

Regards croisés sur les incendies de forêt et sur l'évolution de la Défense des forêts contre l'incendie en région méditerranéenne française

par Marielle JAPPIOT, Rémi SAVAZZI, Jean-Luc DUPUY, Eric RIGOLOT, Etienne CABANE, Roland PHILIP, Bernard ROMATIF, Charles DEREIX, Philippe MICHAUT, Luc LANGERON, Hubert d'AVEZAC, Jean LADIER (coord.)

Sous la coordination de Jean Ladier, un collectif composé d'experts des mondes de la recherche et de l'opérationnel fait le bilan de 40 ans de défense des forêts contre l'incendie et dresse les perspectives pour les années futures, marquées par des conditions de risques beaucoup plus sévères.

L'évolution de la problématique

Les incendies sont moins nombreux

Selon la base de données Prométhée qui recense les incendies de forêt sur les 15 départements du sud de la France, on observe depuis 1973 une moyenne annuelle de 2 473 feux sur l'ensemble de la zone, qui correspond à une moyenne annuelle de 20 363 ha brûlés (le maximum de 61 424 ha ayant été relevé en 2003).

On constate une diminution des surfaces et de l'occurrence des feux depuis 1960, qui s'est accentuée depuis les années 90 (Cf. Fig. 1). Ceci peut être mis en lien avec l'amélioration des stratégies de prévention et de lutte, notamment avec la politique d'attaque systématique des feux naissants. Malgré cette amélioration, la survenue d'événements climatiques extrêmes, comme la vague de chaleur de 2003, peut être à l'origine de feux exceptionnels.

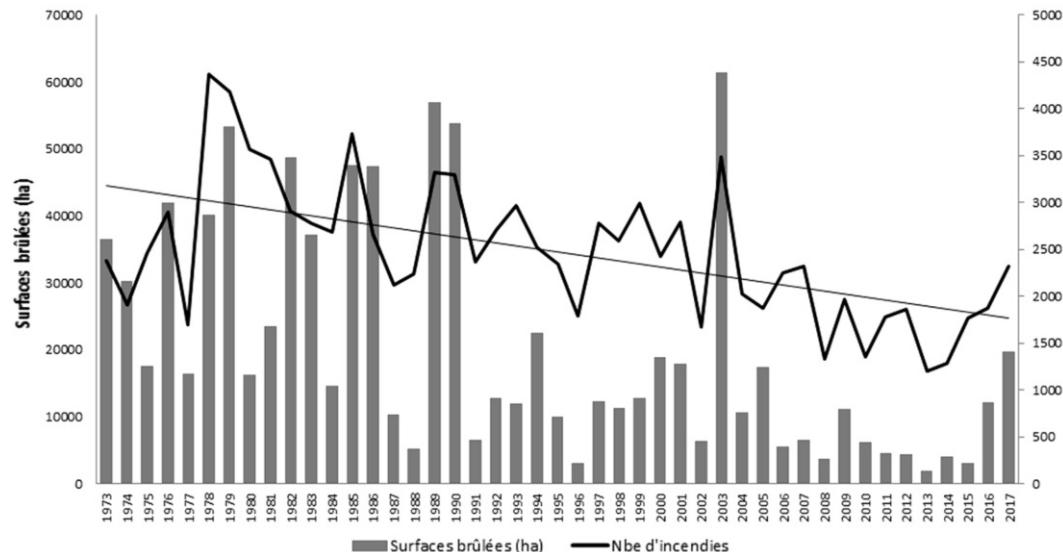


Fig. 1 :

Nombre d'incendies et surfaces brûlées dans les 15 départements du sud de la France depuis 1973.

Source Prométhée.

Le contexte naturel change

Cette politique de suppression systématique des feux a conduit à une accumulation de biomasse importante, favorisée par l'abandon de l'exploitation de la forêt. De plus, la forte déprise agricole observée depuis le milieu du siècle dernier, a eu pour effet une fermeture des milieux. Des essences pionnières comme le pin d'Alep se sont installées dans les milieux ouverts abandonnés, et la dynamique naturelle de la végétation a permis à la forêt de reconquérir ces milieux. Les surfaces forestières augmentent (de 0,7% à plus de 2% par an selon les départements, selon l'IGN) et forment de grands continuum forestiers.

Ceci contribue au développement de l'aléa de propagation des incendies et à l'augmentation de leur intensité potentielle, favorisant ainsi la survenue de feux de grande ampleur, et très intenses.

Le facteur humain devient prépondérant

Parallèlement, on observe une très forte pression d'urbanisation, en lien avec l'augmentation de la population résidente, du tourisme et parfois d'une forme d'urbanisation clandestine (cabanisation). Ceci induit la présence de plus en plus fréquente de l'urbanisation à l'intérieur des massifs forestiers ou en lisière. Ces zones d'interface habitat-forêt sont sources de départs de feu au contact d'une végétation inflammable et

combustible, et contribuent également à une augmentation de l'exposition du bâti, des infrastructures et des activités humaines, donc à une augmentation de la vulnérabilité des territoires. On observe de plus en plus de feux dits d'interface (cf. les feux de Grèce de 2018 qui n'ont parcouru « que » 2000 ha mais ont fait beaucoup de morts). Par ailleurs, phénomène récent depuis une vingtaine d'années, les feux dits de l'espace rural viennent également menacer les habitations, en se propageant par les friches et la végétation ornementale.

On voit que l'on est passé d'une problématique de feux de forêt à une problématique de feux ruraux et d'interface, où l'enjeu de défense des forêts contre les incendies (DFCI) devient secondaire par rapport aux enjeux liés aux activités humaines. Le facteur humain est prépondérant dans un risque qualifié de "naturel", que ce soit en termes d'éclosion, de vulnérabilité ou de parades.

Il est donc nécessaire, aussi bien pour la prévention que pour la gestion de crise, de sensibiliser les habitants sur les comportements à risque pour limiter le nombre de départs de feu et sur la conduite à tenir en cas de survenue d'un événement. Ceci est d'autant plus important dans le contexte du changement climatique, où la zone à risque est supposée s'étendre vers l'arrière-pays et en montagne, dans des secteurs où la population n'a pas encore la mémoire de ce risque.

La gouvernance de la DFCI

La nécessaire complémentarité des acteurs

Cela peut paraître étonnant, mais la DFCI est une compétence optionnelle, tant pour l'Etat que pour les collectivités territoriales et leurs groupements, à la différence par exemple de la DECI (défense extérieure contre l'incendie) qui constitue depuis peu un service public relevant de la compétence des communes. Cela signifie que les structures qui portent la DFCI le font de manière volontaire. C'est ainsi qu'ont été déployés :

- dans les années 60 : l'emploi des anciens harkis (financement par l'Etat, emploi par l'Office national des forêts [ONF]) et la création de l'Entente pour la forêt méditerranéenne ;
- dans les années 70 : les forestiers sapeurs (financement par les Départements et l'Etat, emploi par l'ONF puis par les Départements) ;
- dans les années 80 : les syndicats de communes pour l'équipement des massifs forestiers (dans le cadre des PIDAF / PAFI)¹ ;
- en 1987 : la mise en place des crédits du Conservatoire de la forêt méditerranéenne (CFM) et de la Délégation à la protection de la forêt méditerranéenne (DPFM) et, dans le Vaucluse, la création du Syndicat mixte de défense et de valorisation forestière ;
- à la fin des années 90 : les auxiliaires de protection de la forêt méditerranéenne (APFM), (financement par l'Etat, emploi par l'ONF).

La participation d'un partenaire majeur, le Département, a d'ailleurs bien failli disparaître en 2015 lors de l'adoption de la loi portant nouvelle organisation territoriale de la République qui a retiré la clause de compétence générale aux Départements. L'intervention du préfet de la zone Sud, qui a alerté le Gouvernement sur le danger qu'aurait représenté ce désengagement forcé, a heureusement permis de la rétablir sous la forme d'une compétence optionnelle en 2016. Dans l'aire méditerranéenne, cette mission est souvent jugée primordiale et, outre les partenaires précurseurs (Etat, Départements), on peut se réjouir de l'émergence d'acteurs nouveaux (Régions, Etablissements publics de coopération intercommunale [EPCI], Union européenne via le FEADER²).

C'est ce qui explique que les partenariats soient différents d'un département à l'autre, avec une hétérogénéité qui présente des avantages : souplesse pour s'adapter à la variabilité des niveaux de risque, résilience à d'éventuelles contractions budgétaires, complémentarité entre des règles différentes de financement. En revanche, ce multi-partenariat rend difficile l'appréciation globale des moyens humains et financiers déployés pour la prévention des incendies.

L'Etat intervient également dans le cadre de ses compétences régaliennes. Sans viser l'exhaustivité, nous évoquerons les obligations légales de débroussaillement (OLD) et la prise en compte du risque d'incendie de forêt dans l'élaboration des documents d'urbanisme.

La reconnaissance de l'importance du débroussaillement pour la protection d'enjeux humains et matériels est ancienne, puisque la possibilité pour le préfet de l'imposer existait dans le code forestier depuis la loi du 12 juillet 1966. Une étape importante a été franchie avec la loi du 4 décembre 1985 et la mise en place d'une réglementation spécifique dans 25 départements réputés particulièrement exposés aux risques d'incendie de forêt (depuis la loi du 9 juillet 2001, 32 départements sont concernés). Cette réglementation, toujours confirmée depuis, met le débroussaillement à la charge de celui qui a un bien immobilier à protéger. L'évolution des textes (2001, puis 2012) est venue préciser le rôle des maires et celui de l'Etat, trancher la question des superpositions d'obligations et clarifier les relations entre voisins pour la mise en œuvre « chez autrui ». Des simplifications sont toutefois encore à apporter à l'occasion d'une prochaine révision des textes.

La prise en compte du risque incendies de forêt dans les règles d'urbanisme : Porter à la connaissance (PAC) et Plan de prévention des risques d'incendie de forêt (PPRIF), a fait son chemin, même si l'application concrète est encore largement insuffisante. Les PPRIF en représentent le stade ultime et le plus contraignant, et sont donc longs à se mettre en place. En revanche, les PAC se sont étoffés et permettent, lorsqu'ils sont suivis, une réelle amélioration des conditions d'urbanisation vis-à-vis du risque feu de forêt. De nombreux avis individuels sont également donnés par les services sur les mesures de prévention devant accompagner les projets.

1 - PIDAF : Plan intercommunal de débroussaillement et d'aménagement forestier.
PAFI : Plan d'aménagement de la forêt contre l'incendie.

2 - FEADER : le Fonds européen agricole pour le développement rural est un instrument de financement et de programmation de la politique agricole commune .

La raréfaction de la ressource budgétaire et le besoin d'innover pour maintenir la politique efficace qui en a découlé, ont conduit les différents acteurs à modifier sensiblement leur positionnement respectif dans le cadre de la mise en œuvre de la DFCI. Voyons comment, dans les deux domaines stratégiques que sont la surveillance estivale et l'équipement des massifs forestiers, cela s'est traduit.

Les « anciens » se souviennent sans doute des guerres de chapelles qui pouvaient voir cohabiter en période estivale plusieurs dispositifs de prévention sur un même territoire. Aujourd'hui, les temps ont bien changé et on est passé d'une concurrence entre services à une véritable collaboration, voire à une coproduction. Une bonne complémentarité existe entre les différents acteurs de la DFCI dont les moyens de prévention sont déployés de manière coordonnée, de façon à assurer une couverture optimale compte-tenu des personnels disponibles et des niveaux de danger prévus.

Pendant longtemps, les pistes DFCI ont été aménagées en allant au plus simple, en privilégiant la facilité de réalisation, dans un souci de quadriller au plus vite l'espace forestier et d'utiliser rapidement les nombreux crédits débloqués après des étés difficiles. De nombreux retours d'expérience, notamment après les terribles feux de 2003, ont alors permis de se rendre compte de l'importance du positionnement des ouvrages par rapport à une logique de progression du feu et, là aussi, forestiers et sapeurs-pompiers ont travaillé ensemble en s'appuyant sur des travaux de recherche, pour construire un réseau de pistes plus adapté à la lutte, et dont le maintien en conditions opérationnelles puisse être assuré par les collectivités territoriales.

L'intérêt de structures transversales

À l'échelle de la région méditerranéenne française, l'Entente interdépartementale pour la protection de la forêt et de l'environnement contre l'incendie, est née de la volonté d'initier une politique de solidarité pour faire face aux feux de forêt. Crée en 1963, elle est, depuis 2008, un établissement public qui regroupe maintenant 14 départements du Sud-Est, les Régions, les Services d'incendies et de secours et les Etablissements publics de coopération inter-

communale. L'Entente est composée de cinq unités opérationnelles : un service de communication, une école d'application, un pôle des nouvelles technologies, un centre d'essai et un comité scientifique et technique, qui en font un acteur incontournable pour l'information du public et l'efficacité de la lutte contre les incendies.

Une collaboration fructueuse a également été mise en place sur le plan scientifique. En effet, dans les années 1990, les recherches sur les incendies de forêt étaient assez récentes en Europe, menées par des équipes souvent de petite taille, et les connaissances en la matière étaient encore très lacunaires. C'est pourquoi le Groupement d'intérêt scientifique « Incendies de forêt » a été créé en 1997, afin de développer les synergies entre les équipes de recherche travaillant sur les incendies de forêt en région méditerranéenne et de mieux valoriser les résultats obtenus. Les thèmes de recherche ont concerné l'impact écologique du feu et les dynamiques naturelles après incendie, l'évaluation de l'aléa et la connaissance du comportement du feu, ainsi que la prévention, à la fois par l'analyse socio-économique des causes et l'équipement du territoire. En plus des organismes de recherche fondateurs, ce GIS intégrait dans son Comité d'orientation scientifique, les ministères, les collectivités territoriales et les services impliqués dans la prévention des incendies de forêt. Cette collaboration formelle a pris fin en 2007, par manque de financement, mais les effets bénéfiques perdurent.

Les progrès dans

la connaissance du feu

Le comportement du feu

Depuis 40 ans, les connaissances sur les mécanismes de comportement du feu ont progressé, à l'échelle internationale, mais pas d'une manière aussi « spectaculaire » qu'on pourrait le penser compte tenu des avancées technologiques (instrumentation, acquisition et traitement des données, simulation numérique) qui permettraient des investigations beaucoup plus poussées. Sait-on vraiment comment les feux se propagent, quel est le détail des mécanismes physiques et chimiques en jeu ? Nous disposons d'éléments expérimentaux et d'observation permettant d'émettre des hypothèses, mais nous

ne disposons pas d'une théorie confirmée de la propagation du feu (FINNEY *et al.* 2013), ni de lois de comportement du feu universellement établies pour exprimer la réponse du feu (vitesse, puissance) au vent, à la pente, à la teneur en eau et à la structure du combustible. Aussi, certaines observations ne sont pas complètement expliquées par les modèles actuels.

Des études expérimentales ont récemment amené à se demander, par exemple, si le feuillage vert des arbustes et des arbres brûle comme un combustible mort très humide (c'est l'hypothèse courante), ou bien s'il a des propriétés différentes du fait qu'il s'agit de matière vivante. Autre question, qui présente un intérêt direct pour les gestionnaires, les forêts de pin, d'après les experts, seraient plus combustibles que les forêts de feuillus (surtout décidus) : cette appréciation est confirmée par certaines études statistiques, mais les raisons souvent avancées pour expliquer cet effet associé à la composition du peuplement (e.g. différence d'inflammabilité) sont difficiles à tester puisque de nombreuses propriétés qui peuvent influencer la propagation du feu changent avec la composition.

Beaucoup de moyens ont été dirigés, à l'échelle internationale, vers des travaux reprenant inlassablement dans leur méthode les modèles empiriques nord-américains, et les études expérimentales indispensables à la compréhension des phénomènes ont été pour le moins négligées. Les chercheurs français ont toutefois été parmi les promoteurs d'une nouvelle approche, mécaniste, qui a débouché sur de nouveaux modèles de propagation (DUPUY 2010, cf. Fig. 2). Ce sont des outils puissants de simulation du feu, mais encore réservés aux chercheurs, qui ont bénéficié des avancées en matière de calcul scientifique et permettent d'explorer les interactions complexes entre le vent, la topographie, la végétation et le feu. Leurs résultats peuvent toutefois être intégrés à des simulateurs plus simples. Cette approche nouvelle a contribué à une prise de conscience au sein de la communauté scientifique du fait que les phénomènes convectifs (les mouvements d'air et de gaz brûlés dans et autour du feu) sont essentiels pour expliquer la propagation du feu. Cette prise de conscience s'est largement manifestée à travers les travaux scientifiques diffusés lors de la Conférence internationale sur les feux de forêt de 2014 (VII^e ICFFR, Coimbra, Portugal).

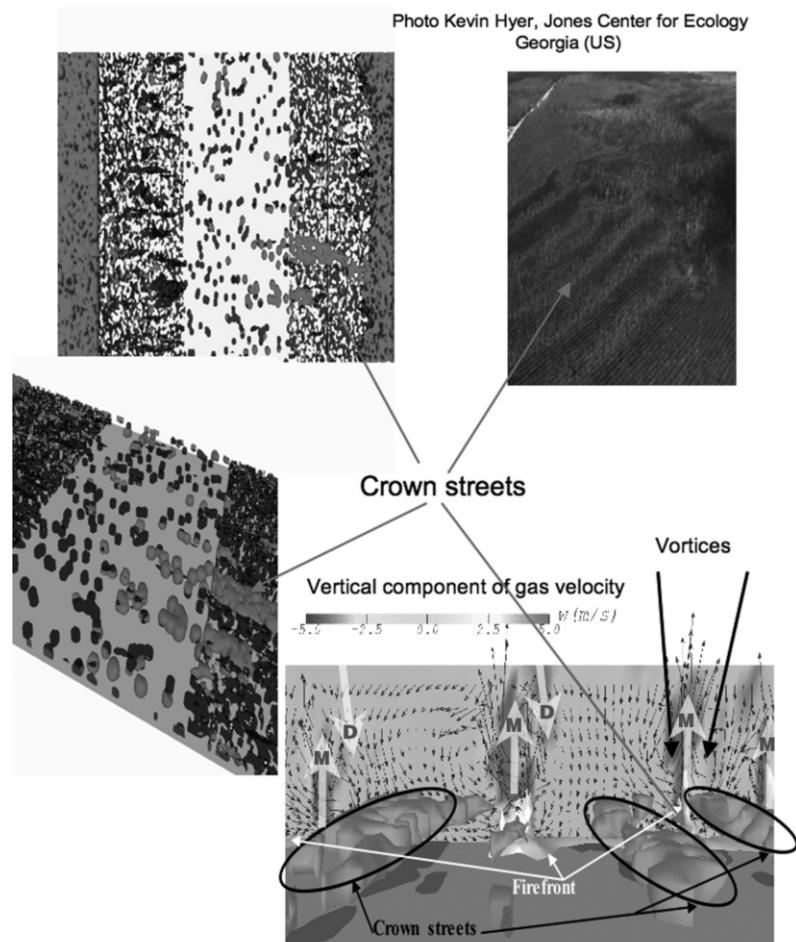


Fig. 2 :

Dommages aux arbres et couloirs préservés par le feu (crown streets). Les images de gauche représentent les niveaux de densité de feuillage restant dans la canopée après feu (gris foncé : faible ; gris clair : élevé), calculés par HIGRAD-FIRETEC. La photo en haut à droite a été prise aux Etats-unis illustrant que les couloirs peuvent avoir une géométrie simple. L'image en bas à droite représente la valeur algébrique de la composante verticale du vent local : les courants ascendants (M), les courants descendants (D). Les flèches représentent la composante du vent dans le plan vertical, ce qui permet de visualiser les tourbillons (vortices). Ces vents locaux sont aussi calculés par le modèle.

Source : DUPUY J.L., 2010. Forêt Méditerranéenne T. XXXI, n°4, pp. 399-403.

L'état hydrique de la végétation

Les bases de données sur les feux et l'état hydrique de la végétation, vu comme un indicateur biologique du danger de feu, se sont enrichies, y compris à l'échelle de la région méditerranéenne. Ces bases de données (Prométhée, Réseau hydrique) sont aujourd'hui exploitées pour faire progresser la compréhension des facteurs gouvernant les feux et leur modélisation. Le Réseau hydrique est un bon exemple car il a été mis en place pour le compte de la DPFM suite à des années de suivi de teneur en eau par

3 - IRSTEA : Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture.

l’Institut national de la recherche agronomique (INRA) au titre de ses recherches sur le risque, et est opéré par l’ONF depuis 1996. Les données hebdomadaires produites par ce réseau permettent à Météo-France et à l’Etat major de zone de préciser le niveau de danger au cours de la saison estivale (Cf. Fig. 3).

Au-delà de son intérêt opérationnel, le Réseau hydrique permet aussi d’analyser les feux passés (e.g. feux de 2004, MORO 2004) et l’ensemble des 20 000 enregistrements en font une base de données scientifiques unique (MARTIN ST PAUL *et al.* 2018). Ces données « uniques » sont aujourd’hui exploitées pour tester des indicateurs d’état hydrique (RUFFAULT *et al.* 2018), pour comprendre la réponse des plantes à la sécheresse et *in fine* pour élaborer des indicateurs de risque plus performants.

Fig. 3 :

Dynamiques estivales de teneur en eau (LFMC, %) du chêne kermès et du romarin et précipitations (mm) associées sur le site « Le télégraphe » (D13S2)

du Réseau Hydrique (Bouches-du-rhône, 2009). Les aires grisées montrent l’intervalle de confiance à 95% (A) estimateurs bruts (B) estimateurs robustes (cf Martin

St-Paul *et al.* 2018). Le romarin répond fortement aux variations climatiques (précipitations ou sécheresse) et atteint des niveaux très faibles de teneur en eau en fin de saison, tandis que le chêne kermès maintient un niveau élevé au cours de l’été.

La structure du combustible

Qu’avons-nous appris ? Que savons-nous aujourd’hui du combustible dans les forêts méditerranéennes ? C’est une question essentielle parce que la propagation du feu et le niveau de risque en dépendent, mais aussi parce que c’est en modifiant, manipulant le combustible, qu’on peut réduire cet aléa. Nous avons déjà évoqué le Réseau hydrique pour le suivi de la teneur en eau des arbustes méditerranéens.

Un certain nombre d’études, ici ou là, ont aussi permis de caractériser certains faciès de végétation en termes de structure de combustible. Par exemple, l’IRSTEA³ (à l’époque

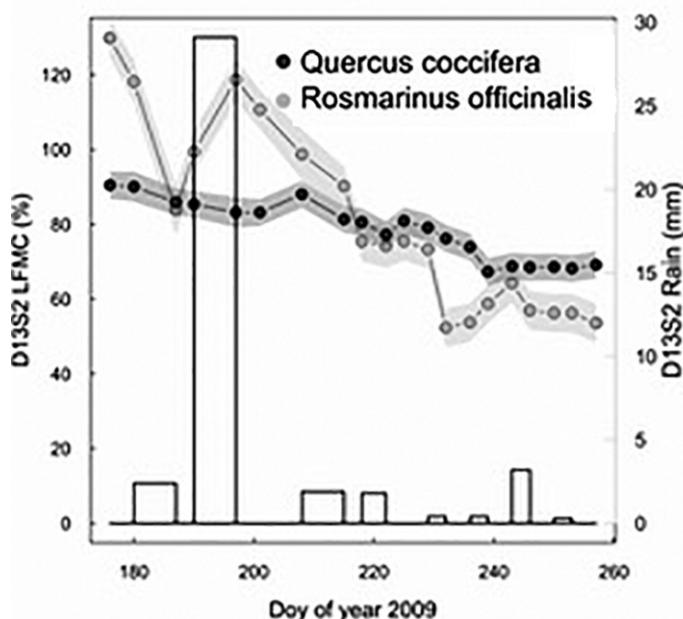
Cemagref) a proposé une typologie des combustibles de Provence Calcaire (CHANDIOUX *et al.* 2009), et a contribué à la constitution de modèles de combustible à l’échelle européenne. L’inflammabilité des espèces a été largement étudiée, aboutissant à un classement en niveaux d’inflammabilité, et la combustibilité des peuplements a été discutée (eg ALEXANDRIAN et RIGOLOT 1992). Néanmoins, nous ne disposons pas d’une typologie des combustibles à l’échelle de la région méditerranéenne française, ni d’une cartographie de ces combustibles (une carte de combustible n’est pas une carte de végétation).

Si la caractérisation à l’échelle du peuplement reste incontournable mais fastidieuse, les avancées considérables en matière de télédétection, aérienne ou satellitaire (LiDAR, Sentinel), ouvrent des possibilités de cartographie encore insuffisamment explorées et utilisées, notamment par leur capacité à capturer les dynamiques à grande échelle tout en offrant une haute résolution.

Enfin, le combustible n’échappe pas à un élément de contexte de moins en moins nouveau, celui des changements globaux. Le réchauffement climatique conduira à une hausse importante du danger météorologique (Indice Forêt Météo) dans la zone Prométhée. Les sécheresses et les vagues de chaleur pourront conduire à des teneurs en eau encore plus faibles et à des déperissements augmentant la quantité de matériel mort. Les forêts s’étendent et la biomasse combustible s’accumule. Les approches mises en place pour caractériser le combustible doivent prendre en compte ces aspects dynamiques.

La problématique de la végétation des interfaces habitat-forêt

Avec l’imbrication croissante des milieux naturels et des constructions issues du processus de périurbanisation, l’évaluation du risque et des dommages potentiels dans les interfaces nécessite de s’intéresser à la structure et à l’inflammabilité du combustible d’interface (également appelé « végétation ornementale » bien que composé aussi bien d’espèces natives que d’espèces strictement ornementales). Peu de recherches, en France notamment, ont été menées sur l’inflammabilité des espèces ornementales et aucune



sur la propagation du feu dans cette végétation. Pourtant, les linéaires de combustibles proches des habitations que forment les haies d'ornement représentent d'efficaces vecteurs de propagation du feu au sein des interfaces, voire d'habitation en habitation comme cela a été mis en évidence lors du feu de Rognac (Bouches-du-Rhône) en 2016. Étudier plus en détails la propagation du feu dans la végétation ornementale, et notamment sa modélisation à différentes échelles (échelle micro : propagation du feu de la litière à la première branche et échelle macro : propagation du feu au sein de d'une interface habitat-forêt) en se servant des données obtenues précédemment sur l'inflammabilité et structure du combustible d'interface, est un travail novateur qui nécessite de réadapter les modèles de comportement du feu initialement développés pour des types de végétation beaucoup plus homogènes que la végétation ornementale.

Vers une cartographie du combustible

Les SIG (Systèmes d'information géographique) ont fortement contribué depuis les années 1990, à une meilleure compréhension et représentation spatiale du risque d'incendie. Les bases de données géoréférencées nécessaires à l'évaluation de l'aléa ont été rendues accessibles grâce notamment à leur financement au travers de contrats de plan Etat-Région et à la mise en place de structures facilitant leur accès et leur utilisation (telles que le Comité régional de l'information géographique). Ainsi, les MNT (Modèle numérique de terrain), les bases de données sur l'occupation du sol ou sur les forêts sont disponibles.

Des besoins persistent cependant en matière de données d'entrée pour la modélisation du comportement du feu dans la végétation, notamment en terme de caractérisation du combustible et de cartographie. Le programme européen Fire Paradox a permis de produire une base de données sur la composition en éléments fins d'un grand nombre d'espèces méditerranéennes. Pour la cartographie, les données à très haute résolution spatiale permettent d'accéder à des informations précises sur de grandes surfaces. Les méthodes de traitement d'image orientées objet permettent par exemple d'estimer des taux de recouvrement par extraction automatique des houppiers.

40 ans de prévention, entre permanence et modernité

En étant loin d'être exhaustifs, on peut s'attarder sur certains points pour lesquels on a observé des changements majeurs grâce notamment à des bonds technologiques au service d'idées dont les bases avaient été posées par nos prédecesseurs. Ce sont, dans un ordre temporel, avant le feu que l'on souhaite éviter : la connaissance du risque, la sensibilisation, l'équipement des massifs, les dispositifs de surveillance et d'alerte.

La connaissance du risque

Le risque feu de forêt est classiquement défini comme l'interaction entre l'aléa, défini principalement par sa fréquence et son intensité, la vulnérabilité du système qui définit l'ampleur du dommage causé par l'aléa, et les enjeux naturels et socio-économiques, c'est-à-dire la perte potentielle liée au dommage et fonction de la valeur du système. Pour définir l'aléa on distingue un aspect plutôt intrinsèque lié au territoire considéré (topographie, végétation, occupation du sol, historique...) et un aspect plutôt conjoncturel, le danger, composante quotidienne résultant de la météo.

Alexandre SEIGUE fait le constat dès le début des années 80 qu'avec la mise en place des Détachements d'intervention prioritaire et du guet aérien armé « *l'appréciation du risque météo considérée depuis près de 20 ans comme une curiosité scientifique sympathique devient maintenant la pièce maîtresse du dispositif* » (Forêt Méd. T. IV, n°1, 1982, pp. 55-60)

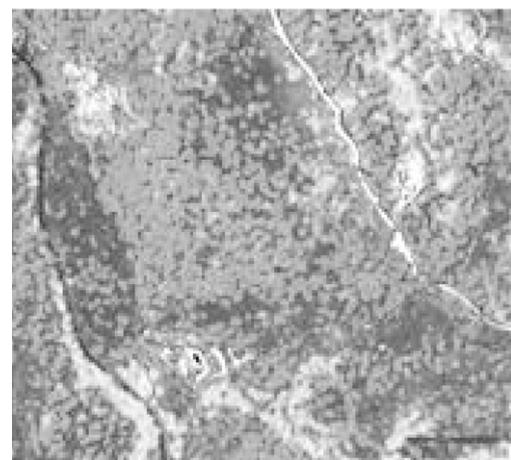


Fig.4 :
Extraction des houppiers (en gris clair) à partir d'une image Quickbird.

Fig. 5 (ci-contre) :

Illustration dans l'article

Protection des forêts contre l'incendie et système d'information géographique : application à la commune d'Auribeau-sur-Siagne (DAGORNE A., DUCHE Y., CASTEX J.M., OTTAVI J.Y. T. XV, n°4, 1994, pp. 409-420)

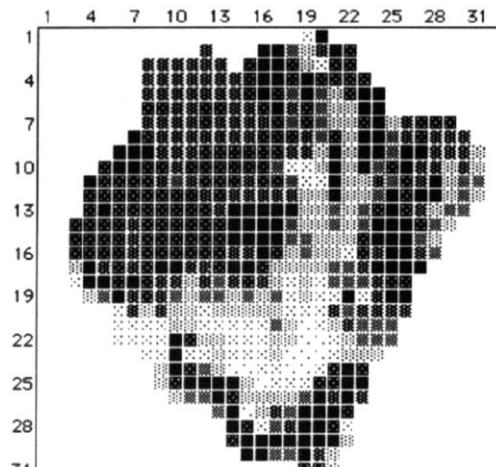


Fig. 6 (ci-dessous) :

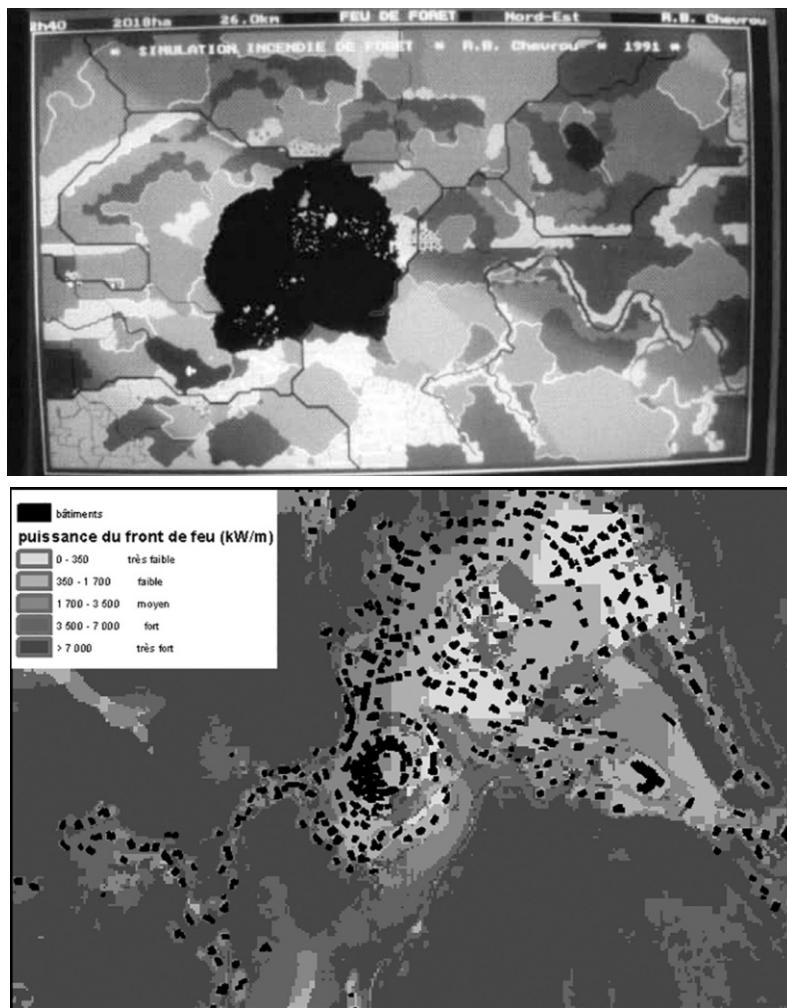
Illustration dans l'article

Systèmes d'information géographique et modèles feu : aide à la décision pour la conception et l'implantation des infrastructures de prévention et de DFCI (CHEVROU R.B. T. XV, n°2, 1994, pp. 223-224)

Fig. 7 (en bas) :

Extrait de carte d'aléa dans le département des Alpes-Maritimes.

Calcul ONF 2012.



La connaissance du risque dans ses deux composantes a bénéficié au fur et à mesure de tous les progrès technologiques : informatique pour le traitement de données de plus en plus lourdes, images satellites (premières utilisations des images SPOT et LANDSAT relatées par Andrée DAGORNE, *Forêt Méd.* T. XIV, n°3, 1993, pp. 218-227), capteurs de plus en plus perfectionnés, Systèmes d'information géographique permettant des analyses spatialisées (numéro spécial SIG *Forêt Méd.* T. XXI, n°1, 2000), logiciels de modélisation (CHEVROU RB. *Forêt Méd.* T. XV, n°2, 1994, pp. 223-224), définition de nouveaux indices (DROUET JC. et SOL B. *Forêt Méd.* T. XIV, n°2, 1993, pp. 155-162)...

(Cf. Fig. 5, 6 et 7, ci-contre).

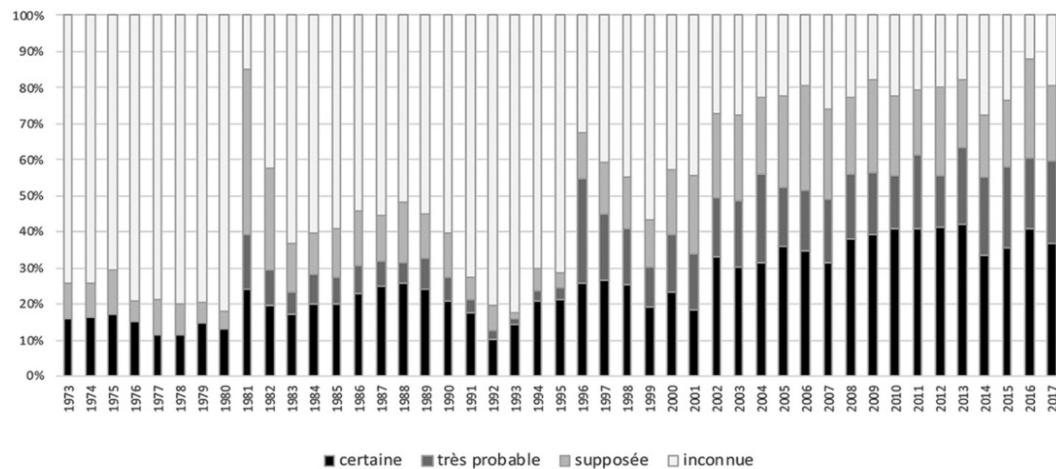
La sensibilisation de la population

Nous pouvons oser le dire : la sensibilisation a fait des progrès formidables mais il est toujours aussi difficile d'en mesurer l'impact et l'efficacité. Un chiffre cependant indique sa progression : celui du nombre des départs de feu en baisse continue depuis plus de 40 ans (avec aujourd'hui 1 800 départs en moyenne annuelle).

Mais les freins sont encore nombreux. Des idées reçues qui perdurent, une culture du risque peu disséminée chez ceux qui doivent éviter les comportements à risques et ceux qui doivent s'autoprotéger (OLD). Or, l'imprudence est et demeure la première cause des incendies. Il faut toujours et encore rappeler que le pyromane (et plutôt l'incendiaire !) n'est pas le seul coupable des incendies. Sinon « Monsieur tout le monde » risque de ne pas se sentir concerné ! Côté bonne nouvelle, citons la loi de modernisation de la Sécurité civile avec « un citoyen qui doit être l'acteur de sa propre sécurité et qui doit envisager celle des autres... ».

Depuis les premières campagnes de prévention datées des années 80, les acteurs mobilisés ont pu s'appuyer sur une meilleure connaissance des catégories de causes et des motifs. Sans doute un jour voudrons-nous faire du prédictif, mais comme le disait déjà Francis ARRIGHI « *la bataille se gagne dans l'opinion* ». Ce souci de mieux connaître les causes pour mieux les traiter est ancien (Alexandre SEIGUE en pose les bases dans l'art. *Forêt Méd.* T. IV, n°2, 1982, pp. 281-297) et force est de constater que cette connais-

Feux de forêt : évolution du niveau de connaissance de la cause
(1973-2017) source base Prométhée



sance a été améliorée en continu à travers le travail interservices au sein des BECRIF (Bureau d'étude et de centralisation des renseignements sur les incendies de forêt) et autres « cellules Vulcain » (Cf. Fig. 8).

Malgré des budgets progressivement contraints, le travail d'acteurs en réseau aura permis de rationaliser la dépense et de diffuser des outils et des ressources en cohérence avec les territoires. Il nous faut cependant aujourd'hui regretter que la prévention — qui vise essentiellement à empêcher que les feux se produisent et non pas en limiter les dégâts — ne soit pas toujours pensée comme un déterminant premier à partager.

En matière de communication ou plutôt de sensibilisation, les actions sont (et ont été) nombreuses, variées et déterminantes. Celles portées par l'Entente — avec le soutien de la DPFM et des régions (Corse, Occitanie et Sud-Provence-Alpes-Côte-d'Azur) — demeurent basées sur, d'une part, des documents « papier » et, d'autre part, sur des supports numériques avec plus récemment un développement sur les réseaux sociaux. Flyers, dépliants, CD, DVD, spot, vidéo tutos, infographies, appli smartphone, bannières web sont quelques-uns des outils et ressources conçus et diffusés avec le relais des acteurs de terrain (patrouilles de surveillance DDTM, ONF, Forsap, CCFF...) ⁴ et des médias. S'il est une performance marquante depuis 40 ans, c'est avant tout une diffusion de messages cohérents sur le territoire soumis au risque, une mobilisation d'un grand nombre de parties prenantes et sur des campagnes mieux ciblées et mieux partagées. Si les « recettes » demeurent, elles sont désormais conçues pour donner au bon interlocuteur les bons outils au moment opportun.

Pour la prévention, il n'y a pas de fatalité des incendies en régions méditerranéennes même si le changement climatique annonce des saisons feux plus longues et plus difficiles...

Le défi devant nous porte pour l'instant un nom « valise » : la culture du risque. Pour lui donner tout son sens, il sera nécessaire d'augmenter chez les populations cibles leurs connaissances et leur juste représentation de l'incendie, et la qualité bien appréciée du niveau de risques et de menaces qui peut les affecter. Parmi les facteurs qui influencent un individu ou un groupe, la connaissance et l'application des dispositifs de prévention et de protection sera recherchée, comme la capacité d'initiative pour la recherche d'info et de solutions. La prévention devra garder la mémoire des incendies passés, faciliter le travail des autorités afin de développer le sentiment de sécurité, la confiance dans les autorités et l'adoption des bons comportements...

L'équipement des massifs

Comme le rappelle le sous-préfet Francis ARRIGHI, un des pères fondateurs de l'Entente, dès le premier numéro de la revue, « *L'aménagement du terrain est la clé de voûte de l'organisation de la DFCI* » (*Forêt Méd.* T. I, n°1, 1979, pp.43-48). L'équipement des massifs en pistes, points d'eau et coupures a progressé pour permettre un meilleur accès aux feux et faciliter la lutte.

La rationalisation de ces ouvrages, nécessitée par le souci d'une meilleure utilisation des fonds principalement publics en diminution, a pu se faire grâce à trois axes :

Fig. 8 :
Evolution du niveau de connaissance de la cause des feux de forêt (1973-2017).
Source Base Prométhée.

4 - DDTM : Direction départementale des territoires et de la mer.
Forsap : forestiers sapeurs.
CCFF : Comités communaux feux de forêt.

40 ans de forêt méditerranéenne

5 - RCC : Réseau coupures de combustible.
<https://cardere.fr/33-coupures-de-combustible>

Photo 1 :
Réunion de Comité de secteur à Evenos.
Photo Thomas Rampal

Photo 2 :
Visite de terrain interservices.
Photo Michel Costa.

– l'implantation des ouvrages a été optimisée grâce à l'amélioration de la connaissance du risque, comme exposé précédemment ;

– la conception des coupures de combustible s'est professionnalisée avec la production de standards partagés (guides de normalisation) issus de groupes de travail (RCC⁵, DPFM) qu'il faudrait sans doute actualiser, et de retours d'expérience qu'il conviendrait de généraliser (RIGOLOT E., PERCHAT S. *Forêt Méd.* T. XXV, n°4, 2004, pp. 275-278) ;

– en parallèle des progrès techniques, il y a eu une amélioration continue du travail interservices, que ce soit à l'occasion d'opérations ponctuelles ou au sein d'instances plus formalisées (comités de secteurs, groupes de

travaux, groupes de contact...) qui ont pris leur essor dans les années 2000, tendance dont la revue se fait l'écho (Cf. Photos ci-dessous). Michel COSTA en donne un exemple en Corse en expliquant que « *cette intégration opérationnelle interservices permet notamment aux forestiers d'intégrer au mieux les problèmes rencontrés par les acteurs de la lutte et pour ces derniers d'appréhender les différentes contraintes (physiques, financières, sociologiques, environnementales...)* dans la phase de réflexion et de réalisation des travaux sur le terrain » (*Forêt Méd.* T. XXV, n°4, 2004, pp. 313-318). Jean LABADIE complète en constatant que « *le fait le plus positif est sans doute que chaque acteur a pu trouver dans les réunions et les actions du comité une synergie avec ses propres actions.* » (*Forêt Méd.* T. XXVII, n°4, 2006, pp. 331-338). Et Jean-Hugues BARTHET de conclure dans son rapport d'inspection générale suite aux feux de 2003 : « *Quand les services concernés ont l'habitude de travailler ensemble depuis longtemps la forêt brûle plutôt moins.* » (*Forêt Méd.* T. XXV, n°4, 2004, pp. 283-288)

De nombreuses réflexions ont été menées sur les techniques d'entretien de ces ouvrages, et ces 40 dernières années ont vu l'émergence et la généralisation de nouvelles techniques de contrôle du combustible, le brûlage dirigé et le pâturage contrôlé, en complément du débroussaillage mécanique qui reste néanmoins la technique de référence.

En particulier le développement du brûlage dirigé a fait évoluer la vision du rôle du feu dans l'écosystème méditerranéen, nourri par des travaux en écologie du feu, débouchant sur une approche intégrée du feu maintenant largement partagée (RIBET N., *Forêt Méd.* T. XXXII, n°3, 2011, pp. 277-290). Ainsi le lien nécessaire entre tous les stades de la gestion de crise, et en particulier entre la prévention et la lutte, est consolidé par l'émergence d'une communauté de formation et de pratique des équipes du brûlage dirigé et du feu tactique. Aujourd'hui ces équipes spécialisées commencent à contribuer aux formations internes des SDIS pour consolider, par la pratique, la culture du feu de forêt. L'appui des cellules de brûlage dirigé au monde pastoral contribue à limiter les incendies d'hiver par dérapage d'écoubages et à rétablir les bonnes pratiques dans le respect de la réglementation (FERNANDES *et al.* 2013).



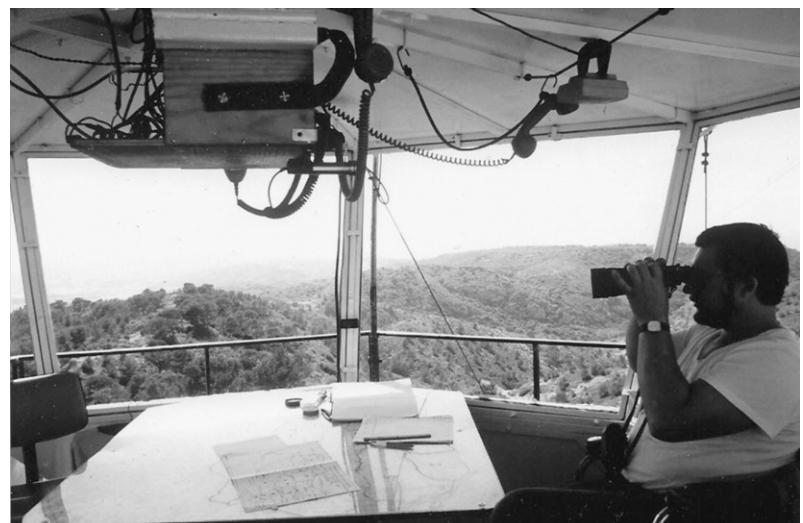
Les dispositifs de surveillance et d'alerte

Dernier point, à la limite de la prévention et de la lutte, les dispositifs de surveillance et d'alerte visent à atteindre l'objectif si bien imaginé et inlassablement rappelé par Guy BENOIT DE COIGNAC : « *tuer dans l'œuf tous les embryons d'incendies faciles à éteindre* » (*Forêt Méd.* T. IX, n°1, 1987, pp. 65-66 et T. XVII, n°2, 1996, pp. 97-106)

Au début des années 1980, Alexandre SEIGUE fait le constat qu'« *en substituant aux riverains des forêts* » luttant avec les moyens du bord « *des pompiers basés dans les villes et les villages, il a fallu renforcer les moyens de détection et organiser la transmission téléphonique et surtout radio des alertes* » (*Forêt Méd.* T. IV, n°1, 1982, pp. 55-60). Les premières vigies, qui donnaient l'alerte avec une indication sommaire de l'emplacement de la fumée, ont vu leur mission évoluer au fur et à mesure de l'avènement des téléphones portables et du numéro d'alerte européen 112, vers une confirmation, qualification et localisation précise (à l'aide de cartes et d'outils de plus en plus performants) des premières alertes données par le grand public. Les nouvelles technologies entrent en jeu avec le développement de caméras de détection ou de confirmation, et peut-être dans l'avenir, l'usage de capteurs embarqués dans des drones ou la détection de points chauds par satellite géostationnaire ?

(Cf. Photos ci-contre)

Les patrouilles de première intervention sur feu naissant sont un outil naturellement complémentaire à ces dispositifs et ont connu un important essor. Les forestiers, d'abord équipés de camions plutôt destinés à un complément de lutte, se sont vus équipés de moyens plus légers, d'abord en test en 1986 dans les Alpes-Maritimes et les Bouches-du-Rhône (CHEVALIER B. *Forêt Méd.* T. IX, n°1, 1987, pp. 53-56), puis généralisés aux autres départements à partir de 1987. Ces pick-up (des premiers Peugeot 504



De haut en bas

Photo 3 : Guetteur à l'intérieur d'une vigie à Lambesc en 1990.

Photos R. Schiano / Fomedì.

Photo 4 : Véhicules des CCFF du Tholonet en 1990.

Photo 5 : Véhicule moderne de patrouille de première intervention.

Photo ONF.

6 - OFRAN : ouvriers forestiers rapatriés d'Afrique du Nord.

7 - UIISC : Unité d'instruction et d'intervention de la sécurité civile.

Dangel aux véhicules modernes plus confortables et dotés de géolocalisation, en passant par les quasi inusables Land Rover Defender) équipés de citernes de 500 à 700 litres d'eau et de motopompes variées (haute pression, basse pression, avec ou sans additif...) sont depuis mis en œuvre par des personnels divers (forestiers-sapeurs, OFRAN⁶, APFM, ouvriers de l'ONF, pompiers, ouvriers des collectivités, bénévoles des CCFF...) et représentent la cheville ouvrière terrestre du dispositif d'attaque rapide des feux naissants.

– des colonnes de renfort de sapeurs-pompiers provenant de régions a priori moins concernées par le risque d'incendies de forêt et constituées de personnels respectant strictement les normes de qualification. Au titre de la solidarité nationale, jusqu'à 1 300 hommes ont pu être mobilisés au plus fort des incendies de juillet 2017 pour renforcer les moyens locaux. En application de la loi de modernisation de la sécurité civile, le coût de ces colonnes est supporté par l'Etat.

La doctrine française de lutte contre les feux de forêt

Les particularités des risques d'incendie de forêt (cinétique rapide des feux) et l'ampleur des moyens potentiellement nécessaires pour faire face aux opérations se développant dans ce cadre ont conduit le ministère de l'Intérieur à développer et prendre en charge une composante d'intervention constituée de moyens lourds complémentaires de ceux alignés par les collectivités locales et leurs établissements publics (moyens d'intervention des SDIS principalement). Ces moyens nationaux se caractérisent par leur capacité à intervenir sur l'ensemble du territoire, et notamment sur les deux bassins principaux de risques : les départements méditerranéens et la Corse d'une part, le massif des Landes de Gascogne d'autre part. Ils comprennent actuellement :

– 22 avions bombardiers d'eau qui constituent une flotte diversifiée permettant d'assurer des missions de guet aérien armé (8 Tracker) ou de lutte contre les feux en cours d'évolution (12 Canadair et 2 Dash) dont l'emploi peut être valorisé par l'utilisation de produits retardants,

– 3 avions de liaison permettant d'assurer des missions de coordination ou d'investigation sur feu,

– 35 hélicoptères de secours et de commandement,

– les formations militaires de la sécurité civile qui ont notamment développé des éléments spécialisés complémentaires de ceux des sapeurs-pompiers (détachements d'intervention retardant, détachement d'intervention héliporté, détachement d'appui permettant d'aménager les sites d'intervention pour faciliter l'action des secours...),

La définition de la doctrine

Outre le renforcement et la modernisation des moyens nationaux, les efforts conduits par le ministère de l'Intérieur en matière de protection des forêts contre l'incendie ont porté sur l'amélioration des conditions de leur emploi.

La direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises a impulsé dans les années 90 une vaste réflexion sur la problématique feux de forêt en associant des acteurs de terrain appartenant à des horizons divers (sapeurs-pompiers, forestiers, cadres des UIISC⁷, pilotes de la base avion de la Sécurité civile...), s'appuyant sur une démarche de retour d'expérience, qui a permis de formaliser une doctrine partagée par l'ensemble des partenaires.

Cette doctrine — qui prévaut sur l'ensemble des zones à risques du territoire national — pose deux principes fondamentaux :

– la nécessité d'adopter une approche globale permettant aux différents acteurs, qu'ils relèvent de la prévention ou de la lutte, d'inscrire leurs interventions dans un cadre commun et cohérent,

– le caractère indispensable de l'anticipation qui doit être érigée en règle absolue.

Une priorité, l'attaque rapide des feux naissants

La stratégie d'attaque rapide des feux naissants constitue un pilier de cette doctrine. L'expérience montre en effet qu'un feu doit avoir parcouru moins de 1 ha pour être encore maîtrisable lorsque les premiers intervenants commencent à le combattre. La stratégie d'attaque rapide des feux naissants développée pour atteindre cet objectif doit permettre d'attaquer en période de risque tout feu dans les 10 minutes suivant sa détection. Elle repose sur la mobilisation

prévisionnelle des moyens de lutte, qu'il s'agisse des sapeurs-pompiers des SDIS (déployés alors dans les massifs sensibles aux côtés des forestiers, des membres des Comités communaux feux de forêt) ou des moyens nationaux terrestres qui y prennent toute leur part (détachements des UIISC mis en place également sur le terrain, principalement en Corse, patrouilles militaires mises à disposition en application d'un protocole conclu avec le ministère de la Défense, mobilisation prévisionnelle de colonnes de renfort).

En application de cette démarche, les moyens nationaux qui sont répartis sur l'ensemble de la zone Sud — qui reste la plus vulnérable aux incendies de forêt — peuvent être, en cas de risques sévères dans le massif des Landes de Gascogne, prépositionnés à Bordeaux-Mérignac⁸.

Les avions bombardiers d'eau tiennent une place déterminante dans la poursuite de cet objectif de traitement des feux naissants. Lorsque le risque est le plus élevé, ils effectuent des missions de guet aérien armé (GAAr) qui garantissent une première intervention et une remontée d'information rapides en supprimant les délais de décollage des aéronefs préalables à une intervention⁹. Sans cet apport du GAAr (qui constitue une spécificité de la méthode française de lutte contre les feux de forêt), cet objectif d'intervention dans les dix minutes sur un départ de feu ne pourrait être atteint, tant en raison de l'importance des espaces à couvrir que des difficultés d'accessibilité dues au relief dans les départements méditerranéens.

Le GAAr est la mission prioritaire des Tracker de la flotte d'avions bombardiers d'eau de la sécurité civile. Mais les autres bombardiers d'eau y prennent également part. En moyenne, plus de 30% du potentiel opérationnel des avions bombardiers d'eau est consacré à cette mission. Les Tracker,

8 - C'est également en fonction de ce principe qu'un avion bombardier d'eau Dash est mis en place à La Réunion au début de l'automne, période de plus fort danger dans cette île, depuis 2012.

9 - Une étude conduite à la fin des années 80 a montré que les feux traités par le GAAr parcourent en moyenne 7 ha, contre 70 ha pour ceux qui sont attaqués par les moyens aériens mis en vol après demande d'intervention.



En haut :

Photos 6 et 7 :
Canadair et hélicoptère bombardier d'eau lors d'une démonstration organisée à l'occasion du FIPF (Forum international de protection contre les feux) par l'Entente en 1997.

Photo 8 (ci-contre) :
Démonstration de matériel de lutte au sol.
Photos DA.



Photo 9 (en haut) :

Pompiers varois lors du feu du Cannet des Maures en 2003.
Photo SDIS 83.

Photo 10 (ci-dessus) :

Démonstration de largage du DASH lors du lancement de la campagne FDF par le ministre de l'intérieur dans le Var, le 25 mai 2018.
Photo ONF.

compte tenu de leur vieillissement, devant être retirés du service dans les prochaines années, il est apparu indispensable de remplacer cette flottille pour permettre de pérenniser cette démarche. La décision du ministre de l'Intérieur de procéder à l'achat de six Dash (appareils plus rapides et d'une capacité d'emport près de trois fois plus importante à celle des Tracker) permettra de maintenir l'apport essentiel des moyens aériens dans la stratégie d'attaque des feux naissants.

Une meilleure analyse de la situation

Pour être efficace, cette démarche suppose de disposer d'éléments précis d'évaluation du risque d'incendies de forêt obtenus grâce à une collaboration avec Météo France et avec l'Office national des forêts. Une coopération continue avec ces services permet de perfectionner les analyses conduites. Le Centre

opérationnel de gestion interministériel de crise du ministère de l'Intérieur (dans le cas d'arbitrage entre des demandes concurrentes de préfets de zone) ou les Etats-majors interministériels de défense et de sécurité (EMIZ) sont ainsi en mesure d'anticiper et d'apporter, en liaison avec les préfets des départements, la meilleure réponse aux situations de danger.

La réduction du nombre des départs d'incendie constitue une autre priorité. La multiplicité du nombre des feux, qui conduit à la saturation du dispositif d'intervention, ne permet pas d'appliquer la stratégie d'attaque rapide des départs de feu et pénalise ainsi l'efficacité du dispositif de secours. La constitution, sous l'autorité des préfets, d'équipes pluridisciplinaires de recherche des causes des incendies de forêt (RCCI), associant policiers, gendarmes, sapeurs-pompiers et forestiers, permet de mieux identifier l'origine des feux et de définir les orientations permettant de les éradiquer.

Enfin, l'application de cette stratégie suppose également une coordination étroite des actions conduites dans le domaine de la prévention, en matière d'aménagement du terrain et d'occupation du sol sous l'égide des préfets de zone et de département soit effective afin de garantir une détection rapide des incendies et faciliter l'action des unités d'intervention tout en limitant les risques pesant sur les personnes et les biens.

Les résultats

Les surfaces touchées par le feu en France sont en diminution sensible depuis l'application de la stratégie d'attaque des feux naissants. Lors des dix dernières années, 11 400 ha ont été touchés en moyenne par le feu en France, les deux tiers dans les départements méditerranéens. Avant que ne soit appliquée la stratégie d'attaque des feux naissants, 46 000 ha en moyenne étaient annuellement touchés par le feu en France, dont 36 000 ha dans les départements méditerranéens. Le nombre de départs de feu a également diminué. Enfin, plus de 80 % des départs de feu parcourent moins de 1 ha, contre 50 % précédemment.

L'observation des conditions climatiques montre pourtant que durant cette période, le danger météorologique « feux de forêt » s'est avéré, globalement, en augmentation dans les départements méditerranéens.

La gestion de l'après feu

Après le feu, il faut d'abord constater les dégâts, analyser les impacts puis envisager la reconstitution. Sur ces sujets également, les techniques, moyens et connaissances ont évolué dans ces 40 années passées.

Contour et intensité du feu

La première évolution technologique est l'amélioration de la précision des contours. Il y a 40 ans, on en était au schéma grossier sur une carte au 1/50 000 et certains se rappellent encore avoir fait des mesures de surface en comptant le nombre de carreaux d'un calque millimétré... Depuis, le GPS, ouvert aux usages publics en 2000, a vu son usage se démocratiser au fur à mesure que le matériel gagnait de façon inversement proportionnelle en encombrement et en précision. Les données précises ainsi obtenues ont pu être traitées dans des SIG dont les performances augmentent. Et depuis quelques années on utilise de plus en plus couramment le traitement d'images satellites pour non seulement obtenir des contours mais, au-delà, pour évaluer les niveaux d'impacts du feu sur les peuplements. Cf. Fig. 9 et 10.

Une échelle en six niveaux d'intensité combinant dommages observés et paramètres physiques du feu a été réalisée par le Cemagref (actuel IRSTEA¹⁰) en 2002 pour le ministère de l'Écologie.

La caractérisation des dommages sur le terrain et par télédétection a par ailleurs été abordée dans le programme européen Fire Paradox. Les méthodes d'évaluation des dommages par télédétection fondées sur les changements de plusieurs indices de végétation avant et après le sinistre, en fonction des types de formations végétales, ont été développées principalement sur les feux méditerranéens du sud-est de la France, en utilisant des images à haute résolution. Ces méthodes doivent être calibrées et étendues à l'ensemble de la zone à risque puis automatisées. Il pourra être intéressant de tester l'intérêt de la Très Haute Résolution Spatiale pour affiner les contours et s'affranchir de la collecte de données sur le terrain. C'est l'objectif du CES incendie du pôle Théia.

10 - IRSTEA : Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture.

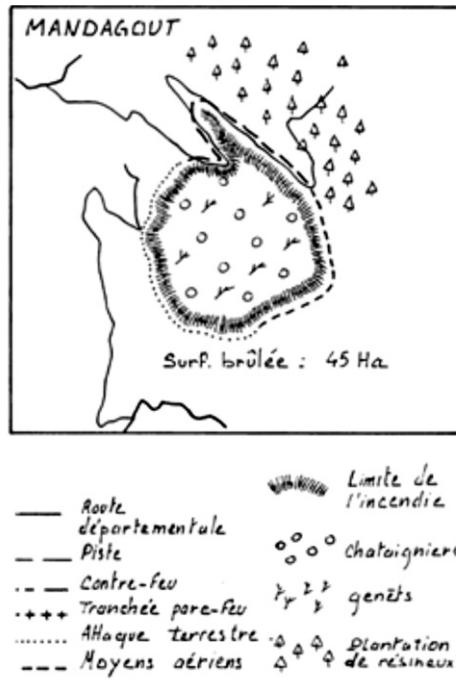


Fig. 9 (ci-contre) :
Cartographie d'un feu de 1982 dans l'article « Reconstitution après sinistres »
T. X, n°1, 1988,
pp. 220-222.

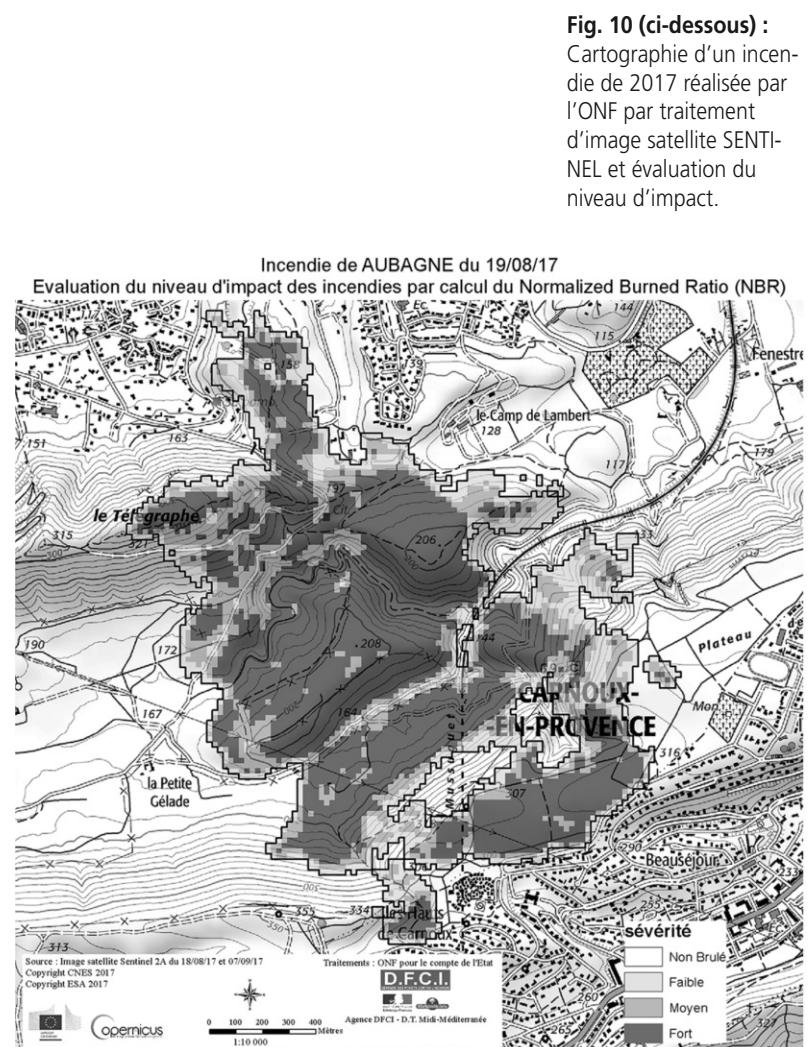


Fig. 10 (ci-dessous) :
Cartographie d'un incendie de 2017 réalisée par l'ONF par traitement d'image satellite SENTINEL et évaluation du niveau d'impact.

Conséquences sur les écosystèmes

En parallèle de ces progrès techniques, on a connu aussi une nette amélioration dans les connaissances scientifiques sur les impacts des incendies. Au fur et à mesure la revue s'est fait l'écho de ces avancées.

– **Impacts sur la biodiversité en général** (RIGOLOT E. *Forêt Méd.* T. XVIII, n°1, 1997, pp. 35-38).

Le feu est l'une des perturbations qui, en permettant le maintien de milieux ouverts au cours d'une longue histoire évolutive, ont contribué à la grande richesse et la diversité des écosystèmes méditerranéens. Cependant, la fréquence élevée des incendies sur la frange littorale se traduit par une régression de la forêt au profit de formations dégradées, garrigues et maquis, plus résistantes mais plus pauvres, tandis que l'arrière-pays est plus préservé, autorisant une remontée biologique et une extension de la forêt.

– **Impacts sur l'avifaune** (PRODON R. *Forêt Méd.* T. XVI, n°3, 1995, pp. 255-263).

La mortalité d'oiseaux sur le front de flamme est faible, bien que difficile à évaluer. Ensuite, les populations évoluent globalement en fonction de la reconstitution de la végétation : les oiseaux nichant au sol (trappeurs, alouettes...) sont peu affectés, les oiseaux des strates buissonnantes (fauvettes, rossignols...) disparaissent pratiquement et colonisent à nouveau le milieu au fur et à mesure que les ligneux repoussent, les réactions des oiseaux forestiers (pigeons, mésanges, pics...) sont plus variables. L'impact de l'incendie dépend aussi de la nature des formations végétales incendiées. De même pour la composition initiale des populations. Par ailleurs, celle-ci est d'autant plus banale que le milieu est fermé et les milieux ouverts ont un rôle essentiel. Il n'est donc guère possible de dresser un bilan global négatif ou positif des incendies de forêt sur l'avifaune.

– **Impacts sur l'érosion** (MARTIN C., ALLÉE P. *Forêt Méd.* T. XXI, n°2, 2000, pp. 163-169).

Les mesures sur plusieurs bassins versants dans le massif des Maures montrent que l'érosion hydrique est multipliée par 100 les mois qui suivent un incendie avec une perte annuelle de terre de plusieurs tonnes

par hectare. Sur les versants, elle s'exerce surtout par splash et ruissellement diffus. Cette érosion superficielle diminue fortement dès la seconde saison, en raison de la reprise végétale.

– **Impacts sur les yeuseraies** (TRABAUD L. *Forêt Méd.* T. XVII, n°3, 1996, pp. 243-252).

Dans les chênaies vertes brûlées sur calcaire, la composition floristique tend à retourner vers celle qui existait avant le feu. Les espèces présentes avant l'incendie réapparaissent rapidement. Les espèces exogènes, qui profitent de l'ouverture du milieu pour s'installer pendant les trois premières années, sont éliminées par la suite. La stratification verticale et horizontale se remet en place plus lentement. Le développement des rejets de chênesverts, et des chênes pubescents présents, dépend de la station mais est pénalisée par l'âge des arbres brûlés et de la fréquence des feux.

– **Conséquences sur des peuplements et leur gestion** (PIMONT F., DUPUY JL., RIGOLOT E., DUCHÉ Y. *Forêt Méd.* T. XXXV, n°1, 2014, pp. 17-30 et VEILLE JF. *Forêt Méd.* T. XXV, n°4, 2004, pp. 357-362).

Des modèles d'estimation de la mortalité après incendie ont été publiés pour aider le gestionnaire à régler les coupes de bois brûlé, notamment concernant le pin d'Alep, le pin pignon, le pin maritime et le pin laricio. Un modèle de la régénération de chêne-liège a été développé dans les Maures. Les stratégies d'adaptation des espèces au régime de feu permettent d'évaluer les pratiques sylvicoles classiques qui s'avèrent insuffisantes pour mettre en sécurité les peuplements et qu'il est nécessaire de compléter par des travaux de débroussaillement.

Le feu engendre une régularisation des suberaies en supprimant toutes les jeunes classes d'âges et provoque souvent l'apparition de nombreux drageons et rejets. Des travaux de rénovation sont nécessaires pour accompagner cette régénération naturelle et rajeunir les suberaies dépérissantes des Maures.

Des recherches plus récentes ont été menées sur l'impact des régimes de feu (fréquence et date du dernier feu) sur la structure des peuplements et leur inflammabilité en Provence calcaire et siliceuse (notamment par l'Irstea dans le cadre du programme européen Fire Paradox). Les résultats ont montré que :

– il n'y a pas de changement significatif dans la continuité horizontale entre les combustibles en fonction du régime de feu ou du type de végétation du fait de la résilience des espèces qui rejettent (*Q. ilex* et *Q. coccifera*) dans le sous-bois et dans ce cas, le risque de feu de surface reste élevé spécialement quand les conditions climatiques sont sévères,

– le risque d'incendie est élevé dans les peuplements mixtes matures quand l'intervalle de temps depuis le dernier feu est élevé, du fait de l'importante continuité verticale et de la quantité de biomasse élevée dans les étages supérieurs.

Le projet IRISE (Massif des Maures) a permis d'identifier des indicateurs d'impact pour une bonne ou mauvaise résilience des écosystèmes après incendie. On a pu mettre en évidence que c'est la combinaison feux/sécheresse qui a le plus d'impact sur les écosystèmes.

Stratégie de reconstitution

On ne peut finir cet article sans traiter un dernier point qui a lui aussi connu des évolutions : la reconstitution des forêts avec en fond la question du reboisement. Cette question a elle-même évolué, depuis « comment on reboise ? » vers « pourquoi et où on reboise ? », pour des raisons économiques (André CHALLOT fait le constat après l'été

1989 que le coût de reboisement des 56 000 ha brûlés est prohibitif et propose de n'en reboiser que 10 à 15% - *Forêt Méd.* T. XII, n°1, 1990, pp. 66-70), mais également pour des raisons techniques après différents constats d'échecs.

À la question « comment on reboise ? » les scientifiques apportent des réponses techniques dans la revue, et ce dès le premier numéro par le CTGREF¹¹ (Techniques de reboisement en région méditerranéenne BENOIT DE COIGNAC G., ALEXANDRIAN D. *Forêt Méd.* T. I, n°1, 1979, pp. 37-42), en mettant en avant notamment le travail préalable du sol et l'utilisation de plants en conteneurs. Ces éléments sont utilement complétés par les travaux de l'INRA sur les provenances (Les apports de la recherche scientifique : si l'on a décidé de planter, que planter ? FADY B., BARITEAU M. *Forêt Méd.* T. XX, n°4, 1999, pp. 169-172).

Au-delà de ces apports techniques très utiles au forestier pour lui éviter les trop nombreux échecs, on voit se développer tout un canevas de réflexion en vue d'une reconstitution plus réfléchie. Il apparaît rapidement que le maintien des sols (notamment grâce à des fascines) est la première chose à viser avant de songer à la suite. Puis le besoin d'élaborer une stratégie en définissant des objectifs et des priorités est mis en exergue : il faut réfléchir à court, moyen et long terme en considérant toutes les fonc-

11 - CTGREF : Centre technique du génie rural et des eaux et forêts, ancêtre du CEMAGREF et de l'IRSTEA.



Photos 11 et 12 :
Fascines après le feu de St-André-les-Alpes dans l'article « Remise en valeur d'un territoire incendié, communes de Saint-André-les-Alpes, Angles, Vergons (Alpes de Haute Provence) » BARTET J.H., COMBES F. T. VI, n°1, 1984, pp. 27-38.
Photos ONF.

tions de la forêt, en prenant en compte les capacités stationnelles et les possibilités de régénération naturelle, en améliorant les conditions de protection, de façon à effectuer une reconstitution écologique visant une forêt plus résiliente. Plusieurs auteurs font un point assez complet sur ce sujet dans la section « Que faire après l'incendie ? » du *Forêt Méd.* T. XXI, n°3, 2000.

Quelles perspectives en matière d'incendie et de DFCI ?

Pour une gestion intégrée du risque « feu de forêt »

La gestion intégrée du feu revêt plusieurs dimensions qu'il convient de mettre en œuvre simultanément.

La gestion intégrée du feu s'efforce d'abord de mieux lier les étapes du cycle de gestion de la crise qui dans le domaine des feux de forêt comprend principalement la prévention, la détection, la lutte et la restauration après incendie. Il est particulièrement nécessaire d'améliorer la cohérence entre les actions de prévention et de lutte contre les incendies de forêt. Par exemple, les coupures de combustible doivent être conçues par les services chargés de la prévention en concordance étroite avec les acteurs de lutte qui les utiliseront pour combattre l'incendie. Les retours d'expériences sur le comportement au feu des coupures de combustible et sur les modalités d'utilisation par les services de secours, y compris leur non utilisation, doivent être développés afin d'améliorer leur conception et leur usage.

Le Portugal, confronté en 2017 aux incendies les plus destructeurs de son histoire, a lancé des réformes de fond dont la création d'une agence de gestion des feux de forêt pour faciliter l'intégration entre les missions de prévention et de lutte jusqu'alors attribuées à des services différents. Ce type de réforme n'est sans doute pas nécessaire en France où la collaboration inter-services est un progrès de ces 40 dernières années, mais ce dialogue permanent entre les acteurs de la prévention et ceux de la lutte doit être toujours favorisé et consolidé. On constate néanmoins dans notre pays un fort déséquilibre dans l'allocation des ressources entre la prévention et la lutte contre les incendies de

forêt puisque sur les 500 millions d'euros dépensés en moyenne annuelle face aux incendies de forêt, un tiers seulement est consacré à la prévention (CHATRY *et al.*, 2010). La gestion intégrée des feux passe aussi par ce rééquilibrage nécessaire et par un effort accru sur la prévention et en particulier sur la gestion du combustible et l'aménagement du territoire.

Le contrôle du combustible passe par une vision intégrée de l'utilisation du feu dans l'espace rural et forestier. Cela suppose de reconnaître l'utilisation traditionnelle du feu par les populations rurales pour la gestion de leur territoire et de leurs ressources, dans le respect des bonnes pratiques et de la réglementation, en développant encore le brûlage dirigé mis en œuvre par des équipes spécialisées et permettant, en outre, l'aguerrissement des professionnels du feu tactique. La gestion intégrée des feux encourage aussi à développer une vision intersectorielle de la question des incendies de forêt. En effet, cette question est impactée non seulement par la gestion des forêts, mais aussi par les activités et politiques des secteurs de l'agriculture et de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme et du domaine énergétique pour ne mentionner que les plus importants.

Dans le domaine forestier, une approche multi-risques est nécessaire pour prendre en compte les interactions et les éventuels processus d'amplification entre le feu et les autres menaces biotiques (insectes, pathogènes) ou abiotiques (sécheresse, tempête, érosion). Une vision intégrée est nécessaire pour une évaluation des cascades de risques, mais aussi pour une gestion des risques multiples en veillant aux interactions éventuelles entre les différentes mesures d'atténuation et d'adaptation. C'est un sujet de recherche émergeant dans lequel l'expérience des opérationnels complétera utilement les avancées des scientifiques.

Un secteur forestier dynamique devrait générer les ressources nécessaires pour une meilleure prévention des incendies de forêt, tant que ce dernier objectif reste une priorité.

Dans le domaine énergétique, des programmes biomasse-énergie bien encadrés et régulés peuvent avoir des effets positifs sur la prévention des incendies de forêt par un plus grand contrôle du combustible.

De manière générale, la transition vers la bio économie, renforçant l'utilisation des res-

sources forestières, devrait offrir des opportunités pour une gestion plus intégrée du feu tout en favorisant l’approvisionnement des services écosystémiques comme l’eau, la biodiversité, ou la conservation des habitats (MARTINEZ DE ARANO *et al.* 2018).

Concernant la politique d’urbanisme et la gestion du risque dans les interfaces habitat-forêt, il est urgent de limiter l’étalement urbain et de rendre le risque incendie de forêt et les plans de gestion des feux opposables aux documents d’urbanismes et d’aménagement du territoire qui doivent intégrer cette dimension.

La dimension intersectorielle de la gestion des incendies nécessite un traitement interministériel afin d’assurer une meilleure prise en compte des équilibres des compartiments agriculture, urbain, forêt, et tendre vers une diminution de la vulnérabilité des territoires aux incendies.

La gestion intégrée des feux c'est enfin une meilleure prise en compte du risque dans les préoccupations de la société. Il faut augmenter la culture du risque chez nos concitoyens, c'est-à-dire développer l'ensemble des connaissances socialement élaborées et partagées sur un territoire autour d'un risque. En particulier les résidents à proximité ou dans les massifs forestiers doivent être sensibilisés au risque feux de forêt pour se prendre en main avec l'anticipation nécessaire dans la préparation de leur environnement (obligation légale de débroussaillage) et assimiler les comportements de sécurité à adopter pendant la crise (évacuation, confinement) selon des stratégies élaborées à l'avance avec les autorités. Face aux méga-feux chacun doit prendre ses responsabilités car les secours ne pourront protéger tout le monde.

Beaucoup des décisions de gestion intégrée des feux qui devront être prises, le seront dans un environnement changeant, avec une connaissance incomplète et une expérience limitée du nouveau contexte. Nous faisons face à des incertitudes multiples concernant les scénarios globaux eux-mêmes et leurs applications locales, le régime futur des événements extrêmes, les interactions complexes possibles et finalement les incertitudes sur l'impact des mesures adaptatives que les gestionnaires mettront en place. Pour faire face à ces incertitudes, chaque décision devra être accompagnée d'une évaluation des risques et bénéfices à moyen et long terme, ainsi que des interactions et compromis possibles entre ces deux termes.



En conséquence, les décisions en matière de gestion intégrée des feux devront être inscrites dans un cadre de gestion adaptative. Les actions et les plans de gestion actuels doivent être fondés sur les connaissances existantes et sur l’analyse de la situation courante. Les effets de ces décisions doivent être suivis et les tendances analysées, complétées des nouvelles connaissances, afin d’informer les actions de gestion futures. Finalement un système d’auto apprentissage doit être mis en place pour faciliter la révision des stratégies mises en œuvre, ainsi que pour la mise à disposition des technologies émergentes, de l’ensemble de l’information collectée et des nouvelles connaissances.

Photo 13 :
Fascines réalisées après incendie à Esparron (Alpes-de-Haute-Provence, 2008).
Photo DA.

Impact prévisible du changement climatique

Sous l’effet du réchauffement climatique, les projections de l’indice forêt-météo canadien montrent que le danger d’incendie et la durée de la saison de feu devraient augmenter d’ici la fin du XXI^e siècle dans le sud de l’Europe (MORIONDO *et al.* 2006, BEDIA *et al.* 2014). L’augmentation des indices feu-météo est particulièrement prononcée dans les régions méditerranéennes du fait que l’augmentation des températures est couplée au déficit des pluies durant la saison des feux (ABATZOGLOU *et al.*, 2018). En raison du danger accru d’incendie et en supposant que les autres facteurs limitant l’activité des incendies restent inchangés, les surfaces brûlées devraient être multipliées par un facteur de

trois à cinq dans la zone méditerranéenne actuelle de l'Europe (AMATULLI *et al.* 2013). En France, une mission interministérielle a pour la première fois quantifié l'impact du réchauffement climatique sur le danger d'incendie à l'échelle du territoire métropolitain, montrant une extension de la zone à risque vers l'ouest et le centre de la France ainsi qu'aux moyennes montagnes de l'arrière-pays méditerranéen (CHATRY *et al.* 2010). Cette tendance est confirmée par des travaux plus récents, qui montrent cependant que l'augmentation de danger la plus certaine concerne la région méditerranéenne actuelle et ses marges, alors que la tendance est masquée par l'incertitude dans les régions situées plus au nord (FARGEON *et al.* 2018). La région méditerranéenne devrait en effet connaître à la fois une hausse des températures et des sécheresses estivales plus fréquentes, alors que l'évolution des précipitations estivales est plus incertaine dans les régions situées plus au nord.

Ainsi, les décideurs publics et les gestionnaires devront faire face à un danger accru, avec probablement un nombre de feux plus élevé et un allongement de la saison à risque. La tendance pour les surfaces brûlées dépendra des capacités de prévention et de lutte.

Dans la zone littorale et de plaine où les enjeux soumis au risque sont déjà forts (densités de population, des constructions et des infrastructures), la pression des incendies augmentera encore, mobilisant les moyens de prévention et de lutte. L'occurrence de grands incendies à fort impact humain, économique et écologique est probable dans ces régions. L'enjeu sera donc, grâce aux efforts de chacun, en s'appuyant sur une meilleure connaissance du phénomène, une occupation

plus raisonnée du sol, un comportement plus responsable de la population, d'apporter une réponse adaptée à un risque croissant de feux catastrophes d'une ampleur comparable à ceux qui se sont développés lors des derniers mois au Portugal, en Grèce ou en Californie.

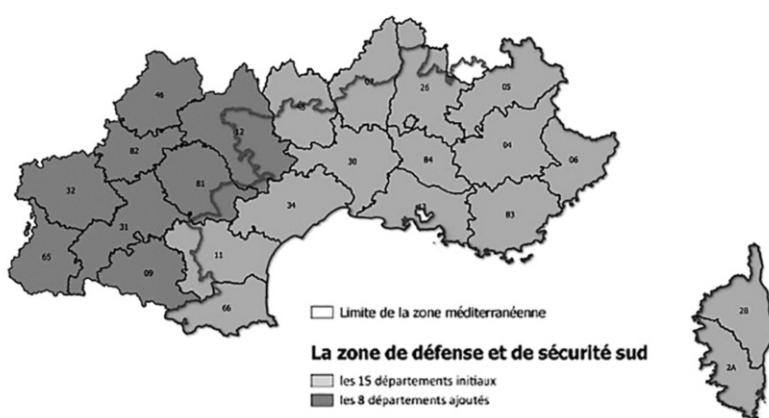
Dans les zones de l'arrière-pays, les feux aujourd'hui rares pourraient devenir assez fréquents, nécessitant la mise en œuvre de nouveaux moyens sur des territoires moins accessibles et aujourd'hui peu équipés. Si moins d'enjeux humains sont exposés dans l'arrière-pays, les enjeux écologiques sont forts compte-tenu de la faible résilience des peuplements affectés et des problèmes d'érosion sur les reliefs. La forêt joue en effet un rôle important de protection des sols et de régulation du cycle de l'eau. Les forêts de l'arrière-pays détiennent aussi l'essentiel de la ressource en bois de la région.

Développer les échanges et retours d'expériences en France et à l'international

La revue *Forêt Méditerranéenne* est le lieu de partage de connaissance entre des publics très variés. Par le passé, le GIS Incendie a permis de fédérer les recherches sur les incendies en France durant une dizaine d'années. Aujourd'hui, la conférence internationale ForestFire organisée en France par l'Irstea et ouverte aux chercheurs et aux gestionnaires, permet de faire un point sur les avancées de la recherche et de la production d'outils pour la gestion du risque d'incendie tous les trois ans. Une plateforme méditerranéenne d'échanges entre scientifiques, utilisateurs et décideurs serait sans doute utile à la communauté du feu, pour faciliter les échanges sur cette thématique entre les différentes communautés.

La revue s'est déjà fait l'écho de la problématique des incendies de forêt à l'international en publiant de nombreux articles sur ces sujets liés au feu de forêt dans de nombreux pays (de façon exhaustive Afrique du Sud, Algérie, Australie, Espagne, Israël, Italie, Liban, Maroc, Portugal, URSS, USA). C'est en s'ouvrant sur les expériences des autres (travaux de recherche, retours d'expérience) et en partageant ces résultats au travers des projets de coopération, des séminaires ou des voyages d'études qu'on continuera à progresser sur ce qu'il se passe chez nous.

Fig. 11 :
Evolution du périmètre de la zone de défense et de sécurité Sud.
Source Léa Veuillen / Forêt Méditerranéenne.



Tous concernés, tous impliqués

En matière de développement durable, de lutte contre le changement climatique ou de gestion des ordures ménagères, chacun a souvent tendance à dire « *ça ne me concerne pas, à ma petite échelle, que puis-je faire ?* ». Bien sûr, on a tort de s'estimer ainsi exonéré de tout effort ; cumulés, les petits gestes en viennent à avoir un réel effet.

La Défense des forêts contre l'incendie s'inscrit dans ce registre, ne dites jamais « *je n'ai aucune responsabilité dans la question et, de toute façon, je ne puis rien faire* ». Face au risque d'incendie, face à ce fléau qui, si rapidement, peut transformer un paradis en enfer, chaque geste compte, chacun doit être acteur. La guerre du feu ne se gagne pas, c'est par la mobilisation de tous et de chacun que la situation peut être améliorée.

Les pages qui précèdent le confirme : la connaissance a progressé, les outils se sont améliorés, l'organisation est plus rigoureuse, les coopérations sont plus réelles, les départs de feux sont plus souvent rapidement étouffés, les surfaces détruites baissent ; il reste que...

Il reste que les grandes causes structurelles des incendies de forêt en zone méditerranéenne n'ont pas disparu, le conflit entre l'habitat et la forêt ne s'est aucunement réglé, les débroussaillements obligatoires sont très insuffisamment effectués, l'aménagement du territoire intègre mal le risque feu de forêt, les surfaces de forêt sous document de gestion durable restent trop faibles... Oui, il reste que le risque demeure toujours réel d'un grand feu dévastateur et meurtrier.

Ces constats nourrissent la première recommandation du rapport interministériel d'avril 2016¹ : il ne faut surtout pas baisser la garde en matière de prévention et d'intervention contre les incendies de forêt.

Au-delà de cette recommandation fondamentale, le rapport déroule toute une série d'interpellations vers l'ensemble des familles d'acteurs impliquées, à un titre ou à un autre, dans cette guerre du feu : personne n'y échappe, sapeurs-pompiers, forestiers, comités communaux feux de forêt, gendarmes, policiers, agents des collectivités ou des établissements publics et tous ceux qui prennent part à la prévention et à la lutte ; propriétaires d'habitation en forêt ou en bordure de forêt ; propriétaires forestiers ; élus ; représentants de l'administration ; protecteurs de la nature, amis et usagers des forêts ; chercheurs ! En matière de DFCI, chacun, à sa place, dans son rôle, dans ses responsabilités, et dans le cadre d'une organisation bâtie sur la clarté, la coordination et la complémentarité, doit prendre sa part de l'action et faire ce qu'il lui revient de faire.

C'est dans cet esprit que, à l'occasion de Foresterranée 2016, j'ai pris le parti de m'adresser à chacun, et de mettre chaque famille d'acteurs, parfois vigoureusement voire brutalement — pardon —, devant ses responsabilités, ses droits bien sûr, mais surtout ses devoirs d'acteur². La DFCI n'est pas un « *mistigri* » que l'on se repasse de l'un à l'autre en essayant que ce soit l'autre qui ait à la gérer ; elle est une réalité, consubstantielle à la forêt méditerranéenne, qu'il est impératif d'assumer à la fois collectivement et individuellement.

Lieu de rencontre, de dialogue et de réflexion en commun, l'association Forêt Méditerranéenne peut aider à cette prise de conscience et à imaginer des formules susceptibles de faciliter l'exercice de ces devoirs.

Le récent rapport du CGAAER³ sur les PPFCI⁴ reprend les lignes de force du rapport interministériel d'avril 2016. Focalisé sur la proposition d'une nouvelle instruction technique qui remplacerait la circulaire du 24 mars 2004, il met l'accent sur deux axes de progrès :

- le massif, comme unité de base de la DFCI : c'est à cette échelle que l'analyse du risque, la réflexion stratégique de prévention et de lutte, et les propositions d'actions et d'équipements de terrain doivent être réfléchies ;
- l'affirmation de priorités : dans un contexte de moyens humains et de budgets contraints, il est indispensable de hiérarchiser les actions et les investissements.

Toujours en conformité avec les recommandations d'avril 2016, ce nouveau rapport identifie trois leviers d'action prioritaires :

- la « *réconciliation entre forêt et habitat* » : le PPFCI doit localiser les plans de prévention des risques incendies de forêt (PPRIf) qui sont indispensables au regard des risques, ainsi que les secteurs où sera généralisée la procédure des porter à connaissance et des cartes d'aléas ;
- l'*application stricte et effective des obligations légales de débroussaillage* : le PPFCI doit repérer sur les plans de massif les sites où une action « *massifiée* » sera organisée ;
- la *valorisation de la forêt, des espaces et des produits forestiers* : le PPFCI doit identifier les formes d'action qui permettront de redonner de la valeur économique à la forêt, activités agricoles ou pastorales sur des coupures stratégiques ou des bandes débroussaillées, regroupement de la gestion forestière, promotion des produits forestiers.

Aussi importante que le contenu du PPFCI est sa méthode d'élaboration. Dans un système qui implique un tel nombre d'acteurs, elle conditionne l'appropriation du document et donc son application. Sous la responsabilité du préfet et le pilotage de la DDT(M) en coopération étroite avec le SDIS, elle doit être une démarche de projet associant l'ensemble des acteurs concernés.

Ainsi composé et ainsi élaboré, le plan de protection des forêts contre les incendies peut être le guide partagé par l'ensemble des acteurs pour une DFCI pertinente et efficace.

Charles Dereix

1 - Rapport CGAAER n°15102/CGEDD n°010331-01/IGA n°16010-15083-02 « Mission d'évaluation relative à la défense de la forêt contre l'incendie », avril 2016.

2 - Forêt Méditerranéenne, t. XXXVIII, n°2, juin 2017.

3 - CGAAER : Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux.

4 - Rapport CGAAER n°18050 « Le plan de protection des forêts contre les incendies, guide partagé de l'action collective en défense des forêts contre l'incendie », mai 2018.

Marielle JAPPIOT
IRSTEA
marielle.jappiot@irstea.fr

Rémi SAVAZZI
Office national
des forêts
remi.savazzi@onf.fr

Jean-Luc DUPUY,
Eric RIGOLOT
Institut national
de la recherche
agronomique
jean-luc.dupuy@inra.fr
eric.rigolot@inra.fr

Etienne CABANE,
Roland PHILIP,
Bernard ROMATIF
Délégation à la pro-
tection de la forêt
méditerranéenne
roland.philip@interieur.gouv.fr
bernard.romatif@interieur.gouv.fr

Philippe MICHAUT
Ministère de
l'Intérieur - Direction
de la sécurité civile et
de la gestion des
crises
philippe.michaut@interieur.gouv.fr

Luc LANGERON
Entente pour la forêt
méditerranéenne
l.langeron@valabre.com

Hubert d'AVEZAC
Agence MTKA
hubert.davezac@mtka.fr

Jean LADIER (Coord.)
Office national
des forêts -
jean.ladier@onf.fr

Les avancées scientifiques technologiques de ces 40 dernières années exposées dans cet article ont amené des progrès considérables dans la prévention et la lutte contre les feux de forêt. Cependant les forêts brûlent toujours, et le risque augmente même. Ce sujet étant malheureusement toujours d'actualité, on peut penser que les progrès vont continuer, en imaginant certaines pistes déjà à l'étude : usage des images satellites ou radar de plus en plus précises, utilisation des drones en continue progression, développement d'outils embarqués pour les opérationnels, amélioration de la prévision du risque, atténuation des impacts... Espérons que nos successeurs auront amplement matière à remplir le même article dans le numéro des 80 ans !

1988

MANCHE A., 1988. La prévention des incendies dans les espaces naturels protégés. T. X, n°1, pp. 46-48.

PAGES J. Reconstitution après sinistres, T. X, n°1, 1988, pp. 220-222.

1990

CHALLLOT A. Reconstitution des forêts détruites après les grands incendies de l'année 1989 Dossier feux de forêt sécheresse 1989, T. XII, n°1, 1990, pp. 66-70.

SEIGUE A. L'organisation de la protection de la forêt méditerranéenne contre l'incendie, T. XII, n°1, 1990, pp. 71-80.

1992

ALEXANDRIAN D., RIGOLOT E., 1992. Sensibilité du pin d'Alep à l'incendie. T. XIII, n°3, pp. 185-198.

1993

DROUET J.C., SOL B. Mise au point d'un indice numérique de risque météorologique d'incendies de forêt. Dossier : Forêts et incendies 1991-1992, T. XIV, n°2, 1993, pp. 155-162.

CHEVROU R.B. La défense des forêts contre les incendies et l'informatique analyse stratégique de l'espace, T. XIV, n°2, 1993, pp. 163-172.

DAGORNE A., ROUSSEL O. L'évolution des zones incendiées, le cas du massif du Pivora (Alpes-Maritimes), T. XIV, n°3, 1993, pp. 218-227.

1994

BOYRIE J.C. Urbanisme et forêt en région méditerranéenne. T. XV, n°2, 1994, pp. 181-185.

LAGARDE I., MTKA. Le simulateur de feu : un outil pour faire un réel « bond en avant ». T. XV, n°2, 1994, pp. 220-222.

CHEVROU R.B. Systèmes d'information géographique et modèles feu : aide à la décision pour la conception et l'implantation des infrastructures de prévention et de défense des forêts contre les incendies (D.F.C.I.). T. XV, n°2, 1994, pp. 223-224.

REBOUL D. Méthodologie pour la reconstitution des paysages forestiers après incendie. T. XV, n°3, 1994, pp. 349-350.

DAGORNE A., DUCHE Y., CASTEX J.M., OTTAVI J.Y. Protection des forêts contre l'incendie et système d'information géographique : application à la commune d'Auribeau-sur-Siagne (Alpes Maritimes). T. XV, n°4, 1994, pp. 409-420.

1995

PRODON R. Impact des incendies sur l'avifaune. Gestion du paysage et conservation de la biodiversité animale. T. XVI, n°3, 1995, pp. 255-263.

1996

BENOIT DE COIGNAC G. La prévention des grands incendies de forêt. T. XVII, n°2, 1996, pp. 97-106.

TRABAUD L. Réponses du chêne vert et du chêne blanc à l'action du feu. T. XVII, n°3, 1996, pp. 243-252.

1997

RIGOLOT E. Incendie et biodiversité en région méditerranéenne française. T. XVIII, n°1, 1997, pp. 35-38.

DECAIX G. Reconstitution après incendie dans les Préalpes du Sud. T. XVIII, n°3, 1997, pp. 238-241.

1998

CHEVROU R.B. Prévention et lutte contre les grands incendies de forêt. T. XIX, n°1, 1998, pp. 41-64.

1999

FADY B., BARITEAU M. Les apports de la recherche scientifique : si l'on a décidé de planter, que planter ? T. XX, n°4, 1999, pp. 169-172.

2000

Numéro spécial SIG : T. XXI, n°1, 2000

JAPPIOT M. Evaluation et cartographie du risque d'incendie de forêt à l'aide d'un SIG. Exemple d'un massif forestier du sud de la France. T. XXI, n°1, 2000, pp. 99-103.

MARTIN C., ALLEE P. Impact d'un incendie de forêt sur l'érosion hydrique dans le bassin versant du Rimbaud (massif des Maures, Var). T. XXI, n°2, 2000, pp. 163-169.

TRABAUD L. Réflexions d'un écologue. T. XXI, n°3, 2000, pp. 299-300.

HETIER J.P. Les questions à se poser pour définir une stratégie de l'après feu. T. XXI, n°3, 2000, pp. 301-302.

LE MEIGNEN P., HAMARD J., GROGNOU A. Propositions d'étude et premières réhabilitations des terrains incendiés du Massif de l'Etoile. T. XXI, n°3, 2000, pp. 315-318.

MARCH H., DESBARATS M. Synthèse des travaux du groupe "Que faire après l'incendie ?" T. XXI, n°3, 2000, pp. 338-341.

GIS « Incendies de forêt », 2000. Etat des connaissances sur l'impact des incendies de forêt : mise en place de protocoles expérimentaux pour le suivi des incendies et de la reconstitution des écosystèmes forestiers. T. XXI, n°3, pp. 342-352.

2002

GROGNOU A. Etoile – Garlaban : devenir d'un massif incendié en 1997 et problématiques périurbaines. T. XXIII, n°4, 2002, pp. 380-381.

2003

Le groupement d'intérêt scientifique "Incendies de forêt". T. XXIV, n°4, 2003, pp. 383-384.

BONNET V., TATONI T. Analyse spatiale et fonctionnelle de la réponse de la végétation après incendie en Basse Provence calcaire. T. XXIV, n°4, 2003, pp. 385-402.

2004

MORO C. Etat de la végétation : l'été 2003 a-t-il été exceptionnel ? T. XXV, n°4, 2004, pp. 269-274.

RIGOLOT E., PERCHAT S. L'amélioration de l'efficacité des coupures de combustible suite aux feux de l'été 2003 : premières conclusions des retours d'expérience. T. XXV, n°4, 2004, pp. 275-278.

BARTET J.H. Retour d'expérience sur les incendies de 2003 en forêt méditerranéenne. T. XXV, n°4, 2004, pp. 283-288.

COSTA M. Le dispositif de prévention en Corse-du-Sud : harmonisation et organisation des services. T. XXV, n°4, 2004, pp. 313-318.

MARSOL L. Réhabilitation écologique de la mare temporaire méditerranéenne de Catchéou après incendie. T. XXV, n°4, 2004, pp. 337-346.

AMANDIER L., THAVAUD P. Réhabilitation des usages et prévention des risques futurs. T. XXV, n°4, 2004, pp. 347-356.

VEILLE J.F. Régénération et sylviculture des subéraies incendiées. T. XXV, n°4, 2004, pp. 357-362.

2005

VALLEJO R. Identification des besoins et évaluation des techniques de restauration post-feu. T. XXVI, n°3, 2005, pp. 217-224.

2006

LABADIE J. Pour tirer parti de l'expérience des grands incendies de 2003 La création des Comités de secteur dans le département du Var. T. XXVII, n°4, 2006, pp. 331-338.

2008

CHALLOT A. La prévention des incendies de forêt. T. XXIX, n°4, 2008, pp. 385-398.

CHALLOT A., LANGERON L. L'Entente interdépartementale en vue de la protection des forêts contre l'incendie. T. XXIX, n°4, 2008, pp. 407-412.

2009

CHANDIOUX O., LAMPIN-MAILLET C., JAPPIOT M., CURT T. Mise au point d'une typologie de combustibles pour la Basse Provence calcaire. T. XXX, n°3, 2009, pp. 209-220.

MICHAUT P. La lutte contre les feux de forêt. T. XXX, n°4, 2009, pp. 323-326.

2010

DUPUY JL. Comprendre le comportement du feu à l'échelle du paysage : une approche physique tridimensionnelle. T. XXXI, n°4, 2010, pp. 399-404.

2011

RIBET N. Enjeux de connaissance et de reconnaissance des compétences techniques du brûlage à feu courant. T. XXXII, n°3, 2011, pp. 277-290.

2014

PIMONT F., DUPUY J.L., RIGOLOT E., DUCHE Y. Les effets du passage d'un feu dans un peuplement arboré : synthèse des connaissances et applications pour le gestionnaire forestier méditerranéen. T. XXXV, n°1, 2014, pp. 17-30.

Autres

Abatzoglou JT, Williams AP, Barbero R (2018). Global emergence of anthropogenic climate change in fire weather indices. *Geophysical Research Letters*. doi: 10.1029/2018GL080959.

Amatulli G, Camia A, San-Miguel-Ayanz J (2013). Estimating future burned areas under changing climate in the EU-Mediterranean countries. *Sci Total Environ* 450:209-222.

Bedia J, Herrera S, Camia A, Moreno JM, Gutiérrez JM (2014a). Forest fire danger projections in the Mediterranean using ENSEMBLES regional climate change scenarios. *Climatic change* 122(1-2):185-199.

Chatry C, Le Gallou JY, Le Quentrec M, Lafitte JJ, Laurens D, Creuchet B. (2010). *Rapport de la mission interministérielle : Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêt*. Ministères de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche ; de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer ; de l'Intérieur, de l'Outre Mer et des Collectivités territoriales. 90 pages + annexes.

Fargeon H, Martin-St Paul N, Pimont F, De Caceres M, Ruffault J, Opitz T, Allard D, Dupuy JL (2018). *Assessing the increase in wildfire occurrence and the uncertainties associated with this projection. Advances in Forest Fire Researches - DX Viegas (Ed.) Chapter 1- Fire Risk Management*. https://doi.org/10.14195/978-989-26-16-506_2

Fernandes PM, Davies GM, Ascoli D, Fernández C, Moreira F, Rigolot E, Stoof CR, Vega JA, Molina D, (2013). Prescribed burning in southern Europe: developing fire management in a dynamic landscape. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11(s1) ; e1-e14, doi: 10.1890/120298

Finney MA, Cohen JD, McAllister SS, Jolly MW (2013). On the need for a theory of wildland fire spread. *International Journal of Wildland Fire* 22, 25–36. <https://doi.org/10.1071/WF11117>

Martin-St Paul N, Pimont F, Dupuy JL, Rigolot E, Ruffault J, Fargeon H, Cabane E, Duché Y, Savazzi R, Toutchkov M (2018). Live fuel moisture content (LFMC) time series for multiple sites and species in the French Mediterranean area since 1996. *Annals of Forest Science* 75, 57. doi:10.1007/s13595-018-0729-3.

Martinez de Arano I. (coord.), Topi C., Pettenella D., Secco L., Follesa M., Fragiacomo M., Carnus J.-M., Lefevre F., Rigolot E., Labidi J., Puente Llano R., Prokofieva I., Feliciano D., Muys B. (2018). *A forest based circular Bioeconomy for Southern Europe: visions, opportunities and challenges*. EFI Synthesis report, 118 pages.

Moriondo M, Good P, Durao R, Bindi M, Giannakopoulos C, Corte-Real J (2006). Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. *Clim. Res.* 31(1):85-95.

Ruffault J, Martin-St Paul N, Pimont F, Dupuy JL (2018). How well do meteorological drought indices predict live fuel moisture content (LFMC) ? An assessment for wildfire research and operations in Mediterranean ecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology* 262, 391-401. doi.org/10.1016/j.agrfor-met.2018.07.031

Résumé

Les incendies de forêts ne sont pas une fatalité. La réduction des surfaces brûlées en France au cours des dernières décennies, malgré une augmentation de la biomasse combustible et de l'aléa, en est la preuve. Ce résultat est la concrétisation du travail coordonné de multiples acteurs. Car la défense des forêts contre les incendies (DFCI) n'est pas seulement l'affaire des sapeurs-pompiers et des forestiers ; elle concerne toutes les parties prenantes et une part croissante de la population.

De fait, la lutte est plus efficace, grâce à des moyens adaptés, tant au niveau national que local, mais aussi grâce à une stratégie d'intervention rapide. La prévention a également beaucoup évolué. Même si la connaissance du combustible et des mécanismes de propagation du feu reste insuffisante malgré les avancées significatives de la recherche, la connaissance du risque est mieux intégrée. Cela se traduit dans l'équipement des massifs, ainsi que dans l'organisation des dispositifs de surveillances et de première intervention. La sensibilisation de la population reste une tâche à renforcer qui gagne en efficacité avec les technologies de communication modernes. L'évaluation des dommages causés par le feu est plus précise : contour, niveau d'intensité, impacts sur les écosystèmes. Enfin, la stratégie de reconstitution des forêts après le feu a également changé favorisant davantage la dynamique végétale naturelle. Néanmoins ces progrès restent très fragiles compte tenu des facteurs climatiques et socio-économiques d'aggravation du risque, le système de prévention et de lutte étant dépassé lorsque les conditions climatiques sont extrêmes.

Cet article conjugue les points de vue de spécialistes du sujet qui décrivent son évolution depuis 40 ans, en s'appuyant notamment sur des articles publiés dans la revue *Forêt Méditerranéenne*. Il s'achève sur une vision prospective montrant les améliorations possibles et les conséquences probables du changement climatique.

Summary

Various perspectives on forest wildfire around France's Mediterranean Rim and the evolution of wildfire prevention and protection for the forests in this region

Forest fires are not a fatality: the drop in burnt-out areas in this region of France over recent decades despite an increase in combustible biomass as well as in prevailing hazardous conditions is the very proof. This achievement stems from the successful application of concrete coordinated contributions from numbers of involved stakeholders. Even so, the prevention of and defence against forest wildfire (DFCI in French) is not the preserve of fire brigades and foresters; all stakeholders are concerned as well as an ever-increasing part of the general public. In fact, tackling the issue of wildfire has become more effective thanks to suitable equipment and means, at both national and local levels, but also thanks to a strategy for rapid intervention. Prevention has also made real progress. Despite notable progress in research, there remains an inadequate understanding of the combustible material involved and the mechanisms by which wildfire spreads but the understanding of risk has been much better integrated. This has resulted in equipping whole forested massifs as well as setting up look-out and initial intervention services. Raising public awareness, which still needs to be reinforced, gains in efficacy through the use of modern communications technology. Evaluating the damage caused by wildfire has become more accurate: contours, degree of intensity, impact on ecosystems. In addition, the strategy for reconstituting forests after a fire has changed: policy now favours the dynamics of natural regeneration. However, in the face of greater threats arising from climate change and socio-economic pressures, such progress remains very tenuous given that prevention and firefighting systems are simply overwhelmed whenever climatic conditions become extreme.