

UTILISATION DE DONNÉES DE TÉLÉDÉTECTION AU SEIN D'UN LOGICIEL DE SIMULATION DES FEUX DE FORÊTS GEOFEU

Par L. DEMAGISTRI, L. LAURORE, P. LIMOZIN

Géoimage, CICA - 2229 Route des Crêtes Sophia-Antipolis - 06560 VALBONNE FRANCE.

Tel: (33) 92 94 23 00 - Fax: (33) 92 94 23 07

ABSTRACT

Géoimage is a company specialized in digitized mapping. It also develops and sells software packages for the processing of images from earth observation. For nearly three years, we have been collaborating with the MTDA Agency, to set up a forest fire simulation software. A friendly graphic interface has been developed, taking into account the needs and the requirements of the people who may use this software. Beside the propagation model, our software relies on a data base built on a series of geo-referenced plans: the active data and the passive data. The active data are relative to three types of physical parameters included in the propagation: the ground occupancy, the relief and the wind. Passive data consist in all the plans which are used as a reference for analysis and decision making: existing maps, geo-referenced plans from SPOT or LANDSAT images and aerial images. Our paper deals with the way we use the different remote sensing data into a propagation model which follows the relief variations closely and takes into account information such as wind and ground occupancy.

INTRODUCTION

Géoimage est une société spécialisée en cartographie numérique et en traitement d'images. Elle développe également un logiciel de cartographie, permettant d'enchaîner la plupart des opérations de traitement d'images aériennes ou satellitaires, pour aboutir par exemple, à la réalisation de modèles numériques de terrain ou de cartes de l'occupation du sol. Elle s'intéresse depuis deux ans aux problèmes de protection des forêts contre les incendies.

Entre ce fléau et les pompiers, le combat est souvent inégal. Disposer d'un outil de simulation des incendies de forêts semble être aujourd'hui le passage obligé pour rendre plus sûre la prise de décisions en matière de prévention et de lutte

L'intérêt de la télédétection dans le domaine des feux de forêts est de disposer régulièrement d'informations satellitaires sur la plupart des régions du globe, afin de modéliser des plans de données nécessaires à la modélisation d'un incendie de forêt.

◆ UN LOGICIEL DE SIMULATION DES FEUX DE FORÊTS: GEOFEU

La société Géoimage et l'agence MTDA (Aix-en-Provence, France) travaillent en collaboration depuis deux ans à la mise au point d'un logiciel de simulation des feux de forêts. Une interface homme/machine conviviale a été développée, en tenant compte des besoins des personnes susceptibles d'utiliser ce logiciel, et afin de constituer un véritable outil d'aide à la décision. Les trois domaines d'application de ce logiciel sont la prévention, la formation et la lutte.

En matière de prévention, cet outil permettra d'acquérir une meilleure connaissance des zones à risque (un jeu de simulations permettra d'identifier les zones particulièrement sensibles) et de conduire la modification de la nature du combustible en certains points stratégiques (installation de pare-feu positionnés à l'aide de simulations).

La compréhension et la maîtrise de la propagation d'un feu permettront en outre, de mieux préparer les équipes de secours. La formation en situations réelles étant difficile à réaliser, une partie de l'apprentissage pourra se faire sur écran.

A plus longue échéance, l'intérêt d'un tel outil est, de toute évidence, son utilisation en mode opérationnel; c'est-à-dire, la possibilité en cas de sinistre, d'anticiper le comportement d'un incendie afin de quantifier et de positionner les moyens de lutte et de secours nécessaires.

Notre logiciel s'appuie sur une base de données constituée d'une série de plans d'information géo-

référencés. Ceux-ci sont divisés en deux groupes: les données actives et les données passives. Les données actives sont relatives à trois types de paramètres physiques entrant dans la propagation:

- l'occupation du sol (localisation des différents types de végétaux),
- le relief (carte du relief, carte des pentes, carte des expositions),
- le vent (carte du vecteur vent).

Tous les plans utilisés à titre consultatif, pour l'aide à l'analyse et à la prise de décisions constituent les données passives:

- les cartes existantes sur la zone étudiée (cartes IGN, cartes IFN, cartes DFCI),
- les images SPOT, LANDSAT ou aériennes.

Les fonctionnalités de l'interface permettent de simuler un ou plusieurs dépôts de feux et de visualiser les différentes étapes de la propagation. Certains paramètres peuvent être réglés directement, en particulier la direction et la force globale du vent, le pourcentage d'humidité relative de l'air sur la scène et l'unité de temps pour la propagation. L'occupation du sol peut être éditée et modifiée, par exemple pour introduire un ou plusieurs coupe-feu. Un module permet de plus de visualiser certaines étapes de propagation sur une image en perspective.

La société Géoimage et l'agence MTD A participent au programme de recherche Européen n° EV5V-CT91-0015 sur la modélisation des feux de forêts. De ce travail devraient naître des modèles de propagation du feu qui seront intégrés au simulateur. Pour cette raison, le modèle de propagation de feu actuel a été implémenté de façon modulaire. Il sera possible de tester sur une même interface différents modèles de propagation.

Dans la suite, nous présentons les données de télédétection que nous utilisons et la manière dont elles sont utilisées par le logiciel.

◆ MANIPULATION DES DONNÉES DE TÉLÉDÉTECTION

■ LES DONNÉES

Quel que soit le modèle de propagation de feu utilisé, trois paramètres essentiels doivent figurer à la liste des plans de données: le relief, l'occupation du sol, le vent. Ils sont reconnus comme étant les facteurs régissant principalement le phénomène de propagation d'un feu. Actuellement, les techniques de télédétection permettent d'obtenir assez facilement les informations de relief et d'occupation du sol.

- Le relief

Le relief est donné par une carte des altitudes, ou modèle numérique de terrain. Un modèle numérique de terrain peut-être obtenu de différentes manières. Il peut en effet être obtenu par numérisation de courbes de niveau ou bien par des techniques de télédétection. Dans ce cas, il est calculé à partir d'un couple stéréoscopique d'images satellitaires ou aériennes. C'est-à-dire deux images d'une même zone, mais prises lors de deux passages différents du capteur. Les conditions idéales sont obtenues pour un écart d'angle maximal et un écart de date minimal. Des produits dérivés du modèle numérique de terrain, les images des pentes et des expositions, sont calculées, donnant en chaque point, l'inclinaison et l'orientation du versant sur lequel on se trouve. Les valeurs de pente et d'exposition sont indissociables: une forte pente pourra contribuer soit à accélérer soit à ralentir la progression d'un feu selon que l'orientation coïncide ou non avec la direction de propagation.

La prise en compte de la pente dans notre modèle se fait par l'intermédiaire d'un tableau (tableau 1). La valeur de pente détermine un facteur de propagation lié à la pente qui sera décrit plus tard dans le modèle.

Tableau 1: Facteur de propagation f_p lié à la pente.

Pente (°)	0	6	11	17	22	27	31	35
f_p	1.00	1.25	1.67	2.30	3.24	4.65	6.78	10.00

Un modèle numérique de terrain du département des Alpes-Maritimes, ainsi que les images d'exposition et de pente associées sont présentées figure 1.

- L'occupation du sol

Une image d'occupation du sol est obtenue par classification d'une image multispectrale de la zone à étudier. Cette technique consiste à regrouper les pixels d'une image en différentes classes selon leur information spectrale. Pour arriver à différencier plus facilement des zones présentant des réponses spectrales voisines, il est parfois nécessaire de disposer également

d'une deuxième image multispectrale prise à une saison différente. Le plus courant, dans le cadre de l'étude des végétaux, est d'utiliser deux images prises respectivement en été et en hiver. Une connaissance de la zone étudiée, sous la forme de parcelles d'apprentissage faites à partir de vérités terrain, est intégrée au système pour décrire les thèmes à classer. L'occupation du sol est une carte de localisation des différents types de végétaux.

Afin d'obtenir une discrimination plus fine entre différentes espèces, un croisement de plans de données telles que l'altitude et l'exposition est utilisé. En effet, certaines espèces ne se rencontrent qu'en dessous ou

au-dessus de seuils d'altitude précis, ou sur des versants ayant une exposition particulière. Quelques ré-

sultats d'une étude faite sur le département des Alpes-Maritimes (France, 06) sont présentés dans le tableau 2

Tableau 2:

Classe	Altitude (m)	Expos.	Type IFN le plus fréquent
Futaie résineuse	≥ 1200	SE-SW	Futaie claire de pin sylvestre
Futaie résineuse	1200 à 1500	NE	Futaie de sapin/épicéa
Futaie résineuse	1200 à 1500	NW	Futaie de pin sylvestre
Futaie résineuse	< 1200	SE-SW	Futaie de pin d'Alep ou pin maritime
Futaie résineuse	< 1200	NE-NW	Futaie de pin d'Alep ou pin maritime sur taillis
Futaie feuillue	≥ 1200	Toutes	Futaie de hêtre
Futaie feuillue	< 1200	Toutes	Taillis d'ostrya ou chêne vert ou chêne pubescent
Futaie mélangée	≥ 1200	Toutes	Futaie de pin sylvestre sur taillis
Futaie mélangée	< 1200	Toutes	Futaie de pin d'Alep ou pin maritime sur taillis
Garrigue/maquis	< 1200	Toutes	Garrigue ou maquis non boisé
Garrigue/maquis	≥ 1200	Toutes	Landes pastorales

A chacune des espèces répertoriées dans l'image d'occupation du sol, correspond l'ensemble des caractéristiques nécessaires en entrée du modèle de propagation de feu utilisé.

Pour notre modèle, ces caractéristiques se résument à deux paramètres: la vitesse de propagation du combustible sans vent ni pente (f_c) et la charge du combustible (C). Ils sont donnés dans le tableau 3 pour certaines espèces présentes sur le département des Alpes-Maritimes.

Tableau 3:

Type IFN	f_c (m/s)	C (g/m ²)
Futaie claire de pin sylvestre	0,17	2000
Futaie de sapin/épicéa	0,01	500
Futaie de mélèze	0,06	500
Futaie de pin d'Alep ou pin maritime	0,31	2000
Pré-bois de mélèze	0,08	1000
Futaie de hêtre	0,03	500
Taillis d'ostrya ou chêne vert ou chêne pubescent	0,19	2000
Garrigue ou maquis à chêne pubescent	0,36	2000
Garrigue ou maquis non boisé	0,42	3000
Landes pastorales	0,45	1000

Un des intérêts de l'utilisation de la télédétection pour la description de l'occupation du sol est de pouvoir obtenir des classes de combustible hétérogènes, composées de plusieurs espèces végétales. En effet, selon la répartition de ces espèces et leurs pourcentages

respectifs, la réponse spectrale obtenue par imagerie satellitaire ou aérienne, sera différente. On aura ainsi la possibilité de distinguer deux types de milieux, composés d'espèces identiques, dans des proportions sensiblement différentes.

- Le vent

Le vent est un paramètre que l'on ne sait pas appréhender actuellement de manière suffisamment précise. Certains partenaires du programme européen cité plus haut travaillent actuellement sur ce sujet. Un premier modèle de vent calculant la déformation d'un profil de vent sur un relief a été mis au point par l'institut FISBAT (Bologne, Italie). Ses limitations quant aux hypothèses

que doivent vérifier les reliefs d'étude, sont cependant trop restrictives pour obtenir des résultats satisfaisants. Des images de direction du vent ont quand même été calculées (figure 3).

Dans notre modèle, la direction et la force du vent sont directement prises en compte. La force, combinée à l'humidité de l'air par l'intermédiaire d'un tableau (tableau 4), permet de fixer un facteur de propagation lié au vent.

Tableau 3: Facteur de propagation f_v lié au vent (U en Km/h) et à l'humidité (H en %).

HU	8à16	17à24	25à32	33à40	41à48
41 à45	1,0	2,0	2,8	3,2	3,4
31 à40	1,4	2,8	3,9	4,5	4,8
26à30	2,0	4,0	5,6	6,4	6,8
16à25	2,8	5,6	7,8	9,0	9,5
<15	3,2	6,4	9,0	10,2	10,9

I LE MODÈLE DE PROPAGATION DE GEOFEU

Le logiciel de simulation de feux de forêts GEOFEU utilise un modèle de propagation qui épouse les variations du relief.

Le feu est décrit au niveau du front par une liste de points de coordonnées réelles qui en représentent le contour. Pour chacun de ces fronts, les points sont propagés grâce à un vecteur «vitesse de propagation» (V), calculé par le modèle de feu. En tout point d'un front, le vecteur V est inclus dans le plan tangent en ce point au relief. Il est obtenu par une somme pondérée de vecteurs relatifs au relief, au vent et à la direction normale au front et est donné par la formule suivante:

$$V = \alpha \cdot f_c \{ V_c + (f_v - 1)V_v + (f_p - 1)V_p \}$$

où: V_c , V_v , V_p sont des vecteurs unitaires indiquant respectivement la normale au front, la direction du vent, la pente.

f_c est la vitesse de propagation liée au combustible.

f_v est un facteur de propagation lié au vent et à l'humidité.

f_p est un facteur de propagation lié à la pente.

α est un coefficient d'ajustement du modèle.

dt étant l'unité de temps pour la propagation, les points des fronts sont propagés suivant le vecteur déplacement $V \cdot dt$.

Les vecteurs V_c , V_v et V_p sont des projections sur le plan tangent au relief, assurant ainsi une propagation parallèlement à celui-ci. Leurs coordonnées sont calculées à l'aide de relations trigonométriques élémentaires

entre les angles de pente et d'exposition, l'orientation de la normale au front (pour le vecteur V_c), la direction du vent (pour le vecteur V_v). Les valeurs que nous utilisons pour les paramètres f_c , f_v et f_p sont données dans les tableaux 1, 3 et 4.

Le modèle que nous venons de décrire est issu d'une collaboration avec Daniel Alexandrian. Il s'inspire, pour ce qui est de la prise en compte du vent et de la pente, de l'équation du taux de propagation du modèle de Rothermel, dont les principales équations ont été reprises dans le rapport bibliographique de Dupuy (1991).

Nous présentons dans la partie suivante quelques illustrations de l'utilisation du simulateur GEOFEU.

◆ EXEMPLES DE SIMULATIONS AVEC GEOFEU

Les simulations que nous présentons ici, ont été réalisées sur une base de données des Alpes-Maritimes.

Dans le premier exemple, on a laissé se propager un foyer initial numérisé grâce aux fonctionnalités de l'interface. Le logiciel étant capable de gérer un nombre non limité de fronts de feu, au bout d'un certain temps, un foyer secondaire a été allumé en avant du front. On a alors continué la simulation jusqu'à rencontre des deux fronts (figure 4).

Afin de montrer les effets de la modification de la carte de l'occupation du sol durant une simulation (méthode utilisée actuellement pour simuler une intervention sur le feu), on a réalisé deux simulations de feux dans des

conditions identiques. Au cours de l'une d'entre elles, un pare-feu a été positionné en travers du front. La mise en place d'un pare-feu correspond à la modification localement de la carte d'occupation du sol. La zone concernée est alors transformée en une zone non combustible ou faiblement. Le feu est alors stoppé le long du pare-feu et il commence à le contourner (figure 5).

CONCLUSION

Les simulations obtenues grâce à l'interface sont assez satisfaisantes. Le comportement du feu en fonction de la pente, du vent et de la nature du combustible est assez réaliste. Il est possible de tester séparément l'influence de l'un ou l'autre de ces paramètres: le feu accélère effectivement dans les directions de la plus forte pente et du vent. Une phase de calibration de ce modèle est cependant nécessaire pour modifier les différents coefficients afin d'ajuster les simulations aux données recueillies sur des feux anciens.

Le logiciel de simulation de feux GEOFEU est capable de gérer un nombre illimité de fronts. Les problèmes que nous avons rencontrés concernant la fusion de fronts nous ont conduits à l'étude de différentes méthodes de propagation. Actuellement, des méthodes de contagion de pixels, basées sur le même modèle de propagation de feu, sont en cours d'étude.

La liste des paramètres susceptibles de jouer un rôle important dans la propagation d'un incendie et donc d'intervenir dans un modèle de feu, n'est pas exhaustive. Les bases de données à constituer, pour l'utilisation du logiciel de simulation de feux de forêts, devront être complétées au fur et à mesure de l'évolution des modèles de feu. Les recherches en télédétection permettront sûrement d'obtenir certains des paramètres qui s'avéreront nécessaires. Parmi ceux-là, figurent la température du sol, le pourcentage d'humidité de l'air et le pourcentage d'humidité du sol. Ils apparaissent tous les trois comme étant des facteurs dont il faudra tenir compte pour modéliser finement la propagation d'un feu.

REFERENCES

DUPUY J.L., 1991. Modélisation prédictive de la propagation des incendies de forêts. Rapport bibliographique, document PIF 9103, INRA Avignon (France).