

LE EMPLOI DU CONTRE-FEU POUR STOPPER CONTRE-FEU ET ETEINDRE LES INCENDIES DE FORÊTS⁽¹⁾

par Celso Arevalo CARRETERO *

ENCORE LE CONTRE-FEU !

par Guy BENOIT de COIGNAC **

A la suite de l'article intitulé « Le contre-feu; est-ce la seule technique efficace d'extinction des grands incendies ? » paru dans la revue Forêt Méditerranéenne (T.VIII n° 2) en décembre 1986, j'ai été un peu surpris, voire déçu, par les maigres réactions suscitées par ce sujet « brûlant » ... Serait-il tabou ?

Durant les dernières « Rencontres d'Avignon », en 1987, j'ai été quelque peu rassuré car les discussions sur le thème « Le feu contre l'incendie » ont ravivé cette flamme que je croyais morte. Cependant, ce qui m'est apparu très clairement alors, c'est que mon article manquait de références pratiques et que ce qui intéresse les hommes de terrain, ce sont beaucoup plus les expériences vécues que les exposés théoriques. J'ai donc décidé, avec l'accord de l'Association et l'aide de Mme Ribeiro-Pires pour la traduction, de donner une nouvelle chance à ce sujet qui me tient à cœur, en vous proposant, cette fois, avec l'autorisation de l'auteur, la traduction intégrale de l'article que C.A. Carretero a présenté sur ce thème, à l'occasion d'un congrès à Buenos-Aires.

Cet article écrit, dans un style très vivant, par un praticien et pour des praticiens, devrait plaire à ceux que ma prose bibliographique avait, sans doute, rebuté. Ils y retrouveront malgré tout un peu de

théorie sur le « contre-vent » et les températures dans la colonne de convection mais surtout ils se retrouveront, à côté de l'auteur, luttant au coude à coude, avec son équipe de boutefeux contre des flammes de 70 mètres, fonçant le plus rapidement possible, et avec des moyens rudimentaires pour étouffer le feu dès son éclosion, traquant par monts et par vaux la « bête immonde et perfide » qui cherche à vous encercler pendant que la végétation, elle, attend son sort dans une « quiétude fataliste »...

Vous serez étonnés sans doute de l'actualité de cet article alors qu'il a été écrit il y a plus de 20 ans, à une époque où les moyens (engins, avions, hélicoptères, ...) n'en étaient qu'à leurs premiers balbutiements.

Bien sûr, en France, les deux dernières campagnes (1987 et 88) n'ont pas été très meurtrières et certains auront peut-être tendance à penser (à nouveau) que c'est enfin gagné et qu'il faut remiser définitivement cette technique archaïque au musée des vieilleries. Ce serait faire preuve d'un optimisme béat que les prochaines années se chargeront malheureusement de ramener à la réalité ! En effet, en dehors d'une surveillance drastique qui contrôlerait tous les feux naissants (voir l'article « Vigilance en forêt » in F.M. Tome IV n° 1, 1987), nous savons tous qu'il est utopique de penser que nous sommes, pour toujours, débarrassés du risque de grands incendies, notamment les jours de fort mistral. Dans ce cas, et en le confiant exclusivement à des mains expertes (comme celle d'un C.A. Carretero par exemple), le contre-feu ne sera-t-il pas la seule technique efficace pour sortir de situations catastrophiques ? ... La question reste posée.

G.B.-C.

* Doctor ingeniero de montes

** Chef de la Division Technique forestière méditerranéenne. Cemagref.
BP 31 Le Tholonet
13612 Aix-en-Provence, cedex 1.

(1) Paru dans le « Boletin del Instituto de estudios asturianos » N° 14 et traduit de l'Espagnol par G. Benoit de Coignac et Mme Ribeiro-Peres, avec l'autorisation de l'auteur et de l'éditeur (Imprenta « LA CRUZ », OVIEDO).

EMPLOI DU CONTRE-FEU POUR STOPPER ET ETEINDRE LES INCENDIES DE FORÊTS (1968)

Dans la plupart des cas, les actions d'extinction d'incendies de forêt doivent être menées avec une telle rapidité (2) qu'il est souvent impossible de disposer de moyens mécaniques sophistiqués. On ne dispose alors que des outils que l'on peut trouver sur place.

De surcroît, comme il est impossible de prévoir, longtemps à l'avance, ni le lieu où va se déclencher l'incendie, ni la direction, ni la vitesse du vent à ce moment précis, les défenses passives telles que les coupe-feu, ne peuvent s'envisager qu'en tenant compte d'un très grand nombre de facteurs variables, dont la plupart ne peuvent être qu'évalués.

En conséquence, il nous a semblé utile de nous pencher sur l'un des moyens les plus importants de lutte active contre les incendies, et qui depuis de nombreuses années s'emploie de façon plus ou moins empirique : **LE CONTRE-FEU**.

Dans un incendie de forêt le combustible est pratiquement illimité. Par ailleurs, il peut sembler utopique d'affirmer que l'extinction peut être obtenue en agissant sur le comburant. C'est pourtant bien ce que l'on attend du contre-feu.

(2) Les notes infrapaginaires ainsi que les mots en caractères gras sont dûs aux traducteurs; ils soulignent notamment l'importance et l'actualité de certains passages.

La pratique du contre-feu consiste à déclencher un second foyer sur la zone où l'incendie à toutes chances d'arriver quelques minutes plus tard. Ainsi, en anticipant sur l'événement et en amenant ce second feu, déclenché volontairement, à avancer en sens inverse, et donc à la rencontre de l'incendie, on obtient l'extinction de ce dernier.

Cela étant, il convient, tout d'abord, de décrire les mouvements de l'ensemble des masses gazeuses qui environnent le feu et le contre-feu, et d'évaluer les éléments qui peuvent accélérer ou ralentir la vitesse de propagation de la ligne de feu ou front de flammes.

En outre, dans ces sinistres, il est bien entendu qu'il faut sauver une richesse matérielle sans risquer de vies humaines et par conséquent, il convient d'analyser précisément où se situe le danger afin d'éviter le risque majeur que sont les gaz asphyxiants (dépourvus d'oxygène) en provenance de la combustion.

Il paraît paradoxal de vouloir donner une image statique d'un feu libre, alors que ses caractéristiques principales sont justement la turbulence et l'instabilité. Cependant, dans tous les incendies, entrent en jeu un certain nombre d'éléments comparables et il existe une similitude de certains effets qui permettent de schématiser un incendie-type bien qu'il y ait autant de variantes que d'incendies.

Les températures qui entrent en jeu dans un incendie de forêt sont très élevées et Diodoro a raconté que lors d'un incendie de forêt, en zone minière, le minerai d'argent fondu coulait le long de la pente comme un torrent. D'ailleurs on sait qu'un phénomène similaire est arrivé il y a environ deux mille ans à « Cabezo Rajado », près de Carthagène.

La Bible raconte aussi qu'Ephron vendit un terrain à Abraham, à la mort de Sara, pour 400 sicles d'argent, dont il a fallu obtenir le métal par des méthodes simples et primitives, mais capables de produire des températures supérieures à 960 degrés avec les combustibles existant à cette époque.

Brown pense qu'il faut considérer les incendies de façon tridimensionnelle et non bidimensionnelle, comme on le fait d'habitude. Kenneth P. Davis confirme cette idée nouvelle en affirmant qu'on ne peut éteindre les incendies de forêts avec efficacité qu'en étudiant d'où vient l'air qui arrive sur le feu et où il va, ainsi que ses changements de vitesse et de température.

On se limitera ici à l'étude de la dynamique des mouvements de convection qui se produisent autour de l'incendie ou de l'ensemble incendie/contre-feu, au plan de ses applications pratiques, sans prétendre aborder les aspects physiques, économiques ou autres qui sortiraient de ce cadre.

Mouvements de convection

Tout incendie présente une colonne ascendante d'air chaud et de fumées (mélange de gaz incolores provenant des combustions complètes, de fumées plus ou moins opaques provenant des combustions incomplètes et d'air chaud) dont l'apparence extérieure se présente comme des tourbillons dont les axes de rotation sont plus ou moins verticaux.

La combustion provoque une élévation de température, donc une dilatation des gaz dont la densité diminue, ce qui, comme dans une cheminée, produit un tirage.

Le front de flammes va donc induire une dépression qui, à son tour, va aspirer l'air apporté par le vent qui a parcouru en partie la zone déjà brûlée en subissant un préchauffage (ce qui contribue à accélérer la combustion) et dont la direction est la même que celle de la marche du feu.

Mais il existe aussi une autre arrivée d'air frais ou « contre-vent » (3), de direction contraire à celle de la

marche du front de flammes, et qui, après s'en être approché, se trouve entraîné par la « cheminée », ou colonne de convection (4), qui s'élève verticalement, en produisant une turbulence dont les tourbillons ont des axes de rotation plus ou moins horizontaux.

Ceux qui ont assisté de près à ces phénomènes, connaissent bien le comportement des pommes de pin en feu : elles donnent l'impression d'avoir été lancées du sol, par un mécanisme quelconque, pour aller retomber parfois à plus de 30 mètres de distance, ce qui contribue à accélérer la propagation de l'incendie.

Ce phénomène ne peut s'expliquer, qu'en observant la façon dont les pommes de pin sont entraînées par les gaz chauds jusqu'à ce que leur trajectoire quittant la « cheminée » les laissent tomber n'importe où.

Les feuilles des arbres en feu subissent le même phénomène, avec des conséquences plus graves encore,

car elles sont plus légères et occasionnent une pluie de brandons qui peuvent provoquer de nouvelles écloisons.

Les végétaux qui se trouvent en avant du front de flammes et qui brûleront plus tard, subissent l'effet des radiations calorifiques et une perte d'eau de constitution, qui provoquent leur dessèchement et les préparent à brûler dès l'arrivée de ce front de flammes.

La dynamique du mouvement des gaz, liée au dégagement de la vapeur d'eau provenant du pré-séchage, fait

(3) Le terme « contrevent » en français ayant un autre sens (volet) nous avons créé le néologisme « contre-vent » qui rappelle le contre-feu auquel il est lié.

(4) Nous avons repris le terme « cheminée » de C.A. Carretero, car plus imagé que « colonne de convection ».

que l'incendie est précédé d'une zone de turbulence qui se comporte comme si elle était composée de fumées plus lourdes où la proportion d'oxygène doit être très inférieure à celle des gaz qui s'élèvent dans « la cheminée ».

De nombreuses personnes ayant participé à l'extinction d'incendies en ont subi les effets. Certains d'entre eux ont même été ensuite rattrapés par le front de flammes et leurs compagnons ont raconté comment, alors que les malheureux essayaient de s'échapper, leurs mouvements s'étaient ralenti, comme s'ils ne pouvaient plus courir. Ceci correspondrait au fait que leurs muscles ne recevaient plus l'oxygène nécessaire à l'accomplissement de l'effort qui leur était demandé.

Dans la figure 1, on suppose que le vent se déplace de gauche à droite, et que le feu suit la même direction, et, on peut voir qu'il existe, en sens inverse, un courant frais et limpide, le « contre-vent », qui, près du sol, se dirige à la rencontre du front de flammes.

Ce courant d'air frais est à la température ambiante et il permet de s'approcher du front de flammes sans aucun risque d'asphyxie pour les personnels qui tentent d'éteindre l'incendie.

Le « contre-vent » constitue un élément d'une importance considérable pour la mise en route du contre-feu initial, qui doit se déplacer en direction contraire au front de flammes comme l'indique la figure 2.

Quand incendie et contre-feu se rencontrent, il se produit une sorte de déflagration, comme si la zone de gaz ou « fumées lourdes » située entre ces deux feux contenait une grande proportion d'oxyde de carbone. Après cette déflagration, l'incendie et le contre-feu disparaissent instantanément. Malgré tout, afin d'éviter toute reprise du feu, il est indispensable de prendre quelques mesures ultérieures notamment une surveillance attentive.

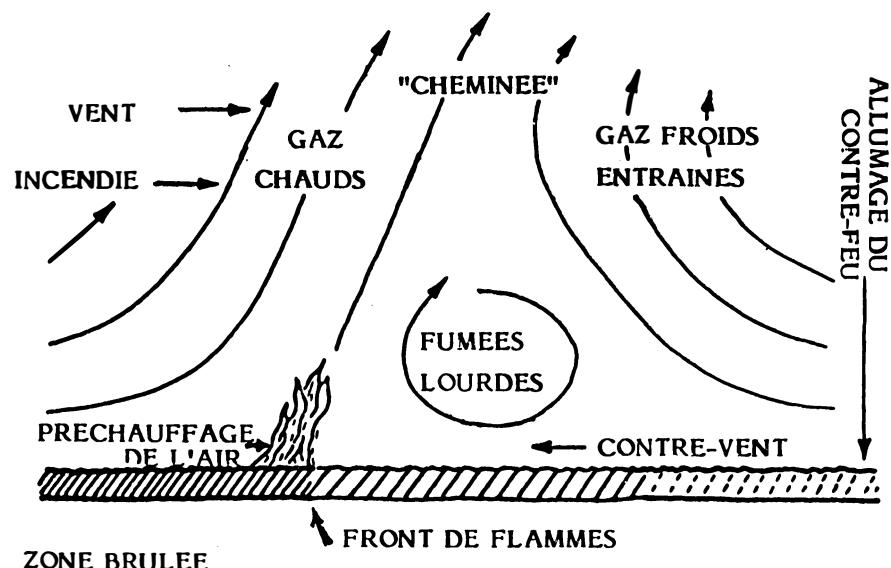


Figure 1

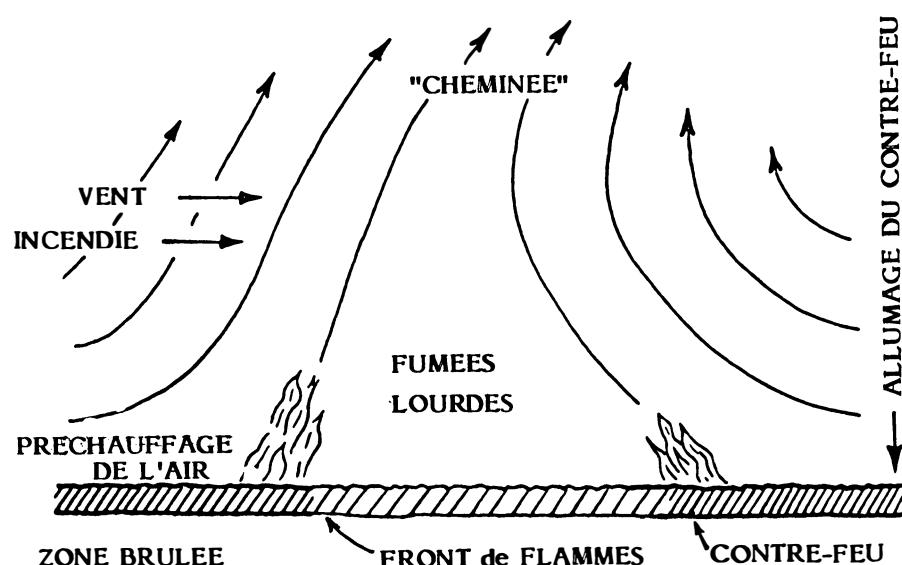


Figure 2

Facteurs accélérateurs et ralentisseurs

Dans cet ensemble de mouvements de convection qui se produisent autour du front de flammes, le vent a un effet accélérateur. Car, plus l'apport d'air préchauffé est puissant, plus le feu sera intense, et plus la hauteur des flammes et la vitesse de propagation seront importantes.

L'élevation des gaz chauds par la « cheminée » se produit à une vitesse d'autant plus grande que le front de flammes est important. Réciproquement, plus la vitesse d'ascension est grande, plus le tirage qui détermine l'apport d'air supplémentaire (ou comburant) destiné à alimenter le feu, sera grand.

La figure 3 (p. suivante) explique comment le feu peut avancer et se

propager même sans vent, par le simple tirage de la « cheminée », qui produit un vide et détermine l'apport de comburant sous forme d'air préchauffé et de « contre vent ». Dans ces cas, la vitesse de propagation est lente et le contre-feu peut s'allumer à une distance relativement courte.

En revanche, quand l'incendie avance à grande vitesse, les flammes sont plus hautes, et donc le tirage de la « cheminée » augmente, de sorte que la vitesse de propagation s'accroît encore, comme on peut le voir sur la figure 4. Bien entendu dans ces cas, le contre-feu doit être allumé à une distance beaucoup plus grande.

On pourrait supposer que dans ce type d'incendie, plus les flammes sont

hautes, plus le tirage est grand et par conséquent que la puissance de l'incendie va augmenter indéfiniment, au fur et à mesure de sa progression. Cependant il existe un effet régulateur dû au temps que mettra le préséchage de la végétation à se produire, de sorte que la vitesse de propagation d'un incendie a une limite.

Le tourbillon de « fumées lourdes », contribue à réguler ce préséchage pendant lequel l'eau contenue dans la matière végétale va s'évaporer et lui permettre de s'enflammer et à l'incendie de se propager.

L'humidité atmosphérique amenée par le « contre-vent » représente ainsi un facteur de ralentissement de la vitesse de propagation du feu. En

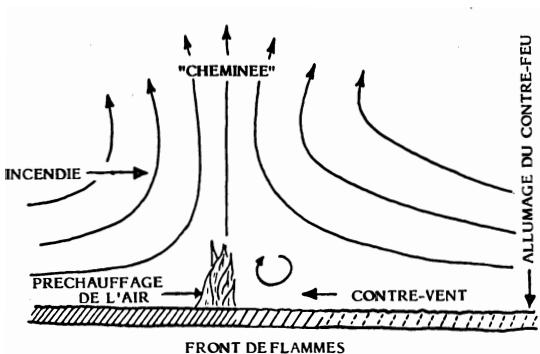


Figure 3

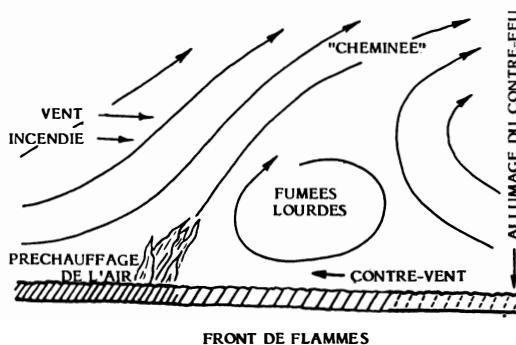


Figure 4

effet, elle produit un apport de vapeur d'eau qui rafraîchit les « fumées lourdes » et retarde donc le préséchage comme le ferait l'humidité amenée par une pulvérisation d'eau.

La vitesse de propagation est proportionnelle à la quantité de matériel combustible. De même, une pente ascendante du terrain, dans la direction de l'incendie, produit un effet similaire comme nous l'expliquerons plus de l'incendie.

Résumons ci-après les facteurs dont nous venons de parler et qui interviennent sur la vitesse de propagation du feu.

Facteurs accélérateurs

- Vitesses du vent;
- Tirage de la « cheminée »;

- Préchauffage de l'air;
- Radiation calorifique;
- Quantité de matériel combustible;
- Pente ascendante du terrain dans la direction du feu.

Facteurs régulateurs

- Préséchage;
- « Fumées lourdes » ou tourbillon de gaz relativement froids.

Facteurs ralentisseurs

- « Contre-vent »;
- Humidité de la végétation;
- Humidité apportée artificiellement;
- Humidité de l'atmosphère;
- Pente descendante du terrain dans la direction du feu.

Les matières combustibles et la dimension des flammes

Le combustible principal de l'incendie est composé d'éléments volatils (d'essences), contenus dans la sève et les résines dont les végétaux sont imprégnés en plus ou moins grande quantité, notamment comme éléments désinfectants et cicatrisants. Ce qui n'empêche pas tous les végétaux d'être combustibles, même si certains présentent des délais d'inflammation plus longs que ceux qui entrent en jeu dans un incendie de forêt.

Sous l'effet de l'incendie, le matériel végétal se carbonise en plus ou moins grande quantité. La combustion est rarement totale et n'affecte souvent que la partie externe, alors que la partie interne ne s'altère apparemment pas, de sorte qu'il n'y a que les feuilles et les brindilles vertes qui

arrivent à brûler totalement jusqu'à être réduites en cendres.

Néanmoins, cette combustion partielle est suffisante pour produire un dessèchement qui cause la mort du matériel végétal, alors que les racines, en général, restent protégées par l'humidité du sol, et émettent parfois des rejets de souche.

Les arbres brûlés peuvent encore donner des bois d'industrie, puisque la mort est limitée aux méristèmes et aux parties vertes, et que l'écorce exerce un effet isolant, protégeant le bois, le cambium étant, pour sa part, plus ou moins desséché par l'intensité du feu.

Beaucoup d'arbres restent verts après l'incendie, si le passage du feu a été rapide, et ils peuvent même survivre un ou deux ans. Mais souvent

le dessèchement du cambium, même s'il n'est que partiel, constitue un foyer de pénétration de champignons et d'insectes ravageurs qui provoquent la mort de l'arbre au bout de quelques années.

En revanche, quand le feu est très rapide par suite d'un vent violent, les flammes sont plus grandes et on observe des sautes de feu qui laissent apparemment des espaces indemnes. Cependant, là aussi, l'élévation de la température favorise un dessèchement qui entraîne fréquemment la mort des arbres.

Quand le vent présente une faible vitesse, les flammes, bien que plus courtes, restent plus longtemps sur chaque site en feu et les dégâts, au sol, sont parfois beaucoup plus profonds.

De plus, si celui-ci est très sec, alors, même les racines brûlent car en séchant elles subissent une contraction qui permet à l'air de s'infiltrer et d'alimenter des feux souterrains pendant plusieurs jours, notamment dans les terrains argileux.

Ainsi, quand des pins de 10 mètres brûlent, les flammes peuvent atteindre jusqu'à 40 mètres de hauteur, alors que s'il s'agit de broussailles de 1 mètre de haut, les flammes ne s'élèvent pas à plus de 4 mètres.

La profondeur du front de flammes, dépend du temps que les produits végétaux mettront à brûler et de la vitesse de propagation de l'incendie.

Quand le vent souffle à vitesse réduite et que le front de flammes se propage lentement, la profondeur de la zone en feu est réduite à un minimum égal au double de la hauteur des végétaux qui brûlent.

En effet, la zone de préchauffage de l'air fonctionne comme un échangeur de chaleur, où les produits déjà brûlés cèdent leurs calories à l'air frais qui arrive. Ce refroidissement des combustibles suspend la production d'essences volatiles ce qui interrompt la combustion. C'est la raison pour laquelle un feu, vu de l'extérieur, présente l'aspect d'un ruban de flammes d'autant plus large que la quantité de combustible ainsi que la vitesse du vent sont importantes. Ce ruban de flammes avance en brûlant partiellement les végétaux qui s'éteignent presque complètement après son passage. Aussi, lors d'une reprise de l'incendie, on voit parfois le front de flammes se reformer et parcourir à nouveau des combustibles qui l'avaient déjà subi quelques heures auparavant.

Quand la vitesse du vent est grande, la profondeur du front de flammes est supérieure et elle peut même dépasser les 100 mètres.

On peut alors y distinguer diverses zones. La première se caractérise par des chutes de feuilles et de pommes de pin incandescentes qui, comme des précurseurs du front de flammes, multiplient les éclosions. La seconde correspond aux végétaux déjà pressés mais n'ayant pas encore commencé à brûler. Elles sont toutes deux

prêtes à l'embrasement en partie à cause du rayonnement calorifique, et en partie parce qu'alors la moindre étincelle suffit à les enflammer.

Dans une troisième zone, la combustion affecte simultanément les broussailles et les arbres dont les feuilles commencent à brûler. C'est alors que la vitesse de combustion se met à décroître et que survient une détonation intense au niveau de chaque arbre en feu, semblable à celle d'une arme à feu : c'est l'embrasement général avec des températures très élevées à en juger par la vitesse avec laquelle s'élèvent les gaz brûlés.

Selon Kenneth P. Davis ces explosions produisent une quantité de chaleur de l'ordre de 20 000 à 30 000 « But » par seconde soit 5 000 à 8 000 Kilocalories par seconde.

Dans une quatrième zone, on a l'impression que la production d'essences volatiles diminue après s'être consumée dans la détonation et qu'il ne brûle plus alors que des brindilles et des bois morts au sol, cependant que l'apport d'air frais éteint peu à peu l'incendie ne laissant que des petites pointes rouges; les troncs, protégés par leur écorce, restant imbrûlés.

Les températures enregistrées à un instant déterminé, et à chaque position du front de flammes, de même que les vitesses d'ascension des gaz brûlés, sont intimement liés car la vitesse est la conséquence de la température. Aussi, peut-on estimer la température en observant simplement la vitesse avec laquelle montent les gaz brûlés en divers endroits du front de flammes.

Le tableau ci-après reprend quelques températures tirées des mesures faites aux Etats-Unis par Fons et rapportées par Kenneth P. Davis, (avec leur conversions de degrés Fahrenheit en degrés centigrades) :

La figure 5, représente une forêt de pins, hauts de 30 mètres, traversée par un front de flammes. On suppose aussi que les broussailles sont en train de brûler totalement dans la deuxième zone, alors que dans la troisième zone le feu a atteint la cime des arbres.

Les pommes de pin en feu parcourront une trajectoire FABC, les feuilles enflammées suivent la ligne FDEG pour arriver au sol toujours en feu et provoquer des sautes de feu, alors que les feuilles en feu qui suivent la direction FHIJ ne peuvent pas produire de sautes de feu car elles arrivent au sol éteintes.

La vitesse ascensionnelle des gaz brûlés est maximale au moment où chaque cime d'arbre s'enflamme et paraît subir une explosion, provoquée par le mélange d'essences volatiles et d'air. On a, à ce moment précis des flammes d'environ 70 mètres de haut

Vitesses et températures sur le front du feu

Cette question mérite d'être étudiée, bien qu'il soit très difficile d'y répondre : en effet, d'une part, il est toujours délicat de provoquer un incendie uniquement pour faire fonctionner les pyromètres et d'autre part, au cours des incendies réels, il ne nous vient jamais à l'idée de mesurer les températures.

Néanmoins nous savons que, sur le front de flammes, il se produit des phénomènes thermiques dans lesquels l'air et les gaz brûlés ont une action décisive et qu'en même temps ce front de flammes avance inexorablement vers les végétaux qui l'attendent dans une quiétude fataliste. Dans ces mouvements de gaz, les vitesses sont très différentes dans les diverses parties du front de flammes.

Le fait qu'il y ait des flammes prouve que ce qui est en train de brûler est un gaz et tout se passe comme si la combustion commençait par un gonflement du bois. D'autant que les gaz qui provoquent les flammes sont probablement formés par un ensemble de produits tels que l'alcool méthylique, l'acétone, l'essence de térébenthine, l'eucalyptol, etc., et plus généralement par des produits très volatils mélangés entre eux suivant des proportions très différentes selon la catégorie du bois qui brûle, la température, etc..

En outre, on peut supposer qu'avant que ne se produisent les explosions typiques de ce type d'incendie et donnant lieu à des températures maximales, l'action de la chaleur sur les produits contenus dans le bois provoque d'abord une vaporisation. Puis sous l'action de la chaleur, la pyrolyse engendre d'autre gaz qui, en se mêlant à l'air, donnent des mélanges détonnantes qui brûlent avec des flammes dont la taille démontre une grande abondance de produits volatils.

C'est la raison pour laquelle, quand l'incendie est passé, une petite diminution de la température du bois, provoquée par le balayage de l'air froid (à la manière d'un échangeur de

chaleur), suspend la vaporisation des quelques produits volatils qui restent à la superficie du bois et, ainsi, la combustion cesse complètement. Ce qui n'empêche pas, une heure plus tard, lors d'une reprise par imprudence, le phénomène de vaporisation de se répéter avec une nouvelle apparition de flammes. En effet, ces mêmes produits de pyrolyse auront eu le temps, durant cette fameuse heure, de se déplacer, par dilatation, du centre vers la périphérie de l'arbre dans les branches et les brindilles.

Températures

— Estimée dans les flammes	$\left\{ \begin{array}{l} 1200^{\circ}\text{F.} = 649^{\circ}\text{C.} \\ 1600^{\circ}\text{F.} = 871^{\circ}\text{C.} \\ 1800^{\circ}\text{F.} = 983^{\circ}\text{C.} \\ \{ 700^{\circ}\text{F.} = 371^{\circ}\text{C.} \\ 1100^{\circ}\text{F.} = 593^{\circ}\text{C.} \end{array} \right.$
— De l'ignition des liquides hydrocarbonés	$650^{\circ}\text{F.} = 343^{\circ}\text{C.}$
— Superficie au moment où démarre la combustion	$\left\{ \begin{array}{l} 800^{\circ}\text{F.} = 427^{\circ}\text{C.} \\ 900^{\circ}\text{F.} = 482^{\circ}\text{C.} \\ \{ 400^{\circ}\text{F.} = 204^{\circ}\text{C.} \\ 700^{\circ}\text{F.} = 371^{\circ}\text{C.} \end{array} \right.$
— Des rondins de bois, mais qui ne produisent pas de flammes	
— Combustion sans flammes	

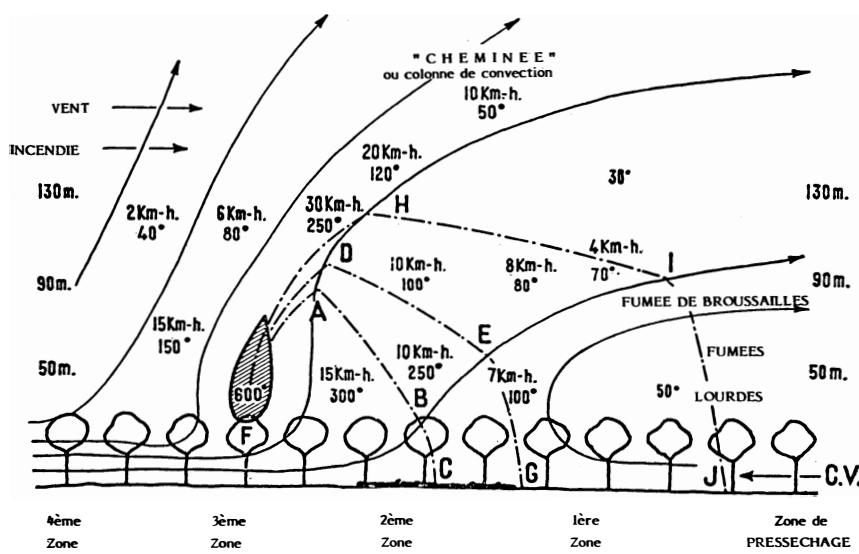


Figure 5

et des températures de l'ordre de 600 °C, ce chiffre correspondant au tiers de la température d'un bec Bun-sen.

Les gaz brûlés montent alors à une vitesse de plus de 20 kilomètres/heure. A 90 mètres de hauteur, la vitesse ascensionnelle semble s'élever jusqu'à 30 kilomètres/heure pour redescendre ensuite à 10 kilomètres/heure à environ 170 mètres au-dessus du niveau du sol, en produisant « un toit de fumée » qui cesse de s'élever vers 300 mètres de hauteur.

Les autres gaz brûlés qui compo-

sent la « cheminée » s'élèvent à des vitesses inférieures et ils semblent avoir des températures plus basses, bien qu'à mesure que se produit l'ascension, tous les gaz tendent à se mélangier peu à peu, jusqu'à former un panache qui monte lentement jusqu'au « toit de fumée ».

La figure 5 indique des vitesses et des températures (en °C) qui ont été estimées à des hauteurs et des positions différentes en supposant une température de l'air de 20 °C et une humidité proche de 50 %.

de dessus, une image linéaire et curviligne, cette zone où se produit l'ascension des gaz brûlés présente, vue de côté, l'aspect d'un rideau vertical lorsque la vitesse du vent est presque nulle. En revanche, quand cette vitesse est très intense, la « cheminée » en forme de rideau s'incline dans le sens de la direction du vent, et cette inclinaison sert d'ailleurs à estimer la vitesse ascensionnelle des gaz brûlés.

Rappelons qu'on a estimé cette vitesse ascensionnelle des produits de la combustion à 30 kilomètres/heure et que la vitesse maximale semble se produire entre 60 et 90 mètres au-dessus du niveau du sol. Ensuite, elle décroît jusqu'à environ 300 mètres d'altitude où elle devient nulle. A cette altitude les gaz brûlés se refroidissent et forment un panache de fumée, qui peut être entraîné latéralement par le vent à plus de 10 kilomètres de distance.

Rappelons aussi que les pommes de pin qui sont projetées à plus 30 mètres de distance proviennent des cimes des arbres dont elle se sont détachées, en flammes, au moment où se produit l'effet de détonation.

C'est pourquoi, le tirage de la « cheminée » n'est pas un phénomène continu, mais il présente des fluctuations de vitesses ascensionnelles qui correspondent aux détonations se produisant de façon discontinue avec des turbulences verticales. C'est pourquoi aussi le rideau des gaz brûlés n'a pas une forme continue, mais ressemble plutôt à une série régulière de « cheminées » alignées tout au long du front de flammes.

La hauteur de ces « cheminées » est très variable non seulement en fonction de l'intensité du feu, mais aussi de la température de l'air et de l'humidité atmosphérique, car elle s'accroît jusqu'à ce que se forme le panache de fumées.

Quand l'atmosphère est à basse température, l'air, entraîné par la « cheminée » et qui arrive de la zone de préchauffage, ainsi que du côté du « contre-vent », refroidit plus rapidement les gaz brûlés; l'incendie ayant alors une intensité moindre, la hauteur de la « cheminée » est, elle aussi, inférieure.

L'humidité atmosphérique joue de même sur la hauteur de la « cheminée » pour deux raisons :

- diminution de la température du front de flammes;
- augmentation de la capacité calorifique du mélange fumées et air humide par rapport à celle de l'air sec.

La vitesse du vent diminue aussi la hauteur de la « cheminée », bien que les températures de combustion soient supérieures, du fait d'un brassage plus intime et plus rapide des gaz brûlés et de l'air frais poussé par le vent.

Les hauteurs maximales de « cheminée » s'obtiennent dans les cas où le vent est modéré et l'air sec et chaud. En revanche les tirages maximaux s'obtiennent dans les cas où le vent est fort (et l'air sec et chaud).

Comment éteindre le feu qui monte dans les cimes

Dans la figure 5 on a fait la distinction entre le feu de broussaille et le feu qui monte dans la cime des arbres.

Il est évidemment impossible de monter à une hauteur de 30 mètres au-dessus du sol pour y intervenir efficacement en vue de l'extinction du feu.

Vouloir abattre les arbres sur une bande de terrain suffisante pour stopper le feu de cimes, c'est gaspiller un travail et un temps précieux.

Et même arriverait-on à arrêter le feu au niveau des cimes, que subsisterait celui des broussailles ! Et une fois passée la zone déboisée, la chaleur dégagée par la combustion de ces broussailles retransmettrait le feu aux cimes des arbres en quelques minutes.

Dans les forêts, le principal avantage du contre-feu, combiné avec l'effet du « contre-vent », vient du fait que les arbres qui dominent la ligne de contre-feu ne subissent pas l'effet de prédésecètement car le tirage de la « cheminée » principale aspire vers elle les gaz brûlés du contre-feu et que les arbres sont refroidis par l'air frais du « contre-vent ».

Supposons que le contre-feu soit allumé du côté droit dans la figure 5, les lignes qui indiquent les mouvements de l'air (fig. 2) montrent que les « fumées lourdes » se trouvent comprises entre l'incendie et le contre-feu.

Lopez de Sà, signale le fait que dans une forêt, lorsqu'on allume le contre-feu au niveau des broussailles, il se produit une altération de la convection thermique qui supprime la combustion au niveau de la cime des arbres.

Pour cela, il est nécessaire d'allumer le contre-feu à une distance telle que les arbres qui dominent la ligne de contre-feu ne soient pas déjà présenchés et sur le point de prendre feu. Une distance de 150 mètres paraît être convenable.

Nous proposons de démarrer le contre-feu à une distance du feu telle que, d'une part, les personnels ne souffrent pas de la forte chaleur de la

radiation provenant de l'incendie et, d'autre part, qu'on ait l'assurance que seules brûleront les broussailles et non les arbres.

En outre, quand le front de flammes s'étend sur une grande largeur et qu'on ne dispose que d'un nombre limité de personnes, il faut, pour allumer le contre-feu, organiser les travaux de telle façon que ces mêmes personnes qui vont allumer le contre-feu sur un certain site puissent disposer des minutes nécessaires pour passer au site suivant.

Pour cela, il convient, dans certaines situations, d'anticiper la rencontre de l'incendie et du contre-feu avant même que ne s'établisse définitivement le courant du « contre-vent »; alors que dans d'autres situations on laissera l'incendie avancer à son rythme normal.

Lopez de Sà estime que l'on peut obtenir cette anticipation de la rencontre incendie/contre-feu à l'aide de feux intermédiaires. Ainsi, on peut mettre un terme à une partie du contre-feu pour gagner les quelques minutes d'avance nécessaires à un déplacement vers une autre partie du front du contre-feu.

Dans les incendies de haut de pentes, ou en cas de vent fort, l'abattage de quelques arbres peut, alors, être utile afin d'éviter qu'une langue de feu n'avance, sous l'impulsion de tourbillons, jusqu'au contre-feu lui-même.

Hauteur et tirage de la « cheminée »

Pour plus de clarté, on a désigné sous le terme de « cheminée » la zone de l'atmosphère où s'élèvent les gaz chauds provenant de la combustion et dont la densité diminue par suite de la dilatation thermique. Cependant, comme le front de flammes donne, vu

Néanmoins, la section de la cheminée étant alors bien supérieure, le refroidissement des gaz brûlés est plus intense car le mélange est plus intime et plus rapide quand l'air est poussé par le vent.

Dans les zones montagneuses, un vent fort produit des tourbillons locaux qui amènent très souvent les fumées à se propager au ras du sol.

Les mouvements de convection en zones montagneuses

Dans tout ce qui vient d'être dit ci-dessus nous n'avons considéré que des terrains horizontaux afin de se limiter à la description des cas les plus simples, mais il est évident que, le plus souvent, les forêts sont situées dans des régions plus ou moins accidentées. Il est donc important d'en commenter les variantes.

Lors d'incendies sur terrains en pente, plusieurs facteurs aggravants entrent en jeu. Le plus important est incontestablement le vent, mais il faut aussi tenir compte du fait que dans ces régions où le combustible végétal abonde, le faible nombre des voies d'accès entrave fortement les actions de lutte.

Quand le vent rencontre une pente ascendante comme sur la figure 6, sa vitesse augmente et ceci peut être catastrophiques car l'utilisation du contre-feu devient beaucoup plus difficile. En effet, dans ces cas la forme du terrain ne permet pas l'arrivée du « contre-vent ».

En revanche, quand le vent pousse le feu sur une pente descendante comme figure 7 le « contre-vent » peut l'atteindre facilement, ce qui diminue la vitesse de propagation du feu.

En outre, quand le vent pousse le feu sur pente ascendante (fig. 6), on voit que le tourbillon de « fumées lourdes » acquiert une importance d'autant plus grande que le « contre-vent » en a peu. Et dans les cas de terrains très pentus, ce « contre-vent » peut disparaître presque totalement, de sorte que les « fumées lourdes » s'approchent tellement du sol qu'elles rendent impossible toute action d'extinction et que les personnels de lutte doivent fuir au plus vite pour ne pas être asphyxiés faute d'oxygène.

Quand le vent pousse le feu sur pente descendante (fig. 7) le « contre-vent » peut arriver jusqu'au front de flammes lui-même, sans que se forme le tourbillon de « fumées lourdes ».

Le préséchage, dû à l'irradiation par le front de flammes des végétaux qui vont brûler dans quelques minutes (fig. 7), se trouve alors réduit et ceci contribue à diminuer la vitesse de propagation du feu.

Au contraire quand le vent pousse le feu sur pente ascendante (fig. 6), le tourbillon de « fumées lourdes » va augmenter et favoriser le préséchage, ce qui augmente la vitesse du feu.

Dans ce dernier cas, le manque de « contre-vent » est remplacé par

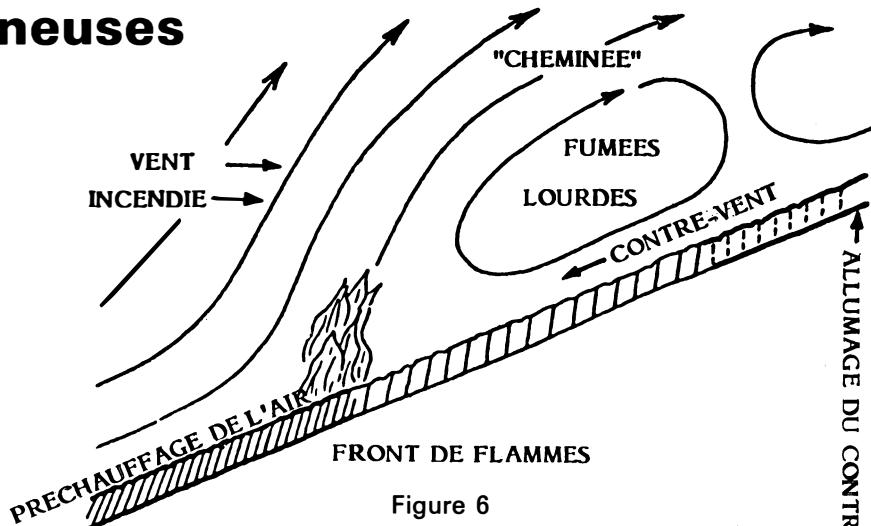


Figure 6

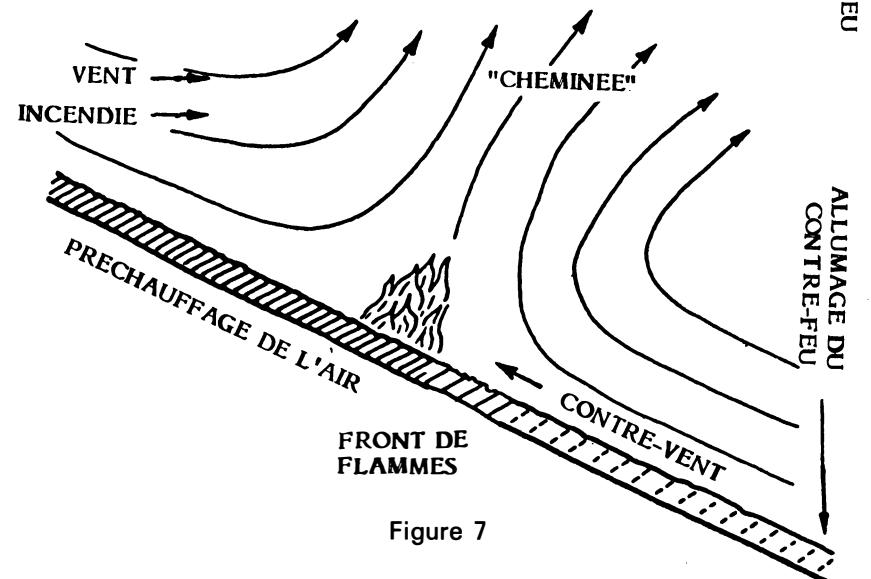


Figure 7

l'existence de courants latéraux, qui apportent de l'air frais par les flancs. Ceci provoque de grandes irrégularités dans la ligne du front de flammes, qui tend à avancer sous forme de langues de feu localisées et de façon irrégulière par rapport à la ligne normale du front de flammes.

Au contraire quand le feu descend, il n'existe pas de courants latéraux et, donc, le front de flammes tend à former une ligne rectiligne parallèle aux courbes de niveau.

Dans ce cas (fig. 7) on peut donc allumer le contre-feu à une distance assez réduite, sans danger pour les personnels de lutte et ainsi éteindre un feu en quelques minutes.

En revanche, dans les cas de feux ascendants (fig. 6) il existe de nom-

breux dangers : celui du grand tourbillon de « fumées lourdes », celui de voir se former des langues de feu qui devancent le front de flammes, celui de modifications inopinées au niveau de la localisation des courants d'air latéraux, et qui sont imposées par le relief du terrain.

C'est la raison pour laquelle dans les cas de feux ascendants (fig. 6), il ne faut envisager le contre-feu qu'à une distance assez grande du front, quitte à établir aussi des contre-feux latéraux. On peut ainsi, par un mouvement d'encerclement total, compléter le contre-feu frontal, réalisé assez loin devant l'incendie, par la mise en place de contre-feux latéraux à plus faible distance, en profitant des courants d'aspiration qui se produisent sur les flancs de l'incendie.

Modification du vent par le relief

Comme on l'a déjà dit, on s'est limité jusqu'à présent à l'étude du mouvement des gaz dans un plan vertical et on a supposé que le vent se déplaçait à une vitesse constante et avec une direction invariable.

En réalité, le vent local est en relation avec des **mouvements atmosphériques de grande étendue**, dont les déplacements se font à des vitesses variables. Par conséquent, les zones de contact entre des masses d'air contigus, donnent lieu à des mouvements cycloniques locaux et provoquent des changements fréquents de la direction et de l'intensité du vent.

Ceci se manifeste, en pratique, par des changements de direction de la « cheminée » auxquels correspondent des variations dans la vitesse d'avancement du front de flammes. A ceci s'ajoutent, en outre, les changements de direction et de vitesse du vent lors de sa rencontre avec une montagne perpendiculaire à sa trajectoire.

En supposant même que le vent se maintienne avec une vitesse et une direction constantes, le relief du terrain provoquera des modifications et de cette vitesse et de cette direction d'autant plus importantes que le vent est fort. Ceci a évidemment une influence majeure sur l'ensemble incendie/contre-feux et oblige à tenir compte, lors de la réalisation d'un contre-feu, de toutes les possibilités de sautes de vent éventuelles.

Le vent a, en général, une direction horizontale, mais quand il se heurte à des terrains montagneux, celle-ci peut changer et, dans les zones proches du sol, devenir quasiment parallèle à ce dernier.

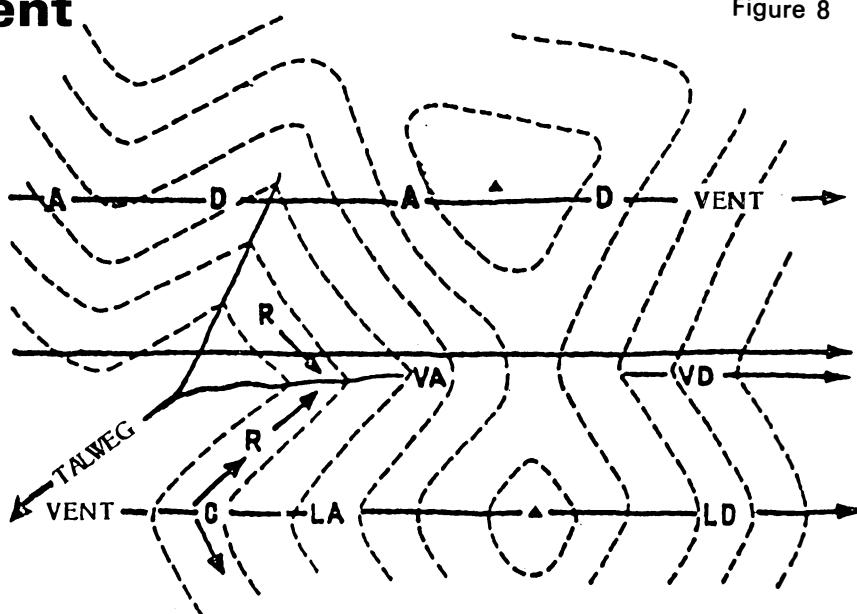
Au fur et à mesure que le vent parcourt un relief montagneux sillonné de bosses et de creux, il se verra obligé de modifier sa marche par des changements de vitesse et de direction dont les composantes verticales ascendantes ou descendantes influeront évidemment sur l'apport d'air au feu et donc sur les mouvements de convection.

Quand le feu se heurte à un versant (fig. 8), il se produit une composante ascendante (A), alors qu'en s'approchant du talweg la composante verticale devient descendante (D).

Ce phénomène désoriente parfois les personnels qui luttent contre l'incendie quand ils constatent que le vent peut varier de façon aussi capricieuse. Ainsi, alors qu'ils étaient en train d'effectuer des travaux en tournant le dos au vent, ils se voient obligés de les interrompre car brutalement ce vent s'est arrêté et est réapparu, tout-à-coup, latéralement ou même de face.

Quand le vent arrive sur un terrain montagneux (voir figure 8) en remontant le lit d'une vallée il s'engouffre dans la vallée (VA) et il se forme alors un « siffle vent », dont l'intensité est

Figure 8



augmentée sur les deux versants latéraux.

Sur l'autre versant quand le vent redescend vers l'aval (VD) il se passe exactement le contraire et l'air tend à s'étaler et à ralentir de sorte que la vitesse du vent diminue.

Quand le vent arrive sur une crête

ascendante (CA) tout se passe comme s'il était partiellement coupé par une lame (C) (fig. 8), ainsi l'air tend à s'étaler des deux côtés de la colline. En revanche sur les crêtes descendantes (CD) les vitesses sont supérieures à celles qu'on trouve dans le talweg (VD).

L'effet de Fourche

Les incendies importants se caractérisent par l'apparition de langues de feu qui provoquent des irrégularités dans la ligne du front de flammes. Ce phénomène se présente notamment en haut des pentes, sous l'impulsion des rafales de vent s'engouffrant dans les vallées.

Ces irrégularités sont **extrêmement dangereuses** car elles ont très souvent provoqué l'encerclement des personnels qui luttent contre le sinistre, et ont mis leur vie en danger, de multiple façon :

— tout d'abord du fait de l'arrêt total du « contre-vent » et donc de l'apport d'air frais;

— ensuite par une accumulation de gaz brûlés, privés d'oxygène, qui asphyxient les personnes encerclées par le feu (alors que les végétaux ne sont pas encore brûlés).

Dans les incendies sur terrains vallonnés, certains éléments contribuent à aggraver le danger : notamment le fait que, sur les crêtes, il y a en général moins de broussailles et de matériel combustible que sur les versants adjacents. De plus, il est fréquent que ceux qui travaillent sur les crêtes se déplacent et agissent avec plus d'efficacité que ceux qui travaillent sur les pentes contiguës. En effet, ceux-ci doivent évoluer sur des terrains plus difficiles, ce qui diminue leur rendement, et ils sont souvent obligés de fuir le feu quelques minutes plus tôt. Enfin la courbure de la colline y rend plus difficile la communication orale.

Ce phénomène s'aggrave encore fréquemment quand la crête de la colline présente un profil en travers convexe. En effet, dans ce cas, les pentes les plus fortes se trouvent au

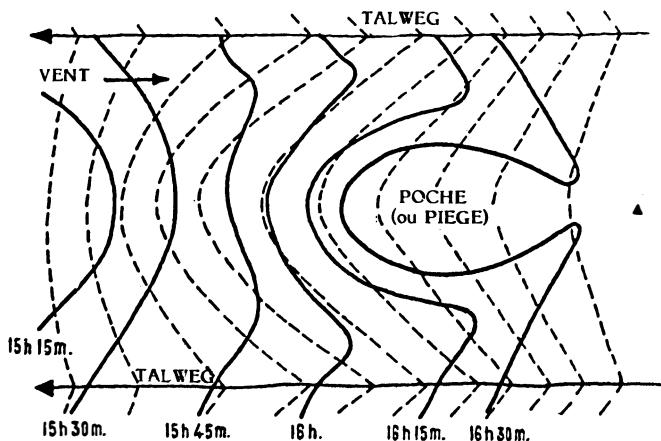


Figure 9

bas de la crête et en haut de la vallée. Un terrain de ce type est représenté sur la figure 9, les courbes de niveau étant schématisées par des pointillés.

Supposons que le feu arrive ou démarre au bas de la crête de cette colline à 15 heures et qu'un vent modéré le pousse vers le haut. A 15 heures et 15 minutes la propagation se sera faite de préférence vers le haut de cette crête.

Stagnation de l'air dans les vallées très étroites

Dans les vallées très étroites, il arrive parfois que l'air, enfermé entre des montagnes très abruptes, stagne, alors qu'au-dessus les vitesses de l'air varient en fonction des changements de direction du vent.

Un cas typique de ce phénomène se produit lorsque le vent souffle perpendiculairement à la direction de la vallée ou lorsque la vallée présente des virages serrés : l'air des zones basses stagne, se maintenant dans une relative tranquillité, alors que les couches supérieures de l'atmosphère se déplacent à grandes vitesses.

Quand le vent subit des changements de direction, il s'engouffre parfois dans la vallée à des vitesses relativement grandes. S'il revient ensuite à sa direction primitive, le phénomène de stagnation se reproduit. Ces changements provoquent des variations importants dans la vitesse

Cependant, les courants d'air remontant la vallée ont tendance à faciliter la propagation sur les versants, alors que les gaz, privés d'oxygène, et provenant de la combustion entraînent la propagation vers la crête. Ainsi comme le montre, suivant les phases successives, la figure 9 il finit par se créer une « Poche » (le piège) à 16 heures et 30 minutes.

vitesse diminue, alors que si elle décroît, ce qui correspond à une grande sécheresse, on peut atteindre des vitesses de propagation élevées.

La température de l'air est un autre facteur qui influe positivement et de façon notable sur la vitesse de propagation du front de flammes. Si, par exemple, la température de l'air n'est que de l'ordre de 10°C, le feu se déplacera lentement, alors qu'avec 20°C la vitesse de propagation sera nettement supérieure.

L'humidité des broussailles ou des arbres qui brûlent influe aussi sur la propagation de l'incendie. Un combustible humide doit évaporer toute l'humidité qu'il contient avant de prendre feu, cela représente une chaleur et par conséquent une consommation d'énergie qui réduit la vitesse du feu.

Tout au long des 24 heures de la journée, l'ensemble humidité et température varie sans cesse, ce qui induit des variations notables de la vitesse de propagation. Les plus grandes vitesses se produisent dans l'après-midi, alors que le matin, avant le lever du jour, les vitesses sont les plus basses, c'est le moment idéal pour préparer le contre-feu.

Les prévisions météorologiques sont très importantes dans la stratégie à adopter pour l'extinction d'un incendie, car, il convient de démarrer le contre-feu à un moment où la vitesse du vent est minimale et où ne se produira aucun changement de direction comme cela pourrait se produire au contact d'un front chaud.

Néanmoins dans la plupart des cas, il n'est pas possible d'attendre le moment où toutes ces conditions seront favorables, et il est urgent de couper l'avance du front de flammes le plus tôt possible afin que les dégâts soient réduits au maximum. Parfois, cependant, ce désir d'éviter, dans la mesure du possible, les dégâts provoqués par le feu, nous amène à commettre des erreurs dans le calcul de la distance. Supposons alors que la ligne de feu atteigne la ligne de contre-feu avant que ce dernier ne soit allumé : nous aurions perdu tout le travail effectué. D'où l'intérêt de garder une certaine marge de sécurité en prévision de retards éventuels dans l'établissement de la ligne de contre-feu.

Vitesse de propagation du feu

La vitesse de propagation du front de flamme doit être estimée dès que l'on arrive sur le théâtre des opérations d'extinction. Cette estimation a pour but primordial de calculer la distance à laquelle devront se trouver les brigades d'extinction tout au long de la future ligne de contre-feu afin de leur laisser le temps de réaliser tous les travaux préparatoires avant que le front de flammes n'arrive.

Une vitesse moyenne de 5 kilomètres/heure représente une vitesse maximale pratique qui est rarement atteinte par la ligne de feu, mais que les langues de feu peuvent légèrement dépasser en vitesse instantanée.

Une vitesse moyenne de propagation (d'avancement) de la ligne de feu de 2 kilomètres/heure représente une bonne estimation pour travailler sur un terrain boisé plat, avec des vents normaux ou sur des terrains peu pentus et couverts de broussailles de petite taille. Quand l'incendie se propage en descendant ou que l'atmosphère est assez humide, il peut y avoir des vitesses inférieures à 1 kilomètre/heure.

En zone de pinèdes denses et si le feu remonte la pente, sa propagation peut atteindre des vitesses de l'ordre de 10 kilomètres/heure ou même légè-

rement plus si le feu s'engouffre dans une vallée encaissée couverte d'une grande quantité de combustibles.

Alors la vitesse moyenne de propagation (et d'avancement) de la ligne de feu peut s'estimer à 10 % de la vitesse du vent. Ainsi, un vent de 40 kilomètres/heure détermine une propagation de l'ordre de 4 kilomètres/heure.

L'humidité atmosphérique a, elle aussi, son influence, de telle sorte que si l'humidité relative est importante, la

Temps et distance entre feu et contre-feu

Losqu'éclate un incendie, il se passe quelques minutes et même quelques heures parfois, avant qu'on n'en ait connaissance. Pendant ce temps, le feu a avancé jusqu'à une ligne qui constitue notre point de départ des travaux d'extinction.

Avant de mettre en œuvre le contre-feu, il faut tenir compte du temps qui va s'écouler avant que les brigades intervenant dans ces travaux ne puissent prendre position au niveau

même du front de contre-feu. Cette première phase a une très grande importance, étant donné que toute perte de temps retarderait la mise à feu. Le meilleur équipement préventif est donc la construction de pistes permettant le transport rapide des personnes et du matériel jusqu'au front du contre-feu.

Il faut aussi prendre en considération une seconde phase qui correspond au temps mis pour établir les

éléments d'appui du contre-feu (tels que tranchées, débroussaillements, abattages d'arbres, etc.), dans le but de s'assurer que le contre-feu se dirigera bien dans la direction voulue.

Enfin la phase d'allumage du contre-feu, de telle façon qu'il ne changera pas de direction, constitue un troisième laps de temps qu'il faut prendre en compte dans tout travail d'extinction afin d'éviter que l'incendie n'arrive plus tôt que prévu sur la ligne de contre-feu choisie à l'avance, sinon tout est à refaire.

Ceci nous amène à conclure que le contre-feu doit être établi, le plus près possible de l'incendie, afin de limiter au maximum les dégâts, mais suffisamment loin cependant, pour avoir le temps de mettre en œuvre les trois phases nécessaires à son établissement. Et tout cela pendant que l'incendie dévore des zones qu'on a abandonné d'avance en sachant qu'il serait impossible de les protéger du feu compte tenu des moyens dont on dispose.

Pour déterminer la distance « incendie/contre-feu », on se fonde donc sur la durée des trois phases déjà citées, et sur la vitesse de propagation du feu. Comme cette vitesse est, elle-même, fonction de facteurs très variables, cette distance « incendie/contre-feu » peut atteindre des dimensions très diverses.

Par exemple, si la vitesse de propagation du feu est de 3 kilomètres/heure, et si l'on juge que la durée des trois phases nécessaires à la préparation du contre-feu peut atteindre 20 minutes, la distance à laquelle doit être établi le contre-feu sera de 1 kilomètre.

Dans l'exemple précédent à chaque minute qui passe, le feu avance de 50 mètres, d'où l'importance d'agir avec rapidité pour réunir la brigade d'extinction et l'envoyer sur les lieux de l'action.

Sur les terrains boisés, la vitesse de propagation étant supérieure, il faut agir à des distances allant de 2 à 3-kilomètres, alors que dans les incendies de broussailles, la vitesse est inférieure, et donc, on peut travailler à une distance de l'ordre du kilomètre.

Quand l'incendie escalade un versant très boisé, les distances sont de l'ordre de 1 à 2 kilomètres, alors que quand il redescend sur l'autre versant, les distances ne sont plus que d'environ 100 mètres.

Dans les cas les plus défavorables et les plus difficiles, comme par exemple lorsque l'incendie monte vers le sommet d'une colline, ces distances sont si grandes, qu'elles obligent à condamner des surfaces importantes avec tout ce que cela comporte de destructions.

Cependant, on peut parfois aussi diminuer ces distances en profitant des effets de relief qui modifient la direction du vent.

Malgré tout, l'opération d'allumage du contre-feu ne doit se faire que lorsque l'incendie est relativement

proche, car c'est ainsi que l'on obtient un effet puissant du « contre-vent », sans oublier cependant que l'intensité du feu peut être très variable et donc que la distance d'allumage du contre-feu varie en conséquence.

En règle générale, on peut affirmer que le contre-feu ne doit être allumé que lorsque l'on sent une forte aspiration du « contre-vent ». Cela peut

se produire à une distance de 150 mètres du front de flammes dans les incendies de forêts de pins très denses avec vent fort, et, à une distance de 20 mètres dans les feux de broussailles. On peut donc dire que la distance approximative à laquelle doit être allumé le contre-feu dans des conditions moyennes, est de 50 mètres.

Contre-feu sur les collines

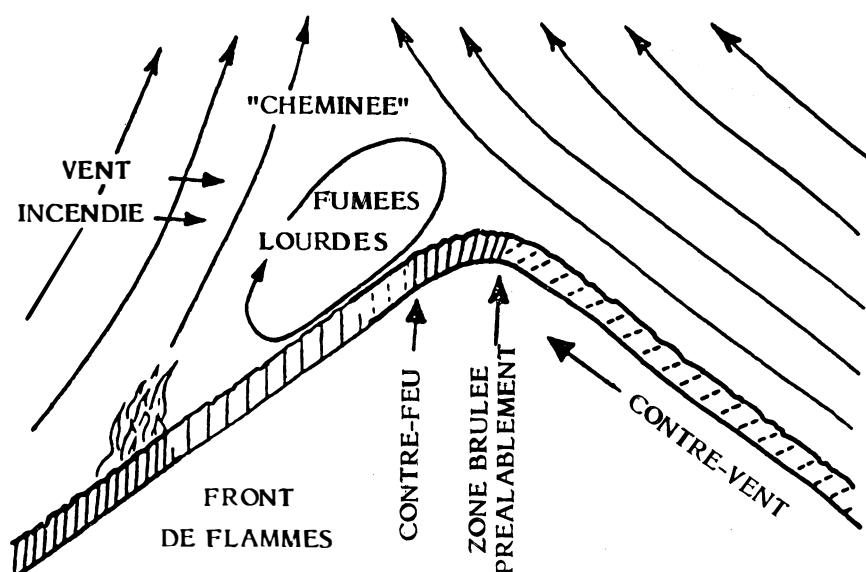


Figure 10

Dans la figure 9 on a décrit l'effet de fourche qui se produit sur les collines ou sur les lignes de partage des eaux, quand la direction du vent est parallèle à celle de la crête.

Par contre, quand cette direction est perpendiculaire à la direction du vent, on a généralement une situation idéale pour l'établissement du contre-feu.

La figure 10, montre, en coupe verticale, cette situation où l'on suppose que l'incendie est poussé vers le haut de la colline. S'il doit parcourir un long versant, on peut essayer de l'attaquer avant la crête comme cela est expliqué plus loin. En revanche, si le versant est court, ou très pentu, ou si la vitesse du vent est très grande, autrement dit, si la vitesse du front de flammes est considérable, le système le plus efficace et le plus sûr est de l'attendre sur la crête de la colline ou sur la ligne de partage des eaux, selon les cas ci-après.

Quand il s'agit d'une ligne de partage des eaux on peut attendre le feu sur la crête, non seulement quand le vent souffle parallèlement à la direction de cette crête, mais aussi dans les cas où il l'attaque sous un angle de 45° et même plus. C'est la situation idéale car elle tolère toutes sortes d'applications, même dans les cas, où l'on risque une éventuelle saute inattendue de la direction du vent.

Quand on est sur la ligne de partage des eaux, l'effet de fourche n'est pas à craindre même si le vent souffle presque dans la direction de cette ligne, de sorte que ce système est le plus sûr quant au danger auquel sont soumis les personnels qui luttent contre l'incendie.

Toujours dans ce cas, on peut préparer le terrain en allumant avec une certaine anticipation, sur le versant en feu et à une distance d'environ 5 à 10 mètres de la crête, un feu tactique, dans les broussailles. Ainsi, ce feu tactique en brûlant dans le sens du vent, par petites bandes, sera très facile à éteindre quand il atteindra la crête, et ceci avant que le front de flammes n'ait pu s'en approcher.

Ensuite, cette zone brûlée préventivement peut servir d'appui au contre-feu proprement dit, quand on le rallume au bon moment afin qu'il prenne sa direction normale, à la rencontre de l'incendie.

Comme on le voit sur la figure 10, le tourbillon de « fumées lourdes » ne dépasse pas la crête sur la ligne de partage des eaux, et ceci grâce à l'action du « contre-vent » qui y est très intense. C'est la raison pour laquelle nombre d'incendies s'éteignent d'eux-mêmes en arrivant sur cette ligne de partage des eaux.

Quand il s'agit de la crête d'une petite colline on peut faire la même chose, mais dans ce cas le succès n'est assuré que lorsque le vent souffle presque perpendiculairement à cette crête.

Dans le cas où l'on essaie de réaliser un contre-feu sur le sommet d'une petite colline, on prend le risque de voir le vent changer de direction et le feu produire un effet de fourche. C'est

pour éviter cela qu'il faut réaliser certains travaux préparatoires au contre-feu dont nous allons parler plus loin.

Dans le cas d'un contre-feu sur une colline, le danger principal est celui d'un changement brutal de la direction du vent à la suite d'une modification des grands courants dûs aux dépressions atmosphériques. Cependant cela peut être prévu, soit par les informa-

tions du Service Météorologique, soit en maintenant en alerte tout le réseau de surveillance qui annoncera par radio tout changement de direction du vent.

Ainsi, si un vent très violent associé à des mouvements atmosphériques de type cyclonique arrive d'Ouest en Est, le guetteur le plus proche situé à l'Ouest de l'incendie peut prévenir le réseau à tout moment.

Contre-feu au milieu d'un versant

Le cas le plus difficile et qui comporte le maximum de risque c'est celui de l'incendie qui monte le long d'un versant. Dans ce cas, il est très périlleux d'établir un contre-feu surtout si l'on doit l'allumer à mi-pente.

Néanmoins il peut se présenter des cas où il s'avère indispensable d'éviter que le feu n'atteigne la ligne de crête, notamment s'il existe une zone boisée de grande valeur qu'il convient de sauver.

On peut tenter d'y arriver, s'il existe sur le versant des pistes qui puissent servir d'appuis au contre-feu, et si le vent n'a pas une vitesse excessive compte-tenu de la pente du terrain. La situation est encore plus favorable s'il existe des chemins ou des sentiers de plus d'un mètre de large, plus ou moins parallèles, et à une distance d'environ 50 à 100 mètres les uns des autres.

Supposons (figure 11) que le feu ait pris en-dessous du chemin du bas, ou qu'il l'atteigne après avoir brûlé d'autres terrains. Si l'on peut allumer le contre-feu sur le chemin du haut, il convient alors de le faire quand le front de feu se trouvera à environ 50 mètres de distance de ce chemin du haut, et ainsi de suite, au fur et à mesure que le front de feu s'approchera à une distance de moins de 50 mètres de ce chemin.

Le premier point d'allumage du contre-feu tend à former une zone d'appui qui favorise l'arrivée des courants d'air latéraux. Ceux-ci, même en l'absence de « contre-vent », entraînent un apport d'air frais indispensable au personnel de lutte.

Une fois cet appui de feu réalisé, il faudra installer deux équipes qui puissent, sans sortir du chemin, se déplacer de part et d'autre de cet appui pour allumer le contre-feu, à mesure que l'incendie approche. De cette façon, l'incendie se trouve stoppé sur le chemin du haut, jusqu'à ce qu'il arrive, des deux côtés, en des points où l'on pourra mettre en place des contre-feux latéraux.

Une grosse erreur, qu'il est facile de commettre dans ces cas-là, consiste à allumer le contre-feu sans attendre l'arrivée de l'incendie ! Lorsque cette erreur est commise, l'opposition entre les deux feux et leurs colonnes de convection respectives de gaz brûlés, n'existe plus. Le

contre-feu se transforme alors en un second incendie qui montera, poussé par le vent, vers le haut du versant, sans qu'on ait aucune possibilité de le stopper.

Dans ces cas-là une tactique s'impose, elle consiste à allumer le feu simultanément sur le chemin du haut et sur celui du bas, on se trouve alors à nouveau en présence d'un ensemble de deux feux opposés ainsi que de leur deux colonnes de convection ou

« cheminées », et qui avancent en sens contraire jusqu'à se précipiter l'un sur l'autre.

Le problème qui se pose alors, c'est l'avalanche de pommes de pin et de feuilles enflammées qui tombent au-delà du chemin du haut et qui provoquent des feux naissants qu'il faut éteindre au plus vite à la lance à eau ou à l'aide de branchages quand on ne dispose pas d'engins.

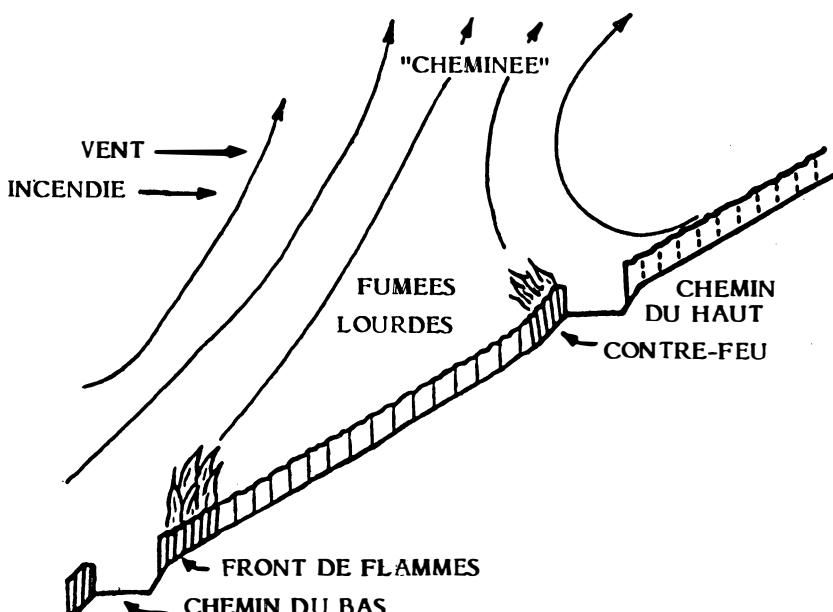


Figure 11

Maintien de la communication orale

Dans ce type de situation, les zones de lutte sont : le chemin du bas, le chemin du haut, les deux flancs et la zone d'extinction des feux naissants provoqués par la pluie de pommes de pin et de feuilles en feu.

Dans tous les incendies, il existe diverses zones de lutte, et il est fondamental de maintenir un contact verbal permanent entre toutes les personnes qui y travaillent. Les radio-

téléphones sont d'une grande utilité mais il peut arriver que l'on doive démarrer les travaux avant que les moyens mécaniques n'aient pu être acheminés. D'ailleurs, même en disposant de ces moyens, il est nécessaire de maintenir cette communication orale entre tous les personnels afin d'éviter l'encerclement de certains entre deux langues de feu (piège).

Coordination des travaux

Comme on l'a déjà dit, il y a des travaux divers à réaliser dans des endroits différents, simultanément et dans un temps limité.

Mais tous ces travaux ne peuvent pas se faire en même temps car on ne peut compter que sur un nombre limité de personnels ayant déjà accompli de gros efforts pour arriver à l'endroit même de l'incendie, et qui ont donc déjà dépensé un temps précieux pendant lequel le feu a avancé jusqu'à une position propice au démarrage des travaux d'extinction.

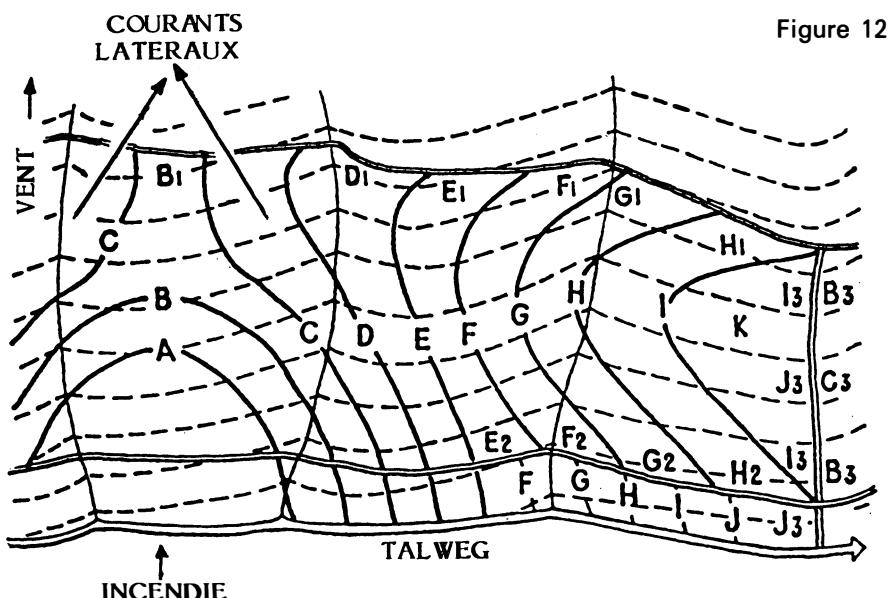
On va prendre comme exemple le cas le plus difficile, quand le feu remonte le versant et que l'on désire le stopper vers le milieu de ce versant comme on l'a déjà schématisé figure 11. On suppose, en outre, que ces travaux doivent s'effectuer de nuit, ce qui arrive fréquemment.

Admettons que l'on désigne par les lettres A, B et C, les phases d'action successives de 15 en 15 minutes, et par les chiffres 1, 2 et 3 les différents établissements de lutte. Et supposons que notre action commence quand la ligne de feu atteint la position A, et que, pendant que l'on réalise les travaux, le feu a avancé jusqu'à la position B.

On commencera donc par établir le contre-feu en B1, en s'appuyant sur le chemin du haut (figures 11 et 12). Grâce à cela, au bout de quinze minutes, on aura obtenu un appui de feu CC, pour lequel nous n'aurons pas de « contre-vent » mais où en revanche on pourra profiter des courants latéraux qui amènent de l'air frais.

Si on poursuit sur chaque flanc, uniquement sur le chemin du haut, la même démarche d'allumage de contre-feux en C1, D1, E1, F1, G1, on risque, en arrivant à la position H1, si l'on a poussé le contre-feu de façon excessive par rapport à l'incendie, que le vent provoque une saute du feu par-dessus le chemin et que celui-ci poursuive sa marche vers le haut du versant. Cela reviendrait à rendre tout notre travail inutile.

Il convient donc que le feu et le contre-feu avancent simultanément, et pour cela il faut, dès que possible, envoyer une équipe sur le chemin du bas afin de réaliser des mises à feu sur



les positions E2, F2, G2 et H2, devançant ainsi la marche normale de l'incendie. On obtient ainsi une poche non brûlée sur la position K, dans la zone comprise entre les deux chemins et où l'on pourra attaquer le flanc de l'incendie dans les temps et positions I3 et J3.

Pour que cela soit possible, il faut préparer l'allumage du contre-feu, le plus tôt possible, en B3 et C3, par la coupe des arbres, le débroussaillage et l'ouverture d'une tranchée à partir de laquelle on pourra mettre en œuvre les contre-feu I3 et J3.

En outre, bien que le feu ait pu être ainsi contenu sur le chemin du haut, on ne pourra éviter la pluie de pommes de pin et de feuilles en feu, qui risquent de provoquer des éclosions nouvelles qu'il faudra éteindre immédiatement.

Quoiqu'il en soit, même s'il existe un talweg ou une barrière infranchissable par le feu et capable d'empêcher sa propagation en sens contraire du vent, il faut impérativement prévoir une équipe chargée d'éviter que ne se produisent de nouvelles éclosions, et pour couvrir le risque d'un changement de direction du vent.

propager suivant des courbes concentriques, et il faut donc arriver à le guider dans la direction désirée, en l'éteignant même parfois pour éviter un développement dans le sens de la direction du vent.

Lorsqu'on s'appuie sur un chemin pour allumer le contre-feu, on peut facilement obtenir qu'il se dirige dans le sens contraire de la direction du vent, car ces mises à feu ponctuelles ne peuvent pas traverser le chemin fâche de combustible.

Mais lorsqu'un tel chemin n'existe pas, on s'assurera que le contre-feu va se propager dans la bonne direction en créant une coupure de combustible par débroussaillage (au coupe-coupe) ou par défrichement du terrain à la houe ou à l'aide d'un tracteur muni d'une charrue à versoir.

Il existe un système efficace qui consiste à faire deux passages de charrue à 15 ou 20 mètres de distance et à brûler aussitôt la zone comprise entre ces deux sillons avant le moment propice pour démarrer le contre-feu.

Quand le temps presse, un seul sillon peut suffire, le long duquel on réalisera immédiatement la mise en œuvre du contre-feu.

Les arbres de cette zone doivent être abattus à la tronçonneuse, en provoquant leur chute vers le feu, ainsi, les cimes des arbres abattus pourront servir d'allumage. Il convient de les traîner jusqu'à ce qu'elles dépassent cette ligne en direction de l'incendie.

Il faut donc, couper la propagation de l'incendie, tant au niveau du sol qu'au niveau des cimes des arbres, afin d'éviter son extension de branche en branche, ou de buisson en buisson et, pour cela, il est utile d'avoir des faux munies de manches.

Eléments d'appui du contre-feu

La figure 11 nous a permis de commenter la possibilité d'établir un contre-feu, sur un chemin ou un sentier. Dans ce cas, cette préparation a une double finalité : d'une part faciliter l'accès au territoire qui brûle et d'autre part s'assurer que le contre-feu se développera bien suivant une direction aussi anti-naturelle que la direction contraire à celle du vent.

L'apport d'eau pulvérisée par des véhicules à motopompes a le grand avantage d'apporter de l'humidité et de refroidir l'air du « contre-vent », mais cela n'est possible que s'il existe des chemins appropriés, ce qui est très rare.

Dans les endroits d'accès difficile, des seaux-pompe, portés à dos d'homme, peuvent accomplir un travail efficace; ces extincteurs ont une capacité de 20 litres, on les actionne à la main et l'eau sort sous forme pulvérisée.

Ces extincteurs sont très employés pour éviter les reprises de feu, pendant plusieurs heures après l'incendie (et même pendant plusieurs jours) en apportant de l'eau pulvérisée sur les broussailles et les souches qui reprennent feu à la suite des combusions souterraines couvant entre les racines des végétaux.

La principale utilité des systèmes d'apport d'eau pulvérisée consiste tout d'abord à obliger le contre-feu à se propager en sens contraire de l'incendie, et ensuite à éviter que ne se produisent de nouvelles éclusions en

arrière du contre-feu. Si par hasard on ne dispose pas de ces outils, on peut réaliser cette mission en battant le feu avec des branchages.

Comme les feux de forêts se produisent souvent l'après-midi et que les travaux d'extinction doivent parfois se poursuivre la nuit, il est conseillé de se munir de **torches en papier goudronné** pour deux raisons : moyen d'éclairage et d'allumage du contre-feu.

Tous les outils mécaniques ou autres, bien qu'utiles, ont cependant l'inconvénient de demander un temps précieux pour leur transport depuis leur garage jusqu'au lieu de l'incendie qui se déclenche toujours là où on l'attend le moins. C'est pourquoi cet article est délibérément orienté vers les moyens de lutte rapide, en partant du principe que les travaux d'extinction doivent commencer le plus rapidement possible après l'éclusion de l'incendie. En effet, dans nombre de cas, nous n'avons même pas le temps de disposer d'autres choses que des outils manuels que peuvent avoir les personnes qui tentent, sur place, l'extinction.

par une vigie munie d'un radiotéléphone et postée généralement vers l'ouest de l'incendie. On peut aussi tenir compte de ces éventuels changements de direction du vent et prévoir le contre-feu de telle façon que l'on puisse en couvrir le risque.

Un autre motif de déconvenue peut se présenter quand le contre-feu a été allumé trop tard et quand l'incendie s'est déjà avancé sur la ligne de contre-feu. En règle générale, il est toujours préférable d'allumer le contre-feu un peu trop tôt plutôt que trop tard !

Il n'est pas sans intérêt de rappeler qu'il est inutile d'allumer un contre-feu, là où il n'y a pas encore d'incendie. Le contre-feu s'élance alors sur les sauveteurs sans qu'ils n'aient d'autre alternative que d'abandonner tout le travail déjà fait.

D'où l'intérêt de toujours considérer le couple « incendie/contre-feu » comme un ensemble de forces colossales, mais contraires, que nous ne pourrons dominer que si nous arrivons à maintenir cet équilibre antagoniste.

Un fait plutôt dramatique qui se produit dans les incendies de forêts, et qui peut rendre inutile le contre-feu; c'est la fuite des animaux à poils comme les lapins et les lièvres. En effet, face à une telle catastrophe, ils tentent tout d'abord de se réfugier dans leur terrier. Puis lorsqu'ils comprennent leur erreur et sortent pour essayer de fuir, ils se transforment alors en **torches vivantes** qui courrent sans s'arrêter pour échapper à leurs propres flammes semant le feu sur toute leur trajectoire.

Dans d'autres cas, les oiseaux, qui ont laissé leur couvée dans des zones qui sont à présent en flammes, tentent de venir les sauver. Puis quand leurs plumes commencent à brûler, ils traversent, dans leur fuite éperdue, non seulement les contre-feu, mais aussi des barrières aussi infranchissables par le feu que des lacs et des étangs.

Echecs pouvant se produire dans un contre-feu

L'établissement d'un contre-feu exige une coordination absolue de tous les personnels de lutte et l'exécution de toute une série de tâches suivant un emploi du temps très précis. De plus, une fois obtenue l'extinction de l'incendie, il faut instaurer une surveillance extrêmement attentive de tout le territoire brûlé afin d'éviter toutes nouvelles reprises du feu.

Les gens qui ont travaillé dans ce genre d'incendie savent très bien que les plus graves sont ceux qui proviennent de reprises de feux déjà éteints et qui n'ont pas été suffisamment surveillés après leur extinction.

Les échecs les plus graves sont dus souvent à un contre-feu non terminé, soit parce que la tâche n'a pas été accomplie dans le temps imparti, soit par suite d'erreur de calcul sur les temps et les distances, soit, (et cela est le plus lamentable) pour avoir voulu sauver des zones qui de toute façon n'auraient pas pu l'être.

Nombre d'échecs sont dus au manque ou à l'insuffisance des tranchées ou des sillons qui servent d'appui au contre-feu, ou bien au fait que le contre-feu ne s'est pas développé dans la direction prévue.

Souvent, quand le contre-feu n'a pas suivi la direction prévue, ou si on l'a abandonné avant d'être sûr que cette direction était la bonne, on est contraint dans ces cas là d'allumer de nouveaux contre-feux à plusieurs centaines de mètres plus loin, avec tout ce que cela représente de perte d'efforts, de temps et de richesse.

Il faut prêter une attention toute particulière aux nouvelles éclusions dues à la chute des feuilles et des pommes de pin en feu, car, cela aussi peut amener de sérieuses déconvenues dans l'établissement d'un contre-feu.

Il arrive fréquemment aussi que le vent change brusquement de direction. Il est alors très important d'être informé à temps de ces changements. Ces informations peuvent être données

Effets de retardement par des produits chimiques

L'avance du front de flammes peut être ralenti grâce à des produits chimiques. On obtient de bons résultats avec le sulfate d'ammonium. Peu coûteux, on le trouve un peu partout et il n'est pas toxique en petites quantités.

Aux Etats-unis, on emploie le sulfate d'ammonium en solution aqueuse à laquelle on ajoute un colorant rouge

pour signaler les zones traitées et repérer son parcours dans la grisaille des fumées de l'incendie, notamment lorsqu'il est largué par avion.

Une solution à 50 % d'eau et 50 % de sulfate d'ammonium donne de bons résultats quand on l'applique en pulvérisation d'eau de type OVAC.

SYNTHESE DES RECOMMANDATIONS

Tout ce qui précède peut se résumer en quelques normes d'application pratique :

1. — Avant d'allumer le contre-feu s'assurer qu'en chaque point, et au moment de la mise à feu il s'est bien établi un « contre-vent » entraînant les flammes vers l'incendie principal. Ceci peut se vérifier facilement par l'orientation de la flamme d'une allumette, d'une torche ou de tout autre appareil servant à allumer le contre-feu.

2. — Une fois le contre-feu allumé, surveiller son évolution en éteignant, après le passage des flammes, les zones qui sont encore en ignition et en ayant soin d'éteindre en même temps d'éventuels foyers secondaires qui se créeraient en dehors de la zone destinée à être brûlée, afin que le contre-feu ne progresse qu'en direction de l'incendie.

3. — Ne pas allumer le contre-feu sur une largeur supérieure à celle que l'on peut contrôler et n'assigner à chaque personne qui travaille sur la ligne de contre-feu que la responsabilité des 5 mètres qui se trouvent à sa droite et à sa gauche.

4. — Ne pas allumer un contre-feu de largeur excessive, en évitant qu'elle ne dépasse celle de l'incendie (perpendiculairement à la direction du vent).

5. — Organiser les contre-feu en s'appuyant sur les routes, chemins, rivières, crêtes rocheuses, ravins, et en général sur toutes zones dépourvues de végétation; mais si ces bases d'appui n'existent pas, il faut les créer aux endroits où la végétation est la

moins dense, en défrichant le terrain avec des bêches, des charrues à déversoir tractées, des bulldozers, etc., pour couper la propagation du feu, non seulement au niveau des broussailles mais aussi au niveau des racines.

6. — Après avoir choisi ou mis en place les éléments d'appui et avoir réparti les personnels, allumer le contre-feu en surveillant attentivement le développement du « contre-vent » (dont nous avons parlé au paragraphe 1). Si celui-ci ne se fait pas encore sentir alors que le front de flammes s'approche de la limite des 150 mètres en zone boisée ou des 50 mètres en zone de broussailles, il faut procéder à l'allumage de contre-feux intermédiaires.

7. — Avant de décider de travailler sur la ligne d'appui qui servira à l'allumage du contre-feu, s'assurer que tous ces travaux pourront être terminés avant que le feu n'arrive, en fonction de sa marche normale.

8. — Quand l'incendie monte dans la cime des futaires ou brûle des maquis très denses, préparer une zone assez large devant la ligne de défense en coupant les arbustes et en défrichant le maquis.

9. — Considérer que les crêtes ou les lignes de partage des eaux perpendiculaires à la direction du vent sont les endroits les plus sûrs pour allumer un contre-feu.

10. — Préparer le contre-feu en tenant compte de la possibilité que se produisent des changements de direction du vent.

11. — Organiser la ligne de contre-feu avec une largeur suffisante et prévoir éventuellement des contre-feux latéraux ou sur les flancs, afin que l'incendie principal ne déborde pas cette ligne par les extrémités.

12. — Eviter que des équipes de lutte ne soient encerclées par le feu, en les prévenant du risque possible et en maintenant la communication orale entre tous. Ainsi, si quelqu'un se voit obligé de quitter son poste par excès de chaleur qu'il puisse en avertir ceux qui travaillent à des postes contigus.

13. — Au cas où une ou plusieurs personnes se trouveraient encerclées par le feu, surtout ne pas courir dans la direction du vent, mais essayer de traverser le feu vers la partie déjà brûlée si les flammes sont courtes. Si les flammes sont trop hautes, allumer un contre-feu qui en se développant ira à la rencontre de la ligne de feu créant ainsi une poche de terrain nettoyée par laquelle on pourra s'échapper vers la partie déjà brûlée.

14. — Dans les grands incendies, considérer que c'est au lever du jour que les travaux d'extinction se font avec le plus d'efficacité. Il convient de faire pendant la nuit tous les travaux préparatoires à partir de chemins ou de zones rases, surtout si on ne connaît pas bien le terrain.

15. — Quand l'incendie est éteint, surveiller les reprises éventuelles sur tout le territoire incendié, en maintenant un nombre suffisant de personnes pour éteindre d'éventuelles flammes qui pourraient surgir des souches ou des racines. Ce danger peut persister plusieurs jours après la fin de l'incendie et la surveillance doit se maintenir jusqu'à ce que le terrain retrouve une humidité suffisante par la pluie, la rosée, etc.

C.-A.C.

La photographie et le croquis ci-contre montrent comment un feu A, se développant dans le sens ab fait pencher les flammes d'un feu B, se développant à proximité, en les attirant vers lui; cela laisse à penser que le feu A a engendré un vent correctif orientant les flammes de B.

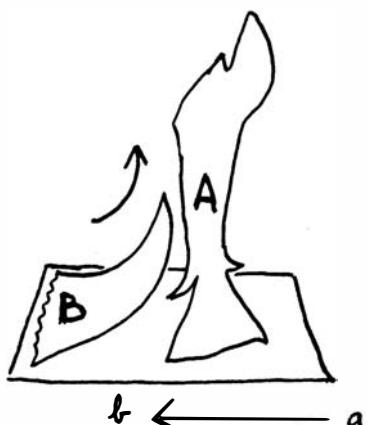
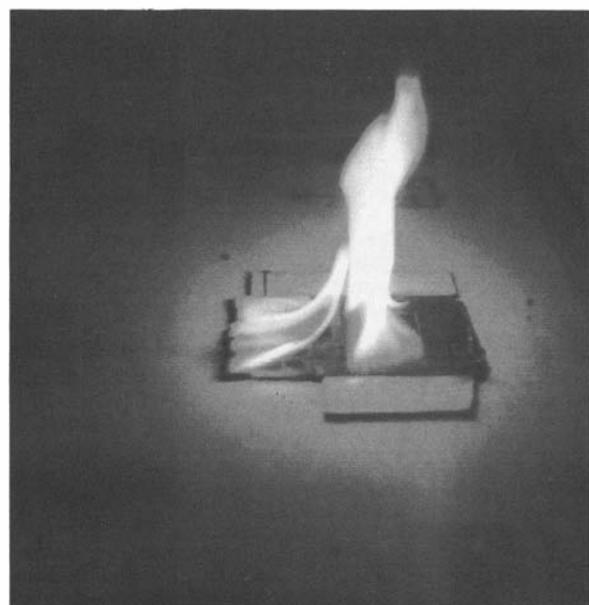


Photo Jean NAHMIAS.

Consultant en mécanique des fluides
14, rue du Saint Gotthard, 75014 Paris
et Société Cerberus-Guinard, 78530
Buc.



Résumé

Le contre-feu

Ce texte de Celso Arevalo Carretero a été publié en Espagne dans le Bulletin de l'Institut des Etudes Asturiennes en 1968, et présenté au Congrès forestier mondial de Buenos-Aires. Il a été écrit par un forestier fréquemment confronté aux difficultés de la lutte contre les grands incendies de forêt, à une époque où les moyens de lutte (avions, véhicules tous terrains) étaient rares, et où la recherche sur la propagation des incendies était embryonnaire. Son intérêt provient de la grande connaissance empirique que possède son auteur sur les incendies et la lutte par le contre-feu. Il traite d'abord du mécanisme de l'avancement du front de flammes, et des différents facteurs qui influent sur la forme et la vitesse de ce front : vent, humidité, biomasse combustible, relief. Il insiste particulièrement sur les phénomènes aérologiques : effet de « cheminée » dû à la colonne de convection, et existence d'un « contre-vent » qui permet d'allumer le contre-feu et qui le dirige vers l'incendie principal. Il donne des conseils pratiques sur la façon, le lieu et le moment d'allumer le contre-feu, en fonction des circonstances. Il examine les causes possibles d'insuccès. Enfin il formule, en quinze points, les normes d'application pratique de cette technique de lutte.

Summary

The back-fire

This is one of the rare publications which deals with the real attack back-fire, attempting a study of the theory and practice of its dynamics, supported by very clear figurative drawings.

The author, who is an engineer-doctor of forestry, estimates indeed that the use of this means of fire-fighting (practiced since time immemorial) according to logical and simple methods would avoid numerous material and financial losses.

The principle of the action is to suppress the fuel, but also the combustive agent which feeds the fire, thanks to a second fire lit in front of the fire-head, in an opposite direction to the prevailing wind.

The author reasons from the movements of gas, smokes, hot and cold air which are produced along the fire-front and which results in the continuous formations of an ascending column able to sweep along, as in a chimney, pinecones at more than 50 m high. The inclination of the column forward is in proportion to the speed of the wind. On the ground the air intake fills up the vacuum created by the gigantic convection movement : heated air, coming from the rear, creates a current accelerating the progression, fresh air coming from the front tends to break the running

fire with a « counter-wind » opposed to the wind. The flames are thus compressed between these two currents, and that's why the fire-line is generally relatively tight.

Observe that the ascending movement of the gas, joined by the liberation of water vapor resulting of the pre-drying of the vegetation, ahead of the fire front, cause that the fire-front is preceded by a turbulent zone which behaves as if it was composed of heavier smoke (« humo pesado »). In that, the proportion of oxygen must be lower, hence the discomfort felt by the fire fighters in that zone.

The author analyses different concrete cases. For example, (fig. 5), in the case of a fire on flat ground, going through a forest of pinetrees height about 30 m, with a dense undergrowth, he distinguishes four zones.

The first zone, ahead, corresponds to fires lit on the ground by the falling of ignited leaves and cones projected. These speed up the progression of the fire front by small advances. In the second zone, the already pre-dried plants become inflamed, in part under the effect of thermic radiations, and in part by the direct uncoming flames. In the third zone, the combustion reaches both the undergrowth and the crowns which begin to burn by their leaves. At times there happens in the crown of the trees a type of explosion which sounds like a flash of lightning with very high temperatures; this corresponds probably with the sudden ignition of detonating mixture formed by the air and the gas of pyrolyse. In the fourth zone, they are the small twigs and the timber on the ground which burn, but the fire burns out for the greater part, leaving only pockets.

In that sort of situation (according to Lopez de Sa) a back fire lit at the level of brushwood provokes a change of thermic convection which suppress the combustion at the level of crowns. Again should one light the back-fire at a distance so that the trees situated on the line of the lighting are not already predryed and ready to burn. The distance could be about 150 m. Besides, the personnel who light must not be inconvenienced by the intense heat. It appears however preferable to light the back fire on the line where trees have been cut down before.

The author examines numerous other cases, notably on inclined ground and variable mountain zone.

He studies particularly the factors which have an effect on the fire progression speed, and, consequently, on the distance in which might be lit the back fire. Finally, he sums up his conclusions in 15 points of recommendations :

1. — Before lighting the back-fire, ensure that, at every point, and at the moment of the lighting, a « counter-wind » is well established, sweeping the flames along towards the main fire.

2. — When the back-fire is lit, look after its evolution, in extinguishing, after the flames have passing over,

the zones which are still in ignition, and, at the same time, in smothering the possible secondary fires which could set up behind, in order that the back-fire progresses only towards the fire.

3. — Don't light the back-fire on a width higher than the one which can be controlled (on average, 5 m per person).

4. — Don't light a too wide back-fire, thereby avoiding its width that should not be greater than the one of the fire (perpendicular to the wind direction).

5. — Arrange the back-fires, make use of roads, tracks, rivers, rocky ridges, gullies, and, generally of all zones without vegetation. But, if the supports don't exist, it's necessary to create them where the vegetation is less dense, by clearing the ground before.

6. — After having chosen or put into action the elements of support, and having posted the personnel, light the back-fire and watch attentively to the development of the « counter-wind ». If the latter can't yet be felt even though the fire head nears the limit of 150 m in wood zone, or 50 m in bush zone, it's necessary to proceed to the lighting of intermediair back-fires.

7. — Before deciding to work on the support line which will serve to the lighting of the back-fire, ensure that all these works will be completed before the fire arrives.

8. — When the fire climbs the crowns of forests or burns very dense maquis, prepare a zone sufficiently wide, in front of the defence line by cutting the bushes and clearing the maquis.

9. — Consider that crests or watershed perpendicular to the wind direction are the surest places for lighting a back-fire.

10. — Prepare the back-fire with taking into account the possibility of changes of direction of wind.

11. — Set up the line of back-fire with a sufficient width, and eventually foresee the lateral or the flank back-fires, so that the main fire doesn't outflank this line by the extremities.

12. — Avoid that the shifts of fire-fighters should not be encircled by the fire, averting them and maintaining verbal communication between all of them. And so, if someone is obliged to go away from his post by excessive heat, he can alert those who work next to him.

13. — In case of one or more persons would be encircled by the fire, above all, not to run in the wind direction, but try to go across the fire towards the part already burnt, if the flames are short. If the flames are too high, light a back-fire which will move towards the fire-line, thus creating a clean ground through which they will get away towards the already burnt part.

14. — In the great fires, consider that it is on daybreak that the extinguishing works are employed with the

most efficiency. It is fitting to make during the night all the preparatory works from roads or clear zones, especially if the spot isn't well known.

15. — When the fire is extinguished, be careful with the possible fires that could recommence in all the burnt territory, keeping a sufficient number of people for extinguishing possible flames which could rise from stubs or roots. This danger can exist several days after the end of the fire, so the watching must be maintained until the ground becomes again sufficiently damp by rain, dew etc.

Riassunto

Il controfuoco

Questa è una tra le rare pubblicazioni che tratta del vero « controfuoco » di attacco tentando di fare uno studio teorico e pratico del suo dinamismo, appoggiato su schizzi figurativi clarissimi.

L'autore che è ingegnere-dottore delle foreste, stima in fatti che la messa in opera di questo mezzo di lotta (usato in ogni tempo dall'umanità), secondo metodi logici e semplici, eviterebbe numerose perdite di materiale e di danaro.

Il principio dell'azione è questo : grazie ad un secondo fuoco acceso davanti all'incendio in una direzione opposta a quella del vento, di sopprimere il combustibile ma anche il comburente che alimentano questo ultimo.

L'autore ragiona cominciando dai movimenti di gas, di fumi e d'aria calda e fredda che se producono lungo il fronte di fiamme d'un incendio e che portano alla formazione continua di una colonna ascendente capace di trascinare, come in un camino, pine a più di 50 m di altezza. È tanto più inclinata innanzi che la velocità del vento è grande. Al suolo, arrivi d'aria vengono colmare il vuoto creato da questo gigantesco movimento di convezione : aria riscaldata che viene d'indietro creando un corrente che accelera la progressione, aria fresca che viene di davanti e che tende a frenare la marcia del fuoco da un « contravento » opposto al vento. Le fiamme sono così compresse tra questi due correnti, ecco perchè la linea di fuoco è in generale relativamente stretta.

Di notare che il movimento ascendente dei gas, giunto all'esalazione di vapore d'acqua risultando del pre-essiccamento della vegetazione, all'avanti del fronte di fuoco fanno che questo qui è precesso di una zona di turbolenza comportandosi come se fosse composta da fumi più pesanti (« humo pesado »). In questa la proporzione di ossigeno deve essere più debole, donde l'incomodo rissentito da quelli che lottano in questa zona.

L'autore analizza differenti casi di figura. Per esempio, (fig. 5) nel caso di un incendio parcorrendo, sopra un terreno piano, un bosco di pini di circa 30 m di altezza, con un sottobosco denso, esso distingua quattro zone : La

prima zona, in avanti, corrisponde ai focolai accesi al suolo dal ricadere delle foglie e delle pine progettate in ignizione che vengono così accelerare da piccole avanzate, la progressionne del fronte del incendio. In una seconda zona, i vegetali già pre-essiccati, incominciano ad infiammarsi, in parte sotto l'effetto delle radiazioni termiche e in parte dal colpo diretto delle fiamme. La terza zona è quella dove la combustione tocca in una volta il sottobosco e le chiome ch'incominciano a bruciare dalle loro foglie. Talvolta si produce nella corona degli alberi una specie di esplosione che schiaccia come un lampo con temperature altissime; questo corrisponde senza dubbio all'infiammazione brutale della miscela detonante formata dall'aria e dai gas di pirolisi. Nella quarta zona, sono fine ramiglie e legni a terra che bruciano ma il fuoco si spegne in gran parte lasciando soltanto piccoli focolai.

In una situazione tale (secondo Lopez de Sa) un controfuoco acceso al livello dei cespugli, provoca una modificaione della convezione termica che sopprime la combustione al livello delle cime. Almeno bisogna accendere il fuoco ad una distanza tale che gli alberi situati sulla linea di messa a fuoco non siano già pre-essiccati e sul punto di prendere fuoco. La distanza potrebbe essere circa 150 m. D'altronde il personale di ascensione non deve essere incomodato dal forte calore. Pare preferibile tuttavia di ascendere il controfuoco su una linea dove gli alberi sono stati da prima tagliati.

L'autore esamina numerosi altri casi, segnatamente sopra terreno inclinato e in terreno variato di montagna.

Studia in particolare i fattori che influiscono la velocità d'avanzamento dell'incendio e, per conseguenza, la distanza alla quale conviene di accendere il controfuoco. Finalmente riassume le sue conclusioni sotto la forma di raccomandazioni in quindici punti :

1. — Prima di accendere il fuoco assicurarsi che in ogni punto e al momento della messa a fuoco un « contra-vento » si è proprio stabilito richiamando le fiamme verso l'incendio principale.

2. — Una volta acceso il fuoco, sorvegliare la sua evoluzione spegnendo, dopo il passaggio delle fiamme, le zone che sono in ignizione e tenendo cura di spegnere nel frattempo eventuali focolai secondari che si creerebbero indietro, perché il controfuoco progredisce soltanto in direzione dell'incendio.

3. — Non accendere il fuoco su una larghezza superiore a quella che si può controllare (in media 5 m alla persona).

4. — Non accendere un fuoco di eccessiva larghezza, evitando che superi quella dell'incendio (perpendicolarmente alla direzione del vento).

5. — Organizzare i fuochi appoggiandosi sulle strade, i cammini, i fiumi, le creste rocciose, i burroni, e in generale su tutte le zone sprovviste di vegetazione; ma se quelle base di

appoggio non esistano, bisogna crearle nei luoghi dove la vegetazione è meno densa, dissodando il terreno da prima.

6. — Dopo aver scelto o messo in posto gli elementi di appoggio ed avere ripartito le persone, accendere il fuoco sorvegliando con attenzione lo sviluppo del « contra-vento ». Se quello non si fa sentire ancora mentre il fronte di fiamme s'avvicina del limite di 150 m in zona boscosa o di 50 m in zona di macchie, bisogna procedere all'accensione di controfuochi intermedi.

7. — Prima di decidere di lavorare sulla linea di appoggio che servirà all'accensione del fuoco, assicurarsi che tutti questi lavori potranno essere terminati prima l'arrivo del fuoco.

8. — Quando l'incendio sale nella cima delle fustaie o brucia macchie assai densi, allestire una zona abbastanza larga davanti alla linea di difesa tagliando gli arbusti e dissodando la macchia.

9. — Considerare che le creste o gli spartiacque perpendicolari alla direzione del vento sono i luoghi più sicuri per accendere un controfuoco.

10. — Allestire il fuoco tenendo conto della possibilità che se producessero cambiamenti nella direzione del vento.

11. — Organizzare la linea di fuoco con una larghezza bastante e prevedere eventualmente controfuochi laterali o sui fianchi, in modo che l'incendio principale non trabocca questa linea dalle estremità.

12. — Evitare che le squadre di lotta non siano accerchiata dal fuoco, prevenendole del rischio possibile e mantenendo la comunicazione orale tra loro. Così, se qualcuno si vede obbligato a lasciare il suo posto dall'eccesso di calore che possa avvertire quelli che lavorano in posti contigui.

13. — Nel caso che una o parecchie persone si trovassero accerchiata dal fuoco, soprattutto non correre nella direzione del vento, ma provare di traversare il fuoco verso la parte bruciata se le fiamme sono corte. Se le fiamme sono troppo alte, accendere un fuoco che sviluppandosi andrà incontro alla linea di fuoco creando così una sacca di terreno pulita da dove si potrà scapare verso la parte già bruciata.

14. — Nei grandi incendi, considerare che è all'alba che i lavori di estinzione si fanno colla più grande efficacia. Convieni di fare durante la notte tutti i lavori preparatori cominciando dai cammini o dalle zone rase, soprattutto se non si conosce bene il terreno.

15. — Quando l'incendio è spento, sorvegliare le riprese eventuale sopra tutto il territorio incendiato, mantenendo un numero sufficiente di persone per spegnere eventuali fiamme che potrebbero sorgere dai ceppi o dalle radici. Questo pericolo può persistere parecchi giorni dopo la fine dell'incendio e la sorveglianza deve mantenersi finché il terreno ritrovi una umidità bastante dalla pioggia, la rugiada, ecc.