



HAL
open science

Evaluation spatio-temporelle du risque feux de forêt : de nouvelles données de télédétection prometteuses

Michel Deshayes, Sylvie Durrieu, Marielle Jappiot

► To cite this version:

Michel Deshayes, Sylvie Durrieu, Marielle Jappiot. Evaluation spatio-temporelle du risque feux de forêt : de nouvelles données de télédétection prometteuses. *Rendez-vous Techniques de l'ONF*, 2004, 4, pp.25-29. hal-02583960

HAL Id: hal-02583960

<https://hal.inrae.fr/hal-02583960>

Submitted on 7 Feb 2023

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

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

Évaluation spatio-temporelle du risque feux de forêt : de nouvelles données de télédétection prometteuses

Le domaine des données d'origine spatiale est en évolution rapide. Parmi les récents développements, on peut citer l'accessibilité aux données de localisation de type GPS ou la disponibilité récente d'une imagerie spatiale à résolution métrique ou même sub-métrique. Ces données satellitaires, auxquelles on peut ajouter les données aériennes numériques, peuvent aider à estimer et à cartographier certains des paramètres du risque d'incendies de forêt.

Le risque d'incendie varie dans l'espace et dans le temps et la prévention contre ce risque nécessite de savoir où et quand les feux risquent de se produire. Les différents paramètres jouant un rôle dans l'estimation du risque d'incendies peuvent être classés en quatre facteurs : facteur végétation, facteur météorologique, facteur humain et facteur topographique. Certains de ces paramètres varient à court terme (par exemple les conditions météorologiques ou l'humidité de la végétation), et certains sont plus structurels, et varient donc sur un plus long terme, de l'ordre de l'année ou au-delà, tels que la localisation et l'organisation spatiale de l'habitat, ou la composition et la structure de la végétation. Dans la suite de cet article, nous nous intéresserons à l'apport de la télédétection pour évaluer trois de ces paramètres : la nature des interfaces habitat/forêt, la structure de la végétation ainsi que son humidité.

Les interfaces habitat/forêt : des contacts à haut risque

L'évaluation spatiale du risque propose un zonage du territoire en différents niveaux de risque. La cartographie

constitue un outil d'aide à la décision pour le choix des sites à équiper ou à réaménager en priorité pour faciliter la prévention et la lutte ainsi que pour la gestion de l'espace : traitement des zones d'interface, prise en compte de la contrainte incendie dans les règlements d'urbanisme.

Des zones en progression

Les espaces forestiers, agricoles et urbains qui constituent le paysage méditerranéen sont soumis à des évolutions dont on peut souligner deux tendances complémentaires : avec la déprise agricole, les surfaces forestières ont tendance à augmenter (+11 % ces dix dernières années en région méditerranéenne), tandis que parallèlement, la pression d'urbanisation se développe. En conséquence, les zones de contact entre espaces naturels et activités humaines sont donc plus nombreuses.

Ces espaces agricoles, forestiers et urbains s'interpénètrent et forment des territoires plus ou moins complexes, induisant un risque d'incendie plus élevé que ce soit en termes de départs de feu ou en termes de vulnérabilité. En effet, d'une part, les mises à feu sont potentiellement de plus en plus importantes,

du fait des différentes activités humaines sources d'allumage (barbecue, mégots...) au contact d'une végétation inflammable et combustible. La base de données Prométhée indique que 96 % des causes connues de départs de feu sont liés aux activités humaines dans les Bouches-du-Rhône. D'autre part, les habitations présentes au sein d'un massif forestier constituent des enjeux prioritaires de défense en cas d'incendie. Ceci entraîne une concentration des moyens de lutte dans ces espaces, au détriment parfois de la protection de la forêt.

Une méthode de cartographie

Un des axes de recherche en cours au Cemagref d'Aix-en-Provence concerne le traitement des images satellitaires pour décrire les interfaces habitat/forêt. La cartographie de ces zones particulièrement sensibles au risque d'incendie permettrait de mettre en place des mesures de prévention et d'information adaptées à chaque type d'interface.

Avec les nouveaux satellites tels que SPOT5 ou Quickbird, des données de très haute résolution spatiale sont maintenant disponibles : des objets de 2,50 m, voire 70 cm peuvent être détectés (figure 1).



Fig. 1 De gauche à droite, la même zone d'habitat vue par Spot5, Quickbird fusion et Quickbird multispectral (résolutions respectives au sol : 2,50 m, 0,70 m et 2,80 m)

Ainsi, toutes les traces des activités humaines sont visibles : toits des maisons, chemins, pistes... On peut donc penser qu'un traitement informatique approprié de ces images permettra de cartographier ces impacts humains, en particulier l'habitat en forêt. Ces données présentent de plus l'avantage d'être homogènes sur de grandes étendues (une scène SPOT mesure 60 km par 60 km) et peuvent donc servir à l'échelle d'une communauté d'agglomération.

Les traitements se font en deux grandes étapes :

- le traitement de l'image brute, qui aboutit à une classification. Chaque pixel de l'image est affecté à la classe, route, forêt, bâti..., à laquelle il ressemble le plus par sa couleur (classification dite supervisée),

- ensuite, on utilise des indices d'organisation spatiale, élaborés à l'origine dans le domaine de l'écologie du paysage et calculés sur des voisinages carrés que l'on fait glisser sur toute l'image (encore appelés fenêtres de balayage), pour estimer des données telles que la densité de l'habitat en forêt, ou celle de la forêt en zone urbanisée.

Des résultats prometteurs

Les premiers résultats obtenus en travaillant à partir de ces images montrent qu'il n'est pas possible de distinguer automatiquement toutes les habitations : il existe des confusions de couleur entre certains toits rouges et les champs ou les sols nus de même couleur. En revanche, il est possible de décrire et de cartographier un agencement de l'espace entre différents types d'occupation du sol, et de distinguer en particulier différents types d'habitat en forêt. Des problèmes méthodologiques doivent cependant être encore résolus.

Des applications sont envisageables pour cibler au mieux les zones prioritaires en matière de débroussaillage obligatoire. Par ailleurs, la cartographie des interfaces est nécessaire à grande échelle pour déterminer les zones vulnérables, ainsi que les zones d'aggravation des risques dans le cadre de la mise en place des plans de prévention des risques incendie de forêt.

Typologie et cartographie de la végétation : le LiDAR, une technique de télédétection prometteuse

La connaissance de la répartition spatiale des types de combustible est primordiale pour prédire le comportement d'un feu. La détermination du type de combustible s'appuie sur des caractéristiques telles que le taux de couvert, la hauteur des arbres, la hauteur de la base du houppier, la masse volumique du houppier et la nature du sous-bois. Cette dernière constitue parfois la seule différence entre deux types.

La cartographie des types de combustible est traditionnellement réalisée à partir de photographies aériennes et de relevés de terrain. L'imagerie numérique optique satellitaire ou aérienne permet une caractérisation rapide et répétitive du couvert forestier (taux et hauteur de couvert, biomasse des arbres), mais pas du sous-bois, ce qui limite son intérêt dans une problématique de cartographie des combustibles.

En revanche, les informations acquises par technologie LiDAR (voir encadré page suivante) apparaissent particuliè-

rement prometteuses pour cartographier les propriétés de combustibilité de la végétation à un niveau régional. De nombreuses études ont confirmé l'intérêt du LiDAR pour la réalisation d'inventaires forestiers avec, par exemple, de bonnes performances lors de l'estimation de paramètres tels que la hauteur totale (mesurée avec une précision inférieure au mètre), le taux de couvert, la biomasse aérienne, la densité d'un peuplement... La réalisation d'un inventaire à partir de données LiDAR, en limitant les relevés de terrain, coûterait deux fois moins cher qu'un inventaire traditionnel et prendrait de trois à quatre fois moins de temps. L'offre en données LiDAR aéroportés ainsi que les techniques de traitement sont en plein développement et les coûts sont amenés à diminuer encore. Ainsi certains pays envisagent d'utiliser à court terme la technologie LiDAR pour réaliser leurs inventaires forestiers.

La détermination de critères plus spécifiques à l'évaluation du risque d'incendie, comme par exemple la densité apparente de la couronne, a fait l'objet de moins de travaux de recherche mais des résultats intéressants ont été publiés récemment.

La technologie LiDAR produit donc une information spatialisée sur la structure en 3D de la végétation utilisable pour la cartographie des combustibles, et apparaît compétitive par rapport aux techniques traditionnelles. Le potentiel des données LiDAR pour décrire la morphologie du terrain sous un couvert forestier permet en outre d'envisager leur utilisation pour définir l'implantation de pistes ou de coupe-feu.

Fonctionnement des systèmes LiDAR (Light detection and ranging)

Le LiDAR est une technique de télédétection active qui utilise une source lumineuse de type laser. Le principe de fonctionnement de la plupart des systèmes laser aéroportés consiste à émettre un rayon laser à très haute fréquence (10 à 83 KHz) et à mesurer le temps de retour de l'impulsion pour en déduire la distance entre le capteur et le terrain. La gamme de longueurs d'onde généralement utilisée est celle du proche infra-rouge (de 1 à 1,5 μ m). Le système émetteur-récepteur est localisé et orienté grâce à la présence d'un récepteur GPS et d'une centrale inertielle à bord de l'avion.

Un système de balayage permet aux lasers scanneurs actuels de produire des informations sur une bande de part et d'autre de l'axe de vol. La combinaison des paramètres techniques de l'instrument (fréquence des impulsions, divergence du faisceau laser, technique de balayage) et des conditions de mise en œuvre (altitude de vol, vitesse) va déterminer la répartition et la taille des empreintes du faisceau laser au sol (figure 2).

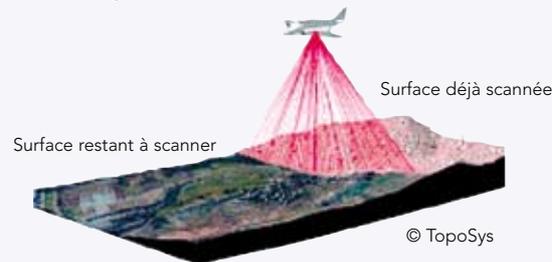


Fig. 2 Principe d'acquisition de données par LiDAR aéroporté par combinaison du déplacement de l'avion et d'un balayage transversal obtenu ici par un faisceau de fibre qui distribue les impulsions laser sur une ligne perpendiculaire à l'axe de vol

Une des principales caractéristiques du rayonnement laser est la séparabilité du faisceau : une partie du faisceau est réfléchi par un objet (bâtiment, végétation) alors que l'autre continue son chemin en direction du sol (cf. figure 3). En milieu forestier, le rayonnement laser réfléchi à différents niveaux de la canopée permet d'obtenir des informations sur l'ensemble des strates végétales.

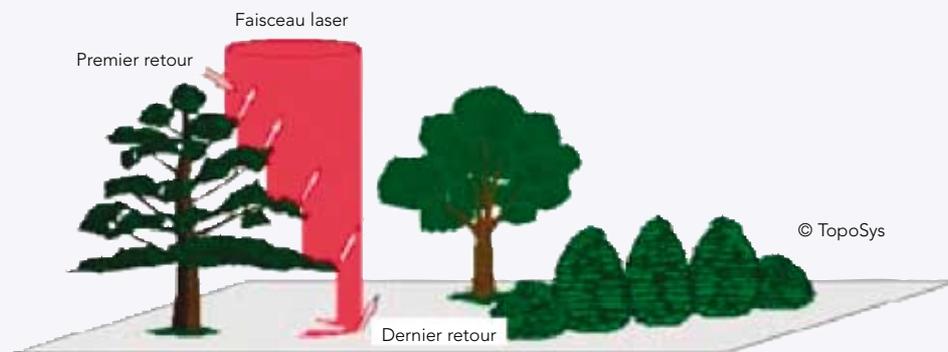


Fig. 3 À chaque fois qu'une partie du faisceau LiDAR rencontre un obstacle un signal retour, encore appelé écho, est renvoyé en direction du capteur

Selon les systèmes, pour chaque impulsion émise, un seul, plusieurs ou la totalité des retours (ou échos) sont enregistrés. Certains LiDAR enregistrent aussi la réflectance (% du rayonnement réfléchi) qui apporte des informations supplémentaires sur la nature des obstacles rencontrés.

De façon schématique, les configurations utilisées pour étudier la forêt comprennent

- les systèmes caractérisés par une large empreinte au sol (d'une dizaine à quelques dizaines de mètres) qui enregistrent la totalité du signal de retour pour une faible densité de points (par exemple 0,004 points/m²) et
- les systèmes qui ont une faible divergence du faisceau (de l'ordre de 0,5 mrad soit un diamètre d'empreinte d'une dizaine de cm à 1000 m d'altitude). Ces derniers enregistrent au maximum cinq échos (souvent seulement un ou deux) pour un nombre élevé de points (jusqu'à une 10^e de points par m²). La précision affichée par ces systèmes est de l'ordre du mètre en planimétrie et de la vingtaine de centimètres en altimétrie.

Contrairement aux Lidar à large empreinte de faisceau au sol, principalement utilisés en recherche, l'offre commerciale en données issues de Lidar à empreinte réduite ne cesse d'augmenter.

Cartographie de l'humidité de la végétation

Une difficulté à suivre l'évolution spatio-temporelle

L'ensemble des recherches et études conduites sur le risque feux de forêts depuis une trentaine d'années tant en France qu'à l'étranger ont permis de préciser le rôle de la composante hydrique du combustible sans toutefois déboucher sur sa prise en compte satisfaisante dans la détermination opérationnelle du niveau de risque. L'évolution temporelle du risque de feu de forêt est actuellement suivie de manière opérationnelle par deux méthodes différentes :

- l'utilisation d'indices météorologiques spatialisés par sous-régions d'environ 1 000 km², intégrant un état de la végétation simulé par un calcul de bilan hydrique (producteur Météo-France),

- la mesure de l'humidité de certains végétaux sur des placettes de l'ordre de la dizaine de m² (réseau Humidité, comprenant une 30^e de placettes pour toute la zone méditerranéenne, responsabilité ONF, direction territoriale méditerranéenne).

Des études méthodologiques toujours en cours

Les données satellitaires à haute fréquence de revisite pourraient aider à une connaissance spatiale plus fine de l'humidité de la végétation. Les études ont commencé au début des années 90, en utilisant les images du capteur météorologique américain NOAA-AVHRR, d'une résolution au sol supérieure au km². Elles ont consisté à comparer les mesures de terrain avec des indices dérivés des données satellitaires. Des résultats, globalement satisfaisants, ont été obtenus avec par exemple des corrélations

aux deux tiers significatives. Cependant ces résultats présentent une variabilité inexplicée : certains sites présentent des corrélations plus basses et selon les pays, le type d'indice le plus efficace est variable. Deux raisons majeures ont été évoquées : une représentativité insuffisante des mesures de terrain (trop grande différence d'échelle entre la taille des pixels satellitaires - km² - et celle des placeaux de mesure terrain environ 10 m²), et la non correction de certains effets (par exemple de l'atmosphère) affectant la qualité des données de télédétection.

Des études méthodologiques et de nouveaux capteurs basse résolution (VEGETATION, MODIS, MERIS) ont ouvert depuis la fin des années 1990 de nouvelles perspectives, mais n'ont cependant pas permis jusqu'à présent une mise en œuvre opérationnelle. Certaines de ces études

COMPARAISON DE DIFFÉRENTES CARACTÉRISTIQUES DES IMAGERIES AÉRIENNES ET SATELLITAIRES

Nature de l'imagerie	Taille d'images	Nombre de bandes spectrales	Altitude de prise de vues	Variation de l'angle de visée dans une image
Photo aérienne	de 4x4 à 10x10 km ²	1 (film N&B) ou 3 (film couleurs)	3-5 km	de ±20° à ±45°
Image satellite	de 11x11 à 180x180 km ²	de 4 à 6	600-800 km	de ±0,5° à ±6,5°

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES SATELLITES D'OBSERVATION DE LA TERRE EXISTANT

Ex. de satellite / Capteur	Panchro	Nombre de bandes spectrales Visible	Proche IR	Moyen IR	Répétitivité	Résolution Panchro	Résolution multi-spectrale	Taille d'une image (Km ²)
<i>Satellites Basse Résolution</i>								
SPOT 5 / Vegetation Terra / MODIS	-	2 à 12	1 à 6	1 à 2	1 jour	-	250m à 1km	env. 2200x2200
<i>Satellites Haute Résolution</i>								
SPOT-5/ HRG, Landsat-7/ ETM+	1	2 à 3	1	1 à 2	3 à 16 j	2,5 à 15m	10 à 30m	60x60 à 180x180
<i>Satellites Très Haute Résolution</i>								
Ikonos, QuickBird-2	1	3	1	-	3 à 5j	0,7 à 1 m	2,8 à 4m	11x11 à 22x22

Variabilité spatiale de l'humidité des végétaux

Une variabilité spatiale importante a été mise en évidence dans certaines formations, par exemple sur caousse (ex. garrigue à chêne kermes). Dans ces formations, la variation spatiale locale sur quelques ha un jour d'été donné peut être aussi grande que la variation de l'humidité moyenne sur tout l'été. De plus, la variation ne présente pas de structure spatiale : il n'y a pas de zone plus sèche ou plus humide et un pied très sec peut se trouver à côté d'un pied très humide. La conséquence en est qu'il faut mesurer l'humidité en mélangeant des prélèvements faits sur un nombre important de pieds (minimum une dizaine, idéalement une trentaine).

ont apporté des éléments supplémentaires pour mieux connaître la variabilité spatiale de l'humidité de la végétation (voir encadré) et sa traduction spectroradiométrique, et grâce à la modélisation, de mieux comprendre les possibilités et limites de la télédétection.

Une détermination indirecte par spectroradiométrie

L'analyse spectroradiométrique consiste à examiner la réponse radiométrique d'un végétal au niveau feuille. Des résultats récents portant sur plusieurs espèces méditerranéenne ont montré la possibilité d'estimer la teneur en eau en utilisant plusieurs longueurs d'onde, dont notamment le moyen infrarouge (autour de 2 microns). Ces bonnes prédictions sont possibles avec du matériel frais (à son humidité de cueillette) mais aussi — et c'est plus surprenant — avec du matériel séché en étuve. Ceci tendrait à montrer que la variation de la teneur en eau s'accompagne de la variation d'autres composants biochimiques non encore identifiés.

La modélisation pour anticiper les performances de la télédétection

La modélisation du comportement radiométrique d'un couvert végétal permet de faire des milliers de simulations en faisant varier certains (ou tous les) paramètres selon des lois statistiques adaptées et de mesurer ensuite l'influence relative de ces paramètres. Les résultats obtenus ont permis de confirmer l'intérêt du moyen infrarouge, qui est le domaine spectral le plus sensible aux variations de teneur en eau. Les études avec les données satellitaires réelles n'ont cependant pas encore démontré leur caractère opérationnel.

■ Une première raison importante en est que le signal a dû traverser l'atmosphère pour être recueilli au niveau du satellite et a interagi avec certaines de ses composantes (aérosols, ozone...). La possibilité de corriger ces effets nécessite de connaître la répartition spatiale de ces composantes, tâche difficile lorsque celles-ci sont variables dans l'espace (d'un point à un autre) et dans le temps (d'un jour à l'autre).

■ La seconde est liée à une contrainte technique. Un satellite ne peut à la fois visiter quotidiennement chaque point du globe, et en même temps examiner chacun de ces points en visée verticale et avec une haute résolution. Pour acquérir une information quotidienne, on doit se satisfaire d'une résolution au sol assez grossière (de l'ordre du km²) accompagnée d'une grande largeur d'empreinte au sol (environ 2 500 km) et d'une localisation différente chaque jour dans cette empreinte. Or ces compromis ont des conséquences : la basse résolution va se traduire par des pixels au sol pouvant mélanger plusieurs types de formation présentant des intervalles différents de variation d'humidité et chaque point sera observé selon un angle de visée différent (pouvant aller de - 40° à + 40°).

Pour corriger ces effets perturbateurs, des progrès importants ont été accomplis ces dernières années, mais les corrections ne sont pas encore parfaites. Cela veut dire que des variations faibles d'humidité pourront être non détectées, à cause de leur confusion avec le bruit résiduel de correction, ce qui pourrait empêcher le suivi fiable de certaines formations. Les recherches doivent conduire à améliorer les méthodes de correction des effets perturbateurs et à déterminer les formations méditerranéennes pour lesquelles l'humidité pourra être évaluée avec une fiabilité suffisante.

Conclusion

Des études méthodologiques récentes ont confirmé l'intérêt potentiel de nouvelles données satellitaires ou aériennes pour l'étude de différents paramètres intervenant dans le risque d'incendies de forêt. Parmi celles-ci, des résultats prometteurs ont déjà été obtenus dans la cartographie des interfaces habitats-forêt en utilisant l'imagerie numérique à très haute résolution, et dans la cartographie des types de combustible à l'aide de données LiDAR.

Michel DESHAYES
Sylvie DURRIEU

Cemagref, Maison de la
Télédétection
Montpellier
deshayes@teledetection.fr
durrieu@teledetection.fr

Marielle JAPPIOT

Cemagref, Aix en Provence
marielle.jappiot@aix.cemagref.fr

Une bibliographie détaillée de référence peut être obtenue auprès des auteurs.