



**PRÉFET  
DU VAR**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER DU VAR

# CARTE COMMUNALE D'ALEA INCENDIE DE FORET

Commune de PIERREFEU DU VAR

Notice méthodologique





## Table des matières

<b>I. INTRODUCTION</b>	<b>4</b>
A. QUELQUES DEFINITIONS	4
B. CONDITIONS D'UTILISATION DE LA CARTE D'ALEA INCENDIE	6
C. REFERENCES	6
<b>II. METHODOLOGIE D'ELABORATION DES CARTES</b>	<b>7</b>
A. METHODOLOGIE GENERALE	7
B. OUTILS ET MODELES UTILISES	8
C. OCCUPATION DU SOL ET COMBUSTIBLE	9
D. TOPOGRAPHIE	14
E. VITESSE ET DIRECTION DU VENT	14
F. TENEUR EN EAU DU COMBUSTIBLE	16
G. INTENSITE DU FEU	17
H. PROBABILITE D'ECLOSION	19
I. PROBABILITE D'OCCURRENCE	20
J. CARTOGRAPHIE DE L'ALEA SUBI	21
K. AGGRAVATION DU RISQUE ET SOURCES DE DEPART DE FEU	23

*Date de mise à jour : 17 avril 2021*





# I. INTRODUCTION

Cette note méthodologique présente la méthode retenue pour la mise au point de la carte communale d'aléa incendie de forêt sur la commune de Pierrefeu du Var, réalisée en 2020 par les bureaux d'études Alcina Forêts et Guillaume Arlandes pour la Direction Départementale des Territoires et de la Mer du Var.

Cette carte d'aléa incendie de forêt, à l'échelle du 1/10 000<sup>ème</sup>, vise les applications suivantes :

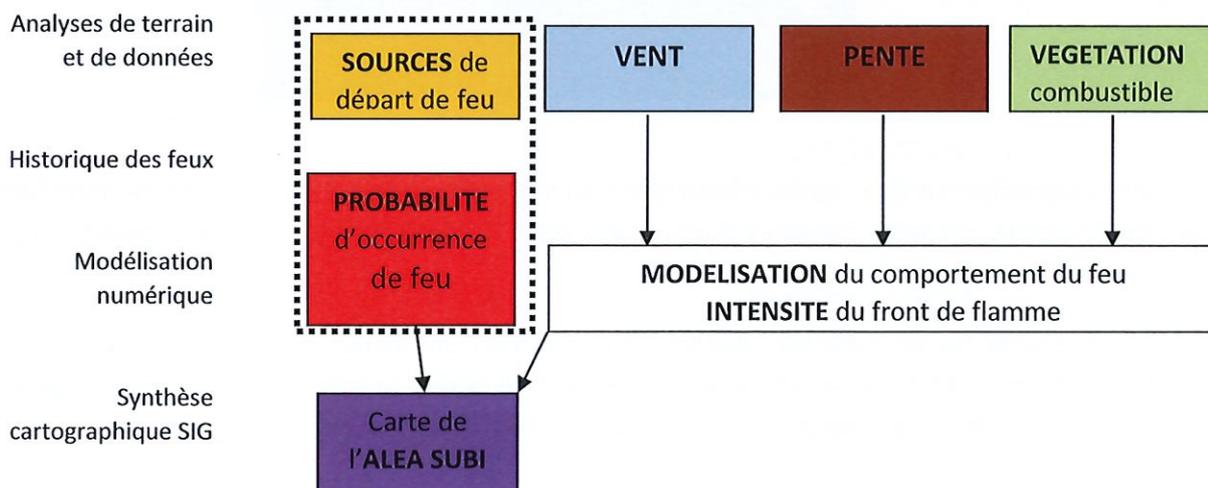
- Porter à connaissance de l'aléa aux communes (pour intégration aux documents d'urbanisme),
- Information aux porteurs de projets de l'aléa incendie de forêt pour prise en compte des dispositions nécessaires,
- Eléments d'analyse pour les services instructeurs des PLU et différentes demandes liées aux projets mis en œuvre sur le territoire,
- Information des citoyens sur l'aléa incendie de forêt

Cette notice présente la méthodologie détaillée d'élaboration de cette carte et les conditions de référence utilisées pour son élaboration.

## A. Quelques définitions

### 1. Aléa subi

D'après l'INRAE, l'aléa subi est défini comme le croisement entre l'intensité du feu et l'extension potentielle du phénomène (ou sa probabilité d'occurrence). Il représente l'aléa auquel sont exposés les personnes et les biens.



### 2. Aléa induit

D'après l'INRAE, l'aléa induit est défini comme le croisement entre la probabilité d'éclosion et la surface menacée. Il représente l'aléa auquel est exposé le massif forestier. **Cet aléa n'est pas représenté sur la carte communale d'aléa incendie.** Cependant des éléments liés aux sources de départs de feu (centrales photovoltaïques, Installations classées protection de l'environnement, ...) sont identifiés et représentés sur les cartes d'aléa subi.



### 3. Zones d'aggravation

Dans cette étude, les zones d'aggravation sont définies comme les événements atypiques mais non exceptionnels d'un incendie tels que les accélérations de hauts de versant ou les embrasements dans ou autour de vallons prononcés. Ces phénomènes ne peuvent être définis par la modélisation. Ils résultent d'une expertise de terrain.

### 4. Risque d'incendie de forêt

Le risque d'incendie de forêt est défini comme le croisement d'un aléa et des enjeux menacé par le phénomène concerné. Ainsi, la carte communale d'aléa incendie de forêt ne représente pas le risque d'incendie de forêt.



### 5. Combustible

Une végétation est dite combustible à partir du moment où, en présence d'une source d'énergie (une flamme, un point chaud) et d'un comburant (l'oxygène de l'air), elle peut prendre feu.

### 6. Intensité du feu

L'intensité du feu est l'une de caractéristiques permettant de définir ce feu en un point donné. C'est également une caractéristique permettant de définir la combustibilité d'une végétation. Elle est peut-être traduite par la puissance du front de flamme exprimée en kW/m.

### 7. Ecllosion

L'écllosion est l'ensemble de phénomènes à l'origine du feu : une source d'énergie (étincelle, flamme, matériel chaud, mégot de cigarette, ...) qui va provoquer l'inflammation d'un végétal sec qui communiquera ensuite le feu aux différents combustibles présents dans la végétation.

### 8. Occurrence

L'occurrence correspond au fait qu'un point donné puisse ou non être concerné par un feu de forêt. Elle est associée à une probabilité d'un feu ait lieu en chaque point du territoire.



## B. Conditions d'utilisation de la carte d'aléa incendie de forêt

Cette carte a été produite sur la base des données disponibles au cours de l'année 2020 : cartographies de l'occupation du sol (BD Topo IGN et BD OcSol), cartographies du couvert forestier (BD Forêt IGN-F v2), images satellites (Sentinel B2 -2019-), données statistiques sur les feux de forêt, vérifications de terrain réalisées à l'été 2020. Les conditions de référence (vents, humidité du combustible) choisies sont les conditions de références les plus sévères recensées sur les 20 dernières années. La carte résulte d'une évaluation d'une situation en 2020. Cette situation est susceptible d'évoluer dans le temps.

La cartographie de la végétation combustible a été réalisée et vérifiée à une échelle du 1/10 000<sup>ème</sup>. Elle présente une fiabilité statistique de l'ordre de 80% à cette échelle.

Enfin, l'unité de base de cette carte, le pixel, représente une portion de terrain de 10 mètres par 10 mètres. L'incendie de forêt est un phénomène de dimension bien supérieure à 100 m<sup>2</sup>, la radiation d'un front de flamme de 10 mètres de hauteur est létale pour l'humain à 50 mètres. Des lissages ont été réalisés pour intégrer ces phénomènes de radiation mais un pixel d'aléa faible entouré d'aléa fort ne peut être considéré comme protégé de cet aléa. La lecture de la carte doit donc s'effectuer au niveau d'une zone et non du pixel.

## C. Références

La méthodologie retenue pour l'élaboration de la carte d'aléa feu de forêt de Pierrefeu du Var s'appuie sur les préconisations des recommandations techniques en vigueur en 2020 :

- Annexe 4 de la note technique du 29 juillet 2015 relative à la prise en compte du risque incendie de forêt dans les documents de prévention et d'aménagement du territoire,
- Guide méthodologique « Plans de prévention des risques naturels (PPR) – Risque d'incendies de forêt » 2002,
- Guide général des plans de prévention des risques naturels prévisibles (MEEM/MLHD) 2016,
- Prise en compte du risque incendie de forêts dans l'urbanisme (CEREMA) 2018.



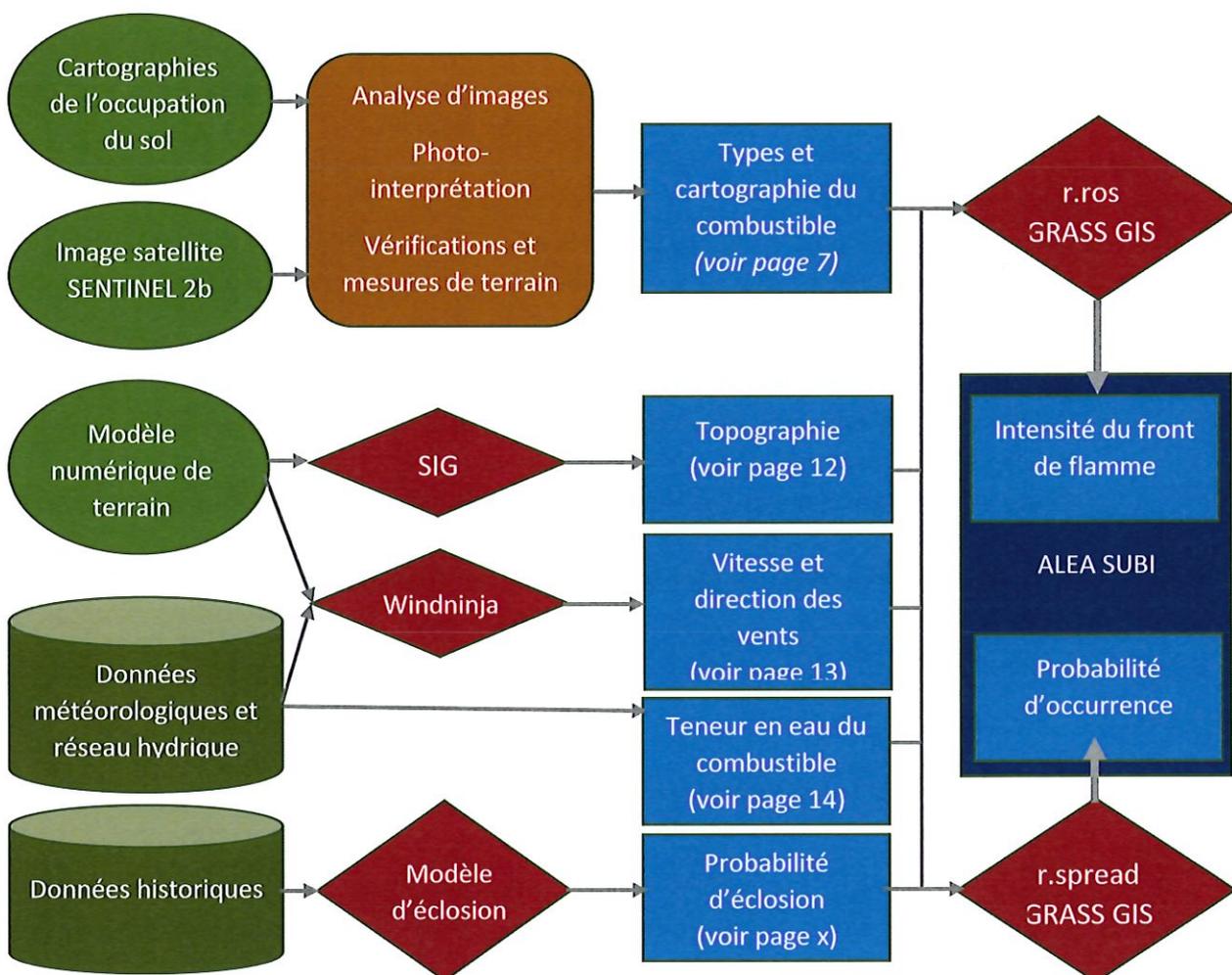
## II. METHODOLOGIE D'ELABORATION DES CARTES

La méthodologie retenue pour l'élaboration des cartes communales d'aléa incendie de forêt de Pierrefeu du Var est une approche déterministe. Il s'agit, à partir des données décrivant le territoire (végétation combustible, paramètres climatiques, topographie, teneur en eau de la végétation, aux conditions de référence) de modéliser par des outils numériques liés à un système d'information géographique :

- L'intensité du front de flamme potentiel en chaque point du territoire,
- La probabilité d'éclosion d'un feu sur l'ensemble du territoire,
- La probabilité d'occurrence d'un incendie de forêt en chaque point du territoire.

La présente notice décrit les paramètres de ces modélisations numériques successives et les bases théoriques des différents modèles utilisés.

### A. Méthodologie générale



*Schéma de synthèse de la méthode de calcul des aléas BelisIGma*



## B. Outils et modèles utilisés

La méthode « BelisIGma » mise en œuvre pour produire la carte d'aléa de Pierrefeu du Var est entièrement déterministe, basée sur des modèles de comportement et de propagation du vent publiés par divers organismes de recherche, libres et adaptés aux besoins de la carte d'aléa produite.

### 1. Module r.ros – GRASS GIS

Le module r.ros de GRASS GIS (<http://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.ros.html>) module est basé sur l'intégration du modèle de Rothermel (1954) et les travaux de P. Andrews (1983) mis en œuvre dans les logiciels Behave Plus (P.L Andrews, 2008) et Farsite (M. Finney, 1994) mais ici intégrés au logiciel cartographique GRASS GIS (Xu, J. 1994). Ces modèles et logiciels ont été développés par le Service Forestier des Etats Unis pour prédire le comportement d'un feu.

Cette méthode est utilisée dans divers modèles de comportement du feu ou cartographies du risque d'incendie (European Forest Fire System -Rodriguez-Aseretto 2013). Nous l'utilisons pour son caractère OpenSource qui nous a permis de modifier les caractéristiques du modèle pour l'adapter aux conditions d'application.

La donnée de sortie de r.ros est la vitesse et la direction de propagation du front de flamme, la distance maximale de saute de feu potentielle. Les données d'entrée sont :

- les types de combustibles et leurs caractéristiques,
- la teneur en eau du combustible,
- la vitesse du ou des vents de référence,
- la pente et l'exposition.

### 2. Module r.spread – GRASS GIS

Le modèle de propagation utilisé est le module r.spread de GRASS GIS (<https://grass.osgeo.org/grass78/manuals/r.spread.html>). Ce modèle est choisi du fait de son caractère OpenSource. r.spread se base sur les caractéristiques du feu issue du module r.ros. Ce module, proche du logiciel Farsite (M. Finney 1994) dans sa construction a été développé par J. Xu (1994) et est utilisé pour divers modèles ou cartographies de risques d'incendie. La donnée de sortie de r.spread est un ensemble de surfaces d'impact équi-temporel du passage du front de flamme.

Les données d'entrée de ce modèle sont :

- les vitesses et directions de propagation calculées par le module r.ros,
- les points de départ de feu à simuler,
- l'humidité du combustible,
- la vitesse du ou des vents de référence,
- la durée de simulation.

### 3. Windninja

Également développé par le Service Forestier des Etats Unis, Windninja (Forthofer, 2007) est un logiciel qui modélise la vitesse et la direction du vent sur des terrains complexes, pour les feux en milieu naturel.



## C. Occupation du sol et combustible

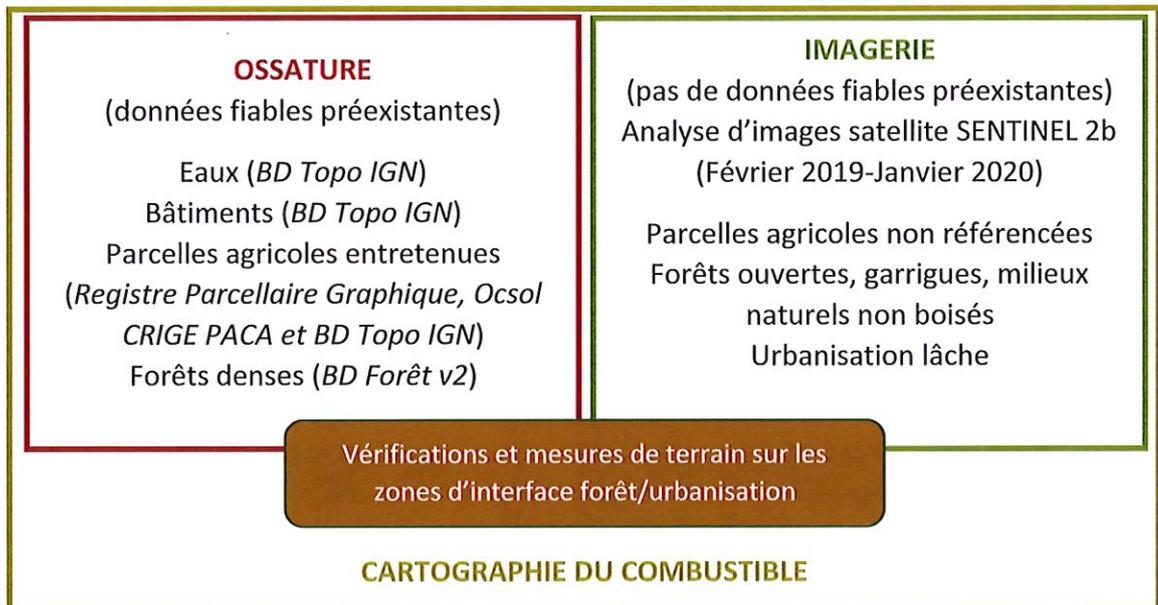
La cartographie du combustible est menée en 2 phases distinctes :

- Cartographie de l'occupation du sol orientée sur les caractéristiques du combustible,
- Caractérisation de la combustibilité des différentes classes d'occupation du sol.

### 1. Cartographie du combustible

Aucune donnée préexistante ne permet de traduire avec fiabilité la combustibilité du territoire à l'échelle du 1/10 000<sup>ème</sup>. Il est nécessaire de produire des données cartographiques ou d'en assembler.

Pour représenter le territoire combustible de la manière la plus précise possible, la méthodologie retenue consiste à assembler des données existantes sur les types d'occupation du sol sur lesquels on dispose de données fiables (eaux, zones urbaines denses, zones agricoles régulièrement entretenues, zones de forêts denses) avec une cartographie du territoire issue d'une analyse d'images satellitaires, sur les zones où les données relatives à combustible sont moins fiables (zones urbaines lâches, zones agricoles en déprise, forêts ouvertes et garrigues).



Dans certains cas (les zones incendiées récemment et les zones débroussaillées), la végétation existante ne rends pas compte de l'aléa, soumis à une augmentation due à la repousse attendue de la végétation. Dans le cas des zones débroussaillées, l'aléa doit être évalué sans prendre en compte les mesures de défendabilité qui visent à le réduire.

Dans le cas des incendies intervenus dans les 20 dernières années (incendies de plus 4 hectares référencés dans la base de données Prométhée), le niveau de combustibilité retenu est celui de la végétation présente avant le feu. La photo-interprétation est réalisée sur la dernière photographie aérienne avant le feu (2003 pour le feu du 9/07/2007) sur Pierrefeu du Var.

Dans le cas des zones débroussaillées, la végétation est prise en compte dans les conditions les plus défavorables pour le calcul de l'aléa. Par ailleurs, la défendabilité d'une zone n'est pas étudiée dans le cadre de la définition de l'aléa.



## Types de combustibles

Pour les cartes d'aléa feu de forêt des communes du sud-ouest du Var, 23 types de combustibles ont été déterminés à partir de la cartographie du combustible et de relevés de terrains réalisés en 2020. Ces types de combustibles ont été décrits sur la base des informations suivantes :

- Biomasse par classe d'éléments combustibles,
- Rapport Surface/Volume par classe d'éléments combustibles,
- Hauteur du lit de combustible,
- Pouvoir calorifique
- Facteur d'ajustement du vent (représentant la rugosité aérodynamique de la végétation)

Ces types de combustible sont qualifiés et classés sur la base de l'intensité du front de flamme simulée pour chacun des types aux conditions de référence.



u0 Terrains non végétalisés : Centre-ville, Immeubles, Zones industrielles et commerciales, Routes, Parking, Ports, Carrières, Falaises, Plage

Photo Google

Pas de feu de végétaux



A00 Vignes

Photo Google



A00 Vergers

Photo Google



Sols nus

Photo Google

Puissance du feu 200 -1200 kW/m



u4 Urbanisation lâche

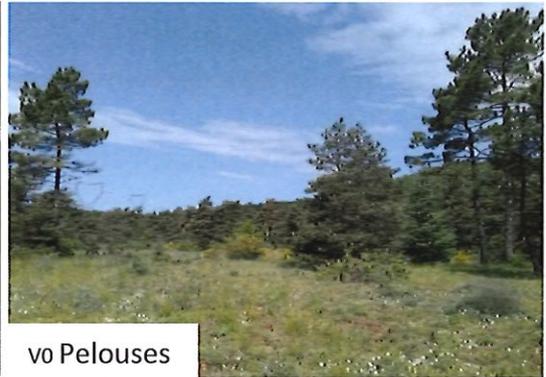


f3 Ripisylve





vo Jardins en zone urbaine



vo Pelouses

Puissance du feu  
350 - 1700 kW/m



A0 Herbacées hautes : Grandes cultures, prairies, parcs photovoltaïques



60 Arbres et arbustes sur sols rocheux calcaires

Puissance du feu  
350 - 3500 kW/m



F2 Feuillus à feuilles caduques



R11 Pinèdes à pin sylvestre

Puissance du feu  
1200 - 9000 kW/m



G4 Maquis clair



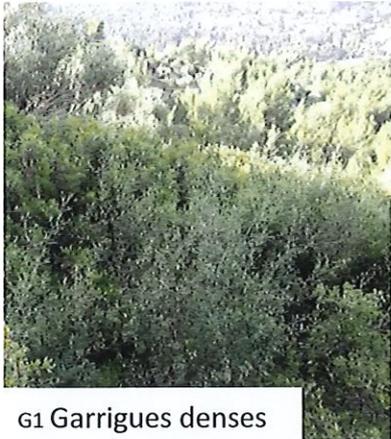
R12 Plantation résineuse



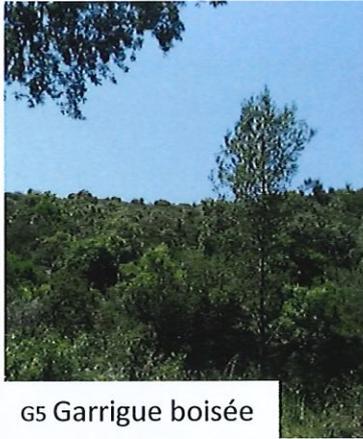
M10 Mélange feuillus - résineux

Puissance du feu  
1700 - 9000 kW/m





G1 Garrigues denses

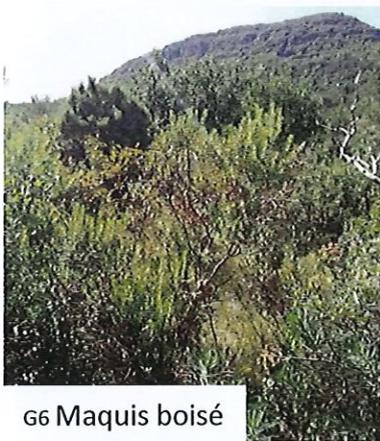


G5 Garrigue boisée



F0 Taillis sempervirent  
Maquis

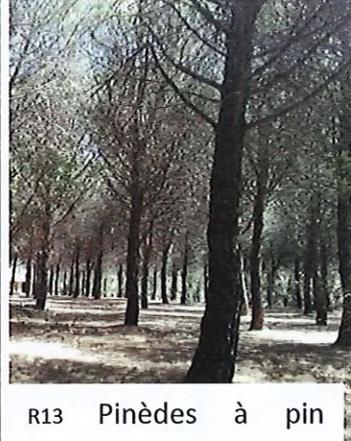
Puissance du feu  
1700 - 15000 kW/m



G6 Maquis boisé



M11 Mélange  
résineux - feuillus

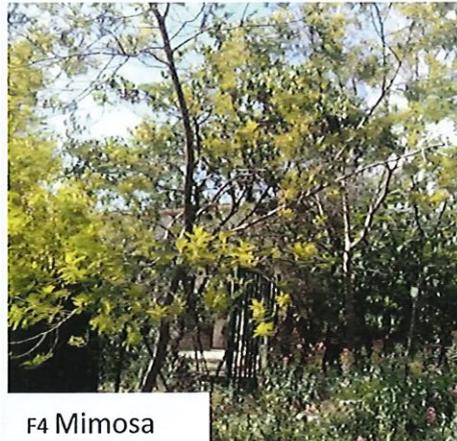


R13 Pinèdes à pin

Puissance du feu  
3500 - 20000 kW/m



R10 Autres pinèdes



F4 Mimosa

Puissance du feu  
9000 - 29000 kW/m



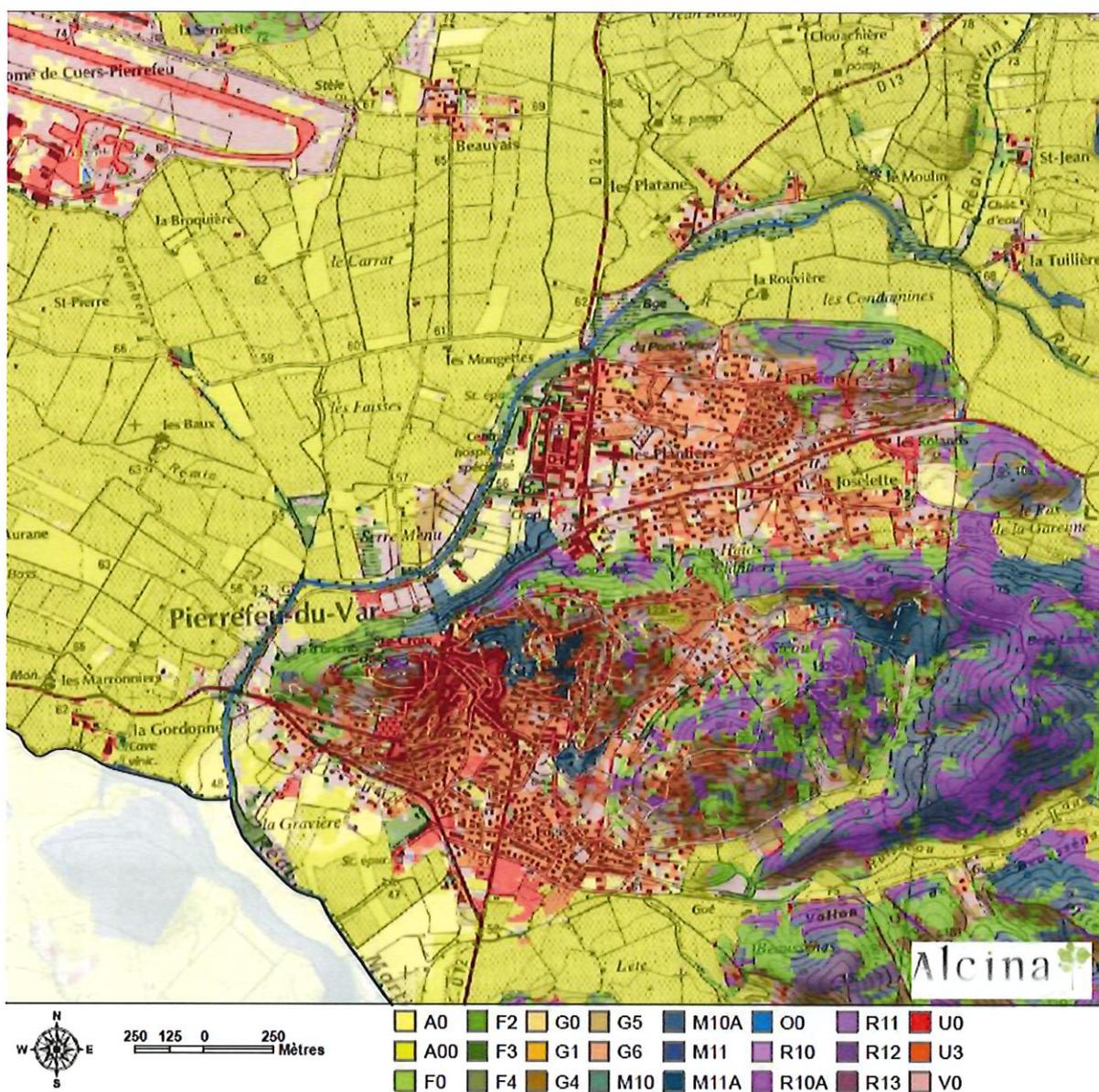
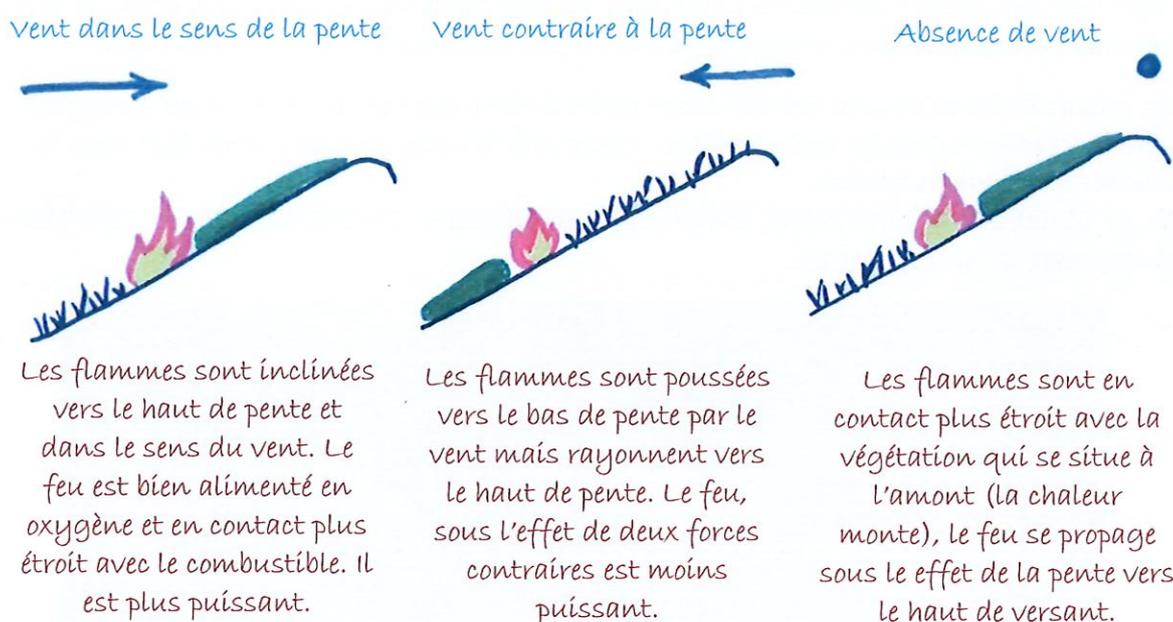


Figure 1 : Extrait de la carte du combustible de la commune de Pierrefeu du Var

A0	Herbacées hautes	G5	Garrigue boisée	R11	Pinèdes à pin sylvestre
A00	Vignes et vergers	G6	Maquis boisé	R12	Plantations résineuses
F0	Taillis sempervirents	M10	Mélange feuillus-résineux	R13	Pinèdes à pin parasol
F2	Feuillus feuilles caduques	M10A	Mélange feuillus-résineux sur sol acide	U0	Terrains non végétalisés
F3	Ripisylves	M11	Mélange résineux-feuillus	U3	Urbanisation lâche
F4	Mimosa	M11A	Mélange résineux-feuillus sur sol acide	V0	Jardins en zone urbaine
G0	Arbres et arbustes sur sols rocheux calcaires	O0	Eaux		
G1	Garrigues denses	R10	Pinèdes		
G4	Maquis clairs	R10A	Pinèdes sur sol acide		

## D. Topographie

Les données relatives à la topographie (pente, exposition et altitude) sont issues de la couche « Modèle Numérique de Terrain » de la BD Alti de l'Inventaire Géographique National au pas de 10 mètres. Elles ne font pas l'objet d'une cartographie mais sont intégrées dans les calculs de vitesse et direction du vent, d'intensité du feu et pour la modélisation de la propagation d'un feu.



## E. Vitesse et direction des vents de référence

Le vent est une composante majeure de la propagation du feu de forêt. La vitesse et la direction du vent en tout point du territoire sur laquelle a été réalisée la cartographie de l'aléa feu de forêt est issue d'une simulation sur le logiciel Windninja. Les paramètres d'entrée de ce modèle sont des données de vitesse et de direction de vent à 20 mètres de hauteur issues de relevés météorologiques Météo France.

Le choix de ces relevés de vitesse et direction de vent relève des « conditions de référence ». Nous avons choisi des conditions de vent représentatives des conditions dans lesquelles se sont déroulés les grands feux dans le Var dans les 15 dernières années.

Sur la commune de Pierrefeu du Var, le poste Météo France relevant les données aérologiques le plus proche est celui de Cuers. Pour la modélisation Windninja, 7 postes météorologiques sont retenus sur le sud-ouest du Var.

### CONDITIONS DE REFERENCE : LE VENT

#### Scénario de mistral

Vitesse : 18,3 m/s

Direction : 335 grades  
(Ouest-nord-ouest)

#### Scénario de marin

Vitesse : 13,9 m/s

Direction : 190 grades  
(Sud)

#### Scénario de vent d'est

Vitesse : 5,2 m/s

Direction : 205 grades  
(Sud)



Le poste météorologique de Cuers montre 3 comportements très distincts du vent qui ont déterminés les 3 scénarios retenus pour les cartes communales d'aléa du sud-ouest du Var :

- un mistral, d'orientation ouest-nord-ouest, souvent très fort,
- un vent marin, moins fréquent et mais parfois fort,
- un vent d'est , peu fréquent, variable en intensité et en direction, plutôt d'orientation sud.

Cette rose des vents a permis de déterminer les directions de vent retenues pour ces trois scénarios. Chaque scénario de vent fait l'objet d'une modélisation de l'aléa spécifique.

Les valeurs de force du vent ont été déterminées à partir des valeurs de force du vent (quartile supérieur) relevées sur les postes Météo France lors des journées de grands feux dans le Var dans les 35 dernières années :

02 au 05/09/2017, 23/07/2008, 09/07/2007, 04/08/2005, 07/08/2005, 25 et 28/07/2003, 21/09/1990, 07 au 11/07/1986.

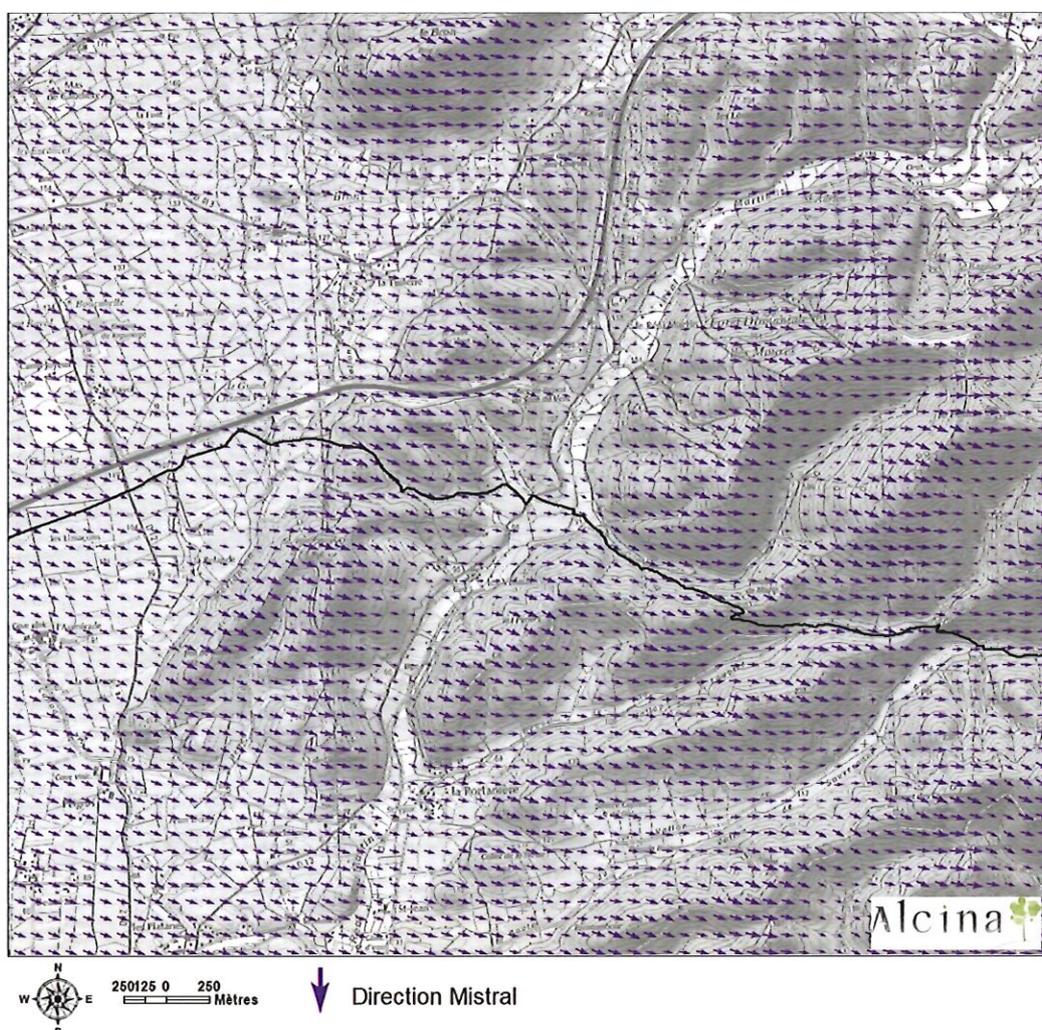


Figure 2 : Sortie du modèle Windninja : vitesse et direction du vent sur une portion de territoire du Var au pas de 50 mètres.

La direction des flèches indique la direction du vent, leur longueur la vitesse du vent à 10 mètres de hauteur.



## F. Teneur en eau du combustible

La teneur en eau du combustible est l'un des paramètres de la modélisation du comportement et de la propagation du feu. Elle influe le feu car plus elle est élevée plus le feu doit dépenser de l'énergie pour dessécher les plantes vivantes avant de les enflammer, plus elle est faible plus les éléments végétaux vont participer rapidement à la propagation du feu.

On distingue la teneur en eau du combustible vivant (les branches vivantes et feuilles vertes) et la teneur en eau du combustible mort (la litière, les parties mortes des végétaux).

### 1. Teneur en eau du combustible vivant

Deux approches sont croisées pour cartographier la teneur en eau du combustible vivant :

- Une spatialisation par utilisation de la bande NDWI (Indice normalisé de teneur en eau) de l'image satellite moyenne d'Aout 2019. 3 niveaux de teneur en eau sont retenus sur les végétations naturelles,
- Une quantification de cette teneur en eau sur la base des sites de mesure de la teneur en eau du Réseau Hydrique (/www.reseau-hydrique.org) les plus proches du territoire : Le Castellet, Carrière du Juge – Le Val-, Laquina et Pont des Caunes – Collobrières, Haras du Rasteou – Le Luc-). Les valeurs retenues sont les valeurs minimales pour les années 2008 et 2017, années de grands feux dans le Var.

Trois valeurs de teneur en eau du combustible vivant réparties sur le territoire sur la base de l'analyse de l'image satellite sont retenues : 39%, 47% et 67%.

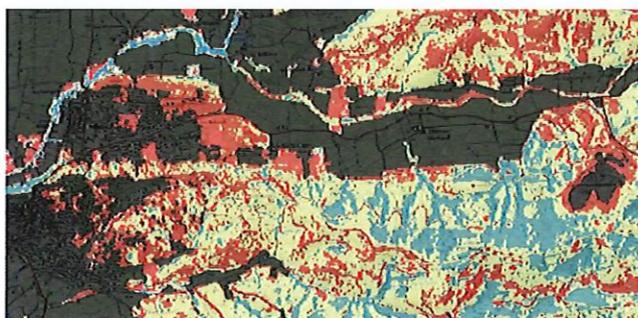


Figure 3 - Extrait de la carte de la teneur en eau du combustible (en rouge les zones les plus sèches, en bleu les zones les plus fraîches, en gris les zones sans végétation naturelle)

### 2. Teneur en eau du combustible mort

Les teneurs en eau du combustible fin mort sont obtenues par calcul sur la base de formules de calcul de la teneur en eau du combustible fin mort à partir des outils développés par Carlson aux Etats Unis (Carlson JD et al. 2005 ; <https://www.nwcg.gov/publications/pms437/fuel-moisture/dead-fuel-moisture-content-2019->)

Dans cette méthode, la teneur en eau du combustible mort est déterminée à partir des données météorologiques suivante : Humidité relative et température. Comme pour la vitesse du vent, c'est le quartile supérieur des données météorologiques des journées de grands feux depuis 1986 qui est retenue.

Pour le poste de Cuers, la température retenue est de 30° et l'humidité relative de 21 %. La teneur en eau du combustible fin mort, en application des grilles de calcul mentionnées plus haut est de 8% pour le poste du Cuers. Ce paramètre est cartographié sur le territoire par interpolation géographique des 7 postes météorologiques suivants : Bormes les Mimosas, Le Castellet, Cuers, Hyères, Porquerolles, Ile du Levant et Toulon.



## G. Intensité du feu

L'intensité du feu est cartographiée en deux phases :

- Modélisation de la vitesse de propagation du feu par le biais de l'outil r.ros de GRASS GIS (voir page 6),
- Application de la formule de Byram liant vitesse de propagation et puissance du front de flamme.

### 1. Calcul de l'intensité du feu

La formule de Byram est composée ainsi :

Puissance du front de feu en kW/m =	 M	 C	 Vp		
	Masse combustible	X	Pouvoir calorifique des végétaux	X	Vitesse de propagation du feu
	en kg/m <sup>2</sup>		en kJ/kg		en m/s
	<i>Donnée d'entrée de r.ros calculée par type de combustible</i>		<i>Pouvoir calorifique maximum des végétaux identifié par type de combustible (sources biblio) affecté de facteurs de réduction (Alexander 1982)</i>		<i>Donnée de sortie du module r.ros</i>

### 2. Echelle d'intensité

L'intensité est cartographiée par application de la formule de Byram à chaque pixel du territoire à la résolution du 1/10 000<sup>ème</sup>. Elle est ensuite catégorisée sur la base de l'échelle d'intensité mise au point par l'IRSTEA (Lampin, 2003).

Puissance du feu	Niveau de l'intensité	Surface menacée	Dégâts aux bâtiments	Dégâts à la végétation
< 350 kW/m	Très faible	< 10 ha	Pas de dégâts	Sous bois partiellement brûlés
350 à 1700 kW/m	Faible	10-100 ha	Dégâts faibles	Tous les buissons et branches basses brûlés
1700 à 3500 kW/m	Moyen	100-500 ha	Volets en bois brûlés	Troncs et cimes endommagés
3500 à 7000 kW/m	Élevé	500 -1000 ha	Dégâts aux bâtiments même avec respect des prescriptions	Cimes toutes brûlées
> 7000 kW/m	Très élevé	1000 – 10 000 ha		Arbres calcinés
	Exceptionnelle	>10 000 ha		



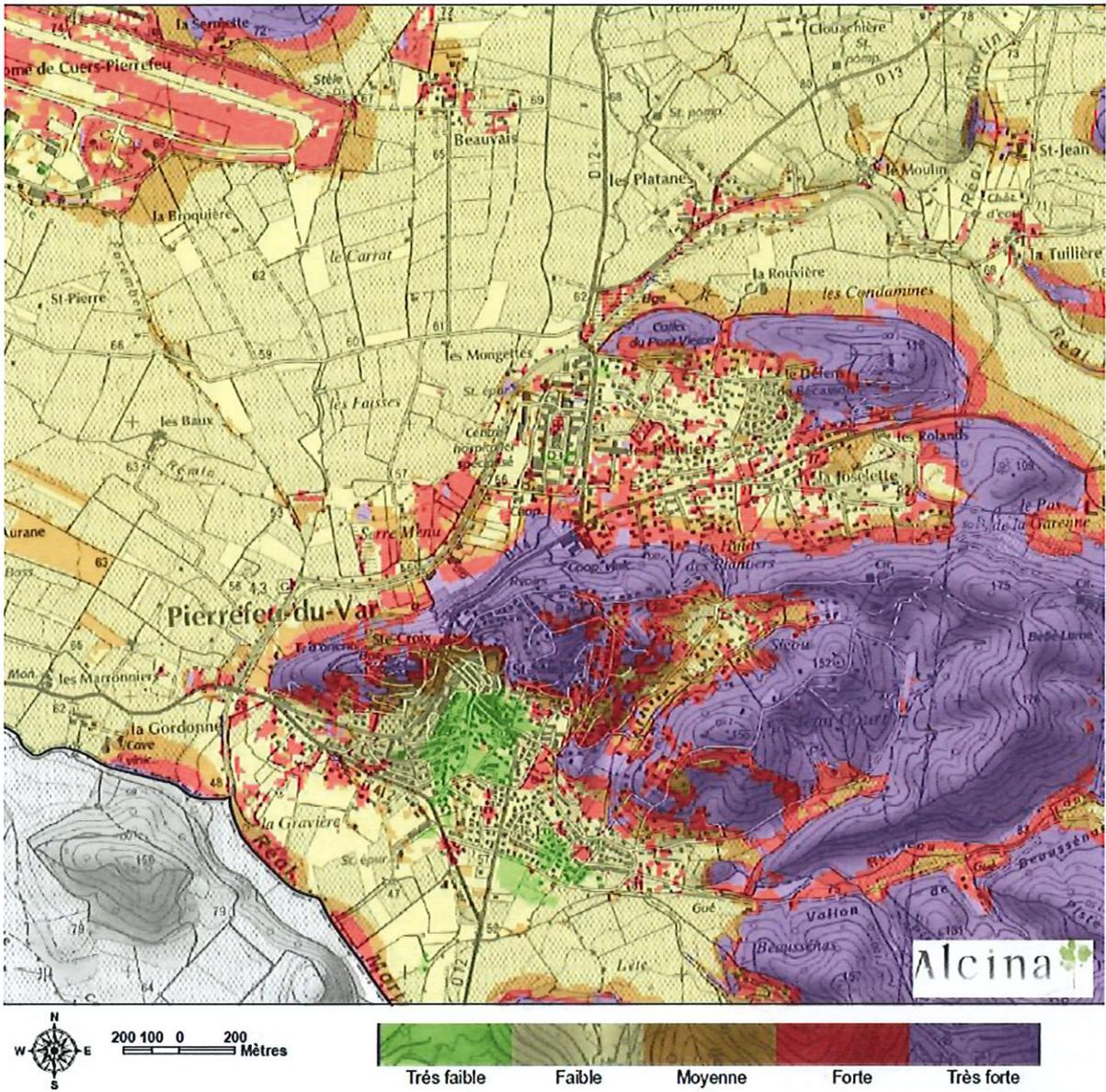


Figure 4 - Exemple d'extrait de carte de l'intensité du feu



## H. Probabilité d'éclosion

Le principe de la modélisation de la probabilité d'éclosion est issu du programme AIOLI développé par l'IRSTEA (Jappiot, 2005). Le principe est de relier les causes de départ de feu et les éléments du paysage qui les caractérisent de manière à affecter à ces objets géographiques une probabilité de départ de feu. Cette méthode permet de prendre en compte la structure actuelle du territoire ayant subi de fortes évolutions.

La probabilité d'éclosion est issue de l'analyse des données historiques (base de données Promethee -www.promethee.com- et feux APERFU sur la période 2012-2020, source DDTM 83) de départs de feu sur le territoire du sud-ouest du Var. Cette probabilité est étudiée à une échelle supérieure à l'échelle communale (26 communes de l'agglomération toulonnaise), considérant que les feux de forêt ignorent les limites communales.

Cause de départ de feu	Probabilité	Règle géographique
Foudre	1,5 %	Toutes les forêts
Lignes électriques	1,6 %	25 mètres autour des lignes électriques
Chemin de fer	2,4 %	10 mètres autour des voies de chemin de fer
Incendies de véhicule	1,4 %	10 mètres autour des routes
Dépôts d'ordures	1,2 %	25 mètres autour des dépôts d'ordures
Malveillance	23,6 %	Autour des routes et chemins
Travaux forestiers	6 %	Au sein des forêts
Travaux agricoles	11,2 %	Au sein des parcelles agricoles
Feu pastoral	0,4 %	Au sein des landes
Travaux industriels, publics, artisanaux	3,7 %	10 mètres autour des linéaires (routes, lignes électriques, voies SNCF, ..)
Travaux de particuliers et loisirs	32,5 %	A proximité des constructions
Jets d'objets incandescents, mégots de cigarette, cendres chaudes	14,5 %	Autour des routes

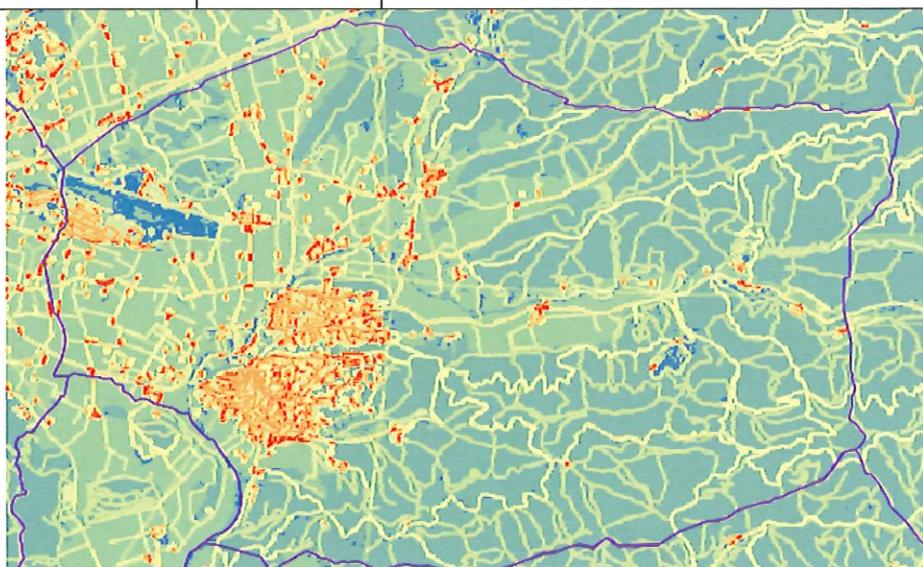


Figure 5 : Extrait de la carte de probabilité d'éclosion de Pierrefeu du Var (du bleu, faible probabilité, au rouge, forte probabilité)



## I. Probabilité d'occurrence

La probabilité d'occurrence est calculée sur la base de la modélisation de la propagation d'un grand nombre de feu par le biais de l'outil r.spread de GRASS GIS. Cet outil permet de simuler la propagation d'un incendie sur la base des cartographies du combustible, de la vitesse et direction du vent, de la topographie et de la teneur en eau du combustible.

Les feux sont simulés sur une durée de 3 heures (correspondant à un développement des feux de plus de 500 hectares, taille des grands feux historiques sur le sud-ouest du Var).

Les points de départ de feu sont répartis aléatoirement sur le territoire, sur la base de la carte de probabilité d'éclosion (33% des départs sont situés à proximité des constructions). L'écartement moyen entre les points de départ de feu simulés est de 150 mètres.

La probabilité d'occurrence du feu de feu est le résultat du calcul suivant

$$\text{Probabilité d'occurrence} = \text{nb (feu)} / \text{nb (simulations)}$$

nb (feu) : nombre de feux ayant touché le pixel considéré

nb (simulation) : nombre de simulation menées sur le domaine d'étude

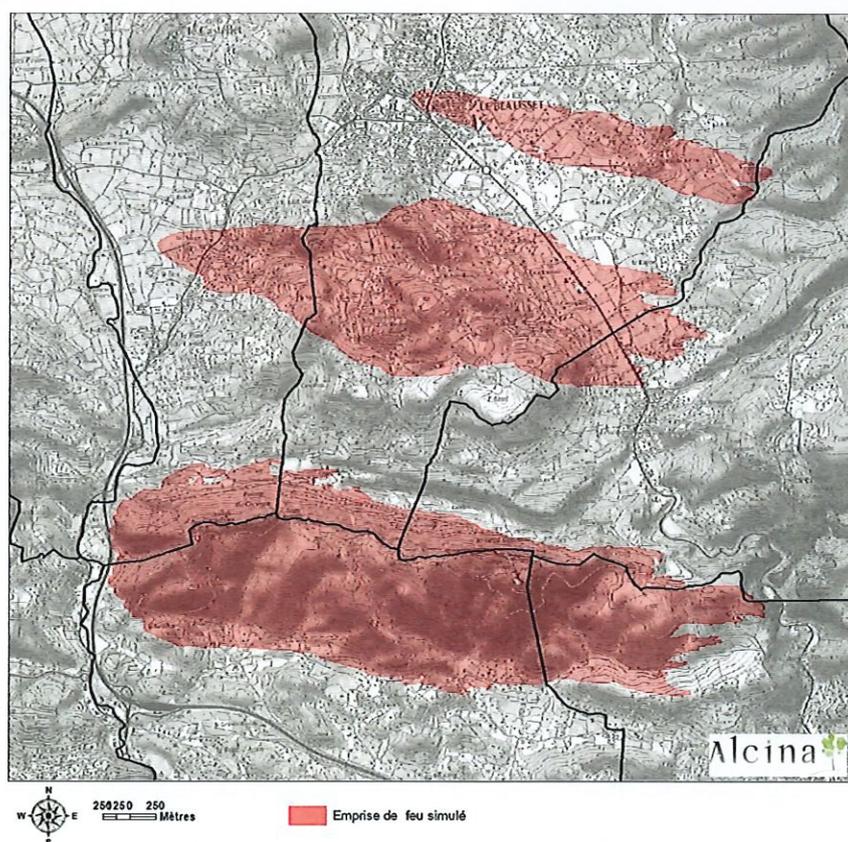


Figure 6 : Exemple de 3 feux simulés

L'occurrence est classée en 3 niveaux de probabilité : le quartile supérieur (25% de valeurs hautes), le quartile inférieur (25% de valeurs basses) et la médiane.

Les surfaces historiquement parcourues par un incendie de forêt ont été ajoutées au quartile supérieur d'occurrence.



## J. Cartographie de l'aléa subi

### 1. Définition de l'aléa subi

L'aléa subi est défini comme le croisement entre la probabilité d'occurrence du feu en chaque point du territoire et l'intensité du feu.

L'aléa subi est donc le résultat de l'application de la probabilité d'occurrence à l'intensité du front de flamme en chaque point du territoire.

$$\text{Aléa subi} = p (\text{occurrence}) \times I (\text{intensité})$$

L'aléa subi est classé en 5 niveaux (Très faible, Faible, Moyen, Fort, Très fort) suivant la grille de croisement :

Intensité	Occurrence quartile supérieur	Occurrence, médiane	Occurrence quartile inférieur
Très faible	Faible	Très faible	
Faible	Moyen	Faible	Faible
Moyen	Fort	Moyen	Moyen
Élevé	Très fort	Fort	Fort
Très élevé	Très fort		

L'aléa subi est calculé pour chacun des 3 scénarios de vent (mistral, marin, vent d'est). Ces 3 cartes d'aléa sont associées en retenant, pour chaque pixel du territoire, le niveau d'aléa le plus fort.

### 2. Lissages de l'intensité

De manière à intégrer les effets radiatifs du feu, la carte d'intensité du feu fait l'objet de plusieurs lissages avant croisement avec la carte d'occurrence.

#### a) Application de la notion de surface menacée

Le niveau d'intensité est à la fois défini par la puissance du feu et par la surface menacée. Pour intégrer cette notion, sur les zones situées à plus de 200 mètres des massifs forestiers (selon la carte départementale des massifs forestiers), les niveaux d'intensités sont réduits au niveau moyen sur toute zone de moins de 2500 m<sup>2</sup>.

#### b) Application d'un effet de radiation du front de flamme

L'incendie de forêt a un effet radiatif fort qui peut causer des dégâts au même titre que les flammes. Ainsi, dans une zone non combustible ou peu combustible, le feu de forêt peut causer des destructions sur plusieurs dizaines de mètres même sans se propager librement.

Cet effet est intégré par l'application d'un calcul d'une moyenne pondérée de l'intensité au sein de trois cônes emboîtés, dans l'axe de chacun des vents étudiés, ainsi que dans une zone tampon autour de chaque pixel (10 mètres x 10 mètres) du territoire étudié.



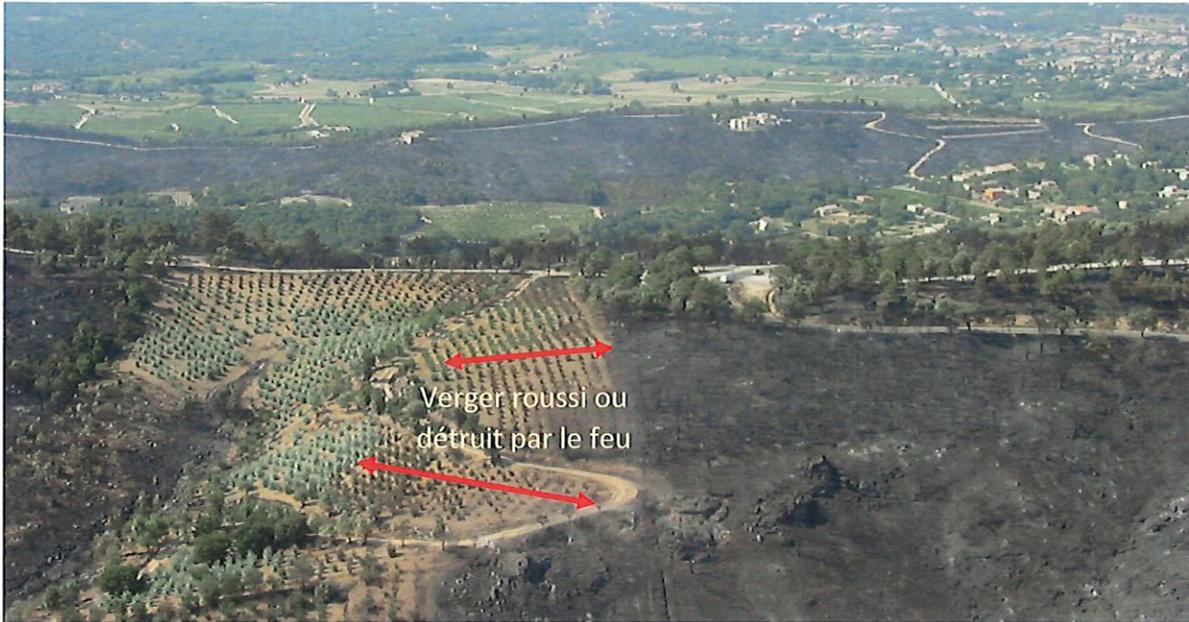
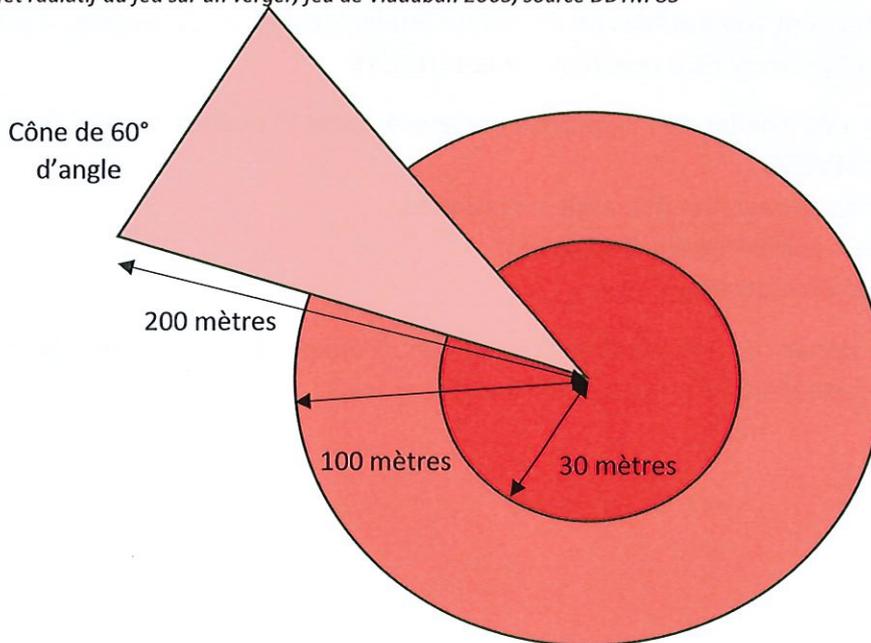


Figure 7 : Effet radiatif du feu sur un verger, feu de Vidauban 2003, source DDTM 83



Sur chaque point, l'intensité calculée par lissage est composée de :

- Pour moitié de l'intensité initiale du point,
- Pour partie de l'intensité moyenne considérée dans 3 zones : un cercle de 30 mètres correspondant au rayonnement du front de flamme, un cercle de 100 mètres correspond à l'effet radiatif d'un incendie, un cône de 200 mètres de longueur, dans l'axe des vents de référence, correspondant à l'effet radiatif du feu propagé par le vent.

### *c) Suppression des entités de petite taille*

Les entités de moins de 500 m<sup>2</sup> se voient affectées la valeur dominante des entités voisines, quand cette dernière est de niveau supérieur.



## K. Aggravation du risque et sources de départ de feu

A la carte d'aléa du feu de forêt, obtenue par croisement d'une cartographie de l'intensité du feu et de la probabilité d'occurrence, deux notions complémentaires sont ajoutées.

### 1. Aggravation du risque

Certains phénomènes liés à l'aléa feu de forêt ne peuvent être modélisés mais peuvent causer des destructions plus fortes ou plus rapides que la propagation normale du feu. Ces phénomènes d'accélération subite du feu ou d'intensité augmentée par des effets de rayonnement sont liés à des turbulences du vent, à la possibilité de propagation du feu sur des versants opposés ou à la présence de falaises.

L'aggravation du risque, représentée sur les cartes par un hachurage spécifique, correspond à des niveaux d'intensité probable supérieurs aux niveaux d'intensité calculée. Ils ont été identifiés manuellement, sur la base de l'identification des turbulences du vent modélisées par le logiciel Windninja.

### 2. Sources de départ de feu

Certaines activités sont susceptibles de départ de feu importants et dangereux, à proximité du massif forestier et peuvent être repérées sur le territoire :

- Activités industrielles des installations classées pour la protection de l'environnement (IPCE) et SEVESO,
- Activités de production d'énergie électriques,
- Postes de transformation électriques,
- Décharges de matériaux.

Ces sources de départ de feu potentielles, situées à moins de 200 mètres du massif, sont repérées sur la carte d'aléa par une symbole violet et rose.

