

LA DEFENSE DES FORETS CONTRE LES INCENDIES ET L'INFORMATIQUE ANALYSE STRATEGIQUE DE L'ESPACE

par Robert B. CHEVROU *

Introduction

A. Seigue (1990) cite les nombreux services de l'Etat, des Régions et des Départements concernés par la prévention des incendies de forêt et par la lutte. La distinction qu'il fait entre prévention et lutte ne semble pas coïncider avec les conceptions classiques, peut-être déjà trop anciennes.

Dans l'Encyclopédie des Sciences et des Techniques (1973, Vol 9, section Protection contre l'incendie) il est précisé que la prévention "englobe l'ensemble des activités administratives, scientifiques, techniques et philosophiques qui organisent et assurent la recherche, l'expérimentation, l'application et le contrôle des moyens, des mesures et des méthodes permettant de s'opposer à la naissance et à la propagation du feu, d'en limiter les effets directs et indirects sur les personnes, les animaux et les biens."

La prévision, deuxième volet, a pour objet "de définir la conduite à tenir et les moyens à mettre en oeuvre si, malgré les mesures de prévention prises, un incendie venait à se déclarer" (c'est-à-dire définir des tactiques de lutte).

L'intervention contre le feu, troisième et dernier volet du schéma, correspond à "l'action des premiers témoins et des services publics", après l'éclosion du feu et l'alerte.

La création d'ouvrages, ou les traitements sylvicoles particuliers, visant

à ralentir le feu, voire à l'arrêter, ou à réduire son énergie (préparation stratégique de la lutte et réduction des effets du feu), l'implantation de pistes destinées à faciliter l'accès des pompiers sur le front de l'incendie (logistique des transports), de points d'eau pour l'approvisionnement des engins de lutte (logistique du ravitaillement), semble donc, dans cette optique, ressortir de la prévention.

On peut aussi noter que, en matière d'incendie de forêt, la prévision aurait deux facettes ; l'une concernerait la définition de tactiques de lutte comme exposé plus haut, l'autre l'estimation des risques d'éclosion du feu selon les conditions météorologiques, ce qui, en général, est sans objet pour les autres types d'incendies.

En fait, ce qui distingue les incendies de forêt des autres feux tient à la nature et aux dimensions de l'espace concerné. Les incendies de forêt tou-

chent un espace naturel ouvert, combustible, plus ou moins continu sur d'immenses distances. De ce fait, la lutte met en oeuvre des tactiques mais aussi des stratégies d'intervention, et une terminologie particulière peut être justifiée.

La collaboration des services chargés de la prévention et ceux chargés de la lutte est indispensable: il faut planter les infrastructures de telle sorte qu'elles soient efficaces pour la lutte; et ces infrastructures doivent être effectivement utilisées par les pompiers.

J. Bonnier (1992) nous dit que de nombreuses organisations et personnes privées sont concernées directement ou indirectement par l'utilisation et la gestion de l'espace méditerranéen, et par la forêt, donc par les incendies.

Certains se réjouissent de constater un tel intérêt des services officiels et



Photo 1 : Incendie de Peynier (1986).

Photo Pierre Delabaze

* Chargé de mission D.F.C.I., Direction de l'espace rural et de la forêt - Ministère de l'agriculture et de la forêt D.D.A.F. 34 -34076 Montpellier cedex 2

du public; d'autres regrettent cette diversité qui serait à l'origine d'opinions divergentes et inconciliables. Quoi qu'il en soit, il nous semble essentiel que les divers intervenants parlent un langage commun et se réfèrent à des données objectives indiscutables.

S'il faut sans doute viser à éliminer les "idées fausses" par une information appropriée, il faut aussi que chacun puisse accéder à toute l'information disponible dont la masse demande des outils particuliers propres à la traiter efficacement.

Analyse de l'espace pour définir des infrastructures de prévention

La prévention demande une analyse assez approfondie du territoire à protéger pour y déterminer, en tout point, les risques d'éclosion et de progression du feu, et les risques induits de destruction des biens (extension possible ou probable du feu), ainsi que la densité des infrastructures qui permettent, ou permettraient, d'empêcher l'éclosion du feu et de le maîtriser; c'est une analyse stratégique de l'espace, en vue de l'aménager, avec l'objectif global de maîtriser les feux.

Cette analyse stratégique de l'espace demande aussi que soient déterminés les objectifs particuliers visés par les divers intéressés (propriétaires des biens, responsables politiques et administratifs des divers niveaux de décision concernés, services chargés de la lutte contre les feux, et tous les utilisateurs de l'espace) et les moyens qu'ils peuvent, ou qu'ils pourraient, mettre en oeuvre avant et pendant les incendies, notamment pour établir des programmes de financement des infrastructures et de leur entretien.

L'analyse stratégique d'un vaste territoire, par exemple un département, c'est à dire une superficie de l'ordre de 600000 ha, est un travail considérable comme le montre la mise en place des schémas directeurs d'aménagement des forêts contre l'incendie (S.D.A.F.I.). La structure de l'espace évolue dans le temps: création de nouveaux équipements économiques (réseaux de transport, usines); nouvel urbanisme plus ou

Déjà les nombreuses observations faites sur les feux passés ont été constituées en base de données et sont accessibles à tous via le Minitel (3615 Prometel).

Nous suggérons que la multitude de données disponibles (cartes, statistiques, documentation technique, etc...) soit mise à la disposition des services chargés de la prévention et de la lutte, voire du public intéressé, sous une forme ou une autre, par le biais de bases de données, de systèmes d'information géographique, et de systèmes-experts.

de mise en oeuvre des moyens de prévention et de lutte). Matériels, logiciels et certaines données, sont d'ores et déjà disponibles.

L'informatique fournirait alors, en un temps relativement court, des documents cartographiques élaborés, analytiques et synthétiques, qui faciliteraient l'investigation et l'intervention des experts et les choix des décisions techniques et politiques propres à programmer les investissements et à augmenter l'efficacité.

Nous nous proposons d'exposer, ci-après, comment l'informatique peut apporter une aide aux experts en matière de prévention. Divers projets sont en cours de réalisation pour essayer de résoudre des problèmes locaux particuliers, mais on peut imaginer de les rassembler et de construire un système complet informatisé, fourni "clefs en mains", convivial et simple d'emploi, qui couvrirait la plupart des aspects de l'analyse stratégique de l'espace en matière de prévention.

Bien entendu, l'informatique pourrait s'avérer d'une grande utilité pour la lutte, certainement en ce qui concerne la stratégie et le choix des options d'intervention lors de feux simultanés, mais aussi en ce qui concerne la tactique: d'une part pour la formation des hommes, et d'autre part pour la lutte sur le feu; encore que le pompier armé d'une batte à feu ou d'une lance d'incendie ne pourra, en aucun cas, être remplacé par un ordinateur, quand bien même serait-il portable!

Divers projets sont en cours de réalisation pour résoudre des problèmes particuliers (gestion d'alerte, estimation du type de feu lors de l'arrivée des secours sur les lieux : logiciel expert-graph de l'Ecole des Mines de Paris, Wybo - Carrega, 1990).

Notre compétence est insuffisante en matière de lutte contre le feu pour que nous nous mêliions d'exposer tout ce que l'informatique pourrait y apporter.

Nous pensons, toutefois, qu'il serait utile, voire indispensable, que les outils informatiques développés pour la prévention d'une part, pour la lutte de l'autre, basés sur les mêmes données (cartes) et les mêmes éléments d'analyse (combustibilité), le soient sinon en commun au moins en concertation, car la prévention doit tenir compte des



Photo 2 : Fractionnement de l'espace bien visible sur une photo aérienne.

Photo D.A.

besoins de la lutte (inutile de créer une infrastructure qui ne sera pas utilisée), et la lutte des réalisations de prévention (connaître les accès, les points d'eau, les coupures stratégiques, etc...).

L'informatique serait aussi un outil

précieux pour gérer l'entretien des infrastructures de prévention et connaître leur état en permanence, une infrastructure (piste, réservoir) n'ayant d'utilité que dans la mesure où elle est en état d'assurer ce à quoi elle est destinée.

Un S.I.G. est donc essentiellement un outil d'analyse de l'espace et, accessoirement, un logiciel de dessin qui permet de saisir des données cartographiques et de restituer ces données et les résultats des analyses sous forme de cartes.

En matière de D.F.C.I., un S.I.G. haut de gamme permettrait d'analyser tous les points d'un territoire départemental ou régional:

- pour estimer le risque d'éclosion d'un feu compte tenu de l'heure, du jour, de la saison, de la localisation, de la nature de la végétation, de son état hydrique, de la météorologie locale, et de tout autre critère adéquat;

- pour estimer le risque de propagation du feu compte tenu des mêmes critères, ainsi que de la biomasse, du relief, des obstacles, des interventions possibles (délais et moyens mis en oeuvre);

- pour estimer l'extension maximum, possible, ou probable du feu;

- pour programmer les infrastructures à créer ou à modifier pour limiter cette extension du feu.

Les “modèles accès”

Un “modèle accès” est un logiciel informatique qui calcule la distance entre deux points de l'espace selon un itinéraire contraint (conditions de circulation, de pente, etc...), et le temps de parcours de l'itinéraire.

Les logiciels des S.I.G. performants permettent de déterminer l'itinéraire le plus court en distance, et il est assez facile d'en déduire l'itinéraire le plus court en temps de parcours, sous réserve de disposer des vitesses de déplacement des véhicules sur les divers tronçons de l'itinéraire; il serait très facile de constituer les bases de données correspondantes, à savoir:

- des cartes des réseaux d'accès (routes, pistes, nature du terrain) constituées en bases de données cartographiques; on peut utiliser la base de données cartographiques de l'Institut géographique national (I.G.N.) pour les routes, et la compléter par la saisie des pistes de différentes natures portées sur les cartes D.F.C.I. au 1/25000;

- des vitesses de progression des di-

Systèmes d'information géographique (S.I.G.)

Dans ce qui suit il sera proposé d'utiliser des systèmes d'information géographiques (en abrégé S.I.G., prononcer “sigue” ou “essigé”).

Un S.I.G. est un ensemble de matériels, de logiciels et de données cartographiques.

Matériels et logiciels vont de pair: les logiciels puissants fonctionnent sur des matériels puissants (stations graphiques, gros systèmes); les logiciels les plus simples peuvent fonctionner sur des ordinateurs de bureau (PC), mais il faut, pour des S.I.G. du type de ceux que nous envisageons d'utiliser, des ordinateurs de bureau haut de gamme.

Les données géographiques constituent des masses considérables lorsqu'on s'intéresse à un vaste territoire, un département par exemple. La gestion et l'archivage de ces masses de données impliquent des matériels spéciaux (disques durs ou disques optiques de très grandes capacités), et les procédures particulières des grands centres de calcul.

Aujourd'hui, on nomme S.I.G. un ensemble de matériels, de logiciels et de données qui permet d'analyser les rapports topologiques et géométriques entre les éléments constituant l'espace (points, lignes, polygones), en tenant compte de leurs caractéristiques (désignation, localisation, contenu, dimensions, propriétés physiques ou autres, etc...); sont ainsi écartés les logiciels de D.A.O. (Dessin Assisté par Ordinateur) et les logiciels de traitement d'image qui viennent cependant en complément. Les données sont constituées en bases de données relationnelles. Les logiciels cartographiques du S.I.G. et les programmes qui en découlent doivent pouvoir être reliés à des gestionnaires de bases de données relationnelles (DBase, Oracle) pour compléter les données internes au S.I.G., à des langages de programmation (Pascal, C, statistiques, etc...) pour effectuer des calculs complexes, et à des logiciels de traitement d'images satellitaires.

vers types de véhicules de lutte contre le feu, et celles des hommes à pied, sur les routes, les pistes, et en terrain naturel (selon nature, pente, obstacles), enregistrées dans les bases de données associées aux données cartographiques, ou dans des bases de données alphanumériques accessibles au S.I.G.

L'analyse stratégique de l'espace conduit alors à zoner le territoire en fonction des temps d'accès des divers centres de secours aux points du terrain; à mettre en relief, par exemple, les zones où les temps d'accès sont trop longs; ces zones devraient être dotées de pistes d'accès nouvelles, ou bien les pistes d'accès existantes devraient être améliorées (pour y augmenter les vitesses de circulation des véhicules). Il s'agit, ici, de réduire les temps d'intervention selon une politique suivie depuis plusieurs années qui a montré son efficacité en réduisant le nombre des feux de plus de 50 ha.

Le projet développé par le département de l'Aude (D.D.A.F., S.D.I.S., Conseil général) consiste à déterminer les chemins les plus courts entre les centres de secours et le point où un feu a été signalé, ce qui constitue une variante "tactique" de l'analyse stratégique décrite ci-dessus.

On pourrait aussi calculer, pour tout point du territoire, la distance au point d'eau le plus proche, ou, pour une équipe de lutte type, la quantité d'eau disponible par unité de temps et par tranche horaire jusqu'à épuisement des réserves, ce qui permettrait d'évaluer, éventuellement de modifier, la distribution spatiale des réservoirs d'eau.

Des modèles accès sont couramment utilisés : pour le choix des itinéraires de ramassage scolaire en milieu rural, pour le marketing (Chasport, 1992).

Les logiciels existants pourraient être mis en oeuvre pour :

- analyser les caractéristiques des mises à feu par rapport au réseau routier;

- organiser la surveillance en fonction du réseau routier et de la localisation des départs de feu observés (projet de la D.D.A.F. et du SDIS de Haute-Corse);

- déterminer les meilleures implantations des équipes de secours mobiles;

- organiser l'intervention des secours sur un feu réel (lutte active) ou hypothétique (formation).

Inflammabilité et combustibilité



Photo 3 : Incendie de Collobrières (Var) - 1990 - Rejets sur chêne liège.

Photo Pierre Delabraise

Les cartes de la végétation existantes permettent d'avoir une première estimation, plus ou moins approximative, de l'inflammabilité et de la combustibilité de la végétation: carte de la végétation du C.N.R.S., carte forestière du service de l'Inventaire forestier national (I.F.N.) déjà constituée en base de données cartographiques (carte maillée au pas de 25m), cartes d'aménagement forestier, cartes de combustibilité dessinées ici ou là.

La carte forestière de l'I.F.N. présente l'intérêt d'exister déjà sous forme de fichiers informatiques, mais aussi de pouvoir être complétée par plusieurs types de données utiles relevées ou calculées par l'I.F.N.: d'abord les volumes de bois, d'où l'on pourrait déduire des estimations de la biomasse forestière aérienne (masse des troncs, branches et feuilles) des essences forestières recensables; ensuite, pour les départements du sud-est, une partie de la biomasse non forestière (arbustes de diamètre à 1,30 m au moins égal à 4 cm); enfin nature, stratification verticale et couverture de la végétation totale.

Toutes ces données permettraient d'affiner les estimations de l'inflammabilité et de la combustibilité des formations végétales cartographiées par l'I.F.N., notamment en ce qui concerne l'énergie et la puissance du feu.

Analysées au sein d'un S.I.G., ces cartes permettraient de déterminer, en

tout point du territoire, sous des conditions météorologiques fixées (moyennes ou sévères ou autres), le risque d'inflammabilité et les risques déduits de la combustibilité (vitesse de progression du feu, surfaces parcourues par le feu par unité de temps grâce aux formules existantes), ainsi que les surfaces exposées au feu (surface maximum parcourue, possible ou probable).

On pourrait en déduire divers zonages analytiques et synthétiques de l'espace, en fonction de ces divers risques, et, en confrontant ces résultats à ceux déduits des modèles accès (voir ci-dessus), il serait possible d'affiner l'analyse des infrastructures nécessaires :

- pour réduire les temps d'accès dans les zones très combustibles, où l'extension du feu entraînerait des risques importants;

- pour augmenter les réserves d'eau dans ces mêmes zones;

- pour étudier des infrastructures de prévention (pare-feu, coupures de combustible, pistes, réservoirs), ou des stratégies et tactiques de lutte adaptées à ces zones;

- pour réduire la densité et les entretiens des infrastructures dans les zones de faible combustibilité où les risques objectifs sont nuls ou très faibles.

L'estimation des superficies susceptibles d'être parcourues par un feu non maîtrisé déterminerait l'opportunité de la création et la localisation de coupures

susceptibles d'arrêter la progression du feu: pare-feu en protection rapprochée; coupures de combustible pour réduire le rythme du feu; "coupures stratégiques" comme support de la lutte; grandes coupures agricoles ou pâturees faiblement combustibles pour limiter l'extension possible de l'incendie. On peut aussi envisager de modifier la structure de la végétation (débroussaillement, réduction de la biomasse par éclaircie, sylviculture appropriée, etc...).

Bien entendu, il sera nécessaire d'améliorer les données existantes, de les compléter, de mettre à jour les cartes de la végétation (avec des images satellites par exemple), et de mieux estimer l'inflammabilité et la combustibilité. Des systèmes-experts devront être construits pour aider les techniciens de la prévention à faire les choix les plus efficaces.

Les travaux de recherches devront être poursuivis pour déterminer la vitesse de progression et la puissance du feu dans les divers types de végétation (selon nature et biomasse).

Certaines coupures agricoles, et plus généralement certains terrains présumés non combustibles, ne sont pas susceptibles d'arrêter le feu car ils contiennent des terrains mal entretenus où le feu peut se propager dans la végétation sèche: par exemple des cultures envahies par des herbes; des lignes d'herbe ou de broussailles sur les haies, bords de talus, de chemins et de canaux, qui partitionnent l'espace. La carte de la végétation devra être complétée pour prendre en compte ces "passerelles à feu" dans la mesure du possible (images satellites).

L'énergie du feu peut être élevée quand la biomasse combustible est grande. Cela peut créer des ascendances thermiques à l'origine de sauts de feu, même par vent faible (McRae et Flannigan, 1990) ; elles entraînent à grande hauteur des matériaux enflammés; le vent, même faible, peut alors les transporter sur d'assez longues distances (plusieurs hectomètres) et ils retombent en créant de nouveaux départs de feu. Le relief lui-même est source de telles ascendances. La réduction de la biomasse végétale et forestière en bordure des coupures destinées à arrêter la progression du feu, réduirait ou supprimerait l'éventualité de sauts du feu de cette origine. La carte forestière de l'I.F.N. permettrait de localiser les zones concernées (forte biomasse à proximité de coupures).



Photo 4 : Coupure agricole dans les Maures - Emprise sur l'espace.

Photo Millo-Lecomte / FOMEDI

Biens à protéger

La carte des biens à protéger (localités, hameaux, usines, bâtiments isolés, voies ferrées, autoroutes et routes, lignes aériennes d'électricité, certains peuplements forestiers d'intérêt économique ou écologique, certains sites naturels, etc...) confrontés aux résultats précédents, permettraient d'estimer les risques objectifs directs ou

induits (en cas de feu non maîtrisé).

On en déduirait l'opportunité de créer des infrastructures spéciales de protection de ces biens (pare-feu, grandes coupures), ou de modifier la structure de la végétation à leur voisinage, pas seulement par débroussaillement, ce qui peut être tout à fait insuffisant pour certains d'entre eux.

Relief et obstacles

La carte des obstacles compléterait les zonages précédents. Ces obstacles sont de deux sortes: les uns s'opposent à la progression du feu (pare-feu, coupures de combustible, grandes coupures, rivières, étangs, lacs, et tous terrains non combustibles, etc...) ; les autres s'opposent aux secours aériens ou terrestres (lignes électriques, tours, relief, falaises, rivières, voies ferrées, etc...).

Les infrastructures de prévention doivent tenir compte de ces obstacles pour organiser l'espace et s'opposer à l'extension des feux en les complétant judicieusement pour:

- renforcer les obstacles naturels ou artificiels pouvant s'opposer à la progression du feu;

- installer des accès en des lieux choisis pour faciliter le franchissement des obstacles par les secours;

Des logiciels déterminent d'après le relief le territoire vu directement d'un point d'observation fixé. Ils permet-

traient d'évaluer les positions des tours de guet existantes et des autres points de surveillance (projet réalisé par l'I.G.N. pour la D.D.A.F. des Pyrénées Orientales), et de définir un réseau d'observation d'efficacité maximum.

Le relief détermine partiellement la force et la direction du vent, voire l'état hydrique de la végétation à travers l'exposition; en conséquence il a un effet sur la vitesse de progression du feu. Il semble donc important d'en tenir compte dans l'estimation de l'inflammabilité et de la combustibilité de la végétation.

Les effets du relief sur l'écoulement des masses d'air peuvent être à l'origine des sauts du feu: les "cheminées" des falaises peuvent créer des ascendances thermiques; des brûlots peuvent être entraînés à grande vitesse sur des pentes nues ascendantes pour porter le feu en crête ou sur l'autre versant (utilité de l'implantation de barrières végétales ou inertes).

Le relief joue un rôle dans l'utilisation des modèles feu dont il sera question plus loin.

La carte du relief existe en base de données numériques: il s'agit de la base de données altimétriques de l'I.G.N. par mailles au pas de 75 m ou plus. Cette base de données permet de

reconstituer les courbes de niveau, les pentes et l'exposition. Elle doit être complétée par l'imagerie satellitaire ou par la saisie des petites falaises et autres reliefs de ce type qui échappent au maillage de 75 m, et qui existent, au moins pour certains, sur les cartes au 1/25000^{ème}.

Feux observés dans le passé

La carte des feux observés dans le passé permet de localiser divers risques objectifs.

La répartition sur le territoire des éclosions de feu observées dans le

passé peut être analysée en relation avec la voirie, les habitations, les travaux saisonniers, etc... Il faut, cependant, noter que toutes les éclosions ne sont pas détectées, mais seulement



Photo 5 : Reprise d'incendie à Rochefort du Gard - 1986.

Photo Pierre Delabrage



Photo 6 : Collobrières après l'incendie de 1990.

Photo Pierre Delabrage

celles qui ont créé des feux de quelque importance. Sur 100 tentatives de mise à feu naturelles ou anthropiques, la proportion d'éclosions dépend des conditions météorologiques et de l'état de la végétation; parmi ces éclosions, l'extension du feu dépend des mêmes facteurs, le feu pouvant s'éteindre de lui-même si l'humidité de la végétation est localement assez élevée; parmi ces feux, la progression de l'incendie sera plus ou moins rapide selon la vitesse du vent et l'état de sécheresse de la végétation. 100 mises à feu accidentelles un jour de pluie ne seront même pas remarquées, ni enregistrées; les mêmes 100 mises à feu un jour de sécheresse et de grand vent donneront une multitude de feux et l'impression d'une "action concrète" de quelques pyromanes.

La carte des surfaces incendiées permet de déterminer la fréquence de passage du feu en tout point du territoire. En cette matière l'analyse doit être prudente car la suppression de la végétation arrête la progression des feux ultérieurs pendant quelques années.

L'expérience des feux du passé peut être très utile, mais elle est limitée par l'évolution nouvelle de l'espace: la déprise agricole et l'extension des forêts, des broussailles et des friches qui en résulte, le nouvel urbanisme et la dispersion de l'habitat, modifient notamment les risques actuels et futurs par rapport aux risques passés. La continuité de l'espace combustible, le dynamisme de la végétation, l'augmentation de sa densité, qui caractérisent l'évolution actuelle, font craindre l'occurrence d'incendies beaucoup plus catastrophiques que jamais, qui détruirait des dizaines de milliers d'hectares. L'évolution de l'urbanisme et des stratégies de prévention peuvent modifier la répartition des mises à feu d'origine humaine.

Autres éléments à cartographier

Divers autres éléments devront être cartographiés en tant que de besoin, notamment les décharges qui sont, bien souvent, à l'origine de feux de

végétation, et qu'il faudrait supprimer ou ceinturer d'obstacles "anti-feu", ainsi que d'autres lieux d'activité susceptibles de créer des feux.

Cette cartographie des décharges et des autres sources de feu serait certainement un moyen propre à en assurer la suppression; la programmation pourrait être visualisée et évaluée annuellement, voire plus fréquemment. Les ouvrages artificiels (lignes électriques par exemple), aussi bien que certaines conformations de relief (cols, défilés), peuvent créer des "couloirs à vent", ou accélérateurs du feu, et leur cartographie sera indispensable. Cette cartographie pourrait être effectuée automatiquement par système-expert, en tenant compte de la végétation (hauteur et densité des arbres) et du relief.

Systèmes-experts

Des systèmes-experts, le plus souvent relativement simples, devront être créés pour affiner l'analyse stratégique de l'espace aussi bien que pour l'étude de l'implantation des infrastructures de lutte contre le feu.

Nous avons cité, plus haut, le système expert-graph de l'Ecole des Mines de Paris (Wybo - Carrega, 1990), qui détermine une typologie du feu à l'arrivée des secours en tenant compte de plusieurs éléments : le temps d'accès, la nature de la végétation, et les conditions météorologiques instantanées relevées par des stations automatiques.

Les couloirs à vent seraient pris en compte dans l'analyse stratégique de l'espace par l'intermédiaire de systèmes-experts très simples; le risque d'accélération du feu est lié à la direction du vent et à la structure du couloir (rapport hauteur sur largeur), et le zonage dépendrait des conditions atmosphériques étudiées (force et sens du vent).

Les choix des essences de reboisement, de la sylviculture, de la densité de la végétation, pourraient être étudiés à l'aide de systèmes-experts qui tiendraient compte du sol, de l'exposition, du climat, des essences, etc... à l'image des tableaux publiés par le CEMAGREF (choix des essences de reboisement).

De même, l'emplacement des pistes

et des pare-feu, leur largeur, la nature de leur surface, la biomasse maximum de la végétation qui les bordent, pourraient être définis à l'aide de systèmes-experts qui tiendraient compte des connaissances actuelles: techniques utilisables selon type de sol, relief, végétation, mais aussi règlements en vigueur en ce qui concerne, par exemple, la protection de l'environnement ou les règles d'urbanisme.

Il est à noter que des logiciels S.I.G. existants facilitent la création des routes et des pistes en calculant les volumes de déblais, de remblais, les distances de transport, et tout ce qui concerne la réalisation des travaux sur le terrain; il faut, bien entendu, disposer d'une carte numérique du relief.

L'utilisation d'un S.I.G. pour l'étude du projet de construction d'une piste ou d'un pare-feu permettrait d'inclure facilement cette infrastructure dans la base de données dès la fin des travaux sur le terrain.

Modèles feu

Un modèle feu est un logiciel qui représente la progression du feu sur une carte, en pratique sur l'écran d'un ordinateur.

Pour représenter correctement la progression d'un feu, le modèle doit tenir compte des éléments suivants :

- la météorologie du jour : sens et force du vent, humidité, température;

- la végétation : types de végétation, état hydrique;

En pratique, il faut pouvoir déterminer le sens et la force du vent local en tout point du front du feu; ils dépendent du vent zonal, du relief local, de la rugosité du terrain (sol nu ou avec végétation), voire de certaines configurations spatiales (couloirs à vent), mais aussi des interactions éventuelles entre l'incendie, l'atmosphère, la végétation et le relief.

Le modèle vent détermine le vent local en fonction du vent zonal, du relief, et de la rugosité du terrain; il nous semble que les interactions entre énergie du feu et atmosphère, végétation, relief, devraient être traitées par ailleurs (à l'intérieur du modèle feu);

La combustibilité de la végétation en tout point du front du feu dépend de son type mais aussi de son état hydrique déterminé par la réserve en eau du sol, donc par le type de sol et par la météorologie cumulée des derniers jours,

semaines et mois, les pluies reconstituant la réserve en eau du sol et la sécheresse la réduisant, ainsi que par les effets directs ou indirects du feu en cours.

Le modèle végétation détermine la combustibilité en fonction du type de végétation et de la réserve en eau du sol. Il nous semble que les effets du feu sur la combustibilité devraient être traités par ailleurs (modèle feu).

Les modèles feu qui seront utilisés, dans un avenir assez lointain, pour l'aide à la lutte tactique devront être très précis; ils devront représenter l'évolution du feu, sa progression, les températures sur le front, les éventualités de sauts du feu, etc..., avec une précision de l'ordre de quelques dizaines de mètres.

Il est assez facile de représenter la progression spatiale d'un phénomène. Rimbart, 1991, a montré qu'on peut modéliser la progression d'un feu de forêt sur un ordinateur bas de gamme; l'auteur propose au lecteur un modèle feu et un modèle de tactique de lutte simples pour ordinateur de type 80x86 avec écran GA couleurs (lui adresser une disquette 3"1/2, 1,44 Mo). Des modèles plus complexes existent: le modèle CARDIN développé par les forestiers espagnols; le simulateur GEOFEU développé par M.T.D.A. et GEOIMAGE (1992). Mais on est encore loin de pouvoir représenter convenablement avec une précision de localisation inférieure à 100 mètres, le vent local et la combustibilité de la végétation qui déterminent la progression du feu.

Il n'est donc pas question d'obtenir prochainement des modèles feu tactiques, d'autant plus que les phénomènes concernés (vent, végétation, combustion) semblent être de nature chaotique et très difficiles à modéliser (Chevrou, 1992).

On peut toutefois observer que l'utilisation de modèles feu n'est pas réservée à la seule lutte tactique. Des modèles moins complexes (par exemple le modèle elliptique de J.C. Drouet), voire très simples, ayant une précision de localisation de l'ordre de quelques centaines de mètres, représentant approximativement la progression "moyenne" du feu, seraient utiles pour la prévention (estimation de l'extension maximum de l'incendie, étude de l'efficacité d'une infrastructure), pour la stratégie (choix de la répartition des moyens de lutte lors de feux simultanés), et pour la formation (modèle feu combiné à un modèle accès).

Ces modèles feu seraient particulièrement utiles pour montrer ce qui pourrait arriver en cas de conditions météorologiques inhabituelles, pour lesquelles l'expérience est limitée, voire inexisteante.

En matière de prévention, les conditions de vent et de combustibilité sont fixées arbitrairement, en général sévères car les infrastructures doivent pouvoir arrêter ou ralentir les feux les plus graves. Le modèle végétation peut être simple (combustibilité extrême en tout point de l'espace). le modèle vent peut être construit pour tenir compte des seuls éléments essentiels du relief et des configurations particulières du terrain. On pourrait accepter des estimations approximatives de la vitesse de progression du feu et de son énergie.

Dans l'optique du projet du département de l'Aude (calcul des itinéraires pour se rendre sur le feu), des modèles feu relativement simples permettraient d'estimer les positions futures successives du front du feu, et de déterminer les itinéraires condui-

sant au front du feu, au lieu de ceux conduisant au point d'éclosion.

Cela pour montrer qu'il serait opportun de fixer des objectifs précis aux tentatives actuelles de construire des modèles feu, qui nous semblent être trop ambitieuses et trop calquées sur les modèles construits en Amérique-du-Nord qui pourraient être inadaptables aux conditions méditerranéennes. Un bon choix d'objectifs doit permettre de construire des modèles feu utiles pour la prévention dans un délai assez court. Il sera possible, par la suite, de compléter les objectifs et de les modifier pour obtenir des modèles feu de plus en plus précis, qui permettraient de mieux évaluer l'efficacité des infrastructures existantes ou à créer, et qui seraient utilisables en matière de formation, de stratégie et, ultérieurement, de lutte.

Il serait prudent de tester les modèles feu dans le cadre de la prévention avant de les utiliser pour guider la lutte. L'utilisation de modèles feu pour guider les choix de tactique de lutte traduit d'ailleurs une vision optimiste de l'avenir.

menter le nombre de zones.

On peut calculer un indice prévisionnel pour les jours à venir en fonction des prévisions météorologiques, et un indice "instantané" en fonction des observations faites par la centaine de stations météo automatiques réparties sur les 15 départements.

La carte de la végétation et la carte des sols permettraient de calculer cet indice sur des zones plus petites et d'améliorer ainsi l'estimation des risques et l'organisation de la surveillance.

Un S.I.G. permettrait d'analyser simultanément les risques "objectifs" déduits de l'analyse stratégique de l'espace, et ceux estimés par l'indice météo, et d'apporter une aide à l'organisation stratégique de la surveillance et de la lutte.

On peut envisager de définir et de calculer de nouveaux indices de risque basés sur la répartition du combustible (végétation) et des infrastructures (pistes et temps d'accès, pare-feu, etc...), sur la nature et la localisation des biens à protéger, et sur les objectifs des divers intervenants. Ces indices pourraient mettre en relief les convergences et les divergences de ces objectifs, ce qui permettrait de programmer les infrastructures et d'organiser la lutte en fonction de ces objectifs et des moyens mis en oeuvre, aussi bien que de gérer la reconstitution des surfaces brûlées.

Autres modèles ou systèmes-experts de l'avenir

Des modèles, ou systèmes-experts, pourraient être construits pour estimer le développement et la croissance de la végétation sur les pare-feu, les coupures de combustible, les bordures de pistes, les terrains mal entretenus; pour estimer l'état (hauteur, densité, biomasse) de la végétation au cours du temps, par exemple après fauchage ou débroussaillement.

En matière de prévention, le choix de la localisation et de la nature des

infrastructures découle de l'analyse stratégique de l'espace; il serait utile de tenir compte aussi des moyens et des méthodes utilisés pour la lutte contre le feu.

Ces méthodes de lutte pourraient sans doute être traduites par des systèmes-experts ou des modèles stratégiques et tactiques. En tenir compte dans la création des infrastructures augmenterait leur efficacité.

Indices de risque

Un indice de risque estime l'importance du risque d'éclosion et de propagation du feu, ou le risque de destruction de biens, en un point du territoire.

L'indice de "risque météorologique d'incendies", ou indice météo, estime les risques d'éclosion et de propagation; il est basé sur les conditions atmosphériques du jour (prévisions ou observations du sens et de la force du vent, du taux d'humidité et de la nébulosité de

l'atmosphère, de la température de l'air) et sur les conditions atmosphériques cumulées des derniers jours, semaines et mois (réserve en eau du sol) (Roux et Sol, 1991).

Cet indice est calculé globalement par zone par les services de Météo France; il y a 78 zones pour les 15 départements du sud-est de la France avec une surface moyenne des zones supérieure à 100000ha. Il est envisagé d'affiner les prévisions météorologiques et d'aug-

Statistiques et analyses

Réductionnistes par nature, les statistiques permettent, cependant, de fournir des indices synthétiques d'évaluation des risques et de l'efficacité des investissements: nombre de feux par unité de surface, selon nature de la végétation, météorologie locale, et densité des infrastructures; surfaces détruites selon nature de la végétation; densité de la population; etc... Un S.I.G. faciliterait l'édition de ces statistiques.

Au niveau local, un S.I.G. permettrait d'analyser les causes des feux, le pourquoi et le comment de l'éclosion, de la progression, l'efficacité des infrastructures et de la lutte, en vue de compléter les unes et d'améliorer les autres, aussi bien que de valider les systèmes-experts et les modèles.

Conclusions

L'expérience et les résultats malheureux de 1989 et 1990 semblent montrer les limites des méthodes classiques. Les bons résultats de 1991 et 1992 semblent plus résulter de conditions météorologiques très favorables dans l'ensemble, que d'une amélioration de l'efficacité de la prévention et de la lutte. S'il peut être utile d'augmenter les moyens de prévention et de lutte, il paraît indispensable d'accroître, parallèlement, l'efficacité de leur mise en oeuvre.

Si l'on souhaite améliorer l'efficacité de la prévention et de la lutte contre les incendies de forêt, il n'est plus permis de se passer des outils informatiques disponibles. Ils apporteraient une aide inestimable aux experts et autres techniciens de la D.F.C.I. pour l'analyse, l'organisation, la gestion et la formation.

L'informatique, avec les moyens disponibles aujourd'hui, permettrait d'analyser l'espace et de localiser les risques objectifs: zones très inflammables et très combustibles; continuité de la végétation; accès long ou difficile; passerelles à feu; couloirs à vent; obstacles; biens exposés; etc... Elle mettrait en relief les zones où plusieurs risques objectifs se cumulent, et

celles où ces risques peuvent être aggravés par les conditions météorologiques. Les modèles feu permettraient de préciser ces risques; associés aux modèles accès, ils guideraient les choix des infrastructures de prévention et de lutte, ainsi que les choix stratégiques, et ils seraient utiles pour la formation.

Un expert peut faire mieux qu'un système informatique, aussi puissant soit-il. Sans doute, mais d'abord le nombre d'experts est limité et il leur serait difficile, voire impossible, d'analyser en détail un territoire immense; ensuite faire bien et de façon répétitive sur l'ensemble du territoire est une tâche énorme du ressort de l'informatique, les experts pouvant alors porter leurs efforts sur les points particuliers, à risques élevés et à solutions complexes, désignés par l'analyse informatique.

En plus de l'aide à l'analyse préalable à l'action, l'informatique est susceptible d'apporter une amélioration de la gestion et de l'utilisation que



Photo 7 : Vue aérienne : équipements D.F.C.I.

Photo D.A.

l'on fait des moyens de prévention et de lutte, ce qui permet d'envisager d'en réduire le volume et les coûts. Aujourd'hui, de nombreux services gèrent la construction et l'entretien des réseaux routiers sur S.I.G., gèrent et analysent l'espace naturel ou l'espace rural sur S.I.G.. L'utilisation des moyens aériens peut être optimisée sur ordinateur (Kourtz, 1988), aussi bien que celle des moyens terrestres. Une politique plus dynamique en matière de D.F.C.I. résulterait de l'usage de l'informatique, avec un choix mieux ciblé des sujets de recherche fondamentale et d'application, ce qui accroîtrait l'efficacité des organismes de recherche.

Les coûts des investissements en matériel, logiciels et données informatiques (quelques millions de francs) dont l'usage dans les services de l'Etat, des régions et des départements, ne serait pas limité au seul problème des feux de forêt, apparaît extrêmement faible en regard des autres coûts directs et indirects des feux : création des pistes, des pare-feu, des coupures de combustible, des grandes coupures, achat ou location des matériels, des véhicules et des aéronefs, salaires, frais d'entretien des infrastructures et des matériels, frais d'intervention, dégâts, etc... qui se chiffrent en milliards de francs.

Il peut être utile de laisser se développer des expériences ponctuelles visant à résoudre des problèmes locaux; elles entretiennent l'enthousiasme de ceux qui ne baissent pas les bras devant le désastre et qui

cherchent de nouvelles solutions; elles mettent en relief des problèmes sous-estimés ou dont on nie l'existence; même les erreurs (objectifs mal définis ou trop limités, moyens sur- ou sous- dimensionnés) permettent de concevoir des solutions plus adaptées. Certaines de ces expériences ne pourront sans doute pas aboutir faute des moyens propres à les développer. C'est pourquoi, aujourd'hui, il nous semble opportun de créer un système informatique global, convivial et très facile d'emploi, pour répondre à la demande exprimée; il serait complété ultérieurement quand de nouveaux besoins apparaîtraient ou quand les travaux de recherche aboutiraient.

C'est dans cette optique que la Direction de l'Espace Rural et de la Forêt, au Ministère de l'Agriculture et de la Forêt, a nommé un chargé de mission pour étudier la faisabilité d'un tel système; il a été montré qu'il est possible de construire un système informatique pour l'analyse stratégique de l'espace et pour la prévention, à partir des matériels, logiciels et données informatiques existants.

Il serait souhaitable de pouvoir continuer ce travail en concertation avec les autres organismes concernés, dont ceux de la Sécurité Civile, des régions et des départements, et les organismes de recherche, avec des moyens propres à construire l'outil informatique adéquat.

R.-B.C.

Bibliographie

J. Bonnier, 1992, Information et communication sur la forêt des zones méditerranéennes, Forêt Méditerranéenne, tome XIII, N° 4, p 310-314.

D. Chasport, 1992, Des systèmes d'information géographique au service du marketing global, Les Echos, n° 16166, du 25 juin 1992, p 18.

R. B. Chevrou, 1992, Modélisation de la progression des feux de forêt, phénomène chaotique, Rev For Fr, XLIV-5, p 435-445.

J.C. Drouet, 1972, Etude théorique de la lutte contre les feux de forêt. Thèse d'Etat, Université de Provence.

P. Kourtz, 1988, Two dynamic programming algorithms for forest fire resource dispatching, Can. J. For. Res. 19 : 106-112.

D. J. McRae and M. D. Flannigan, 1990, Development of large vortices on prescribed fires, Can. J. For. Res., 20 : 1878-1887.

MTDA - GEOIMAGE, 1992, Le simulateur GEOFEU, Version 1.0, dossier de présentation et caractéristiques techniques, 9p.

S. Rimbert, 1991, Une carte du feu, Mappemonde, N° 4, p 40-42.

D. Roux et B. Sol, 1991, La prévision météo, une alliée contre les incendies, La Recherche, n° 234, p 898-900.

A. Seigue, 1990, L'organisation de la protection de la forêt méditerranéenne contre l'incendie, Forêt Méditerranéenne, tome XII, N° 1, p 71-80.

J-L. Wybo - P. Carrega, 1990, Implication de l'informatique avancée à la prévention des incendies de forêts et à la gestion des espaces menacés, Rev. For. Fr., n° spécial, p 112-121.

Remerciements :

L'auteur remercie P. Delabrale pour ses nombreuses et pertinentes remarques.

Résumé

De nombreuses données concernant la défense des forêts contre l'incendie (D.F.C.I.) sont aujourd'hui disponibles: cartes (réseaux des routes, rivières, voies ferrées, végétation, relief, etc...), statistiques, documentation technique, etc... Nous suggérons qu'elles soient mises à la disposition des services chargés de la prévention et de la lutte, grâce à l'informatique: bases de données, systèmes d'information géographique (S.I.G.), et systèmes-experts. L'informatique fournirait, en un temps relativement court, des documents cartographiques élaborés, analytiques et synthétiques, qui faciliteraient l'investigation et l'intervention des experts et les choix des décisions techniques et politiques propres à programmer les investissements et à augmenter l'efficacité; elle permettrait de réaliser des mises à jour régulières des plans d'aménagement des infrastructures D.F.C.I.. Avec les moyens disponibles aujourd'hui, l'informatique permet d'analyser l'espace et de localiser les risques objectifs: zones très inflammables et très combustibles; continuité de la végétation; accès long ou difficile; passerelles à feu; couloirs à vent; obstacles; biens exposés; etc... Elle met en relief les zones où plusieurs risques objectifs se cumulent, et celles où ces risques peuvent être aggravés par les conditions météorologiques. Des modèles feu permettraient de préciser ces risques; associés aux modèles accès, ils guideraient les choix des infrastructures de prévention et de lutte, ainsi que les choix stratégiques, et ils faciliteraient la formation des personnels.

Summary

There is a large amount of data presently available concerning the protection of woodlands against wildfires: maps (including road, river, and rail networks; vegetation; relief etc...), statistics, technical documents etc... We suggest that all such information be made available to the organisations responsible for wildfire control through the use of computer technology: data bases, geographical information systems, "smart" systems. Computers can produce in a relatively short time sophisticated cartographic documents including results of analysis and synthesis. Such mapping would facilitate specialist research and action improve technical and political decision-making in this field and thus increase the efficiency of investments made. The documents would also make it easier to update information about fire protection infrastructure by regular incorporation of any changes made. With the computer technology available to us at present, it is possible to analyse an area and thus localise objectively the zones at risk: areas of high ignitability and combustibility; unbroken vegetation; remote or hard-to-get-at areas; passageways for fire between two zones; wind channels; obstacles; property at risk; etc... Programs can highlight zones where several clear risk factors coincide as well as zones where the risk might be increased by particular weather conditions. Computer models can predict the risk of wildfire and, in association with means-of-access models, orient policymaking for fire protection and firefighting. Information technology can also help in training personnel.

Resumen

Disponemos hoy de numerosos datos relativos a la defensa de los bosques contra los incendios (D.F.C.I.): mapas (carreteras, ríos, ferrocarriles, vegetación, relieve, etc...), estadísticas, documentación técnica, etc... Sugerimos que se pongan esos datos a la disposición de los servicios encargados de la prevención y de la lucha contra los incendios, gracias a la informática: bases de datos, sistemas de información geográfica (S.I.G.), y sistemas de valoración forestal. Daria la informática, en un tiempo relativamente corto, documentos cartográficos elaborados, analíticos y sintéticos, que facilitarían la investigación y la intervención de los períos y ayudarían también a tomar las decisiones técnicas y políticas aptas a programar los fondos y a mejorar la eficacia; permitiría reactualizar frecuentemente planes de ordenación de obras auxiliares para la defensa de los bosques contra los incendios. Con los medios que tenemos hoy a nuestra disposición, permite la informática analizar el espacio y localizar los riesgos objetivos: zonas muy inflamables y muy combustibles, continuidad de la vegetación, acceso largo o difícil, pasarelas de fuego, pasajes de los vientos, obstáculos, bienes arriesgados, etc... Pone de relieve las zonas en las cuales se cumulan varios riesgos objetivos y las zonas en las cuales se pueden agravar los riesgos debido a las condiciones meteorológicas. Unos modelos de fuego permitirían precisar esos riesgos; esos modelos de fuego asociados a modelos de acceso, ayudarían a escoger infraestructuras de preventión y de lucha así como a escoger estratégicas y facilitarían la formación de los personales.