

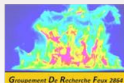
Estimation de surfaces de feux de forêts par simulation de masse et émulation de modèle

J. Lefort¹ V. Mallet¹ J.B. Filippi²

1 - INRIA, BP 105, 78 153 Le Chesnay cedex, France

2 -SPE, CNRS UMR6134, Université de Corse

GDR Incendie – Vendredi 3 Juin 2016



Fire Weather Index

- Index basé sur données stations.
- Origine canada.
- Composition de FFMC et ISI.



Carte du risque incendie pour les activités de pleine nature

31/08/2012

ATTENTION
FERMETURE
 par arrêté préfectoral
 des massifs :
 - AGRIATES
 - BONIFATO
 - FANGO
 - MANGANELLU
 - VERGHELLU

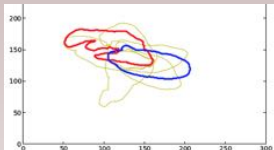
du 30 août - 20h
 au 1er septembre - 6h

10 0 10 20 30
 kilomètres



Une typologie de risque différente

- Simulation de la taille du feu après une certaine durée.
- Ensembles de simulation, différentes conditions météo distribuées autour d'une l'observation/prévision.
- Criblage du territoire, mise à feu en tout point d'un maillage fin (50 à 100m).
- Croisement potentiel avec une carte des enjeux (site à hauts risques, à haute valeur environnementale).



Un calcul hautement distribué

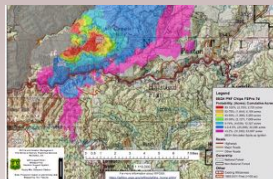
- Carte quotidienne basée sur des milliers de simulations.
- Toutes les simulations ont des conditions initiales différentes, elles peuvent être effectuées sur des calculateurs distants sans contraintes fortes sur les communications réseau (nuage).
- Reste des contraintes fortes sur le temps de calcul, même avec des codes à propagation de front : émulation de modèle.

Existant

Codes existants

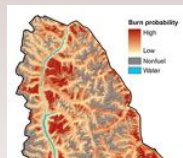
Farsite/FSPPro/FSim

- USA.
- Résolution 100m +.
- Temps 20 min incendie.



Prometeus, BurnP3

- Canada.
- Résolution 300/100 m.
- Temps 10 h/ territoire.



Phoenix / Rapidfire

- Australie.
- Résolution 100 m.
- Temps 1 minute / incendie.



Code ForeFire

- Code C++ open source, interfaces python/numpy, Fortran, API web, seul ou couplé atmosphère.
- Temps < 10 secondes pour grand incendie (5000 Ha).
- Test interactifs : <http://forefire.univ-corse.fr/sim/dev/>.

Mise en donnée

- Résolution 100 m pour le combustible, BD Forêts.
- Modèle réduit de vent, 250m de résolution.
- 4 modèles de ROS, Balbi, Balbi non-stationnaire, Rothermel, 3 %.
- Territoire Corse, découpé en tuiles de 2500 km^2
- Voir les données : <http://forefire.univ-corse.fr/wind/>.

Filippi, J. B., Mallet, V., Nader, B. (2014). Evaluation of forest fire models on a large observation database. Natural Hazards and Earth System Sciences, 14, 3077-3091.

Moindres carrés et fonctions à base radiale (RBF)

- f donne l'aire brûlée avec le vecteur d'entrée $p \in \mathbb{R}^M$.
- Un ensemble d'entrées N avec $(p^{(i)})_{1 \leq i \leq N}$ est tiré au sort pour l'apprentissage et les surfaces correspondantes $(f(p^{(i)}))_{1 \leq i \leq N}$ sont simulées.
- Par approximation aux moindres carrés, la valeur de f en tous point est approchée linéairement

$$f(p) \simeq \sum_{1 \leq k \leq M} \beta_k p_k \quad \forall p = (p_k)_{1 \leq k \leq M}$$

- Le résiduel $g(p) = f(p) - \sum_k \beta_k p_k$ est interpolé par RBF.
- On connaît $g(p^{(i)})$ pour tout échantillon $p^{(i)}$ et avec \hat{g} par la RBF Φ :

$$\hat{g}(p) = \sum_{1 \leq i \leq N} w_i \Phi(\|p - p^{(i)}\|) \quad \forall p \in \mathbb{R}^M$$

- Pour notre application, Multiquadrique :

$$\Phi : r \mapsto \sqrt{\left(\frac{r}{\epsilon}\right)^2 + 1}$$

Besoins ForeFire

- Tuile de données.
- Vecteur de vent, température et humidité.
- Modèle de terrain modélisé comme 4 plans compris entre -45° et 45° .

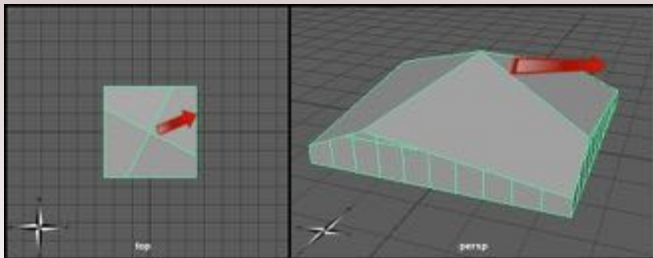
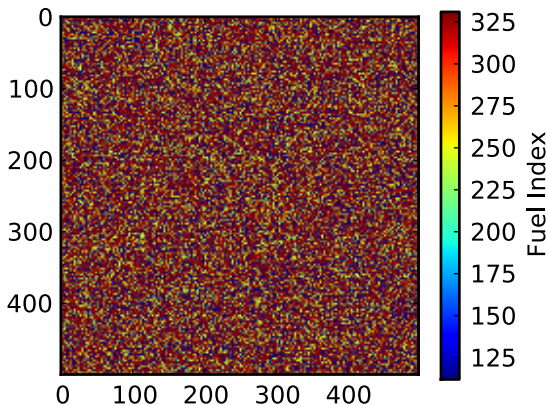


FIGURE : Vue haut et perspective des 4 sections du domaine idéalisé

Problème, répartition du combustible

- Combustible : champ discret, impossible à interpoler entre un conifère et de la roche.
- Basé sur une distribution aléatoire vérifiant la distribution de combustibles du domaine à émuler.



Des configurations d'incendies

- incendies naissants : 30 min (temps d'arrivée minimum de la lutte),
- petits : 1h (incendies pouvant être arrêtés rapidement),
- moyens : 3h (durée intermédiaire),
- longs : 8h (durée avant relève).

Construction des ensembles

- de -20° à 20° pour les pentes,
- de 0° à 360° pour la direction de vent,
- de 0 m/s à 50 m/s pour la vitesse de vent,
- de 270 K à 320 K pour la température,
- de 0 à 0.5 pour l'humidité,
- de 0 à 1 pour la proportion de chaque combustible.

Résultats sur base cas idéaux

Nombre de cas d'apprentissage	5000 (tirage par hypercube latin)
Nombre de cas de validation	500
Nombre de processeurs utilisés	25
Durée du calcul d'apprentissage	3 min

TABLE : Données utilisées pour la vérification de l'émulateur

	Balbi	Rothermel	3 %	Balbi non-stationary
30 min	17.7	114.5	8.2	112.6
1 h	25.9	100.5	8.1	242.3
3 h	86.8	360.3	7.0	442.8
8 h	205.7	505.8	17.9	321.4

TABLE : Erreur moyenne sur base de test de validation

Résultats sur base cas réels, erreur de l'émulateur

	Balbi	Rothermel	3 %	Balbi non-stationary
30 min	35.8	59.7	25.5	469.3
1 h	39.6	79.4	59.0	454.1
3 h	50.9	101.2	110.3	114.3
8 h	90.1	91.2	327.2	85.6

TABLE : Erreur moyenne sur base de cas réels, erreur de l'émulateur (donnée météo et tuile territoire)

	Balbi	Rothermel	3 %	Balbi non-stationary
30 min	32.4	44.8	22.4	401.7
1 h	25.8	59.1	54.9	390.8
3 h	34.5	74.2	103.3	57.3
8 h	52.6	92.5	249.3	91.1

TABLE : Erreur médiane sur base de cas réels (donnée météo et tuile territoire)

Beaucoup de calculs, même avec émulation

- 200 000 points d'éclosion,
- +- 10 variations de vitesses de vent,
- +- 10 variations de direction de vent,
- +- 10 variations d'humidité,
- +- 10 variations de charge de combustible,
- soit 2.10^9 simulations
- Nécessité de simulation "instantanée" (<1s) pour carte interactive de distribution de taille de feux en fonction de la météo.

Emulation de carte

Journée d'incendie extrême

- Température très importantes, humidité très basse.
- Usage des 4 modèles, utilisation de données météo modèle ECMWF opérationnel.
- Comparaison au FFMC canadien calculé avec les mêmes données d'entrée.

Balbi

Balbi

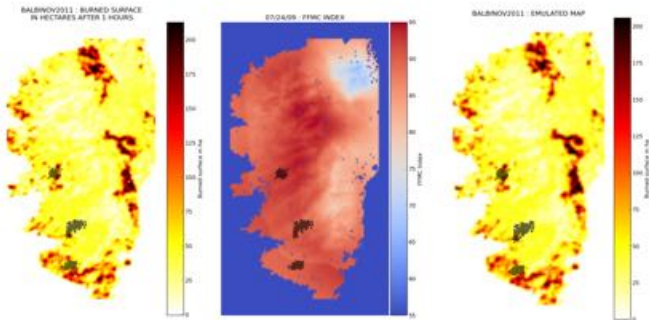


FIGURE : Balbi stationary model : de gauche à droite, carte sur émulateur, FFMC et carte émulée. incendies observés en gris

risque

Niveau de discrimination de chaque modèle

FFMC risk	76.56 %
Balbi risk	7.21 %
Rothermel risk	9.99 %
3 % risk	26.66 %
Balbi non-stationaire risk	12.32 %

TABLE : Proportion de zone risquée pour chaque modèle

De l'usage de l'apprentissage statistique

- L'émulation n'est qu'une représentation d'un modèle, il est encore nécessaire de l'améliorer.
- Impossibilité de prendre en compte une situation non-apprise.
- Erreur grandissante avec la durée de l'incendie.
- Toujours la même dépendance à la qualité des données d'entrée.

Perspectives

- Vérification sur toute historique d'incendies disponible (Prométhée), granularité spatiale trop faible (point d'éclosion ?) et données météo.
- Test sur d'autres territoires.
- Génération interactive d'évolution du risque en fonction de modification du combustible (aménagement).
- Recoupement avec carte des enjeux.