

MODELISATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA D'ECLOSION INCENDIE DE FORET

Projet "AIOLI 2" proposé par :

- **CEMAGREF**
Unité de Recherche Agriculture et Forêt
Méditerranéennes, Aix-en-Provence
- **INRA**
Équipe URFM-PIF, Avignon
- **MTDA**
Aix-en-Provence
- **Université Aix-Marseille III**
IMEP

1 CONTEXTE ET OBJECTIF

Les zones de contact entre espaces naturels et anthropiques, appelées interfaces, ont tendance à se développer fortement et à accroître le risque d'incendie pour au moins trois grandes tendances complémentaires que l'on peut souligner :

- l'abandon de certaines pratiques culturales a permis la colonisation, par des essences forestières, d'anciennes terres vouées initialement à l'agriculture ou l'arboriculture, rendant les espaces forestiers de plus en plus étendus et contigus,
- ces espaces forestiers sont de moins en moins exploités et entretenus, la biomasse végétale sur pied s'accroît, devenant ainsi plus combustible,
- l'accroissement de la population consomme les espaces agricoles et forestiers à un rythme soutenu et les projections démographiques prévoient une croissance de 20% entre 1990 et 2020 pour le sud de la France (Source Sud- INSEE, mai 98).

Une meilleure connaissance de l'aléa éclosion présente un double intérêt :

- mieux orienter les actions de prévention, visant à agir sur l'origine même du phénomène (la mise à feu),
- fournir un élément, pour l'instant défaillant, dans les évaluations du risque incendie.

L'originalité du projet est de se consacrer entièrement à l'aléa d'éclosion et sa modélisation dans les interfaces. Le premier objectif est de pouvoir cartographier, sur de grandes surfaces et de façon facilement reproductible, les différents types d'interface. Le second objectif est de mettre en relation les types d'interfaces avec leur impact sur l'aléa éclosion. Le troisième objectif est de fournir un outil de mesure des actions de prévention engagées.

2 ETAT DE L'ART SUCCINCT

L'origine du phénomène incendie, dans les zones dites d'interface espace anthropique/espace naturel a fait l'objet de peu d'études. On définit l'interface comme une ligne ou un plan de contact « entre deux systèmes ou deux ensembles distincts. Il s'y passe en général des phénomènes originaux d'échanges entre les deux parties » comme la modification de l'une par l'autre (Brunet, 1992).

Les principaux travaux identifiés sur le sujet traitent des interfaces sous l'angle de la vulnérabilité. Parmi les principaux problèmes abordés, la recherche de prescriptions pour mettre en sécurité les biens et les personnes occupe une place prédominante (risque subi). Peu de travaux scientifiques ont été réalisés sous l'angle de l'occurrence des départs de feu et de leurs conséquences potentielles (risque induit).

Des travaux en analyse spatiale des interfaces agriculture – forêt – urbain ont été initiés pour cartographier ces interfaces (Jappiot & Sauer, 2001). Les causes de départs de feu, qui font généralement l'objet de suivi et alimentent de façon plus ou moins exhaustive des bases de données, ne permettent de dégager que des tendances générales. Le fichier Prométhée permet, par exemple, de déterminer de manière plus ou moins précise le pourcentage de feux démarrant à proximité d'une route ou d'une zone habitée dans chacun des départements du Sud-Est. Dans certains cas, on a pu démontrer qu'il était possible d'aller au-delà de cette approche statistique simpliste et d'amorcer une approche déterministe du phénomène. Dans les Bouches-du-Rhône, où la très grande majorité des feux démarrent en bordure d'une voie d'accès ouverte à la circulation publique, on a pu démontrer par exemple que le nombre d'éclosions dans chaque commune était très bien corrélé au linéaire de voies traversant les massifs forestiers de la commune, lui-même corrélé au nombre d'habitants de la commune (Agence MTDA, 1995).

Mais la connaissance généralement partielle de cette répartition spatiale et insuffisante des causes fait qu'il n'y a pas de corrélation fiable entre la position spatiale et le type d'origine des feux et il demeure de grandes incertitudes sur certains types d'espaces.

Si l'homme constitue le premier facteur d'éclosion de l'incendie de forêt, l'étincelle en quelque sorte, la végétation combustible et inflammable est le second. Celle-ci, par sa présence et ses caractéristiques d'inflammabilité, peut générer un aléa d'éclosion plus ou moins élevé. L'inflammabilité de la végétation est étudiée au niveau des lits de combustible, des expérimentations ont été réalisées sur l'inflammabilité de la litière de peuplements de Pin d'Alep, Chêne pubescent et Arbousier (Collectif, 2001). Selon les essences, des différences significatives sur les fréquences d'inflammation des litières ont été observées, ainsi que sur les vitesses de propagation du feu sur ces litières. La méthode utilisée permet de mieux connaître les caractéristiques de la propagation initiale du feu, élément important pour l'éclosion d'un

feu. L'association d'un type de combustible ou de la végétation des interfaces à une nature d'inflammabilité à travers l'étude de la litière n'a jusqu'alors pas été établie.

3 DESCRIPTIF DU PROJET

3.1 La zone d'étude

Elle se situera dans le département des Bouches du Rhône dans lequel les interfaces concernées par l'aléa d'éclosion sont nombreuses et variées.

3.2 Les données utilisées

Elles sont de plusieurs types :

- Photographies aériennes ou orthophotos
- Images satellitaires à Très Haute Résolution
- Bases de données thématiques avec des indications sur l'occupation du sol ramenées à des unités spatiales de référence
- Relevés de terrain.

3.3 Différents aspects à développer

1. La cartographie des interfaces, l'objectif étant de développer une méthode reproductible de caractérisation des divers interfaces présentant un aléa d'éclosion élevé et de l'appliquer sur de grandes surfaces.
2. L'amélioration de la connaissance des causes de départs de feu et des mécanismes associés dans chacun des types d'interface, l'objectif étant de spatialiser les points d'éclosion des feux et les causes associées et de les corrélés à un mécanisme de départ de feu spécifique.
3. La détermination d'une typologie traduisant l'inflammabilité de la végétation, l'objectif étant d'associer des types d'inflammabilité à des types de combustible, identifiés au préalable dans les interfaces à travers l'étude de l'inflammabilité des litières associées aux types de combustible reconnus.
4. L'inventaire des interventions possibles de l'homme et leur impact sur les causes, les mécanismes de mise à feu et sur la végétation.
5. La modélisation de l'aléa d'éclosion, en croisant les différentes couches de données obtenues précédemment, l'objectif étant de créer un modèle donnant la probabilité de départ de feu dans chaque interface et d'en réaliser la cartographie. Des scénarios d'évolution de l'aléa seront également envisagés en fonction des interventions possibles de l'homme.

3.4 Méthodologie

La cartographie des interfaces

Une approche méthodologique de caractérisation multi-scalaire des différentes portions d'espace concernées par l'aléa feu de forêt peut s'envisager en plusieurs étapes :

- Caractérisation des différents types d'interfaces où l'on observe de nombreux départs de feu (réseau routier, zones habitat/forêt, lignes électriques, zones de travaux forestiers et agricoles...), à partir de l'analyse des données de télédétection et complété d'une étude de terrain.
- Mise au point d'un procédé reproductible de classification d'images numériques pour cartographier ces interfaces. Différents outils seront testés et comparés : segmentation de l'espace en zones homogènes, méthodes de rehaussement d'images, algorithme d'agrégation de pixels selon des paramètres de distance spatiale et spectrale.
- Caractérisation, dans un mode de représentation vectorielle, des unités spatiales en contact. L'analyse de la fonctionnalité de ces espaces nécessite une approche multicritère à la fois statique (identification des structures) et dynamique (identification des interactions).

Ces étapes nécessitent la mise en place de méthodologies à partir d'outils offerts par les logiciels de traitement d'image et les SIG pour cartographier de manière semi-automatique et analyser les configurations spatiales de contact entre espaces anthropiques et naturels. Les outils d'analyse utilisés sont principalement statistiques, topologiques et géométriques.

L'amélioration de la connaissance des causes de départs de feu et des mécanismes

L'objectif de ce module est d'établir, pour chaque type de cause, une famille de « fonctions spatiales de probabilité », donnant en chaque point d'un territoire d'étude la probabilité de départ de feu, en utilisant la typologie spatiale des interfaces définie précédemment.

On peut penser, a priori, que les fonctions spatiales de probabilité sont de 3 types :

- Les fonctions « uniformes ». Assez rare, ce type de fonction correspond aux causes dont l'occurrence est spatialement uniforme (ou quasi uniforme). C'est par exemple le cas général pour la foudre, sauf lorsque des zones présentant une sensibilité particulière à la foudre peuvent être mises en évidence (département des Landes, Météorage). Dans un tel cas, la probabilité d'éclosion, pour une situation météorologique donnée, ne va dépendre que de l'inflammabilité de la végétation.

- Les fonctions « discrètes ». Plus fréquent, ce type de fonction correspond aux causes dont l'occurrence est spatialement inféodée à une interface particulière, à l'intérieur de laquelle elle prend une valeur uniforme (ou quasi uniforme), la valeur étant nulle en dehors de l'interface. Ce type va généralement correspondre aux causes de feu liées aux installations humaines linéaires (lignes électriques, voies ferroviaires,...), peut-être aussi aux causes plus ponctuelles, comme les décharges. Dans de tels cas, la probabilité d'éclosion va dépendre du caractère « pyrogène » de l'interface (par exemple du type de trains et du trafic circulant sur une voie de chemin de fer), de l'inflammabilité de la végétation en contact, mais aussi de son traitement (débroussaillage, fauchage,...). Si ce type de fonction spatiale est également employé pour des causes comme les barbecues pratiqués au voisinage d'une habitation, la probabilité d'éclosion devra aussi intégrer des paramètres liés au comportement.
- Les fonctions « complexes ». Également plus fréquent, ce type de fonction correspond aux causes dont l'occurrence n'est pas liée à une interface particulière. Parmi ces causes diffuses, on va trouver la malveillance, le jet de mégot non éteint,... La probabilité d'éclosion va dépendre ici du type de cause, de la végétation, des mesures mises en œuvre,... On s'efforcera de décomposer ces fonctions complexes en sous-familles de causes discrètes, en fonction des types d'interface : par exemple, la cause « cigarette » pourra être abordée différemment en bordure de route, en bordure de sentier de randonnée, autour des zones habitées, en plein massif,...

Dans tous les cas, une attention particulière sera portée à l'échelle de la cartographie, qui va conditionner la précision des fonctions à établir. En outre, on s'efforcera d'employer la même nomenclature que celle de l'opération Prométhée. Les reprises d'incendie seront exclues de cette étude. En première approximation, les causes seront supposées indépendantes les unes des autres.

Plusieurs tâches sont prévues dans ce module de travail :

- Inventaire bibliographique approfondi sur l'analyse des mécanismes de déclenchement des feux involontaires (accidents ou imprudences) et sur leur occurrence spatio-temporelle,
- Saisie des informations contenues dans les rapports de police et de gendarmerie disponibles (autorisation à demander auprès du Procureur),
- Analyse statistique multidimensionnelle, sur au moins une décennie entière, des données relatives à la totalité feux passés et à leur environnement d'éclosion,
- Étude de terrain au cours d'une saison entière, avec recherche et repérage précis (GPS) du point d'éclosion, description de la végétation existante et enregistrement de la cause (ou des causes possibles),

- Élaboration des fonctions spatiales de probabilité à partir des résultats obtenus dans les phases précédentes.

La détermination d'une typologie traduisant l'inflammabilité de la végétation

L'identification et la description des strates de végétation présentes sur les différents types d'interface seront faites à partir de photos aériennes ou orthophotos ou d'images satellitaires. Des vérifications pourront être réalisées avec quelques relevés de terrain.

Par échantillonnage, des relevés de terrain et des prélèvements de la litière associée à chaque type de végétation présente sur ces types d'interface seront entrepris.

Les mesures d'inflammabilité pour deux teneurs en eau caractéristiques sèches à l'air et anhydre permettront une hiérarchisation des types de litières selon leur inflammabilité.

Les mesures de la propagation du feu dans des lits de combustibles hétérogènes permettront également de hiérarchiser les types de litières.

A chaque type de végétation sera associé un niveau d'inflammabilité.

Inventaire des différents types d'intervention de l'homme en matière de DFCI

Une recherche bibliographique sera menée pour identifier les possibilités d'intervention de l'homme en matière de DFCI, sur les causes, les mécanismes de mise à feu et sur la végétation. A partir d'un inventaire des interventions possibles quelques scénarios pourront être définis. Les résultats seront alors intégrés au modèle dans la tâche suivante.

Modélisation et cartographie de l'aléa d'éclosion, scénarios possibles d'évolution de l'aléa selon les interventions humaines.

En croisant les différentes couches de données obtenues précédemment, un modèle donnant la probabilité de départ de feu dans chaque interface sera créé et la cartographie sera réalisée.

On définira des conditions de la modélisation en choisissant de se placer dans un contexte moyen avec une saison ou des conditions météorologiques déterminées. Le croisement des différentes couches de données (occupation du sol, causes, points d'ignition, inflammabilité de la végétation) sera élaboré sur SIG. Il mettra en œuvre un modèle de type semi-probabiliste utilisant les données historiques, les résultats de l'expertise et de l'expérimentation. On cherchera à établir cinq classes d'aléa.

Le modèle pourra être validé par l'étude des feux à venir. La collecte de ces nouvelles données permettra de connaître plus précisément la source, la localisation du départ de feu ainsi que la végétation en place.

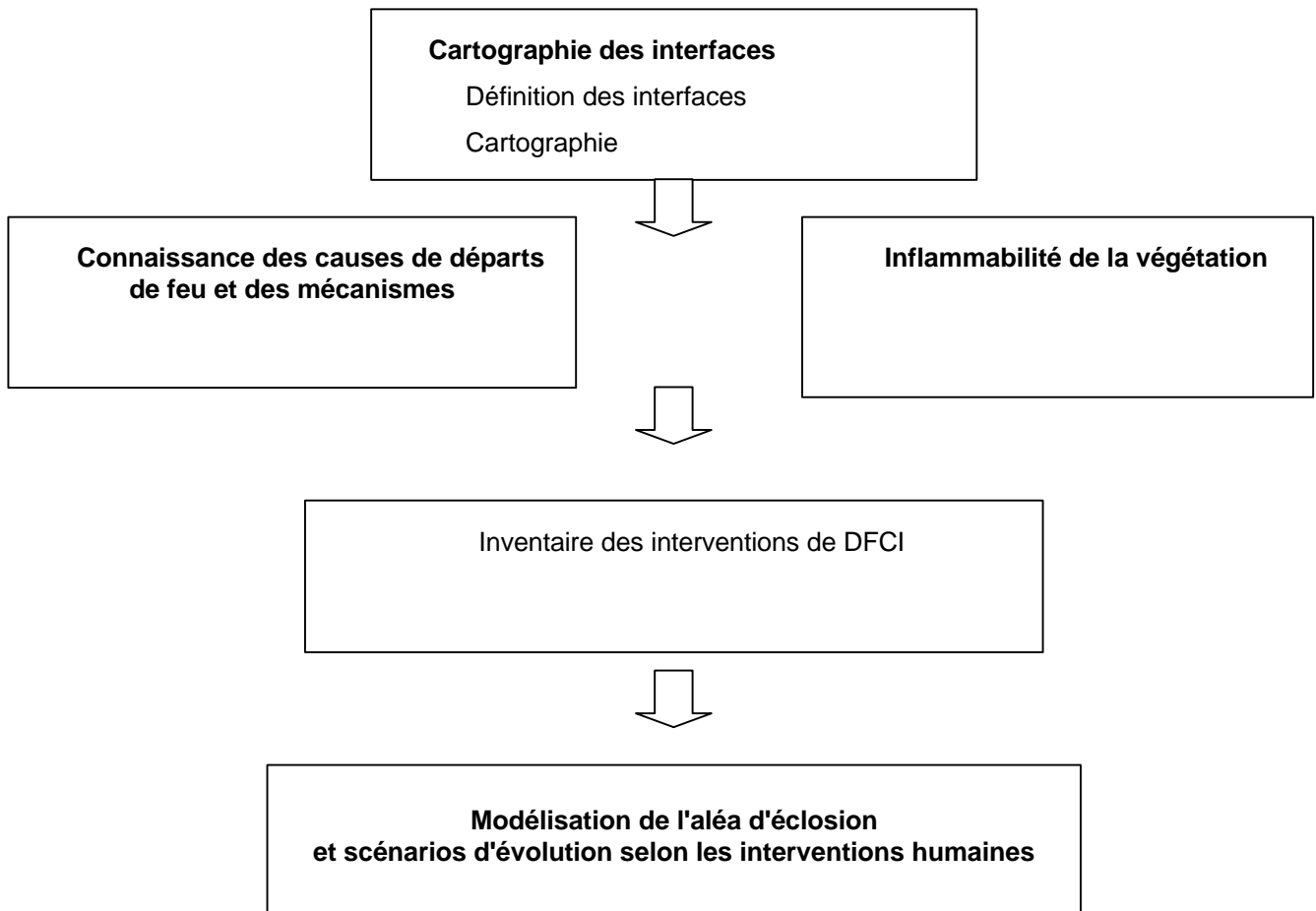
Ces données viendront renseigner une base de données géoréférencée. Un échantillonnage statistique des feux survenus permettra la vérification de leur appartenance à une classe d'aléa dans un type d'interface donné.

3.5 Résultats attendus

- Méthodologie de caractérisation des interfaces espaces anthropiques/naturels liées au risque incendie de forêt et leur cartographie « semi-automatique » sur de grandes surfaces.
- Tableaux croisés occupation du sol / causes possibles de départ de feu et causes/mécanismes

de départ de feu. Cartographie des points d'ignition et des causes des feux passés.

- Définition des couples types d'inflammabilité / types de combustible à l'égard de la probabilité d'éclosion d'un feu et hiérarchisation des couples types de litières / types de combustible. Cartographie de la végétation combustible et de son inflammabilité.
- Un ou plusieurs modèles selon les conditions de simulation et cartographie de l'aléa d'éclosion dans les interfaces. Définition de scénarios liés aux interventions possibles de l'homme qui seront intégrés dans le modèle. Evolution de l'aléa d'éclosion étudiée à travers les scénarios choisis.



7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agence MTDA, Analyse des départs de feux sur la commune de Rompon (Ardèche), août 2002, Service Départemental d'Incendie et de Secours, Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt de l'Ardèche
- Agence MTDA, Évaluation du risque d'incendie de forêt le long du réseau ferré en région PACA, décembre 2001, SNCF
- Agence MTDA, Étude des feux d'origine accidentelle (lignes électriques et voies de chemin de fer), Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt d'Ardèche. Mars 1998, 55p.
- Agence MTDA, Livre blanc "routes et incendies" - SETRA, CETE Méditerranée, Avril 1995, 44p. + dossiers techniques
- Agence MTDA, Évaluation du risque d'incendie sur la section courante des autoroutes A8, A50, A51, A52 et A57, E.S.C.O.T.A., Mai 1992, 31p. + cartes.
- Agence MTDA, Analyse des données contenues dans le fichier Prométhée, région P.A.C.A., Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Provence-Alpes-Côte-d'Azur, Juillet 1990, 95p.
- Alexandrian, D. (1995). "En Ardèche, les causes de feux varient entre cantons voisins." Options Méditerranéennes série A, n° 25: 100-106.
- Alexandrian, D. (1996). "La recherche des causes d'incendies." infos D.F.C.I. n° 36: 1-4.
- Arnaud, J. L., S. Marion, et al. (1994). "Feux de forêt et habitat." Forêt méditerranéenne tome XV, numéro 2: 171-173.
- Babbitt, B. (2000). Incendies de forêts catastrophes - Prévention et protection - Pour faire la paix avec les incendies de forêts, Conseil général du Génie Rural des Eaux et des Forêts: 45-58.
- Beringer, J. (2000). "Community fire safety at the urban/rural interface: the bushfire risk." Fire Safety Journal 35: 1-23.
- Bouisset, C. (1998). Les incendies de forêts méditerranéens : limites, marges, frontières. Des seuils écologiques aux limites politico-administratives, du local à l'europpéen, un siècle de gestion des incendies en France, Espagne et Italie. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse. Laboratoire Structures et Dynamiques Spatiales. Thèse.376p .
- Burel, F. et J. Baudry (1999). Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications. Paris.
- Chevrou, R. (2000). Incendies de forêts catastrophes - Prévention et protection - Prévention et lutte contre les grands incendies de forêts, Conseil général du génie rural des eaux et des forêts: 71-99.
- CIHEAM (1999). Protection contre les incendies de forêt: principes et méthodes d'action. Options méditerranéennes
- Cohen, J. (2000). Preventing disaster : Home ignitability in the wildland-urban interface. Journal of Forestry 98(3):15-21.
- Collectif (2001). SALTUS. Sautes de feu: Analyse des mécanismes et modélisation. Expérimentations. Rapport thématique. 55 pages.
- Davis, J. B. (1989). "Demography : a tool for understanding the wildland-urban interface fire problem." USDA Forest Service: 5.
- Davis, J. B. (1990). "The wildland-urban interface : paradise or battleground ?" Journal of forestry: 6.
- Fedra, K. (1999). "Urban environmental management: monitoring, GIS and modeling." Computers, Environment and Urban Systems 23: 443-457.
- Fouchier, V. (1999). "Vers des planchers de densité ?" Etudes foncières n° 81: 24-29.
- Geoghegan, J., L. A. Wainger, et al. (1997). "Spatial landscape indices in a hedonic framework: an ecological economics analysis using GIS." Ecological Economics 23: 251-264.
- Goldammer, J. G. (2000). Global fire Issues. International Forest Fire News. FAO, U. Nations and ECE. 23: 3-8.
- Hardy, C.C. et Bunnell D.L. (1999). Coarse-scale spatial data for wildland fire and fuel management. <http://www.fs.fed.us/fire/fuelman/>.
- Jappiot M. et Sauer S. (2001). Caractérisation des interfaces habitat / forêt grâce aux outils de télédétection et à l'écologie du paysage. Colloque SIRNAT. Sophia-Antipolis (France).
- Jappiot M. (2000). Rencontres euroméditerranéennes feux de forêt 2000. Thème "Feux péri-urbains, évaluation du risque dans l'aménagement du territoire", 25-27 octobre 2000, Hyères-les-Palmiers (France), 11 p.
- Jasper, R. G. (1999). The changing direction of land managers in reducing the threat from major bushfires on the urban interface of Sydney. Australian Bushfire Conference, Albury.
- Kalabokidis, K., D et P. Omi, N (1998). "Reduction of fire hazard through thinning/residue disposal in the urban interface." International Journal of Wildland Fire 8(1): 29-35.
- Larner, J. (2000). Incendies de forêts catastrophes - Prévention et protection - Un essai sur l'incendie d'Oakland, Conseil général du Génie Rural des Eaux et des Forêts: 37-44.
- Lemoine, J. P. (1994). "Rapport urbanisme et forêt en région méditerranéenne (note de synthèse)." forêt méditerranéenne tome XV, numéro 2: 173-175.

- Lilley, D. G. (1997). Fire investigation: origin, cause and responsibility. IECEC-97.Thirty-second Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Honolulu, HI, USA.
- Martin, H. (1994). "Habitat et forêt - Aspects réglementaires." forêt méditerranéenne tome XV, numéro 2: 176-180.
- Mayo, M. (1999). "Risques en montagne, responsabilités communales." Etudes foncières n° 81: 18-21.
- Monet, R. (1994). "Les personnes concernées sont-elles motivées ?" forêt méditerranéenne tome XV, n° 2: 188-189.
- Mourey, J. M. (1994). "Contraintes réglementaires en milieu forestier." forêt méditerranéenne tome XV, numéro 2: 153-155.
- Peixoto-da-Eira, J. M. et R. M. Natario (1995). "Etude des causes des incendies de forêt dans sept communes de la région Centre du Portugal." Options Méditerranéennes série A, n° 25: 79-97.
- Peixoto-da-Eira, J. M. (1996). "La recherche des causes des feux de forêts - L'expérience portugaise." infos D.F.C.I. n° 37: 2-3.
- Perrin, L., N. Beauvais, et al. (2001). "Procedural landscape modeling with geographic information: the IMAGIS approach." Landscape and Urban Planning 54: 33-47.
- Plevel, S. R. (1997). "Fire policy at the wildland-urban interface: a local responsibility." Journal of Forestry 95(10): 12-17.
- Rivalin (1996). "Les formations croisées en matière de recherche sur les causes d'incendies de forêt." infos D.F.C.I. n° 36: 7.
- Robbez-Masson, J. M., J. C. Foltête, et al. (1999). "Prise en compte du contexte spatial dans l'instrumentation de la notion de paysage-Application à une segmentation géographique assistée." Revue Internationale de Géomatique 9(2): 173-195.
- Slak, M. F. and J. L. Vivière (2000). "Vers une modélisation du mitage - Périurbanisation et agriculture." Etudes foncières n° 85: 33-38.
- Turner, M. G. (1987). "Spatial simulation of landscape changes in Georgia: A comparison of 3 transition models." Landscape Ecology 1(1): 29-36.
- Turner, M. G. (1989). "Landscape Ecology: The effect of Pattern on Process." Annual Review of Ecology and Systematics 20: 171-197.
- Turner, M. G. (1990). "Spatial and temporal analysis of landscape patterns." Landscape Ecology 4(1): 21-30.
- USDA (1999). "National Fire Occurrence Database and GIS Coverage, Federal and State Lands, 1986-1996." : 16 pages.
- Vasconcelos, M. J. P., M. S. Caetano, et al. (1994). Spatially distributed estimation of forest fire ignition probabilities. Forest fire research, Coimbra.
- Vasconcelos, M. J. P., S. Silva, et al. (2001). "Spatial prediction of fire ignition probabilities: Comparing logistic regression and neural networks." Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 67(1): 73-81.
- Vasquez, A. and J. M. Moreno (1994). Spatial Pattern of lightning and human caused fires in Spain. Forest Fire Research, Coimbra.
- Velez, R. (1992). Recent history of forest fires in the Mediterranean area. European School of Climatology and Natural Hazards course, Porto Carras, Halkidiki, Greece.
- Velez, R. (1996). "La recherche des causes des feux de forêts - L'expérience espagnole." infosD.F.C.I. n° 37: 4-4.