



**HAL**  
open science

# Etude méthodologique du calcul de l'aléa incendie de végétation à l'échelle communale

A. Garandeau

► **To cite this version:**

A. Garandeau. Etude méthodologique du calcul de l'aléa incendie de végétation à l'échelle communale. Sciences de l'environnement. 2005. hal-02588468

**HAL Id: hal-02588468**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02588468v1>**

Submitted on 15 May 2020

**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.



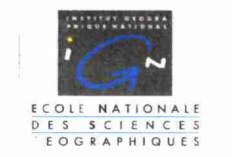
Etude méthodologique du calcul de l'aléa incendie de végétation à l'échelle communale

Agathe GARANDEAU

SYSTÈMES D'INFORMATIONS LOCALISÉES POUR LE MÉNAGEMENT DES TERRITOIRES

Directeur du projet : Jacques REGAD (D.D.A.F du Gard)
Tuteur SILAT : Eric BARBE (UMR TETIS)
Rapporteurs : Nicolas STACH (IFN)
François COLLIN (ENSA-M)

Novembre 2005





# LETTRE DE MISSION

**Commanditaire :**

DDAF du Gard  
Mas de l'agriculture  
1120 route de Saint Gilles BP 78215  
30942 Nîmes cedex 9 – France

**Directeur du stage :**

Jacques REGAD  
Responsable Cellule Forêt, DDAF du Gard  
Tel : 04 66 04 46 29  
E-mail : [jacques.regad@agriculture.gouv.fr](mailto:jacques.regad@agriculture.gouv.fr)

**Structure d'accueil :**

Cemagref (UMR TETIS)  
Maison de la Télédétection (MTD)  
500, av Jean-François Breton  
34093 Montpellier Cedex 05- France

**Tuteur SILAT**

Eric BARBE, Ingénieur  
UMR TETIS (MTD)  
E-mail : [eric.barbe@teledetection.fr](mailto:eric.barbe@teledetection.fr)

**Rapporteurs**

François COLLIN, Maître de conférences  
ENSA-M  
E-mail : [colinf@ensam.inra.fr](mailto:colinf@ensam.inra.fr)

Nicolas STACH,  
IFN (69)  
E-mail : [nstach@cer.ifn.fr](mailto:nstach@cer.ifn.fr)

**Sujet proposé**

Etude méthodologique du calcul de l'aléa incendie de végétation à l'échelle communale.

**Contexte**

Les incendies de forêt sont à l'origine de dégâts très importants. Cette situation a conduit les pouvoirs publics à prendre des mesures en terme d'aménagement du territoire. La prise en compte du risque nécessite qu'il soit caractérisé et localisé sur la base d'une méthodologie maîtrisée par les services de l'Etat. Les choix opérés depuis 1999 par la DDAF ont permis d'élaborer une méthode de production d'information relative à ce type d'aléa, méthode qui intégrait la possibilité de mettre à jour l'information et qui décrivait l'aléa incendie au niveau global, c'est à dire à l'échelle des massifs forestiers. Aujourd'hui, la méthode doit permettre de décrire l'aléa incendie au niveau local (à l'échelle communale) en s'appuyant sur des données de base plus récentes : BD cartographique IFN du 4<sup>ème</sup> cycle (2003).

**Travail demandé**

- Mise à jour des données cartographiques IFN et un re-paramétrage de l'application permettant le calcul des indices de combustibilité et inflammabilité.
- L'évaluation du procédé d'analyse de l'aléa développé par la DDAF pour une description à l'échelle communale. (Analyse, limite de validité).
- Une description formalisée de la nouvelle méthodologie

**Confidentialité :**

Aucune clause restrictive

# TABLE DES MATIERES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
1.1	CONTEXTE DE L'ETUDE.....	4
1.2	OBJECTIF DE L'ETUDE.....	4
1.3	PERIMETRE DE L'ETUDE.....	5
1.4	CADRE DE L'ETUDE.....	5
1.4.1	<i>Matériels</i> .....	5
1.4.2	<i>Données</i> .....	5
1.4.3	<i>Déroulement</i> .....	6
<b>2</b>	<b>DEFINITION D'UNE METHODE DE REFERENCE.....</b>	<b>6</b>
2.1	DESCRIPTION DE LA METHODE EXISTANTE DEVELOPPEE PAR LA DDAF DU GARD ET APPLICABLE A L'ECHELLE DES MASSIFS FORESTIERS.....	6
2.1.1	<i>Description générale de la méthodologie existante</i> .....	6
2.2	DEFINITION DE LA METHODE DE REFERENCE.....	7
2.2.1	<i>Méthode retenue dans le cadre de l'étude</i> .....	7
2.2.2	<i>Formalisation de la méthode retenue</i> .....	8
2.2.3	<i>Conditions de référence de la méthode</i> .....	8
2.2.4	<i>Application technique de la méthode retenue</i> .....	8
2.3	MISE A JOUR DE LA METHODOLOGIE.....	9
2.3.1	<i>Intégration de la base de données cartographique de l'IFN du dernier cycle..</i>	9
2.3.2	<i>Modification des paramètres du calcul des indices de combustibilité.....</i>	9
2.3.3	<i>Modification des critères de relevés de végétation.....</i>	11
<b>3</b>	<b>ADAPTATION DE LA METHODOLOGIE SUR LES COMMUNES DU GARD</b>	<b>11</b>
3.1	MODIFICATION DE L'ECHELLE D'OBSERVATION.....	11
3.1.1	<i>Principe et définition des objets géographiques</i> .....	12
3.1.2	<i>Echelle d'observation pour les massifs forestiers</i> .....	12
3.1.3	<i>Echelle d'observation pour les communes</i> .....	13
3.2	DEVELOPPEMENTS ASSOCIES.....	14
3.2.1	<i>Représentativité d'un point</i> .....	14
3.2.2	<i>Plan d'échantillonnage</i> .....	15
3.2.3	<i>Validation de la densité de point</i> .....	15
3.2.4	<i>Définition de la zone d'étude</i> .....	16
3.2.5	<i>Variabilité des types de formation</i> .....	16
3.3	TESTS : CARTOGRAPHIE DE L'ALEA.....	17
3.3.1	<i>Données disponibles</i> .....	17
3.3.2	<i>Principe</i> .....	18
3.3.3	<i>Précision planimétrique et mode de représentation</i> .....	18
<b>4</b>	<b>DISCUSSION DES RESULTATS.....</b>	<b>19</b>
4.1	COMPARAISON : CARTOGRAPHIE ECHELLE COMMUNALE ET ECHELLE DES MASSIFS FORESTIERS.....	19
4.2	TRANSPOSITION DE LA METHODOLOGIE.....	19
4.3	AJOUT D'UN POINT.....	20
4.4	JUXTAPOSITION DES CARTES OBTENUES.....	21
<b>5</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>21</b>

# 1 INTRODUCTION

## 1.1 Contexte de l'étude

Avec quinze millions d'hectares de zones boisées, la France est régulièrement soumise à des incendies de forêt, plus particulièrement en région méditerranéenne, en Corse et dans les Landes. Face à ce constat, la politique de prévention des risques est une priorité au niveau national.

En la matière, l'élaboration de plans de prévention des risques (P.P.R.) institués à l'article L 562-1 du code de l'environnement constitue un axe d'action important.

En matière de risques d'incendies de forêt, complétant le code forestier, d'une part, le code de l'urbanisme qui régit le droit de construire notamment à travers le plan local d'urbanisme (P.L.U.), d'autre part, le zonage du P.P.R. a pour but de réglementer les projets d'installations nouvelles et de définir les mesures de protection des constructions existantes.

En 1999, dans l'objectif de la réalisation de Plan de Prévention de Risque Incendies de Forêt dans le département, la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt a entamé un programme de cartographie de l'aléa à l'échelle des massifs forestiers (Truong P, 1999). La méthodologie élaborée, utilise principalement des données cartographiques numériques sur la végétation produites par l'Inventaire Forestier National complétées par des relevés terrains.

Depuis, une base cartographique de l'IFN plus récente et plus précise a été mise à disposition de la DDAF (4<sup>ème</sup> cycle – 2003) permettant ainsi une mise à jour de la méthodologie.

En outre, ces nouvelles données vont permettre une description plus fine de l'aléa, essentielle à l'amélioration de l'aide à la prise de décision de l'aménagement du territoire. La DDAF en collaboration de l'IFN se proposent donc, de définir une méthodologie permettant de calculer et de cartographier l'aléa à l'échelle communale.

## 1.2 Objectif de l'étude

L'objectif premier sera de mettre à jour la méthodologie en intégrant les éléments cartographiques du nouvel inventaire forestier du département.

L'objectif principal sera de proposer une méthode de calcul qui décrira aussi bien l'aléa au niveau global (à l'échelle du massif) qu'au niveau local (à l'échelle communale). Elle devra être suffisamment explicite et souple pour que son application sur une commune quelconque ne face pas l'objet d'un complément d'étude. Une étude approfondie de la méthodologie existante permettra d'évaluer les paramètres la définissant afin de caractériser ceux qui entrent

en jeu lors du changement d'échelle. Il conviendra également de tester les modifications apportées afin de déterminer la validité des calculs d'indices et de proposer au besoin des améliorations.

Enfin, il est demandé d'analyser les méthodes existantes, de les synthétiser et d'en déduire une définition normalisée afin d'y situer le résultat cartographique de la méthodologie proposée.

### **1.3 Périmètre de l'étude**

L'étude ne s'applique pas à une zone d'étude précise. La méthodologie proposée devra être une méthode de référence s'appliquant à toutes les communes du Gard. A titre d'exemple, la surface moyenne d'une commune est de 5641 ha, le plus grand massif du Gard est celui des Garrigues de Nîmes avec 37 103 ha.

Une zone d'étude, comme deux communes adjacentes, pourra également être prise en compte.

### **1.4 Cadre de l'étude**

#### **1.4.1 Matériels**

Le matériel utilisé a été mis à disposition par l'Unité Mixte de Recherche Structures et Systèmes Spatiaux (UMR3S) dans le cadre d'une convention signée entre le Cemagref et la DDAF. Le logiciel SIG utilisé est : ArcGis 8.3 d'ESRI.

#### **1.4.2 Données**

Les données nécessaires à la réalisation de l'étude mises à la disposition par la DDAF ont été les suivantes :

- Base de données cartographique de l'IFN sur le département du Gard. (nouvel inventaire datant de 2003- 4<sup>ième</sup> cycle)
- Limites communales du département du Gard
- Contour des massifs du département du Gard
- Points d'inventaires vectorisés des massifs forestiers de Bouquet, de Vallée Borgne, de Villeneuve les Avignons et d'un demi massif représenté par les communes de Congénies et Calvisson
- SGBD de référence utilisée pour la saisie des données floristiques ainsi que pour le calcul des indices à l'échelle des massifs forestiers.

- MNT de l'IGN au pas de 50 m, et plan dérivé d'orientation en classes de 45° vectorisé.

### **1.4.3 Déroutement**

L'étude s'est déroulée à la Maison de la Télédétection à Montpellier et a débuté le 1<sup>er</sup> juin 2005 pour se terminer le 23 novembre 2005.

Des points sur l'avancé de l'étude ont été tenus par le biais de réunions en chaque fin de mois. Participaient à ces réunions, l'ensemble des personnes concernées par l'étude à savoir : Jacques Regad, Pierre Truong, Sylvie Lapscher, agents de la DDAF du Gard et Catherine Foyer-Bénos, adjoint au chef d'échelon de Montpellier. Une présentation finale de l'étude a été réalisée le 21 octobre.

Des sorties terrains ont été effectuées au court de l'étude afin de se familiariser avec le contexte :

- participation à des relevés de végétation sur la commune de Langlade avec Thierry Lacoua, technicien forestier de la DDAF
- participation à l'analyse post-incendie.
- participation à une réunion d'experts pour la réalisation de PPRIF à la mairie de Villeneuve les Avignons.

## **2 DEFINITION D'UNE METHODE DE REFERENCE**

La proposition d'une méthodologie du calcul de l'aléa incendie de végétation à l'échelle communale implique de définir au préalable une méthode de référence. Basée à partir de la méthodologie existante, la méthode de référence prend également en compte les mises à jour ainsi que les modifications concernant les suggestions apportées lors de réunions d'experts.

### **2.1 Description de la méthode existante développée par la DDAF du Gard et applicable à l'échelle des massifs forestiers**

#### **2.1.1 Description générale de la méthodologie existante**

La méthodologie existante (T.Kochert, 2001), est une méthode indiciaire applicable à l'échelle des massifs forestiers. Elle se base sur le calcul d'indices d'inflammabilité et de combustibilité de la végétation, selon la méthode développée par le Cemagref (Alexandrian,

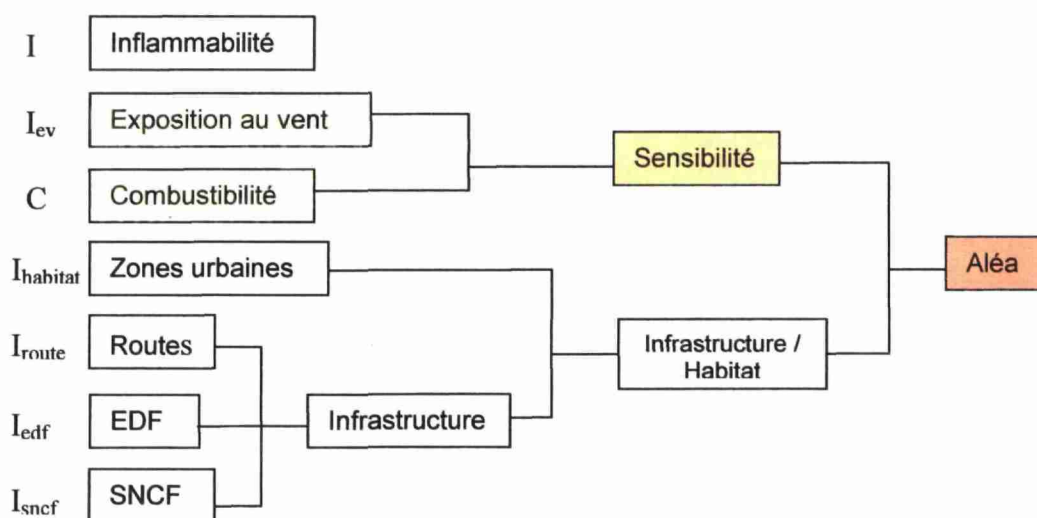


1982). Ces indices sont calculés à partir de relevés de végétation, dont les variables sont agrégées selon les types de formations végétales définies par l'IFN (une simplification de cette typologie est utilisée). Un indice de combustibilité est calculé pour chacun des groupes de formations végétales.

La prise en compte des zones préférentielles d'éclosion se fait par la détermination de zones-tampon autour des habitations et des infrastructures linéaires.

Le vent, facteur aggravant des incendies, est pris en compte à travers l'exposition des unités topographiques, laquelle est déterminée par le calcul de l'orientation (plan dérivé du MNT et vectorisé). Un indice de sensibilité de la végétation au feu est calculé, qui combine la combustibilité et l'effet du vent.

Un indice d'aléa « incendie de végétation » est ainsi obtenu à partir du croisement hiérarchisé de l'ensemble des données disponibles, hormis l'inflammabilité. La figure 1 représente le mode de croisement des données.



**Figure 1 :** formalisation de la méthodologie du calcul de l'aléa à l'échelle des massifs forestiers (T.Kochert, 2001)

## 2.2 Définition de la méthode de référence

### 2.2.1 Méthode retenue dans le cadre de l'étude

La méthode retenue dans le cadre de l'étude, s'appuie sur la méthodologie de référence exposée ci dessus. Cependant, seuls les critères utiles à la détermination de la sensibilité, calcul des indices de combustibilité et indices d'exposition au vent, sont pris en compte. Deux arguments justifient ce choix. D'une part, la DDAF utilise essentiellement, la cartographie de

la sensibilité, qu'elle nomme alors aléa, pour la réalisation des documents de préventions. D'autre part, les caractéristiques géographiques et quantitatives des données anthropiques ne cessent d'évoluer au cours du temps. Leur mise à jour sur l'ensemble des communes du Gard serait longue et coûteuse et leur période de validité infime.

Par convention entendue avec la DDAF, on caractérisera dans la suite de l'étude « la sensibilité » par « l'aléa incendie de forêt », défini comme suit :

$$\text{aléa incendie de forêt} = \text{Combustibilité} \cap \text{Exposition au vent}$$

*Formule 1 : formule de l'aléa incendie de végétation de la méthode de référence*

### **2.2.2 Formalisation de la méthode retenue**

Une synthèse des méthodologies existantes de cartographie de l'aléa incendie de végétation, décrite dans l'annexe 1, permet de situer le résultat cartographique de la méthode retenue. La combustibilité croisée avec l'exposition au vent et la pente représente l'intensité de l'aléa subi, également appelée puissance du feu. La méthodologie représente l'intensité de l'aléa subi moins le critère de pente.

### **2.2.3 Conditions de référence de la méthode**

Il est nécessaire de définir les conditions de référence de l'étude (M.A.T.E et al. , 1999).

Etant donné la représentation à caractère spatial de l'aléa, les conditions temporelles sont fixes. Pour prévenir au mieux l'aléa, on se place dans des conditions extrêmes favorisant la puissance du feu.

- La détermination des indices de combustibilité et d'inflammabilité est valide dans des conditions de risque élevé, correspondant à une sécheresse d'un mois (Alexandrian, 1982).
- Le vent de référence choisi dans le département du Gard est le Mistral, responsable de la majorité des feux et des surfaces brûlées. Sa direction moyenne est plein Nord. La vitesse de référence choisie est le seuil critique défini par le Cemagref, soit 17 m/s (Jappiot et Mariel, 1997).

### **2.2.4 Application technique de la méthode retenue**

L'application technique de la méthode retenue est définie par une succession d'étapes :

- Caractérisation localisée de la végétation suite à des relevés de végétations effectués par des techniciens forestiers de la DDAF ou par des bureaux d'études.
- Insertion des données de végétation dans la base de données qui permet d'assurer la gestion des relevés de végétations (saisie, stockage des points d'inventaire, mise à jour) et l'automatisation du calcul des indices de combustibilité et d'inflammabilité.
- Cartographie de la carte d'indice de combustibilité avec les outils de SIG
- Intersection des cartographies et croisement des indicateurs de combustibilité et d'exposition au vent
- Cartographie de l'aléa

Schématisation de l'application en annexe 3 .

## **2.3 Mise à jour de la méthodologie**

### **2.3.1 Intégration de la base de données cartographique de l'IFN du dernier cycle**

La base de données cartographique de l'Inventaire Forestier National a pour objet de délimiter et caractériser des types de formation végétale boisée de plus de 2,25 ha, par type de propriété forestière. La couverture cartographique est entièrement renumérisée pour chaque cycle décennal d'inventaire départemental. Actuellement déterminée à partir de techniques plus récentes et plus élaborées ( photo-interprétation à partir de couvertures aériennes infrarouges ou panchromatiques prises à une échelle comprise entre 1/17 000 et 1/25 000 (site IFN), ce nouvel inventaire offre une description plus fine et une précision plus fiable quant à la délimitation et la localisation des types de formations végétales sur le département du Gard. Lors de relevés terrains effectués sur la commune de Langlade, 95 % des types de formations végétales relevés correspondaient à la description inventoriée par l'IFN, influant ainsi sur la pertinence des résultats du calcul de l'aléa.

La nouvelle BD cartographique prend en compte les zones urbanisées et instaure une nouvelle nomenclature standardisée beaucoup plus précise (augmentation du nombre de classes et identifications moins généralisées).

### **2.3.2 Modification des paramètres du calcul des indices de combustibilité**

Les principes et la formule du calcul des indices de combustibilité sont basés sur la méthodologie d'Alexandrian (cemagref,82). Cette méthode requiert des informations

floristiques à partir desquelles sont déterminées les espèces dominantes (par calcul de leur abondance). Le calcul est automatisé dans le SGBD (annexe 3 et 4). La méthodologie existante, contraint le calcul à s'effectuer à partir des espèces dominantes provenant de la strate arborée uniquement. Lors d'une réunion d'experts, ces principes de calcul ont été remis en cause. En effet, la capacité de combustion de la végétation n'est aucunement influencée par une strate définie, comme l'est, par contre, l'inflammabilité avec les strates basses. Par conséquent, la détermination des espèces dominantes doit se faire à partir de toutes les strates confondues.

La mise en place de ce nouveau critère engendre des modifications de la macro qui automatise le calcul de l'aléa dans la base de données.

La formule du calcul de combustibilité pour un type de formation végétale est dorénavant :

$$C = 39 + 0.23 \text{ BV} (E1' + E2' - 18)$$

Avec :

- BV : le biovolume correspondant à la somme des strates biologiques
- E1 : l'indice de combustibilité de la première espèce dominante toutes strates confondues et non plus strate arborée uniquement.
- E2 : l'indice de combustibilité de la seconde espèce dominante toutes strates confondues et non plus strate arborée uniquement.

Cette évolution modifie significativement la détermination des variables E1 et E2 et par conséquent les résultats d'indices obtenus. Le tableau n°1 illustre la répartition des premières et secondes espèces dominantes par strate pour une zone d'étude de type massif forestier. Il permet de constater que les premières espèces dominantes appartiennent majoritairement à la strate arborée (77 %) et qu'au contraire, la seconde espèce est, pour ainsi dire, équitablement répartie entre les strates arborée, arbustive et herbacée.

Strate à laquelle appartiennent les espèces dominantes	Taux de E1 (1 <sup>er</sup> espèce dominante) pour un massif	Taux de E2 (2 <sup>nd</sup> espèce dominante) pour un massif
3 : arborée	77 %	38.5 %
2 : arbustive	8 %	36.5 %
1 : herbacée	15 %	25 %
Total	100 %	100 %

Tableau 1: répartition des premières et secondes espèces dominantes par strate

### 2.3.3 Modification des critères de relevés de végétation

Les relevés de végétation énumèrent, selon un protocole bien précis, les différentes essences présentes sur une placette circulaire. Suite à l'apport des informations concernant le protocole des relevés de végétation de l'IFN permettant la validation de l'inventaire cartographique, et afin de rester cohérents avec ces données, le diamètre des placettes n'est plus de 6,5 mais de 15 mètres de diamètre en un point donné. On procède à une stratification verticale du couvert végétal : strate herbacée, strate arbustive et strate arborée. Le taux de recouvrement de chaque strate est évalué (la somme des taux de recouvrement peut être supérieure à 100). Pour chacune des strates, on relève, au plus, les trois espèces dominantes ainsi que leur proportion dans cette strate. Les espèces relevées doivent couvrir au moins 10 % de la surface stratifiée.

<i>Appellation</i>	<b>Strate herbacée</b>		<b>Strate arbustive</b>		<b>Strate arborée</b>	
<i>Caractéristiques sur le terrain</i>	H < 1 m		1 < H < 3 m		H > 3 m	
<i>Inventaire strates</i>	Taux de recouvrement (%)		Taux de recouvrement		Taux de recouvrement	
<i>Inventaire Espèces (3 minimum)</i>	Espèce 1	Proportion (%)	Espèce 1	Proportion	Espèce 1	Proportion
<i>Le total des proportions par strate doit être égale à 100 %</i>	Espèce 2	Proportion (%)	Espèce 2	Proportion	Espèce 2	Proportion
	Espèce 3	Proportion (%)	Espèce 3	Proportion	Espèce 3	Proportion

Tableau 2 : principe du relevé de végétation

Les relevés de végétation doivent être en fait évalués par niveau. Une espèce n'est pas assimilable qu'à une seule strate. Elle peut être contenue dans les trois strates. Sa proportion sera alors décrite pour chacune de ces strates.

## 3 ADAPTATION DE LA METHODOLOGIE SUR LES COMMUNES DU GARD

### 3.1 Modification de l'échelle d'observation

La modification de l'échelle d'observation de la zone d'étude (niveau global → niveau local) implique de prendre en compte des données et paramètres plus fins. Il s'agit donc de modifier l'échelle d'observation des données en entrée. D'après l'analyse de la méthodologie, le calcul d'indice de combustibilité est le critère qui influe le plus sur l'affinement des données. En effet, les données cartographiques de l'exposition au vent sont restreintes par la précision du MNT au pas de 50 mètres.

Fonction de plusieurs paramètres, le calcul des indices de combustibilité appuie à la détermination de la méthodologie du calcul de l'aléa à l'échelle communale.

### 3.1.1 Principe et définition des objets géographiques

Le calcul des indices de combustibilité, d'après la méthodologie de référence, s'effectue sur la base de la cartographie des types de formation végétale de l'IFN associée à des relevés de végétation.

La représentation cartographique d'un *type de formation* est un *polygone*. Sur une zone d'étude, plusieurs polygones peuvent appartenir à un même type de formation. La surface totale d'un type de formation correspond à la surface totale de ses polygones.

Dans certains cas, les types de formation peuvent être agrégés entre eux selon une typologie prédéfinie définissant *les groupes*. La surface d'un groupe correspond, à la surface totale des types de formation appartenant à ce groupe, soit à l'ensemble des polygones de ce groupe.

Les différents objets géographiques qui permettent de décrire les formations végétales et de caractériser les différentes échelles d'observations sont donc par ordre croissant de représentation géographique : les *polygones*, les *types de formation végétale* et enfin les *groupes de peuplement*.

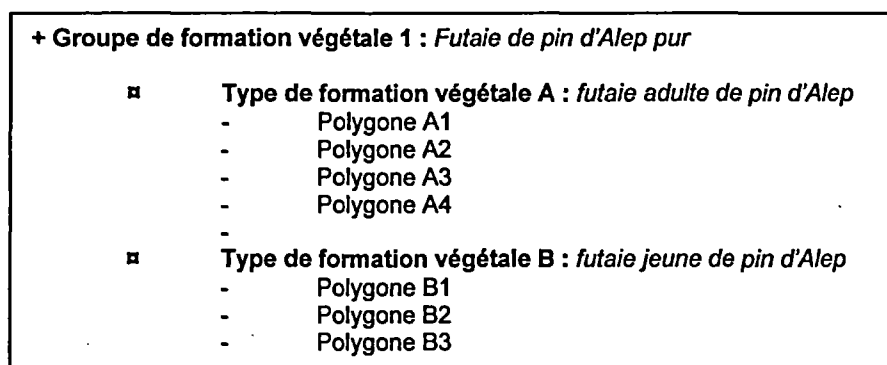


Figure 2 : Formalisation des objets géographiques de la méthodologie

### 3.1.2 Echelle d'observation pour les massifs forestiers

La zone d'étude de la méthodologie de référence est le *massif forestier*. A cette échelle, les *types de formations végétales* sont regroupés en 18 classes, ce qui facilite le calcul et allège le plan d'échantillonnage. L'échelle d'observation des données d'entrée pour l'application du calcul, dépend principalement :

- des *groupes de formations* agrégeant les *types de formations végétales*

Les critères observés associés à cette échelle d'observation sont les suivants :

Un *indice de combustibilité* est calculé pour chacun de ces *groupes*.

Dans chaque *groupe* et chaque strate végétale, les *espèces* présentes sont triées par *abondance* décroissante.

Le plan d'échantillonnage est stratifié selon les *types de formation végétale*.

La validité de l'échantillonnage est calculée sur la base de la surface totale des *groupes*, soit à partir de la somme des surfaces des types de formation appartenant à ce groupe.

Chacun des points est pondéré par un *indice de représentativité*. On considère que les points d'inventaire ont une représentativité différente en fonction du nombre de relevés effectués dans *chaque type de formation* et des *surfaces de ces formations*.

### 3.1.3 Echelle d'observation pour les communes

A l'échelle communale, la zone d'étude ne nécessite pas l'agrégation des types de formations. On calcule un indice de combustibilité pour chacun des types de formation végétale. L'échelle d'observation des données d'entrée correspond de ce fait, aux types de formation végétale.

La méthodologie du calcul de l'aléa à l'échelle communale correspond donc à une *transposition* de la méthode de référence sur cette nouvelle échelle d'observation.

La transposition implique, que tous calculs effectués sur la base des *groupes*, dans la méthodologie de référence, le soient également à l'échelle communale, mais sur la base des *types de formation végétale*, de même, que tous calculs basés sur les *types de formation*, le soient à partir les *polygones*.

Echelle des massifs	Echelle communale
Groupes	→ types de formation végétale
Types de formation végétale	→ polygones

Tableau 3 : Description des échelles d'observations pour chaque méthode et correspondance de transposition

Ainsi, dans chaque *type de formation* et chaque strate végétale, les *espèces* présentes sont triées par *abondance* décroissante.

Le plan d'échantillonnage est stratifié selon les *types de formation végétale*.

La validité de l'échantillonnage est calculée sur la base de la surface totale des *types de formation végétale*, soit à partir de la somme des surfaces des polygones appartenant à ce type. Chacun des points est pondéré par un *indice de représentativité*. On considère que les points d'inventaire ont une représentativité différente en fonction du nombre de relevés effectués dans chaque *polygone* appartenant à un même type de formation et des surfaces de ces polygones.

	groupes	Surface groupe	type de formation végétale	Surface Type de formation	surface polygone	points
<b>Plan d'échantillonnage</b>						
Stratification de l'échantillonnage			XX			
Validation densité de points		X		X		
<b>Calcul combustibilité</b>						
Indice de combustibilité calculé pour chacun	X		X			
biovolume						XX
Moyenne biovolume	X		X			
Espèces dominantes	X		X			
<b>Indice de représentativité</b>						
Calculé pour chacun						XX
Appartenant à un même	X		X			
Calculé par la somme				X	X	
sur		X		X		

**Tableau 4 :** transpositions des échelles d'observations appliquées aux différents critères du calcul de l'aléa

Le tableau N°4 inventorie les différentes étapes de calculs et l'échelle d'observation pour chacune de ces étapes. La méthodologie à l'échelle des massifs est représentée en noir et la méthodologie à l'échelle communale en rouge.

## 3.2 Développements associés

### 3.2.1 Représentativité d'un point

La représentativité d'un point est utile pour le calcul de l'abondance des espèces. Cette représentativité permet de pondérer les points appartenant à un même type de formation en fonction du nombre de points de ce type et de la surface des polygones auxquels ils appartiennent. (Annexe 2). Les points d'inventaires invalides sont affectés d'une représentativité nulle.

$$\frac{\text{[Aire du polygone contenant le point et décrivant le type de formation (tf\_code) 'A']}}{\text{[somme des surfaces des polygones } \in \text{ au tf\_code = 'A']} \times \text{[nbre total de points } \in \text{ au tf\_code 'A']}}$$

**Formule 2 :** représentativité d'un point



Il est à noter que la somme des surfaces des polygones ne prend en compte que ceux représentés par un point, ce n'est pas la surface totale des polygones d'un même type. De plus, la somme des représentativités des points appartenant au même type est égale à 1.

### 3.2.2 Plan d'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage est un sondage aléatoire stratifié. Les strates utilisées sont les polygones interprétant les types de formation végétale.

Pour rester cohérent avec le calcul de la représentativité d'un point qui est associée aux polygones possédant au moins un point, tous les polygones supérieurs à 10 ha doivent faire l'objet d'au moins un relevé de végétation.

A partir de 50 ha de superficie, on applique la densité de points précisée dans le tableau 4 :

Relevé de type forestier	Relevés de type lande
Un point tous les 50 ha	Un point tous les 100 ha

Tableau 5 : densité de points par type

Pour obtenir le nombre de relevés à effectuer sur un polygone, sa surface doit être divisée par le nombre de points associés à son type. On procède ensuite à un échantillonnage systématique basé sur une grille de 500 par 500.

Cet échantillonnage n'est pas applicable dans tous les cas. La forme allongée d'un polygone empêche l'application de la grille. Il est important alors, de recouvrir toute la surface du polygone de façon à être le plus homogène possible.

En outre, il ne faut pas omettre l'accessibilité d'un relevé sur le terrain. Il est donc conseillé de s'appuyer sur une BD cartographique pour définir la localisation des points.

### 3.2.3 Validation de la densité de point

La qualité de l'échantillonnage peut être déterminée dans le SGBD avec l'état `e_valid(tf)`. Ce rapport de validation fournit des indications sur le manque de points d'échantillonnage valides par types de formation ainsi que sur l'ensemble de la zone d'étude. La validité de l'échantillonnage d'un type de formation est calculée à partir de sa surface totale, surface qui doit être extraite pour chaque type de formation avec l'outil de SIG. Un défaut d'échantillonnage de quelques % par type de formation, peut être toléré.

### 3.2.4 Définition de la zone d'étude

La zone d'étude ne correspond plus à un bassin de risque (massif) mais dépend d'une délimitation administrative. Pour rester cohérent avec l'occupation du sol, elle est définie par les types de formation intersectant la limite communale. La définition de la zone d'étude est une étape importante puisque le plan d'échantillonnage sera déterminé à partir de cette zone.

Il faut prendre en compte le coût de l'opération de l'échantillonnage. En une journée, on estime qu'il est possible de réaliser au plus, une dizaine de points d'inventaires. Une zone d'étude de 1136 ha de surface (types de formation intersectant la limite compris) nécessite 122 points d'inventaires et par conséquent, douze jours et demi de terrain. Néanmoins, il est possible de réduire le nombre de points. La délimitation de la zone d'étude jugée à partir d'une donnée administrative et non d'un massif, est donc potentiellement arbitraire. Ainsi, des types de formation de grandes surfaces, intersectant la limite communale, peuvent être supprimés de la zone d'étude. Sur l'exemple précédent, la zone d'étude a ainsi été réduite de 1593 ha, soit de 22 points et donc de 2 jours de terrains.

### 3.2.5 Variabilité des types de formation

L'indice de combustibilité est calculé pour un type de formation. Cependant, au sein de ce type, il existe une variabilité de l'indice représenté. En effet, les caractéristiques de la végétation peuvent être localement différentes, la classe affichée peut donc être localement fausse.

Il est possible de représenter cette variabilité, par l'analyse de la variance. Dans ce cas, la variance n'est pas fonction de la moyenne, mais de la valeur de combustibilité d'un type de formation. Il s'agit donc, de calculer la combustibilité en un point, puis, de déterminer l'écart existant entre cette valeur et celle du type auquel appartient le point.

Soit : 'i' un point d'inventaire, 'J' un type de formation, 'n<sub>i</sub>' le nombre de points d'inventaire appartenant au type de formation J, 'ρ' la représentativité d'un point, 'c' la combustibilité d'un point 'i' et 'C' la combustibilité d'un type de formation, la variance 'V' et l'écart type 'σ' sont alors calculés comme suit :

$$V = \frac{\sum_{i \in J} (c_i \times \rho_i - C)^2}{n_i} \quad \text{et} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i \in J} (c_i \times \rho_i - C)^2}{n_i}}$$

La carte finale est représentée en mode vecteur, d'une part, toutes les données sont en mode vecteur, d'autres part, le mode vecteur présente des avantages indéniables en matières de précision des traits et d'intégration de bases de données. De plus, aujourd'hui, les logiciels de SIG, gèrent correctement la complexité des traitements d'intersection de couches. Il faut cependant noter que l'exposition au vent, représentée en mode vecteur, est déduite du MNT. Elle garde des contours à angle droit difficilement utilisable pour le zonage réglementaire. Un lissage des contours est possible sous ArcGis.

## **4 DISCUSSION DES RESULTATS**

### **4.1 Comparaison : cartographie échelle communale et échelle des massifs forestiers**

Un test sur la commune de Bouquet a permis de se rendre compte de l'intérêt d'une méthodologie applicable à l'échelle communale. La cartographie de l'aléa a été réalisée d'après deux applications différentes :

- Application 1, à l'échelle des massifs : calcul et cartographie du massif de Mont Bouquet (emploi des groupes ), puis extraction de la commune de Bouquet du massif.
- Application 2, à l'échelle communale : calcul et cartographie de la zone d'étude de la commune (types IFN intersectant limite communale) et extraction de la commune.

Par comparaison, les deux cartes obtenues sont sensiblement différentes. La carte réalisée avec l'application 2 est moins homogène du fait de la prise en compte des types et non des groupes. On constate une différence notable sur la valeur des indices. Un même type de formation peut avoir un aléa faible pour l'application 1, alors qu'il sera élevé avec l'application 2. Cette différence s'explique notamment, avec le calcul de la valeur de combustibilité. Etant donné que cette valeur dépend des indices de combustibilité des deux espèces les plus abondantes et qu'il existe une variabilité au sein d'un type de formation, il existe une probabilité pour que les espèces dominantes d'un type de formation soient différentes d'une échelle à une autre.

### **4.2 Transposition de la méthodologie**

Cette explication est également valable pour la transposition des résultats d'une commune à une autre. Un second test a permis de tester l'hypothèse suivante : les indices de combustibilité calculés sur une commune avec la nouvelle méthodologie ne sont pas

applicables sur une autre commune. Trois cartes ont ainsi été créées à partir des points du massif de Mont Bouquet :

- Application 1 : cartographie de la commune de Bouquet avec la méthodologie à l'échelle communale.
- Application 2 : cartographie de la commune de St Juste et Vacquières en appliquant les indices de combustibilité calculés sur la commune de Bouquet.
- Application 3 : cartographie de la commune de St Juste et Vacquières avec la méthodologie à l'échelle communale.

Les résultats montrent que sur 10 types de formation renseignés sur la commune de St Juste et Vacquières, seuls 2 ont le même indice de combustibilité entre l'application 2 et 3. De plus, les communes, même appartenant à un même massif, n'ont pas les mêmes types IFN. Trois types présents sur la commune de St Juste ne le sont pas sur Bouquet, entraînant une perte d'information lors de l'application de transposition (application 2 du test).

En conclusion, pour assurer une validité optimale des résultats, la transposition est à éviter, il est plus pertinent d'effectuer le calcul pour chaque commune.

### 4.3 Ajout d'un point

Avec l'ancienne méthodologie, il n'était pas rare d'ajouter un point fictif, c'est à dire de dupliquer un point quelconque afin d'augmenter la densité de point ou la validité de l'échantillonnage.

Les tests précédents, ont permis de mettre en avant l'importance des points d'inventaires quant à la détermination d'un indice de combustibilité sur un type de formation. Les tests suivants sur la commune de Bouquet illustrent les conséquences de l'ajout d'un tel point. Le test 1 correspond à l'application de la méthode sans ajout de point. Pour le test 2, un point a été ajouté pour chaque type IFN (tf\_code). Les résultats obtenus sont décrits dans le tableau n°7. L'attribut « confiance » représente la validité de l'échantillonnage, qui est égale à 1 lorsque l'échantillonnage est valide.

test	tf_code	combu	Indice de combustibilité	confiance
1	163	32,48	1	0,57
2	163	32,62	1	0,77
1	175	32,23	1	0,66
2	175	66,63	4	0,77
1	212	53,64	3	0,613
2	212	65,27	4	0,81

Tableau 7 : résultats des tests d'ajout de points sur les types de formation

#### **4.4 Juxtaposition des cartes obtenues**

La juxtaposition des cartes obtenues soulève la même discussion. On entend par juxtaposition, l'assemblage de deux ou plusieurs cartes communales. D'après la transposition évoquée précédemment, le même type de peuplement peut posséder un indice de combustibilité qui diffère d'une commune à une autre. Les types de peuplement à cheval sur deux communes peuvent empêcher la juxtaposition des cartes obtenues.

### **5 CONCLUSION**

Cette méthodologie répond aux objectifs demandés. Utilisant la nouvelle typologie IFN, elle peut être maintenant utilisée pour cartographier l'aléa incendie de végétation des communes. Il est également possible de l'appliquer sur une zone d'étude plus grande, deux communes adjacentes, voir même un massif, si et seulement si, le protocole d'échantillonnage est respecté. Les points d'inventaires représentent une part non négligeable quant à la détermination de l'aléa. Il est important qu'ils soient effectués le plus minutieusement possible.

En perspective, les aspects concernant le plan d'échantillonnage méritent d'être rediscuter ou faire l'objet d'une étude complémentaire. L'échantillonnage systématique est nécessaire mais son application sur les types de formations aux formes variées est parfois impossible. Le plan proposé dans cette étude reste un compromis.

De même que, l'intégration du critère de pente dans la méthodologie, permettant ainsi d'évaluer et de cartographier la puissance du feu, reste un point à étudier.

Enfin, cette méthodologie est sensible aux variations des types de formation et son utilisation pour des PPRIF doit être prise avec précaution.

## CARTES

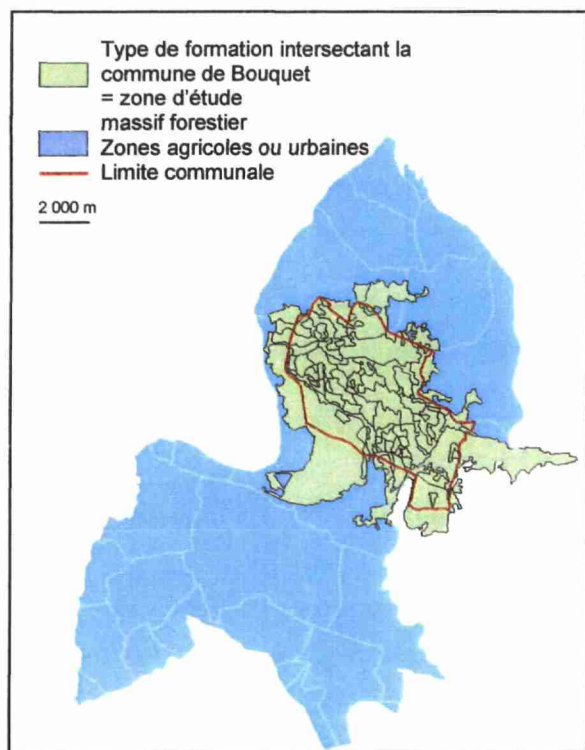


Figure 3 : massif et commune

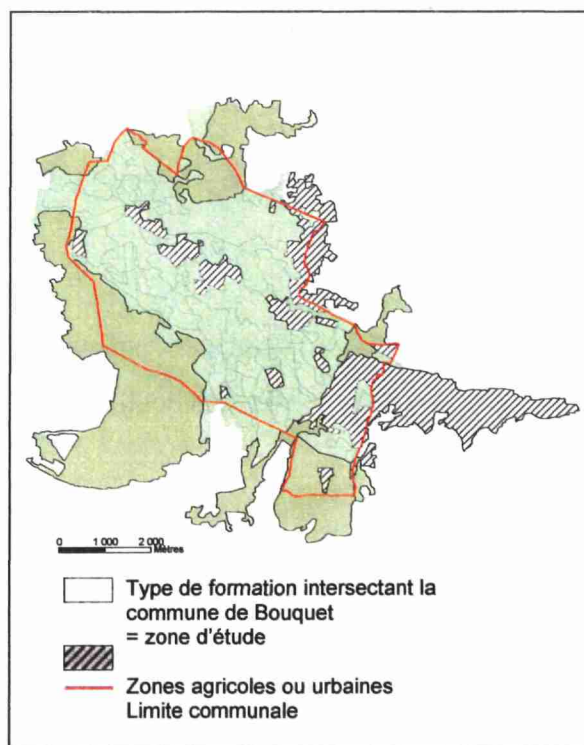


Figure 4 : la zone d'étude

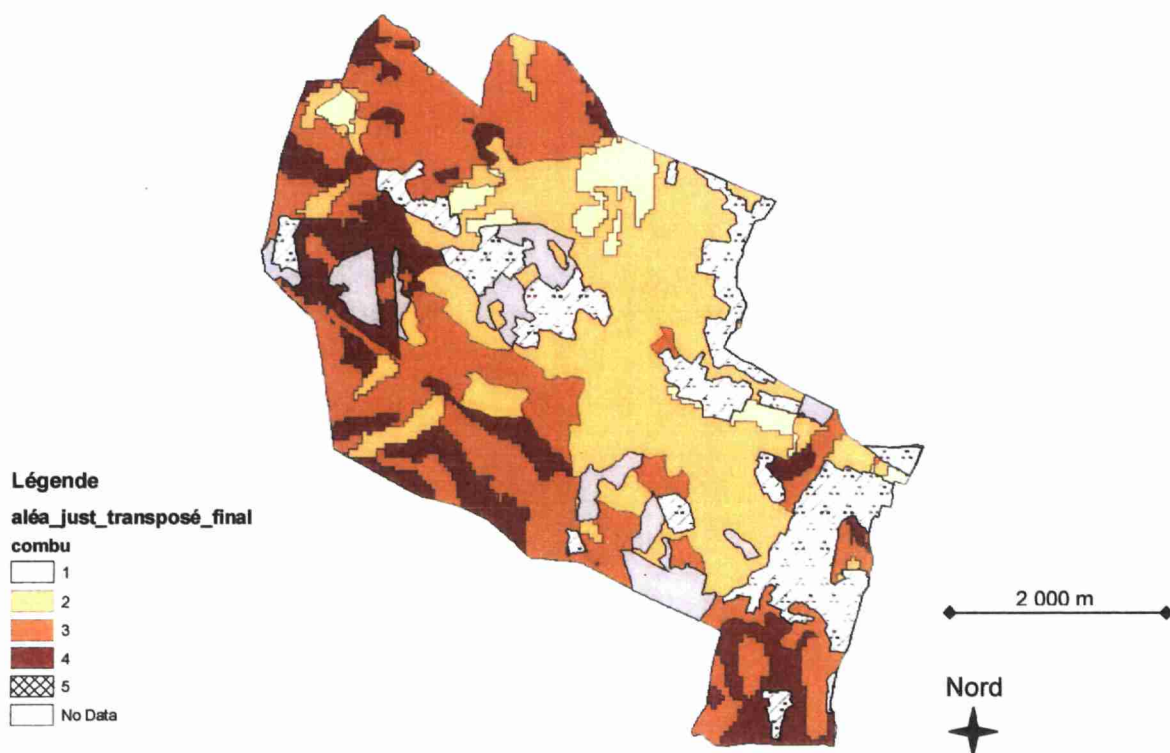


Figure 5 : cartographie de l'aléa de la commune de Bouquet

## REMERCIEMENTS

Dans un premier temps, je tiens à remercier l'équipe impliquée dans l'étude : Jacques Regad, Pierre Truong, Sylvie Lapcher pour l'encadrement et Catherine Foyer Benos pour sa collaboration.

Je remercie également Thierry Lacoua pour sa patience et ses explications instructives lors des journées terrains.

Je remercie toutes les personnes présentes à la Maison de la Télédétection lors de cette période de projet, pour leur convivialité et leur bon esprit.

Enfin, j'adresse une attention particulière à Jean-Marc Robbez Masson, tout simplement pour l'homme qu'il était.

## BIBLIOGRAPHIE

### **Bibliographie Appelée Dans Le Texte**

ALEXANDRIAN D., 1982, Estimation de l'inflammabilité et de la combustibilité de la végétation, CEMAGREF, B.I. n° 288, janvier 1982, p 31 - 39

IFN, site <http://www.promethee.com>, consulté le 22.10.05

KOCHERT T., 2001, Appui à la définition d'une méthodologie d'étude de l'aléa « feux de forêts », CEMAGREF - ENGREF (Thèse professionnelle), Montpellier (53 p.)

M.A.T.E et al ., 1999, Plans de prévention des risques naturels (PPR) risques d'incendie de forêt : guide méthodologique, version 1, Aix-en-Provence (81 p.)

MARIEL Anne, JAPPIOT Marielle, 1997, Evaluation et cartographie du risque d'incendie de forêt dans le massif des Maures, CEMAGREF (66 p.).

TRUONG P., 1999, Cartographie de la sensibilité aux incendies de végétation dans le massif du Pin Maritime Sud, CRPF L.R., Montpellier (30 p.)



## **Bibliographie complémentaire**

ALEXANDRIAN D., KAST R., LAMPIN C., et al. Approche méthodologique pour l'aide à la décision d'aménagement pour la protection contre les incendies de forêts. (Rapport version provisoire). Cemagref, décembre 2003. 96 p.

Cemagref., ARMINES. Cartographie du risque d'incendie de forêt, Recherche méthodologique pour la mise en adéquation des besoins, des méthodes et des données. (Rapport final). Agence MTDA., Cemagref, Juin 2000. 58 p.

CHAGNAUD N., , Appui à la mise en place d'une méthode pour l'atlas des risque incendie de forêt en Gironde, DFCI Aquitaine (Thèse professionnelle), Montpellier, 2002 .39 p.

COLIN, P.Y., JAPPIOT, M., MARIEL, A., LAMPIN CABARET, C., et al. Protection des forêts contre l'incendie : fiches techniques pour les pays du bassin méditerranéen. FAO, Rome, Italie, Coll. Cahier FAO Conservation, 2001. 149 p.

DDAF Alpes-Maritimes., Concours d'ARMINES (Ecole des Mines de Paris). Comparaison des méthodes de cartographie du risque « feu de forêt » destinées aux PPR. Agence MTDA, décembre 1998, 25 p.

GUARNIERI F., GARBOLINO E. Systèmes d'information et risques naturels. Paris: Les Presses de l'école des Mines, 2003. 241 p

LLAMAS H. et TRUONG P.,1995, Utilisation d'un Système d'Information Géographique (S.I.G) pour l'élaboration d'un Plan des Zones Sensibles aux Incendies de Forêts (P.Z.S.I.F) : cartographie préalable de l'aléa « incendie de végétation » sur l'ensemble du massif du Gardon, ONF (rapport d'étude), Nîmes (33 p.)

LAMPIN-CABARET C., JAPPIOT M., ALIBERT N. et al. Prototype d'une échelle d'intensité pour le phénomène « incendie de forêt ». Ingénieries, Septembre 2002, N° 31. p.49 à 56.

MARIEL A., JAPPIOT M. Interfaces habitat/forêt et risque d'incendie : Cartographie automatique. DFCI – Bulletin du centre de documentation forêt méditerranéenne et incendie, Novembre 2001, n°51, p.2

MARTIN R. Etude du risque Incendie de forêt, Diagnostic par commune, Département de l'Hérault. Hérault : DDAF- Hérault, juin 2000. 21 p.

REGAD J. Elaboration du PAC cadre – Volet risque incendie de forêt. (Rapport version 1). DDAF : GARD, 12 mai 2005, 96 p.

SALAMANDRA. Notes sur les feux de forêt. Perpignan : DDAF Pyrénées-Orientales, décembre 2004. 67 p.

TRABAUD L . Les feux de forêt, mécanismes, comportement et environnement. Aubervillier : France Sélection, 1989. 278 p.

SALTUS. Les sautes de feu en Europe, Résultats du programme européen Saltus. DFCI – Bulletin du centre de documentation forêt méditerranéenne et incendie, Octobre 2001, n°47, p 6-8

VENNETIER M. Accélération de la vitesse de croissance des arbres. DFCI – Bulletin du centre de documentation forêt méditerranéenne et incendie, juin 2000, n°44, p.4

ESA-PURPAN. Risque d'incendies de forêts : Application Aude. site :[http://www.esa-purpan.fr/fr/ltqt/forets/feux/application\\_aude.asp](http://www.esa-purpan.fr/fr/ltqt/forets/feux/application_aude.asp), consulté le 03/06/05

FARSITE. the USDI National Park Service, USDA Forest Service  
site :<http://farsite.org/nav.mas?pages=farsite&mode=6> , 12/06/05

INERIS. Glossaire technique proposé par le GT METHODOLOGIE. [On-line].,2003. [06.06.05] Available at <http://www-old.ineris.fr/expertise/pages/pdf/glossaire.pdf>

Ministère de l'écologie et du développement durable, Direction régionale de l'environnement Languedoc-Roussillon. Site : <http://carto.languedoc-roussillon.environnement.gouv.fr/> , consulté le 12/06/05

Ministère de l'écologie et du développement durable, Prim.net, L'annuaire des sites relatifs aux risques majeurs site :[http://www.prim.net/cgi\\_bin/professionnel/liste\\_sites.php?theme=58](http://www.prim.net/cgi_bin/professionnel/liste_sites.php?theme=58) consulté le 07/06/05

Observatoire de la Forêt Méditerranéenne, Portail d'information sur la forêt méditerranéenne site: <http://www.ofme.org/archives> consulté , consulté le 03/06/05

PROMETHEE, la banque de données sur les incendies de forêt en région méditerranéenne, site <http://www.promethee.com>, consulté le 06/06/05

## INDEXE DES FIGURES, DES TABLEAUX ET DES FORMULES

<i>Tableau 1</i> : répartition des premières et secondes espèces dominantes par strate.....	10
<i>Tableau 2</i> : principe du relevé de végétation.....	11
<i>Tableau 3</i> : Description des échelles d'observations pour chaque méthode et correspondance de transposition.....	13
<i>Tableau 4</i> : transpositions des échelles d'observations appliquées aux différents critères du calcul de l'aléa .....	14
<i>Tableau 5</i> : densité de points par type.....	15
<i>Tableau 6</i> : résultat du calcul de la variabilité des types de formation d'une commune.....	17
<i>Tableau 7</i> : résultats des tests d'ajout de points sur les types de formation .....	20
<i>Figure 1</i> : formalisation de la méthodologie du calcul de l'aléa à l'échelle des massifs forestiers (T.Kochert,2001).....	7
<i>Figure 2</i> : Formalisation des objets géographiques de la méthodologie .....	12
<i>Figure 3</i> : massif et commune	22
<i>Figure 4</i> : la zone d'étude .....	22
<i>Figure 5</i> : cartographie de l'aléa de la commune de Bouquet.....	22
<i>Figure 6</i> : représentation générale de l'aléa risque naturel.....	31
<i>Figure 7</i> : représentation générale de la vulnérabilité risque naturel.....	31
<i>Figure 8</i> : représentation générale et formalisée du risque naturel.....	31
<i>Figure 9</i> : représentation et schématisation de l'aléa induit .....	33
<i>Figure 10</i> : représentation de l'aléa subi .....	34
<i>Figure 11</i> : représentation générale et formalisée de l'aléa incendie de végétation.....	34
<i>Figure 12</i> : synthèse et représentation formalisée précise de l'aléa incendie de végétation.	36
<i>Figure 13</i> : Schématisation du principe méthodologique du calcul des indices de représentativité .....	38
<i>Figure 14</i> : schéma de l'algorithme du calcul d'un indice de combustibilité .....	40
<i>Formule 1</i> : formule de l'aléa incendie de végétation de la méthode de référence .....	8
<i>Formule 2</i> : représentativité d'un point .....	14
<i>Formule 3</i> : formule du risque naturel .....	30

## GLOSSAIRE

<b>Abondance</b>	Nombre total des individus de chaque espèce dans l'échantillon total
<b>Aléa</b>	Probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel et d'intensité définie
<b>Anthropique</b>	qui résulte de l'action de l'homme
<b>Cemagref</b>	Centre National du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et Forêts
<b>Combustible forestier</b>	Toute matière organique vivante ou morte en milieu forestier qui pourrait prendre feu et brûler.
<b>Combustion</b>	Ensemble des phénomènes qui accompagnent la combinaison chimique, sous l'influence de la chaleur, de l'oxygène de l'air avec le carbone contenu dans les combustibles..
<b>Danger</b>	Situation, condition ou pratique qui comporte en elle-même un potentiel à causer des dommages aux personnes, aux biens ou à l'environnement.
<b>Dommages</b>	La destruction ou la dépréciation de biens ou de richesses, causée par les incendies forestiers.
<b>Écllosion</b>	Naissance d'un nouveau foyer d'incendie.
<b>EDF</b>	Electricité de France
<b>Engref</b>	Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêt
<b>Enjeu</b>	Personnes, biens, activités, moyens, patrimoine susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel
<b>Evaluation du risque</b>	Processus de comparaison du risque estimé avec des critères de risques donnés pour déterminer l'importance du risque.
<b>Feu de végétation</b>	Tout feu qui se propage librement en terrain forestier en consommant des matériaux naturels de la forêt. Syn. incendie forestier.
<b>Inflammabilité des combustibles</b>	Facilité relative avec laquelle les matières combustibles s'enflamment et brûlent, sans égard à la quantité.
<b>Intensité du feu</b>	Expression numérique de la quantité de chaleur ou d'énergie déployée par le feu; permet d'évaluer le comportement du feu en termes quantitatifs.

<b>IGN</b>	Institut géographique national
<b>INRA</b>	Institut national de recherche agronomique
<b>MNT</b>	Modèle Numérique de Terrain
<b>ONF</b>	Office national des forêts
<b>PPRIF</b>	Plan de prévention des risques incendies de forêts
<b>Prévention</b>	Mesures visant à prévenir un risque en supprimant ou modifiant la probabilité d'occurrence du phénomène dangereux.
<b>Protection</b>	Mesures visant à limiter l'étendue ou/et la gravité des conséquences d'un phénomène dangereux, sans en modifier la probabilité d'occurrence.
<b>Risque</b>	Effet d'un aléa sur des personnes ou des biens vulnérables, le danger est un état, le risque sa mesure
<b>Risque naturel</b>	Evènement dommageable, doté d'une certaine probabilité, conséquence d'un aléa survenant dans un milieu vulnérable. Le risque résulte de la conjonction de l'aléa et d'un enjeu, la vulnérabilité étant la mesure des dommages de toutes sortes rapportés à l'intensité de l'aléa. A cette définition technique du risque, doit être associée la notion d'acceptabilité pour y intégrer sa composante sociale.
<b>SIG</b>	Système d'Information Géographique
<b>UMR3S</b>	Unité Mixte de Recherche Cemagref-Engref Structures et Systèmes Spatiaux
<b>Vitesse de propagation</b>	Vitesse relative à laquelle un incendie accroît ses dimensions horizontales pouvant s'exprimer en taux d'accroissement du périmètre du feu, en taux d'avance du foyer de l'incendie ou en taux d'accroissement en superficie, selon l'usage auquel
<b>Vulnérabilité</b>	Au sens le plus large, exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux. La notion de vulnérabilité recouvre l'ensemble des dommages prévisibles en fonction de l'occupation des sols et des phénomènes naturels. Ces dommages correspondent aux dégâts causés aux bâtiments ou aux infrastructures, aux conséquences économiques et, éventuellement, aux préjudices causés aux personnes.

## ANNEXE 1 : Analyse et formalisation de l'aléa incendie de forêt

### 1 Formalisation du risque naturel

Ce chapitre met l'accent sur les différentes notions caractérisant le risque incendie de forêt. En effet, l'absence d'une définition nationale commune de ce risque rend les comparaisons des différentes méthodologies difficiles entre elles. Par conséquent, il a été nécessaire d'intégrer dans ce rapport une étude sur la formalisation du risque incendie d'après une synthèse bibliographique des données existantes. En outre, cette formalisation donne la possibilité de situer les différents résultats du calcul du risque, obtenus par les méthodologies, dans l'arborescence de la définition afin d'y évaluer leur sens cartographique (propagation, éclosion, intensité, occurrence), de les comparer, de discuter de la pertinence des résultats en fonction de l'application demandée (PPRIF, etc.)

Dans notre cas, cette synthèse permettra de situer la méthodologie de la DDAF du Gard dans la définition globale du risque, d'interpréter les résultats cartographiques de cette méthodologie et de juger leur pertinence pour une utilisation à l'échelle communale.

Nous allons, dans un premier temps, définir les propriétés globales caractérisant les risques naturels, et donc au risque incendie de forêt. Sur ce modèle, nous établirons la définition globale du risque incendie de forêt qui servira d'appui à la formalisation de l'aléa incendie de végétation.

#### 1.1 Le risque

Il est, par définition, le produit de la probabilité d'apparition et de propagation d'un phénomène (aléa) par une valeur de dommage (vulnérabilité).

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité}$$

Formule 3 : *formule du risque naturel*

Le risque fait donc référence à deux notions distinctes : l'aléa et la vulnérabilité. Ces deux notions sont elles même définies et caractérisées par des propriétés formalisées.

#### 1.2 L'aléa

L'*Aléa*, selon le cahier de la FAO, est défini comme étant un vecteur du phénomène de risque naturel (apparition, propagation en un lieu donné) ou selon le grand dictionnaire terminologique de la langue française, la manifestation d'un phénomène naturel ou anthropique d'occurrence et d'intensité donnée.

Ces deux définitions sont importantes puisqu'elles se complètent. La première met en valeur les notions « *d'apparition* et de *propagation* » et la seconde intègre les caractéristiques fondamentales « *d'occurrence* et *d'intensité* ». Ainsi, nous interprétons l'aléa du risque naturel par :

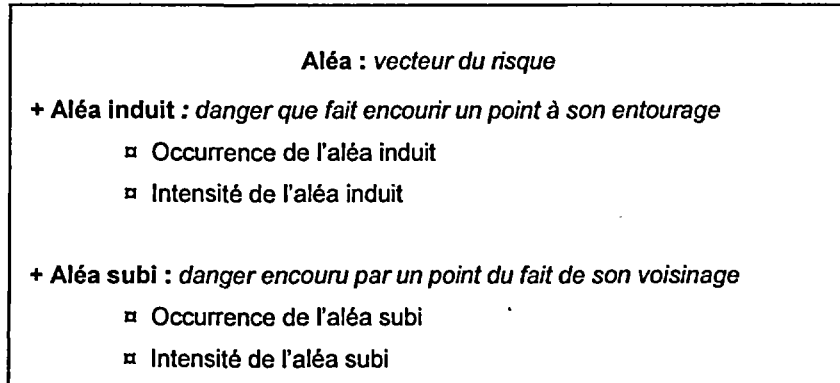


Figure 6 : *représentation générale de l'aléa risque naturel*

### 1.3 La vulnérabilité

La *vulnérabilité* exprime et mesure le niveau de conséquences prévisibles de l'aléa sur les enjeux. Les enjeux, quant à eux, déterminent l'ensemble des personnes et des biens (ayant une valeur monétaire ou non monétaire) pouvant être affectés par le phénomène du risque naturel. Ainsi, nous schématisons la vulnérabilité d'un enjeu exposé à un risque naturel par :

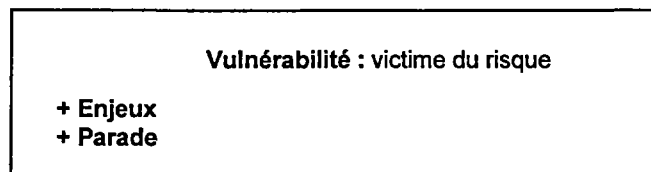


Figure 7 : *représentation générale de la vulnérabilité risque naturel*

### 1.4 Synthèse de la représentation globale du risque naturel

La synthèse de ces deux éléments nous donne la définition formalisée du risque naturel :

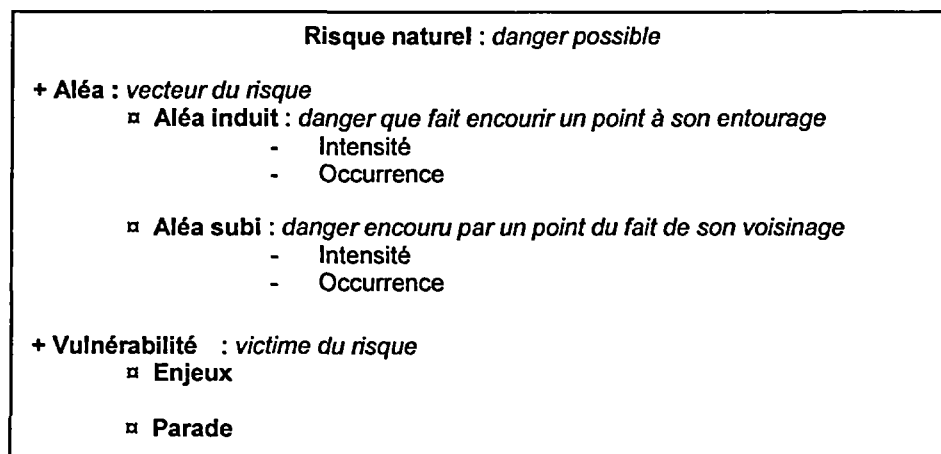


Figure 8: *représentation générale et formalisée du risque naturel*

## 2 Formalisation du risque incendie de végétation

Incendie de forêt : On parle d'incendie de forêt lorsqu'un feu concerne une surface minimale d'un hectare d'un seul tenant et qu'une partie au moins des étages arbustifs et/ou arborés (parties hautes) est détruite. En plus des forêts au sens strict, les incendies concernent des formations subforestières de petite taille : *le maquis*, formation fermée et dense sur sol siliceux, *la garrigue*, formation plutôt ouverte sur sol calcaire et *les landes*, formations sur sols acides, assez spécifiques de l'Ouest de la France (Vendée et Bretagne), composées de genêts et de petits arbustes.

Le *risque incendie de végétation* est la probabilité qu'un feu se déclenche par une activité anthropique ou un événement naturel, qu'il se propage par l'intermédiaire de la végétation et qu'il affecte des biens, des personnes et le milieu naturel. Ce risque est principalement caractérisé par la végétation et les éléments anthropiques, qui sont à la fois vecteurs et victimes du feu.

La représentation globale du risque incendie de végétation se calque sur la définition du risque naturel. Elle sert de base à la formalisation du risque incendie et plus particulièrement à la formalisation de l'aléa et de la vulnérabilité. Dans notre étude, seul l'aléa sera pris en compte.

## 3 Formalisation de l'aléa incendie de végétation

### 3.1 Définition

« Si un incendie a de fortes probabilités de se déclarer ou de se propager en un lieu donné, on dit alors que l'aléa feu de forêt est élevé. » (FAO)

Pour définir l'aléa, nous nous sommes appuyés sur les caractéristiques décrites précédemment concernant l'aléa du risque naturel et sur les études menées sur cette thématique. On retrouve donc les notions *d'apparition (éclosion)* et de *propagation* ou encore *d'intensité* et *d'occurrence*. D'autres notions apparaissent comme *l'inflammabilité* et la *combustibilité*, facteurs des caractéristiques de l'aléa. Seulement, l'emploi de tous ces éléments n'est pas systématique dans la description des méthodologies analysées, et la relation entre intensité, occurrence, propagation, éclosion, aléa induit et aléa subi, mais aussi combustibilité et inflammabilité reste relativement ambiguë.



### 3.2 L'aléa induit

L'aléa induit représente le danger que fait encourir un point à son entourage. Pour que ce point soit vecteur du risque, il faut donc qu'il engendre une *apparition*, autrement dit une *éclosion* de feu, et qu'il menace de se *propager* au milieu auquel il appartient, soit à son voisinage. L'aléa induit se caractérise par son *intensité* et son *occurrence* qui sont eux même respectivement définis comme étant la *surface menacée* et la *probabilité d'éclosion* [Cemagref et Agence MTDA, Alexandrian et Jappiot, 2000]. Par exemple, une habitation isolée en pleine forêt possède une *probabilité d'éclosion (occurrence)* ce qui représente un risque pour l'ensemble de la forêt qui l'entoure, ainsi que pour les habitations groupées en bordure de cette forêt du fait de la *propagation* du feu (surface menacée potentielle).

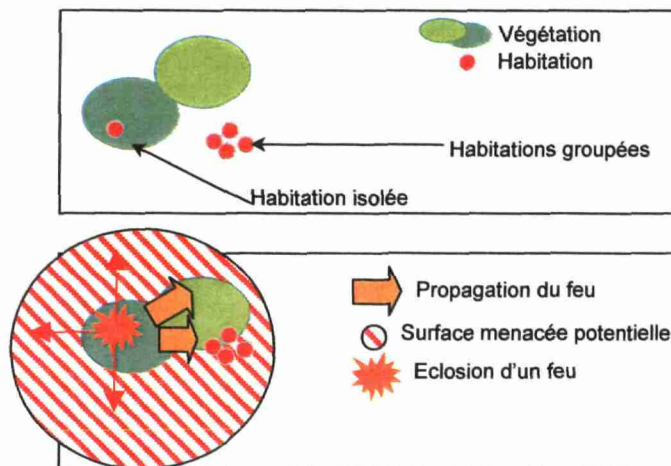
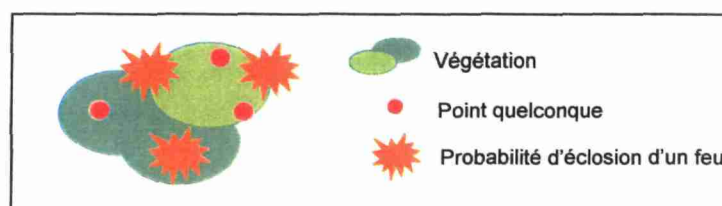


Figure 9 : représentation et schématisation de l'aléa induit

### 3.3 l'aléa subi

L'aléa subi correspond, quant à lui, au danger encouru par un point A du fait de son voisinage. Ce n'est plus le point A qui est vecteur du risque. Au contraire, il devient victime de l'incendie. L'aléa subi se caractérise par son *intensité* et son *occurrence* qui sont respectivement définis comme étant la *puissance du feu* et la *probabilité d'incendie* [Cemagref et Agence MTDA, Alexandrian et Jappiot, 2000]. L'éclosion d'un feu donne naissance à un incendie caractérisé par une *intensité*, représentant la *puissance* dégagée par le front de flamme. Cette intensité qui est facteur de la propagation permet de déterminer la probabilité d'incendie sur un point donné comme l'illustre la figure 7.



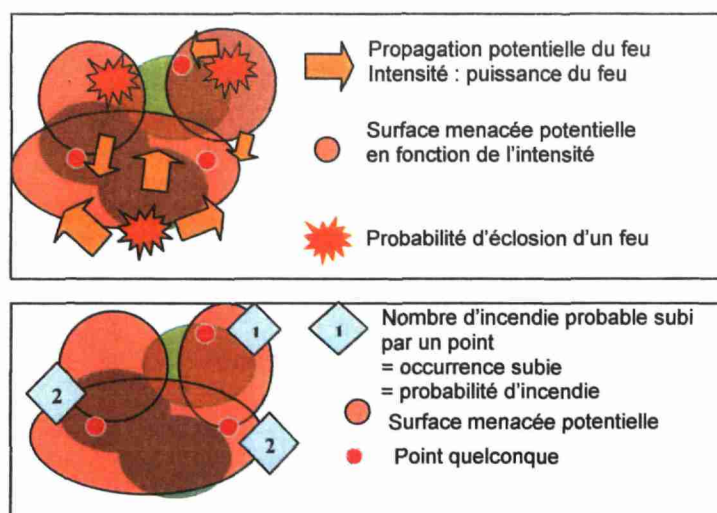


Figure 10 : représentation de l'aléa subi

### 3.4 Synthèse et formalisation générale de l'aléa incendie

On peut maintenant formaliser de façon encore globale l'aléa incendie de végétation en associant les différentes notions d'aléa induit, d'aléa subi, d'occurrence, d'intensité mais aussi de propagation et d'éclosion comme le montre la figure suivante :

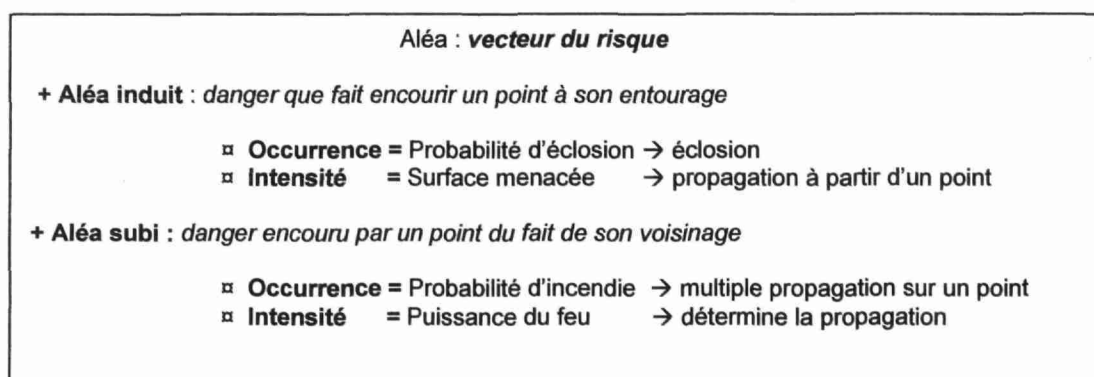


Figure 11 : représentation générale et formalisée de l'aléa incendie de végétation

L'aléa du risque incendie représente donc le fait :

- qu'un point A soit source d'éclosion probable,
- que l'entourage ou l'environnement de ce point A ait une capacité plus ou moins grande à brûler,
- que d'après cette capacité on puisse évaluer la *puissance potentielle du feu* qui, combinée à l'environnement, détermine la *propagation potentielle du feu*,
- que cette *propagation potentielle* puisse délimiter une *surface potentielle menacée* (toujours à partir de ce même point d'éclosion),
- qu'un point B soit atteint par la propagation de ce feu, et donc qu'il soit inclus dans la *surface menacée potentielle*

- et enfin que cet autre point B, du fait de son environnement, puisse être victime d'incendies générés par d'autres points d'éclosion probables.

### 3.5 Facteurs de l'aléa incendie

Les différents facteurs de l'aléa peuvent être caractérisés par des indicateurs temporels ou spatiaux. En effet, l'aléa incendie varie dans le temps en fonction des conditions météorologiques et des conditions des végétaux (sécheresse, stress hydrique de la végétation). On parle de prévision temporelle de l'aléa. En outre, l'aléa incendie n'est pas évidemment homogène sur l'ensemble du territoire. Son intensité dépend des conditions du milieu naturel (végétation, relief) et de l'occupation du sol. On parle alors de évaluation spatiale de l'aléa, se traduisant par une cartographie de l'aléa. Nous nous intéresserons uniquement à l'évaluation spatiale de l'aléa.

On remarque que *l'occurrence de l'aléa subi*, c'est à dire la *probabilité d'incendie* en un point et que *l'intensité de l'aléa induit*, soit *la surface menacée*, dépendent principalement de la *propagation* de l'incendie mais aussi des éléments comme la *puissance* et la *probabilité d'éclosion*. La détermination de la propagation de l'incendie est complexe et des modèles de simulation sont largement recommandés. Par contre, la puissance du feu, ou encore la probabilité d'éclosion, peuvent être déterminées et cartographiées à l'aide de méthodes indiciaires et de l'emploi des systèmes d'informations géographiques (SIG) : on parle alors de méthode statique.

Les indicateurs spatiaux comme la probabilité d'éclosion du feu, la puissance du feu, la propagation, la probabilité d'incendie d'un point, et la surface menacée, varient principalement en fonction de la composition en espèces et de la structure de la formation végétale, combinées aux facteurs relief, données météorologiques et activités anthropiques.

Le facteur « végétation » permet d'évaluer l'inflammabilité et la combustibilité d'un milieu.

La facilité du matériel végétal à s'enflammer sous l'action d'un apport de chaleur est l'inflammabilité. L'inflammabilité d'un végétal varie en fonction de sa teneur en eau et de son état phénologique, donc en fonction de la saison. Toute valeur d'inflammabilité doit être accompagnée d'informations sur la nature de l'élément végétal analysé (feuille, rameau, ensemble des éléments fins...) et sur la période de validité (mois, saison, toute l'année). L'inflammabilité influence donc la capacité d'éclosion du feu.

La combustibilité traduit la puissance du feu, qu'une formation végétale, de par ses caractéristiques, (compositions, espèces, biomasse, structure) peut alimenter, sans considérer l'influence du relief et du vent. Elle caractérise également l'aptitude du matériel végétal à

propager l'incendie, c'est à dire à brûler en dégageant suffisamment d'énergie pour entraîner, par transfert de chaleur, l'inflammation des végétaux.

Les facteurs d'activités anthropiques, au contact de la végétation sont essentiels quant à la détermination des sources d'éclosion. Ce sont les types d'habitats (groupés, dispersés et isolés), les voies de communication (SNCF, réseaux routier), les lignes EDF, les dépôts d'ordures et tous autres lieux de fréquentation humaine.

Les indicateurs météorologiques notables sont la pluviométrie, les données thermiques et le vent, par sa direction et sa vitesse.

Enfin, il est nécessaire d'intégrer les éléments du relief comme la pente et l'exposition au vent utiles à la caractérisation de la puissance du feu et de la vitesse de propagation.

### 3.6 Synthèse et représentation formalisée précise de l'aléa incendie

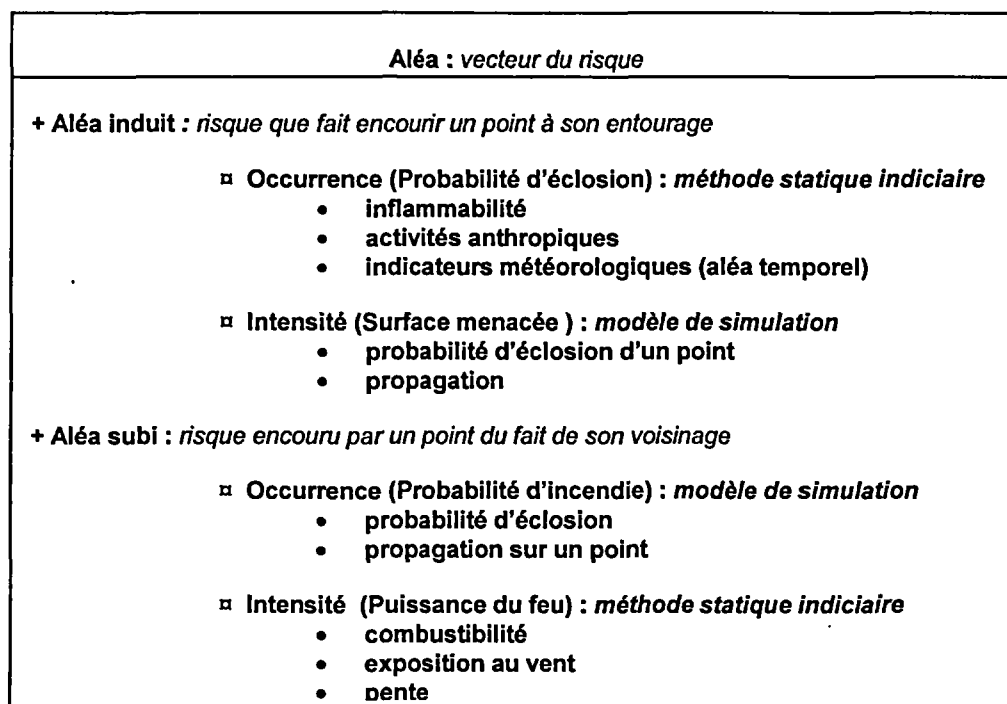


Figure 12 : synthèse et représentation formalisée précise de l'aléa incendie de végétation.

### 3.7 Synthèse finale : Analyse des méthodologies existantes (voir page suivante)

# Méthode d'évaluation spatiale de l'aléa (cartographie)

+ Aléa induit ;  
+ Aléa subi ;

Aléa Induit (+ occurrence; + intensité; )

Aléa Subi (+ occurrence; + intensité;)

PPRIF

Pistes DFCI, PPRIF

Moyens de surveillance

**Intensité = Surface menacée**  
 □ *Modèle de simulation de propagation à partir des points d'éclosion*

**Occurrence = Probabilité d'éclosion**  
 → cartographie

**Occurrence = Probabilité d'incendie**

**Intensité = Puissance du feu**  
 → cartographie

**Indicateur de pression de mise à feu**  
 + Données historiques de feux ;  
 + Activités anthropiques ;  
 + (Interfaces habitats-forêt) ;  
 + (Inflammabilité) ;  
 □ *Méthode indiciaire*  
 → Cartographie

**Indicateur de propension à l'incendie**  
 + continuité de la végétation ;  
 + Combustibilité ;  
 □ *Méthode indiciaire*  
 - *interrogation environnementale avec pondération azimutale et à l'éloignement*  
 □ *Simulation*  
 → Cartographie

**Interfaces habitats-forêt (en cours Cemagref Aix)**  
 + Cartographie habitat classé ;  
 + Cartographie végétation ;  
 □ *Méthode indiciaire*  
 □ *Traitement d'image*  
 → Cartographie

**Inflammabilité (végé basse)**  
 + **Structure végétation ;**  
 - Biovolume ;  
 □ *litière : recouvrement*  
 □ *herbacée : recouv*  
 □ *arbuste : revouv*  
 - Nombre de strate ;  
 - Type de végétation ;  
 □ *inflammabilité type ;*  
 + **Composition végétation ;**  
 - *indice inflammabilité espèces ;*  
 □ *Méthode indiciaire*  
 → Cartographie

**Continuité de la végétation**  
 + Parcelles agricoles et urbaines ;  
 + Formation à faible strate arborée ( - 20% ) ;  
 + Formation forestière ;  
 □ *Méthode indiciaire*

**Combustibilité**  
 + **Occupation du sol ;**  
 - Formations naturelles, forêt  
 □ *Structure végétation ;*  
   *indice de combustibilité type ;*  
 □ *Composition végétation ;*  
   *indice de combustibilité*  
*espèce*  
 - Zones urbaines ;  
   *indice de combustibilité ;*  
 - Zones agricoles ;  
   *indice de combustibilité ;*  
 □ *Méthode indiciaire*  
 → Cartographie

**Exposition au vent**  
 + Direction du vent dominant ;  
 + Exposition ;  
 □ *Méthode indiciaire*  
 → Cartographie

+ Pente

**Activités anthropiques**  
 + **Habitat :**  
 - habitat classé par structure :  
 □ *Groupé (ville, village, lotissement) ;*  
 □ *Dispersé (en hameau) ;*  
 □ *Isolé ;*  
 + **Voies SNCF ;**  
 + **Réseau routier ;**  
 + **Ligne EDF ;**  
 + **Lieu de fréquentation humaine ;** ( *service départemental d'incendie de secours, demander les « points sensibles »* )  
 □ *Téledétection, données IGN*  
 → Cartographie

**Données Historiques de feux**  
 □ *Données Base de données Prométhée.*

**Végétation**  
 + **Structure végétation (strates) ;**  
 - Biovolume et Type de végétation ;  
 □ *Litière ; recouvrement ;*  
 □ *Herbacées 0 à 0.5 m ; recouvrement ;*  
 □ *Arbustes 0.5 à 1 m ; recouvrement ;*  
 □ *Arbustes de 1 à 3 m ; recouvrement ;*  
 □ *Arbres 3 à 10 m ; recouvrement ;*  
 - Nombre de strate ;  
 + **Composition végétation (essences, espèces) ;**  
 - Proportion des espèces ;  
 □ *Cartographie type de peuplement (IFN)*  
 □ *Téledétection (image Satellite, photo aérienne)*  
 □ *Terrain : relevés floristiques*

**Relief**  
 + **Pente ;**  
 + **Exposition ;**  
 □ *Extraction MNT et ses dérivés au pas de 50 mètres.*

**Météorologie**  
 + **Pluviométrie ;**  
 + **Données thermiques ;**  
 + **Vent ;**  
 - **vitesse du vent ;**  
 - **Direction du vent dominant ;**  
 □ *Moyenne annuelle par points et par facteurs.*  
 → Cartographie

## ANNEXE 2 : Calcul de la représentativité d'un point

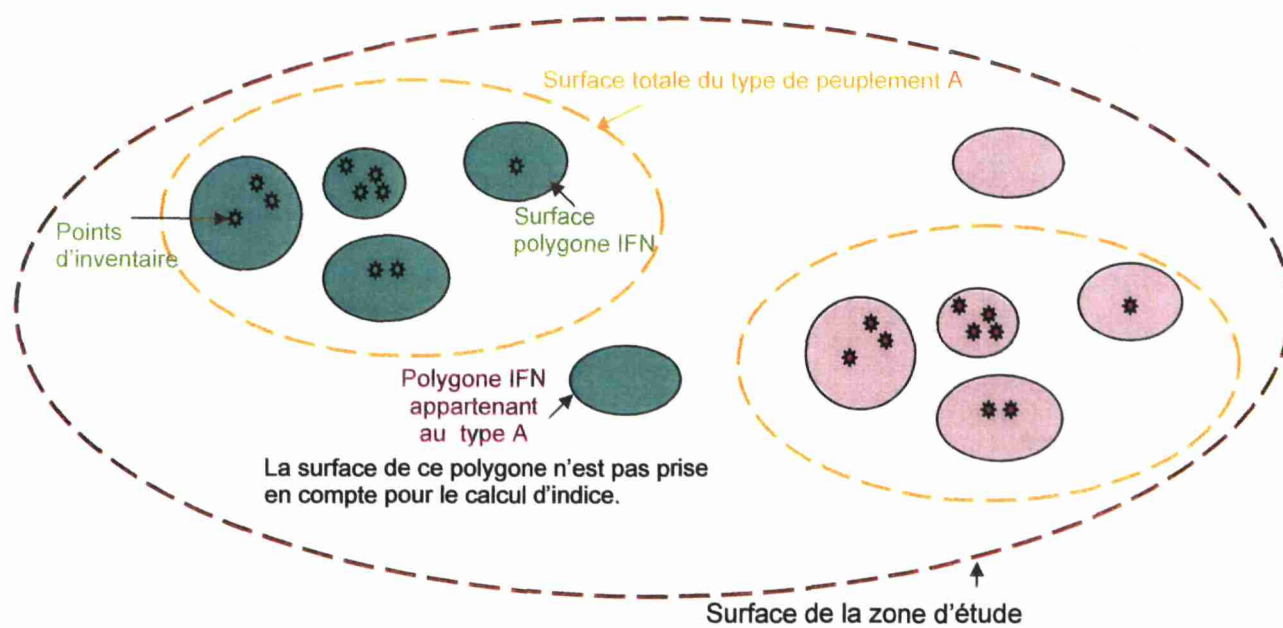
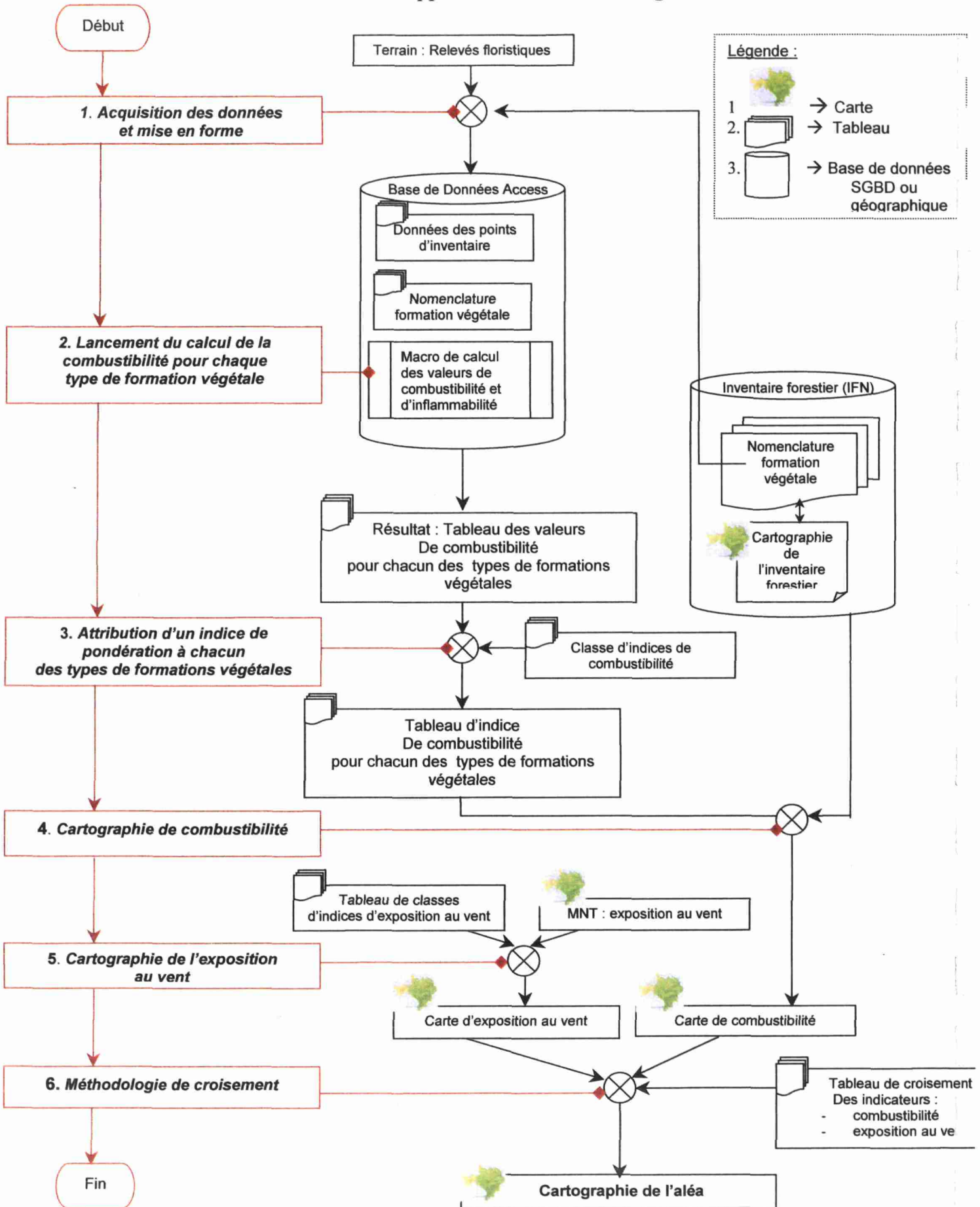


Figure 13 : Schématisation du principe méthodologique du calcul des indices de représentativité

### ANNEXE 3: Application de la méthodologie



## ANNEXE 4: Synthèse du calcul d'un indice de combustibilité d'un type de peuplement dans la base de données

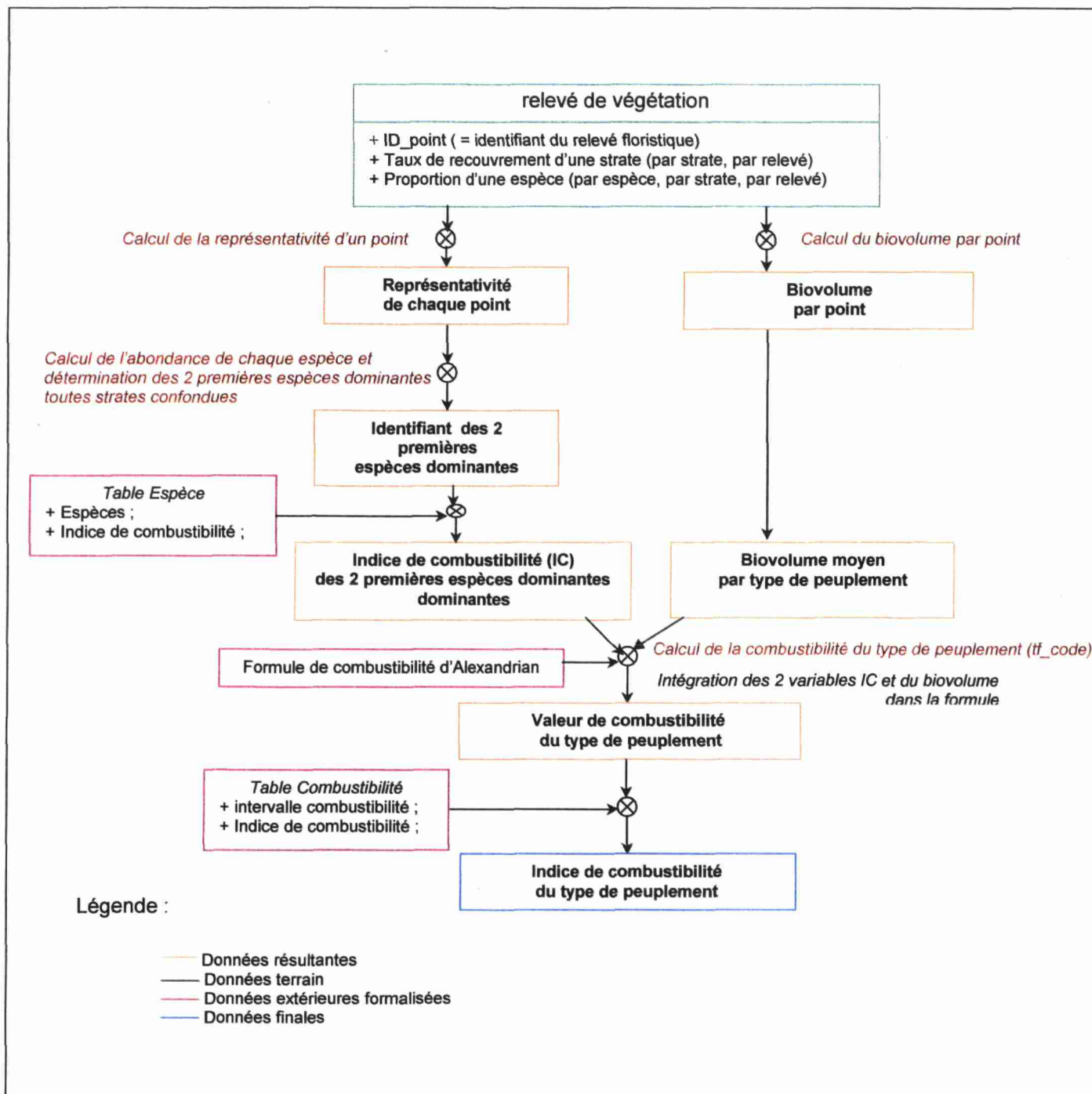
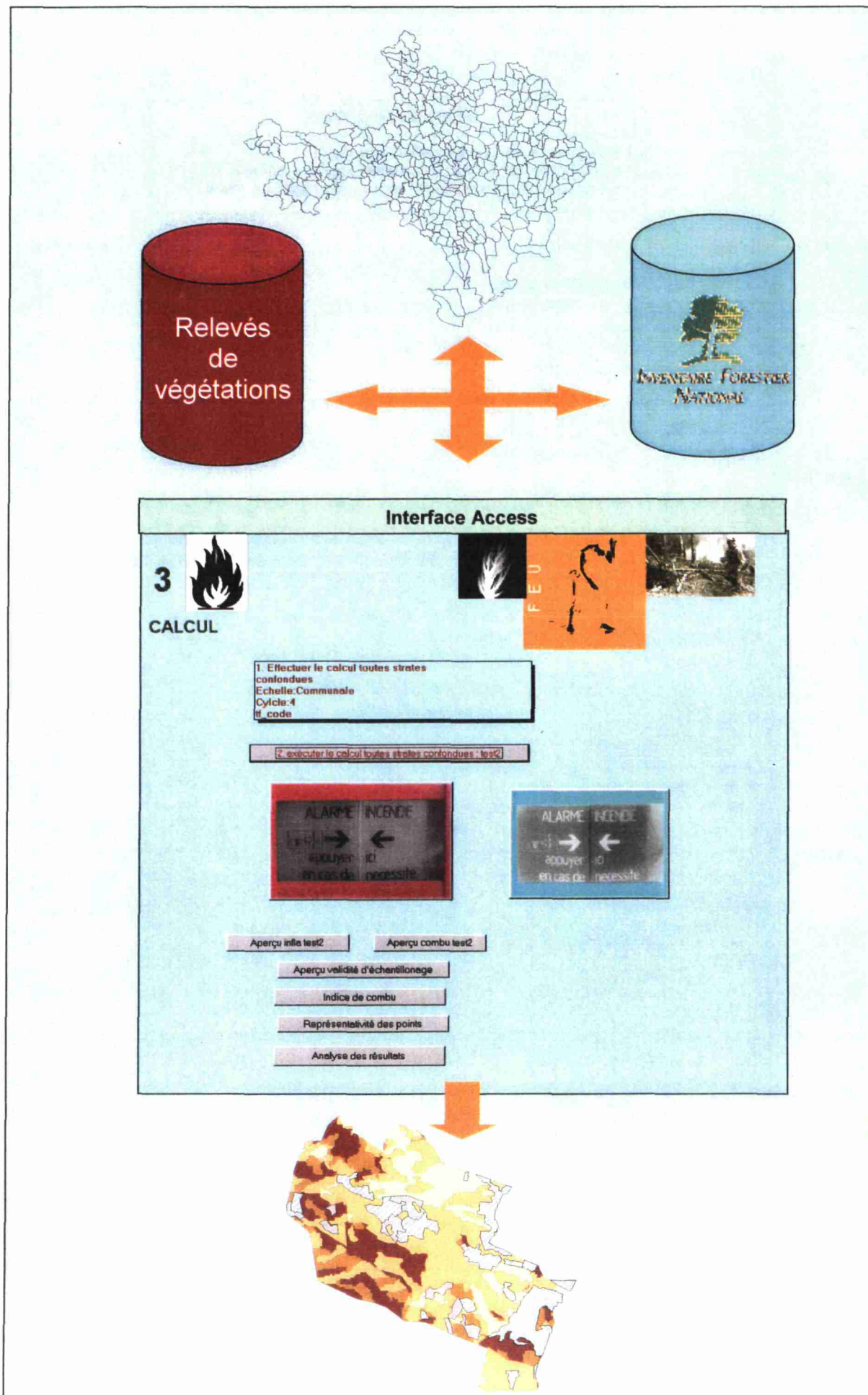


Figure 14 : schéma de l'algorithme du calcul d'un indice de combustibilité



# ILLUSTRATION DU PROJET



## RESUME

Les pouvoirs publics préconisent la réalisation de Plan de Prévention de Risque Incendie de Forêt dans les communes à risque. Afin de répondre à cette demande, la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt du Gard (DDAF) cherche à édifier une méthodologie de cartographie de l'aléa incendie de forêt dans les communes du Gard.

D'ors et déjà, la DDAF a développé une méthodologie permettant de cartographier l'aléa incendie de forêt à l'échelle des massifs forestiers. Cette méthode existante est basée sur l'utilisation d'un système d'information géographique, qui permet de combiner des données relatives à la végétation et au relief.

La méthodologie retenue dans le cadre de la présente étude, s'appuie sur cette méthode de référence. Une analyse approfondie a contribué à caractériser les éléments ayant un impacte majeur lors du changement d'échelle. L'objet de l'étude porte également sur les conditions de validité de la nouvelle méthodologie.

**Mots-clés :** aléa incendie de forêt, cartographie, combustibilité, échelle communale, Gard, méthodologie, PPRIF, SIG.

## ABSTRACT

The authorities recommend the execution of Plan of Prevention of the Forest Fire Risk in the "commune" subject to risk. In order to answer this request, the agriculture and forest administration office (DDAF) of the Gard département seeks to develop a methodology of forest fire risk mapping for the "communes" of gard.

The DDAf has already developed a methodology for mapping forest fire risk on the forest block level. This method is based on the use of e GIS, which allows integration of various data to vegetation and relief. The methodology retained within the present study is based on this reference method. A thorough analysis contributed to characterize the elements having major impact at the "commune" level. The study also deals with the conditions of validity of the developed methodology.

**Keywords :** cartography, combustibility, "commune" level, forest fire risk, Gard, GIS, plan of prevention of the forest fire risk.