : d'abord, dans l'espoir de faire diminuer sensiblement le nombre des imprudences ; ensuite, pour qu'elles n'augmentent pas par négligence. En quelque sorte, ces campagnes permettent de maintenir le nombre d'accidents à un niveau relativement faible, quoique trop élevé, voire de réduire ce nombre.

Il faut aussi continuer et, si possible augmenter, la surveillance préventive, mais il ne sera jamais possible de surveiller tout et tous, partout, même pendant les quelques jours de risque extrême.

On peut ajouter à ces imprudences concernant les mises à feu celles touchant la protection. Combien de maisons qui ne sont pas protégées contre l'incendie, notamment par une zone débroussaillée ? Combien d'habitants en zone boisée qui n'ont pas un minimum de moyens de protection individuelle ? Imprudences aussi les dépôts d'ordures "illégaux", quelques infrastructures mal distribuées, mal conçues, ou mal entretenues, une formation incomplète des personnels, une certaine réticence à l'utilisation de méthodes et d'outils modernes d'aide à la décision, une réglementation parfois inadaptée ou inappliquée, etc.

## Mises à feu proches et lointaines

On doit distinguer deux types de mises à feu par imprudence : le premier concerne les feux engendrés par des braises déposées sur le sol ou dans la végétation ; le second ceux engendrés par des étincelles ou des brandons dispersés au loin par le vent et les ascendances thermiques.

Dans le premier cas, l'auteur de l'imprudence se trouve à proximité du point de mise à feu ; s'il a quelque compétence pour maîtriser la propagation du feu et pour l'éteindre, il échappera aux statistiques car il est peu probable que son auteur aille en faire état auprès des autorités après l'avoir éteint et détruit ainsi la preuve.

Le plus souvent, ou bien l'objet susceptible de créer un feu est jeté d'un véhicule ; ou bien cet objet se consu-

me lentement avant de provoquer l'éclosion lorsque le combustible végétal à son contact atteint la température d'inflammation ; ou encore le combustible végétal prend feu mais ce feu "couve" plus ou moins longtemps dans la litière avant de se propager. Dans ces divers cas, l'imprudent est loin lorsque le feu devient visible.

Dans le second cas, l'imprudent crée un feu assez loin de l'espace naturel combustible, par exemple sur un chantier ou dans un jardin. De ce feu s'élève une colonne de convection qui contient une multitude de particules plus ou moins grosses ; certaines de ces particules sont en combustion (étincelles, brandons, papiers) ; elles sont dispersées par le vent et par les ascendances thermiques, et elles retombent au sol plus ou moins loin de leur point d'émission ; si les conditions se prêtent à l'éclosion du feu, certaines de ces particules vont mettre le feu dans l'espace naturel végétal. Un exemple parmi tant d'autres : l'incendie d'Eze, Alpes-Maritimes, du 24-07-1986, a détruit plus de 1000 ha et tué une personne (une femme âgée brûlée vive) ; à son origine, un horticulteur qui brûlait des broussailles dans sa propriété. Mais combien de cas identiques attribués au "pyromane anonyme" parmi les autres causes de mise à feu inconnues ou présumées connues ?

Il est "normal" que ce phénomène induise des feux simultanés ou successifs, dispersés dans une zone propice à l'éclosion du feu, parce que l'ascendance thermique projette de nombreux brandons au loin, à plusieurs centaines de mètres, voire plus d'un kilomètre. Plutôt que de faire référence à des "commandos de pyromanes", il vaudrait mieux considérer leur origine la plus probable et ne pas minimiser la grande responsabilité des imprudents qui font des feux en période d'interdiction en croyant que l'éloignement de l'espace naturel annule le risque d'incendie.

Il semble d'ailleurs que le risque de mise à feu lointaine, lié à l'usage d'un barbecue dans un jardin, soit fort sous-estimé, alors qu'on observe aisément les nombreuses particules incandescentes dans la colonne de convection.

On peut espérer que la mise en place de grilles (régulièrement nettoyées) à l'intérieur des conduits de cheminée des maisons et des barbecues puisse

réduire notablement la projection des particules les plus grosses qui sont les plus dangereuses.

## Les écobuages traditionnels

Posent un problème spécial les mises à feu traditionnelles destinées à détruire les résidus de végétation après la récolte (brûlage des chaumes ou des foins), et, plus spécialement, les écobuages destinés à supprimer les végétaux ligneux et semi-ligneux qui envahissent certains pâturages. Il s'agit d'une technique ancestrale, transmise oralement, dont la maîtrise disparaît avec les "anciens" qui avaient acquis une expérience sur le tas, dans des circonstances où les populations locales avaient le plus grand intérêt à maîtriser le feu. Aujourd'hui, cette maîtrise du feu ne semble plus assurée, et, résultat de la déprise agricole, la population locale disponible pour le contrôle de ces feux est insuffisante.

S'y ajoutent plusieurs facteurs aggravants : d'abord, la forêt et ses produits ne sont plus utilisés par le pâturage, le panage, le ramassage du bois mort et de la litière, si bien que la masse de combustible est beaucoup plus importante aujourd'hui qu'elle ne l'était autrefois ; ensuite, un passage du feu à plus longs intervalles fait que ces espaces sont envahis par une végétation de ligneux bas et de semi-ligneux qui, au fil du temps, devient de plus en plus dense ; la mise à feu est pratiquée alors que la densité extrême de la végétation la rend particulièrement dangereuse ; la maîtrise technique et l'expérience de terrain s'étant perdues, la date et l'heure de mise à feu, de même que les conditions météorologiques, ne sont plus choisies de façon à réduire les risques.

Il faut abandonner ces méthodes "traditionnelles", et utiliser des moyens mécaniques ou chimiques pour détruire les ligneux bas et les semi-ligneux dans les pâturages concernés, et les entretenir régulièrement. On peut aussi procéder à des brûlages dirigés.

## Les brûlages dirigés

Comme dans d'autres pays exposés aux mêmes risques (Amérique du

Nord, Australie), il devient nécessaire de contrôler l'évolution de la végétation, soit par des moyens mécaniques ou chimiques, soit par des brûlages dirigés.

Une action a été entreprise depuis quelques années (instructions du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche), pour effectuer, dans les périodes de l'année où les feux peuvent être maîtrisés, des brûlages dirigés destinés à réduire la biomasse combustible (sur les pâturages et en forêt), et pour former les personnes susceptibles de conduire de tels feux (cours de formation au Centre Interrégional de la Sécurité Civile à Valabre, Bouches-du-Rhône). Les surfaces traitées ont été de l'ordre de 15000 ha en 1996, ce qui est encore modeste eu égard aux surfaces menacées (4,6 millions d'ha).

Une mise à feu volontaire pour travaux doit s'accompagner d'un contrôle permanent du feu : d'une part, de ses fumées et ses gaz toxiques, pour éviter qu'ils n'atteignent les voies (réduction de la visibilité) et les personnes (intoxication possible) ; d'autre part, de sa progression en vue de le maîtriser s'il sort des limites qui lui sont affectées. Ce n'est pas toujours le cas, et les incidents peuvent résulter de diverses circonstances : les conditions météorologiques et leur variation ont été mal appréciées ; l'état de la végétation a été mal estimé ; les auteurs de la mise à feu avaient une compétence ou une expérience insuffisantes ; les moyens de contrôle et de maîtrise du feu étaient insuffisants.

Depuis 1987, des brûlages dirigés ont été entrepris dans le département des Pyrénées-orientales sous le contrôle d'une Unité d'Instruction de la Sécurité Civile (UISC) (Lambert et Parmain, 1987, 1990). Le 20 mars 1991, lors d'une telle opération, conduite près de Montalba-le-Château, sous le contrôle d'une soixantaine de pompiers militaires de l'UISC 7, le feu s'est échappé ; 5 pompiers ont été brûlés, dont 2 au deuxième degré et un au troisième qui ont été évacués sur un hôpital de la région parisienne pour soins intensifs. Il semble que le vent ait tourné du nord-nord-ouest à l'est, et que les pompiers qui contrôlaient un flanc du feu peu exposé se soient brusquement trouvés sous la tête du feu. Ce changement du vent semble être lié

au passage d'un front froid ou d'une dépression, ou à l'alternance du vent le soir près de la mer. Ceci montre que les personnels chargés de ces brûlages dirigés doivent être de véritables spécialistes et avoir reçu pour cela une formation complète ; et que de telles opérations doivent être placées sous la responsabilité conjointe d'un météorologue compétent qui puisse prévoir ces phénomènes.

Pyne et al (1996) citent des cas de brûlages dirigés encore plus dramatiques qui ont entraîné des décès et où les surfaces détruites ont été considérables. Les causes de ces désastres sont multiples.

Outre l'impréparation et l'imprudence, la routine et la banalisation des opérations peuvent être à l'origine d'une perte de contrôle du feu, car elles induisent chez l'opérateur l'illusion de maîtriser totalement le processus ; ainsi est-il pris au dépourvu lorsqu'un incident survient.

Une autre cause peut être trouvée dans le fait que la plupart des forestiers et des pompiers ont une expérience des feux de forêts terriblement locale ; tel phénomène considéré ici comme essentiel est vu là, parfois avec dédain, comme mineur, voire inexistant. Un changement d'affectation d'une personne expérimentée ici peut induire là une action inappropriée. Une formation continue et approfondie est nécessaire pour prévenir ces "illusions".

Malgré l'éventualité qu'un feu dirigé puisse échapper à ses auteurs, il convient de poursuivre ces opérations en prenant toutes les précautions utiles, car il semble que ce soit le seul moyen de traiter à faible coût les surfaces immenses qui en ont besoin. On n'interdit pas la circulation des véhicules, des trains, des avions, sous prétexte que c'est extrêmement dangereux ; on n'interdit pas les activités industrielles, ni les loisirs, ni les débroussaillages mécaniques et chimiques, qui entraînent des blessures, voire quelques décès ; par contre, on exige, plus ou moins fortement, que les intéressés prennent des précautions ad hoc. Il doit en être de même pour les brûlages dirigés.

## Mise à feu avec éclosion retardée

Les incendiaires utilisent souvent des systèmes de mise à feu retardée qui entraînent l'éclosion du feu après un délai de plusieurs dizaines de minutes, ce qui leur laisse le temps de s'éloigner du lieu de leur forfait. Des systèmes très simples aussi bien que d'autres très élaborés ont été retrouvés.

La foudre, les braises, les étincelles et les brandons peuvent produire des éclosions retardées. Aux Etats-Unis, il a été signalé que la foudre peut enflammer le cœur d'un arbre ou d'une souche, ou encore la litière, de



Photo 3 : Saint Paul et Valmalle, 10-8-1993

Photo DDSIS Hérault



telle sorte que le feu n'est pas immédiatement repérable ; et il peut se passer plusieurs jours ou plusieurs semaines avant que le feu, activé par un temps sec et par le vent, ne sorte de ce "nid" pour se propager dans le combustible environnant (Pyne et al, 1996).

Des étincelles ou des brandons peuvent tomber au creux d'un vieux arbre dans un combustible relativement humide qui se consume lentement, le feu "n'explosant" que lorsqu'il atteint, après un certain délai, un combustible plus sec (bois mort, herbes ou feuilles sèches). Ce phénomène a été signalé en France au cours d'incendies : l'incendie est passé et il semble éteint, mais il repart à partir du creux d'un arbre qui semblait avoir été épargné par les flammes.

Les braises, les brandons et les étincelles tombés sur la litière, et, éventuellement, tassés sous la semelle pour les éteindre, peuvent se consumer lentement dans un combustible relativement humide et compact ; le feu "couve" jusqu'à ce que le combustible voisin atteigne une température telle que le feu "explose" soudain, puis se propage dans la végétation voisine.

On a souvent observé des éclosions en début de semaine (lundi ou mardi) dont l'origine est liée à des braises ou des mégots mal éteints qui ont été déposés sur les lieux le samedi ou le dimanche, et qui ont "cuvé" dans la litière pendant de longues heures (Delabrazé, communication personnelle).

Bien que ces phénomènes soient difficiles à observer, il n'y a aucun doute qu'ils existent ; on peut espérer que les équipes formées spécialement à cet effet (Peixoto da Eira et Natario, 1995, Rivalin, 1996) puissent fournir, dans l'avenir, des indications précises sur toutes les causes de feu, notamment sur l'existence de ces phénomènes dans notre pays, et sur leur fréquence.

A ce type d'éclosion retardée se rattachent certaines reprises de feu. Le feu couve très longtemps dans les souches de certaines herbacées dont les bulbes ou les racines forment d'épais coussins. On a observé que le feu se propage lentement dans le système racinaire des arbres et arbustes, notamment lorsqu'ils sont détruits par imprégnation de nitrate de potasse sui-

vie de l'apport du feu. Le feu peut resurgir longtemps après qu'il ait été déclaré éteint, là où une racine ressort à la surface du sol ou dans la litière.

## Mises à feu spontanées

Le feu peut éclore spontanément dans un tas de bois, de feuilles, de branches, de papiers, ou de chiffons, à la suite de la fermentation des éléments du tas. La température au cœur du tas augmente progressivement jusqu'à atteindre celle de l'inflammation. Ce phénomène a conduit, autrefois, à proscrire la mise en tas des rémanents des coupes. Bien qu'il soit connu et documenté pour les tas de foin, de copeaux de bois, de papier, ou de chiffons, il a été controversé en Amérique du Nord, en ce qui concerne les déchets en forêt, jusqu'à une période récente où il a été effectivement observé, et des recherches ont immédiatement été entreprises sur ce sujet.

Il est à noter que ce phénomène, assez rare, a été nié en France dans les années cinquante et que cette cause d'éclosion n'est plus prise en compte dans les statistiques. Il n'est pas étonnant que des forestiers aient pu contester le fait que leurs pratiques puissent être à l'origine d'éclosions de feux, pas plus que de constater que "Electricité de France" (EDF) ait contesté l'évidence que les lignes électriques peuvent créer des incendies de forêts (Feintuch et Lenci, 1974).

La fermentation d'un tas de déchets demande certaines conditions particulières, avec une humidité relative du "fond" du tas qui génère la fermentation, et une sécheresse relative du sommet du tas pour permettre l'éclosion du feu, conditions assez communes en forêt : humidité relative du sol et de la litière, sécheresse du sommet du tas exposé au rayonnement solaire et au vent. Ce phénomène pourrait expliquer les éclosions de feu dans des zones reculées où les autres causes de mise à feu sont très peu probables.

## Les dépôts d'ordures

Il existe, dans les 15 départements de l'Entente interdépartementale (sud-est du pays), plusieurs milliers de dépôts d'ordure, pour la plupart non contrôlés, et souvent "illégaux". De

nombreux incendies de forêts ont pour origine des braises ou des brandons issus de ces dépôts d'ordures et des décharges, et transportées par le vent ou par des ascendances thermiques.

Sur le dépôt, le feu peut provenir de matériaux qui ont été déposés alors qu'ils étaient déjà en combustion lente invisible. L'incendie du 1er août 1989 à Rognes (Bouches-du-Rhône) en est un exemple : un matelas prend feu à partir d'une braise ; le matelas est arrosé et le feu semble éteint ; le matelas est ensuite jeté sur une décharge ; le feu reprend et le vent projette des étincelles dans la garrigue proche ; résultat, plus de 2000 ha détruits. Un cas similaire serait à l'origine de l'incendie du 25 juillet 1997 à Septèmes-les-Vallons, décrit en introduction.

Le plus souvent sans doute, c'est la fermentation des détritus qui génère l'éclosion du feu et sa propagation par saut hors de la décharge.

La suppression des dépôts non contrôlés est indispensable. Les autres dépôts doivent non seulement être contrôlés mais encore surveillés, bien qu'on ne puisse escompter une surveillance étroite 24 heures sur 24 ; ils doivent être entourés d'une zone de protection incombustible, ou peu combustible, et d'un réseau de pistes qui permette d'atteindre rapidement les éclosions lointaines qui s'avèrent être inévitables compte tenu de nos imprudences.

La loi du 13 juillet 1992 vise à la suppression, au 1er juillet 2002, de la mise en dépôt de tout ce qui n'est pas totalement inerte (en fait des seuls "déchets ultimes" au sens de la définition départementale). L'application stricte de cette loi permettrait de supprimer totalement le risque d'incendie de forêts issu des dépôts d'ordures.

## Probabilités de mise à feu, d'éclosion et de propagation ;

### EPS, MOSAR

La grande variabilité des conditions atmosphériques induit une grande variabilité des mises à feu et des éclosions, car elles influent sur la présence du public dans l'espace naturel (loisirs, travaux agricoles et forestiers), et sur l'inflammabilité et la combustibilité de la



Photo 4 : Feu Assas 1991

Photo DDSIS Hérault

végétation. Une éclosion n'est suivie de propagation du feu que si le combustible est suffisamment sec et continu.

Pour un nombre quotidien de mises à feu donné, qui peut être très grand, le nombre des éclosions dépend beaucoup de l'état du combustible, plus ou moins sec, plus ou moins chaud. Il est "normal" de n'observer aucune éclosion un jour froid et humide. Comme il est "normal" de constater un "grand nombre" de feux les jours d'été chauds, secs, et ventés, qui suivent une longue période de sécheresse, sans avoir à faire appel au "pyromane inconnu", ni aux commandos d'incendiaires.

Du fait que les probabilités d'éclosion et de propagation sont très faibles (même en période sensible), l'analyse de ce risque relève des techniques développées dans l'industrie pour l'estimation des risques de très faible probabilité qui peuvent avoir des conséquences dramatiques.

La méthode d'étude probabiliste de sûreté, dite méthode EPS, est utilisée dans l'industrie électronucléaire, notamment par EDF et le CEA. Elle permet de confronter les divers acteurs intervenant dans le système, de mettre en relief certains aspects méconnus, d'apporter un éclairage sur certaines actions clés, d'orienter des décisions de conception et de maintenance, de détecter les points sensibles (Magne, 1996).

La méthode MOSAR (méthode

organisée systémique d'analyse de risques) est enseignée notamment à l'Université de Bordeaux.

L'application de méthodes similaires au cas des incendies de forêts permettrait, sans doute, d'encore améliorer l'efficacité des infrastructures DFCI et celle des interventions de lutte.

## 4. De la mise à feu à la propagation et au recensement des incendies

### Eclosion du feu

Le nombre de mises à feu est certainement considérable, et, heureusement, elles débouchent très rarement sur des éclosions du feu. Si certaines sources de mise à feu sont controversées, c'est que la probabilité de l'éclosion est extrêmement faible car l'éclosion suppose un concours de circonstances assez exceptionnel : l'objet incandescent susceptible de mettre le feu doit pouvoir entrer en contact étroit avec un combustible suffisam-

ment sec ; il doit apporter au combustible une quantité de chaleur suffisante pour l'inflammation, ou bien le combustible doit avoir été préchauffé d'une façon ou d'une autre ; l'état du combustible et son arrangement spatial doivent pouvoir faciliter la propagation du feu.

L'éclosion s'étant produite, elle peut être combattue immédiatement par l'auteur de la mise à feu, et, si le feu est éteint immédiatement, il est peu probable qu'il soit déclaré et recensé dans les statistiques.

### Propagation du feu

Après l'éclosion, le feu peut se propager dans l'espace naturel si le combustible est suffisamment sec et continu.

Le feu peut encore être éteint par l'auteur de l'imprudence dans les premières minutes de sa propagation ; ou bien, la végétation n'est pas assez combustible ou continue, et le feu s'arrête de lui-même, notamment sur les bords des routes convenablement entretenus, où se produisent les mises à feu provoquées par les véhicules et leurs occupants (Alexandrian, 1995). Le feu ne sera recensé que s'il se propage peu ou prou et s'il est constaté sur place par les forestiers ou les pompiers.

On peut penser que les populations rurales habituées à utiliser le feu à des fins agricoles (brûlage des résidus de récolte sur le sol) ou pastorales (éco-buage) savent contrôler, maîtriser, et éteindre la plupart des feux qu'elles portent dans l'espace naturel, volontairement ou par imprudence.

Au contraire, les populations urbaines qui parcourent les espaces naturels pour leurs loisirs, ne savent pas contrôler, maîtriser et éteindre ces feux.

Cela expliquerait la disparité observée aujourd'hui dans les statistiques entre le nord et le sud du bassin méditerranéen occidental ; avec plusieurs dizaines de milliers d'incendies annuels recensés dans les pays du nord, où l'espace naturel a une forte vocation de loisirs (par exemple 2800 par an dans les 4,6 millions ha "forestiers" du sud-est de la France) ; et seulement quelques centaines d'incendies recensés au Maroc (250 par an sur 6,3 millions ha au cours des 20 dernières



années) où l'espace naturel reçoit peu de citadins, et a encore une forte densité de population rurale dont la pression sur la forêt réduit le volume du combustible par le pâturage et le ramassage du bois mort et de la litière.

## Incendies enregistrés dans les statistiques

Finalement, sont enregistrés au titre des incendies annuels déclarés, ceux qui ont pris une certaine extension, nécessitant l'intervention des pompiers ou des sapeurs forestiers, et quelques feux de très faible surface qui ont pu être constatés dès leur éclosion par les pompiers ou les forestiers.

Sans même tenir compte des erreurs et des oublis signalés par l'IARE (1994), il est très difficile d'évaluer le nombre des éclosions, en France comme ailleurs ; il paraît probable que le nombre de feux recensés est une sous-estimation plus ou moins éloignée du nombre d'éclosions selon les pays, la distribution des populations et les moyens de surveillance. La surface totale parcourue par les incendies semble être une évaluation du phénomène beaucoup plus précise que leur nombre, car les feux non constatés touchent, chacun, de très petites surfaces.

Le nombre des éclosions de feux, potentiellement dangereuses ou non, est sans aucun doute très supérieur au nombre des incendies enregistrés, qui, lui, est de l'ordre de 2800 par an, en moyenne, dans les 15 départements du sud-est.

## 5. L'incendie de forêt est un phénomène très dangereux

### Puissance du feu

Après l'éclosion et l'apparition des flammes, le feu se propage d'abord lentement pendant quelques minutes ou quelques dizaines de minutes ; puis il atteint un régime relativement stable selon la nature et la répartition du combustible végétal, l'état de l'atmosphère, la température, et le vent.

Dans les premières minutes, la puissance du feu reste très faible et il est facile de le maîtriser et de l'éteindre. Dès que le feu atteint un régime stable, sa maîtrise dépend de sa puissance  $P$  (exprimée en kW par mètre de front), qui est une fonction de sa vitesse de propagation,  $R$  (en mètres par seconde), et de la quantité de biomasse brûlée,  $w$  (en kg par m<sup>2</sup>) :

$$P = 18700 R w \text{ (Alexander, 1982, Valette, 1988)}$$

Un incendie se propageant à 0,5 m/s (1,8 km/h) et brûlant 1 kg/m<sup>2</sup> de combustible développe une puissance de 9350 kW/m, et 100 m de front de feu développent la puissance thermique d'une centrale nucléaire (1 gigawatt). On a estimé la puissance de certains incendies en Amérique du Nord et en Australie à plus de 100000 kW/m, et 10 mètres de front développent alors la puissance thermique d'une centrale nucléaire. L'énergie totale développée par un incendie de plusieurs centaines d'hectares en plusieurs heures représente celle d'une bombe thermonucléaire.

S'il est facile de maîtriser les incendies de puissance inférieure à 2000 kW/m, ceux de 4000 kW/m commencent à poser problème et la tête du feu ne peut être maîtrisée sans le concours de moyens aériens (Agence MTDA, 1996). Les incendies de puissance supérieure à 10000 kW/m ne peuvent être attaqués que sur les flancs ; la tête du feu n'est maîtrisable qu'en réduisant sa puissance par la création de barrières chimiques en avant du front (moussants et retardants mélangés à l'eau des largages), ou en attendant que l'incendie atteigne une zone à végétation moins dense, ou des conditions météorologiques plus favorables (baisse de la température, par exemple avec la tombée de la nuit, pluie ou humidité).

Les feux d'hiver, lorsque la litière et le sol sont relativement humides, et la température de l'air assez basse, ont une faible puissance et sont, le plus souvent, faciles à maîtriser. Les feux d'été, après une longue période de sécheresse, lorsque l'air est très chaud et très sec, et lorsque le vent est très fort, sont pratiquement impossibles à maîtriser lorsqu'ils ont atteint leur puissance maximale.

On voit ici l'importance d'une arrivée

très rapide de secours en quantité suffisante sur le lieu de l'éclosion lorsqu'elle se produit dans une végétation dense, ou quand le feu peut atteindre rapidement une telle végétation. Il en découle que la stratégie d'intervention doit tenir compte de la nature de la végétation dans la zone concernée, et prévoir des renforts dès la première alerte lorsqu'une éclosion est signalée dans une zone où le combustible est dense, ce qui induit un risque élevé de grand incendie si les conditions météorologiques s'y prêtent.

Du fait de la grande quantité d'énergie dégagée par un incendie de forêt, les feux dans l'espace naturel sont accompagnés de phénomènes très dangereux : projection d'étincelles et de brandons, bouffées brûlantes d'air et de fumées toxiques, rayonnement thermique, explosions de gaz issus de la pyrolyse des végétaux, explosions de poussières, phénomènes météorologiques extrêmes.

## Phénomènes thermiques et explosifs

Les pompiers et les personnes situées à proximité du front du feu, notamment sous le vent, sont exposés à divers phénomènes thermiques et explosifs (Trabaud, 1989, Pyne et al, 1996, Chevrou, 1998).

La température des gaz et des fumées d'un incendie de forêt peut dépasser 1000°C, voir 1500°C ; les explosions des gaz issus de la pyrolyse des végétaux, et les explosions de poussières, peuvent porter l'aérosol qu'ils constituent, à une température de 1500 à 2000°C ; tous ces phénomènes peuvent entraîner des brûlures pulmonaires létales, voire une mort instantanée. 14 pompiers ont été tués lors de l'incendie du 2 juillet 1994 près de Glenwood Springs, Colorado, Etats-Unis, par une explosion de ce type (Putnam, 1995). 4 pompiers ont été tués par un tel phénomène dans l'incendie du 21 juin 1990 à Cabasson (Var).

La toxicité des gaz peut être élevée : monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, gaz issus de la pyrolyse des végétaux, etc. De nombreux pompiers sont intoxiqués chaque année, certains cas conduisant à l'hospitalisation des victimes.

Le rayonnement thermique reçu des

flammes d'un front de feu puissant est de l'ordre de plusieurs watts par centimètre carré à une distance de 20 à 30 mètres, c'est à dire 10 à 50 fois la valeur du rayonnement solaire au Sahara en été en plein midi, et égal ou supérieur au rayonnement thermique d'un grille-pain ou d'un grille-viande. Il peut enflammer des objets à distance (foin, bois, papier, etc.). Toute personne exposée à un tel rayonnement sans vêtements de protection se trouve "comme une dinde dans une rôtissoire". Le rayonnement thermique a tué de nombreuses personnes dans les incendies du 16 février 1983 en Australie (Krusel et Petris, 1993), dits "feux du Mercredi des Cendres", qui ont fait 75 morts au total.

Les règles appliquées aux Etats-Unis considèrent le rayonnement thermique comme dangereux et pouvant entraîner des blessures graves, voire la mort, malgré le port de vêtements de protection, jusqu'à une distance égale au moins à 4 fois la hauteur des flammes (Butler, 1997b, qui préconise de multiplier cette distance par 4 par sécurité) ; la largeur d'un pare-feu doit être égale à 1,5 fois la hauteur des flammes pour que les radiations thermiques ne transmettent pas le feu de part et d'autre de la coupure de combustible (Pyne et al, 1996).

La hauteur des flammes, H en mètres, serait liée à la puissance du feu, P en KW/m, par la formule :

$$P = 300 H^2 \text{ (Trabaud, 1989).}$$

A un feu de puissance 10000 KW/m correspondrait une hauteur des flammes d'environ 6 mètres et une distance dangereuse de 25 à 100 mètres.

## Les sauts de feu : aucun obstacle ne peut arrêter tous les feux

On a constaté, en France, des sauts de feu de plusieurs centaines de mètres, voire de plus d'un kilomètre, parfois au dessus de lacs que l'on présumait infranchissables : l'incendie du 22-09-1990 à Saint-Cassien a sauté un bras du lac large de 800 m. Il a été signalé, en Amérique du Nord et en Australie, des sauts de feu de plusieurs kilomètres (Pyne et al, 1996), la valeur extrême citée étant de 24 km (Strazzulla, 1991).

Il est clair qu'aucun obstacle ne peut

s'opposer à un tel phénomène, et il est heureux qu'il soit assez rare dans notre pays, où la densité des formations végétales est moindre qu'en Amérique du Nord. Il n'est pas exclus que la moindre fréquence des incendies de forêts et le développement excessif de la végétation ne créent dans notre pays, à l'avenir, des conditions favorables à des incendies très puissants accompagnés d'ascendances thermiques très dynamiques et de sauts de feu très longs.

## Les sauts courts

Le front du feu est formé par l'embrasement des éléments végétaux fins (feuilles, aiguilles, brindilles), qui peuvent être emportés par le vent. La combustion de ces éléments fins dure quelques 20 à 30 secondes (Drouet, 1988) ; si un tel objet est emporté par le vent, il n'est dangereux que s'il est bien enflammé, sinon il est éteint par le souffle, et pas trop brûlé, sinon il s'éteindra avant de transmettre le feu une fois retombé au sol ; la durée de temps dangereuse est de l'ordre de 15 secondes ; porté par un vent fort de 20 m/s (72 km/h), la distance dangereuse est alors de 300 mètres.

Les sauts courts sont de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de mètres, et ils sont provoqués par les étincelles formées dans le front du feu. Ces étincelles sont nombreuses, parfois tellement nombreuses qu'elles for-

ment le front du feu lui-même, front qui se propage alors très rapidement.

Les radiations thermiques et la convection chauffent et assèchent les végétaux situés devant le front du feu, ce qui facilite l'inflammation du combustible lorsque les étincelles y tombent.

L'incendie du 22 août 1990 à Montagnac dans le Gard, qui a parcouru 1900 ha environ, a commencé par un petit feu facile à maîtriser pour l'unité de pompiers arrivée sur les lieux peu après l'alerte. Malheureusement, deux cyprès se sont enflammés en propulsant une multitude d'étincelles qui ont porté le feu au loin (c'est l'effet "chalumeau" des végétaux à port fastigié). Les renforts ont tardé à venir car un autre incendie menaçait la ville de Nîmes.

L'arrosage du front du feu réduit le rayonnement thermique et le nombre des étincelles en humidifiant le combustible, l'air et les fumées ; l'arrosage "dans le vert" à l'avant du front réduit la fréquence des éclosions dues aux étincelles, et refroidit le combustible exposé aux radiations thermiques des flammes. Une règle empirique utilisée par les pompiers consiste à arroser 1/3 dans le brûlé, 2/3 dans le vert.

Les houppiers d'arbres épars ou en alignement dans une coupure de combustible peuvent arrêter les étincelles portées par le vent et renforcer l'efficacité de la coupure (Delabrazé, 1990).



Photo 5 : Août 1989

Photo DDSIS Hérault

## Les sauts longs

Les sauts longs sont provoqués par des brandons soulevés par les ascendances thermiques jusqu'à plus de 5000 m d'altitude (Pyne et al, 1996). Le nombre de brandons dans une colonne de convection est très grand (Trabaud, 1989). L'incendie, aidé parfois par le relief local, crée de puissantes colonnes de convection et des tornades, susceptibles de soulever des arbustes entiers, de grosses branches, des troncs d'arbres (McRae and Flannigan, 1990).

Les gros brandons en combustion peuvent rester longtemps enflammés ; soulevés par la colonne de convection à plusieurs centaines de mètres de hauteur, et poussés par le vent, ils retombent au loin lorsque la force ascendante de la colonne de convection devient insuffisante pour les porter ; ils peuvent alors enflammer les combustibles parmi lesquels ils tombent.

L'extinction des éclosions dues aux sauts longs suppose que les pompiers soient en alerte sur les lieux, ou qu'ils puissent atteindre rapidement le site de ces éclosions. Si la coupure est formée par des terrains nus, des terres agricoles, ou de tout autre terrain à végétation rase, des pistes doivent y être construites pour permettre un accès rapide d'un côté à l'autre. Si la coupure est formée par un fleuve ou un lac, il est prudent de surveiller l'autre rive et soit traiter les éclosions par voie aérienne, soit y placer des équipes prêtes à les éteindre.

## Phénomènes météorologiques

Les mouvements des masses d'air provoquent des changements brutaux de la force et de la direction du vent (passage d'une dépression, d'un front froid, notamment un front froid sec sans pluie - Trabaud 1989) et des variations de la température et de l'humidité de l'air (Chaboud, 1993).

Lors de l'incendie du 31 juillet 1985 dans le massif du Tanneron (Var), un changement de la direction du vent, probablement dû au passage d'un front froid, a tué 5 pompiers ; ils n'en étaient pas conscients ; brusquement, le flanc du feu où ils se trouvaient est devenu la tête du feu où ils ont péri. Plusieurs cas sont décrits par Pyne et al (1996),

et notamment les incendies du 16 février 1983 en Australie où un front froid a fait changer la direction du vent de 90° entraînant la mort de nombreuses personnes.

L'ensoleillement produit, près de la mer et en montagne, une alternance du vent qui passe d'une direction à la direction inverse, le phénomène pouvant être assez rapide lorsque la montagne est proche de la mer.

Le relief induit des phénomènes locaux bien connus, avec l'accélération du vent sur les pentes montantes, et l'effet de venturi provoqué par un col, une cluse, ou tout obstacle de cette forme, qui accélère considérablement le vent. Une tranchée dans la végétation (pare-feu, ligne électrique) peut accélérer un incendie lorsque le vent souffle dans son axe ou dans une direction voisine (Delabrazé, 1990).

Tous ces phénomènes étant bien connus, on peut "prévoir" à l'avance les conditions de lutte correspondantes, mais divers autres phénomènes interviennent qui peuvent augmenter les risques.

L'incendie induit des vents particuliers, le plus souvent un appel d'air à l'avant du front de flammes ; dans ce cas, un vent opposé au déplacement du feu est engendré et, éventuellement, utilisé pour créer un contre-feu, qui est "tiré" ou "aspiré" par le front principal ; ce contre-feu brûle le combustible, si bien que le feu principal s'arrête par absence de combustible lorsque l'opération s'est bien déroulée.

Mais l'incendie principal peut aussi accélérer le vent, c'est-à-dire faire le contraire de ce qui est décrit ci-dessus ; ce phénomène est dû à une descente d'air froid à l'intérieur de la masse d'air chaud ascendante de l'incendie (Pyne et al, 1996) comme cela se produit dans les nuages d'orage ; dans un pareil cas, le contre-feu devient alors extrêmement dangereux car il accélère l'incendie principal et il peut mettre les pompiers en danger. Ce phénomène se produirait surtout lorsque la puissance du feu est très grande. C'est pourquoi les contre-feux ne doivent être utilisés que dans des circonstances favorables très difficiles à déterminer.

De terribles ascendances thermiques et des trombes (tornades locales) sont engendrées par l'énorme énergie dégagée par la combustion d'une grande

masse de combustible (Chaboud, 1993, Pyne et al, 1996, Trabaud, 1989). Une tornade de feu, éventuellement amorcée par un contre-feu, est impossible à maîtriser et elle peut porter le feu au loin par transport de brandons.

Pour toutes les opérations sur les feux et les incendies, il faut associer à l'équipe de direction de la lutte un météorologiste compétent qui sera chargé de suivre l'évolution des conditions météorologiques en vue d'avertir les pompiers des risques à venir. De tels accidents seront inadmissibles puisque la plupart d'entre eux pourraient être évités.

Déjà un météorologiste est affecté au Centre interrégional de coordination opérationnelle de la sécurité civile (CIRCOSC) à Valabre, Bouches-du-Rhône, pendant l'été pour estimer chaque jour le risque "météo" (Drouet et Sol, 1990, Sol, 1990) ; mais il ne peut suivre l'évolution de tous les incendies apparus un même jour dans 15 départements (parfois plusieurs centaines), ni des feux d'hiver. Il faut donc s'organiser pour qu'un météorologiste puisse être affecté, quand nécessaire, à chaque Service départemental d'incendie et de secours.

## 6. Implantation d'infrastructures de lutte ; normalisation

### Infrastructures

Les pistes, les pare-feu, les coupures vertes, les coupures stratégiques, implantés sur le terrain, notamment pour soutenir les personnels chargés de la lutte contre les incendies, doivent être conçus en fonction du type de feu le plus puissant susceptible de se produire dans la zone.

Le réseau des pistes DFCI doit permettre un accès rapide et protégé, aussi bien qu'un réapprovisionnement rapide, ce qui rend souvent inadéquates les pistes très longues sur lesquelles les engins se déplacent lentement, pour atteindre un espace végétal où l'incendie est susceptible de se

déplacer rapidement. Des méthodes existent pour déterminer un réseau efficace de desserte forestière (Dean, 1997), et on peut s'en inspirer pour planifier le réseau de pistes DFCI.

On devrait considérer le type de feu pour lequel une coupure a été conçue, car un simple pare-feu étroit qui arrêtera un feu courant d'hiver dans un tapis d'herbe plus ou moins humide, sera inefficace lors d'un incendie d'été dans des herbes sèches (nombreuses étincelles poussées par le vent et atteignant, de l'autre côté du pare-feu, un combustible très inflammable).

Tenir compte du type de feu susceptible de se produire dans la zone étudiée à une époque donnée, de sa puissance et des phénomènes annexes dangereux, conduit à donner à une piste ou une coupure des caractéristiques particulières, et par exemple pour des incendies d'été de puissance moyenne ou forte :

- débroussaillage pour réduire la biomasse combustible et réduire la puissance du feu, les radiations thermiques, et la température des fumées et des gaz, du côté de la piste, du pare-feu, de la coupure, situé au vent, c'est-à-dire du côté d'où l'incendie viendra, afin que les pompiers puissent y circuler, s'y tenir, et y lutter contre le front d'un feu de puissance faible ou modérée ;

- débroussaillage du côté sous le vent, pour que les pompiers puissent facilement atteindre et éteindre les éclosions produites par les étincelles venant du front de feu et emportées par le vent ;

- création de pare-feu doubles ou triples formées de bandes alternées, les unes à sol nu pour arrêter les feux de surface, les autres arborées pour arrêter les étincelles et les brandons ; deux pare-feu de 25 m de large séparés par une haie d'arbres sont plus efficaces et plus esthétiques qu'un seul pare-feu de largeur 50 m (Delabrazé, 1990) ;

- établissement dans la coupure d'un réseau de pistes permettant de circuler facilement d'un côté à l'autre, pour que les pompiers puissent atteindre et éteindre les éclosions produites par les brandons portés au loin par les ascendances thermiques créées par l'incendie ;

- débroussaillage d'une bande de lar-

geur suffisante (50 m, 100 m, voire 200 m ou plus) autour des habitations situées sous les "verts ombrages", afin de permettre aux pompiers de les protéger sans s'exposer à un rayonnement thermique excessif, aux bouffées brûlantes d'air et de fumées, aux explosions des gaz et des poussières ;

- débroussaillage et entretien régulier d'une bande de largeur suffisante le long des routes, des autoroutes, des pistes, et des voies ferrées traversant des espaces naturels combustibles (Alexandrian, 1995, Cochelin, 1994) ;

- **entretien permanent**, pour assurer que l'infrastructure aura l'effet souhaité sur les incendies pour lesquels elle a été conçue ;

- la structure d'une grande coupure stratégique doit être conçue en tenant compte des conditions de son entretien qui peut être plus ou moins facile et plus ou moins onéreux, donc effectué plus ou moins régulièrement, et de l'efficacité relative qui en découle (Cochelin, 1992).

Il ne s'agit pas seulement d'inventer de nouvelles techniques de prévention et de lutte, mais surtout d'utiliser d'une façon adéquate celles que nous connaissons (cf. le "Guide technique du forestier méditerranéen français" du CEMAGREF), en fonction de l'importance du risque reconnu. On se posera la question de savoir si l'on envisage une protection contre les feux d'hiver, ou contre les incendies d'été, ou encore une protection contre l'incendie décennal, l'incendie "trentennal", ou contre tout incendie raisonnablement prévisible, selon un processus comparable à ceux utilisés lors de l'étude des risques d'une autre nature (crues et inondations, éboulements et glissements de terrain, séismes, etc.), et on énoncera le choix retenu, notamment à travers le code de normalisation.

Énoncer le choix retenu est important car il n'est pas possible de construire immédiatement un réseau d'infrastructures susceptibles d'arrêter, partout, tous les incendies puissants. Comme pour les autres types de risques (crues, séismes, etc.), il faut se donner une limite supérieure de l'occurrence des phénomènes et implanter les infrastructures de prévention et de lutte qui lui correspondent. Si un incendie de puissance imprévue sur-

vient, la lutte en sera plus difficile, les dégâts plus importants, mais il faut se rappeler qu'on ne peut pas rendre le risque nul, ni se protéger contre les catastrophes naturelles extrêmes (éruption volcanique, séisme, crue, incendie de forêt, etc.).

Plusieurs visites sur le terrain, dans des conditions météorologiques variées, et une réflexion approfondie sur les phénomènes physiques prévisibles, doivent conduire à l'adoption des infrastructures les plus appropriées à la nature du risque local. Le choix de "formules standards" est à proscrire en général, car elles conduisent à l'adoption de solutions trop onéreuses pour un niveau de risque local faible, ou techniquement insuffisantes pour un niveau de risque élevé.

## Normalisation des infrastructures

La normalisation mise en oeuvre en 1997 par la Direction de l'Espace Rural et de la Forêt, la Direction de la Sécurité Civile, et la Délégation à la Protection de la Forêt Méditerranéenne, a montré que de nombreuses pistes DFCI n'ont pas les qualités requises pour obtenir une bonne efficacité (largeur trop faible, protection latérale absente ou insuffisante). Les pistes existantes seront progressivement mises aux normes, et ce peut être l'occasion d'abandonner celles qui ne seraient pas jugées efficaces pour les remplacer par d'autres qui le seront.

Certaines pistes peuvent être destinées à ne se rendre sur le lieu de l'éclosion qu'en cas de feu de faible puissance, lorsque le risque "météo" est faible ; elles ne doivent pas être empruntées lorsque le risque est élevé car les personnels y seraient trop exposés. Si une zone peut être affectée par des incendies rapides et puissants, il faut pouvoir y accéder très rapidement, ce qui exclut les pistes longues où les engins se déplacent lentement. Il a été montré que, lorsque les conditions météorologiques sont extrêmement défavorables, il faudrait que les premiers secours arrivent sur le site de l'éclosion en moins de 2 minutes pour espérer maîtriser le feu (Agence MTD, 1992). Certaines pistes DFCI devront donc être transformées en "voies rapides", d'autres complétées



Photo 6 : Vendémian 1993

Photo DDSIS Hérault

ou remplacées par un réseau de pistes courtes rattachées aux routes publiques.

Les pare-feu et les coupures n'entrent pas vraiment dans le cadre de cette normalisation, alors qu'ils forment le réseau susceptible d'arrêter ou de maîtriser les incendies qui échappent à la première intervention. Il importe que ces infrastructures, notamment celles qui visent à la maîtrise des grands incendies lorsque les conditions météorologiques sont défavorables, fassent l'objet d'une normalisation accompagnée des règles écrites sur la façon dont elles doivent être utilisées par les moyens de lutte.

Lors d'un incendie de forte puissance, aucune coupure de combustible ne peut l'arrêter sans l'intervention des moyens de lutte ; il faut connaître, par avance, si l'aménagement de cette infrastructure permet l'accès de moyens de lutte, aussi bien les aéronefs que les engins et les hommes au sol, en quantité suffisante, et s'ils peuvent être ravitaillés convenablement ; il faut définir par avance les tactiques permettant de maîtriser l'incendie sur la coupure, car il n'est pire situation que de décider dans l'urgence et sous le stress ; et il faut savoir si les hommes pourront être évacués sans risque.

## 7. Extinction des incendies de forêts

### Méthodes d'extinction au sol

La maîtrise, le contrôle et l'extinction d'un incendie de forêt peut se faire en supprimant le combustible, ou en soufflant les flammes, ou en empêchant l'alimentation des flammes en oxygène, ou en refroidissant le combustible pour amener sa température en dessous de la température d'inflammation et de combustion.

Supprimer le combustible consiste à enlever les végétaux et la litière en avant de l'incendie sur une bande dont la largeur dépend du type de feu à arrêter ; une règle empirique utilisée aux Etats-Unis est de nettoyer jusqu'au sol minéral une bande de largeur au moins égale à 1,5 fois la hauteur des flammes (Pyne et al, 1996) ; l'incendie s'arrête par absence de combustible, s'il ne saute pas. Cette méthode, couramment utilisée partout dans le monde, l'est aussi en France, le plus souvent à l'aide d'engins, pour construire des lignes d'arrêt du feu lors des brûlages dirigés et dans quelques incendies "sauvages". Elle est particulièrement efficace sur les feux de

faible puissance dans une végétation basse. On peut supprimer le combustible en le brûlant selon diverses méthodes (Pyne et al, 1996) ; ce feu tactique doit s'appuyer sur un pare-feu existant ou créé sur place, et il doit être étroitement surveillé ; un engin, le "Dragon", permet de construire deux pare-feu parallèles à l'aide de socs, et de brûler la végétation entre eux, tout en disposant d'une réserve d'eau pour éteindre les étincelles.

Souffler les flammes consiste à frapper les flammes et le combustible à l'aide d'outils (battes à feu, balais métalliques, branchages verts, outils spéciaux pour cet usage). La frappe du combustible entraîne une dilution des gaz de pyrolyse et la disparition de la flamme qui réapparaît aussitôt si les braises sont assez chaudes ; la frappe doit continuer jusqu'à ce que les braises deviennent assez froides ; néanmoins, plus tard, le vent peut réactiver une braise, les flammes se reformer, et le feu reprendre sa progression. Les outils de frappe sont utilisés en France en complément de l'arrosage des flammes, ou lorsque l'eau ne peut pas être employée. Ils sont très efficaces sur les feux de faible puissance se déplaçant lentement dans une végétation rase.

Empêcher l'arrivée de l'oxygène consiste à recouvrir le combustible de terre, de sable, ou de produits spéciaux (mousse, particules). La projection d'eau pulvérisée à l'aide d'un brumisateur, ou de gaz inerte, forme un aérosol où la proportion d'oxygène est moindre que dans l'air ambiant ; cette méthode est particulièrement efficace dans un local fermé où l'on peut ainsi étouffer le feu ; elle l'est moins à l'extérieur, car, souvent, on ne peut pas approcher les flammes d'assez près et le vent disperse facilement l'aérosol.

Réduire la température du combustible consiste à envoyer de l'eau, plus ou moins pulvérisée, dont l'évaporation absorbe de grandes quantités de chaleur, ce qui réduit la température de l'aérosol, de l'air, des flammes et du combustible. Les quantités d'eau nécessaires à la maîtrise, au contrôle et à l'extinction d'un incendie de forêt sont considérables de l'ordre de plusieurs litres d'eau, voire plusieurs dizaines, par mètre de front du feu (Drouet, 1996) ; pour un incendie de puissance 10000 kW/m, il faut, théori-



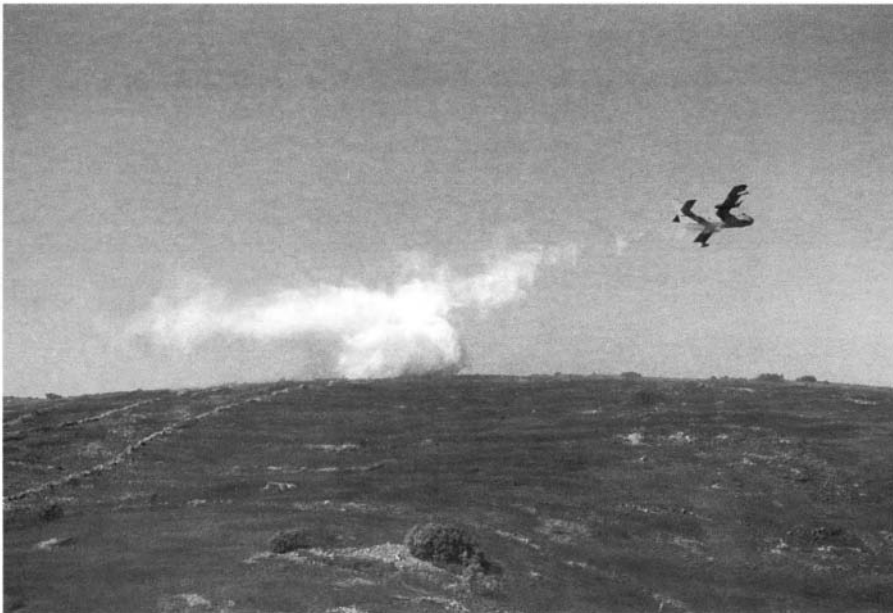


Photo 7 : Vendémian 1993

Photo DDSIS Hérault

quement, projeter sur le front du feu 30 litres d'eau par mètre de front en 30 secondes - 1/3 dans le brûlé, 2/3 dans le vert - pour arrêter sa progression, beaucoup plus en pratique pour tenir compte des pertes diverses dans l'utilisation des lances d'incendie et d'un coefficient de sécurité ; et, au total, des dizaines de mètres cubes dès que l'incendie prend quelque extension. L'addition à l'eau de produits chimiques (moussants ou retardants) augmente l'efficacité de l'arrosage. La facilité d'accès sur le territoire rend cette méthode pratique en France, où l'on peut envoyer un grand nombre d'engins dès qu'un feu est détecté.

## Largage d'eau par avion

L'arrosage à partir des aéronefs lourds projette une grande masse d'eau et crée un effet de souffle plus ou moins opportun. Sur un petit feu qui vient d'éclore, ou sur un feu de faible puissance dans une végétation basse, le souffle peut éteindre le front de flamme, et il est adéquat de projeter l'eau selon la règle citée ci-dessus, 1/3 dans le brûlé, 2/3 dans le vert, ou 1/2 et 1/2. Néanmoins, si la cible est ratée et que l'eau tombe dans le brûlé, le souffle peut projeter des étincelles et des brandons en avant du feu.

Sur un incendie de grande puissance, il semblerait que la méthode d'emploi des aéronefs la plus appropriée soit de projeter l'eau, additionnée de

produit moussant ou retardant, en avant du front de flammes, par exemple le long d'une coupure de combustible accessible aux engins des pompiers ; cela crée une barrière humide ; l'incendie y perd de sa puissance et les hommes au sol peuvent l'arrêter plus facilement. De nombreux spécialistes préconisent cette méthode. La barrière humide peut être continue ou en chevrons, cette dernière technique (dite de percolation) visant à ralentir la progression de l'incendie, et à découper le front en petites pointes isolées plus faciles à maîtriser.

Selon des officiers de pompiers expérimentés, une tactique combinant de telles barrières humides et des moyens au sol s'appuyant sur une coupure de combustible bien équipée et large d'une cinquantaine de mètres, peut arrêter la plupart des fronts de feux que nous connaissons, les sauts de feu étant traités en complément. Il faut cependant remarquer que la mise en oeuvre de cette tactique demande un certain délai pour la mise en place des moyens, donc l'abandon aux flammes d'une surface qui sera d'autant plus petite que la décision sera plus rapidement prise et exécutée, et que les coupures stratégiques seront plus nombreuses.

## Stratégie, tactique, retour d'expérience

Les stratégies et les tactiques de lutte sont définies et mises en oeuvre

par les spécialistes que sont les officiers des pompiers. Tous les feux sont attaqués vigoureusement dès l'alerte ; si un grand incendie est en cours de développement, des moyens aériens sont détournés vers le petit feu de façon à ce qu'il ne se produise pas plusieurs grands incendies simultanément, cas difficile à traiter.

Néanmoins, les phénomènes rares sont mal évalués dans certaines zones, justement parce qu'ils sont rares, et une formation continue est indispensable pour attirer sur eux l'attention des personnels. Cette formation doit être fondée sur des cas réels vécus dans le sud-est ou dans des régions similaires.

C'est pourquoi il est indispensable que les incendies soient systématiquement analysés (retour d'expérience) et les résultats publiés comme cela se fait ailleurs, et comme cela est réclamé depuis longtemps (Seigue, 1990). L'incendie du 2 juillet 1994 près de Glenwood Springs, Colorado, Etats-Unis, a fait l'objet d'une multitude d'articles, notamment dans la revue *Wildfire* dont nous citons quelques-uns : description de l'incendie, de sa progression, de la lutte, et extraits des rapports d'enquête (Wildfire 1994, 1995) ; analyse de la végétation, des tactiques de lutte, de l'organisation, des causes des décès (Putnam, 1995, Weick, 1995) ; propositions pour améliorer la tactique et la protection : surveillance de l'incendie, suivi de la lutte, équipement de protection et de survie (Butler, 1997a, Roth, 1997) ; lettres de lecteurs ; etc. Il ne s'agit pas d'un cas isolé. Pourquoi ne pas faire de même en France ? On peut analyser les incendies sérieusement en utilisant la méthode "REAGIR" mise en oeuvre pour les accidents de la route, ou celle qui l'est pour les accidents d'avion.

## Peut-on et doit-on tout protéger ?

Une protection totale ne pourra pas être assurée avant longtemps, si elle l'est jamais ; les incendies naturels, aussi bien que d'autres qui le sont moins, sont des acteurs dans l'évolution de l'écosystème ; peut-on et doit-on tout protéger ?

La question est posée, et une réponse de fait lui est donnée, lorsqu'un incendie de forêt menace simultanément



un espace naturel et un espace urbain ; les secours se portent en priorité sur les habitations pour protéger la population et les biens ; l'espace naturel n'est protégé que dans la mesure où la quantité de moyens disponibles le permet. On peut aussi noter que la densité des coupures de combustible stratégiques traduit l'étendue des espaces naturels qui seront, le cas échéant, abandonnés aux flammes : à une faible densité de ces infrastructures correspond une forte probabilité d'énormes dégâts.

Le zonage de l'espace en fonction du niveau de risque permet de localiser des espaces qui seront protégés et d'autres qui ne le seront pas, sauf à interdire à l'incendie de franchir leur frontière en y créant des infrastructures ad hoc.

## 8. Analyse de l'espace pour le choix des infrastructures de DFCI

### Analyse de l'espace

Une première source d'information sur le risque lié aux incendies de forêts

se trouve dans les archives du passé qui montrent quand, comment et où se sont produites les catastrophes. Néanmoins, selon le proverbe, *"l'expérience est une lanterne accrochée dans le dos qui éclaire le chemin parcouru"*, et *"nous voyons le passé mais pas l'avenir"*.

L'espace naturel évolue, grignoté qu'il est par l'urbanisation, grignotant lui-même l'espace agricole. Ses produits, de faible valeur, s'y accumulent sous forme de végétaux vivants et morts, tous très combustibles. Les zones où se sont développés de grands incendies ont été aménagées pour en réduire l'occurrence. L'expérience du passé (le chemin parcouru) n'éclaire que faiblement la situation nouvelle (le chemin à parcourir), et elle ne suffit pas à déterminer les zones à risque.

Il faut donc analyser l'état actuel de l'espace pour déterminer un zonage des niveaux de risque actuels ; éventuellement, si l'on peut "prévoir" l'état futur, on peut faire un zonage des risques à venir.

Les méthodes et les outils de l'analyse de l'espace permettent de choisir le type d'infrastructures à implanter dans une zone, en tenant compte du type de feu à maîtriser et des autres objectifs de prévention et de lutte :

- rapidité d'accès sur la zone pour

maîtriser le feu avant qu'il ne prenne des proportions trop importantes : **analyse stratégique de l'espace** ;

- infrastructures destinées à ralentir l'incendie et à réduire sa puissance pour le rendre maîtrisable s'il a échappé à la première intervention : **analyse dynamique de l'espace** ;

- aménagements destinés à la protection des personnes et des biens contre les incendies les plus puissants : **analyse de la puissance du feu**.

Ces méthodes permettent d'analyser l'ensemble d'un territoire à l'aide de critères similaires sinon identiques, ce qui permet des choix objectifs. Si elles ne se substituent pas à l'analyse des experts, elles peuvent faciliter leur travail en leur permettant de porter l'effort sur les zones les plus dangereuses.

Il faut prendre en compte les conditions climatiques et météorologiques extrêmes présumées qui existeront lors de la propagation de l'incendie. En pratique, deux paramètres sont à considérer : la vitesse de propagation de l'incendie, telle qu'elle peut être calculée (Drouet et Sol, 1990, Sol, 1990), ou estimée par les pompiers ou les forestiers locaux ; la biomasse combustible formée des éléments fins qui brûlent dans le front du feu (litière, brindilles, feuilles, aiguilles) : diverses sources de données sont disponibles (cf. par exemple Trabaud, 1989).

Les méthodes décrites ci-dessous, et qui ont déjà été utilisées (Chevrou, 1996, 1998), nécessitent, pour une mise en oeuvre aisée, un système d'information géographique (SIG), notamment lorsque l'analyse est répétée pour simuler les effets de nouvelles infrastructures DFCI.

Certaines Directions départementales de l'agriculture et de la forêt (DDAF) et certains services départementaux d'incendie et de secours (SDIS) se sont dotés de SIG et de données qui permettraient de mettre en oeuvre cette analyse, comme par exemple ceux des départements des Alpes-Maritimes (Poppi et Duché, 1997), de

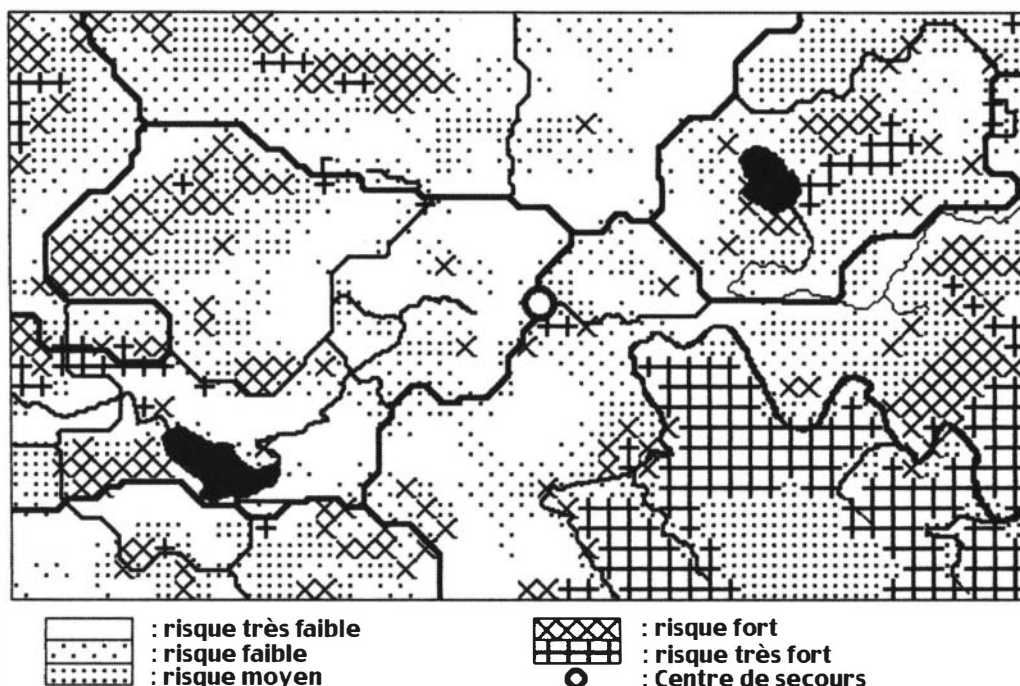


Fig 1 : Analyse stratégique de l'espace

l'Aude (Gueneret et Nicolas, 1992), des Bouches-du-Rhône (Vitalbo, 1997), du Gard, de Haute Corse, etc. Ils les utilisent pour des études locales, ou pour gérer les interventions des secours, mais pas encore de façon systématique pour déterminer les niveaux de risque de chaque point du territoire en vue de la prévention des incendies de forêts.

### Analyse stratégique de l'espace

Il s'agit de déterminer, en tout point du territoire où un feu peut éclore, si les premiers secours pourront maîtriser et éteindre le feu. Ils le pourront s'ils arrivent assez tôt, ou si le feu se propage lentement, et si les conditions de lutte sur la zone ne sont pas trop difficiles.

Sur chaque point du territoire, sont pris en compte : la probabilité d'éclosion du feu ; le temps d'accès du centre de secours voisin, ou du détachement d'intervention préventif le plus proche ; la vitesse présumée de progression du feu ; la difficulté de lutte (nature et pente du terrain, type de végétation) ; éventuellement, le délai de détection du feu.

On calcule ensuite un indice qui

combine ces divers paramètres pour cartographier le niveau de risque.

Les infrastructures à implanter dépendent du niveau et de la nature du risque. Cette analyse permet aussi de tester les choix de l'implantation des détachements d'intervention préventifs placés en des points stratégiques les jours à risque météorologique élevé ; elle permet d'établir les programmes et les itinéraires optimaux des équipes de surveillance.

### Analyse dynamique de l'espace

Cette analyse vise à estimer le risque lorsque le feu a échappé à la première intervention. L'incendie se propage et on calcule les dégâts qu'il peut faire avant d'être maîtrisé.

Elle consiste à localiser les biens les plus exposés aux incendies de forêts (en probabilité, en fréquence, et en valeur), en fonction de la probabilité d'éclosion du feu, de la combustibilité de la végétation, et de la nature des biens à protéger : un départ de feu est simulé sur chacun des points du territoire (en pratique sur les noeuds d'une maille de dimensions ad hoc) ; puis sa propagation est calculée et visualisée pendant une certaine durée ; enfin

deux indices sont calculés pour chacun des points du territoire en tenant compte de la probabilité d'éclosion, de la propagation observée, et de la valeur des biens atteints : risque induit, qui est affecté au point d'éclosion et qui estime les dégâts totaux induits par cet incendie ; et risque subi, qui est affecté à un bien donné et qui estime la probabilité des dégâts qu'il peut subir (Agence MTDA, 1996).

Cette analyse vise à l'implantation d'infrastructures DFCI efficaces pour le contrôle des éclosions et des incendies potentiellement dangereux qui auraient échappé à la première intervention ; elle devrait permettre de comparer l'efficacité des divers aménagements destinés à "casser" la progression de l'incendie avec ou sans des moyens de lutte : segmentation de l'espace combustible par des trouées linéaires ou des trouées "en parquets", biodiversité (essences et structures), infrastructures de lutte, etc.

### Analyse de la puissance du feu

L'incendie n'ayant pas été maîtrisé assez tôt, il arrive sur un site contenant des personnes et des biens, et le risque dépend alors de ses effets liés à la puissance du feu.

On calcule, en tout point du territoire (en pratique au voisinage des biens à protéger et en quelques zones particulières), la puissance du feu à partir de sa vitesse de progression (tenant compte de la topographie), et de la biomasse combustible (Agence MTDA, 1996).

Cette méthode permet de localiser les biens ou les personnes exposés à un risque, notamment dans le cadre d'un plan d'occupation des sols (POS). Les infrastructures à implanter visent à réduire la puissance du feu : bande débroussaillée de largeur fixée en fonction de la puissance du front du feu ; éclaircie des formations végétales ; aménagement de pare-feu, de cou-

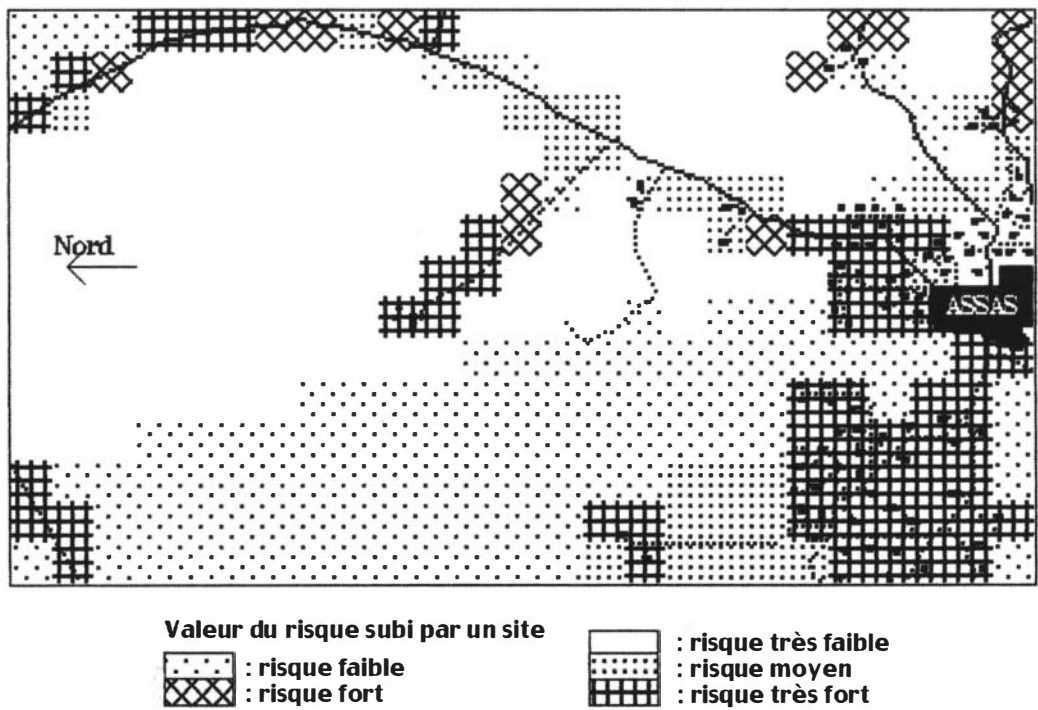


Fig 2 : Risque subi par un site

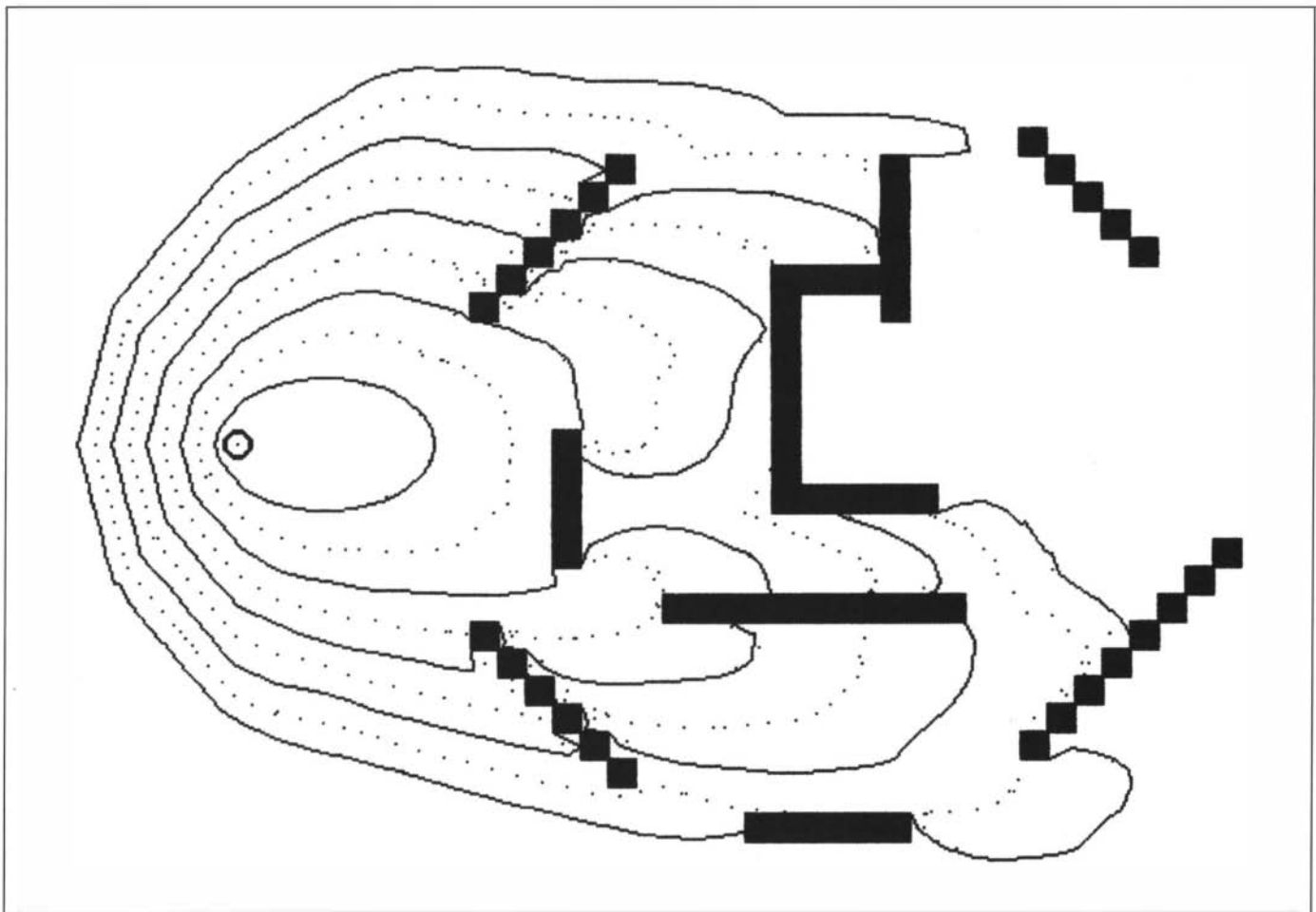


Fig 3 : Modèle feu ; propagation du front du feu en présence d'obstacles

pures linéaires ou en parquet ; système d'arrosage spécial.

## Simulation de nouvelles infrastructures

Ces méthodes permettent de simuler les infrastructures que l'on envisage d'implanter, et de calculer, par avance, leur efficacité relative ; de comparer plusieurs possibilités présumées équivalentes sur le plan technique ou financier ; ou encore les effets, sur le risque lié aux incendies, de l'évolution prévisible de la végétation ou de l'urbanisation dans une zone donnée.

Ces simulations multiples ne peuvent se faire sans l'aide d'un SIG, car elles impliquent des calculs répétitifs considérables quoique relativement simples.

## Aménagement de l'espace

La localisation des zones de diffé-

rents niveaux de risque conduit à l'aménagement de l'espace, pour ne pas créer de nouveaux risques là où il n'y en a pas, et les réduire ailleurs. Diverses incitations (financières ou réglementaires) permettront de favoriser ici, et de ne pas favoriser là ou d'interdire, certaines formes ou activités de l'agriculture, de la forêt, de l'industrie, des loisirs, de l'urbanisme, etc., selon les risques existants et leurs natures.

## Les modèles feu

Ces analyses de l'espace utilisent, explicitement ou implicitement, un "modèle feu", c'est-à-dire un outil plus ou moins élaboré qui permet de simuler, de façon plus ou moins précise, la propagation du feu dans l'espace combustible.

Le modèle feu doit représenter, pour des conditions extrêmes de l'état du combustible et des conditions météorologiques, soit la propagation

"moyenne" du feu éclos en un point donné, soit l'enveloppe "maximum" des incendies qui peuvent éclore en ce point (Chevrou, 1996), ou encore la puissance du feu en chaque point.

Les modèles existants (CARDIN en Espagne, FARSITE aux Etats-Unis, GEOFEU en France, SPARKS en Suisse, modèle feu du SDIS 13), utilisables sur ordinateur, semblent répondre assez bien à ces principes, quoiqu'ils puissent être améliorés. Le SDIS 13 des Bouches-du-Rhône utilise un modèle feu qui fournit, dans les secondes qui suivent l'alerte et pour les heures suivantes, la progression présumée de l'incendie de 15 en 15 minutes (Drouet, 1995). Le SDIS de l'Aude localise la pointe de tête du feu à l'arrivée estimée des secours ; il s'agit d'un modèle extrêmement simple, réduit à un vecteur. Dans ces deux cas, les secours peuvent être envoyés sur la tête du feu, là où le danger est le plus grand (anticipation), et non sur le point d'éclosion d'où les

pompiers verront le feu s'enfuir. Le modèle du SDIS 13 permet, en principe, de calculer les moyens à envoyer sur l'incendie en fonction du temps d'accès, de l'évolution de la lutte, d'éventuels changements météorologiques, etc.

Ces divers modèles peuvent être utilisés pour la formation des pompiers (Terral, 1996).

Il serait opportun de les utiliser pour l'information du public. Il est apparu, lors de démonstrations effectuées devant divers publics, que même des modèles feu très simples sont de nature à mettre en relief le risque lié aux incendies de forêts, en fonction de la répartition spatiale de la végétation, actuelle ou future (telle qu'elle peut être imaginée).

## 9. La population et les incendies de forêts : attitude et réponses

Une étude assez complète a été menée à l'initiative de l'Association Forêt Méditerranéenne, et publiée dans le numéro XV-2 d'avril 1994 de sa revue, sous la forme d'une série d'articles et de commentaires (Arnaud et al, 1994), d'où sont extraits les paragraphes suivants.

*"Nous sommes dans une société qui oublie les risques de façon générale. Pourtant, le risque (incendie de forêts) peut être évalué.*

*"On trouve de véritables quartiers totalement sous-équipés en matière de prévention et de lutte (circulation et accès difficiles, manque de voies de communication, réseau d'eau insuffisant).*

*"Il semble urgent de revenir à des normes de construction obligatoires, ce que prévoient les PZSIF (plan de zone sensible aux incendies de forêts), tels que volets pleins sur toutes les ouvertures, pas de revêtements extérieurs inflammables, murs épais, toits protégés...*



Photo 8 : Août 1990

*"Il ne peut y avoir efficacité que si prévention et lutte sont associées et que s'il existe une coordination des différents acteurs : pompiers, administrations, forestiers, élus, populations...*

*Les moyens existent pour limiter le risque d'incendie..., pourtant la situation n'évolue pas... Un élément de réponse se trouve dans le fait que la prise de conscience du risque n'est pas encore réelle d'un côté comme de l'autre...*

*"Les habitants des zones boisées... restent, le plus souvent, inconscients de la fragilité du milieu qui les entoure, ils n'ont aucune notion des risques qu'ils courent et qu'ils font courir à la forêt. Ceux qui en ont conscience restent cependant généralement persuadés qu'il n'y aura jamais le feu chez eux. Même lorsque l'on démontre, données à l'appui, aux propriétaires la réalité du danger, ils continuent à ne pas vouloir en tenir compte et respecter un minimum de règles de sécurité, ceci certainement parce que jusqu'à maintenant la menace que représentent les incendies de forêt sur les vies humaines reste faible voire inexistante.*

*"Ils se sentent en sécurité car le feu n'arrive qu'aux autres et l'expérience leur montre qu'en cas de sinistre les biens sont toujours protégés et rares sont les habitations subissant des dommages irréparables.*

*"Devant ces constats, il apparaît nécessaire de sensibiliser les populations et ceci passe en premier lieu par un réajustement du discours : ce n'est*

*pas la malveillance mais l'imprudence de tout un chacun qui est à l'origine de la majorité des sinistres. Les moyens déployés pour faire passer l'information auprès du public sont considérables pourtant les résultats escomptés ne sont pas atteints.*

*"Les gens veulent habiter dans des milieux naturels tout en étant en sécurité, ils doivent comprendre que cette sécurité a un prix et suppose un certain nombre de contraintes.*

*"En même temps, on constate que cette non prise en conscience est directement liée au degré d'implication des instances décisionnaires. Il y a corrélation indéniable entre habitants et élus : si il n'y a pas de volonté de prise en compte des uns, il ne peut y en avoir des autres et inversement.*

*"Divers exemples (locaux) mettent à jour l'existence d'une volonté politique de prévention, de lutte et de contrôle de l'urbanisation, volonté qui passe par une meilleure définition du risque avant tout. L'information, la sensibilisation des populations, de l'Administration et des élus sont une des premières clés du problème mais ne peuvent avoir d'effets si les enjeux et les priorités liés à l'habitat en forêt ne sont pas définis au préalable. Le risque doit être identifié et quantifié pour être crédible, il faut établir des statistiques d'incendies, dénombrer les habitations en danger, faire des simulations de feu pour qu'élus et populations réalisent les risques. Il existe ici un énorme effort de recensement puis*

Photo DDSIS Hérault

*de diffusion d'information à faire."*

Bref, on ne pourrait espérer une diminution des imprudences et une augmentation des mesures de prévention par les campagnes de sensibilisation et d'information traditionnelles. Le discours devrait être complètement modifié.

Il faut "dire le risque" ("*l'Etat identifie, dit et affiche le risque dans sa réalité objective*", Cochelin, 1994) ; cela consiste à le cartographier, comme cela a été fait pour les avalanches et les séismes. Il faut ensuite informer le public, non seulement en diffusant la carte du risque, mais aussi en montrant que le risque existe, par l'utilisation de modèles feu dans des exposés publics (réunions dans les communes, médias, cassettes vidéo, etc.), et par des exemples récents de grands incendies documentés et commentés publiquement.

Pour faire comprendre les risques des incendies de forêts, il ne faut pas cacher leurs conséquences : les dégâts, les blessés, les morts, dans le public et chez les pompiers. Il faut donc analyser les incendies, et publier les catastrophes qui serviront à illustrer les conséquences des imprudences de la population, tant pour les mises à feu que pour les protections individuelles actuellement insuffisantes.

## 10. Amélioration de la prévention et de la lutte

### Approche théorique : première frappe rapide et forte

La théorie actuellement en vigueur est décrite dans le "*Guide de stratégie générale*" de la Direction de la Sécurité Civile.

Ses objectifs sont d'empêcher les mises à feu (prévention), de maîtriser les éclosions au stade initial (frappe rapide et forte), de limiter les dévelop-

pements catastrophiques (grands incendies), et de réhabiliter les espaces incendiés.

En pratique, la structure du système atteint rapidement ses limites lorsque les conditions météorologiques sont très défavorables et que de nombreux feux éclosent un peu partout. Il faudrait 200 fois plus de moyens pour maîtriser tous les feux dès leur éclosion (Agence MTDA, 1992), ce qui est impossible à réaliser.

De même, on ne peut augmenter beaucoup les moyens aériens, déjà nombreux, car la circulation d'un grand nombre d'aéronefs dans un périmètre restreint ne pourrait être organisé avec sécurité sans le concours d'un Awacs (centre de contrôle aérien mobile), ce qui fait entrer dans une spirale financière infernale.

Néanmoins, le système actuel peut être amélioré pour lui permettre de maîtriser un plus grand nombre de feux naissants et pour réduire le nombre des grands incendies.

Il faut bien constater que tous les incendies de forêts finissent tôt ou tard par s'arrêter ou par être arrêtés (par les pompiers, la mer, ou la pluie). L'objectif à se fixer est donc de contenir tous les incendies avant qu'ils ne deviennent grands et catastrophiques, et, ultérieurement, afin qu'aucun ne dépasse le stade du petit feu.

Si les incendies les plus puissants ne sont pas maîtrisables temporairement dans certaines circonstances exceptionnelles, les grands incendies ne sont pas toujours des incendies puissants et les incendies puissants ne le sont, en général, que pendant de courtes périodes ; beaucoup d'entre eux auraient pu n'être que des petits feux ou des incendies moyens si la prévention et les infrastructures DFCI avaient été convenablement conçues, implantées, entretenues, et utilisées par les moyens de lutte.

Il faut construire une théorie raisonnable qui s'inspire, autant que faire se peut, de la théorie actuelle de frappe rapide et forte, sans outrance ni insuffisance.

Toute éclosion constatée doit être immédiatement contrôlée, c'est à dire que des secours sont envoyés sur les lieux pour maîtriser la progression du feu. Si le feu est constaté par un avion de surveillance qui dispose de moyens

en eau pour l'éteindre, il interviendra dans ce but tout en alertant les secours au sol qui, de toute façon, doivent intervenir pour empêcher les reprises de feu.

Lorsque le risque "météo" est élevé et que le feu éclôt dans ou près d'une végétation dense et sèche, il s'agit d'un grand incendie en puissance qui mérite une mobilisation immédiate de tous les moyens (équipes locales, renforts proches et éloignés, avions) que l'on renverra si l'incendie est maîtrisé avant leur arrivée. Par contre, lorsque le risque "météo" est faible et que le feu éclôt dans une végétation rase et claire, il n'est pas utile de mobiliser de suite trop de moyens de lutte, bien qu'il soit prudent d'envoyer immédiatement plus de moyens que nécessaire s'ils sont disponibles.

### Zonage selon la nature et le niveau de risque

Tout le territoire peut être analysé en vue de déterminer des zones de même niveau et de même nature de risque. On utilisera, pour ce faire, les méthodes d'analyse de l'espace décrites plus haut et déjà mises en oeuvre, avec les améliorations utiles. Et les zones à risque élevé feront l'objet d'analyses plus approfondies des experts.

On peut envisager une classification de forme générale suivante qui tient compte de la nature de la végétation, des infrastructures existantes, des biens exposés, et des moyens de lutte. Cette classification sera faite à petite échelle et ne s'appliquera donc ni à celle des PPR, ni à celle des POS.

- Les zones à risque faible où tout feu est facilement et rapidement maîtrisable ; le feu sera éventuellement laissé libre de se propager jusqu'à des limites fixées à l'avance sur lesquelles il peut être aisément arrêté. Ici, on préparera et on entretiendra les limites sur lesquelles l'incendie doit impérativement être arrêté : pare-feu, coupures, pistes d'accès, points d'eau, etc.

- Les zones à risque moyen ou fort. Tout départ de feu sera combattu avec des moyens appropriés au type de végétation et aux conditions météorologiques. Sur certaines de ces zones, où de nombreux biens ou personnes sont particulièrement exposés, on



enverra, dès l'alerte, tous les moyens de lutte disponibles à proximité, et les renforts seront mobilisés dès l'alerte, ainsi que les moyens aériens ; une cellule d'aide au commandant au feu sera formée pour être prête à fonctionner si, par hasard, l'incendie parcourt une surface limite fixée par avance pour la zone ; cette cellule comprendra des experts de diverses origines, notamment un pompier, un forestier, un météorologiste, etc.

- Les zones intermédiaires à risque faible en période de faible risque "météo", mais à risque moyen en période de haut risque "météo". Sur certaines d'entre elles, et selon le degré de risque "météo", l'incendie sera facile à maîtriser ou il sera laissé libre de se propager jusqu'aux limites prescrites. Sur d'autres, tout départ de feu sera combattu en envoyant un volume de moyens en proportion du risque "météo" et des biens exposés.

- Les espaces naturels où il n'est pas possible d'implanter des infrastructures DFCI "cohérentes", et celles où la lutte est impossible en raison de la nature du relief (karst, falaises, etc.), doivent être considérées comme livrées aux éventuels grands incendies, mais le feu doit impérativement être maîtrisé sur leurs frontières où l'on établira les coupures stratégiques. D'autres espaces naturels peuvent être traités de la même façon pour des motifs "écologiques", bien que cette option soit controversée, voire condamnée (Cochelin, 1995).

## Infrastructures DFCI

Les pistes permettent d'accéder aux éclosions et sur le front du feu, ainsi qu'aux points d'eau pour le ravitaillement.

Dans les zones à risque faible, on peut implanter des pistes étroites et longues puisque le feu est peu puissant, sa progression est lente, et il sera arrêté facilement par des coupures de combustible étroites, dont les pistes elles-mêmes. Néanmoins, il faut pouvoir accéder rapidement aux frontières de la zone, sur des coupures de combustible assez larges pour y arrêter le feu.

Dans les autres zones, le contrôle des grands incendies implique un réseau assez dense de pistes telles que les temps d'accès soient courts, et des

coupures de combustible conçues pour que les pompiers puissent y maîtriser l'incendie, ce qui suppose de pouvoir y circuler de part en part, d'y trouver des points d'eau et des systèmes d'arrosage, d'y exclure les obstacles de toutes natures (lignes électriques, pentes fortes, falaises, karst, etc.) qui gêneraient la lutte.

Les spécialistes conseillent de créer des réseaux de coupures parallèles à la direction principale (déduite de l'observation) de propagation de l'incendie, pour le cloisonner latéralement. Des coupures larges et bien équipées doivent être implantées dans la direction perpendiculaire en vue de l'y arrêter par des moyens au sol ou avec l'aide des aéronefs.

Les biens exposés seront protégés par des coupures de combustible assez larges pour atténuer les radiations thermiques, les fumées et gaz brûlants, et les explosions de gaz ou de poussières, et pour que les pompiers puissent aisément s'y tenir et combattre l'incendie. Lorsque c'est possible, et ça l'est le plus souvent, il faut prévoir en limite de zone urbanisée (ou à urbaniser) un système d'arrosage ou des conduites d'eau et des bornes qui permettent la mise en place rapide d'un tel système conservé dans la commune.

La voirie publique, notamment dans les lotissements "sous les verts ombrages", doit être assez large pour que les engins des pompiers puissent y circuler, en particulier lorsqu'une évacuation de la population s'avère simultanément nécessaire.

## Surveillance et prépositionnement

Les jours où le risque "météo" est grand, c'est à dire ces jours où, après une longue sécheresse, la température est élevée et le vent fort, ce que l'on prévoit 24 h ou 48 h à l'avance, des patrouilles de surveillance sont organisées par les forestiers et les pompiers sur le réseau des routes et des pistes DFCI et dans les airs ; des détachements d'intervention préventifs (DIP), modules d'intervention rapides (MIR), véhicules isolés d'intervention (VII) et autres groupes d'attaque (GA), sont placés en des points stratégiques, ce qui revient à sortir les pompiers et leurs engins de leurs casernes pour les

rapprocher des sites des éclosions probables.

Il est possible d'améliorer ces méthodes en utilisant un SIG disposant des logiciels développés pour des besoins similaires (desserte forestière, distribution et livraison du courrier, de colis, de matériels, d'alimentation, surveillance par la police, etc.), et en tenant compte des probabilités de mise à feu et d'éclosion liées aux routes, aux habitations, aux sites de loisir, etc.

Les itinéraires de surveillance conduiraient à parcourir les points les plus dangereux à des intervalles courts, les autres à des intervalles plus longs. C'est, peut-être, pour la surveillance qu'il serait possible d'augmenter notablement les moyens en mobilisant la population via les Comités communaux feux de forêts (Benoit de Coignac, 1990).

Les DIP, MIR, VII et autres GA seraient distribués de façon à minimiser les temps d'accès sur le territoire en fonction des probabilités d'éclosion, bien que la méthode actuelle, "pifométrie", puisse donner de bons résultats.

Un SIG permet, en outre, de déterminer les meilleures positions des tours de guet, d'où l'on peut voir un maximum de territoire en vue directe.

Dans tous les cas, l'expérience des spécialistes doit venir compléter l'analyse de la machine pour choisir les solutions les plus efficaces.

## Stratégies et tactiques de lutte

Il appartient aux services de la Sécurité Civile de définir les stratégies et les tactiques de lutte. De l'extérieur, on constate qu'elles sont adaptées aux problèmes qui se présentent et très efficaces.

Néanmoins, on constate aussi qu'il arrive que l'adaptation et l'efficacité soient mises en cause, notamment lors de grands incendies. On peut aussi constater que des problèmes similaires se sont présentés dans d'autres pays qui ont adopté des mesures propres à éviter ces "bavures" (Pyne et al, 1996), et dont on peut s'inspirer.

Nous suggérons que toute éclosion susceptible de devenir un incendie puissant, petit, moyen ou grand peu





Photo 9 : Assas 1991

Photo DDSIS Hérault

importe, soit combattu avec l'aide d'une "cellule de soutien" constituée dès l'alerte. Un feu susceptible de devenir puissant est un feu éclo dans ou près d'une végétation dense un jour de fort risque "météo", tout feu qui atteint une telle végétation un tel jour, et tout incendie qui prend une extension inacceptable que l'on pourrait fixer à 50 ha.

Cette cellule comprendrait un officier des pompiers comme directeur, un forestier, et un météorologiste. Son rôle n'est pas de diriger les équipes qui interviennent sur l'incendie. Il consiste à travailler dans le calme pour aider le commandant au feu ; à prévoir l'évolution de l'incendie dans le temps à l'aide de modèles feu et de l'expérience des hommes de terrain consultés dans ce but, ainsi qu'en fonction de l'évolution prévisible des conditions météorologiques ; à proposer des stratégies et tactiques de lutte adaptées à l'environnement, aux infrastructures DFCI, et aux biens exposés ; à mobiliser les renforts proches et lointains (en accord avec le CIRCOSC) ; à gérer les ravitaillements ; à "démobiliser" les renforts ; etc.

## Prévention et protection individuelle

Si des efforts importants sont entrepris pour informer le public et réduire le nombre des imprudences, il faut aussi montrer et démontrer au public

qu'il est exposé à des dégâts considérables, voire à des blessures, et même des pertes de vies humaines.

Le nombre des éclosions ne peut être réduit à zéro ; la végétation ne peut être totalement supprimée ; le comportement du feu est pour une grande part imprévisible ; des erreurs peuvent se produire au cours de la lutte effectuée dans des conditions particulièrement pénibles et dangereuses ; les pompiers doivent protéger en priorité la population et les biens ce qui dilue souvent leur force de frappe ; aussi, lorsque les conditions météorologiques seront très défavorables le feu se développera parfois en grand incendie, détruisant l'espace naturel et des immeubles, et exposant la population à des blessures ou des décès. C'est **inévitable**, et il faut absolument que le public en prenne conscience pour adopter les règles de protection nécessaires à titre individuel.

Il faut d'abord cartographier les zones de différents niveaux de risque et publier ces cartes. Les campagnes d'information s'appuieront sur ces cartes ; elles seront basées sur des documents d'archives qui montrent des incendies réels dangereux et leurs dégâts (photographies, films, vidéo) ; suivra une démonstration, à l'aide d'un modèle feu, de ce qui peut arriver dans la commune ou l'ensemble des communes voisines si un grand incendie s'y développe.

Concrètement, cette information

doit déboucher sur l'exécution des débroussaillages jusqu'au delà de ce qui est obligatoire ; sur la mise en place de grilles de protection dans les cheminées pour arrêter les brandons ; sur la protection des immeubles contre les radiations thermiques, les étincelles et les brandons : volets ignifuges sur toutes les ouvertures, toitures et rives de toit étanches, protection de tous les matériaux combustibles en façades, ou entreposés dans les cours et jardins, arrosage des maisons à l'aide de pompes thermiques protégées du feu et utilisant l'eau des piscines, etc.

Il faut, aussi, ouvrir les clôtures aujourd'hui infranchissables tels que les murs, les grillages, les portails cadénassés, qui sont une grande gêne pour les pompiers.

## Recherche

Les travaux de recherche sont nombreux en France (inflammabilité et combustibilité de la végétation, modèles de progression des feux, logiciels d'aide à la décision, etc.). Ils portent souvent sur des domaines jugés "valorisants" plutôt que sur d'autres qui le seraient moins tout en étant fort utiles.

Prenons le cas des modèles feu étudiés par plusieurs équipes : beaucoup d'entre eux sont des "copies" du modèle américain FARSITE qui est dans le domaine public, non pas qu'il ait été "volé", mais parce que les mêmes principes et les mêmes outils informatiques sont utilisés ici et là ; en Espagne, le modèle BEHAVE a été adapté aux conditions locales, ce dont on peut s'inspirer ; d'autres modèles conduisent à utiliser des données (carte et état du combustible) détaillées dont on ne disposera pas avant longtemps. En pratique et dans l'immédiat, on a besoin de modèles feu qui donnent l'enveloppe maximale probable de l'incendie (Chevrou, 1996), et plusieurs modèles existants peuvent fournir un tel résultat, éventuellement après quelques modifications et améliorations. Il faut les promouvoir, soutenir leur développement, et inciter les services à s'en doter.

Par ailleurs, certains travaux de recherche semblent être "farfelus" ; de grandes découvertes découlent de travaux a priori "farfelus", et *"la bonne science est toujours sur la frontière"*

*entre la folie et la raison*" (Witkowski, 1997) ; ce n'est pas aux fonctionnaires d'administration de décider ce qui est sérieux et ce qui est farfelu car cela conduit à scléroser la recherche (Lazar, 1997, Lawrence et Lecke, 1997).

Il est indispensable d'inciter, de promouvoir, et de soutenir les recherches sur les incendies de forêts, les sources de mise à feu, les éclosions, la propagation, l'évaluation des risques et leur cartographie, les infrastructures DFCI, les stratégies, et les tactiques de lutte.

Pour la connaissance des sources de mise à feu, il ne faut pas se limiter à celles qui ont fait l'objet d'une enquête formelle ayant conduit à les déterminer exactement. Beaucoup de celles "dites inconnues" sont, en pratique, identifiées assez clairement pour qu'elles puissent être prises en compte dans le calcul des probabilités de mise à feu en fonction de l'environnement (présence de routes, d'habitations, de zones de loisir et de promenade, etc.). On ne doit pas s'en tenir à une liste fixée une fois pour toute, et, le cas échéant, on doit désigner une cause de mise à feu non prévue par le règlement ou la liste "officielle" (il est vrai que cette liste comprend la catégorie "autres causes", pratique mais peu explicite).

Il faut déterminer les conditions qui conduisent de la mise à feu à l'éclosion puis à la propagation, pour estimer les probabilités d'incendie, ce qui sera utile pour la surveillance et pour la mise en place des DIP, MIR, VII et autres GA.

Il faut déterminer, pour chaque grand type de végétation, les vitesses maximales du feu, connaissance utile pour l'envoi des premiers secours (volume initial et renforts à mobiliser de suite), pour la stratégie et la tactique de lutte, pour améliorer les modèles feu.

Il faut améliorer le risque "météo" pour réduire le nombre de jours où l'on doit mobiliser tous les moyens de lutte ; cartographier la végétation et la biomasse ; améliorer les estimations de la puissance du feu pour savoir si l'on aura à combattre des incendies puissants, moyens ou faibles ; améliorer les prévisions météorologiques locales pour avertir les pompiers d'un changement de vent ; développer les méthodes

d'estimation et de localisation des zones à risques. Il faut classer les infrastructures DFCI susceptibles d'arrêter différents types de feu, déterminer leurs caractéristiques, rédiger et diffuser les tactiques de lutte à y mettre en oeuvre.

Il faut aussi rechercher de nouvelles stratégies et tactiques de lutte qui permettent de maîtriser les incendies rapides et puissants, qui utilisent au mieux les moyens aériens, qui réduisent le nombre des "bavures".

## 11. Conclusion

On ne peut pas agir sur les conditions météorologiques ; on ne peut pas supprimer la végétation des 15 départements du sud-est ; on ne peut pas surveiller tout, partout ; il sera difficile, et cela prendra du temps, de réduire le nombre des imprudences de la population (pour les mises à feu et la protection individuelle), autant que celui des imprudences des aménageurs, des aménagistes, et des pompiers (dépôts d'ordures "illégaux", infrastructures mal conçues ou mal entretenues, surveillance incomplète, gestion inadéquate de l'espace naturel ou de la forêt, tactique de lutte inadaptée, protection insuffisante des personnes et des biens, etc.). En conséquence, le nombre des mises à feu sera longtemps encore considérable, celui des éclosions de l'ordre de 2800 par an, et la surface brûlée de près de 30000 ha/an en moyenne.

On peut "dire le risque" en le cartographiant ; on peut mieux informer le public des risques auxquels il est exposé ; on peut espérer qu'il deviendra plus prudent, et qu'il prendra les mesures indispensables de précaution individuelle.

On peut améliorer la protection des biens et des personnes, en traitant convenablement l'espace plus ou moins "naturel" qui les entoure ; on peut améliorer la surveillance ; on peut améliorer les infrastructures de prévention et de lutte ; on peut améliorer les stratégies et les tactiques de lutte. On peut donc réduire le nombre des incendies moyens et grands, et leurs dégâts.

Les conditions météorologiques peuvent être très défavorables, la végétation peut être dense, sèche, et

combustible ; le comportement du feu est parfois imprévisible avec des phénomènes extrêmes qui le rendent incontrôlable ; les pompiers, qui travaillent dans des conditions très dangereuses, peuvent être débordés. Il y aura toujours quelques grands incendies. Mais ces conditions ne durent jamais que quelques heures, et, si les précautions susdites sont prises, on peut espérer tenir la plupart des grands incendies dans le cadre de ce qui est aujourd'hui celui des incendies moyens, et, ultérieurement, celui des petits feux.

**R.C.**

## Bibliographie

AGENCE MTDA, 1992, Schéma départemental de prévention des incendies de forêts, II-2, DDAF des Bouches-du-Rhône, 99 p.

AGENCE MTDA, 1996, Plan des zones sensibles aux incendies de forêts, communes de Bastia et Ville-di-Pietrabugno, DDAF Haute-Corse, 32 p.

ALEXANDER M.E., 1982, "Calculating and interpreting forest fire intensities", Can. J. Bot. 60, p 349-357.

ALEXANDRIAN D., 1995, "Intervention anti-incendie nécessaires sur la section courante des autoroutes", Options Méditerranéennes, Série. A/ n°25, p 121-131.

ARNAUD J-L., MARION S. ET BREUL N., 1994, "Feux de forêt et habitat", Forêt Méditerranéenne, XV-2, p 171-234.

BENOÎT DE COIGNAC G., 1990, "Les comités communaux feux de forêt et les grands incendies", Forêt Méditerranéenne, XII-1, p 62-65.

BENOÎT DE COIGNAC G., 1996, "La prévention des grands incendies de forêt", Forêt Méditerranéenne, XVII-2, p 97-106.

BERNARD M., 1997, "Prévoir les feux de forêts", Pour la Science, n°239, p 20.

BUTLER B.W., 1997a, "Comments on Storm King Mountain Technologies, Fire Shelter Tests", Wildfire, 6-3, p 23-24.

BUTLER B.W., 1997b, "Safety Zones and Fire Shelters : Some Observations from Forest Service", Wildfire, 6-3, p 36-40.

CHABOUD R., 1993, La météo - questions de temps, Nathan, Paris, 288 p.

- CHEVROU R.B., 1996, "Les modèles feu de forêt et leur utilisation pour la prévention", *Rev. For. Fr.*, XLVIII-5, p 446-462.
- CHEVROU R.B., 1998, "Protection des personnes et des biens contre l'arrivée d'un front de feu", *Rev. For. Fr.*, XLX-2.
- CIRCOSC, 1990, "La campagne feux de forêt 1989", *Forêt Méditerranéenne*, XII-1, p 54-55.
- CIRCOSC, 1992, "1990... Une année longue et difficile", *Forêt Méditerranéenne*, XIII-1, p 18-21.
- COCHELIN Y., 1992, Protection des Forêts contre les Incendies en Zone Méditerranéenne, Intérêt et faisabilité d'un compartimentage des massifs forestiers par des coupures stratégiques, Conseil Général du Génie Rural des Eaux et des Forêts, 96 p.
- COCHELIN Y., 1994, Rapport RESPOM, Sous-Groupe Incendies de Forêts, Conseil Général des Ponts et Chaussées, 51 p.
- COCHELIN Y., 1995, La Forêt Méditerranéenne : Paradoxes et Perspectives, Contribution à la définition d'une nouvelle politique forestière en région méditerranéenne, Conseil Général du Génie Rural des Eaux et des Forêts, 90 p.
- DEAN D.J., 1997, "Finding optimal routes for networks of harvest site access roads using GIS-based techniques", *Can. J. For. Res.* 27, p 11-22.
- DELABRAZE P., 1990, "Quelques concepts sylvicoles et principes d'aménagement de prévention et de prévision du risque-incendie", *Rev. For. Fr.*, XLII-n°spécial, p 182-187.
- DERCOLE R. ET DOLLFUS O., 1995, "la mémoire des catastrophes", *La Recherche*, n°279, p 932-934.
- DROUET J-C, 1988, Considérations sur le modèle de feu par vent arrière", *Forêt Méditerranéenne*, X-1, p 202-203.
- DROUET J-C, 1995, "Les feux de forêts", communication au colloque EXTREM, Marseille, 16 p.
- DROUET J-C, 1996, "Modèle de propagation feux de forêts", note DDSIS 13, Marseille, 13 p.
- DROUET J-C et Lt Feuillet, 1986, "Codis, ordinateurs et feux de forêt", *Face au Risque*, n° 225, p 37-60.
- DROUET J-C ET SOL B., 1990, "Incendies de forêts : mise au point d'un indice numérique de risques", *Revue Générale de Sécurité*, n°92, p 60-66.
- FAVRE P., 1992, "Feux et forêts", *Forêt Méditerranéenne*, XIII-1, p 31-40.
- FEINTUCH P. ET LENCI C., 1974, "Lignes électriques et incendies de forêts", *Rev. For. Fr.*, n° spécial, p 99-104.
- GUENERET C. ET NICOLAS F., 1992, "Mise au point d'un SIG pour gérer la lutte contre l'incendie. Multiples applications pour les collectivités territoriales à la clé", *Géomètre*, n°10, p 3-6.
- HIRSCH M., DUNETON P., BARALON P. ET NOIVILLE F., 1996, L'affolante histoire de la vache folle, Balland, Paris, 240 p.
- IARE, 1994, Schéma départemental d'aménagement des forêts contre l'incendie, Conseil Général de l'Hérault et DDAF de l'Hérault, 84 p. (IARE : Institut des Aménagements Régionaux et de l'Environnement).
- KRUSEL N. ET PETRIS S., 1993, "Staying alive : lessons learnt from a study of civilian deaths in the 1983 Ash Wednesday bushfires", *Hotsheet*, 2-1, p 3-19.
- LAMBERT B. ET PARMAIN V., 1987, "Les feux froids d'hiver. Bilan de la campagne réalisée du 15 février au 15 mars 1987 dans la montagne sèche des Pyrénées-orientales avec l'aide de l'Unité d'instruction de la Sécurité Civile n° 7", *Forêt Méditerranéenne*, IX-1, p 57-64.
- LAMBERT B. ET PARMAIN V., 1990, "Les brûlages dirigés dans les Pyrénées-orientales", *Rev. For. Fr.*, XLII-n°spécial, p 140-155.
- LAWRENCE A. ET LECKE M., 1997, "L'asphyxie programmée de la science", *La Recherche*, n°301, p 31-32.
- LAZAR P., 1997, "Evaluer, c'est choisir", *Pour la Science*, n° 231, p 9.
- LESGOURGUES Y., 1990, "Réflexions concernant les problèmes DFCI des espaces forestiers landais à la lumière des incendies du Porge-Lacanau", *Rev. For. Fr.*, XLII-n°spécial, p 57-71.
- MAGNE L., 1996, "Maîtriser le risque", in *Chercheurs d'énergie*, EDF, p 7-10.
- MCRAE D.J., FLANNIGAN M.D., 1990, "Development of large vortices on prescribed fires", *Can. J. For. Res.* 20, p 1878-1887.
- NINGRE J-M., 1996, "Les feux de forêt en 1996. En France, des surfaces détruites exceptionnellement faibles", *Forêt Méditerranéenne*, XVII-4, p 321.
- PEIXOTO DA EIRA J.M. ET NATARIO R.M., 1995, "Etude des causes des incendies de forêt dans sept communes de la région Centre du Portugal", *Options Méditerranéennes*, Série. A/ n°25, p 79-98.
- POPPI J-C. ET DUCHÉ Y., 1997, "Cartographie DFCI-SIG", *Informations DFCI*, n° 38, p 7-8.
- PUTNAM T., 1995, "Analysis of escape efforts and personnel protective equipment on South Canyon Fire", *Wildfire*, 4-3, p 42-47.
- PYNE S.J., P.L. ANDREWS ET R.D. LAVEN, 1996, Introduction to Wildland Fire, John Wiley & Sons, New-York, 769 p.
- RAGUS G., 1996, "Waging the Air War in France", *Wildfire*, 3-1, p 17-20.
- RIVALIN J-P, 1996, "Extraits du guide de stratégie générale de la Direction de la Sécurité Civile", *Information DFCI*, n°36, p 6-7.
- ROTH J., 1997, "Fire Shelter Performance", *Wildfire*, 6-3, p 16-22.
- SEIGUE A., 1990, "L'organisation de la protection de la forêt méditerranéenne contre l'incendie", *Forêt Méditerranéenne*, XII-1, p 71-80.
- SOL B., 1990, "Estimation du risque météorologique d'incendies de forêts dans le sud-est de la France", *Rev. For. Fr.*, XLII- n°spécial, p 263-271.
- STRAZZULLA J., 1991, Les incendies de forêt, Denoël, Paris, 242 p.
- TERRAL S., 1996, "Fighting talk", *GIS Europe*, 5-6, p 46-48.
- TEUSAN S., 1995, "France, Forest Fire Profile", *International Forest Fire News*, n°13, p 12-15.
- TRABAUD L., 1989, Les feux de forêts, mécanismes, comportement et environnement, France-Selection, Aubervilliers, 278 p.
- VALETTE J-C, 1988, "Notions générales relatives à la combustion", *Forêt Méditerranéenne*, X-1, p 197-201.
- VITALBO M., 1997, "Un système d'information géographique au service des sapeurs-pompiers des Bouches-du-Rhône", *Informations DFCI*, n° 38, p 10-11.
- WEICK K.E., 1995, "South Canyon Revisited : Lessons from High Reliability Organizations", *Wildfire* 4-4, p 54-68.
- WILDFIRE, 1994, "South Canyon Fire Investigation", *Wildfire*, 3-3, p 3-21.
- WILDFIRE, 1995, "OSHA's Investigation of the South Canyon Fire", *Wildfire*, 4-1, p 1-6.
- WITKOWSKI N., 1997, "Kisselev et Frolova, aventuriers du prion", *La Recherche*, n°301, p 24-26.

## Résumé

*Les surfaces brûlées diminuent, mais que se produira-t'il lors d'une future année sèche, chaude et ventée ? Nous proposons des moyens et des méthodes pour réduire le nombre des grands incendies : recherche plus précise des causes ; réduction de la puissance du feu et des phénomènes dangereux associés ; prise en compte des phénomènes physiques prévisibles pour la conception, l'implantation, et l'entretien des infrastructures DFCI ; cartographie et affichage du risque pour informer et pour prendre les mesures de protection adéquates ; aménagement de l'espace ; soutien de la recherche.*

## Summary

*The areas burnt by wildland fires in South-East of France are decreasing since 1991, but this trend is not statistically significant. For years with good climatic conditions, progress in fire prevention and in firefighting seem to be significant as a decrease of burnt areas can be seen, whereas they are increasing (not significantly) in bad years. Then, when considering a future year with bad climatic conditions, both optimism and pessimism seem to be in excess.*

*Several means and methods are proposed in the paper to improve efficiency of road and firebreak networks and of firefighting, to reduce the number of large wildfires.*

*Fire sources are many and various. Although the fire outbreak probability is very small for a single source of fire, the very large number of fire sources from careless behaviour leads to many fires. Fires may come from burning particles carried away by wind and thermals, far away from emitting sources like barbe-*

*cues, camp fires, fires in gardens, in building and industrial sites, etc. More surveillance is necessary to reduce the effects of carelessness. Agricultural and pasture burning have to be eradicated and replaced by controlled fires managed by appropriately trained specialists, with meteorologists to forecast wind changes. Being sources of many fires, rubbish dumps have to be monitored and surrounded by fuelbreaks and by roads to access the fires easily and rapidly.*

*Some wildland fires produce huge heat intensities as large as those of nuclear plants, and they cause very dangerous phenomena : radiant heat that can be lethal to some distance ; toxic gases and smoke ; explosion of hot gases or dust that create extremely hot aerosols with temperatures up to 1500°C which can burn lungs to death ; fire spotting, short (sparks carried by wind) or long (firebrands carried by thermals) ; whirls.*

*Any fuelbreak or firebreak should be thought, established and maintained taking into account physical phenomena that may occur, vegetation types, goods to be protected, as well as foreseeable fire types. For each strategic fuelbreak firefighting rules to be used (strategy and tactics) should be written in advance. It should be used more systematically firefighting tactics consisting in aerial drops of water and chemicals along a wide fuelbreak some distance ahead of advancing fire front, so that fire intensity is lessened when reaching this wetted line, and ground forces on this fuelbreak can fight and control the less intense fire more easily ; such a tactics would make possible to contain the most intense fires usually met in south-east of France. When a large fire may occur, it would be efficient to set up a special staff early enough, to help the fire commander ; this staff would work in the quiet and it could forecast fire*

*progress and intensity as well as wind changes, suggest appropriate strategy and tactics according to fire environment, manage reinforcements and supplies, etc.*

*Several methods exist for "space analysis" to locate and to map areas of same risk levels computed from fire outbreak probabilities, access facilities, firefighting conditions, combustibility, fire intensity, values of goods, and fire path estimated with fire models ; mapping the risk will help to take mitigation measures and to inform people for hazard. These methods permit to estimate to day risk as well as future one taking into account foreseeable changes in environment (expansion of wildland, housing, etc.).*

*All these available means and methods of prevention and firefighting have to be improved through research programs, and new ones should be invented, so that wildland fires be controlled earlier and the largest ones eradicated.*

## Riassunto

*Le superficie bruciate diminuiscono, ma che cosa accadrà al tempo di un anno futuro secco e ventoso ? Proponiamo mezzi e metodi per ridurre il numero dei grandi incendi : ricerca più precisa della cause ; riduzione della potenza del fuoco e dei fenomeni pericolosi associati ; presa in conto dei fenomeni fisici prevedibili per la concezione, l'impianto e la manutenzione delle infrastrutture DFCI ; cartografia e affissione del rischio per informare e per prendere le misure di protezione adeguate ; sistemazione dello spazio ; sostegno della ricerca.*

*DFCI : Difesa della Foresta Contro l'Incendio*