

Impact du changement climatique sur les feux de forêt

par Eric RIGOLOT

Une des questions cruciales posée par le changement climatique dans les régions méditerranéennes est : la forêt brûlera-t-elle davantage ? Outre le fait que les événements extrêmes, tels que les périodes de sécheresse, seront plus fréquents et donc le risque incendie augmenté, on prévoit également un déplacement des aires bioclimatiques des essences méditerranéennes vers le nord. On peut donc s'attendre aussi à une augmentation de la fréquence des incendies dans des régions qui n'y sont pas habituées, ni préparées.

Introduction

Le changement climatique est l'une des composantes du changement global qui inclut aussi les changements d'usage. Les incendies de forêt en région méditerranéenne constituent un phénomène complexe piloté par des composantes à la fois climatiques, biologiques et anthropiques. L'aggravation des conditions météorologiques favorise le déclenchement et la propagation des incendies. Ce phénomène peut être renforcé par la poursuite des tendances actuelles concernant la démographie et l'urbanisation de la région méditerranéenne, ainsi que la déprise rurale qui conduit à des espaces sensibles au feu toujours plus étendus et homogènes. Or, les contributions respectives de ces différents facteurs sont difficiles à établir. D'autant plus que les politiques publiques dans le domaine de la prévention et de la lutte contre les incendies de forêt évoluent elles-mêmes et qu'on en attend plus d'efficacité au cours du temps.

Les changements climatiques vont opérer des bouleversements à l'échelle mondiale dans différents domaines, parfois très éloignés de celui qui nous occupe ici, mais qui peuvent avoir en retour des effets majeurs sur le phénomène des incendies de forêt. Par exemple, l'évolution de la politique énergétique et notamment de la demande en bois-énergie et en biocarburant, va avoir des conséquences sur les pratiques de gestion des espaces forestiers en général et sur les actions de prévention des incendies en particulier.

Enfin, les changements annoncés vont se dérouler sur le long terme et il conviendra sans doute de distinguer plusieurs périodes caractérisées chacune par un contexte particulier, par des déterminants spéci-

fiques et pour lesquelles les leviers de décisions différeront. Cette dimension temporelle n'est certainement pas la plus facile à prendre en compte, mais elle doit rester à l'esprit afin de garder une capacité d'adaptation et d'ajustement nécessaire aux actions entreprises.

Nous nous attacherons plus particulièrement dans ce qui suit aux conséquences des changements climatiques sur les incendies de forêt. Néanmoins, la manière dont les changements d'usage peuvent aggraver ou atténuer le phénomène sera aussi évoquée.

Vers une aggravation du risque météorologique d'incendie

Le changement climatique est en marche depuis la révolution industrielle. Au cours du siècle passé, la température moyenne du globe a subi une augmentation générale de +0,8°C. Des facteurs naturels liés aux variations de l'énergie solaire, aux éruptions volcaniques... interviennent dans la modification du climat. Cependant, la communauté scientifique internationale s'accorde majoritairement pour attribuer l'essentiel de ce changement à l'augmentation de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre, générés par l'activité humaine. La décennie 1990 a connu le réchauffement le plus important du XX^e siècle.

Le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), dans son rapport d'avril 2007 (CHRISTENSEN & HEWITSON 2007), a évalué la gamme des changements projetés pour 2091-2100 selon différents scénarios. Pour un scénario moyen (une concentration de 700 ppm de CO₂), il prédit que les températures moyennes annuelles en région méditerranéenne devraient augmenter de +2,2°C à 5,1°C, avec des températures estivales maximales augmentant probablement plus que les moyennes annuelles.

En comparant les données pour la période 1980-1999 aux prévisions moyennes de 21 modèles pour 2080-2999 avec le scénario moyen A1B, les auteurs de ce rapport annoncent que les précipitations moyennes annuelles devraient très probablement baisser pratiquement partout en zone méditerranéenne, avec des prévisions variant de -4% à -27% selon les modèles. En zone méditerranéenne, les plus fortes baisses des précipitations sont attendues en été, mais elles vont concerner également les autres saisons, et le nombre de jours de précipitation par an devrait très probablement baisser. Le risque de sécheresse estivale devrait probablement augmenter en région méditerranéenne et en Europe centrale.

Dans cette perspective, le cas de l'Espagne est intéressant à analyser car il préfigure une évolution annoncée des autres pays méditerranéens européens. En effet, l'Espagne est le pays le plus aride d'Europe, et 31% de son territoire est en voie de désertification (SACQUET, 2007).

L'analyse des données météorologiques de ce pays sur 30 ans (1971-2000), révèle que l'évapotranspiration potentielle que l'on peut assimiler à la sécheresse de l'atmosphère, est passée de 1000 mm/an au début du XX^e siècle à plus de 1150 mm/an de nos jours, ce qui représente une augmentation de plus de 15% (AYALA-CARCEDO 2004). D'après les données de l'Observatoire météorologique de Nevacerrada dans la région de Madrid, la baisse durant cette période est même supérieure à 27% et il se pose à l'heure actuelle des problèmes d'alimentation en eau de cette ville.

Les conséquences du déficit hydrique en Espagne sur le problème des incendies de végétation sont évidentes puisque la valeur journalière de l'indice d'aridité entre dans la formule de calcul du risque d'incendie. Comme nous le verrons plus loin, on constate non seulement l'augmentation de la valeur de cet indice, mais aussi du nombre et de l'intensité des feux eux-mêmes. Ayala-Cerrado (2004) conclut d'ailleurs à une africanisation du climat de l'Espagne continentale.

En Europe, et particulièrement en Europe du Sud, le nombre d'événements extrêmes, comme la vague de chaleur de l'été 2003, devrait également augmenter. Ainsi, la probabilité d'avoir une température maximale supérieure à 35°C en été, qui était de 1% pour la période 1961-1990 dans le delta du Rhône, devrait atteindre 20% pour la période 2071-2100 selon le scénario A2 (concentration de 840 ppm en CO₂) (DÉQUÉ 2004) (Cf. Fig. 1).

La gamme d'incendies générés dans ce contexte climatique exceptionnel, est caractérisée par des niveaux de puissance et de vitesse de propagation du feu eux-mêmes

exceptionnels, et des pays comme la France en 2003, le Portugal en 2003 et en 2005 ou la Grèce en 2007 ont déjà subi ces types d'incendies. Ces incendies de sévérité inattendue ont surpassé les capacités actuelles des systèmes nationaux de prévention et de lutte.

Actuellement, les services de Météo France travaillent à la régionalisation pour la zone méditerranéenne des modèles de changement climatique fonctionnant à l'échelle mondiale. Les premiers résultats de ces travaux prédisent une diminution du nombre de dépressions et des vents forts associés (JACQ 2007). Dans les projections climatiques futures, se dessinent une tendance à un renforcement de l'anticyclone des Açores associé à une anomalie positive de l'Oscillation Atlantique Nord et à des perturbations atlantiques rejetées plus au Nord. Ces phénomènes, qui restent à confirmer, pourraient favoriser une diminution du mistral et cette baisse serait alors la seule conséquence bénéfique du changement climatique dans le domaine des feux de forêt. Encore faut-il se rappeler que des incendies très intenses et très rapides se sont déroulés dans le Var durant l'été 2003 dans des conditions de vent plutôt modérées (PERCHAT & RIGOLOTT 2005).

Ce qui précède permet donc d'établir qu'une augmentation du risque météorologique feu de forêt est déjà observée en Espagne et qu'elle est prévisible en France. A ces changements climatiques, il convient d'ajouter les autres composantes agissant sur le risque d'incendie qui relèvent des contextes socio-économique et démographique. Nous savons par exemple que les prévisions démographiques en région méditerranéenne (CHATAIN 2004) annoncent un

renforcement du problème des interfaces habitat – forêt qui accroissent les enjeux et les difficultés de lutte contre les incendies de forêt (LAMPIN *et al.* 2007).

Les conditions météorologiques conditionnent le déclenchement et la propagation des incendies, mais déterminent aussi les conditions de croissance et de survie de la végétation combustible. Il convient donc d'étudier les conséquences directes du changement climatique sur la végétation avant d'examiner les conséquences de l'évolution du combustible sur le régime des incendies.

Premiers constats des effets du changement climatique sur la végétation

Les premiers effets des changements climatiques sur la végétation sont déjà visibles en région méditerranéenne, avec des dépérissements d'arbres, des changements de distribution de plantes et des modifications du régime des perturbations.

Concernant les dépérissements d'arbres, on observe en effet des dépérissements depuis 2003 du pin sylvestre dans le haut Var (Cf. Photo 1), du sapin en Vésubie, sur le mont Ventoux (DREYFUS 2007) et dans l'Aude. On pourrait citer aussi le déclin du chêne-liège dans les Maures dont la mortalité atteint 20 à 25% et du chêne blanc en versant nord du massif du grand Luberon. Ces dépérissements, en augmentant la nécromasse présente dans les formations végétales, peuvent avoir une incidence sur le régime des feux de végétation.

Fig. 1 :
Probabilité d'avoir une température maximale supérieure à 35°C en été pour la période 1961-1990 (à gauche) et pour la période 2061-2090 (à droite) selon un scénario A2 (DEQUÉ 2004)

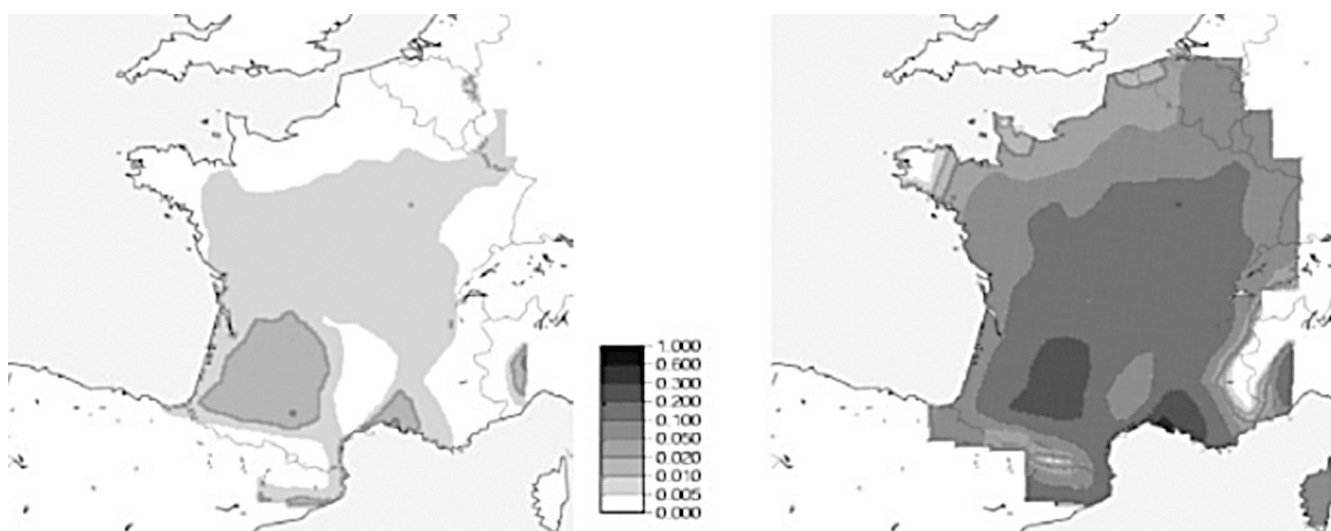




Photo 1 :
Dépérissements du pin
sylvestre dans le Haut Var
(montagne du Lachens)
Photo D.A.

Concernant les changements de distribution de plantes, Peñuelas et Boada (2003) ont observé sur le Montseny au nord-est de l'Espagne sur la période 1950 – 2000, une remontée du hêtre d'environ 70 m avec un remplacement par le chêne vert à moyenne altitude (800 m – 1400 m). Ces changements de distribution de plantes en altitude vers des formations plus xériques préfigurent les changements attendus en latitude.

Lavergne *et al.* (2006), ont réalisé une évaluation des changements de long terme des espèces rares de la flore méditerranéenne, dans la région Montpellier - Béziers, avec des données historiques sur 115 ans (1886-2001). Les espèces rares de distribution euro-sibérienne, dont la région d'étude constitue les marges sud de leur aire de distribution, ont fortement décliné ou ont disparu de la région d'étude pendant la période 1886–2001 ; alors que les espèces rares d'affinité méditerranéenne sont restées significativement stables.

On comprend bien que ces évolutions qui concernent la composition, la structure et le comportement hydrique de la couverture végétale combustible peuvent avoir des conséquences sur la dynamique des incendies de forêt.

Premiers constats des effets du changement climatique sur le régime des feux

Si on s'intéresse maintenant directement aux effets des changements climatiques sur le régime des perturbations lui-même, des

études rétrospectives espagnoles montrent des modifications du régime des incendies déjà à l'œuvre. Il s'agit d'analyses des statistiques des incendies (occurrence, surface) sur le siècle passé confrontées aux enregistrements climatiques. Piñol, Terradas et Lloret (1998), pour la Catalogne, ont utilisé deux indices de risque d'incendie à base météorologique, destinés à estimer la teneur en eau du combustible fin, respectivement mort et vivant. Les valeurs moyennes de chacun de ces indices pour les mois de juin à septembre et pour la période 1968-1994, étaient positivement corrélées avec le nombre annuel d'incendies et avec la surface brûlée. Ces auteurs en concluent que les tendances climatiques plus chaudes et plus sèches observées ces dernières décennies ont probablement contribué à augmenter l'activité des incendies dans le nord-est de l'Espagne depuis 1968.

Pausas (2004) pour la région de Valencia en Espagne, montre une augmentation nette du nombre annuel d'incendies et de la surface annuelle brûlée sur le siècle passé, qui accompagne une augmentation des températures annuelles et estivales sur la même période, ainsi qu'une légère tendance à la baisse des précipitations estivales.

Pour ce qui concerne les régions à climat méditerranéen ailleurs dans le monde, Ronald Neilson, professeur à l'Université de l'Oregon, bioclimatologiste à l'USDA Forest Service et membre du GIEC, souligne que les incendies catastrophiques de l'automne 2007 dans le sud de la Californie sont des phénomènes d'une amplitude conforme à ce que prévoyaient les modèles climatiques depuis des années et qu'ils ne sont que le prélude de phénomènes futurs équivalents beaucoup plus nombreux (*ScienceDaily* 2007).

A notre connaissance, aucune étude rétrospective du type de celles menées en Espagne n'a été conduite en France. L'analyse des statistiques feux de forêt françaises sur les dernières décennies n'indique à ce jour aucun effet décelable des changements climatiques sur le régime des feux dans notre pays. En effet, hormis le caractère exceptionnel de l'année 2003, on observe une tendance à la baisse des surfaces moyennes brûlées. Les bilans feux de forêt les plus récents (2006 et 2007) ont même été particulièrement bons. En revanche compte tenu des changements déjà observés dans les régions les plus méridionales de l'Europe, il est légi-

time de s'interroger sur les prévisions pour la France dans ce domaine.

En terme de prédictions, un certain nombre d'études françaises soulignent les impacts potentiels des changements climatiques sur la végétation.

Prévisions des effets du changement climatique sur la végétation

Les analyses du projet Carbofor prévoient un déplacement des aires bioclimatiques des essences méditerranéennes vers le nord de l'Europe (INRA-IFN 2004). L'aire potentielle des forêts de type méditerranéen pourrait s'étendre en France de 9% à 28% à l'horizon 2100. On peut donc s'attendre à une augmentation de la fréquence des incendies dans des régions qui n'y sont pas habituées, ni préparées. Le risque d'incendie pourrait ainsi concerner une bonne partie des forêts de production. Dans ce cas, les espoirs placés dans une forêt « puits de carbone », ou ressource en matière première et en énergie renouvelable pourraient être déçus (BOURGAU, LERAT & CAILMAIL 2007).

La question est maintenant de savoir si les espèces de type méditerranéen seront capables de suivre l'évolution de leur aire potentielle. Cela dépendra de leur capacité à ajuster leur comportement notamment hydrique (plasticité), de leur évolution génétique (adaptation) et de leur capacité de dispersion sur de longues distances (migration). Les recherches actuelles portent sur ces questions et notamment sur les rythmes de ces phénomènes au regard de la vitesse du changement climatique (LEFÈVRE 2007). Il est aussi question du maintien ou de la réduction de l'aire méditerranéenne actuelle. Un argument en faveur du maintien, au moins temporaire, de l'aire est que les écosystèmes méditerranéens seraient plus résilients car adaptés aux fortes températures et aux forts stress hydriques. Quoi qu'il en soit, même sans changement de végétation, les régions nouvellement soumises au climat de type méditerranéen verront le risque d'incendie augmenter au moins par sa composante météorologique.

La forêt de type méditerranéen s'accroîtrait en surface, mais aussi en biomasse. En effet l'augmentation du CO₂ dans

l'atmosphère accélère la croissance des arbres au moins tant que l'alimentation en eau ou en nutriments ne devient pas limitante (SABATE, GRACIA & SANCHEZ 2002). Cette stimulation de la croissance s'accompagnerait naturellement de celle de la biomasse combustible sous les arbres, c'est-à-dire d'une augmentation de l'aléa d'incendie et d'une réduction de la durée d'efficacité du débroussaillage.

A terme, la végétation des zones les plus méridionales ne devrait plus bénéficier de l'effet de l'augmentation du taux de CO₂ sur la croissance de la végétation du fait de stress hydriques de plus en plus prononcés. Au contraire, les zones méditerranéennes actuelles devraient, dans la seconde partie du siècle, connaître une baisse de productivité de la végétation et des difficultés de régénération défavorisant les formations hautes. Il est difficile de dire si cette réduction de biomasse aura l'ampleur suffisante pour atténuer significativement le risque d'incendie. Néanmoins, la remontée vers le nord prévue de l'aire bioclimatique de type méditerranéen laisse envisager qu'il existera toujours une frange plus ou moins large où cette compensation ne s'opérerait pas et où globalement l'accumulation de biomasse de combustible aggraverait le risque feux de forêt. L'extension vers l'ouest de l'aire bioclimatique méditerranéenne invite à envisager pour la façade océanique de la France le scénario alternant des hivers doux et pluvieux, propices à l'accumulation de biomasse, et des étés plus secs et chauds favorisant l'augmentation des risques d'incendie. Quoiqu'il en soit, ce point illustre l'intérêt d'envisager plusieurs phases où les déterminants agissant sur le phénomène feux de forêt pourraient radicalement changer, toute la difficulté étant de borner ces phases dans le temps.

Prévisions des effets du changement climatique sur le régime des feux

Les études rétrospectives espagnoles déjà citées (PIÑOL *et al.* 1998, PAUSAS 2004) montrent que les effets du changement climatique sur le régime des feux est déjà visible sur la péninsule ibérique et qu'il faut

s'attendre à une augmentation future de la fréquence et de la gravité des incendies.

Au Portugal, une étude des effets du changement climatique sur les feux de forêt a analysé le risque d'incendie au travers de sa seule composante météorologique en utilisant l'indice feux de forêt canadien FWI (Canadian Fire Weather Index) (PEREIRA *et al.* 2002). Le modèle climatique régional HadRM (version 2) a été utilisé selon le scénario HadCM2 GGa2 correspondant à une augmentation annuelle de la concentration en CO₂ de 1% par an à partir de 1990 (MIRANDA *et al.* 2002). A l'horizon 2080 – 2100, les résultats prédisent une augmentation de la sévérité des incendies pour toutes les localisations testées sur le territoire portugais, ainsi qu'un allongement de la saison à risque qui débiterait à la mi-mai pour ne s'achever qu'à la mi-octobre. L'allongement de la saison des incendies aura pour conséquence une plus grande sollicitation des services de lutte contre les incendies, qui devront maintenir un niveau d'alerte élevé sur des périodes considérablement plus longues. Le changement climatique pourrait changer très rapidement le régime des feux, lequel pourrait avoir un effet plus important que le changement climatique lui-même sur la végétation (DALE *et al.* 2001). La fréquence des incendies est certainement la composante du régime des feux qui a l'effet le plus important sur la végétation ; en effet l'augmentation de la fréquence des incendies devrait conduire à un rajeunissement des formations végétales et à une réduction globale de la biomasse sur pied (PEREIRA *et al.* 2002).

D'autres études prospectives ont été menées dans les régions actuellement à climat méditerranéen ailleurs dans le monde. L'Australie devrait connaître une augmentation du risque d'incendie sur tout son territoire dans l'hypothèse d'un doublement de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère (WILLIAMS, KABOLY & TAPPER 2001). En particulier en Australie du Sud-Est, Hennessy *et al.* (2005) prévoient que la fréquence du nombre de jours avec des indices de risque d'incendie de niveaux très élevé à extrême, augmentera probablement de 4-25% à l'échéance 2020 et de 15-70% à l'échéance 2050.

En Californie, Fried, Torn & Mills (2004) analysent les résultats du couplage d'un modèle climatique général et d'un modèle

empirique d'attaque initiale sur incendie. Pour un scénario doublant le taux de CO₂ dans l'atmosphère par rapport au milieu du XX^e siècle, ils prévoient des incendies généralement plus intenses et se propageant plus rapidement. Malgré une montée en puissance des efforts de lutte, les simulations prévoient en moyenne annuelle, pour l'ensemble du nord de la Californie, le doublement des feux échappant à l'attaque initiale et une réduction par deux du temps de retour des incendies dans les formations de pelouses et de matorrals. Le renforcement des vitesses de vent a été identifié comme la principale cause d'augmentation du risque d'incendie, même si une augmentation des températures estivales est aussi prévue.

Pour ce qui concerne les onze états de l'ouest des Etats-Unis, McKenzie *et al.* (2004) prévoient qu'une augmentation de la température moyenne annuelle de 1.5°C pourrait doubler la surface brûlée, avec des conséquences les plus extrêmes dans les états du Montana, du Wyoming et du Nouveau Mexique.

Ailleurs dans le monde, de nombreuses études non spécifiques aux régions à climat méditerranéen ont analysé les conséquences du changement climatique sur les incendies de forêt. Ces résultats confirment ou complètent le spectre des changements caractérisant le régime des feux auxquels on peut s'attendre.

Stocks *et al.* (1998) ont mis en évidence un allongement de la saison à risque d'incendie au Canada et en Russie, ainsi qu'une augmentation significative des territoires de ces deux pays concernés par des niveaux de risque d'incendie élevé à extrême.

On s'attend de plus à une augmentation de la fréquence des épisodes orageux dans l'hémisphère Nord (FOSBERG *et al.* 1990, PRICE & RIND 1994) engendrant plus de feux liés à la foudre. Cette tendance aurait déjà été observée en région méditerranéenne française où cette cause de déclenchement d'incendie dépasserait depuis 2003 la moyenne de 4 à 7% antérieurement établie sur la base des données de Prométhée. Cette observation nécessite néanmoins d'être confirmée sur un plus long terme.

L'extension des formations forestières déperissantes va s'accompagner aussi d'une augmentation de la combustibilité des formations végétales touchées, par accumulation de la quantité de combustible mort.

Selon la dynamique spatiale des dépérissements, en bouquets isolés ou sur des versants entiers, et en fonction de leur échelonnement dans le temps, le phénomène peut avoir des conséquences plus ou moins sensibles sur le régime des incendies.

Le dispositif de prévention et de lutte contre les feux de forêt peut être aussi concerné indirectement par le changement climatique. Ainsi, il a déjà été mentionné la baisse de la durée d'efficacité des opérations de débroussaillage si la croissance de la végétation arbustive est stimulée par un taux élevé en CO₂ dans l'atmosphère. De même, l'allongement de la saison à haut risque d'incendie peut s'accompagner, comme déjà anticipé par Hennessy *et al.* (2005) pour le sud-est de l'Australie, d'une diminution des périodes favorables à l'emploi du brûlage dirigé qui se recentrerait sur l'hiver. Des difficultés d'intervention accrues, rendant le dispositif de lutte moins efficace, peuvent survenir dans le cas d'incendies plus rapides, ou touchant des zones de dépérissements massifs avec de nombreux arbres morts enchevêtrés. De même, des difficultés d'accès peuvent se présenter dans le cas d'incendies survenant sur des territoires jusqu'alors rarement touchés par les feux et donc moins bien aménagés.

Dans la perspective du changement climatique la dimension multirisques peut être renforcée. Les conséquences écologiques des incendies de forêt peuvent être aggravées par le risque supplémentaire d'érosion ou de glissement de terrain, en particulier dans les montagnes méditerranéennes. On garde en mémoire l'incendie de « Chamatte » qui en 1982 a parcouru 950 ha sur les communes de Saint-André, Saint-Julien-du-Verdon, Angles et Vergons dans les Alpes de Haute-Provence et qui a été suivi par une coulée de boue dévastant le village de Saint-André des Alpes. On peut s'attendre à ce que les peuplements de Restauration des terrains en montagne (RTM) eux-mêmes soient de plus en plus concernés par les incendies. La plus lente cicatrisation post-incendie de la couverture végétale des bassins versants sensibles, peut les exposer plus durablement à des précipitations torrentielles ponctuellement plus marquées. Ces risques accrus peuvent nécessiter le renforcement de mesures préventives à objectifs mixtes (incendie et RTM) ou de mesures curatives d'urgence plus ou moins étendues dans les bassins de risque.

Recommandations et mesures d'accompagnement

Dans ce contexte, il convient de ne surtout pas baisser la garde en matière de prévention des incendies de forêt en zone méditerranéenne actuelle. Il est recommandé de promouvoir les mesures d'atténuation du risque comme le débroussaillage, les mesures agri-environnementales favorisant le pâturage contrôlé et le développement du brûlage dirigé comme outil de prévention. La compartimentation des massifs par des réseaux de coupures de combustible devra être renforcée en respectant les bonnes pratiques de conception et d'entretien de ces ouvrages.

Les interventions de débroussaillage et d'éclaircie peuvent avoir des conséquences positives sur le fonctionnement des peuplements des écosystèmes méditerranéens dans le contexte du changement climatique. En réduisant la biomasse qui transpire, ces interventions peuvent augmenter la disponibilité de l'eau pour les arbres maintenus ce qui peut être très important pour soutenir les écosystèmes forestiers et leur permettre de supporter des périodes sévères de sécheresse et de fortes températures (GRACIA *et al.* 1999).

La pratique du brûlage dirigé devra atteindre un développement significatif pour contribuer efficacement et de manière économique au contrôle du combustible. Cette technique peut aussi contribuer à réduire les émissions de CO₂ produites par les incendies (NARAYAN *et al.* 2007). A ce titre, il peut donc être considéré comme une technique de limitation des émissions, mais ne permettant d'atteindre les objectifs du protocole de Kyoto que dans les pays où les incendies sont fréquents. Pour toute l'Europe, les émissions annuelles dues aux incendies sont estimées à 11 millions de tonnes, elles tomberaient à 6 millions de tonnes si les brûlages dirigés étaient généralisés (NARAYAN *et al.* 2007).

Il convient aussi de renforcer l'emploi du feu dans la lutte par une utilisation accrue du feu tactique. Il faut se préparer à des événements extrêmes en passant d'une logique implicite de protection des milieux naturels à une logique clairement affichée de protection civile favorisant la protection des biens et des personnes. Les services de lutte devront anticiper l'évolution des risques (allongement de la saison à risque, extension des

régions concernées par les incendies) pour ajuster le dispositif de secours aux enjeux futurs. Il est prévisible que les moyens nationaux soient plus souvent sollicités sur des crises majeures, et dans cette perspective l'entraide interdépartementale et les dispositifs bilatéraux d'assistance mutuelle à l'échelle européenne devront être facilités et renforcés.

La maîtrise de l'urbanisme en lisière et au sein des espaces naturels sensibles aux incendies est une mesure indispensable pour réduire le risque de perte de vies humaines et pour limiter les dommages matériels.

Finalement, compte tenu des menaces climatiques encore plus marquées qu'ailleurs en zone méditerranéenne, on peut s'attendre à une persistance et à une aggravation du phénomène des incendies de forêt. Il convient donc d'orienter résolument la sensibilisation du public dans le sens d'une meilleure connaissance du phénomène et de la manière de s'en protéger. Cette sensibilisation doit comprendre des actions favorisant l'autoprotection des biens et des personnes avant la saison à risque avec notamment le débroussaillage autour des habitations. Il comprend aussi l'apprentissage des comportements de sauvegarde individuels et collectifs pendant le déroulement du feu lui-même.

En zone méditerranéenne, dans sa répartition géographique future, il convient de définir les mesures de prévention à mettre en place progressivement, en utilisant tous les outils réglementaires et de planification disponibles. Les lois et règlements applicables aux trente-deux départements du grand Sud devront être progressivement étendus aux départements plus au nord, tout en renforçant partout la qualité de leur application.

Discussion et conclusion

Les conditions extrêmes accompagnant le changement climatique vont vraisemblablement augmenter le risque d'incendie de végétation. Cette augmentation est déjà observée en Espagne et devrait très probablement toucher la France dans les années à venir. On attend une augmentation de la fréquence des périodes de risque extrême, un allongement de la saison des incendies, une extension de la zone géographique concernée et plus de très grands feux.

De plus, les conséquences des changements climatiques sur le régime des feux peuvent se traduire par des modifications rapides et profondes de la végétation, qui pourraient surpasser l'effet direct du changement climatique sur la migration, la substitution et l'extinction des espèces (FLANNIGAN & LAVOREL 2000). L'effet conjugué de l'extension des zones concernées par les incendies de forêt sur le territoire français et de l'augmentation de la fréquence des incendies peut conduire à une réduction globale de la biomasse sur pied, compromettant la stratégie nationale de la forêt "puits de carbone".

Le solde migratoire positif actuellement observé en région méditerranéenne, que les prévisions démographiques annoncent comme durable, résistera-t-il aux changements climatiques ? La région méditerranéenne conservera-t-elle son attractivité si les saisons estivales caniculaires se multiplient et si le régime des feux augmente significativement les menaces sur les biens et les personnes ? Si le renversement de tendance démographique s'amorce effectivement, aura-t-il l'ampleur nécessaire pour avoir les effets significatifs attendus sur le phénomène feux de forêt ? Dans tous les cas, la remontée vers le nord de la zone à bioclimat méditerranéen s'accompagnerait concomitamment de la remontée de la frange plus hospitalière susceptible d'accueillir les populations attirées par un climat de type méditerranéen et ne ferait que déplacer vers le nord le problème de la présence diffuse d'habitations en zones sensibles aux incendies.

La question se pose également de l'impact d'un changement de politique énergétique ayant pour conséquences une consommation accrue de bois-énergie ou une exploitation des ressources végétales naturelles à des fins bio-énergétiques. L'exploitation de la biomasse peut en effet contribuer à l'atténuation du risque d'incendie par le débroussaillage ciblé (coupures de combustible, interfaces habitat forêt) ou extensif (auto-protection des peuplements forestiers). Il s'agirait de changements d'usage qui pourraient avoir un effet compensatoire intéressant. Dans une perspective de changement climatique, les mesures de prévention comprenant le débroussaillage seront en effet amenées à se développer pour faire face à l'augmentation du risque et pour maintenir voire étendre le niveau de prévention actuel. L'exploitation de la biomasse peut être une

réponse économiquement intéressante à ce défi. Mais cette spéculation peut être de courte durée si la ressource est rapidement épuisée sous les effets combinés du prélèvement accru, de conditions de croissance difficiles de la végétation méditerranéenne et des effets destructeurs des incendies eux-mêmes. N'oublions pas enfin, que le bois-énergie a été la grande cause de la dégradation des forêts méditerranéennes, il n'y a encore pas si longtemps.

E.R.

Références

- Ayala-Carcedo, F. J. (2004) La realidad del Cambio Climático en España y sus principales impactos ecológicos y socioeconómicos. *Industria y Minería*, 10-15.
- Bourgau, J.-M., J.-F. Lerat & F. Cailmail. 2007. Adaptation de la gestion des forêts au changement climatique. 57p. : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche ; Conseil général de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Espaces Ruraux.
- Chatain, J. (2004) Aspects démographiques et urbanisation dans le Var. *Forêt Méditerranéenne*, XXV, 293-296.
- Christensen, J. H. & B. Hewitson. 2007. Regional Climate Projections. 847-940. GIEC ; IPCC.
- Dale, V. H., L. A. Joyce, S. McNulty, R. P. Neilson, M. P. Ayres, M. D. Flannigan, P. J. Hanson, L. C. Irland, A. E. Lugo, C. J. Peterson, D. Simberloff, F. J. Swanson, B. J. Stocks & B. M. Wotton (2001) Climate Change and Forest Disturbances. *BioScience*, 51, 723-734.
- Dreyfus, P. (2007) Les dynamiques en cours et l'impact des pratiques sylvicoles. *Forêt Méditerranéenne*, XXVIII, 419-426.
- Déqué, M. 2004. Les scénarios climatiques de réchauffement. In *Journées de la Mission Changement Climatique et Effet de Serre*, 6p. Avignon.
- Flannigan, M. & S. Lavorel. 2000. Global change impacts on landscape fires. 4.
- Fosberg, M. A., J. G. Goldammer, D. Rind & C. Price. 1990. Global Change: Effects on Forest Ecosystems and Wildfire Severity. In *Fire in the Tropical Biota: Ecosystem Processes and Global Challenges*, ed. J. G. e. Goldammer, 483-486. Berlin: Springer-Verlag.
- Fried, J. S., M. S. Torn & E. Mills (2004) The Impact of Climate Change on Wildfire Severity: A Regional Forecast for Northern California. *Climatic Change*, 64, 169-191.
- Gracia, C. A., S. Sabate, J. M. Martinez & E. Albeza. 1999. Functional responses to thinning. In *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests*, eds. F. Roda, J. Retana, C. Gracia & J. Bellot, 329-338. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Hennessey, K., C. Lucas, N. Nicholls, J. Bathols, R. Suppiah & J. Ricketts. 2005. Climate change impacts on fire-weather in south-east Australia. 91p.: CSIRO Marine and Atmospheric Research; Bushfire CRC; Australian Bureau of Meteorology.
- INRA-IFN. 2004. Impact du réchauffement climatique sur la répartition des essences forestières françaises : Modélisation des aires de répartition des groupes chorologiques. In *Dossiers scientifiques*. INRA-IFN.
- Jacq, V. 2007. Conséquences des changements climatiques dans les régimes de vent en région méditerranéenne Française. Météo France.
- Lampin, C., M. Jappiot, M. Long, D. Morge, C. Bouillon, L. Galiana, G. Herrero, J. Solana, A. Mantzavelas, T. Lazaridou, T. Partozis, G. Loddo, G. Delogu, S. Brigalia & G. Dettori. 2007. Characterization and mapping of wildland-urban interfaces: a methodology applied in the case study area in Sardinia. In *IVth International Wildland Fire Conference*. Sevilla, Spain.
- Lavergne, S., J. Molina & M. Debussche (2006) Fingerprints of environmental change on the rare mediterranean flora: a 115-year study. *Global Change Biology*, 12, 1466-1478.
- Lefèvre, F. (2007) Le mont Ventoux : laboratoire d'étude dans le cadre du changement climatique. *Forêt Méditerranéenne*, XXVIII, 427-432.
- McKenzie, D., Z. Gedalof, D. L. Peterson & P. Mote (2004) Climatic change, wildfire, and conservation. *Conservation Biology*, 18, 890-902.
- Miranda, P. M. A., F. E. S. Coelho, A. R. Tomé, M. A. Valente, A. Carvalho, C. Pires, H. O. Pires, V. C. Pires & C. Ramalho. 2002. 20th century Portuguese Climate and Climate Scenarios. In *Climate change in Portugal: Scenarios, impacts and adaptation measures* (SIAM project), eds. F. D. Santos, K. Forbes & R. Moita, 23-83.
- Narayan, C., P. M. Fernandes, J. van Brusselen & A. Schuck (2007) Potential for CO2 emissions mitigation in Europe through prescribed burning in the context of the Kyoto Protocol. *Forest Ecology and Management*, 251, 164-173.
- Pausas, J. G. (2004) Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). *Climatic Change*, 63, 337-350.
- Perchat, S. & E. Rigolot. 2005. *Comportement au feu et utilisation par les forces de lutte des coupures de combustible touchés par les grands incendies de la saison 2003*. Morières: Ed. de la Cardère Morières.
- Pereira, J. S., A. V. Correia, A. P. Correia, M. Branco, M. Bugalho, M. Caldeira, C. Cruz, H. Freitas, J. M. C. Oliveira, R. M. Reis & M. J. Vasconcelos. 2002. Forests and Biodiversity. In *Climate change in Portugal: Scenarios, impacts and adaptation measures* (SIAM project), eds. F. D. Santos, K. Forbes & R. Moita, 369-409.
- Peñuelas, J. & M. Boada (2003) A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology*, 9, 131-140.
- Piñol, J., J. Terradas & F. Lloret (1998) Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Climatic Change*, 38, 345-357.
- Price, C. & D. Rind (1994) Possible implications of global climate-change on global lightning distributions and frequencies. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 99, 10823-10831.
- Sabate, S., C. A. Gracia & A. Sanchez (2002) Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region. *Forest Ecology and Management*, 162, 23-37.
- Sacquet, A.-M. 2007. Le développement durable, l'affaire de tous. In *365 jours pour réfléchir à notre terre*, ed. Y. Arthus-Bertrand. Paris: Editions de la Martinière.
- Author. 2007. Massive California Fires Consistent With Climate Change, Experts Say. *ScienceDaily* Oct. 24, 2007.
- Stocks, B. J., M. A. Fosberg, T. J. Lynham, L. Mearns, B. M. Wotton, Q. Yang, J. Z. Jin, K. Lawrence, G. R. Hartley, J. A. Mason & D. W. McKenney (1998) Climate change and forest fire potential in Russia and Canadian boreal forests. *Climatic Change*, 38, 1-13.
- Williams, A. A. J., D. J. Kaboly & N. Tapper (2001) The sensitivity of Australian fire danger to climate change. *Climatic Change*, 49, 171-191.

Eric RIGOLOT
INRA, UR 629
Ecologie des forêts
méditerranéennes
Domaine Saint Paul
Site Agroparc
84914 Avignon
Cedex 9
Tél. : 04 32 72 29 21
Fax : 04 32 72 29 02
Mél : rigolot@
avignon.inra.fr

Résumé

Le changement climatique est déjà en marche depuis la révolution industrielle. La température moyenne du globe a subi une augmentation générale de +0.8°C sur le siècle passé. Des facteurs naturels liés aux variations de l'énergie solaire, aux éruptions volcaniques... interviennent dans la modification du climat. Cependant, la communauté scientifique internationale est très majoritairement d'accord pour attribuer l'essentiel de ce changement à l'augmentation de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre, générés par l'activité humaine. La décennie 1990 a connu le réchauffement le plus important du XX^e siècle. Le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), dans son rapport d'avril 2007, pour un scénario moyen comparant les périodes 1980-1999 à 2080-2999, prédit que :

- les températures moyennes annuelles en région méditerranéenne devraient augmenter de +2,2°C à 5,1°C, avec des températures estivales maximales augmentant probablement plus que la moyenne ;
- les précipitations moyennes annuelles devraient très probablement baisser pratiquement partout en zone méditerranéenne avec des prévisions variant de -4% à -27% selon les modèles. En zone méditerranéenne, les plus fortes baisses sont attendues en été ;
- le nombre d'événements extrêmes, comme la vague de chaleur de l'été 2003, devrait aussi augmenter.

Les premiers effets sur la végétation des changements climatiques sont déjà visibles en région méditerranéenne, avec notamment des dépérissements depuis 2003 du pin sylvestre dans le Haut-Var, du sapin en Vésubie, sur le mont Ventoux et dans l'Aude. Concernant les changements de distribution des plantes, Peñuelas *et al.* (2003) ont observé sur le Montseny en Espagne une remontée du hêtre d'environ 70 m sur la période 1950 – 2000, avec un remplacement par le chêne vert à moyenne altitude. L'étude rétrospective des statistiques des incendies (occurrence, surface) sur le siècle passé confrontées aux enregistrements climatiques montre des modifications du régime des incendies déjà à l'œuvre. Pour la Catalogne, Piñol *et al.* (1998) montrent que depuis le début des années 70, la fréquence des incendies augmente concomitamment avec l'augmentation de la température globale.

En terme de prédictions, un certain nombre d'études soulignent les impacts potentiels des changements climatiques sur la végétation. Le projet Carbofor prévoient un déplacement des aires bioclimatiques des essences méditerranéennes vers le nord. L'aire potentielle des forêts de type méditerranéen pourrait augmenter en France de 9% à 28% à l'horizon 2100. On peut donc s'attendre à une augmentation de la fréquence des incendies dans des régions qui n'y sont pas habituées, ni préparées. Le risque d'incendie pourrait ainsi concerner une bonne partie des forêts de production.

Summary

Impact of climate change on forest wildfires

Climate change has been under way since the industrial revolution. During the last century, the average worldwide temperature has increased overall by 0.8°C. Natural factors linked to variations in solar energy, volcanic eruptions... induce modifications to climate. Nevertheless, the international scientific community is very largely in agreement in attributing the main cause of this change to an increase in the atmospheric concentrations of greenhouse gases generated by human activity. The decade of the 1990s saw the biggest warming of the 20th century.

The GIEC (IGCC – intergovernmental group on climate change), in its report of April 2007, compares an average scenario for the periods 1980-1999 and 2080-2999 and on this basis predicts that :

- average annual temperatures around the Mediterranean Rim are likely to rise by between 2.2°C and 5.1°C, with summer temperatures no doubt going up even more than the average ;
- annual mean rainfall levels are expected to fall just about everywhere in the Mediterranean region, with forecasts of -4% to -27%, depending on the model. Around the Mediterranean, the biggest drops are predicted for the summer ;
- the number of extreme events, such as the heatwave of 2003, are also likely to increase ;
- the first effects of climate change on vegetation are already visible around the Mediterranean Rim, notably on the Scotch pine in the higher Var (Provence, France), on firs in the Vesubie region and on the Mont Ventoux (Provence, France) and in the Aude (South-Central France). As to changes in the distribution of species, Peñuelas *et al.* (2003) observed on the Montseny, in Spain, that the lower limit for beech moved up 70 m from 1950-2000, with the holm oak encroaching at middle altitudes. A retrospective study of statistics on wildfire (occurrence, surface areas) for the last century, when compared to data on climate, shows that a change in the regime of wildfire is already under way. Piñol *et al.* (1998) have shown that in Catalonia, the frequency of wildfires since the beginning of the 1970s has risen hand in hand with the increase in global temperatures ;
- concerning predictions, a certain number of studies have highlighted the potential impact of climate change on vegetation. The Carbofor project forecasts a northerly extension of the bioclimatic zones colonised by Mediterranean species. The potential area for Mediterranean-type woodlands in France could well go up by 9%-28% by 2100. Thus, we can expect a rise in the frequency of wildfire in areas that are neither used to, nor prepared for them. Indeed, wildfire may come to involve a big part of productive forests.