

Considérations sur le modèle de feu par vent arrière

Jean-Charles DROUET *

Pour comprendre comment les feux de forêts se propagent, il est opportun de connaître le modèle de feu par « vent arrière ». Il paraît donc intéressant de donner de façon succincte les possibilités aussi complètes que possible de ce modèle très puissant même si l'adaptation au contre-feu n'est pas toujours connue de façon précise.

Toutes les valeurs avancées dans la suite du texte sont à considérer comme étant des références d'un ordre de grandeur raisonnable pour un feu de forêt moyen *idéalisé* (si tant est que cela puisse exister). Il ne paraît pas utile pour une présentation succincte d'envisager les divers cas possibles de propagation des feux de forêts.

Contour du feu

Le contour du feu libre est une ellipse. Certains auteurs avancent un œuf. De fait, bien que l'observation des feux réels conduirait à la seconde forme, la première est généralement retenue car plus facile à manier au plan mathématique.

Dans ce modèle le point de départ du feu est un foyer de l'ellipse et des formules permettent de calculer ses dimensions en fonction du temps, en particulier la distance entre le point de départ et la pointe du feu (vitesse du feu vent arrière). Les déformations en fonction du relief peuvent être prises en compte. La partie en feu (le contour de l'ellipse) constituant le cordon de flammes correspond à la longueur dont le feu a progressé en 30 secondes environ.

Ce modèle peut être utilisé pour expliquer les progressions voulues ou non des contre-feux et petits-feux en considérant que chaque point du contour en feu est un nouveau point de départ du feu (exemple : un allumage malencontreux en bas de pente vent arrière partira avec la vitesse vent arrière majorée du fait de la pente).

*Docteur en sciences physiques, Institut universitaire de technologie, Luminy, 13014 Marseille.

Indice d'oxygène

Lorsque du bois brûle, la combustion avec flammes s'arrête quand la teneur en oxygène tombe en dessous de 15,75 % environ et celle des braises s'arrête à son tour à 10,5 %. A titre de comparaison, entre 14 et 16 % d'oxygène dans l'air, l'homme vit avec difficultés, entre 16 et 18 %, avec peu de difficultés et au-dessus de 18 %, de façon normale.

Par conséquent, lors d'un feu, les gaz de convection issus des flammes contiennent au moins 15,75 % d'oxygène. Les produits de pyrolyse doivent pour brûler monter dans le flux d'air dû au vent afin de trouver l'oxygène nécessaire à leur combustion. En connaissant la vitesse de propagation du feu et la teneur en combustible au m² on peut donc calculer la hauteur des flammes sachant que pour brûler 40 g de bois il faut environ 1 m³ d'air.

Il faut signaler ici que hauteur de flamme ne veut pas dire longueur de flamme car, pendant la montée des gaz, le vent pousse ces derniers horizontalement allongeant d'autant la longueur de flamme observée. A titre d'exemple pour un vent à 10 m/s, le déplacement horizontal des gaz est d'environ 2 m pour des flammes de 50 cm de hauteur.

Éléments relatifs au panneau radiant

Pour expliquer la propagation du feu dans une litière de faible épaisseur (il a été possible d'observer des feux se propageant avec seulement la couche de feuilles superficielle sèche), il est commode de considérer que toute l'énergie pour sécher les feuilles est apportée par radiation.

En ce cas, seul le rayonnement dirigé vers le bas qui touche la végétation est utile à la propagation du feu, le panneau de flammes étant assimilé à un panneau radiant plan. On peut définir un « angle utile au feu » auquel l'énergie utilisée pour la propagation est proportionnelle (complément de l'angle de l'exposé).

Pour un cordon de flammes, la décroissance de l'énergie est linéaire en

fonction de la distance, comme pour un fil de longueur infinie. Avec ce modèle, en raisonnant comme si la litière était une feuille de papier posée au sol, on arrive à montrer, que si la teneur en eau est trop importante, le rayonnement n'est plus suffisant pour évaporer toute l'eau et porter les végétaux à leur température de pyrolyse. En ce cas, la propagation du feu devient impossible.

La propagation dans la strate arbustive et la broussaille vivante se fait de la façon suivante : les gaz de convection venus du bas séchent les éléments fins et les mettent à feu. La part de l'énergie totale qui est rayonnée, représente environ 10 % de la chaleur produite et celle utilisée pour la propagation, environ 3 % pour la litière. La conduction étant négligeable, c'est environ 90 % de la chaleur dégagée qui part dans les gaz de convection.

A titre indicatif, il faut prévoir en garrigue à chênes kermès (avec éventuellement des pins d'Alep) environ 300 g/m² de combustible au sol dont la teneur en eau varie les jours de feu de 4 à 9 % par rapport à la matière sèche et 300 g/m² de matière sèche pour les feuilles avec une teneur en eau d'environ 70 à 80 %. Par suite, 1 g de matière sèche fournit de l'énergie pour en dessécher et mettre à feu environ 8 g de matière vivante.

Ces raisonnements conduiraient à l'état brut, à l'impossibilité d'avoir des petits feux allumés à contre vent. De fait, pour ces feux, il est impossible de négliger les herbes sèches qui constituent du combustible au-dessus du sol, combustible qui sera mis à feu en partie par les gaz chauds issus du foyer. De plus, les herbes sèches propagent le feu par les mécanismes voisins de la conduction, tels que le passage de gaz chauds dans les tiges creuses.

La montée des gaz chauds qui rejettent vers le haut le vent, crée une dépression en avant du front de feu. Cette dépression sera la cause du contre vent utilisé pour justifier certaines extinctions. Ceci est à rapprocher des rouleaux observés sous le vent dans les reliefs, et de l'effet des tôles Plypac proposées à une époque pour arrêter le feu (tôles posées en travers de la végétation, les brandons ayant le temps de brûler avant de toucher le sol).



Essais INRA à Ollières dans du chêne pubescent. Photo F. B.

Débroussaillage

Les remarques faites sur les gaz de convection permettent de justifier l'intérêt du débroussaillage. Si la broussaille basse est enlevée, les gaz chauds se diluent dans le flux d'air horizontal du vent. En ce cas, ils atteignent les branches basses des arbres en étant suffisamment froids pour ne plus les mettre à feu. Par contre, ils peuvent être encore assez chauds pour tuer des feuilles vivantes. La hauteur d'air libre pour refroidir les gaz est calculée dans certaines hypothèses de litières et vents classiques (300 g/m^2 , 10 m/s) à 7 m , ce qui est confirmé par l'observation des feux réels.

Formule de Byram

Il semble que cette formule soit inapplicable pour les calculs relatifs à l'extinction des incendies reposant sur des critères thermiques liés à la propagation. En effet, nous avons vu que la propagation n'est possible que par le rayonnement et les gaz de convection.

Ces deux phénomènes sont liés à la présence de flammes. Une condition nécessaire et quasiment suffisante pour éteindre le feu est de supprimer les flammes (noyage des braises près de la zone non brûlée volontairement oubliée) en absorbant la chaleur produite (il y a plusieurs raisonnements possibles conduisant à des quantités d'eau assez différentes).

Seuls brûlent dans les flammes, les éléments fins (feuilles essentiellement) à une vitesse d'environ $1/100 \text{ mm/s}$, ce qui conduit à une durée d'environ 30 s compte tenu de leur épaisseur. A l'ar-

rière du front de flammes, continuent à brûler des tiges de diamètres plus ou moins importants.

La formule de Byram donne donc la totalité de la chaleur produite (y compris celle provenant de ces tiges qui n'interviennent pas pour la propagation du feu).

Par suite, les calculs de chaleur à évacuer, conduiront à des valeurs trop importantes si on applique la formule de Byram à l'état brut. Il en va de même, si l'on calcule la chaleur reçue par rayonnement au sol puisque, seules les zones proches des tiges qui continueront à brûler, recevront de la chaleur après le passage des flammes et non la totalité du sol comme amène à la faire l'application de la formule.

Il apparaît donc que des études sont nécessaires pour déterminer la part de combustible réellement à prendre en compte lors de la lutte contre les feux et pour la propagation des petits feux et contre-feux.

Vitesse de combustion du bois et conséquences

Cette vitesse a été établie après des observations portant sur des poutraisons lors de feux de granges. La combustion progresse d'environ $36 \text{ mm par heure soit } 1/100 \text{ mm/s}$.

Cette donnée permet d'avoir un ordre de grandeur pour le temps de combustion des feuilles cité plus haut. Celui-ci est d'environ 30 s , compte tenu des épaisseurs couramment observées; ce temps est confirmé lors des observations sur feux réels.

On déduit de cette donnée, deux conséquences importantes :

- l'épaisseur du cordon en feu correspond à la longueur dont le feu a avancé en 30 s . Ceci, par ailleurs, n'empêche pas que la combustion d'éléments plus épais se poursuive après l'arrêt des flammes dues aux feuilles et brindilles. Cette combustion n'ayant pas d'incidence sur la propagation du feu;
- la portée possible des brandons (bel-lugues).

On constate lors d'essais manuels de combustibilité, que pour les chênes verts, les rameaux cassent à la base de la pousse de l'année. Le brandon ainsi libéré sera porté par le vent tant qu'il aura une surface portante suffisante. Il peut donc voler 30 s environ, ce qui avec un vent à 10 m/s , correspond à 300 m . Ce raisonnement montre aussi que les ailettes des graines de pins qui produisent de spectaculaires gerbes « d'étincelles », sont sans effet pour la propagation du feu. Il en va de même des pommes elles-mêmes qui tombent très vite au sol, en supposant toutefois qu'elles puissent se détacher de l'arbre.

Ces phénomènes justifient l'intérêt des pare-feu arborés où les arbres filtrent les brandons et limitent le feu dans la zone débroussaillée où les pompiers peuvent l'éteindre (sauf feux de cimes).

Variables prises en compte pour les calculs et modélisation

– Vitesses de propagation des feux : réserve en eau du sol, communiquée par la Météorologie nationale; vitesse du vent; température sous abri corrigée en fonction de l'ensoleillement (en pratique, on peut prendre la température au sol); type d'association végétale; correctifs divers pour le relief, le stade phénologique des végétaux...

– Possibilités de départ des feux : vitesse du vent; température au sol; point de rosée. Ces variables sont liées par une abaque.

Conclusion

Le modèle de propagation des feux proposé est très puissant et essentiellement limité actuellement par les difficultés rencontrées pour disposer de valeurs précises pour l'alimenter. En pratique, on pallie à cet inconvénient en « redallant » les résultats des calculs par des observations faites sur feux réels.

Un complément d'information est disponible dans la *Revue technique du feu*, n° 103, juin 1980, articles de Louis Trabaud et Jean-Charles Drouet.

J.-C. D.