

# Essai de cartographie des massifs potentiellement sensibles aux incendies estivaux à l'horizon 2040

par Yvon DUCHÉ, Rémi SAVAZZI, Loïc COMMAGNAC,  
Emmanuel CLOPPET et Mathieu REGIMBEAU

***Cette étude a été réalisée  
dans le cadre de la mission  
interministérielle sur l'extension  
des zones sensibles aux feux  
de forêts, qui a rendu  
son rapport en 2007.***

***A l'échelle nationale, elle donne  
une bonne idée de ce que pourrait  
être la situation en 2040 :  
40% de la surface totale  
en espaces naturels non agricoles  
seraient sensibles  
aux feux estivaux.***

***Ce travail constitue une base  
indispensable à la réflexion sur  
les politiques à venir.***

## Contexte de l'étude

La mission interministérielle sur l'extension des zones sensibles aux feux de forêts a souhaité réaliser une approche cartographique de cette extension, en faisant appel aux compétences de plusieurs organismes nationaux. La présente étude a été menée d'octobre 2009 à mai 2010 conjointement par l'Office national des forêts (ONF), avec la collaboration active de l'Inventaire forestier national (IFN) qui a assuré le travail de cartographie des types de peuplements regroupés, le découpage en massifs forestiers, et le traitement du Modèle numérique de terrain, et Météo-France, qui a effectué l'expertise permettant de définir les zones d'extension d'un climat semblable au climat méditerranéen.

Cette approche est basée sur de nombreuses hypothèses qui restent à préciser et les résultats ne doivent donc pas être considérés comme "la" vérité intangible et incontestable, mais comme un aperçu d'une situation assez plausible.

A partir de l'analyse des incendies passés significatifs hors région méditerranéenne lors de grandes années de sécheresse, et des connaissances empiriques de l'ONF sur les feux majeurs en région méditerranéenne, en particulier dans l'arrière-pays, il est apparu possible d'identifier un certain nombre de formations forestières, présentes au sein de ces secteurs incendiés, et qui ont manifesté une forte sensibilité au feu du fait de leurs conditions stationnelles particulières induisant des teneurs en eau des végétaux faibles au cours des périodes de fortes sécheresses. C'est sur ces trois facteurs (formations forestières, conditions stationnelles et périodes de fortes sécheresse) que portent les hypothèses sur lesquelles se base cette étude.

## Hypothèses de modélisation

Le premier élément sur lequel on doit faire des hypothèses est l'effet du changement climatique sur la végétation d'ici 2040. A cet horizon, le changement est trop rapide pour permettre une migration des peuplements forestiers. L'étude se base donc sur les formations en place, dont on peut avoir une approche grâce aux données de l'IFN.

Dans les secteurs affectés par une dégradation des conditions climatiques, certaines formations forestières déjà présentes vont devenir sensibles aux incendies de forêts. Parmi ces formations, celles qui devraient être les premières concernées sont celles qui ont déjà été affectées par des feux de forêts majeurs lors d'années de grande sécheresse, ou en périphérie de la région méditerranéenne. Par analogie, celles qui en sont proches en termes de composition d'essence ou de structure (avec notamment des sous-étages denses et une forte continuité horizontale et verticale) devraient également être concernées.

De nouvelles formations ou essences pourraient devenir sensibles, mais il n'est pas possible en l'état des connaissances de les identifier.

Autre hypothèse importante : seuls les incendies estivaux sont pris en compte. Les incendies estivaux concernent des formations forestières en phase de végétation. Leur sensibilité au feu est fonction de la structure du peuplement, des essences présentes, mais aussi de la teneur en eau des parties fines et vivantes (en majorité), de la litière et des herbacées mortes. Cette sensibilité est donc modélisable en fonction du type de peuplement, de la station (en particulier de ses réserves en eau potentielles), et des conditions climatiques, facteurs eux-mêmes possibles à approcher à l'échelle de l'étude. Les connaissances actuelles trop partielles sur les feux hivernaux, dont la propagation initiale dépend principalement de l'état et de la teneur en eau des végétaux morts (litière, herbacée, morts-bois), mais également de facteurs anthropiques dont on ne peut deviner l'évolution au cours des 30 prochaines années, ne permettent pas de proposer une modélisation fiable de ce phénomène à l'échelle nationale.

La sensibilité potentielle des formations végétales est modélisée sur l'ensemble du territoire en se basant sur l'hypothèse de

conditions climatiques équivalentes à celles rencontrées au cours de la période de référence (1990-2008) dans le moyen pays méditerranéen. Cette sensibilité potentielle ne s'exprimera que dans les zones qui auront à l'horizon 2040 des conditions équivalentes à celles du moyen pays méditerranéen, qui seront estimées à partir des études d'évolution du climat réalisées par Météo-France.

## Evaluation de la sensibilité potentielle de la végétation

La méthodologie d'évaluation de la sensibilité potentielle de la végétation aux incendies estivaux est la suivante : classement des divers types de végétation existants en 4 classes de sensibilité potentielle aux incendies, délimitation du territoire en 4 classes de capacité de réserve en eau potentielle des sols, et croisement de ces deux facteurs pour obtenir un indice brut de sensibilité potentielle en 5 classes.

### Classement des divers types de végétation existants

Par analogie avec les peuplements connus comme sensibles dans l'arrière-pays méditerranéen et en moyenne montagne et ceux parcourus par les feux historiques lors des grandes années de sécheresse sur tout le territoire national, tous les types de peuplements de l'IFN ont été classés en 4 niveaux de sensibilité potentielle aux incendies estivaux (facteur végétation) :

– sensibilité forte (4) : garrigues et maquis, landes arbustives, peuplements à dominance de chêne vert, chêne-liège (*Quercus ilex* ou *suber*), eucalyptus (*Eucalyptus* sp.) ou de pins autres que montagnards : pins d'Alep, pignon, maritime, noir, laricio, sylvestre (*Pinus halepensis*, *pinia*, *pinaster*, *nigra*, *laricio*, *sylvestris*) ;

– sensibilité assez forte (3) : landes herbacées, inculte ou friche, peuplement à dominance de chêne pubescent (*Quercus pubescens*) ou châtaignier (*Castanea sativa*) ;

– sensibilité modérée (2) : peuplements à dominance de résineux hors pins cités précédemment : sapins (*Abies* sp.), épicéa (*Picea abies*), douglas (*Pseudotsuga menziesii*), pin à crochet, pin cembro (*Pinus uncinata*, *cem-*

bra), mélèze (*Larix decidua*), cèdre (*Cedrus* sp.)...

– sensibilité faible (1) : peuplements à dominance de feuillus hors ceux cités précédemment : hêtre (*Fagus sylvatica*), chêne sessile, chêne pédonculé, chêne rouge (*Quercus petraea, robur, rubra*), charme (*Carpinus betulus*), frênes (*Fraxinus* sp.), robinier (*Robinia pseudoacacia*...)

La catégorie “autre” au sens de l'IFN (qui regroupe tout ce qui n'est pas ou peu naturel comme les secteurs fortement anthropisés, les cultures, les zones minérales ou aquatiques...), ainsi que les peupleraies, pelouses, landes de montagne et espaces verts urbains sont considérés comme ayant une sensibilité très faible à nulle et sont donc sortis du champ de l'étude (sensibilité potentielle ou modélisée égale à 0 quel que soit le facteur sol ou l'évolution des conditions climatiques).

L'IFN a apporté son expertise pour améliorer la classification des types de feuillus ou conifères indifférenciés, et des types de peuplement en mélange, par analyse de la base de données placettes et définition des aires de répartition des essences forestières.

Ainsi, les types de peuplements mélangés ont pu être classés en fonction de l'essence la plus représentative.

Pour les types de feuillus indifférenciés, il a été fait le choix de rechercher la probabilité de présence du chêne pubescent et de son cortège. Dans les régions forestières où il est présent d'une façon statistiquement significative, les peuplements de feuillus indifférenciés ont été considérés comme ayant une probabilité importante d'être à base de chêne pubescent et ont donc été affectés d'un facteur végétation de 3, tandis que dans les autres régions forestières ils ont été affectés d'un facteur végétation de 1. Le même travail aurait pu être réalisé pour le châtaignier, mais il est apparu dans l'étude que ce dernier pouvait être présent de façon significative presque partout en France, de façon plus ou moins mélangée, et que sa probabilité de présence n'était pas un facteur discriminant pour la sensibilité des types de feuillus indifférenciés.

Pour les types de conifères indifférenciés, le travail de discrimination s'est fait sur la base de l'aire de répartition de la hêtraie-sapinière et des peuplements à base de sapin, d'épicéa et de douglas (aire définie par régions forestières sur la base d'analyses statistiques de la base placettes et d'expertise).

Dans les régions forestières retenues comme faisant partie de cette aire de répartition, les peuplements de conifères indifférenciés ont été considérés comme ayant une forte probabilité d'être composés d'une de ces essences et ont donc été affectés d'un facteur végétation de 2. Dans les autres régions forestières, il a été considéré que les peuplements de conifères indifférenciés correspondaient soit très probablement à des peuplements à base de pin, soit de façon moins probable, mais néanmoins non négligeable, à des peuplements à base des essences précitées en dehors de leur aire naturelle de répartition donc dans des conditions moins favorables à leur développement les rendant d'une part plus sensibles à la sécheresse et au dépérissement et, d'autre part, moins concurrentielles vis-à-vis du sous-étage, et donc en faisant des formations plus sensibles à l'incendie. Dans les deux cas, ces peuplements ont été affectés d'un facteur végétation de 4.

Pour tenir compte du fait qu'un même type de peuplement au sens de l'IFN pouvait avoir des faciès différents impliquant une sensibilité différente en fonction de l'altitude, la note de sensibilité a été pondérée à la baisse dans les zones à caractère montagnard identifiées par l'IFN : la zone biogéographique “montagne” de l'IFN (par opposition à “plaines et collines” et “méditerranée”) a été redécoupée entre “moyenne montagne” et “montagne” en fonction d'un seuil d'altitude de 1000 m, et le facteur végétation diminué respectivement d'une et deux classes dans ces zones.

### **Cartographie simplifiée de la capacité potentielle de réserve en eau**

Cette capacité potentielle de réserve en eau des sols est fonction du sol (pédologie simplifiée), de la pente, et de l'exposition.

Pour la pédologie, la base de données utilisée est la carte européenne des sols au 1/1000000<sup>e</sup> éditée par le Centre commun de recherche de la Commission européenne qui donne des grands secteurs où un type de sol (selon classification WRB) est prédominant. De par sa faible précision, son utilisation pour des croisements de couches n'est pas recommandée à l'échelle d'un massif mais est possible à l'échelle de l'étude. Même si des cartes pédologiques plus précises exis-

tent sur certains secteurs, c'est la seule carte disponible couvrant de façon homogène l'ensemble du territoire.

Les différents types de sols recensés ont été affectés d'une note caractérisant leur capacité à retenir l'eau (facteur sol) :

- les sols liés aux cours d'eau (fluvisols) ont une bonne réserve en eau et ont donc été affectés d'un facteur sol de 1 ;

- les sols peu épais (lithosols, regosols), très pauvres (podzols) ou très filtrants (arenosols) sont considérés comme ayant une mauvaise réserve en eau notamment en été et sont affectés d'un facteur sol de 3 ;

- certains sols très pierreux (rankers, rendzines) ou calcaires (cambisols calcaires et calciques) peuvent avoir une mauvaise réserve en eau dans des conditions de pente forte (pentes supérieures à 50%) ou dans un secteur à faible pluviométrie et fort dessèchement comme en région méditerranéenne (zone biogéographique "méditerranée" de l'IFN). Ces sols ont été également affectés d'un facteur sol de 3 ;

- tous les autres types de sols (y compris les rankers, rendzines et cambisols calcaires et calciques dans des pentes inférieures à 50% et hors région méditerranéenne) sont considérés comme ayant une réserve en eau neutre et sont affectés d'un facteur sol de 2.

La carte des pentes a été calculée à partir du Modèle numérique de terrain de l'IGN au pas de 50m et a été utilisée de deux façons : les pentes supérieures à 50% ont été retenues comme pentes fortes pour le calcul du facteur sol, et pour les calculs d'exposition, les pentes inférieures à 30% ont été assimilées à des secteurs plats.

Le calcul d'exposition (également réalisé à partir du MNT de l'IGN) donne une valeur d'exposition même pour les pentes très faibles. Il a donc été choisi de reclasser tout ce qui était en pente inférieure à 30% dans la même catégorie que le plat.

Trois situations ont été retenues et affectées d'une note caractérisant leur influence sur la réserve en eau (facteur exposition) :

- les situations les plus ensoleillées (grand secteur sud entre sud-est et ouest) sont considérées comme plus favorables à l'assèchement et sont affectées d'un facteur exposition de 3 ;

- les situations les plus ombragées (grand secteur nord entre ouest-nord-ouest et est-nord-est) sont considérées comme plus favo-

rables à la conservation de l'eau et sont affectées d'un facteur exposition de 1 ;

- les situations intermédiaires (plat, secteurs entre ouest et ouest-nord-ouest et entre sud-est et est-nord-est) sont considérées comme neutres et affectées d'un facteur exposition de 2.

La note finale de capacité de réserve en eau potentielle des sols (facteur réserve en eau) en 4 classes est ensuite calculée par croisement entre les deux facteurs "sol" et "exposition" selon le tableau suivant :

		facteur «exposition»		
		1	2	3
facteur «sol»	1	1	1	1
	2	1	2	3
	3	3	3	4

### Calcul de l'indice brut de sensibilité potentielle de la végétation

Cet indice brut en cinq classes est obtenu par croisement entre les facteurs "végétation" et "réserve en eau" selon le tableau suivant (Cf. Carte 1) :

		facteur «réserve en eau»			
		1	2	3	4
facteur «végétation»	1	1	1	2	3
	2	1	2	3	3
	3	2	3	4	5
	4	3	4	5	5

### Modélisation de la sensibilité à l'horizon 2040

La sensibilité potentielle évaluée précédemment ne s'exprimera que là où les conditions météorologiques seront semblables à celles actuellement observées en région méditerranéenne. Pour cette partie de

l'étude, la contribution de Météo-France a été très importante pour modéliser l'évolution des conditions météorologiques et définir les zones où elles s'exprimeront.

### Evolution des conditions météorologiques

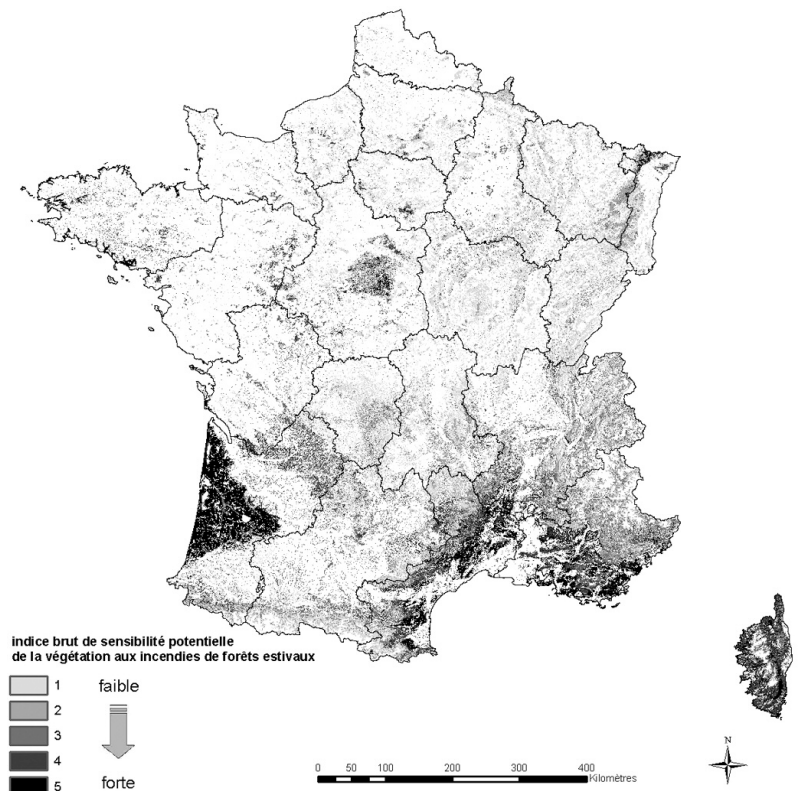
Pour caractériser l'influence des conditions météorologiques sur le risque d'incendie, il a été choisi de travailler sur l'Indice Forêt Météo (IFM). Cet indice est utilisé au quotidien par les services de Météo-France en appui aux autorités de Sécurité Civile, et est calculé à partir de données météo qu'il est possible de modéliser : température, humidité de l'air, pluies et vitesse du vent moyen. A l'échelle nationale, une étude de Météo-France a montré que les moyennes annuelle ou estivale de l'IFM sont fortement corrélées au nombre de feux et à la surface brûlée.

A partir d'analyses réalisées sur les données mesurées de la période de référence 1989-2008, la valeur caractérisant le mieux les conditions météorologiques méditerranéennes est un IFM moyen sur la saison estivale (du 15 mai au 15 octobre) supérieur à 14. Le critère retenu pour caractériser l'évolution du climat est la fréquence à laquelle l'indice IFM moyen estival dépasse cette valeur de 14.

Parmi trois hypothèses d'émission de gaz à effet de serre (A2, B1 et A1B) pour lesquelles Météo-France avait des données calculées à partir du modèle de climat ARPEGE-Climat, le scénario le plus défavorable (A2) a été retenu. Pour décrire l'horizon 2040, Météo-France a calculé, pour chaque année d'une période de 20 ans (2031-2050), l'IFM moyen estival, à partir de données de ce scénario corrigées par une méthode quantile-quantile au pas de temps quotidien sur des pixels de 8 km. Sur cette période, on calcule ensuite l'indice de fréquence des conditions météo semblables aux conditions méditerranéennes, basé sur la fréquence à laquelle l'indice IFM moyen estival dépasse le seuil de 14 :

- indice 1 : moins d'1 an sur 4 (inférieur à 5 fois en 20 ans) ;
- indice 2 : entre 1 an sur 4 et 1 an sur 2 (5 à 9 fois en 20 ans) ;
- indice 3 : plus d'1 an sur 2 (supérieur ou égal à 10 fois en 20 ans).

Cf. Cartes 2.



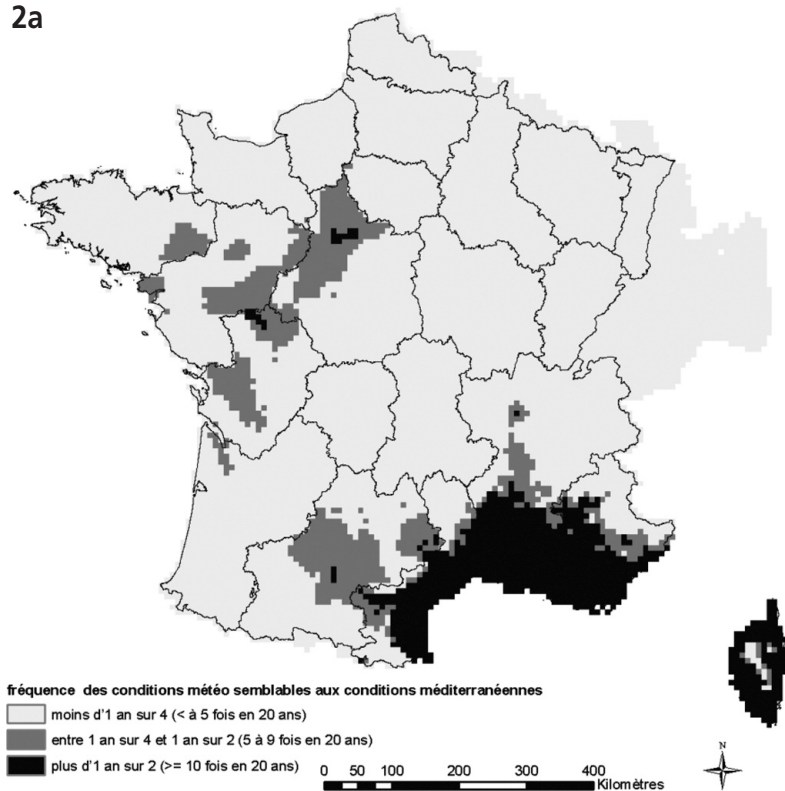
Carte 1 : Indice brut de sensibilité potentielle de la végétation aux incendies estivaux

### Calcul de l'indice de sensibilité pour la période considérée

L'indice de sensibilité pour la période considérée résulte du croisement de l'indice brut de sensibilité potentielle de la végétation avec l'indice de fréquence des conditions météo semblables aux conditions méditerranéennes, selon le tableau suivant :

		indice brut de sensibilité potentielle de la végétation		
		1 ou 2	3	4 ou 5
indice fréq. météo	1	1	1	2
	2	1	2	3
	3	2	3	4

2a



### Synthèse par massifs supérieurs à 100 ha

Au vu de la précision de la méthode utilisée, et pour un rendu au niveau du territoire national, c'est la seule unité d'analyse pertinente. Les calculs réalisés à l'échelle de pixels de 50 m (taille du pixel de la donnée la plus précise disponible à savoir le MNT de l'IGN, les données moins précises étant redécoupées à cette taille) ne sont que des étapes intermédiaires et ne doivent pas être interprétés à cette échelle, car la précision de certaines données (en particuliers types de peuplements de l'IFN, carte des sols et modèles météo) est bien inférieure à cette échelle.

En regroupant entre elles les surfaces en espaces naturels (tous types de peuplements confondus) distantes de moins de 100 m, puis en redécoupant certains regroupements trop vastes selon les régions forestières, l'IFN a produit une carte des massifs forestiers, dont on n'a conservé que les massifs d'une surface totale supérieure à 100 ha.

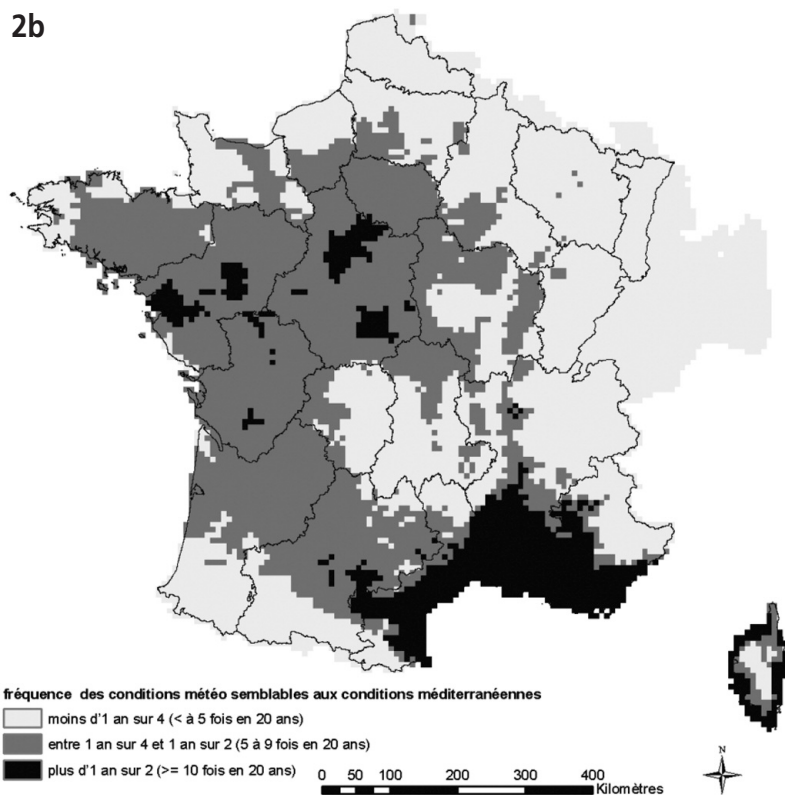
Pour chaque massif, on calcule la moyenne de l'indice de sensibilité pour la période considérée et on définit trois classes de sensibilité :

- classe 1 : massif peu sensible, indice moyen inférieur ou égal à 1,6 ;
- classe 2 : massif sensible, indice moyen entre 1,6 et 2,5 ;
- classe 3 : massif très sensible, indice moyen supérieur ou égal à 2,5.

A titre de comparaison, le même travail a été fait pour la période de référence 1989-2008 et pour l'horizon 2040.

Cf. Cartes 3.

2b



### Conclusion

Pour travailler à l'échelle nationale et au pas de temps demandé, cette étude a dû se baser sur un certain nombre d'hypothèses et d'approximations, souvent réductrices par rapport à une réalité beaucoup plus complexe. Ce travail demande à être approfondi

#### Cartes 2 :

Fréquence des conditions météo semblables aux conditions méditerranéennes

2a : pour la période de référence 1998-2008

2b : modélisation 2040

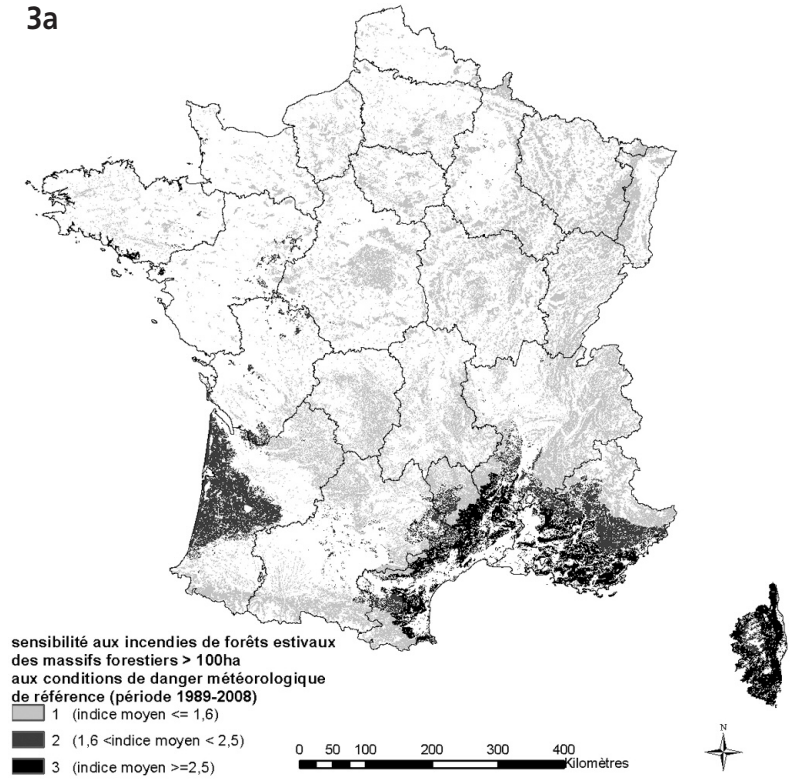
et affiné, notamment en améliorant les cartographies des sols et de la végétation, en précisant les modélisations météo et en caractérisant mieux la sensibilité des formations en place par une meilleure analyse des phénomènes d'incendie de forêts hors zone méditerranéenne.

On ne doit pas chercher à utiliser les résultats pour une analyse locale mais, à l'échelle nationale, ils donnent une bonne idée de ce que pourrait être la situation d'ici une trentaine d'années.

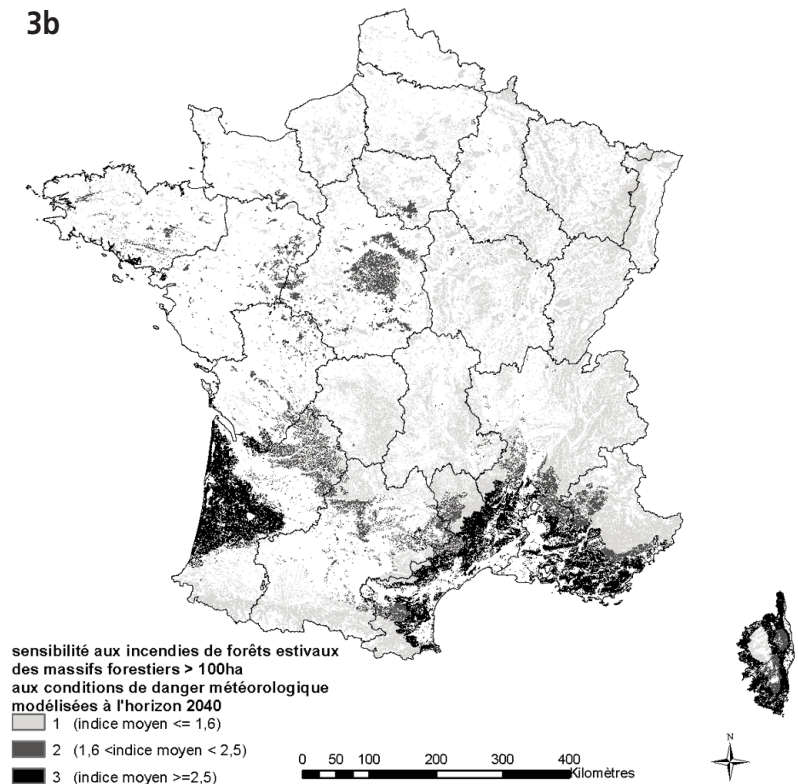
D'après cette étude on passerait d'environ 5 millions d'hectares de massifs sensibles ou très sensibles aux feux estivaux pour la période de référence 1989-2008 à environ 6,5 millions d'hectares de massifs sensibles à l'horizon 2040, soit 40% de la surface totale en espaces naturels non agricoles de la France métropolitaine.

Les résultats de cette étude ont été repris par les membres de la mission interministérielle sur l'extension des zones sensibles aux feux de forêts comme base de leur réflexion sur les politiques à venir. Le rapport de la mission daté de juillet 2010 est disponible sous le lien suivant : <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/104000494/index.shtml>

3a



3b



Cartes 3 :

Sensibilité aux incendies de forêts estivaux des massifs forestiers supérieurs à 100 ha aux conditions de danger météorologique :  
 3a : de référence sur la période 1989-2008  
 3b : modélisées à l'horizon 2040

Yvon DUCHÉ et Rémi SAVAZZI  
 Office national des forêts  
 Mission zonale DFCI  
 Mèl : remi.savazzi@onf.fr

Loïc COMMAGNAC  
 Inventaire forestier national

Emmanuel CLOPPET et Mathieu REGIMBEAU  
 Météo-France

## Résumé

---

L'étude présentée a été réalisée conjointement par l'ONF, l'IFN et Météo-France, sur commande de la mission interministérielle sur l'extension des zones sensibles aux feux de forêts, qui a rendu son rapport en juillet 2007.

Il s'est agi de modéliser la sensibilité de la végétation aux feux estivaux, sur l'ensemble du territoire français, en se basant sur un certain nombre d'hypothèses, par analogie avec ce que les experts connaissent des feux de l'arrière-pays méditerranéen. Les différents paramètres (végétation, réserve en eau des sols, météo) pris en compte, les hypothèses sur leur évolution et la façon de les combiner sont exposés, puis les cartes résultantes sont présentées pour la période de référence (1989-2008), ainsi que pour les modélisations aux horizons 2040 et 2060.

Pour terminer, les conclusions de la mission sont évoquées dans leurs grandes lignes en renvoyant au rapport pour plus de détails.

## Summary

---

### Attempt at mapping massifs likely to be susceptible to summer wildfire around 2040

The study presented here, carried out jointly by the ONF (French National Forestry Commission), the INF (National Forest Inventory) and *Météo-France* (national weather forecasting), was commissioned by the Joint Ministerial Committee on the Extension of Areas Sensitive to Forest Fires which submitted its report in July 2007.

The aim was to model the sensitivity of vegetation to summer wildfire throughout the whole of France, basing the work on a number of hypotheses built up by analogy with what experts know about forest fires in the Mediterranean hinterland. First, the different parameters (plant cover, reserves of groundwater, weather) taken into account, the hypotheses about their evolution and the way of combining them are presented; then the resulting maps are given for the reference period (1989-2008) as well as for the models for around 2040 and 2060.

Finally, the gist of the conclusions of the committee is given with reference to the report for more details.

## Riassunto

---

### Prova di cartografia dei massicci potenzialmente sensibili agli incendi estivi all'orizzonte 2040

Lo studio presentato è stato realizzato congiuntamente dall'ONF, l'IFN e Meteo France, su ordinazione della missione interministeriale sull'estensione delle zone sensibili ai fuochi di foreste, che ha reso il suo rapporto in luglio 2007. Si tratta di modellizzare la sensibilità della vegetazione ai fuochi estivi, sull'insieme del territorio francese, basandosi su un certo numero di ipotesi, in analogia con quel che gli esperti conoscono dei fuochi dell'entroterra mediterraneo. I diversi parametri (vegetazione, riserva in acqua dei suoli, meteo) presi in conto, le ipotesi sulla loro evoluzione e il modo di combinarle sono esposti, dopo le mappe risultanti sono presentate per il periodo di riferimento (1989-2008), come per le modellizzazioni agli orizzonti 2040-2060.

Per terminare, le conclusioni della missione saranno evocate nelle loro grandi linee rimandando al rapporto per più dettagli.