

# Recherche technique et scientifique en feux de forêts au sein du CEREN

(Centre d'Essais et de Recherche de l'ENTENTE)

par Claude PICARD\*

## Essais de deux types d'équipement pour hélicoptères bombardiers d'eau : Kit Conair et Bambi Bucket

Ces expériences ont pour principal objectif d'analyser et de comparer les empreintes, sur sol neutre non incendié, de largages d'hélicoptères équipés l'un d'un réservoir Kit Conair et l'autre d'un réservoir Bambi Bucket.

Le second objectif de ces expériences est d'étudier une nouvelle méthode d'analyse des empreintes au sol de largage d'engins bombardiers d'eau. Cette méthode repose sur l'étude de la signature infrarouge des largages sur le sol, à l'aide d'une caméra thermique.

### Protocole expérimental

La première méthode consiste à quadriller le sol destiné à recevoir le produit de largage par un certain nombre de réservoirs qui seront pesés après chaque opération afin de définir la

quantité d'eau en  $1/m^2$  en différents points de l'empreinte.

La deuxième méthode consiste à recueillir la signature thermique de l'empreinte par l'intermédiaire d'une caméra infrarouge, afin d'en déterminer les dimensions.

Les résultats de ces deux approches seront utilisés de façon complémentaire.

L'imagerie thermique de l'empreinte au sol d'un largage rend compte des différences de température en chaque point de cette zone et permet donc de décrire thermiquement cette empreinte. En effet, lors du largage, il se produit entre l'eau relativement froide (si elle est puisée dans un cours d'eau) et le sol relativement chaud (sol chauffé lors des périodes estivales) un échange thermique qui aboutit à un refroidissement du sol. En théorie, ce refroidissement est d'autant plus important que la quantité d'eau parvenue en un point du sol est grande.

L'image thermique de l'empreinte permet donc d'avoir un gradient de température de la zone de largage, répartition en température qui dépend de la répartition des concentrations en

eau en  $1/m^2$  sur la zone de largage.

On utilise une caméra infrarouge Inframetrics 760. Cet appareillage est embarqué dans un troisième hélicoptère à bord duquel seront prises les images thermiques. Au sol, une planche en bois de  $1 m^2$  environ peinte en noir et un pneu sont disposés aux extrémités des axes principaux de la croix. Ces objets serviront de repères thermiques : chauffés par le soleil, ces corps permettront de localiser thermiquement les quadrillages.

### Constatations au sol

Tout d'abord les conditions climatiques ont été relevées pour chaque essai. Dans l'ensemble, elles ont peu varié d'un largage à un autre. Les expériences sont donc très comparables : vent faible déportant légèrement le liquide sur la droite des aéronefs, températures autour de 26 à 28°C, humidité relative de 58 à 46%.

Dans l'ensemble, les flacons sont restés en place pendant les largages, même si l'on compte quelques exceptions. Les flacons contenaient souvent de la terre ou des débris végétaux, ce qui explique certaines masses d'eau aberrantes parfois obtenues. Ces points ont été éliminés pour les représentations graphiques de répartition d'eau au sol. La répartition de l'eau, exprimée en litre par mètre carré de surface au sol, est représentée selon

\* Directeur du CEREN  
C.E.R.E.N. - Entente Interdépartementale  
- Sécurité Civile Valabre 13120 Gardanne  
Tél : (33) 42.94.95.10  
Fax : (33) 42.94.95.27

les axes de prélèvements. On peut ainsi constater que ces courbes ont toutes une allure comparable de type courbe de Gauss.

Les concentrations maximales d'eau au centre du largage ont été obtenues pour le Kit Conair (16 l/m<sup>2</sup> en moyenne) alors que pour le Bambi Bucket, elles ont de 7 l/m<sup>2</sup>. La taille et la forme des surfaces affectées par les largages sont différentes. Le Bambi Bucket produit une trace longue (jusqu'à 65 m) et plutôt étroite (maximum de 7 m), alors que le Kit Conair génère une trace plus massive avec une longueur maximale de 45 m et une largeur pouvant aller jusqu'à 12 m.

La difficulté majeure dans ce type d'expérience concerne la précision du largage. Dans de nombreux cas, les largages ont été décalés vers la droite. L'altitude et la vitesse du largage, ainsi que les dimensions d'après la trace visible depuis le sol ont été relevées pour chaque largage. Le Bambi Bucket permet de réaliser des largages plus près du sol (5 à 10 m) que le Kit Conair. Le temps de rotation (correspondant à la vitesse de l'aéronef et au temps de remplissage) est plus court pour le Bambi Bucket que le Kit Conair.

## Constatations thermiques

Nous observons des zones de couleurs différentes correspondant à des zones de températures différentes. Lors du largage, la température au sol est modifiée par le liquide en fonction de la quantité reçue. Les zones de température correspondent donc, en théorie, à des zones de concentrations différentes. Dans la pratique, la température apparente du sol est plus ou moins proportionnelle à la concentration jusqu'à un certain seuil où la température se stabilise alors que la concentration augmente. C'est ce que l'on observe dans notre cas puisque, au centre du largage, la température est constante sur une large zone alors que le taux d'application varie beaucoup (rapport de 1 à 10). On atteint ce seuil à 2 l/m<sup>2</sup> au cours de ces expériences.

La caméra thermique nous permet en outre de déterminer la forme globale. Ainsi nous pouvons évaluer la zone exacte de l'impact, de façon plus précise qu'à l'oeil nu, car les zones peu mouillées ne sont pas toujours faciles à distinguer. Nous obtenons donc, après analyse des images infrarouges,

une surface d'impact supérieure à celle mesurée au sol.

La zone correspondant à au moins 2 l/m<sup>2</sup> ou zone efficace est plus importante dans le cas du Bambi Bucket que celui du Kit Conair. Cependant, cette zone n'est pas homogène dans le cas du Bambi Bucket.

## Etude et réalisation d'un système lanceur d'eau par hélicoptère

### L'existant

A l'heure actuelle, l'efficacité d'un hélicoptère bombardier d'eau sur les feux de forêts, n'est plus à démontrer. Sa rapidité de mise en œuvre, ses multiples possibilités de ravitaillement, son autonomie en font un élément indispensable dans la panoplie des "engins" de lutte.

Plus de 80% de ces hélicoptères sont équipés de réservoirs d'une capacité de 800 litres d'eau, pour le restant ce sont des seaux (sous élingues). En opération, la quantité d'eau stockée est entièrement larguée sur les foyers. Dans bien des cas une faible partie de cette eau suffirait, par exemple : traitement de lisières, foyers isolés dans des configurations de terrain difficile d'accès ... Pourtant le "rendement opérationnel" pourrait être amélioré en optimisant le volume d'eau, mise en œuvre sur les feux, par l'adjonction d'une lance sur ces hélicoptères.

### Chronologie du développement du système

#### Phase I :

Etude de faisabilité technique.

#### Phase II :

Montage du système sur maquette avec confection d'une lance en alliage léger ;

Essais au sol - Affinage de la lance ; Parallèlement élaboration des plans et dépôt du dossier auprès du bureau Véritas qui transmet à la Direction Générale de l'Aviation Civile.

#### Phase III :

Montage du système sur un hélicoptère SA 315 LAMA ;

Essais en vol, vraisemblablement série d'essais au CEV d'Istres ;

Evaluation du système sur feux réels (écobuages) ;

Affinage du système ;

Etude et montage du dispositif de remplissage des réservoirs d'eau en autonomie.

#### Phase IV :

Essais du prototype durant la campagne feux ;

Etude et réalisation d'une lance en fibre de carbone.

## Les agents retardants et l'optimisation de l'efficacité

L'utilisation des additifs chimiques de type retardant se systématisé depuis quelques années. Les quantités employées se comptent en plusieurs milliers de tonnes par an, ce qui représente un marché économique non négligeable.

Cette réalité au sein du contexte administratif débouche sur l'obligation de mettre en œuvre des appels d'offres internationaux pour la fourniture des dits produits. Il en résulte alors la double optique de se concentrer d'une part sur les problèmes de coûts directs et d'autre part sur les problèmes liés au choix.

En 1931, l'United States Forest Service commence l'étude de l'efficacité des agents chimiques retardateurs de feu et teste le bicarbonate de potassium, puis le chlorure de calcium en 1932. De 1933 à 1939, limon, ciment, talc et phosphate monoammonique sont testés par voie aérienne en Californie et dans le Montana. Se succèdent jusqu'en 1960, des essais sur des mélanges borate-calcium, argile bentonite... En 1960, essai en Californie du phosphate diammonique qui donne d'excellents résultats et mise au point des premiers retardants à court terme à base de phosphate et sulfate d'ammonium.

Côté Français, il faut attendre 1962 pour voir se concrétiser les premiers essais retardants sur de la bentonite, classée alors en retardant moyen terme. Les tests sur produits base de phosphate mono et diammonique ne furent pas envisagés à l'époque en raison d'un coût très élevé et de problèmes de corrosion alors non résolus.

C'est en 1963 qu'est créée la première station de stockage retardant sur l'aérodrome de Marignane. Jusqu'aux années 1970, les seuls retardants utilisés par les aéronefs sont la bentonite et l'inigral avec adjonction de colorant à base de bleu de méthylène ou de fluorescéine. En 1970, l'Entente Interdépartementale décide d'expérimenter d'autres retardants à longue efficacité constitués de polyphosphates.

Après une période de 1975 à 1980, durant laquelle l'utilisation d'un mélange sec de phosphate diammo-

nique pulvérulent épaisse par de la gomme présente des difficultés de mise en œuvre, la décision d'adopter des produits retardants en phase liquide est prise.

L'utilisation massive des additifs, reconnus pour leur efficacité opérationnelle, est entrevue véritablement autour de 1985. Ce sont les contraintes économiques et la législation sur les marchés publics qui ont conduit les décideurs à demander des investigations scientifiques préalables aux divers choix réalisés en commissions.

Dès 1990, tirant le fruit de l'expérience qui est la sienne en matière de chimie associée aux agents retardants et moussants, le CEREN et le CIR-COSC développent un cahier des clauses techniques particulières, applicables à la fourniture d'additifs moussants. Ce document comporte une série de tests protocolés relatifs à des aspects physico-chimiques, notamment : détermination du pH, viscosité (en fonction de divers paramètres), essais de pompabilité, tension superficielle, point de trouble, point de congélation, point d'écoulement, point d'ébullition, point éclair, miscibilité, détermination du pouvoir moussant, foisonnement, décantation, tests de corrosion...

Tous ces tests de laboratoire ne permettent pas une approche réelle de l'efficacité des produits. Pour y pallier, une démarche complémentaire est envisagée au travers de l'analyse thermogravimétrique (ATG) et surtout via un dispositif expérimental appelé Tunnel Thermique d'Expertise et

d'Analyse Informatique de Données (T.E.X.A.I.D.) De dimensions relativement modestes (3.50 m), il assure une reproductibilité systématique lors d'essais d'efficacité (contrôle des conditions opératoires de l'environnement en température notamment).

Les différents tunnels utilisés dans le monde ont été développés pour tester avant tout le comportement des matériaux combustibles ainsi que l'efficacité des produits ignifugeants à vocation industrielle ou assimilée. De plus, l'utilisation connaît des limites dans la reproduction de phénomènes physiques relatifs à la qualité des écoulements gazeux, dans la possibilité de générer des combustions dans un milieu dont l'atmosphère est contrôlée, etc...

Les contraintes sont bien plus conséquentes qu'il n'y paraît, car il faut obtenir de bonnes conditions simultanées dans de nombreux domaines :

- mécanique des fluides (volonté de reproductibilité et d'écoulement laminaire) ;

- thermodynamique (effets d'un milieu ouvert ou non, stoechiométrie continue ou non en fonction de ce qui précède, et interaction avec la mécanique des fluides au travers de la création de courants de convection propres etc...) ;

- mesure physique (difficulté d'instrumentation en conditions thermiques et phénomènes relativement fugitifs dans le temps et en amplitude : problème de fiabilité et de résolution).

L'étude des additifs ne fait qu'ajouter à ces difficultés.

Le TEXAID développé en grande partie dans cette direction a connu rapidement, à l'utilisation, des limites concernant la lisibilité et la pertinence des résultats obtenus.

La volonté de réaliser un dispositif précis et reproductible, la complémentarité plus grande avec l'ATG, nous ont conduit à définir une nouvelle version du TEXAID appelée version II.<sup>(1)</sup>

Cette version intègre désormais un système de mesure de la perte de

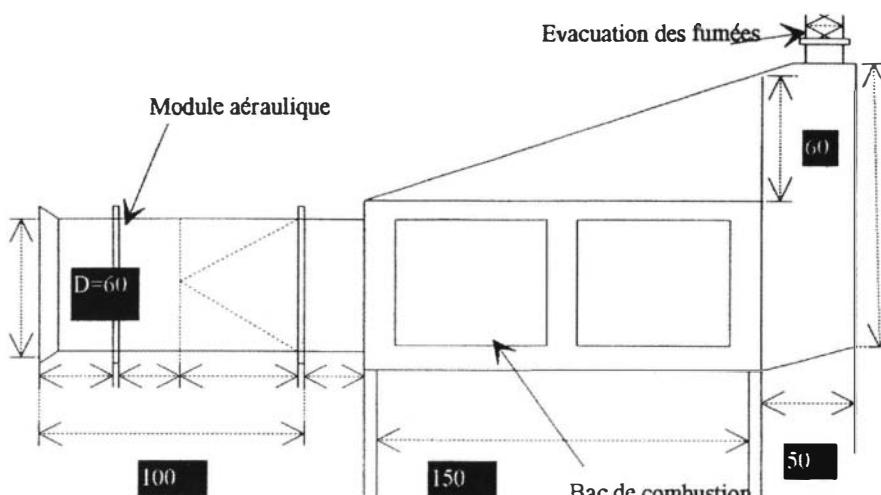


Fig. 1 : Descriptif sommaire TEXAID vu en coupe, valeurs exprimées en cm.

(1) - Conception et réalisation d'un système de pesée continue. Transformation du TEXAID en version II, Document technique CEREN, 15 p., 1992.

masse en temps réel durant la combustion, par jauge de contraintes et centrale d'acquisition associée. Les résultats obtenus se complètent alors entre l'ATG et les tracés gravimétriques TEXAID II.

Les diverses recherches entreprises ont tout d'abord permis de mettre au

point les protocoles indispensables au classement d'efficacité des produits ; elles ont ensuite autorisé l'émergence d'une connaissance accrue du comportement des produits face au feu, favorisant les transferts avec l'industrie et la recherche de nouvelles formulations toujours plus actives.

chaleur, température, gaz émis...) ;

- mettre au point une méthodologie expérimentale, qualifier des produits de prévention, d'atténuation et de lutte contre le feu. Cette qualification concerne principalement l'efficacité des dits produits mais aussi l'incidence de leur emploi sur l'environnement ;

- faire évoluer les moyens de mesure utilisés pour acquérir les données sur la propagation du feu, pour les appliquer à la surveillance du foyer et à l'étude du risque de reprise une fois le feu maîtrisé.

## Quelques résultats :

- L'imagerie par satellite (données issues du satellite NOAA) a permis d'établir une cartographie de risque de départ de feu qui a été comparée au nombre de départs réels apparus dans la période considérée.

- Des additifs chimiques "mous-sants" et "retardants" ont été analysés pour mettre au point une méthodologie. Ces méthodes sont rassemblées sous forme de fiches qui sont proposées pour être retenues comme "tests normalisés européens".

- La dispersion atmosphérique : le système numérique développé pour l'étude de la dispersion atmosphérique des polluants émis pendant un feu de forêt est un outil très performant pour l'opérationnel. Une validation est en cours avec les données des feux contrôlés et accidentels.

# Modélisation Incendie et Etudes de Risques pour la Valorisation de l'Environnement... ou le programme européen MINERVE

MINERVE est un projet qui a été soumis à l'examen de la Commission des Communautés Européennes (C.C.E.) pour l'appel d'offres programme Recherche & Développement dans l'Environnement (1991-1994) et a reçu son agrément, en terme contractuel, au mois de juillet 1992.

S'il existe une connaissance certaine sur les moyens de lutte contre les feux, les notions de prévention, d'analyse et de gestion du risque sont actuellement très mal connues, tout au moins en ce qui concerne la caractérisation technique et scientifique des phénomènes.

Dans sa définition, MINERVE a pour but de développer un outil informatique qui, grâce aux études de risques permettant de déterminer des possibilités d'inflammation, entraînera une meilleure prévention par une évaluation de niveau de réponse à produire face à situation donnée, en tenant compte notamment du stress hydrique des végétaux, de la climatologie, de la topographie etc... Par ailleurs, dans un deuxième aspect, il s'agira à partir de modèles théoriques de propagation de simuler et prévoir l'évolution d'un feu de forêt et de déterminer les conséquences que cet accident entraînerait sur la forêt, les habitations et sur des installations à risque et/ou dites sensibles.

Cet outil sera qualifié grâce à des expériences à caractère analytique et des expériences globales complémentaires (écoubages et feux réels). Il s'agira alors d'ajuster la réalité sur les modèles théoriques et inversement, par itérations successives.

C'est cette démarche scientifique et

pragmatique qui sera à même de mettre l'outil MINERVE à la disposition des différents responsables chargés de la prévention (détection précoce, implantation d'équipements et aménagements forestiers), de la gestion du risque et des moyens de lutte prédisposés à titre préventif, de l'évaluation et de la décision en cours et au cœur des événements.

Compte tenu de l'état actuel des connaissances et du travail à accomplir, le programme MINERVE comprend trois axes principaux de Recherche & Développement qui sont les études de risques, les études expérimentales et théoriques sur le feu, son évolution, ses effets thermiques et la réalisation numérique et informatique du code de calcul.

Pour atteindre le but fixé, la liste non exhaustive et sommaire des tâches à effectuer est la suivante :

- étudier les risques d'inflammation compte tenu du type de végétation, de la nature du sol, des différentes conditions météorologiques possibles, de la topographie des lieux; ces données seront recueillies pour les quatre pays concernés par MINERVE ;

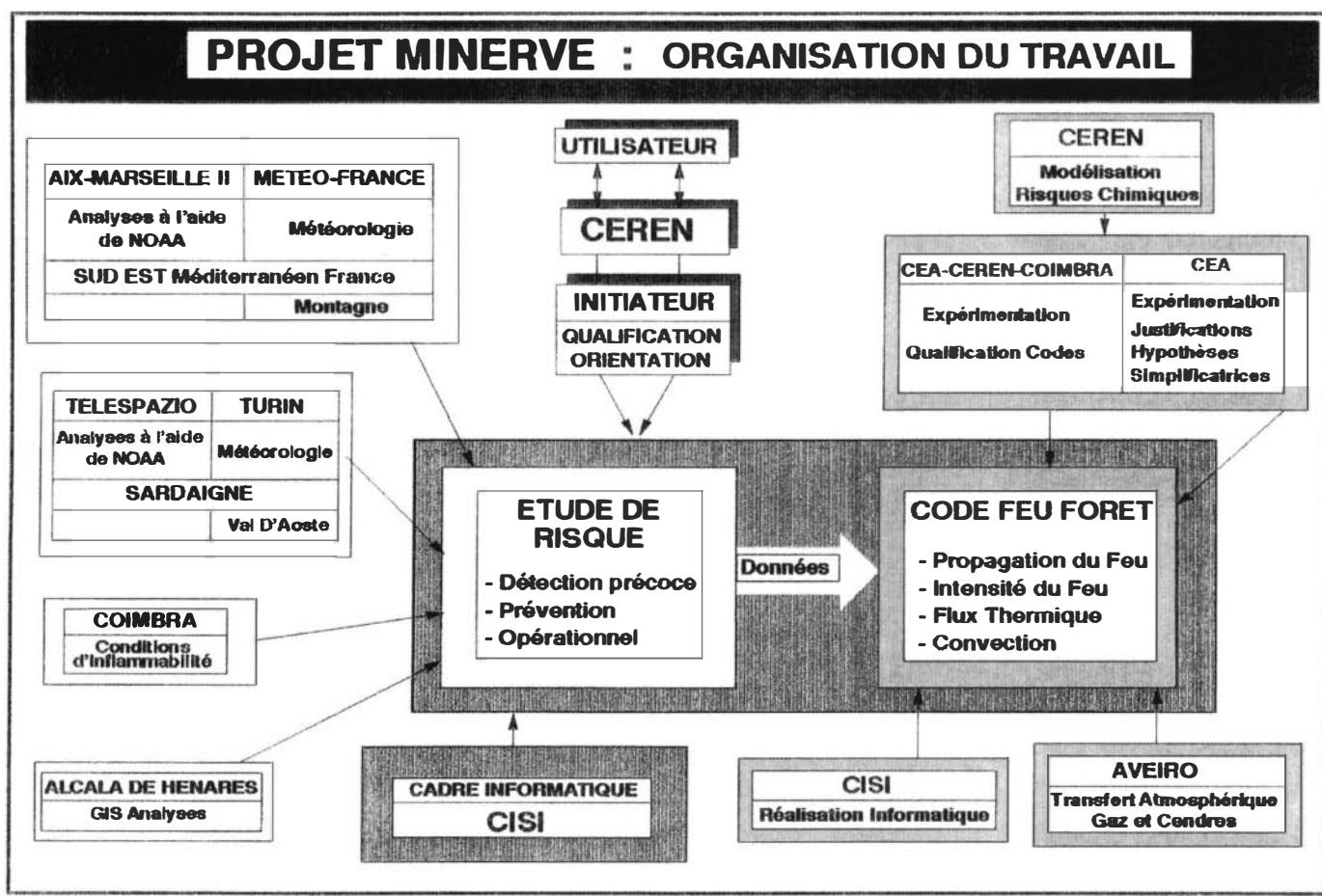
- étudier la propagation et l'intensité du feu en fonction du combustible et des conditions topographiques, météorologiques et étudier la nature et la diffusion atmosphérique des gaz, aérosols et particules produits par le feu ;

- réaliser un système informatique homogène regroupant les données d'entrée du calcul (risques incendies, conditions météo, topographie...) et le calcul lui-même (propagation, flux de

## Analyse des composés gazeux présents dans les fumées de feux de forêt

### Introduction

Le personnel chargé de la lutte sur incendie de forêt est confronté au rayonnement thermique intense du front de flammes, aux fumées, au vent et à l'évolution dans un relief accidenté. Ce travail nécessite des efforts physiques intenses conduisant à une fatigue générale à laquelle viennent



ORGAMINF.DRW

s'ajouter le stress de l'intervention, la respiration d'un air appauvri en oxygène et enrichi en produits de combustion souvent toxiques. Par ailleurs, et comme paradoxalement, on constate que les premières causes d'interventions médicales sur les combattants du feu ne sont pas les brûlures mais les intoxications par les fumées dégagées (connues sous le nom de coup de fumée).

Les intoxications par les fumées dégagées lors de la combustion des végétaux bien que constatées fréquemment sur le terrain ont été très peu étudiées. A la suite de ces constatations, le Médecin-Colonel Prim, médecin-chef du service de santé des Sapeurs-Pompiers du Var interpelle le CEREN à propos "d'une étude prospective et analytique d'identification des gaz après pyrolyse des divers composants de la strate méditerranéenne". Nous avons donc développé (malgré les difficultés financières rencontrées notamment dans la mobilisation des moyens d'étude) un projet d'étude des effluents de feux de forêt en milieu

réel. Le CEREN possède un camion laboratoire destiné à effectuer des mesures physiques et prélèvements gazeux et l'USCI une Unité Mobile de Spectrométrie capable de réaliser l'analyse des gaz prélevés directement sur le terrain. La naissance de cette collaboration constitue une démarche innovante non seulement par son aspect dynamique de mesure sur les feux de forêt mais aussi par la complémentarité des moyens mis en œuvre.

### Conditions expérimentales

La première phase de cette étude des effluents des feux de forêt comprend une démarche progressive permettant une meilleure appréhension du problème. La première étape, en laboratoire, consiste en l'identification des molécules rencontrées lors de la combustion, dans des conditions définies, de certains végétaux choisis en fonction de leur abondance dans la flore méditerranéenne. La deuxième étape se rapproche des conditions réelles en

effectuant une combustion en milieu ouvert d'une végétation définie dans le tunnel du feu (BEST : Banc d'Essais en Situation Thermique) du CEREN. La dernière étape des expérimentations est réalisée sur le terrain et consiste en des prélèvements de fumées sur feux réels.

Les essais sur feux réels sont conduits parallèlement aux essais en laboratoire et sur le BEST. Etant donné le nombre de véhicules à déplacer (MM1, camion laboratoire, véhicule 4x4 de transport du matériel, véhicule de commandement), et leur vitesse de déplacement réduite, les missions se limitent à des feux à proximité du centre de Valabre (une à deux heures de route, tout au plus). Une fois sur le chantier, le spectromètre de masse est installé près du PC mobile alors que le camion laboratoire est approché du front pour effectuer les prélèvements. La priorité donnée à la lutte, d'une part, la volonté de ne pas créer un facteur contrainte supplémentaire pour le responsable des secours, d'autre part, ont été deux points

majeurs et permanents pour les expérimentateurs.

## Composés identifiés dans les fumées

Le prélèvement des fumées est réalisé à l'aide d'une canne en inox de deux mètres de long équipée d'un tube en verre, d'un tuyau et d'une pompe. Le tube contient un support adsorbant de type Tenax qui retient les composés gazeux. Une fois le prélèvement effectué, le tube est analysé dans le spectromètre de masse.

Les principaux composés identifiés dans chaque prélèvement sont comparés afin de définir des composés caractéristiques des fumées (Cf. Tab. I). Les dioxyde et monoxyde de carbone, et l'eau sont des constituants évidents des fumées et n'ont donc pas été analysés dans le cadre de cette étude. Par ailleurs, cette étude est seulement qualitative et pas quantitative, c'est-à-dire que nous déterminons la composition des fumées mais pas la concentration de chaque molécule présente.

Les fumées issues de la combustion de chêne kermès et de chêne vert sont très similaires. On retrouve beaucoup de composés benzéniques et phénoliques (le toluène, le benzène, le furfural, le p-gaïacol) et relativement peu de terpènes (sylvestrène). L'acide acétique, le diméthoxy-phénol, le phénol, l'acétone, le p-crésol et le xylène sont aussi largement présents.

L'ajonc épineux produit des fumées très différentes des deux espèces précédentes. On retrouve le toluène, le benzène, l'acide acétique, le xylène, l'acétone, le furfural, le p-gaïacol et le phénol mais ces fumées ne contiennent pas de terpènes. Les terpènes sont des hydrocarbures naturels très volatils que l'on retrouve principalement dans les résines, huiles essentielles, aiguilles, chez le pin, mais aussi chez le chêne.

Très différent des deux types précédent, le pin d'Alep produit beaucoup de terpènes mais peu de composés phénolés et furanes, et pas d'acide acétique.

Les résultats obtenus sur le tunnel du BEST et sur feux de forêt permettent de retrouver certains des compo-

Formule	Composés identifiés	Chêne kermès	Chêne vert	Ajonc épineux	Pin d'Alep	Total	Feux
C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	Toluène	90	100	100	100	96	100
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Benzène	90	60	100	80	85	50
C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	Furfural	90	100	75	60	85	25
C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	Xylène	70	100	100	40	77	0
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	Acide acétique	80	100	100	20	77	0
C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	4-méthoxy-phénol	90	60	75	40	73	25
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	Phénol	80	80	75	40	73	25
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	Acétone	70	80	100	40	69	0
C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	Gaïacol	80	100	50	0	62	0
C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Isoeugenol ou eugenol	60	80	100	20	62	0
C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	Sylvestrène ou limonène	90	80	0	40	58	25
C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	Acetylanisole	50	60	75	20	50	0
C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	Crésol	30	80	75	20	46	50
C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	Coumarone	60	60	25	0	42	0
C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	Styrène	20	20	50	20	31	0
C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O	Sylvane	60	20	0	0	31	0
C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	1,3,8-p-menthatriene	50	40	0	0	27	0
C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	Alcool furfurique	30	20	25	0	23	50

Tab. I : Composés identifiés dans les fumées issues de la combustion de végétaux en laboratoire et sur feux réels (représentation exprimée en pourcentage)

sés précédemment identifiés. Sur feux de forêt, on retrouve le toluène, le benzène, le phénol, le p-gaïacol et le crésol, l'alcool furfurique mais l'acide acétique, le xylène, l'acétone et les terpènes sont absents.

## Interprétation des résultats

Si nous nous référons au processus de décomposition thermique de la cellulose et à la composition du matériel végétal, nous pouvons facilement

Composé	Limite de cc° (ppm)	Cancérigène	V. resp	Irritation yeux	peau
Acétone	750		X	X	X
Acide acétique	10		X	X	
Benzène	10/25	X		X	X
Phénol	5		X	X	X
Styrène	50	?	X	X	X
Xylène	100		X	X	X
Toluène	100		X	X	X
Monoxyde de C	50				
Dioxyde de C	5000				
Méthane	1000				
Ethanol	1000		X	X	
Furane		?			
HAP		?			

expliquer la présence de certains composés rencontrés.

Les molécules présentes dans les fumées résultent de la combustion des végétaux selon deux phénomènes. Certains de ces éléments sont dus aux phénomènes de distillation (acide acétique...) et d'autres à la décomposition de la matière proprement dite (composés phénolés, cycles furanes, terpènes...). Beaucoup sont aussi le résultat des recombinaisons des molécules entre elles, ou avec les radicaux libres produits fortement réactifs, ou par leur oxydation.

## Toxicité des composés analysés

La toxicité de certains composés rencontrés dans la présente étude n'est donnée qu'à titre indicatif et ne concerne que les composés retrouvés dans la littérature. Les résultats sont présentés dans le tableau II.

Ce que l'on peut remarquer dans ce tableau, ce sont les faibles concentrations à partir desquelles les composés identifiés sont toxiques. Même si leur concentration dans les fumées de feux de forêt n'a pas pu être évaluée pendant cette étude, on peut supposer qu'ils sont en concentration non négligeable (au sens toxicologique) puisqu'on les retrouve dans la plupart des expériences. La quantité de fumée absorbée (temps d'exposition), avec

un seuil critique, est le facteur à prendre en compte lors de l'évaluation d'une éventuelle intoxication. Tous les composés cités dans ce tableau, excepté le monoxyde et dioxyde de carbone, provoquent des irritations des voies respiratoires et des yeux et sont donc incapacitants pour le personnel de lutte. De plus, certains composés aromatiques (HAP) sont connus pour provoquer des lésions du système nerveux central et des malaises. Leurs effets sont cependant peu connus. L'objectif de cette étude est d'identifier les composés qui causent des malaises pouvant devenir incapacitants chez les intervenants, afin d'élaborer à terme des moyens de protection spécifiques.

## Conclusions

En conclusion, nous avons montré que, comme pressenti, les fumées contiennent des composés toxiques qui peuvent être incapacitants pour le personnel intervenant. Tous ces composés ne sont pas forcément présents en grande quantité dans les fumées végétales mais sont probablement très stables. Par ailleurs, leur concentration précise dans les fumées n'a pas été définie.

## Perspectives

Il est important d'effectuer beaucoup de prélèvements en conditions réelles pour observer le plus de cas de

figures possibles puisque les molécules présentes dans les fumées sont très réactives et ont donc tendance à réagir entre elles pour donner de nouvelles molécules.

La toxicité de tous les composés identifiés, le plus souvent inconnue, doit être déterminée de façon à évaluer leurs propriétés incapacitantes. Dans une deuxième phase, nous envisageons donc, pour les composés particulièrement nocifs, une évaluation quantitative de la concentration dans les fumées ainsi que de la dose minimale de toxicité pour l'homme dans les conditions de l'intervention, et pour la population exposée. Ceci doit permettre d'établir un cahier des charges pour le matériel de protection devant être réalisé.

Rappelons ici que ce rapport constitue la première phase d'une étude devant être conduite pendant deux à trois ans. Les résultats obtenus sont déjà très encourageants, et apportent des éléments intéressants sur la connaissance des effluents gazeux de feux de forêt. Ce travail n'a pu être mené à bien que grâce à la collaboration CEREN/ USC1. Malgré un besoin identifié, aucune étude de ce type n'avait été entreprise auparavant. Les difficultés et dangers de prélèvement associés aux contraintes d'analyse in situ nous ont rapidement montré quelles en étaient les raisons.

C.P.

Brûlures chim. yeux peau	Intoxication par inhalation ingestion abs. percu.	Asphyxie	Narcose Troubles neurolog.	SNC	Atteintes foie reins sang
X X	X	X	X		
	X		X	X	X
	X		X	X X	
			X	X	X X
	X		X	X	X
		X			

Abréviations: HAP: Hydrocarbures aromatiques polycycliques; SNC: Système nerveux central; V. resp.: voies respiratoires; Abs. percu.: absorption percutanée; Limite de cc<sup>o</sup>: limite de concentration admissible dans l'atmosphère en parties par million.

## Résumé

*La recherche pluridisciplinaire qui enveloppe le domaine des feux de forêts voit apparaître la germination de ses premières applications :*

*\* Le choix des additifs chimiques (mousseant, retardant) est dicté par un cahier des charges techniques qui comprend une série de protocoles de tests physico-chimiques et d'efficacité. Ces derniers sont mis en oeuvre sur une thermo-balance et un tunnel du feu T.E.X.A.I.D (Tunnel d'Expertise et d'Analyse Informatique de Données). Parallèlement, les "retombées écologiques" des retardants font l'objet de plusieurs études telles que : les migrations du retardant dans le sol, l'impact sur les vignes, retardant photofugatif...*

*\* L'étude et la réalisation d'un nouveau concept pour le largage d'eau par hélicoptère ont abouti à l'adjonction d'une lance sur ce vecteur aérien. Associé à une caméra thermique, ce prototype a d'ores et déjà trouvé sa place dans la panoplie des engins de lutte (protection points sensibles, traitement des lisières...). Signalons également l'emploi particulier de l'infrarouge pour des essais comparatifs entre deux types d'équipement pour hélicoptères bombardiers d'eau : Kit Conair et Bambi Bucket.*

*Evoquons en terme de perspective à long terme la Modélisation Incendie et Etudes de Risques pour la Valorisation de l'Environnement (Programme Européen MINERVE). Les moyens qui permettront de déterminer les risques potentiels, de prévoir le déroulement du feu, ses grandeurs physiques et les conséquences sur un stockage de produits phytosanitaires, habitat forestier etc..., sur l'homme et son environnement, d'atténuer l'intensité du feu, et surveiller les risques éventuels de reprise, sont des outils dont la nécessité se fait aujourd'hui grandissante.*

*Notons que la validation des modèles ne pourra s'opérer qu'à travers des données quantifiables qui seront issues d'essais en laboratoire, tunnel du feu et essentiellement du terrain.*

*Enfin, pour conclure ce bilan synthétique de recherche technique et scientifique en feux de forêts, nous présentons une analyse des composés gazeux présents dans les fumées de feux de forêts. C'est dans ce cadre que s'inscrit la coopération entre le CEREN et l'USC I de Nogent. L'objectif de cette étude est de développer des moyens d'ergonomie adaptés, efficaces et spécifiques contre la présence éventuelle de composés nocifs pour le personnel intervenant.*

## Riassunto

**Ricerca tecnica e scientifica sui fuochi boschivi in seno al CEREN - (Centro di Prove e di Ricerca dell'Intesa)**

*La ricerca pluridisciplinaria che coinvolge il dominio dei fuochi boschivi vede apparire la germinazione delle sue prime applicazioni :*

*- La scelta di additivo chimico (spumante, ritardante) è dettato da un capitolo d'oneri tecnici che comprende una serie di protocolli di prove fisicochimiche e di efficacia. Questi ultimi sono messi in opera su una termobilancia e una galleria del fuoco T.E.X.A.I.D. (galleria di perizia e di analisi informatica di dati). Parallelamente, i "riscatti ecologici" dei ritardanti sono l'oggetto di parecchi studi tali : le migrazioni del ritardante nel suolo, l'impatto sulle viti, ritardante fotofugitivo...*

*- Lo studio e la realizzazione di un nuovo concetto per il lancio di acqua da elicottero hanno finito all'aggiunto di una lancia su questo vettore aereo. Associato a una camera termica, questo prototipo ha fin d'ora trovato il suo posto nella panoplia degli arnesi di lotta (protezione punti sensibili, trattamento dei margini...). Segnaliamo anche l'impiego particolare di infrarosso per le prove comparative tra due tipi di equipaggiamento per elicottero bombardiere di acqua : Kit Conair e Bambi Bucket.*

*Evochiamo in termine di prospettiva a termine lungo la Modelizzazione Incendio e Studi di Rischi per la Valorizzazione dell'Ambiente (Programma Europeo Minerve). I medi che permetteranno di determinare i rischi potenziali, di prevedere lo svolgersi del fuoco, le sue grandezze fisiche, le conseguenze su uno stoccaggio di prodotti fitosanitari, habitat forestale ecc..., sull'uomo e il suo ambiente, di sorvegliare i rischi eventuali di ripresa, sono gli arnesi di cui la necessità si fa oggi crescente.*

*Notiamo che la convalidazione dei modelli potrà operarsi solo attraverso dati quantificabili che saranno derivati di saggi in laboratorio, galleria del fuoco e essenzialmente del terreno.*

*Finalmente, per concludere questo bilancio sintetico di ricerca tecnica e scientifica sui fuochi boschivi, presentiamo un'analisi dei composti gassosi presenti nei fumi di fuochi boschivi. È in questo quadro che s'inscrive la cooperazione tra il CEREN e l'USC I di Nogent. L'obiettivo di questo studio è di sviluppare medi di ergonomia adattati, efficaci e specifici contro la presenza eventuale di composti nocivi per il personale di intervento.*

## Summary

**Scientific and technical research into forest wildfire conducted by the CEREN (Ecole Normale Centre for Research and Testing )**

*Interdisciplinary research covering all aspects of forest wildfire has begun to produce its first applicable results :*

*\* the choice of chemical additives (foams, retardants) is now governed by technical regulations that include a specific series of tests for physical-chemical characteristics and effectiveness. These are carried out using a heat balance and a TEXAID fire tunnel. Running in parallel with this activity are studies on the "ecological effects" of retardants : the migration of retardants in the soil; their impact on vines; light-resistant retardants ...*

*\*The study and production of a new concept for dropping water by helicopter has resulted in the fitting of a hose to the aircraft. Twinned to a heat-sensitive camera, the prototype has already acquired a place in the arsenal of firefighting equipment (protection of sensitive locations, spraying of woodland boundaries...). There has also been a special application of infrared in comparative testing of two types of equipment for helicopters : the Conair Kit and the Bambi Bucket.*

*The long-term perspective includes the European MINERVA Programme, a wildfire modelling and risk evaluation programme related to environment enhancement. There are implications for evaluating potential risk, forecasting wildfire behaviour as well as its size and the consequences for stocking crop treatment products, forest dwellings etc... and for people and their environment. Also, it tackles how to reduce the intensity of the fire and surveillance against new flare-ups. Tools to deal with all such aspects are today felt as increasingly vital.*

*It should be noted that getting approval for such models can only be got by presenting quantifiable data resulting from tests in the laboratory, in fire tunnels and, above all, in the field.*

*Finally, to conclude this overview, we present an analysis of the constituents in the smoke from forest wildfire. Work on this matter forms the framework for cooperation between the CEREN and the USC I at Nogent (France). The aim of the study is to develop suitable effective ergonomic equipment specifically designed to protect firefighters from the presence of harmful substances.*