



ETAT DES CONNAISSANCES SUR L'IMPACT DES INCENDIES

CONVENTION INRA-DERF 61.21.14/97

ETAT DES CONNAISSANCES SUR L'IMPACT DES INCENDIES

**MISE EN PLACE DE PROTOCOLES EXPERIMENTAUX
POUR LE SUIVI DES INCENDIES DE FORET
ET DE LA RECONSTITUTION DES ECOSYSTEMES FORESTIERS**

Ces travaux ont été coordonnés par :
Institut National de la Recherche Agronomique, Département Forêts et Milieux Naturels
Unité de Recherches Forestières Méditerranéennes
Equipe de Prévention des Incendies de Forêt,

Ils ont été réalisés en collaboration avec les autres membres fondateurs
du Groupement d'Intérêt Scientifique « Incendies de Forêt »

Agence MTDA, Aix en Provence

Centre d'Etudes du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
Unité de Recherches « Agriculture et Forêt Méditerranéennes », Aix en Provence

Centre National de la Recherche Scientifique
Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, Montpellier

Ecole des Mines de Paris
Pôle Cindyniques, Sophia-Antipolis

Entente Interdépartementale en vue de la Protection de la Forêt contre l'Incendie
Centre d'Essais et de Recherches, Gardanne

Météo-France, Direction Interrégionale Sud-Est
Bureau d'Etudes et de Développement, Aix en Provence

Université de Provence
Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels, Marseille
Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie, Marseille

Office National des Forêt
Section Technique Interrégionale, Avignon

ETAT DES CONNAISSANCES SUR L'IMPACT DES INCENDIES

MISE EN PLACE DE PROTOCOLES EXPERIMENTAUX
POUR LE SUIVI DES INCENDIES DE FORET
ET DE LA RECONSTITUTION DES ECOSYSTEMES FORESTIERS

LA CONVENTION INRA-DERF

Table des Matières

1	Contexte de l'étude.....	1
2	Objectifs de l'étude	2
3	Programme de l'étude	2
3.1	Etat de l'art	2
3.1.1	Etat des besoins des gestionnaires	2
3.1.2	Etat des méthodes de caractérisation des incendies	2
3.1.3	Etat des méthodes de suivi des impacts des incendies	3
3.1.4	Etat des connaissances sur la cicatrisation et la reconstitution des écosystèmes.....	3
3.2	Elaboration des méthodes et des protocoles expérimentaux types.....	3
3.3	Application de ces méthodes et de ces protocoles sur une zone incendiée	4
3.4	Elaboration de bases de données et de bases de modèles en vue de la réalisation d'un outil d'aide à la décision	4
3.5	Synthèse des résultats acquis et définition des besoins futurs.....	4
4	Résultats attendus.....	5
5	Bibliographie.....	6

1 CONTEXTE DE L'ETUDE

Le devenir des peuplements forestiers parcourus par l'incendie suscite de nombreuses interrogations de la part des professionnels, gestionnaires publics (ONF, DDAF) ou privés (CRPF), de la part des « usagers » de la forêt et de la part des collectivités territoriales (régions, départements, communes).

Ces interrogations sont d'autant plus fortes que les incendies ont été dévastateurs, qu'ils ont touché des formations forestières aux usages multiples ou qu'ils ont détruit des reboisements artificiels toujours très coûteux à mettre en place et à entretenir.

De fortes pressions sont exercées sur les gestionnaires, en particulier les services de l'Etat, pour que les peuplements touchés soient réhabilités dans les délais les plus brefs.

Certes, la législation actuelle qui interdit que ces terrains incendiés soient constructibles, permet, par là même, d'envisager la reconstitution des écosystèmes forestiers.

Mais au-delà des aspects réglementaires, demeurent des interrogations quant aux capacités de ces écosystèmes forestiers de se reconstituer par eux-mêmes et, par conséquent, sur l'opportunité d'engager des travaux pour favoriser leur restauration.

En effet, si les processus de cicatrisation, puis de reconstitution après incendie des constituants majeurs des principaux écosystèmes forestiers méditerranéens, semblent (sont) connus du monde scientifique, des efforts de synthèse sont nécessaires.

L'incendie ne perturbe pas que les strates herbacée, ligneuse et arborée, mais également la litière, les diverses couches d'humus et les horizons superficiels du sol et, par voie de conséquence, l'ensemble de la faune, de la microfaune, de la flore, et de la microflore, qui tous, participent au fonctionnement de ces écosystèmes.

De nombreuses observations et études ont été effectuées dans les domaines énoncés ci-dessus, en particulier durant les vingt-cinq dernières années au cours desquelles certaines caractéristiques des incendies ont été étudiées (Prométhée).

Concomitamment, de nombreux travaux de recherches ont été conduits tant par les universités de la façade méditerranéenne française que par les organismes de recherche et de développement sur des thèmes qui relèvent de l'approche décrite ci-dessus.

Ceci étant, les connaissances demeurent fragmentaires soit parce qu'elles ont été approfondies sur des peuplements forestiers précis et ne peuvent pas être directement généralisées, soit parce qu'elles ne concernent que quelques compartiments de l'écosystème forestier.

Les gestionnaires, mais également l'ensemble des acteurs ne disposent pas d'outils leur permettant de prédire le devenir des formations incendiées soit parce que les connaissances sont incomplètes sur des sites anciens soit par manque de recul sur des sites récents pour lesquels les connaissances sont plus complètes.

Le Conservatoire de la Forêt Méditerranéenne avait souhaité une étude descriptive multi-sites de l'évolution de massifs incendiés au cours des vingt dernières années.

Dans l'attente d'orientations du Conseil d'Orientation Scientifique du Groupement d'Intérêt Scientifique « Incendie de Forêts », les neuf membres fondateurs du groupement, ont tenu à élaborer un projet de recherches.

Ce projet constitue, à leurs yeux, un préalable indispensable pour répondre à la demande indiquée ci-dessus.

2 OBJECTIFS DE L'ETUDE

Ce projet se place dans la perspective de répondre aux besoins, plus ou moins diffus, du gestionnaire en matière de synthèses, de modèles et de simulateurs. Cependant, compte tenu de l'ampleur du problème posé, l'objectif de ce projet est plus prosaïquement d'identifier les connaissances nécessaires pour être capable de prédire le devenir de peuplements forestiers incendiés.

Cette démarche demande

- * d'inventorier les besoins réels des gestionnaires
- * de synthétiser les connaissances acquises, même si elles sont éparses et fragmentaires,
- * d'identifier les besoins en termes de recherche complémentaires, notamment pour répondre à des besoins en termes de gestion
- * d'élaborer des protocoles expérimentaux types
- * et de tester ces protocoles sur un cas concret qui sera un incendie suffisamment ancien et documenté, concernant un massif d'un écosystème méditerranéen bien représentatif.

3 PROGRAMME DE L'ETUDE

Les champs de recherches concernés par ce projet sont larges et nombreux.

Compte tenu de sa durée limitée à une année, le projet est surtout destiné à :

- * faire le point sur l'état de l'art,
- * élaborer des méthodes et des protocoles expérimentaux types,
- * et orienter les recherches ultérieures.

Pour tendre vers les objectifs énoncés ci-dessus, les cinq axes de travail ci-après seront suivis.

3.1 ETAT DE L'ART

Cet axe, classique dans tout travail de recherches, s'impose tout particulièrement dans ce projet en raison de la grande dispersion des acquis.

3.1.1 Etat des besoins des gestionnaires

L'objectif est d'identifier aussi précisément que possible les besoins des gestionnaires en matière de prédiction du devenir des peuplements incendiés.

Ces besoins évoluent dans le temps au rythme de leur reconstitution, ils dépendent de la nature et de la structure des peuplements, de l'intensité des dommages, des conditions édaphiques, du rôle que jouaient les peuplements avant l'incendie, des interventions sylvicoles, de la nature de la propriété....

3.1.2 Etat des méthodes de caractérisation des incendies

L'objectif est de rassembler les méthodes classiquement utilisées pour d'une part caractériser le développement des incendies et, d'autre part, décrire (ou mesurer) :

- * l'état des différentes composantes de l'écosystème avant l'incendie,
- * la dynamique de l'incendie en particulier les caractéristiques physiques, chimiques et thermiques du front de feu, de la zone en combustion vive et des braises,
- * et les caractéristiques environnementales (conditions météorologiques, état du combustible,...), ces données permettent de qualifier l'intensité et la sévérité du feu.

Pour ce faire, la recherche bibliographique classique sera complétée par l'analyse des archives des gestionnaires et des équipes de lutte et par des interviews d'experts, la dynamique des incendies étant rarement décrite dans les publications scientifiques ou techniques.

L'attention sera focalisée sur les écosystèmes de type méditerranéen étudiés en France, dans les pays du bassin méditerranéen, et dans les régions qui, ailleurs dans le monde, sont confrontés à des incendies comparables (Californie, Afrique du Sud, certaines états d'Australie).

3.1.3 Etat des méthodes de suivi des impacts des incendies

L'objectif est de rassembler les méthodes classiquement utilisées pour suivre l'évolution dans le temps des composantes de l'écosystème durant sa cicatrisation puis sa reconstitution.

Cette phase sera essentiellement bibliographique, en orientant les recherches vers des documents techniques, en général plus précis sur les méthodes et plus riches sur les échecs que les publications scientifiques.

3.1.4 Etat des connaissances sur la cicatrisation et la reconstitution des écosystèmes

La reconstitution d'écosystèmes forestiers méditerranéens après incendie (pinèdes de pin d'Alep, taillis de chêne vert, formations à chêne liège, ...) a été étudiée tant en France que dans les autres pays méditerranéens.

La première étape est donc de recenser les acquis de ces travaux, d'en tirer les premières conclusions et d'identifier les recherches complémentaires nécessaires.

Par ailleurs, la modélisation de la reconstitution d'écosystèmes incendiés a été entreprise.

Les études en cours permettent déjà d'identifier quelques uns des mécanismes qui entrent en jeu. L'inventaire bibliographique s'orientera vers des documents aussi bien scientifiques que technique pour les raisons évoquées ci-dessus.

3.2 ELABORATION DES METHODES ET DES PROTOCOLES EXPERIMENTAUX TYPES

A partir de l'ensemble des pratiques, des besoins et des connaissances identifiés ci-dessus, des protocoles expérimentaux types seront élaborés pour couvrir les différentes étapes du suivi :

- * L'ensemble des opérations à conduire pour connaître, voire pour reconstituer, les conditions qui régnaient juste avant le feu, basées sur les caractéristiques structurelles (type de végétation, charge de combustible, recouvrement des différentes strates) et conjoncturelles (conditions climatiques, teneur en eau du combustible, ...).
- * L'ensemble des relevés physiques, chimiques et thermiques à effectuer lors du passage du front de feu, de la zone de préchauffage à celles des braises en veillant à rassembler le maximum d'éléments utiles à la modélisation du comportement du feu et à la caractérisation de son intensité et de sa sévérité.
- * L'ensemble des observations et des mesures à effectuer au fil du temps, en adaptant leur fréquence à la vitesse de cicatrisation et de reconstitution et en veillant à collecter le maximum d'informations utiles pour analyser cette évolution.

Dans le cadre de cet axe de travail, des recherches ciblées seront entreprises sur certains mécanismes pouvant intervenir sur la dynamique de cicatrisation et de reconstitution de l'écosystème, par exemple le processus de dissémination des graines de pin d'Alep après incendie, dynamisme des rejets, ...

Toutes ces opérations seront consignées selon des normes standardisées de façon à élaborer une série de protocoles expérimentaux types.

3.3 APPLICATION DE CES METHODES ET DE CES PROTOCOLES SUR UNE ZONE INCENDIEE

Compte tenu de la durée de ce projet limitée à une année, ces protocoles ne seront testés que sur le site incendié de Saint Zacharie – Trets (Bouches du Rhône) en 1984, dans le massif du Régagnas.

Le massif a été choisi en raison de l'âge de l'incendie, de la diversité des écosystèmes forestiers touchés et de la variabilité de la sévérité de l'incendie.

Il a également été retenu parce que certains membres du Groupement d'Intérêt Scientifique « Incendies de Forêts » disposent d'ores et déjà de nombreuses données sur le massif de Régagnas, sur l'incendie lui-même, sur les milieux touchés, voire même sur certaines phases de la cicatrisation et de la reconstitution des milieux. Ceux-ci sont prêts à les mettre à disposition.

Compte tenu du choix effectué, les caractéristiques avant l'incendie seront toutes reconstituées par analogie avec des zones du massif, non touchées par l'incendie.

3.4 ELABORATION DE BASES DE DONNEES ET DE BASES DE MODELES EN VUE DE LA REALISATION D'UN OUTIL D'AIDE A LA DECISION

Cet axe de travail, basé sur la méthode « entité – relation », consistera à définir les schémas conceptuels des bases de données et à définir les modèles relationnels entre toutes les données nécessaires à la prédiction.

Il sera fait de même pour les bases de modèles destinées à rassembler non seulement les modèles les plus pertinents pour prédire le comportement du feu (modèles de propagation et modèles de contagion) mais également ceux qui prédisent la réaction des différentes composantes de l'écosystème aux échauffements, ainsi que ceux qui prédisent la dynamique de la cicatrisation et de la reconstitution de ces mêmes composantes.

Ces bases ne seront naturellement pas complètes à l'issue de ce projet mais elles sont indispensables pour construire l'outil d'aide à la décision du gestionnaire.

3.5 SYNTHESE DES RESULTATS ACQUIS ET DEFINITION DES BESOINS FUTURS

L'objectif est d'élaborer un véritable outil de prédiction du devenir des écosystèmes forestiers incendiés

Ce dernier axe de travail demandera une coopération étroite avec le Conseil d'Orientation Scientifique du Groupement d'Intérêt Scientifique « Incendie de Forêt » afin de présenter les résultats acquis et de les confronter aux attentes mais surtout de définir les besoins de recherche futurs.

4 RESULTATS ATTENDUS

Le premier résultat attendu est la mise au point de méthodes standardisées de recueil de données et d'information sur les incendies dans le but de constituer des bases de données structurées et cohérentes qui puissent être intégrées dans des systèmes d'aide à la décision.

Il en est de même pour ce qui concerne le suivi de la dynamique des écosystèmes forestiers dans le but de décrire des évolutions types dépendant tant des conditions de croissance après l'incendie, en particulier des séquences climatiques qui régneront au cours de la période de suivi, que des modes de gestion appliqués à ces écosystèmes.

La grande diversité des combinaisons entre (i) les caractéristiques de l'écosystème concerné, (ii) les caractéristiques de l'incendie, (iii) les conditions régnant durant la cicatrisation puis la reconstitution de l'écosystème et (iv) la conduite du peuplement, conduira à une description des processus au cas par cas.

Lorsque certaines des connaissances acquises sont valides pour un écosystème donné, il sera possible de définir une première série de règles simples de gestion portant sur des interventions à réaliser à des stades bien définis de la reconstitution de l'écosystème.

Enfin, au travers de ce premier projet, des thèmes de recherche à conduire ultérieurement sur les impacts des incendies sur les différents composants des écosystèmes forestiers méditerranéens seront identifiés.

Ces thèmes seront confrontés (comparés) à ceux qui seront issus de la demande exprimée par le Conseil d'Orientation Scientifique du Groupement d'Intérêt Scientifique « Incendie de Forêt ».

5 BIBLIOGRAPHIE

- Alexandrian D, 1995.- Setting-up a data base on a test massif. Commission des Communautés Européennes, DG XII, 1995, 42 p. + annexes
- Alexandrian D, 1995.- Fuel modelling of typical species. Unité de modélisation des plantes CIRAD/GERDAT, Commission des Communautés Européennes, DG XII, 1995, 42 p. + annexes
- Alexandrian D, 1996.- Evaluation des simulations d'image des futurs satellites spot 5-6. Centre National d'Etudes Spatiales, Mars 1996, 40 p.
- Caraglio Y, I Lagarde et F Blaise, 1996.- Modélisation des peuplements combustibles : une nouvelle approche dans la prévention des incendies. *Forêt Méditerranéenne* XVII N°3, 324-328
- Ducrey M, F Duhoux, R Huc and E Rigolot, 1996.- The ecophysiological and growth responses of Aleppo pine (*Pinus halepensis*) to controlled heating applied to the base of the trunk. *Can. J. For. Res.* 26 : 1366-1374
- Dupuy J L, 1995.- Slope and fuel load effects on fire behaviour : laboratory experiments in pine needles fuel beds. *Int. J. Wildland Fire* 5(3) : 153-164
- Dupuy J L, 1997.- Mieux comprendre et prédire la propagation des feux de forêt, expérimentation, test et proposition, de modèles. Thèse de doctorat de l'Université Claude Bernard I, 270 p.
- Gillon D, V Gomendy, C Houssard, J Maréchal and J C Valette, 1995.- Combustion and nutrient losses during laboratory burns. *Int. J. Wildland Fire* 5(1) : 1-12
- Gillon D, C Hernando, J C Valette and R Joffre, 1997.- Fast estimation of the calorific values of forest fuels by near-infrared reflectance spectroscopy. *Can. J. For. Res.* 27:760-765
- Guarnieri F, 1995.- Modèles de systèmes et systèmes de modèles dans les systèmes à base de connaissances, application à la prévention des incendies de forêts. Thèse de l'université J Fourier de Grenoble I, 219 p. + annexes
- Guarnieri F et J L Wybo, 1997.- Systèmes de modèles dans les systèmes à base de connaissances. Application aux questions de l'environnement
- Jappiot M et A Mariel, 1997.- Evaluation et cartographie du risque d'incendie de forêt dans le massif des Maures. Cemagref Aix-en-Provence, rapport final, 66 p. + annexes
- Ladier J et C Ripert, 1996.- Les stations forestières de la Provence cristalline (Cap Sicié, îles d'Hyères, Maures, Tanneron). Cemagref Aix-en-Provence, 93 p + annexes
- Larini M, F Giroud, B Porterie, 1996.- Fire propagation through a multiphase medium. 13th International Conference on Fire and Forest Meteorology, Lorne (Australia), October 27th - 31st.
- Larini M, F Giroud, B Porterie, J C Loraud, 1997.- A multiphase formulation for fire propagation in heterogeneous combustible media. *Int. J. of Heat and Mass Transfer*.
- Mariel A. and M Jappiot, 1996.- Wildland fire risk mapping using a GIS. Example on "Les Maures" Forest, Southern France". *EARSeL Advances in Remote Sensing Journal*, Vol. 4, n°4, nov. 96, 49-56.
- Marsol L, 1994.- Etude des stations forestières des secteurs schisteux des Maures, du Cap Sicié et des Iles de Hyères : évaluation de leurs potentialités et de leurs dynamiques après incendie. Mémoire de D.E.A. "Écosystèmes continentaux arides, méditerranéens et montagnards", Université d'Aix-Marseille III, 32 p
- Methy M, D Gillon and C Houssard, 1997.- Temperature-induced changes in photosystem II activity in *Quercus ilex* and *Pinus halepensis*. *Can. J. For. Res.* 27: 31-38
- O.N.F., 1997.- Dossier thématique D.F.C.I. *Arborescences*, numéro spécial, novembre
- Porterie B, D Morvan, M Larini, J C Loraud, 1997.- Wildfire propagation : a two dimensional multiphase approach. *Journal of Combustion, Explosion and Shock Waves*. Tomsk University.
- Rigolot E, 1997.- Incendies et bio-diversité en région méditerranéenne française. *Forêt Méditerranéenne* XII N°1: xxx-xxx

- Rigolot E, M Etienne, 1996.- Impact of fuel control techniques on *Cistus monspelliensis* dynamics. 13th International Conference on Fire and Forest Meteorology, Lorne (Australia), October 27th – 31st
- Rigolot E, A Gaulier, D Vauché and F Guarnieri, 1996.- A prescribed burning decision support system for the French Mediterranean area. 13th International Conference on Fire and Forest Meteorology, Lorne (Australia), October 27th – 31st
- Sol B, 1995.- Comparaison de diverses méthodes d'estimation du danger météorologique d'incendie sur le Sud-Est de la France : feux d'été de la zone côtière et feux d'hiver des Alpes-de-Haute-Provence. Note Météo-France DIR/SE n°13, 150 p.
- Trabaud L 1994.- The effect of fire on nutrient losses and cycling in a *Quercus coccifera* garrigue (Southern France). *Oecologia* 99:379-386.
- Trabaud L, 1996.- Réponse du chêne vert et du chêne blanc à l'action du feu. *Forêt Méditerranéenne* XVII N°3, 243-252
- Trabaud L and J F Galtie, 1996.- Effects of fire frequency on plant communities and landscape pattern in the Massif des Aspres (Southern France). *Landscape Ecology* 11: 215-224.
- Trabaud L, J J Martinez-Sanchez, P Ferrandis, A Gonzales-Ochoa et J M Herranz, 1997.- Végétation épigée et banque de semences du sol : leur contribution à la stabilité cyclique des pinèdes mixtes de *Pinus halepensis* et *Pinus pinaster*. *Can. J. Bot.* 75: 1012-1021.
- Valette J C, V Gomendy, J Maréchal, C Houssard and D Gillon, 1994.- Heat transfer in the soil during very low-intensity experimental fires : the role of duff and soil moisture content. *Int. J. Wildland Fire* 4(4) : 225-237
- Valette J C, B Sol, C Moro, 1994.- Flammability parameters and soil water reserve to improve the forecast of the meteorological index of forest fire danger. 2nd International Conference on Forest Fire Research, Coïmbra (Portugal), November 21st – 24th, 611-624
- Valette J C, J L Wybo, J S de Vries, C K Andersen, J Ventura, M Larini, K Kalabokidis, N Glinsky, M Guijarro, R Weber, P Carrega, 1996.- EFAISTOS : Experiments and Simulations for improvement of Behaviour Models of Forest Fires. 13th International Conference on Fire and Forest Meteorology, Lorne (Australia), October 27th – 31st
- Viegas D X, B Sol, G Bovio, A Nosenzo and A Ferrera, 1994.- Comparative study of various methods of fire danger evaluation in Southern Europe. 2nd International Conference on Forest Fire Research, Coïmbra (Portugal), November 21st – 24th, 571-590
- Viegas D.X., G. Bovio, A. Camia, A. Ferreira, B. Sol. 1996.- Testing Meteorological Fire Danger Methods in Southern Europe. 13th International Conference on Fire and Forest Meteorology, Lorne (Australia), October 27th – 31st