

CARTOGRAPHIE DU RISQUE D'INCENDIE DE FORET :

BESOINS, METHODES ET DONNEES. ESSAI DE NORMALISATION

Marielle Jappiot*, Raphaële Blanchi**, Daniel Alexandrian***

* *Cemagref, Groupement d'Aix-en-Provence*
Le Tholonet, BP 31, 13612 Aix en Provence Cedex 1
Tel : 04.42.66.99.60, Fax : 04.42.66.99.71
e-mail : marielle.jappiot@cemagref.fr

** *École des Mines de Paris*
BP207, 06904 Sophia Antipolis Cedex
Tel : 04.93.95.74.86, Fax : 04.93.65.43.04
e-mail : raphaelle.blanchi@cindy.cma.fr

*** *Agence MTDA*
238 avenue du Club Hippique, 13090 Aix en Provence
Tel : 04.42.20.12.57, Fax : 04.42.20.16.35
e-mail : mtda@pacwan.net

Résumé : il existe à l'heure actuelle une très forte demande en matière de cartographie du risque d'incendie de forêt. Cette demande est le reflet de besoins très divers en termes d'application (urbanisme, aménagement ...). Cependant les études en la matière sont assez hétérogènes, les concepts employés peuvent recouvrir des significations très différentes (notion de risque, d'aléa, de vulnérabilité, ...). De ce fait, il est apparu nécessaire de s'interroger sur les demandes et les besoins en matière de connaissance et de cartographie du risque puis sur les modalités des réponses apportées et les enseignements tirés de ces réponses. L'objectif de l'étude présentée dans cet article s'attache ainsi à :

- clarifier les concepts relatifs au risque d'incendie,
- lister de manière exhaustive tous les besoins en matière d'évaluation et de cartographie,
- inventorier les méthodes utilisées jusqu'à ce jour, y compris pour d'autres risques naturels,
- identifier les données et les systèmes d'information actuellement disponibles.

Abstract : nowadays, there exists a great demand for fire risk maps. This demand is reflected in a wide variety of needs, depending on the application (urban, rural, construction, farmland.....). However the studies on the matter are rather heterogeneous, the concepts used cover different meanings (concept of risk, of hazard, and vulnerability...). So it becomes necessary to clarify these aspects. The objectives of this study presented in this article are :

- to clarify the concept of fire risk,
- to list in an exhaustive way all the needs for risk assessment and cartography,
- to inventory the methods used so far, including for other natural risks,
- to identify the data and the information systems currently available.

Mots clés : *cartographie* – vocabulaire – normalisation - méthodes – besoins - éléments du risque – analyse spatiale - données

Il existe à l'heure actuelle une multiplicité de méthodes d'évaluation et de cartographie du risque d'incendie de forêt. Cette diversité traduit, entre autres, la très grande variété des besoins.

L'expression de ces besoins est souvent confuse et les concepts employés peuvent recouvrir des significations très différentes. Le vocabulaire lui-même est entaché d'un flou important. On parle de risque, de danger, de sensibilité, d'aléa, d'enjeu, d'endommagement, de vulnérabilité,...

Lorsque les études de risque restent cantonnées à un contexte technique (aide à la décision), cette imprécision n'a pas d'autres conséquences que de rendre difficilement comparables les approches menées de manière désordonnée. Mais lorsque ces études revêtent un caractère réglementaire (cas des Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles), cette hétérogénéité peut être à l'origine d'incompréhension de la part des non-techniciens (élus, population concernée,...) et aboutir à un contentieux en cas de situation de restriction forte du droit à construire.

Il devient donc nécessaire de clarifier les connaissances en matière d'évaluation du risque. Pour ce faire une analyse de l'existant a été réalisée en utilisant deux supports de travail : les études antérieures et des enquêtes auprès des utilisateurs.

Les enseignements tirés de cette analyse conduisent ensuite à proposer une démarche d'évaluation du risque. Destinée à normaliser les approches, sans pour autant imposer une méthode unique d'évaluation du risque, la démarche décrite dans cet article se décompose en trois étapes :

- Définition des besoins auxquels doit répondre la cartographie projetée (objectifs, échelle),
- Détermination d'une méthode pour satisfaire ces besoins, ce qui conduit à :
 - déterminer les éléments du risque (aléa, enjeux, ...)
 - sélectionner les paramètres requis
 - choisir le mode de représentation de chaque élément du risque (probabiliste, déterministe, ...)
- Obtention des données nécessaires à la fabrication des paramètres, ce qui nécessite leur acquisition et la mise en œuvre d'outils d'analyse spatiale.

1 Le support de travail

Parmi les nombreuses études de risque existantes, et après interrogation des services concernés (DDAF, DDE, SDIS, Préfectures), nous avons choisi 50 études recouvrant les

différentes préoccupations passées. Une grille d'analyse a été constituée afin de permettre une lecture simplifiée et homogène de chaque étude.

Des entretiens individuels sont venus compléter cette analyse. Les acteurs visés par ces entretiens étaient des intervenants (le plus souvent publics) susceptibles d'exprimer des besoins en matière de cartographie du risque. L'ensemble échantillonné devait donc être représentatif à la fois de différentes échelles de travail (Europe, État, massif forestier, commune, ...) et de différentes préoccupations (prévention, lutte, équipement de terrain, mobilisation préventive,...). Un ensemble de 57 personnes a ainsi été contacté soit par téléphone, soit par courrier (questionnaire), soit par entretien direct.

Enfin, une réflexion plus générale a été menée sur l'ensemble des situations où les notions de risque peuvent (ou pourraient) être intégrées dans les processus de décision afin d'en accroître l'efficacité.

2 Analyse de l'existant et proposition d'une démarche

L'analyse des études antérieures a montré que la démarche adoptée par la plupart des auteurs était une démarche ascendante, que l'on peut qualifier de "tirée par les données". Cela apparaît clairement à la lecture des études d'évaluation du risque et lors des entretiens menés avec les différents acteurs du domaine feux de forêt. De façon schématique, les données disponibles sont transformées en paramètres utiles au calcul du risque en utilisant telle ou telle méthode ; puis les paramètres obtenus sont combinés en un ou plusieurs indices, élaborés spécifiquement pour refléter le risque d'incendie dans la zone étudiée, en fonction du besoin particulier de l'étude.

La démarche proposée, radicalement opposée, est une démarche descendante, que l'on peut qualifier de "partant des besoins" ; de façon également schématique, le besoin particulier à l'étude est analysé pour être décomposé en éléments du risque ; chaque élément du risque est évalué après avoir choisi un mode de représentation faisant intervenir un ensemble de paramètres, eux-mêmes obtenus à partir des données disponibles, en utilisant telle ou telle méthode d'analyse spatiale.

Cette nouvelle démarche, destinée à normaliser les approches, est détaillée dans les paragraphes suivants.

3 Définition des besoins auxquels doit répondre la cartographie projetée

Les objectifs des études de risque se scindent en deux catégories principales : les besoins réglementaires (urbanisme) et les besoins techniques (aménagement, prévention, ...). D'autres besoins ont été recensés à la lecture des études antérieures, pressentis au cours des entretiens

ou identifiés pour l'avenir. Citons pour mémoire : la politique forestière, l'information préventive, les assurances. Cet article se focalise sur les deux principaux besoins actuels.

3.1 Urbanisme

Ce besoin se décline en deux niveaux :

- le niveau départemental (voire régional). L'objectif de la carte est d'établir un zonage prioritaire pour l'établissement de futurs Plans de Prévention des Risques naturels majeurs (PPR) afin de concentrer les financements des collectivités locales pour la mise en sécurité des zones à risque subi. Les besoins futurs en matière d'urbanisme à cette échelle concerneront probablement les projets de planification devant prendre en compte le risque d'incendie : infrastructures de desserte, DTA,...
- le niveau local (une ou plusieurs communes). Le besoin est essentiellement celui généré par les PPR, réalisés à l'intérieur des « bassins de risque » théoriquement définis au niveau départemental. L'un des objectifs est d'élaborer la carte d'aléa et le zonage réglementaire. Un autre objectif consiste à analyser les dispositifs actuels de prévention et de lutte (étude des équipements collectifs ou privé, obligation de débroussailler).

3.2 Aménagement DFCI

Ce besoin se décline en deux niveaux :

- le niveau départemental. L'objectif de la carte est d'établir un zonage prioritaire pour la prévention des incendies de forêts : sont donc concernés à la fois la résorption des causes accidentelles, la surveillance des massifs forestiers, la mobilisation préventive et l'équipement (ou l'entretien) des aménagements destinés à lutter contre le feu. Il s'agit donc de concentrer les financements sur des opérations de nature à protéger la forêt, notamment dans les zones à risque induit. Les besoins futurs à cette échelle concerneront probablement aussi les obligations réglementaires, notamment celles liées à l'octroi d'aides européennes.
- le niveau local (une ou plusieurs communes). À l'intérieur des massifs forestiers, le besoin est identique, avec des aspects plus opérationnels, généralement inscrits dans un document de type PIDAF. Par exemple, aide à la mise en place de nouveaux équipements, détermination des circuits des patrouilles, positionnement des coupures,...

4 Détermination d'une méthode pour satisfaire les besoins

La démarche est fondée sur trois étapes. Dans un premier temps la notion de risque a été clarifiée ; cette étape conduit à distinguer différents éléments du risque. Ensuite chacun de ces

éléments sera modélisé en sélectionnant des composantes et paramètres ainsi qu'un mode de représentation.

4.1 Détermination des éléments du risque à intégrer en fonction des besoins

Le risque n'existe que du fait de la présence humaine ; en effet, il existe seulement dans la mesure où il affecte les populations à travers la manifestation du phénomène. Dans la pratique, risque et aléa sont fréquemment confondus. En réalité, la notion de risque est celle d'une « espérance mathématique », tout à fait comparable à celle des jeux d'argent (produit entre la probabilité de gagner et le montant des gains potentiels). De la même façon, tout **risque** naturel recouvre à la fois :

- la probabilité qu'un événement se produise : l'aléa. Plus précisément, l'**aléa** se définit comme « la **probabilité** qu'un phénomène naturel d'**intensité donnée** se produise en un lieu donné ». Il est donc lui-même fonction de deux éléments : l'**occurrence** et l'**intensité**.
- et les conséquences particulières découlant de cet événement : la **vulnérabilité**. La **vulnérabilité** correspond aux « conséquences prévisibles d'un phénomène naturel d'intensité donnée sur les enjeux ». Elle est donc fonction de deux éléments : les **enjeux** et les **parades** (dispositifs de prévention ou de lutte).

En matière d'incendie de forêts, il est en outre devenu d'usage de considérer les deux aspects de l'aléa :

- l'aspect « naturel », où l'aléa est, comme pour les autres phénomènes naturels, la combinaison entre **probabilité d'incendie** et **intensité de l'incendie** (on parle parfois d'**aléa subi**),
- l'aspect « technologique », où l'aléa est, comme pour les accidents industriels, la combinaison entre **probabilité d'éclosion** et **surface menacée** (on parle alors d'**aléa induit**).

Le risque est ainsi composé de différents éléments imbriqués.

RISQUE					
Aléa		Vulnérabilité			
Occurrence		Intensité		Enjeu	Parade
Probabilité d'éclosion	Probabilité d'incendie	Surface menacée	Intensité de l'incendie		

Ainsi chaque besoin peut être traduit en éléments du risque, comme illustration reprenons les deux besoins principaux.

Urbanisme : la **probabilité d'incendie** est la caractéristique dominante de l'aléa à prendre en compte (la **probabilité d'éclosion** n'est utile que si le calcul de la probabilité d'incendie

l'intègre). L'**intensité** peut être prise en compte au niveau local. Les **enjeux** doivent être inventoriés de manière assez précise au niveau local. Il est possible de prendre en compte les **parades** pour déterminer les zones défendables.

Aménagement DFCI : le calcul de la **probabilité d'éclosion** est indispensable. En effet, les sources potentielles de départ de feu représentent un élément du risque très important pour définir les priorités départementales ou l'aménagement des massifs. La **probabilité d'incendie** peut éventuellement servir pour définir des ratios d'équipement au niveau départemental, ou localiser des coupures. La **surface menacée** est un élément particulièrement adapté à ce besoin lorsque la stratégie d'aménagement a pour priorité la prévention des éclosions et la maîtrise des feux naissants. Les **enjeux** sont en général limités aux seuls enjeux forestiers. Il est recommandé d'intégrer le **dispositif** actuel de prévention et de lutte dans l'évaluation de l'aléa pour estimer les secteurs insuffisamment équipés.

4.2 Modélisation des éléments du risque

Pour évaluer le risque il est ensuite nécessaire de modéliser chacun des éléments du risque. Cette étape consiste à sélectionner les paramètres propres à chaque élément (types de combustible, pente, ...) puis à utiliser un mode de représentation du risque afin de « mesurer » le risque.

4.2.1 Sélection des composantes et des paramètres requis par chaque élément

Les **paramètres** sont les facteurs du milieu naturel et anthropique qui influencent l'éclosion, la propagation et l'intensité d'un feu, ainsi que son déroulement (aspects liés à la lutte). Par exemple, les principaux paramètres topographiques utilisés dans les études d'aléas sont la pente et l'exposition.

Les familles de paramètres sont appelées **composantes**. Elles sont au nombre de cinq : végétation (combustibilité, inflammabilité, biomasse, ...), topographie (pente, exposition, ...), climat (humidité de l'air, insolation, pluviométrie, ...), activités humaines (occupation du sol, foncier, point d'eau, ...), historique (surface brûlée, point d'éclosion). La composante activité humaine peut être utilisée dans trois aspects des éléments du risque : sources de départ de feu, enjeux (personnes, biens, installations), moyens de lutte.

4.2.2 Choix du mode de représentation de chaque élément du risque

On peut distinguer trois types de représentation de chaque élément du risque (modélisation) :

- Le mode probabiliste. Ce mode de représentation se base uniquement sur des données statistiques pour représenter un élément du risque. On utilisera par exemple les seules données historiques pour évaluer la probabilité d'éclosion. Les données historiques sont très souvent géographiquement référencées sur des limites administratives, ce qui conditionne leur mode

de représentation : généralement par canton ou commune au niveau départemental, par commune ou carré DFCI au niveau communal.

- Le mode semi-probabiliste. Ce mode de représentation utilise essentiellement les données historiques pour « caler » les composantes non historiques mais également l'expertise, l'expérimentation. Il permet d'appréhender certains aspects des incendies sans toutefois connaître intégralement les mécanismes physiques des feux. On utilisera par exemple les statistiques disponibles pour connaître la probabilité d'éclosion correspondant à chaque type de formation végétale ou à chaque type d'activité humaine.
- Le mode déterministe. Ce mode de représentation suppose de bien connaître les mécanismes liés au feu : éclosion, propagation, parades,... Compte tenu des connaissances actuelles, ce mode de représentation n'est pas envisageable pour tous les éléments du risque. En matière d'enjeux et de parades, l'absence de données et de modèles rend par exemple très difficile la conception d'un tel mode de représentation ; dans la pratique, on lui préférera alors dans ce cas un mode semi-probabiliste.

4.2.3 Mise en adéquation entre éléments du risque, modes de représentation et composantes

Dans de nombreux cas, le choix des modes de représentation des éléments du risque est surtout fonction des moyens et des données disponibles. Un certain nombre de principes méritent cependant d'être respectés. Pour chaque élément du risque, on peut dresser un tableau croisé des composantes et du mode de représentation.

Exemple des composantes et modes de représentation à prendre en compte pour la probabilité d'incendie

Modes de représentation	Composantes				
	Végétation	Topographie	Climat	Activités humaines	Historique
Probabiliste	✱				✱
Semi-probabiliste	✱	✱	✱	✱	✱
Déterministe	✱	✱	✱	✱	

Dans le mode **probabiliste**, le RMA ("Risque Moyen Annuel") est calculé en divisant la surface moyenne détruite annuellement dans une zone donnée par la surface potentiellement combustible de cette même zone. Le calcul est réalisé au niveau des "objets" qui servent à comptabiliser les données historiques (très souvent des limites administratives). La végétation n'intervient que par sa seule présence.

Dans le mode **semi-probabiliste**, les composantes non historiques dont on dispose (végétation, topographie, climat, parades) sont traduites en probabilité d'incendie en utilisant

les statistiques disponibles : par exemple, probabilité d'incendie de chaque type de formation végétale ou de chaque type de topographie.

Un mode entièrement **déterministe** implique deux choses : disposer d'une représentation de la probabilité d'éclosion et simuler la propagation de chaque éclosion en fonction des conditions du milieu et des parades existantes.

5 Obtention des données nécessaires à la fabrication des paramètres

Les données correspondent aux informations destinées à être traitées pour modéliser un paramètre ou directement un élément du risque. Elles peuvent être plus ou moins proches des paramètres selon les outils de modélisation mis en œuvre.

5.1 Acquisition des données de différents types

Les données se répartissent en six grands types selon leur facilité d'utilisation.

- **Les données prêtes à l'emploi.** L'information est thématique et numérisée. Ces données peuvent facilement être transformées en paramètres : par exemple, les modèles numériques de terrain fournissent classiquement les paramètres pente, exposition et altitude.

Ces données sont en général disponibles auprès des producteurs nationaux d'information numérisée mais ne sont pas forcément adaptées aux besoins car le cahier des charges de leur constitution était indépendant de l'étude. Elles ont cependant le mérite d'exister, de façon homogène, sur de grandes surfaces.

- **Les données sur cartes papier.** L'information doit être d'abord sélectionnée et/ou interprétée puis numérisée (par digitalisation des contours sur la table à digitaliser, ou par scannage des plans et vectorisation à l'écran). L'information descriptive est ensuite rajoutée dans une deuxième étape (carte thématique).

- **Les données spatialisées devant être interprétées.** Ce sont les photographies aériennes et les images satellitaires, et récemment les orthophotos. L'information est continue et fournit une vision globale de l'occupation de l'espace. Elle permet d'accéder aux composantes végétation, topologie et activités humaines.

- **Les données ponctuelles, localisées.** Une interpolation est nécessaire pour en obtenir une représentation continue sur la zone d'étude. Les données des stations météorologiques par exemple, permettent de cartographier les variations des paramètres climatiques.

- **Les données statistiques.** Ce sont des fichiers de recensement dont l'objectif premier est de proposer des renseignements d'ordre statistique sur certaines portions du territoire.

Ces données peuvent fournir une information spatialisée si elles sont rattachées à une surface, comme par exemple la commune, les carrés DFCI. La base de données Prométhée est souvent utilisée pour décrire les paramètres historiques.

- **Les données peu ou pas localisées.** Ces données ne comportent pas de référence spatiale précise. Elles apportent un complément d'information qualitative. Il peut s'agir de sources bibliographiques, d'archives ou d'abaques.

L'expérimentation constitue également un mode important d'obtention de ces données. Celle-ci s'effectue en laboratoire (banc d'essai, épiradiateur) ou sur le terrain (feux réels ou brûlage dirigé). Les paramètres les plus couramment décrits par expérimentation sont les paramètres physiques du feu, l'inflammabilité et la combustibilité.

5.2 Mise en œuvre des outils d'analyse spatiale

Les techniques d'analyse spatiale sont nombreuses et les logiciels du marché offrent de plus en plus de fonctionnalités. Quatre grandes familles de techniques sont fréquemment utilisées dans la cartographie des risques.

5.2.1 Combinaison de couches de données

Elle met en œuvre des outils de la géométrie analytique tels que des opérateurs de combinaison entre les objets spatiaux (par superposition, intersection ou union). Cette technique nécessite en général le recours à un outil SIG. Chaque paramètre est décrit dans une couche de donnée séparée. Les différentes couches peuvent être combinées de plusieurs manières :

- soit de façon empirique en faisant intervenir des experts (pondération, tableau croisé,...),
- soit en utilisant des relations mathématiques déterministes entre les paramètres, en général tirées de la littérature (par exemple effet de la pente, surface du feu à l'attaque,...),

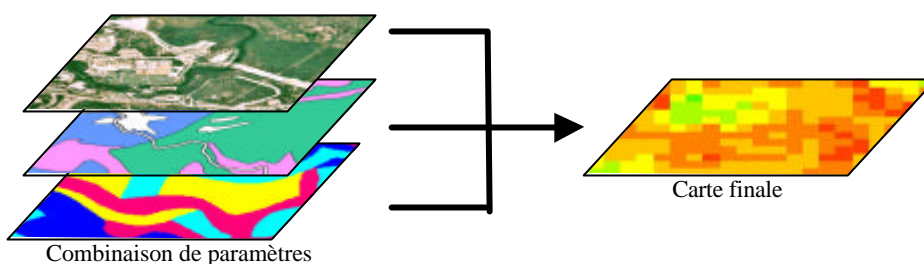


Figure 1

On retrouve dans cette catégorie les méthodes mettant en œuvre une combinaison classique de différents facteurs : la combinaison se fait de façon courante sur un format raster. Tous les pixels se correspondant géographiquement sont alors combinés.

5.2.2 *Interactions spatiales*

Elles relèvent d'une analyse topologique qui replace les objets (vecteur ou raster) dans une structure spatiale permettant de les mettre en relation. Elle utilise les notions de voisinage, d'adjacence, de connectivité,...

Le cas de la **simulation de la propagation des feux** est le plus connu. Un ou plusieurs départs de feu sont simulés à l'intérieur du bassin de risque et l'on observe où et comment le feu se propage. Les modèles les plus couramment utilisés sont semi-empiriques : ils reposent à la fois sur des observations de feux expérimentaux ou réels, ou sur des expérimentations en laboratoire, et sur la prise en compte partielle de la représentation physique et chimique du comportement du feu. Exemple de simulateur : Farsite (utilisant Behave), Geofeu, Cardin, simulateur EMP.

Il existe d'autres exemples d'interaction spatiale prenant en compte les objets et leur voisinage : citons les zones d'influence, le calcul sur réseau (notion de proximité, de distance), l'interpolation.

5.2.3 *Extraction d'informations*

L'information brute est souvent très détaillée. Elle doit être synthétisée afin d'être exploitable dans la caractérisation d'un paramètre ou d'un élément du risque.

Cette simplification peut se faire de deux manières : par regroupement de classes (quelques types de peuplements forestiers peuvent suffire à décrire le paramètre de combustibilité) ou par traitement d'images de télédétection (regroupement des valeurs de réflectance des images en relation avec une classification de l'occupation connue par ailleurs).

5.2.4 *Analyse statistique classique*

Le même objet (par exemple l'objet défini par le contour des communes) est décrit par plusieurs paramètres. Les analyses sont réalisées sur cet objet, elles peuvent être de simples opérations algébriques, une typologie pour répartir les situations en classes, une régression multivariable... Elles ne nécessitent pas forcément l'emploi d'un SIG. On retrouve dans cette catégorie les méthodes calculant le risque moyen annuel (RMA : pourcentage moyen de surface combustible brûlée chaque année), la pression moyenne annuelle (nombre d'éclosions de feux ramené à l'unité de surface).

6 Conclusion

L'état de l'art a montré la diversité des méthodes d'évaluation et de cartographie du risque d'incendie existantes. L'expression des besoins en la matière est souvent confuse et les concepts employés peuvent recouvrir des significations très différentes. Il ressort cependant

que deux types de besoins sont actuellement prépondérants : un besoin lié aux problèmes d'urbanisme en zone à risque et un besoin lié à l'aménagement des forêts contre les incendies. Ces besoins existent à une échelle locale et départementale.

Ce constat a orienté les axes de recherche vers une mise en adéquation des besoins, des méthodes et des données.

Une nouvelle démarche fondée sur les besoins exprimés est proposée. Ainsi chaque besoin en matière d'évaluation du risque peut être analysé puis défini par les éléments du risque, qu'il faut modéliser (de manière probabiliste, semi-probabiliste ou déterministe). Ces formes de modélisation prennent en compte un ensemble de paramètres obtenus à partir de données au moyen d'outils d'analyse spatiale (combinaison, simulation, interpolation, zone d'influence,...).

Remerciements : Cette étude a reçu le soutien financier du Ministère de l'agriculture et de la pêche, et du Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, dans le cadre du Groupement d'Intérêt Scientifique "Incendies de forêt".

7 Références bibliographiques

Il s'agit ici d'une sélection des études les plus représentatives.

ADES. 1995. Évaluation du risque incendie - Commune de Mimet (Bouches-du-Rhône), 32 pages.

Blanchi R. 1996. Impacts des aménagements sur le risque d'incendie de forêt. Proposition d'une méthode d'évaluation appliquée à la commune de Valbonne. Mémoire de DEA Université de Nice Sophia Antipolis, 89 pages.

Jappiot M. 1998. Évaluation et cartographie du risque d'incendie de forêt. Vers une application sur le massif des Maures à l'échelle des PPR. Ingénieries EAT, n°spécial, pp 105 - 114

MTDA, ARMINES. 1998. Comparaison des méthodes de cartographie du risque « feu de forêt » destinées aux PPR. DDAF des alpes maritimes, 25 pages.

MTDA. 1999. Plan de prévention des risques – Presqu'île d'Arvert (Charente-Maritime).

SCP, CRPF. 1998. Schéma de DFCI du Diois. Propositions d'aménagement des espaces forestiers et ruraux.