Comprendre et prévenir les feux de végétation

Auteur :
MORVAN Dominique, Professeur à l'Université d'Aix-Marseille (AMU)

10-07-2018

L'amélioration des politiques de prévention et de réduction du risque incendie en milieu naturel et dans les zones périurbaines nécessite une compréhension approfondie des facteurs qui vont contribuer à l'ignition d'un premier foyer puis à sa propagation sous la forme d'un front de flamme. La dynamique d'un incendie et son impact sur un environnement donné dépendent de différents paramètres, tels que la structure de la strate combustible (herbe, arbustes, arbres), les facteurs de stress auxquels est soumise la végétation (teneur en eau, humidité relative et température de l'air ambiant, vent, pente du terrain), la nature exacte de l'espace impacté (savane, maquis, forêt, zone péri-urbaine). On sait déjà que la puissance maximale atteinte par certains feux dépasse très largement les limites d'efficacité des moyens de lutte les plus puissants (hélicoptères, bombardiers à eau). C'est pour cette raison que les services de lutte, un peu partout dans le monde, ont mis en place depuis de nombreuses années une stratégie basée sur l'attaque précoce des feux naissants. L'efficacité de cette approche semble à présent atteindre ses limites, elle commence même à produire des effets négatifs. En effet, l'élimination systématique des feux de faible intensité a pour première conséquence de favoriser l'accumulation de biomasse au sol et par ce biais d'aggraver un facteur de risque important.

1. Les feux de forêt en quelques chiffres

Selon une étude publiée en 2010 [1], les données satellites croisées à des observations de terrain permettent de chiffrer de manière globale l'importance des feux de végétation dans le monde en évaluant l'étendue des surfaces brûlées. Sur la période 1997-2008, on estime qu'en moyenne 371 Millions d'ha d'espaces naturels (savanes, prairies, maquis, forêts …) ont brûlé chaque année (5.5 fois la surface de la France métropolitaine), dont 69% (256 Millions d'ha) sont situés en Afrique, 14,5% (54 Millions d'ha) en Australie, 5,8% (22 Millions d'ha) en Amérique du Sud (essentiellement en Amazonie), 4% (15 Millions d'ha) en Asie Centrale, le reste (24 Millions d'ha) concerne pour l'essentiel les forêts boréales d'Amérique du Nord et d'Asie. En comparaison l'Europe (principalement la péninsule Ibérique, l'Italie, la Grèce, le sud de la France) est impactée à hauteur de 0,7 Millions d'ha

par an en moyenne.

Fort heureusement, une grande partie de ces feux concernent des zones de savane et de prairie, qui, à l'issue d'une longue évolution, représentent les écosystèmes les plus adaptés aux feux. Ces feux permettent le maintien d'un espace ouvert et le renouvellement des espèces, en garantissant une qualité de fourrage satisfaisante pour les grands herbivores.

Plus que l'étendue des surfaces brûlées, ce qui compte c'est l'**impact des feux sur les écosystèmes** : à titre d'exemples les savanes et prairies peuvent en partie brûler chaque année, alors que le même évènement dans une forêt tropicale humide aura des effets extrêmement négatifs sur la faune et la flore. Dès les années 30, des écologues ont défendu l'idée que les feux de végétation n'avaient pas que les effets aussi dévastateurs perçus par l'opinion publique en général [2]. Cette école de pensée a contribué à l'émergence d'une nouvelle discipline appelée **écologie des feux** [3], dont l'objet principal est l'étude des capacités de **résilience des écosystèmes** face à la perturbation que représente un incendie. C'est très certainement pour avoir oublié le rôle important que jouent les feux, comme d'autres évènements naturels tels que les inondations et les glissements de terrain, dans le fonctionnement des écosystèmes contribuant au renouvellement des espèces végétales à l'entretien de certains écosystèmes et au maintien de la biodiversité, que les feux de végétation sont devenus un problème.

Le feu est depuis longtemps **un formidable outil d'aménagement du territoire** utilisé par l'homme depuis presque 10000 ans, pour maintenir des espaces ouverts pour la chasse, pour défricher des terrains et aménager des zones de pâture ou de culture. Par la suite, les différentes vagues de colonisation européennes en Afrique, en Amérique du Nord, en Amérique du Sud, en Australie ont eu pour conséquence, entre autres, de voir régresser ces pratiques traditionnelles [4]. Ces bouleversements ont eu un impact important sur de nombreux écosystèmes, en modifiant l'utilisation des sols et en favorisant l'accumulation de biomasse. Tout cela s'est traduit par **une série de feux catastrophiques à la fin du XIX^{e} siècle et début du XX^{e} siècle**, en particulier aux Etats-Unis dans la région des grands lacs et dans l'Ouest (feu de Peshtigo en 1871 dans le Wisconsin : 486 000 ha et 2500 morts, BigBlowup en 1910 à la limite entre l'Idaho et le Montana : 1 Million d'ha et 87 morts) [5]. En réponse à ces feux, les autorités américaines ont mis en place une **politique d'exclusion systématique des feux en forêt**, associée à une stratégie d'attaque précoce massive de tout foyer d'incendie détecté. Cette politique, largement répandue un peu partout dans le monde, a commencé dans un premier temps par produire des effets positifs, en réduisant par exemple les surfaces brûlées aux Etats-Unis de 16-20 Millions d'ha en 1930 à 2 Millions d'ha en 1970.

Puis, avec l'accélération de l'exode rural, l'extension des zones périurbaines et les premiers signes des changements climatiques contribuant à augmenter la vulnérabilité des écosystèmes (sécheresses à répétition, invasion d'insectes xylophages), **cette politique a atteint ses limites en termes d'efficacité**, en particulier au niveau des zones d'interface forêt/habitat. Plus que l'étendue des surfaces brûlées, c'est le nombre de maisons ou de structures détruites par ces feux (sans compter les morts) qu'il faut prendre en compte pour établir un bilan. Rien qu'en Californie, le nombre de maisons détruites dans ces circonstances a été multiplié par deux sur une durée deux fois plus courte, passant de 3533 entre 1955 et 1985 à 7467 entre 1985 et 2000.

L'un des apports majeurs de l'approche écologique des feux de végétation a été l'introduction de la **notion de régime d'incendie** (*fire regime*) qui permet en particulier de définir une **fréquence naturelle de feu que peut supporter un écosystème sans effets irréversibles** à long terme. Ce paramètre, établi à partir de données dendrochronologiques (analyse des cernes de bois et des marques ou des charbons de bois laissés par le passage d'un feu), s'exprime en années sur une échelle allant de 0 à 500 ans et plus. Certaines espèces d'arbres, telles que les Séquoias géants de Californie, permettent de remonter le temps sur plus de 3000 ans. L'écart par rapport à cette donnée de référence, permet d'évaluer si la situation est du domaine du supportable ou si elle met en péril l'écosystème local.

2. Quelques éléments de physique des feux

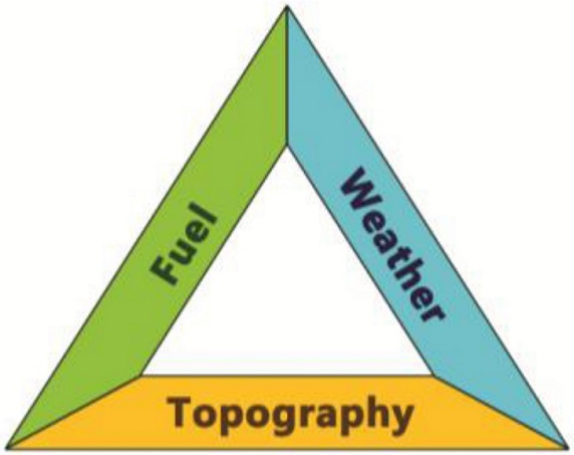

Figure 1. Triangle du feu adapté au cas des feux de végétation. Voir réf. [6]

De manière très schématique un feu de végétation peut être assimilé à **un front de flamme en propagation à travers un couvert végétal**. La vitesse de déplacement du front (souvent appelée vitesse de propagation) varie en fonction de trois paramètres que sont la structure (litière, prairie, maquis, forêt …) et l'état (teneur en eau) dans lequel se trouve la végétation, la topographie du terrain (plat, en pente, ascendante ou descendante par rapport à la trajectoire du front), les conditions atmosphériques (vent, température, humidité relative de l'air ambiant). Ces trois facteurs (*Fuel, Topography, Weather*) (voir Figure 1) sont à rapprocher des trois éléments clefs (combustible, oxygène, chaleur) du triangle du feu utilisé en sécurité incendie pour expliquer les éléments nécessaires au développement d'un feu à travers une charge combustible.

L'impact d'un front d'incendie dépend de la puissance qu'il dégage par unité de longueur (intensité du feu, exprimée en kW/m) ; si la vitesse de propagation est constante (régime établi) il se calcule comme le produit suivant : [chaleur de combustion (kJ/kg)] x [charge de combustible (kg/m^2)] x [vitesse de propagation (m/s)]. Cette intensité varie en fonction de la nature du feu, allant de quelques centaines de kW/m pour un feu de litière à presque 100 000 kW/m pour les feux de forêt les plus intenses (15 m d'un tel front dégage une puissance de 1500 MW soit l'équivalent d'une tranche de centrale nucléaire !). A titre d'exemple, les feux catastrophiques qui se sont déroulés en Février 2009 dans la région de Melbourne en Australie (Black Saturday) ont été mesurés avec une intensité de l'ordre de 80 000 kW/m ; avec des vitesses de propagation variant de 1 à 3 m/s, le panache de fumée atteignait 15 km de haut (limite basse de la stratosphère).

Du point de vue de la physique, un feu est un **phénomène de combustion** qui résulte de la décomposition d'un combustible solide sous l'action d'un flux de chaleur provenant d'une source extérieure au moment de l'ignition ou du front de flamme lui-même en phase de propagation. Soumis à cet intense flux de chaleur, la végétation va en premier se dessécher, puis se dégrader en produits gazeux (pour l'essentiel un mélange de monoxyde de carbone, de dioxyde de carbone et de méthane) et solides (charbon de bois). Il va en résulter deux phases de combustion : homogène en phase gazeuse entre le monoxyde de carbone, le méthane et l'oxygène de l'air, hétérogène entre le charbon de bois et l'oxygène.

Deux mécanismes de transfert de chaleur entre les flammes et la végétation située en aval du front de flammes, gouvernent la propagation de l'incendie : **le rayonnement** des gaz chauds [7] et surtout des particules de suie présentes dans la flamme, **les échanges de chaleur par convection**, c'est-à-dire par contact avec les gaz chauds qui dans certaines circonstances peuvent être poussés en direction de la végétation encore intacte. L'importance relative entre ces deux modes de transfert de chaleur dépend principalement du rapport entre **les deux forces qui gouvernent la trajectoire des flammes et du panache** [8] : les **forces d'inertie** dues à l'action du vent qui ont tendance à pousser la flamme et les gaz chauds dans la direction parallèle au sol, la **poussée d'Archimède** due à la différence de masse volumique entre la zone en flamme, le panache et l'air ambiant, qui a tendance à évacuer les gaz chauds verticalement. L'importance de la poussée d'Archimède dépend bien évidemment de la puissance du panache, qui elle-même dépend de la quantité de combustible (biomasse) en feu. La force du vent ne permet pas à elle seule d'expliquer le comportement d'un feu, ce qui compte c'est bien le rapport entre les deux forces que sont la gravité (panache) et l'inertie (vent), que l'on peut évaluer à travers un nombre sans dimension : le nombre convectif de Byram [9] qui représente le rapport de puissance entre ces deux forces :

$$Nc = \frac{2gI}{\rho C_p T_0 (U_w - ROS)^3}$$

où *g* désigne la gravité (9.81 m/s^2), *I* l'intensité du feu (W/m), [latex]\rho[/latex](kg/m^3) la masse volumique , C_P (J/kg/K) la chaleur spécifique, T_0 (K) la température de l'air ambiant, U_W la vitesse du vent (m/s) et ROS (m/s) la vitesse de propagation du feu.

Deux situations caractéristiques sont à l'origine de **deux modes de propag**ation des feux de végétation identifiés dans la littérature : (I) « *wind driven fire* » littéralement un feu poussé par le vent et (II) « *plume dominated fire* » un feu dominé par les effets de panache. Dans chacun d'eux les conséquences en termes d'interaction entre le front de flamme et l'environnement immédiat sont différentes. Dans le cas (I) l'écoulement gazeux est orienté du front vers l'aval et contribue au réchauffement par convection de la végétation, alors que dans le cas (II) le foyer est assez puissant pour aspirer l'air frais en aval du front ; dans ce cas le transfert d'énergie flamme/végétation est essentiellement assuré par rayonnement. Le caractère plus ou moins prédictible du comportement du front de flamme est fortement corrélé à la nature plus ou moins linéaire du mécanisme physique dominant la progression du feu. Si la convection est dominante (régime I), la vitesse de propagation de l'incendie va tendre vers une dépendance plus ou moins linéaire avec la vitesse du vent. Si le rayonnement est dominant (régime II), le caractère fortement non linéaire du flux de chaleur émis par la flamme (lois de Stefan-Boltzmann en T^4, voir référence 7) associé au fait que le front de flamme génère son propre écoulement, va se traduire par un relatif découplage entre la vitesse de propagation et la vitesse du vent, et rendre beaucoup plus difficile la prédiction du comportement du feu.

3. Feux de végétation et interface forêt/habitat

La probabilité d'un incendie et les mesures de prévention à prendre vis-à-vis de ce risque dépendent du lieu considéré. **En milieu naturel**, au sein d'un parc national par exemple, si la situation est conforme au régime d'incendie qui caractérise l'écosystème et si la sécurité des personnes et des biens n'est pas affectée, **on peut être tenté de ne rien faire** (c'est la politique du « *let's burn* », littéralement laissons brûler, mis en place aux Etats-Unis et ailleurs dans certains parcs nationaux), en considérant que l'on a affaire à une perturbation naturelle, dans le cadre du fonctionnement normal d'un écosystème vivant (certains paysages ont besoin du feu pour se maintenir et assurer le renouvellement des espèces). **Dans le cas d'une interface forêt/habitat**, en périphérie des villes, on est très éloigné d'un processus naturel et dans ce cas la sécurité des personnes et des biens devient la première préoccupation et **on se doit d'intervenir**. Sachant que la limite d'efficacité des moyens aériens pour l'attaque directe d'un feu est de l'ordre de 7000 kW/m et qu'à pleine puissance il n'est pas rare de relever des puissances de l'ordre de 10 000 kW/m, voire d'approcher les 100 000 kW/m (comme lors du black Saturday en Australie), il est facile de comprendre que tant que la situation météorologique (température élevée, vent fort, sècheresse) qui a favorisé l'éclosion et la propagation du feu, ne s'est pas améliorée, il sera difficile de totalement maîtriser le feu.

Les professionnels en charge de la prévention et de la lutte contre les feux de forêt (pompiers, forestiers) travaillent sur **deux axes : l'attaque précoce des feux (option 1) et la réduction de la biomasse (option 2)**. L'option 1, consiste à pré-positionner des moyens de lutte au sol et dans les airs lorsque les conditions climatiques dépassent un certain seuil critique, dans le but d'attaquer de manière massive tout feu naissant avant que celui-ci ait le temps de se développer et d'atteindre son niveau de puissance maximum. C'est la stratégie mise en œuvre en particulier dans les départements du Sud de la France. A titre d'exemple, on estime le temps nécessaire avant la première intervention dans le département des Bouches du Rhône à quelques minutes. C'est une approche qui nécessite d'énormes moyens et qui reste adaptée à des territoires de taille relativement réduite (complètement inadaptée aux grands espaces de l'Ouest américain par exemple). De plus, en empêchant tout feu de faible intensité, cette politique va contribuer à l'accumulation de la biomasse au sol, ce qui à terme va se traduire par une augmentation du risque (on agit sur un des facteurs du triangle du feu, le combustible).

La réduction de la biomasse (option 2) peut être réalisée de manière mécanique (débroussaillage) ou par brûlage dirigé. Dans les deux cas, cette approche de nature préventive nécessite un travail pédagogique en amont auprès des propriétaires et des collectivités territoriales pour convaincre de l'efficacité de ces mesures (triangle du feu) qui peuvent aussi présenter quelques inconvénients tels que le coût, les fumées, ou le fait qu'il ne va pas de soi que le feu puisse-t-être un outil de prévention des incendies de forêt.

L'évaluation préalable du risque est un élément essentiel, elle est la plus part du temps basée sur un modèle empirique, le « *FireWeather Index* » (FWI), initialement développé par les services forestiers canadiens [10]. Cet indice de risque est construit à partir d'une évaluation de différents indices de teneur en eau à différentes profondeurs dans le sol à partir des quatre données suivantes : humidité relative et température de l'air en début d'après-midi, niveau de précipitation dans les dernières 24H et vitesse moyenne du vent. En France ce dispositif a été adapté aux spécificités de la végétation rencontrée sur notre territoire, pour produire chaque jour en période estivale un **Indice Forêt Météo** (IFM). La plage de variation de cet indice est bien entendu corrélée à la puissance des feux rencontrés ; à titre d'exemple il varie sur une échelle allant de 0 à 30 au Canada (le feu de Fort McMurray qui a brûlé plus de 600 000 ha dans l'état de l'Alberta en Mai 2016 était classé > 30) (voir Figure 2 et 3) alors que cette même échelle varie de 0 à 20 en France.

A partir des données déjà disponibles, on peut estimer que **le risque feu de forêt va augmenter de manière très significative dans un futur proche**, sous l'action combinée de deux facteurs : l'accroissement de l'urbanisation en périphérie des villes et le développement des zones d'interface forêt/habitat, l'impact du réchauffement climatique sur la vulnérabilité des écosystèmes (température, précipitations, sècheresses, attaques d'insectes …). Les différents rapports produits par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) ont montré que les effets seront très marqués dans les régions déjà très impactées par les feux de végétation (régions boréales, zones Méditerranéennes) [11]. Néanmoins, même dans un pays au climat tempéré comme la France, on estime que la fraction de territoire qui pourrait être potentiellement affectée par les feux de végétation pourrait **croitre de 30% à l'horizon 2040** [12]**.** La seule augmentation des moyens de lutte, ne permettra pas de faire

face à cette augmentation du niveau de risque.

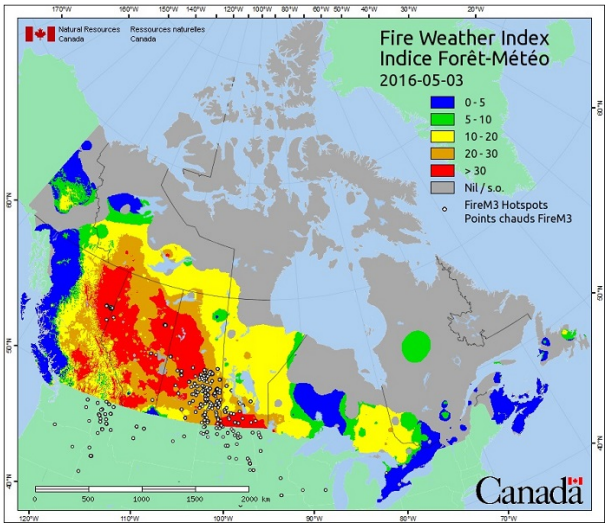

Figure 2. Carte de FWI (« Fireweatherfire index ») établie pour le 3 Mai 2016 période pendant laquelle se sont développés les feux de Fort McMurray dans l'Alberta (Natural Resources Canada). [source : http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/accueil]

Agir durablement sur le risque incendie, nécessite le rétablissement d'une situation plus proche du régime d'incendie caractéristique d'un écosystème donné et pour cela **la réintroduction du feu comme outil de régulation de la biomasse** arbustive accumulée au niveau du sol, sous la forme de brûlages dirigés. Comme en sécurité incendie dans les bâtiments, la réduction de la biomasse représente en effet le seul élément du triangle du feu (Figure 1) sur lequel il est possible d'agir pour réduire durablement le risque incendie. Concernant la sécurité des biens et des personnes, comme pour d'autres risques naturels (inondation, submersion), il sera difficile de ne pas revoir les conditions qui ont conduit à urbaniser certaines zones, en évitant par exemple les situations de mitage (habitats dispersés en milieu naturel) qui compliquent considérablement les conditions d'interventions des pompiers et des forestiers. Dans les régions où le niveau de risque est particulièrement élevé, il faudrait également imaginer des architectures innovantes qui permettraient de réduire le niveau de vulnérabilité des habitations, en particulier dans le traitement des toitures et des ouvertures.

Figure 3. Evacuation de la ville de Fort McMurray (une ville de 80 000 habitants de l'état de l'Alberta au Canada) en Mai 2016 [source : https://en.wikipedia.org/wiki/2016_Fort_McMurray_wildfire]

Plus que le flux de chaleur dégagé par un front de flamme, les habitations sont soumises à une véritable **pluie de particules enflammées** (morceaux d'écorce, feuillage arrachés par le panache thermique) qui vont s'accumuler au niveau des toits, des gouttières et au pied des ouvertures. Certains architectes ont imaginé par exemple des structures sur pilotis qui évitent l'accumulation de particules enflammées au pied des ouvertures. Un choix adapté des matériaux de construction utilisés pour protéger les ouvertures (préférer les volets en bois de bonne qualité aux volets en PVC par exemple) est aussi un élément important de sécurisation. Une habitation dont la sécurité serait renforcée pourrait garder une fonction de refuge en cas d'incendie et permettraient dans certaines conditions bien définies, d'éviter l'évacuation des habitants qui dans certains cas peuvent être une source supplémentaire de risque.

Références et notes

Photo de couverture : DivertiCimes

[1] GIGLIO, L., RANDERSON J.T., van der WERF, G.R., KASIBHATLA, P.S., COLLATZ, G.J., MORTON, D.C., DEFRIES, R.S. (2010). Assessing variability and long-term trends in burned area by merging multiple satellite fire products, **7**, 1171-1186.

[2] CHAPMAN, H.H. (1932). Is the longleaf type a climax ?Ecology, **13**, 4, 328-334.

[3] WHELAN, R.J. (1995). The ecology of fire. Cambridge studies in ecology. Cambridge University Press.

[4] STEWART, O.C. (2002). Forgotten fires, natives americans and the transient wilderness. Ed. H.T. LEWIS and M.K. ANDERSON. University of Oklahoma Press.

[5] COHEN, J.D. (2008) The wildland-urban interface fire problem, a consequence of the fire exclusion paradigm. Forest History today, Fall 2008, 20-26.

[6] LARIS P. (2013) Integrating land change science and savanna fire models in west Africa, Land, Vol.2(4), pp.609-636.

[7] GIOVANNINI A., BECHAT B (2012) Transfert de chaleur, Cépaduès éditions.

[8] du CHATELET E. (1756) Principes mathématiques de la philosophie naturelle traduction du latin en français de « Philosophiaenaturalisprincipiamathematica » (1687) I. Newton.

[9] BYRAM, G. (1959), in K. DAVIS (Ed.) Forest Fire Control and Use. McGraw-Hill, New-York, 90-123.

[10] TURNER,J.A., LAWSON, B.D. (1978). Weather in the Canadian Forest Fire Danger Rating System. A user guide to national standards and practices. Victoria, British Columbia: Environment Canada, Centre de recherches forestières du Pacifique.

[11] LIU, Y., STANTURF J., GOODRICK S., (2010), Trends in global wildfire potential in a changing climate, *Forest Ecology & Management*, Vol.259, pp.685-697.

[12] Commissariat Général au Développement Durable, Le risque de feux de forêts en France, Etudes & documents, Août 2011, Vol.45, 41p.

L'Encyclopédie de l'environnement est publiée par l'Université Grenoble Alpes - www.univ-grenoble-alpes.fr

Pour citer cet article: **Auteur :** MORVAN Dominique (2018), Comprendre et prévenir les feux de végétation, Encyclopédie de l'Environnement, [en ligne ISSN 2555-0950] url : http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=1377

Les articles de l'Encyclopédie de l'environnement sont mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.