HAL open science

Estimation du risque météorologique d'incendies de forêts dans le Sud-Est de la France

B. Sol

To cite this version:

B. Sol. Estimation du risque météorologique d'incendies de forêts dans le Sud-Est de la France. Revue forestière française, 1990, 42 (S), pp.263-271. 10.4267/2042/26148 . hal-03425206

HAL Id: hal-03425206

https://hal.science/hal-03425206

Submitted on 10 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

B. SOL

ESTIMATION DU RISQUE MÉTÉOROLOGIQUE D'INCENDIES DE FORÊTS DANS LE SUD-EST DE LA FRANCE

L'un des éléments de base d'une prévention efficace des incendies de forêts en zone méditerranéenne est la prédiction de tout ce qui touche à leur éclosion et leur propagation. Prévenus des dangers, les moyens de lutte pourront intervenir plus rapidement et les feux prendront beaucoup moins d'ampleur. La pertinence et la précision d'un indice de risque météorologique sont donc parmi les outils de base de cette lutte. Lorsque la valeur de cet indice augmente, cela provoque la montée en puissance des moyens de lutte mis à titre préventif sur le terrain.

Cet article va donc décrire la méthode utilisée pour estimer les risques au jour le jour, ainsi que les domaines dans lesquels des progrès sont encore à faire.

Signalons toutefois que cet indice n'est qu'un élément de l'ensemble de l'assistance fournie par le Centre météorologique interrégional de Marignane à la Sécurité civile.

DIVERS ASPECTS DE L'ASSISTANCE MÉTÉOROLOGIQUE À LA LUTTE CONTRE LES INCENDIES

Formation des divers personnels impliqués dans la lutte aux phénomènes aérologiques (action du relief sur le vent), et au risque météorologique.

Suivi permanent de la situation météorologique : le CIRCOSC (Centre interrégional de Coordination des Opérations de Sécurité civile, chargé de la coordination des moyens de lutte) reste en relation toute l'année avec le Centre météorologique.

Antenne météorologique au CIRCOSC l'été : de la mi-juin à la fin du mois de septembre, un prévisionniste de Marignane est détaché au CIRCOSC tous les jours ; sa mission est la suivante :

— prévisions jusqu'à cinq jours pour permettre la venue à titre préventif de renforts des autres régions de France ;

— suivi permanent du temps à échelle très fine pour la gestion des moyens de lutte lorsqu'ils deviennent insuffisants et que des choix sont à faire ;

— prévisions des risques météorologiques au jour le jour, pour la mise en place des moyens à titre préventif ; c'est cet aspect que nous allons développer plus longuement ici.

RISQUE D'INCENDIE ET RISQUE MÉTÉOROLOGIQUE

Le risque général d'incendie qui dimensionne le système préventif résulte de trois éléments :

— éléments opérationnels (moyens disponibles, fatigue des personnels, circulation routière, ...) ;

— état du couvert végétal qui va influencer la virulence des feux ;

— conditions météorologiques (vent, température, humidité, couverture nuageuse, ...).

Actuellement, l'état du couvert végétal n'est pas connu directement. Il est approché par la réserve en eau du sol. Le risque météorologique inclut les deux derniers éléments.

PRINCIPES DU RISQUE MÉTÉOROLOGIQUE D'INCENDIE

L'élaboration des risques météorologiques d'incendie procède de trois principes :

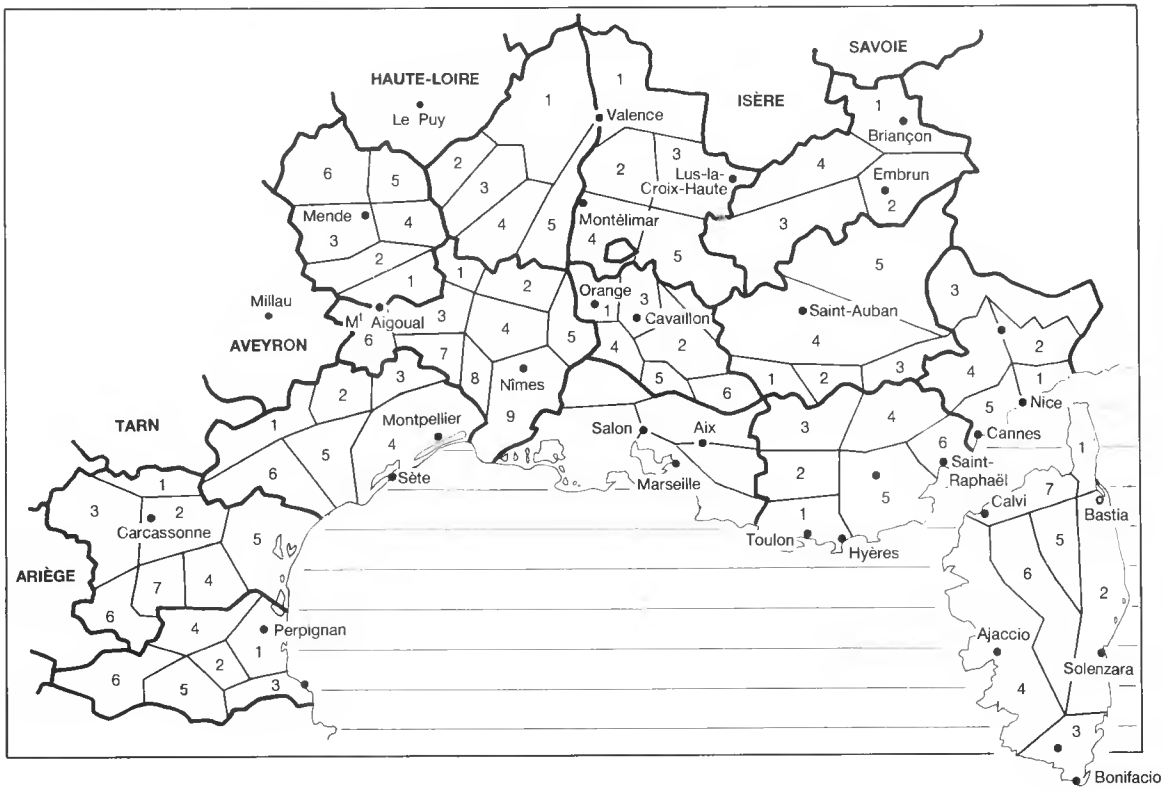
— risque mixte : éclosion et propagation ;

— risque en cinq classes : faible, habituel, habituel renforcé, sévère et très sévère ;

— découpage par zones : la région a été découpée en petites zones (de 4 à 9 par département) en fonction des massifs forestiers, des régimes de vent, des précipitations, du relief (voir carte ci-dessous).

On établit ainsi un risque pour chaque zone, et ce tous les soirs pour le lendemain ; et modification éventuelle le matin pour la journée en fonction des dernières prévisions.

ZONAGE DU SUD-EST DE LA FRANCE RÉALISÉ POUR L'ASSISTANCE À LA LUTTE CONTRE LES INCENDIES DE FORÊTS (CMIR DE MARIGNANE)



Trois étapes sont nécessaires pour obtenir le risque final de chaque zone :

— calcul de la réserve en eau du sol ;

— prévisions des paramètres météorologiques (vent, point de rosée de l'air, température, couverture nuageuse), par les centres départementaux de la Météorologie qui connaissent les particularités de leurs zones ;

— estimation d'un risque météorologique final par le météorologiste du CIRCOSC à partir d'indices calculés avec les paramètres prévus et de quelques éléments complémentaires plus subjectifs (importance des feux des jours précédents, pluies récentes, état de la strate herbacée, ...).

La réserve en eau du sol

La réserve en eau du sol est un réservoir fictif saturé à 150 millimètres d'eau, rempli par les précipitations et vidé par l'évapotranspiration estimée des plantes.

Bien que peu précise et peut-être dépassée, la formule de Thornthwaite est utilisée ; en effet, ne nécessitant que des mesures de température moyenne, elle est la seule applicable sur toutes les zones de la région, pour obtenir une évapotranspiration potentielle.

L'évapotranspiration réelle est ensuite calculée au prorata de la réserve pour assurer une décroissance exponentielle [13] (1).

Le bilan hydrique du sol nécessite un suivi permanent des précipitations et températures à l'aide de plus de 200 postes dans le Sud-Est (stations synoptiques, postes climatologiques, et stations automatiques).

Cette réserve n'est qu'un indice plus ou moins représentatif du stress hydrique de la végétation et n'a de signification que pendant l'été (de la mi-juin aux premières précipitations de la fin de l'été).

Prévisions des paramètres météorologiques

• *Le vent* : il s'agit là du facteur essentiel. Sa prévision doit être effectuée avec une grande précision spatiale et temporelle. Les météorologistes utilisent, outre leur expérience personnelle indispensable, les sorties de modèles numériques (résolution de 30 kilomètres), ainsi que leurs adaptations statistiques locales.

• *Les autres paramètres* sont moins importants, mais ils permettent d'affiner le risque : température de l'air, humidité, couverture nuageuse.

Méthodes d'estimation des risques météorologiques

La méthode utilisée jusqu'en 1987 de façon opérationnelle était un tableau à deux entrées, vent et réserve en eau du sol [13]. Plus la réserve est basse et plus le vent est fort, plus le risque augmente, sans tenir compte d'éléments complémentaires. Seule une correction manuelle était faite pour les pluies récentes. Que souffle le mistral ou un vent d'est humide, les risques donnés étaient les mêmes, à vitesse de vent égale. Les risques étaient de plus en moyenne sous-estimés en juin (réserve encore élevée), et surestimés en septembre, mois où la rosée est fréquente, l'air plus humide et les températures plus basses.

Deux chercheurs proposaient de nouvelles formulations de cet indice de risque :

— J.-C. Drouet [5] à [8] propose une formule d'estimation de la vitesse de propagation d'un feu (fonction de la réserve, du vent et de la température), et un abaque pour connaître la teneur en eau des végétaux morts (fonction du point de rosée de l'atmosphère et de la température de ces végétaux), et donc de déduire un risque d'éclosion en fonction du vent ;

— P. Carrega propose quant à lui une formule simple [2] de risque météorologique (tenant compte de la vitesse du vent, de la réserve en eau du sol et de l'humidité relative de l'air) et une plus complète [3] en introduisant un deuxième réservoir superficiel pour mieux représenter l'état de la litière.

(1) Les numéros entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

L'intérêt des formulations proposées par ces deux chercheurs est qu'elles introduisent l'humidité de l'air et qu'elles sont *a priori* valables même en dehors de la période estivale, notamment pour les feux d'hiver et de printemps.

C'est pourquoi le Bureau d'Études et de Développement du Centre météorologique de Marignane a effectué une étude comparative des formulations proposées.

Cette comparaison a amené à tester de nouveaux indices. Et c'est ainsi qu'un « risque numérique météorologique » a été mis au point [16].

MISE AU POINT D'UN INDICE DE RISQUE

La grande difficulté dans ce domaine est la vérification des formules d'indices, pour pouvoir retenir la meilleure. La vérification ne peut se faire qu'*a posteriori*, la mise à feu systématique de parcelles pour étude pendant l'été étant impensable évidemment. Il existe un fichier (Prométhée) contenant tous les feux de forêts de la région Sud-Est depuis 1973. Le fichier renseigne bien sur les surfaces brûlées, les moyens de lutte... Mais comment en déduire la valeur de l'indice correspondant à la virulence du feu ? La lutte et le dispositif préventif influent en effet beaucoup sur les surfaces brûlées.

La méthode de **validation** des indices a été la suivante :

— Si l'on a observé un feu de plus de 1 hectare, compte tenu du dispositif préventif en général mis en place pendant l'été, c'est que les conditions étaient au moins sévères.

— Si l'on observe un feu de plus de 10 hectares, les conditions doivent être très sévères (secours débordés).

— Si l'on n'a pas observé de feu, c'est qu'*a priori* les risques ne devaient pas être sévères, étant donné le nombre de départs de feu observés habituellement chaque jour dans chaque département.

— Période retenue : 15 juin au 15 septembre, sur trois étés.

— Six départements : Alpes-Maritimes, Bouches-du-Rhône, Gard, Hérault, Var et Vaucluse.

— Travail à l'échelle du département. Il n'était pas possible de descendre à l'échelle d'une zone, les feux n'étant pas en nombre suffisamment significatif, et nous ne disposons pas de mesures météorologiques complètes pour chaque zone.

On remarque que les journées avec des feux de moins d'un hectare ne sont pas retenues. C'est que l'on ne peut savoir *a posteriori* si les feux étaient peu virulents, ou bien si la catastrophe a été évitée grâce à de rapides interventions.

Le risque a été recalculé avec toutes les observations météorologiques disponibles dans chaque département. Le maximum de l'indice sur toutes les observations à toutes les heures de la journée a été retenu comme indice de risque final.

Photo B. SOL

Station automatique de mesures météorologiques. L'équipement des départements concernés par les feux de forêts est en cours. Ces stations permettent une meilleure connaissance des précipitations et des températures pour les calculs de réserve en eau, ainsi qu'un suivi permanent en temps réel notamment du vent.

Puis ont été comptabilisées les fausses alertes et les alertes manquées :

— fausse alerte : risque calculé sévère ou très sévère, et pas de feu noté dans le fichier ;

— alerte manquée : risque calculé faible ou habituel, et feu de plus d'un hectare, ou risque calculé autre que très sévère et feu de plus de 10 hectares (alerte manquée grave).

Ne disposant pas de coût économique respectif des cas de fausse alerte ou d'alerte manquée, nous avons sélectionné très subjectivement l'indice dont les performances semblaient les meilleures. Ce qui nous a amené à retenir la formulation décrite dans le tableau : c'est celle qui présentait le moins d'alertes manquées, sans pour autant avoir trop de fausses alertes.

TABLEAU SYNOPTIQUE DE CALCUL DU RISQUE NUMÉRIQUE MÉTÉOROLOGIQUE D'INCENDIE DE FORÊTS

Fausse humidité relative :
FHR = 100 * Esat (Td)/Esat (Tsol)

Coefficient Réserve en eau du sol
Cres = 3 + 2 * Tgh((Rés − 50)/25)

Coefficient Vent
Cvent = 3 + 3 * Tgh((45 − V)/50)

Risque = 25 − (FHR * Cres * Cvent)/15 + A

Coefficients de normalisation d'échelle

Valeurs limites : 0 et 20

Notations :

Rés	: Réserve en eau du sol (en mm)
V	: Vitesse du vent en km/h
T	: Température de l'air en °C
Td	: Température du point de rosée en °C
Tsol	: Température au sol (litière) en °C
Exp	: Exponentielle
Tgh	: Tangente hyperbolique
Esat(t)	: Tension de vapeur saturante à la température t, en hectopascals

A coefficient correcteur lié à la Vitesse de propagation (VP) :
VP ≤ 600 m/h : A = − 3
VP ≥ 1 000 m/h : A = + 2
sinon A = 0

VP = 180 * Exp(T * 1 714) * Tgh((100 − Rés)/150) *
* (1 + 2 * (0,8483 + Tgh(V/30 − 1,25))

PRINCIPES RETENUS POUR L'EXPLOITATION DU RISQUE NUMÉRIQUE

L'indice de risque obtenu est mixte propagation/éclosion.

Son but n'est pas d'expliquer de façon précise le départ ou la propagation de chaque incendie, mais de donner « l'ambiance » de la situation.

L'échelle de valeurs est la suivante :

— inférieur à 10 : risque faible ;

— de 10 à 15 : risque sévère ;

— de 15 à 20 : risque très sévère.

Les habitudes ayant été prises, toute nouvelle formulation devra dorénavant respecter cette gamme de valeur.

Le risque officiel reste en 5 classes.

UTILISATION OPÉRATIONNELLE

Elle a commencé dès l'été 1988 et s'est bien sûr prolongée en 1989. Le météorologiste du CIRCOSC, une fois les prévisions météorologiques établies, choisit le risque (en 5 classes) pour chaque zone en tenant compte des valeurs de cet indice numérique, en complément de « l'ancienne méthode ».

Les organismes chargés de la lutte disposent sur minitel des valeurs prévues, et aussi des valeurs de l'indice calculées avec les observations d'une centaine de stations de la région. Cette diffusion en temps réel permet de suivre à échelle fine l'évolution de la situation tout au long de la journée, et de déplacer éventuellement des moyens préventifs.

L'impression générale est que l'indice tient bien compte de l'humidité de l'air ; il permet de plus d'avoir une bonne répartition géographique du risque sur le département. Complément d'information au risque officiel en cinq classes, la plupart des départements le jugent très utile pour la gestion des moyens préventifs.

L'indice prend parfois des valeurs élevées par vent faible, à cause de températures hautes et de points de rosée bas : ces jours-là, le risque « très sévère » donné par l'indice est surtout un risque d'éclosion. La vitesse de propagation est alors très utile pour juger des parts respectives de la propagation et de l'éclosion dans le risque final.

L'introduction de ce risque numérique est une amélioration importante de l'assistance de la Météorologie à la lutte contre les incendies de forêts.

Mais il y a encore des progrès à faire dans ce domaine. Quelques points sur lesquels nous devrons travailler dans les prochaines années vont maintenant être passés en revue.

LIMITATIONS, DÉVELOPPEMENTS

Température de litière
(ou température au sol en plein soleil)

Ce paramètre entre dans le calcul du risque numérique, en vue d'approcher la part de risque liée à l'éclosion. Il n'est pas une mesure météorologique standardisée. Il a donc fallu mieux le connaître. Une série de mesures à Marignane a servi à mettre au point une estimation statistique (régression linéaire sur la température de l'air, la vitesse du vent, le point de rosée et la nébulosité) de cette température de litière l'été, aux heures les plus chaudes de la journée [17].

Cette formulation statistique est utilisée actuellement.

Pendant les étés 1988 et 1989, l'INRA - Station de Sylviculture d'Avignon a effectué dans le Var diverses mesures sur les végétaux morts et vivants, et notamment une mesure de température de litière en terrain dégagé. Ces mesures ont permis de valider un modèle physique de calcul de cette température [17]. Ce modèle pourrait bientôt remplacer l'estimation statistique. Son avantage est une erreur d'estimation plus faible que la formulation statistique, et surtout il est applicable quelle que soit l'heure (jour et nuit). Mais il est plus délicat à mettre en œuvre (estimation d'un rayonnement global).

Végétaux vivants

C'est l'état de ces végétaux (herbes, arbustes et arbres) qui détermine la virulence des feux.

Plusieurs voies sont donc envisageables dans ce domaine pour ne plus être obligé d'utiliser un bilan hydrique :

- *Mesures in situ* : c'est la voie choisie par l'INRA avec des mesures de potentiel de sève, d'inflammabilité et de durée de combustion sur quelques espèces en Provence cristalline (Arbousier et Bruyère). Ces mesures semblent prometteuses [12], mais difficiles à étendre à l'ensemble de la région, de façon opérationnelle.
- *Modélisation* : malheureusement aucun modèle n'existe encore pour déceler à partir de quelle quantité de chaleur ou de tout autre paramètre, les différentes espèces végétales se trouvent en « stress hydrique » et deviennent très inflammables. Ni non plus pour expliquer le comportement après les pluies de fin août ou septembre, qui, bien que faibles, semblent, lorsqu'elles se produisent, provoquer parfois une deuxième montée de sève.
- *Télédétection* : c'est dans ce domaine que résident la plupart de nos espoirs pour améliorer cette connaissance indispensable des végétaux vivants. Le calcul d'un indice de végétation à partir de photographies dans divers canaux (satellite ou avion) permettrait de déceler éventuellement un changement de comportement des végétaux. Les résultats d'une première étude du

Bureau de Recherches géologiques et minières [10] semblent montrer que les fluctuations de l'indice de végétation ne sont pas assez caractéristiques pour faire apparaître de façon évidente le début des grands incendies potentiels.

Mais nous ne sommes qu'au tout début des recherches dans ce domaine.

Il est de plus possible qu'un traitement adéquat des images satellitaires prises pendant l'hiver puisse faire apparaître nettement les périodes à fort risque (feux d'hiver en zone de forêt à feuilles caduques) ; l'humidité du sol est alors peut-être accessible aux capteurs des satellites.

Il y a donc tout un domaine de recherche à peine effleuré à notre connaissance.

La réserve en eau du sol devra malheureusement être utilisée pendant encore quelques années.

Strate herbacée

Cette strate de végétation a un comportement mixte : verte en période de pleine croissance (printemps), elle étouffe les départs de feu. Mûrissant au cours de l'été, elle se comporte alors comme un végétal mort. Il se produit aussi parfois des repousses en fin d'été. La connaissance de l'état de cette strate permet de mieux cerner les risques d'incendie.

L'indice de végétation des champs d'herbe varie rapidement lors de la maturité. N'est-il donc pas possible d'arriver à connaître cet état par télédétection ?

Pluies récentes/rosées matinales

Elles ne sont pas prises en compte dans l'indice numérique. Actuellement le météorologiste diminue arbitrairement les risques sur les zones ayant reçu des précipitations, pendant un nombre de jours dépendant de la hauteur d'eau tombée, et au maximum pendant trois jours.

P. Carrega [3] propose un réservoir superficiel de 15 millimètres. Mais la difficulté est d'arriver à suivre en continu ce réservoir de façon précise (influence prépondérante du vent) et d'estimer pour toutes les zones de la région les précipitations « occultes » (rosée), qui peuvent certains jours avoir une influence importante sur les départs de feu.

Hiver/printemps

Les surfaces brûlées au cours de cette période de l'année ont une part relative de plus en plus importante, compte tenu de l'efficacité du système mis en place l'été.

L'indice numérique semble, au vu des tests faits sur ces feux d'hiver, pouvoir être appliqué en dehors de l'été. Dès que la végétation est passée au stade de repos hivernal (dormance), et avant la montée de sève du printemps (débourrement), on peut considérer que son état correspond à peu près à celui qu'elle a pendant l'été lorsque la réserve en eau du sol se situe aux environs de 45 millimètres (valeur utilisée par J.-C. Drouet pour calculer une vitesse de propagation sur feu d'hiver).

Forcer cette valeur dans le calcul de l'indice permet de trouver des valeurs « sévère » et « très sévère » l'hiver et au printemps, en relation avec les feux observés. Un dispositif préventif est donc maintenant parfois mis en place l'hiver.

Validation des indices de risque

C'est le plus gros obstacle sur lequel nous avons buté lors de la mise au point du risque numérique.

Comment connaître le risque qu'il aurait fallu prévoir ?

Le Bureau d'Études de Marignane avoue manquer d'idées pour progresser dans ce domaine !

Poste de travail du météorologiste

L'évolution des moyens mis à la disposition du prévisionniste du CIRCOSC fait aussi partie de l'amélioration de l'assistance estivale.

Cette évolution devrait permettre :

— une amélioration de la qualité des prévisions, par l'ajout de fonctions supplémentaires (accès direct aux sorties de modèles numériques, ...) ;

— un meilleur suivi en temps réel de l'évolution de la situation, grâce notamment au réseau de stations automatiques ;

— un meilleur suivi climatologique, avec des références au passé beaucoup plus faciles ;

— une aide à la décision par un système expert pour déterminer le risque météorologique final pour chaque zone ;

— un traitement en temps réel des images satellitaires (si les études aboutissent).

Une « station de travail » est en cours de définition ; les premières fonctions devraient être opérationnelles pour l'été 1991.

Séparation éclosion/propagation

Les organismes chargés de la lutte semblent ne plus se contenter d'un indice de risque global. Certains départements aimeraient pouvoir encore mieux séparer le risque de propagation du risque d'éclosion, pour une stratégie préventive plus adaptée.

Pour la propagation, une formule existe (déjà utilisée dans le risque numérique) ; en ce qui concerne le risque d'éclosion il faudrait travailler sur les paramètres de la litière (température et teneur en eau), en relation avec le nombre de départs de feux recensés.

Suivi temps réel

Une notion est apparue depuis quelques années : le suivi temps réel de la situation. Il est pratiqué depuis de nombreuses années par le CODIS (Centre opérationnel d'Incendie et de Secours) du Var qui reçoit tous les quarts d'heure en cas de vent fort, les observations du réseau de stations automatiques.

Ce suivi permet de rattraper une erreur de prévisions, de redéployer des moyens, ...

Il ne nécessite qu'un simple micro-ordinateur qui interroge des stations automatiques et calcule en chaque point les risques météorologiques, vitesse de propagation, ... Ce n'est donc qu'une question de moyens financiers, pour équiper tous les départements d'un nombre suffisant de mesures permanentes (de l'ordre d'une dizaine de stations par département, en moyenne).

Qualité des prévisions météorologiques

Tout indice prévu de risque météorologique ne vaudra, aussi perfectionné soit-il, jamais plus que ce que valent les prévisions météorologiques.

C'est en pensant aux feux de forêts que le Bureau d'Études et de Développement de Marignane a mis au point une prévision de vent par adaptation statistique de sortie de modèle.

Les prévisions d'humidité (ou de point de rosée) sont encore très mal maîtrisées, ...

Les systèmes experts d'aide à la prévision sont une voie aussi abordée depuis peu à Marignane.

Mais ce domaine ne concerne que la météorologie et fait partie de notre quotidien.

CONCLUSIONS

Un indice de risque plus pertinent, tenant compte de l'humidité de l'air et de la couverture nuageuse, applicable aussi l'hiver, a été récemment mis au point. Il permet de mieux définir les conditions dans lesquelles le dispositif préventif doit être mis en place chaque jour dans le Sud-Est de la France.

Les moyens sont maintenant gérés au plus juste.

Il est évident que l'utilité d'un tel indice n'est pas pour les jours « catastrophes » tels que ceux que nous avons connus en 1989. Les 56 000 hectares de cette année-là ont été brûlés pour 70 % en quatre jours. Ces jours-là, la seule prévision de vent a suffi aux sapeurs-pompiers : le dispositif préventif maximal était en place. Le vent avait été prévu cinq jours à l'avance.

L'utilité est surtout sensible les jours de conditions moyennes : un indice efficace permet d'économiser dans la mise en place du système préventif ; ou bien de le renforcer localement, ce qui peut éviter des départs de feux difficiles à maîtriser.

Les progrès qui restent encore à faire dans ce domaine de la prévision des risques météorologiques d'incendie concernent surtout l'état de la végétation vivante. De tous les domaines de la recherche signalés ci-dessus, il est celui qui nous donne le moins d'espoir de progrès rapide dans les prochaines années.

Néanmoins, si l'on excepte le suivi temps réel qui devrait être généralisé et le perfectionnement des prévisions météorologiques, toutes les améliorations à venir ne devraient dorénavant que peu influer sur les surfaces brûlées chaque année.

B. SOL
Ingénieur de la Météorologie
Bureau d'Études et Développement du
CENTRE MÉTÉOROLOGIQUE INTERRÉGIONAL DE MARIGNANE
BP N° 2 — Aéroport
13727 MARIGNANE CÉDEX

BIBLIOGRAPHIE

[1] BARESCUT (J.-C.). — La Prévision du risque de feu de forêt. — *La Météorologie*, VIe série, n° 26, septembre 1981.

[2] CARREGA (P.). — Une formule simple pour l'estimation du risque d'incendies de forêts dans les Alpes-Maritimes. — *Bulletin de la Commission météorologique départementale des Alpes-Maritimes*, 1984-1985.

[3] CARREGA (P.). — Une formule améliorée pour l'estimation des risques d'incendies de forêts. — *Revue d'Analyse spatiale quantitative*, n° 24, 1987.

[4] CHOISNEL (E.). — Le Bilan d'énergie et le bilan hydrique du sol. — *La Météorologie*, VIe série, n° 11, décembre 1977.

[5] DROUET (J.-C.). — Étude théorique de la lutte contre les feux de forêt. — Thèse d'État, Université de Provence, 1972.

[6] DROUET (J.-C.). — Prévision des risques et modes de propagation. — *Revue technique du feu*, juin 1980.

[7] DROUET (J.-C.). — In : Revue *Lutter* (Sapeurs-pompiers des Bouches-du-Rhône), 1982, 1983, 1984 : un article chaque année faisant le point de l'état d'avancement des études.

[8] DROUET (J.-C.), BLIN (P.). — La Prévision des incendies de forêts. — *Revue RGS*, n° 5, juin/juillet 1981.

[9] DROUET (J.-C.), SOL (B.). — Étude de nouveaux indices de risques météorologiques d'incendies de forêts en zone méditerranéenne. — Avril 1988 (auprès des auteurs).

[10] GAUDET (E.). — Des paramètres biologiques pour améliorer l'indice de risque « feux de forêts ». — Rapport de stage BTSA (Document interne INRA 1/89).

[11] GOUYET (J.-F.), KING (C.), MALON (J.-F.). — Apport des données satellitaires NOAA-AVHRR dans le suivi de la végétation forestière. — Bureau de Recherches géologiques et minières, septembre 1989 (BRGM 89DT020TED).

[12] LAYEC (S.). — Des paramètres susceptibles d'améliorer l'indice de risques d'incendies de forêts. — Avignon : INRA-Station de Sylviculture méditerranéenne, octobre 1989 (Mémoire du Diplôme d'Agronomie approfondie).

[13] ORIEUX (A.). — Conditions météorologiques et incendies de forêt en région méditerranéenne. — *Note technique du Service météorologique métropolitain*, section XXIV, pièce n° 8, mai 1979.

[14] PERRIN DE BRICHAMBAUT (J.). — Évaluation du gisement solaire. — *La Météorologie*, VIe série, n° 5, 1976.

[15] RAYNAL (N.). — Agrométéorologie. — Notes de cours de l'École nationale de la Météorologie, n° 13.

[16] SOL (B.). — Risque numérique météorologique d'incendies de forêts en zone méditerranéenne : dépouillement du test de l'été 1988 et propositions d'améliorations. — Note de travail SMIR/SE n° 1, mai 1989 (Édition 1989 refondue et complétée de la référence n° 9).

[17] SOL (B.). — Température d'une litière en terrain dégagé : modélisation physique et comparaison avec les mesures. — Note de travail SMIR/SE, n° 2, août 1989.

[18] TRABAUD (L.). — Le Comportement du feu dans les incendies de forêts. — *Revue technique du feu*, n° 103, décembre 1970.

[19] VAN WAGNER (C.-E.). — Élaboration et structure de la méthode canadienne de l'indice forêt-météo. — Ottawa, 1987 (Rapport technique de Foresterie 35F).