

Application du SIG et de la télédétection dans la gestion des feux de forêts en Algérie

Mostefa Belhadj-Aissa, Aichouche Belhadj-Aissa et Youcef SMARA
Laboratoire Traitement d'Images et Rayonnements
Faculté d'électroniques et d'information / USTHB
BP 32 El - Alia Bab Ezzouar, Alger- ALGERIE
Fax + 213 21 24 71 87 Email: mbelhadjaissa@yahoo.com

Summary : Algeria is affected by fourteen major risks and the means for the management of these disasters are limited and often inadequate. The major risks can be divided into two categories :

(i) The first concerns natural disasters and includes earthquakes, landslides, floods, forest fires, storms and violent winds, drought and acridian invasions.
(ii) The second is related to technological disasters. It includes fires-explosions, pollution, and biologic risks as well as air, sea, railway and road accidents. These risks are managed by highly regulated and technical means, generally conventional, likely to eliminate risks endangering people, property and the environment.

These natural disasters are inevitable, but it is possible to minimise the potential risk by developing disaster early warning strategies using Remote sensing and GIS technologies, by preparing and implementing plans to provide resilience to such disasters and to facilitate rehabilitation and minimise the after effects of the disaster.

In fact, space technologies play a crucial role in efficient mitigation and management of disasters. This communication describes the role of remote sensing and Geographical Information System (GIS) in evolving a suitable strategy for disaster management in Algeria and evolving an occupational framework for the monitoring, assessment and mitigation these disasters and particularly forest fires where we carried out these new technologies with the collaboration of the services of civil protection in our country.

This communication also identifies gap areas and recommends appropriate strategies for forest fires management using these technologies.

Mots clés: cartographie, éléments du risque, incendie, forêt, catastrophe, méthodes, besoins, analyse spatiale, données.

1. Introduction

La télédétection et les GIS peuvent être des outils très complémentaires avec les méthodes conventionnelles utilisées dans la prévention et la gestion des catastrophes. Ces technologies sont d'autant plus utiles lorsqu'on dispose une connaissance détaillée du risque, la fréquence attendue, le caractère, et l'intensité des événements dans une région. Les images satellitaires donnent une vue globale et fournissent des informations très utiles sur l'environnement, pour une grande gamme d'échelles, de continents entiers aux détails de quelques mètres. La télédétection peut suivre l'événement pendant le temps de la catastrophe. La place du satellite le rend idéal pour l'organisation et la gestion opérationnelle de l'événement. Finalement, la télédétection peut contribuer à l'estimation des dégâts et après cela, elle peut être utilisée pour dresser une carte de la nouvelle situation et mettre à jour la base de données.

Dans cette communication nous nous intéresserons à la présentation de l'utilisation de la télédétection et des SIG pour la gestion des risques de feux de forêts dans lesquels nous avons contribué directement à mettre en place ces nouvelles technologies avec la collaboration des services de la protection civil de notre pays.

2. Contexte et objectif recherché

Chaque année plus de 20 000 hectares de forêts sont détruits par les feux en Algérie. Les feux coûtent beaucoup en termes de vies humaines et en biens et nos préoccupations sont orientées vers l'historique des feux de forêts dans le pays, l'inventaire, la prévention et la gestion.

La prévention et l'alarme précoce constituent les seuls moyens de réduire le coût des dégâts causés. Durant les feux de forêts majeurs, les options sont souvent limitées à la bravoure des pompiers qui tentent de lutter contre les feux.

Les indicateurs essentiels qui favorisent ces feux sont principalement le déclenchement (chaleur, absence de précipitation, pyromane, etc), la rapidité de propagation (nature du terrain, de la végétation, humidité), l'orientation des vents et absence d'obstacles naturels (rivières) ainsi que les paramètres géographiques de la région, qui guident la mise en place de plans d'intervention en temps réel à savoir :

- La topographie (terrain accidenté ou non).
- Les accès (réseaux routiers, pistes).
- Les agglomérations (les habitants, les sites stratégiques).

Ces dernières années, les données issues des satellites d'observation de la terre associées aux différents types d'informations liées à ce phénomène intégrées dans un système d'information géographique se sont avérées comme une option viable de suivi des urgences, d'identification des zones à risques et de cartographie de l'étendue des feux.

3. Méthodologie et Modélisation

En effet, la cartographie des zones incendiées peut être obtenue par les techniques de détection de changement et la régression des valeurs des indices de végétation (NDVI) avant et après l'incendie.

La méthodologie adoptée a consisté à :

I) traiter et structurer les données, déterminer et établir les indicateurs et paramètres qui favorisent le déclenchement des feux de forêts :

- La première approche est basée sur l'analyse de l'évolution temporelle de l'indice de végétation (NDVI). Une baisse de celui-ci est supposé être en relation avec une augmentation du danger du feu.

- Le second indicateur de danger de feu est dérivé de la relation entre les différentes composantes déterminant l'indice de risque de feu de forêt.

II) Présenter aux secteurs concernés les :

- Cartes d'états de surface à un instant 't' (carte de superficie végétale, carte des accès, carte des altitudes, etc..)

- Carte des indicateurs de zones sensibles à de tels événements par l'intégration des données météorologiques.

Pour notre part nous avons adopté la méthodologie suivante:

- Génération d'une base de données numériques descriptives de toutes les informations d'intérêt.

- Elaboration des outils d'analyse permettant de mettre en évidence les corrélations entre les différentes données et d'apprécier l'adéquation des dispositifs par rapport aux normes de références de la Protection Civile.

- Etablissement d'une carte de risque de feu de forêt. La méthodologie générale adoptée est donnée par le synoptique suivant:

Notre zone d'étude choisie (figure.1), d'environ 835 ha, est située à l'Ouest d'Alger, au cœur d'une zone urbaine. Etant donnée de la superficie moyenne de notre zone d'étude, nous avons focalisé notre étude uniquement sur la combustibilité qui est liée à la nature des espèces végétales de la région, sur l'aspect anthropique et l'aspect topomorphologique.

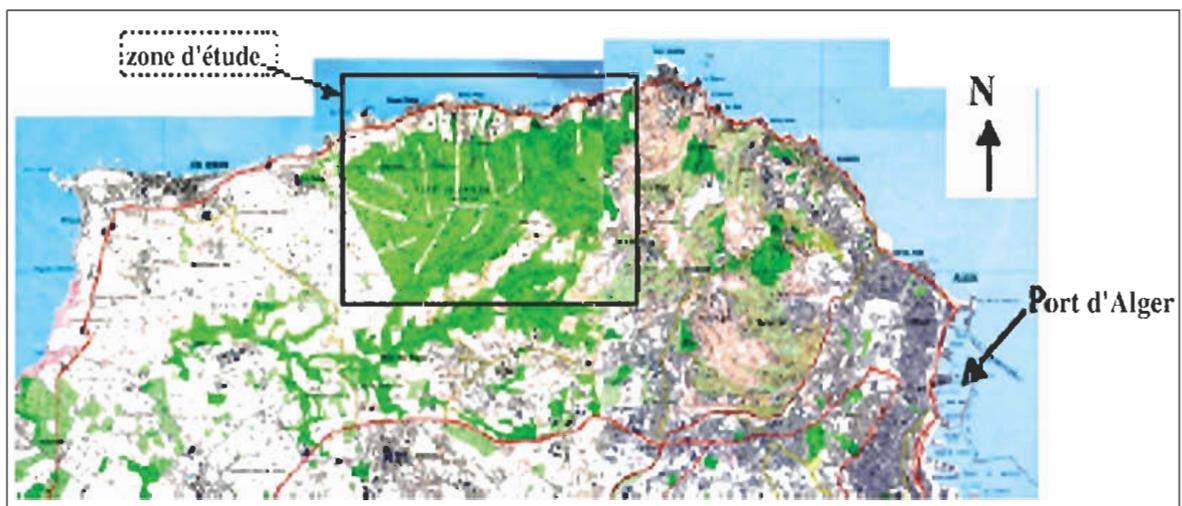
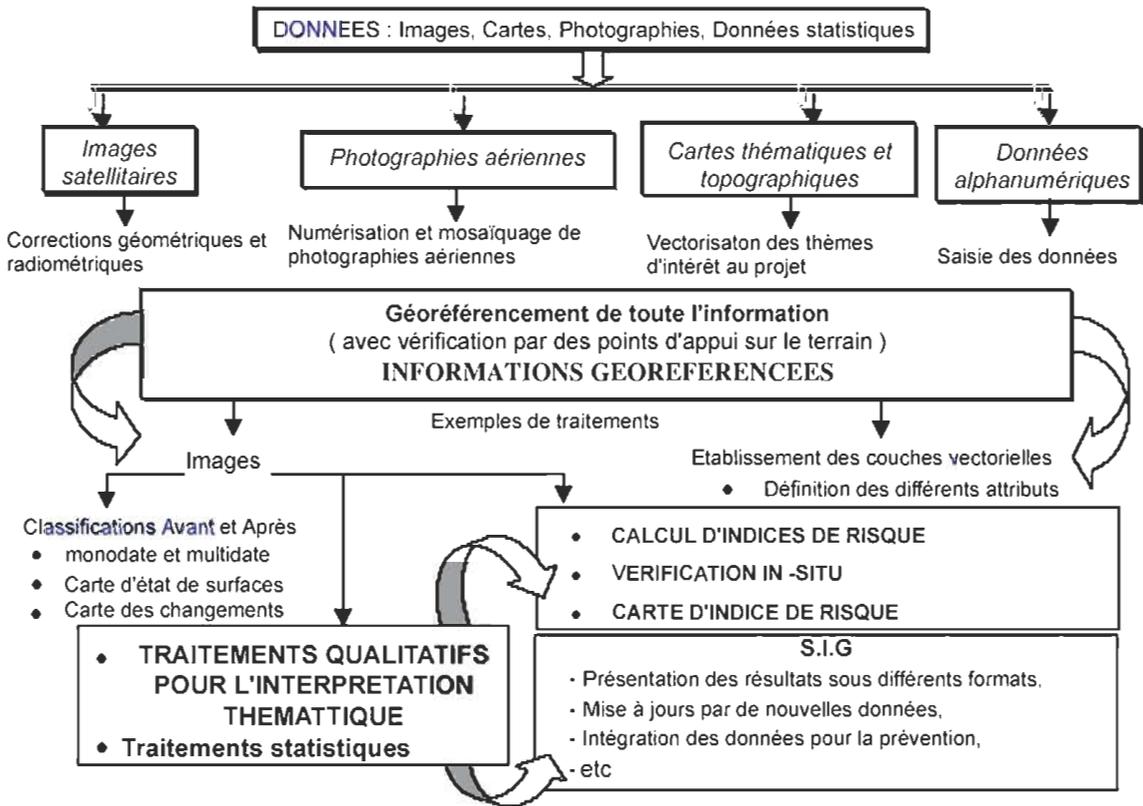


Fig. 1 Zone d'étude. La Forêt de Bainem



Quant aux conditions climatiques qui elles aussi influent sur l'éclosion du feu, interviennent lors de l'analyse thématique par la combinaison des différents éléments qui les caractérisent à savoir la température, l'humidité et les vents. Pour calculer le risque, il est nécessaire de modéliser chacun des éléments du risque. Cette étape consiste à sélectionner les paramètres propres à chaque

élément (type de combustible, pente, etc) puis à utiliser un mode de représentation du risque afin de « l'évaluer ». Les paramètres sont les facteurs du milieu naturel et anthropique qui influencent l'éclosion, la propagation et l'intensité du feu, ainsi que sont déroulement (aspects liés à la lutte). Les principaux paramètres, appelées composantes, sont représentés par le diagramme de la figure 2:

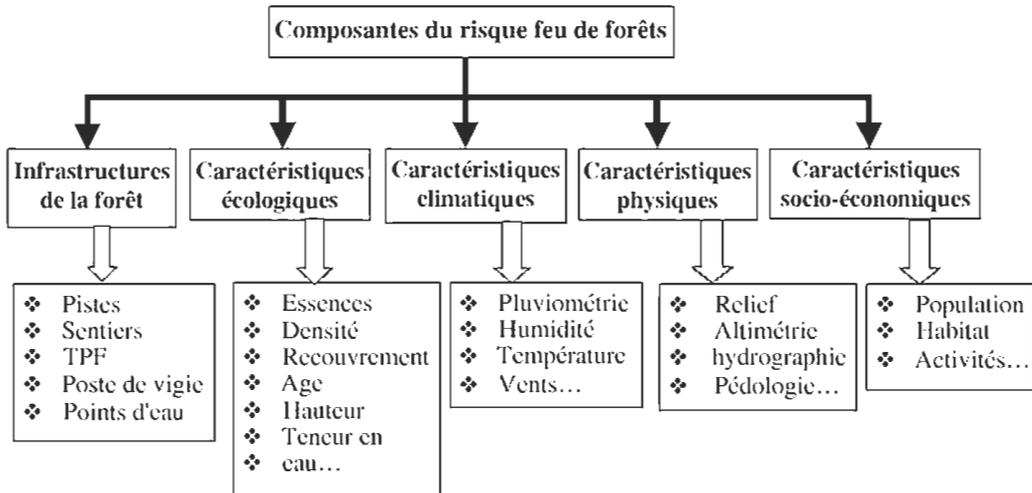


Fig. 2 Les différentes composantes intervenant dans le calcul du risque de feu de forêt

La composante activité humaine peut être utilisée dans trois aspects des éléments du risque: source de départ de feu, enjeux (personnes, biens, installations), moyens de lutte.

Ces différents paramètres sont très corrélés et c'est leur combinaison qui influence ou provoque l'éclosion de l'incendie.

3.1 Modélisation de l'indice de risque (IR)

Pour notre application, nous avons utilisé le modèle d'indice de risque mis au point par A.DAGORNE (DAGORNE, 1993), sur des zones similaires sur le côté nord de la Méditerranée. Nous avons adapté cet indice au type de risque en Algérie.

$$IR = 5 IC + IM + 2 IH$$

où **IC**, représente l'indice de combustibilité, **IM**, l'indice topomorphologique et **IH**, l'indice d'occupation humaine.

La caractérisation de cet indice est basée sur la variabilité spatiale du risque d'incendie dont la détermination est issue des paramètres physiques intervenant dans le modèle choisi pour notre application.

En effet, une zone dont l'indice de risque, dû aux composantes citées ci-dessus, étant déterminé, l'aspect climatique ne fait que l'accentuer ou l'atténuer (la température, le taux d'humidité et les vents sont des composantes très corrélées).

Ainsi nous avons retenu, pour cette modélisation, les éléments les plus pertinents, le couvert végétal dont les paramètres descriptifs interviennent dans le calcul de l'indice de combustibilité, le relief représenté par les paramètres topographiques qui interviennent dans le calcul de l'indice topomorphologique, les infrastructures routières et le paramètre anthropique qui sont utilisés pour évaluer l'indice d'occupation humaine.

3.1.1 Modèle de l'indice de combustibilité(IC)

Les principaux critères qui interviennent dans l'apparition d'un feu dans un espace végétal, sont la structure spatiale du combustible (recouvrement horizontal et stratification verticale)

et la nature des espèces dominantes. Les espèces dominantes qui caractérisent les formations en raison de leur importance constitutive influent sur l'inflammabilité et la combustibilité des peuplements intrinsèques (TRABAUD 1980).

Pour évaluer l'indice IC nous utilisons une méthode proposée par A. MARIEL (MARIEL, 1995) pour estimer la gravité potentielle d'un feu démarrant dans un peuplement forestier déterminé.

Cette méthode a consisté en la mise au point d'un modèle, empirique, basé sur l'expérience des sapeurs-pompiers pour pondérer les termes d'une expression mathématique dont les paramètres proviennent d'une description normalisée de la végétation.

C'est ainsi qu'un indice d'intensité potentielle du feu (ou indice de combustibilité) a été exprimé par la relation suivante:

$$IC = 39 + 0.23 BV (E - 7.18)$$

BV est calculé à partir du biovolume combustible par addition des pourcentages de recouvrement de chacune des strates biologiques à partir des relevés terrains .

E représente la combustibilité moyenne de chaque type de peuplement. Elle est égale à la somme de la note de combustibilité de l'essence prédominant du relevé (**E1**) et la moyenne des notes de combustibilité des espèces abondantes du relevé (**E2**) (tableaux.1a,1b,1c).

Il est important de noter, d'une part, que ce potentiel calorifique n'est qu'un risque « biologique » indépendant de toute action humaine, négative (mise à feu) ou positive (lutte) et, d'autre part, que la combustibilité d'une formation de végétation apparaît ici clairement comme dépendant avant tout des espèces qui la composent.

Le biovolume intervient de façon différente suivant la valeur de **E**. Si cette valeur est inférieure à 7.18 (espèces peu combustibles ou à pouvoir calorifique par unité de biovolume faible), l'indice reste inférieur à 40. Dans le cas contraire, il sera d'autant plus élevé que le biovolume sera important.

Tableau 1a,1b,1c . Notes de combustibilité des principales espèces dominantes de la végétation méditerranéenne (Source CEMAGREF)

LIGNEUX HAUT			
Arbousier (<i>Arbutus unedo</i>)	5	Châtaignier (<i>Castanea Sativa</i>)	5
Chêne vert (<i>Quercus ilex</i>)	7	Erable (<i>Acer palmatum</i>)	5
Hêtre (<i>Fagus ylvatica</i>)	2	Peuplier (<i>Populus nigra, poplar</i>)	2
Ome	2	Pin noir (<i>Pinus nigra Arn.</i>)	7
Pin maritime (<i>Pinus pinaster</i>)	7	Pin de salzman (<i>Pinus salzmanni</i>)	7
Pin sylvestre (<i>Pinus sylvestris</i>)	7	Saule (<i>Salix alba, Willow</i>)	2
		Cèdre (<i>Cedrus atlantica</i>)	6
		Épicéa (<i>Picea abies</i>)	6
		Chêne pubescent (<i>Quercus pubescens</i>)	5
		Douglas (- <i>Pseudotsuga menziesii</i>)	6
		Frêne (<i>Fraxinus spp.</i>)	2
		Robinier (<i>Robinia pseudoacacia</i>)	2
		Cyprés (<i>Cupressus macrocarpa</i>)	6
		Noisetier (<i>Corylus avellana</i>)	2
		Pin d'Alep (<i>Pinus halepensis</i>)	7
		Pin pignon (<i>Pinus pinea</i>)	7
		Sapin (<i>épicéa</i>)	6

LIGNEUX BAS			
Ajonc épineux (<i>Ulex europaeus</i>)	8	Amélanchier (<i>Amelanchier laevis</i>)	3
Bruyère cendrée (<i>Erica cinerea L</i>)	6	Bruyère à balais (<i>Erica scoparia</i>)	7
Callune (<i>Calluna vulgaris</i>)	6	Bruyère arborescente (<i>Erica arborea</i>)	8
Eglantine (<i>Rosa canina L</i>)	5	Buis (<i>Buxus sempervirens</i>)	5
Genet scorpion (<i>Genista scorpius</i>)	8	Ciste à f. de sauge (<i>cistus salvifolius</i>)	3
Lavande à large f. (<i>Lavandula litifolia</i>)	5	Genet d'Espagne (<i>Spartium junceum</i>)	5
Romarin (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	5	Genet purgatif (<i>Cytisus purgans</i>)	7
Térébinthe (<i>Pistacia terebinthus</i>)	4	Genévrier commun (<i>Juniperus communis</i>)	7
		Genévrier oxycèdre (<i>Juniperus oxycedrus</i>)	7
		Lavande stéchade (<i>Lavandula stoechas</i>)	5
		Chêne kermès (<i>Quercus coccifera</i>)	8
		Pistachier lentisque (<i>Pistacia lentiscus</i>)	4
		Prunellier (<i>Eriogaster catax</i>)	4
		Ronces (<i>Rubus fruticosus</i>)	6
		Stahelina (<i>Stahelina dubia</i>)	3
		Filaria (<i>Phillyrea latifolia</i>)	5
		Thym (<i>Thymus vulgaris</i>)	4

HERBACEES			
Agrostis	1	Anthyllide (<i>Anthyllis vulneraria</i>)	1
Brachypode des bois (<i>Brachypodium sylvaticum</i>)	1	Aphyllanthe (<i>Aphyllanthes</i>)	1
Canche flexueuse (<i>Deschampsia flexuosa</i>)	1	Avoine (<i>Avena sativa</i>)	1
Fromental (<i>Arrhenatherum elatius</i>)	1	Brachypode penné (<i>Brachypodium pinnatum</i>)	1
		Brachypode rameux (<i>Brachypodium ramosum</i>)	1
		Dactyle (<i>Dactylis glomerata</i>)	1
		Fétuques (<i>Festuca</i>)	1
		Fougère aigle (<i>Pteridium aquilinum</i>)	2
		Inule visqueuse (<i>Inula viscosa</i>)	1

3.1.2 Modèle de l'indice topomorphologique (IM)

Trois paramètres topographiques interviennent dans le modèle ; la pente, l'exposition, et l'altitude qui est exprimée dans le modèle de l'indice par les paramètres topomorphologiques. Tous ces paramètres sont déduits à partir du modèle numérique de terrain (M.N.T) de la région. Cet indice est exprimé par la relation suivante:

$$IM = 3p + (m \times e)$$

Où *p* représente la pente, *m* le paramètre de topomorphologie et *e* l'exposition. La pente modifie l'inclinaison relative du front des flammes par rapport au sol. Cela favorise le transfert thermique par rayonnement entre le front de flamme et la végétation encore intact, lors d'une propagation ascendante où la pente facilite la montée de l'air chaud. Ainsi elle constitue un facteur déterminant pour la vitesse de propagation des feux de forêt sur les versants. Cependant, une forte pente pourra contribuer soit à accélérer soit à ralentir la propagation d'un feu selon que l'orientation coïncide ou non avec la direction de propagation.

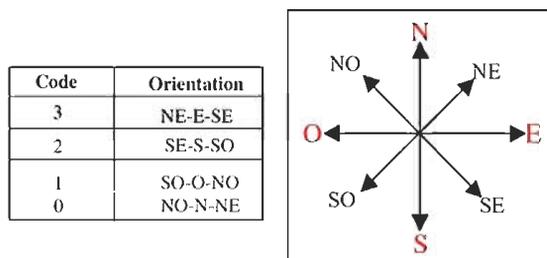
L'exposition au soleil nous renseigne sur la répartition, possible, des végétaux. Elle agit sur l'humidité des végétaux et leurs inflammabilité et combustibilité d'une manière indirecte.

L'Altitude prend de l'importance quand on se trouve dans une zone montagneuse. La connaissance du relief nous renseigne sur le comportement du feu et , de ce fait, permet le choix efficace de la méthode de lutte contre l'incendie. L'extension du feu est fonction de sa position sur la montagne ou le versant et de la configuration topographique susceptible d'augmenter ou de freiner sa propagation.

Certaines informations, comme celle de la pente, de l'exposition et de la topomorphologie, nécessitent un codage pour être exploitables dans notre application. Ainsi, en tenant compte des possibilités d'exécution des travaux forestiers (DAGORNE , 1993), quatre classes de pente sont à envisager pour la couche des pentes:

Code	Classes de Pentes	Critères
1	Moins de 15%	Zone où les machines agricoles peuvent intervenir
2	Entre 15 et 30%	Zone où les engins chenillés de type TP peuvent travailler
3	Entre 30 et 60%	Zone qui convient aux engins spécialisés
4	Plus de 60%	Zone où uniquement l'intervention manuelle est possible

L'expositions est déterminée par rapport aux quatre points cardinaux. Ces valeurs sont exprimées en degrés avec le nord comme origine. Dans ce cas aussi, nous utilisons un codage pour faciliter l'opération de calcul de l'indice de risque.



Dans le modèle que nous utilisons, l'information d'altimétrie est exprimée par les paramètres topomorphologiques. La topomorphologie est en relation direct avec la pente. Suivant le degré d'inclinaison on détermine les différentes classes morphologiques. Nous avons: la plaine, bas piémont, le haut piémont et la montagne (plus de 25%).

Code	Intervalle de Pente	Classe morphologique
1	Moins de 3%	Plaine
2	Entre 3 et 12,5%	Bas piémont
3	Pente entre 12,5 et 25%	Le haut piémont
4	Plus de 25%	Montagne

3.1.3 Modèle de l'indice d'occupation humaine (IH)

La présence de l'être humain et des habitations près des forêts constituent l'enjeu dont l'importance détermine le degré de vulnérabilité du milieu: il s'agit de la protection des vies humaines et des installations. Ainsi le paramètre anthropique est le principal terme dans le modèle de l'indice IH.

Donc, cet indice dépend de l'occupation humaine de l'espace et de son activité. La composante activité humaine peut être utilisée dans trois aspects des éléments du risque:

source de départ de feu, enjeux (personnes, biens, installations), moyens de lutte . N'ayant pas trouvé, dans la littérature, une expression qui nous permet de le calculer, nous avons proposé une démarche faisant intervenir deux aspects ; source de départ de feu et enjeux.

Le premier basée sur l'impact anthropique sur le proche voisinage forestier sur une profondeur de 100m.

Nous supposons que l'être humain exerce une « pression » sur le proche voisinage forestier (figure .3).

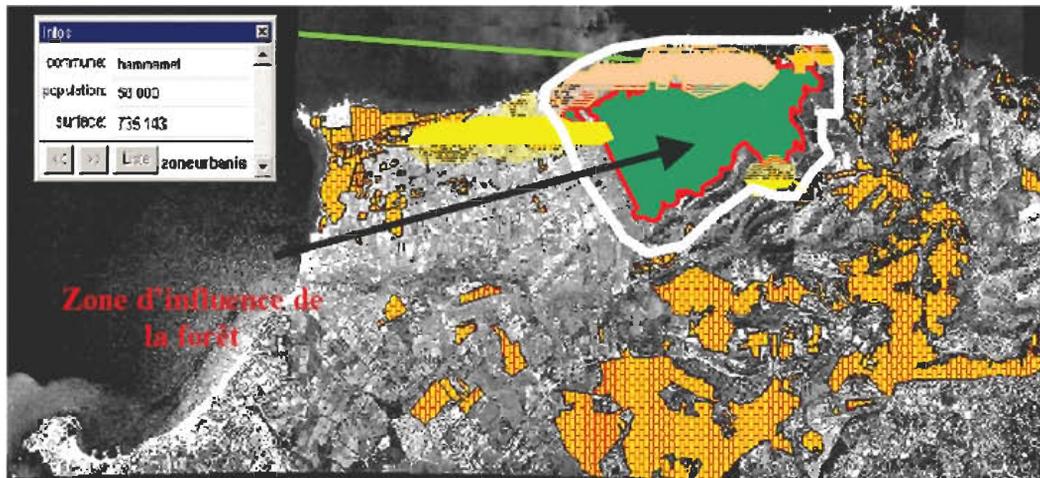


Fig. 3 Photo aérienne de la forêt de Bainem et ses alentours et la Couche bâti et sa table d'informations

Cette pression, nous l'exprimons par une densité (exprimé en pourcentage) : le rapport du nombre de personnes par unité de surface forestière voisine. La surface forestière que nous considérons est égale à l'intersection entre la zone d'influence de l'espace urbain et la zone forestière. Ainsi nous obtenons le premier paramètre que nous appelons (indice de voisinage IV) (figure 4). Par ailleurs, Il est important de tenir compte des infrastructures routières. En effet, la rapidité des interventions contre le feu est directement liée à la pénétration dans la zone.

Les réseaux routiers jouent le rôle de « coupe combustible » et permettent l'arrivée des secours. Cependant les éclosions d'incendie sont beaucoup plus fréquentes près des routes et des chemins de parcours des forêts.

Le deuxième paramètre ID (figure. 5), nous l'exprimons directement par la densité de l'intersection de la zone d'influence de la forêt et des zones urbaines voisines. Il exprime le degrés de présence humaine à l'intérieur ou à proximité de la forêt.

L'indice d'occupation humaine sera, alors, exprimé par la combinaison linéaire des deux indices (figure .6) soit: $IH = IV + ID$

Où: IV: indice de voisinage et ID: indice de présence humaine. Le processus de calcul de l'indice de risque de feu de forêt est donnée par le diagramme de la figure.7

3.1.4 Réalisation de la carte de Risque de feu de la forêt de Bainem

En se basant sur le Diagramme de la procédure de calcul de l'indice de risque de feu de forêt (Figure.7) nous avons procédé par étape. La première étape a consisté en le géoréférencement de toutes les images utilisées à savoir:

les cartes (au 1/50000 et 1/7500), les schémas (de l'enquête terrain de la forêt de Bainem) et les photos aériennes (au 1/40000) scannées, et les images satellitaires IRS de l'année 2000, SPOT pancromatique et XS de l'année 1997. Ce travail a été effectué à l'aide du logiciel ENVI.

Dans la deuxième étape nous avons réalisé les différentes couches en mode vecteur. Pour se faire nous avons utilisé MapInfo (version 7) pour réaliser la base de données et les différentes couvertures (figure 8):

- courbes de niveaux pour la génération du MNT
- routes qui passe dans la forêt
- les tranchées pare feu
- zones d'habitations. Pour réaliser cette couverture nous avons utilisé la carte au 1/25000 et une image obtenue par fusion des images IRS et SX de SPOT [Wald, 2000] [Pohl, 1997] (figure. 9) pour une mise à jour des zones habitées.
- zones des différentes sections de la région de la forêt de Bainem dont l'enquête terrain a été faite ainsi que la base de données correspondantes.

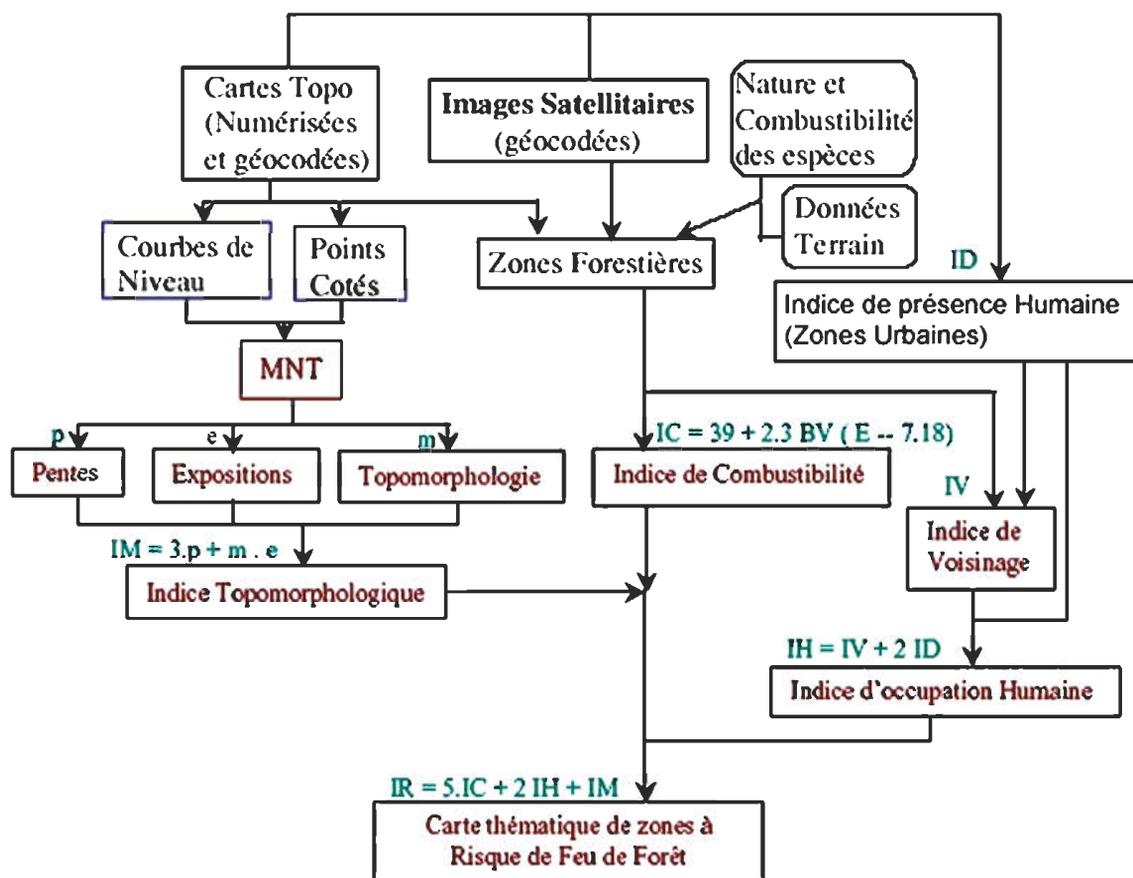


Fig. 7 Diagramme de la procédure de calcul de l'indice de risque de feu de forêt

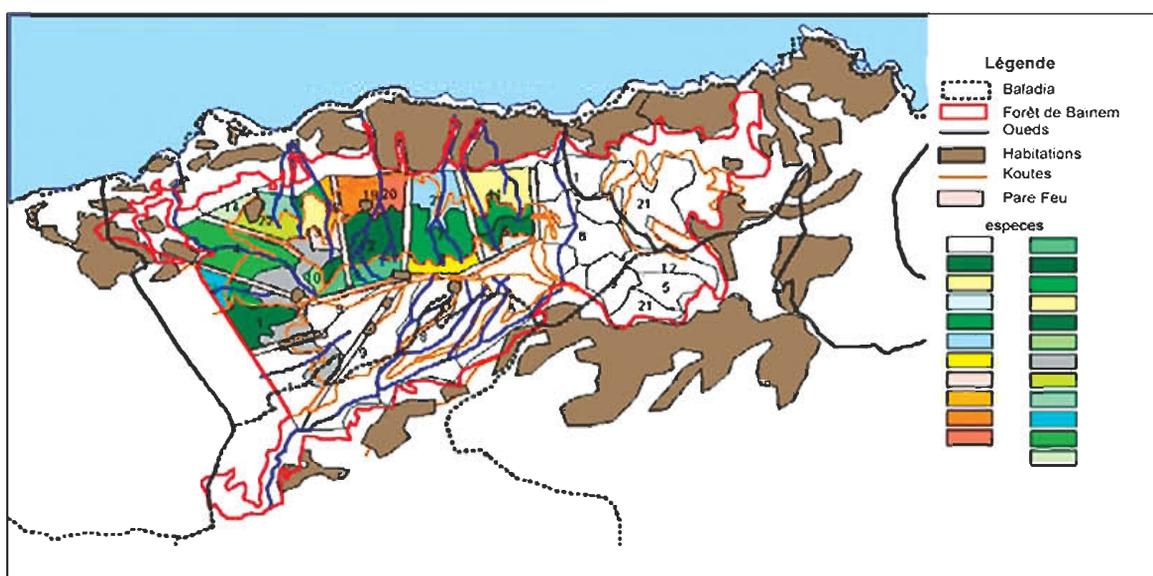


Fig. 8 Les différentes couches vecteur réalisées pour notre étude

Pour les zones restantes de la forêt nous avons utilisé des anciennes données (figure 10). En même temps nous avons réalisé la base de données auxiliaires du tableau 1.

Après intégration de l'ensemble des informations auxiliaires dans la base de donnée nous obtenons le tableau 2.

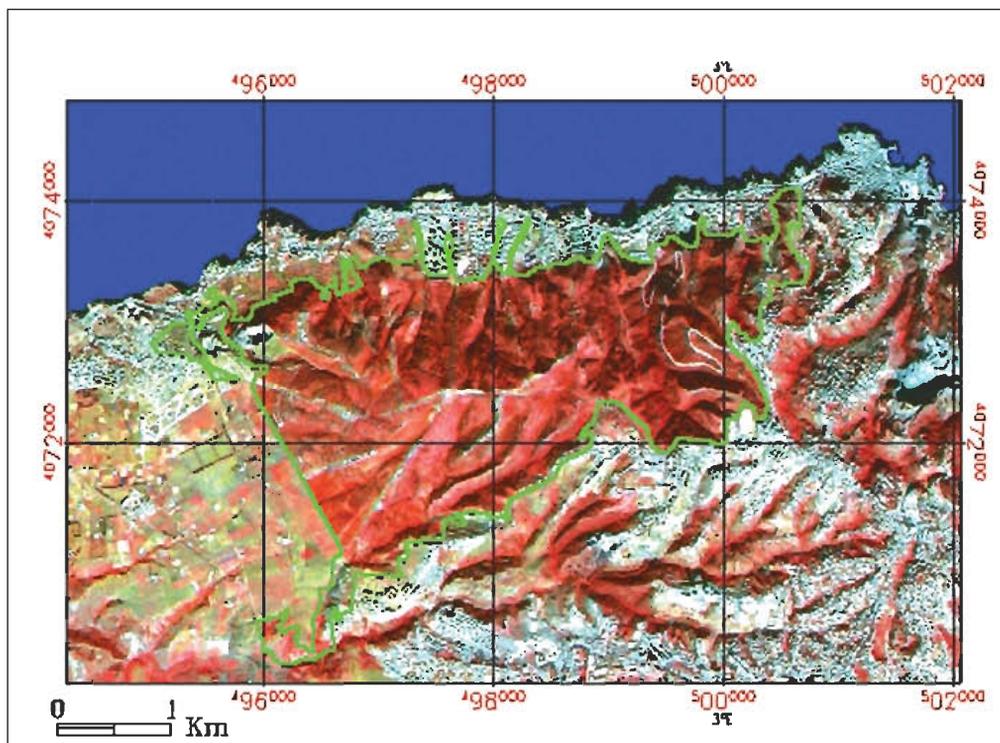


Fig. 9 Fusion d'images satellitaires: SPOT XS97 et IRS 2000

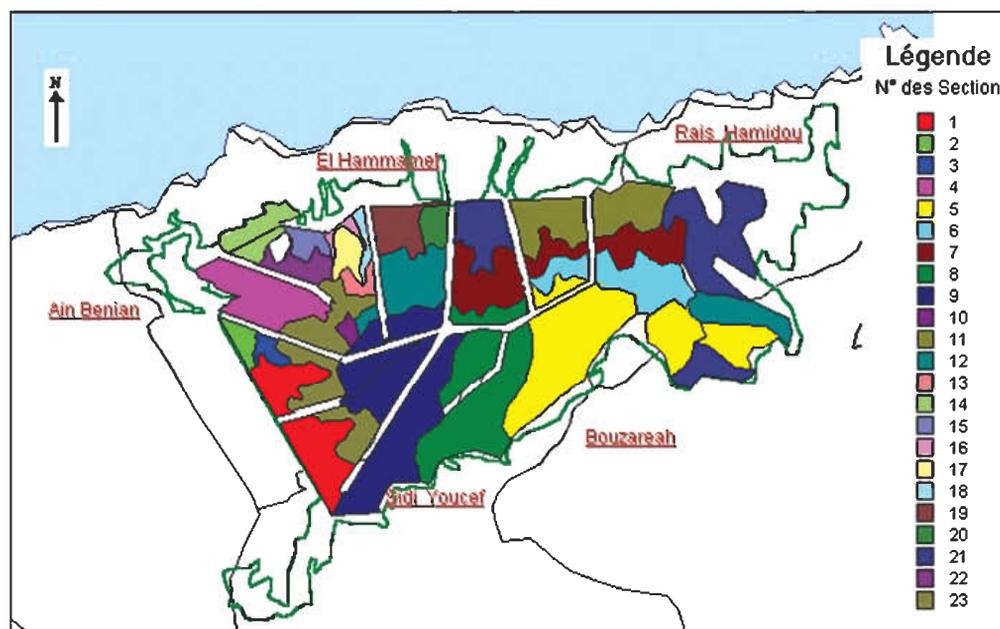


Fig. 10 Les différentes sections utilisées dans notre application

Tableau 2. Tableau indiquant les différents espèces dans chaque section avec la note de combustibilité.
L'astérisque indique l'espèce dominante

N°_Section	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Espèce																							
Densité du sous bois	3	2	2	3	3	1	1	1	2	2	2	3	1	3	3	1	1	1	1	1	1	3	
Ampelodesma mauretanicus												7				7	7						
Arbutus unedo					5	5	5	5	5	5			5		5		5					5	
Calycotome spinosa		3		3																			
Chamaerops humilis																					7		
Cistus monspeliensis	3		3	3	3			3	3					3									
Eucalyptus										7*													

Ainsi, après la mise à l'échelle convenable de la couche de l'indice IM, nous obtenons la couche représentée par la figure.11. Sur cette figure nous avons représenté, à l'aide d'une palette de couleur adaptée, les différentes facettes de pentes. Plus la couleur est foncée plus la pente est accentuée. Après l'obtention de la couche de l'indice IC, par les différentes requêtes effectuées sur la couche des différentes sections forestières utilisées dans notre

application, nous obtenons, après rasterisation et codage, le résultat de l'indice de combustibilité. La combinaison des trois couches résultantes nous donne la carte de risque d'incendie de la forêt de Bainem (figure.12). Cette carte est Basée principalement sur la combustibilité de la combinaison végétale (espèce dominant et formation du sous bois) des différentes espèces de chaque section.

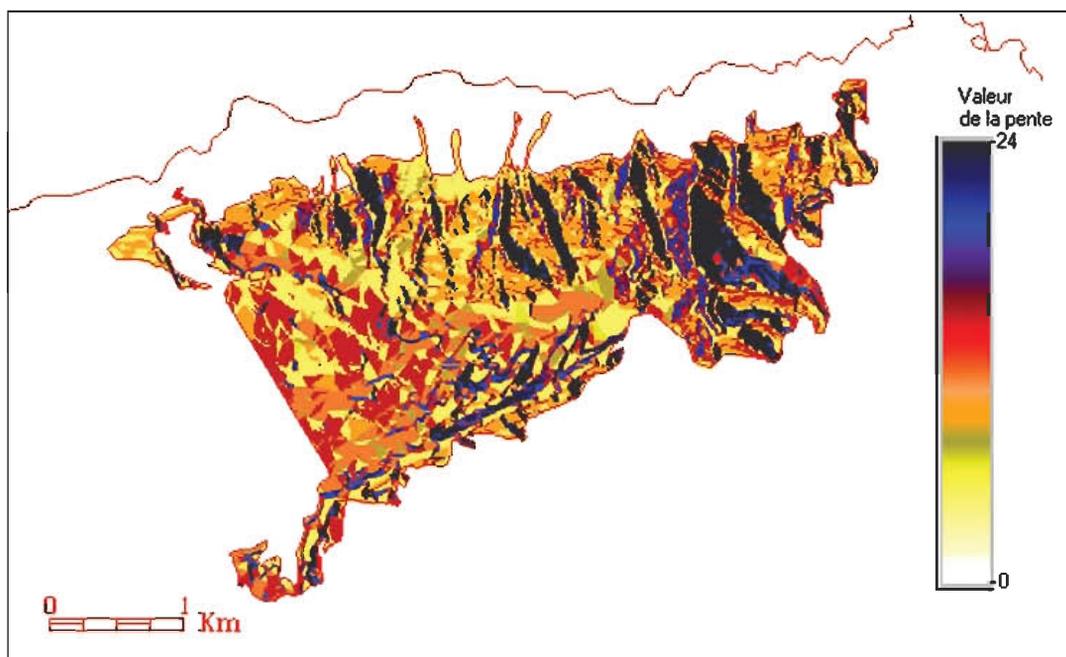


Fig. 11 Couche de l'indice IMaves les différentes facettes de pentes

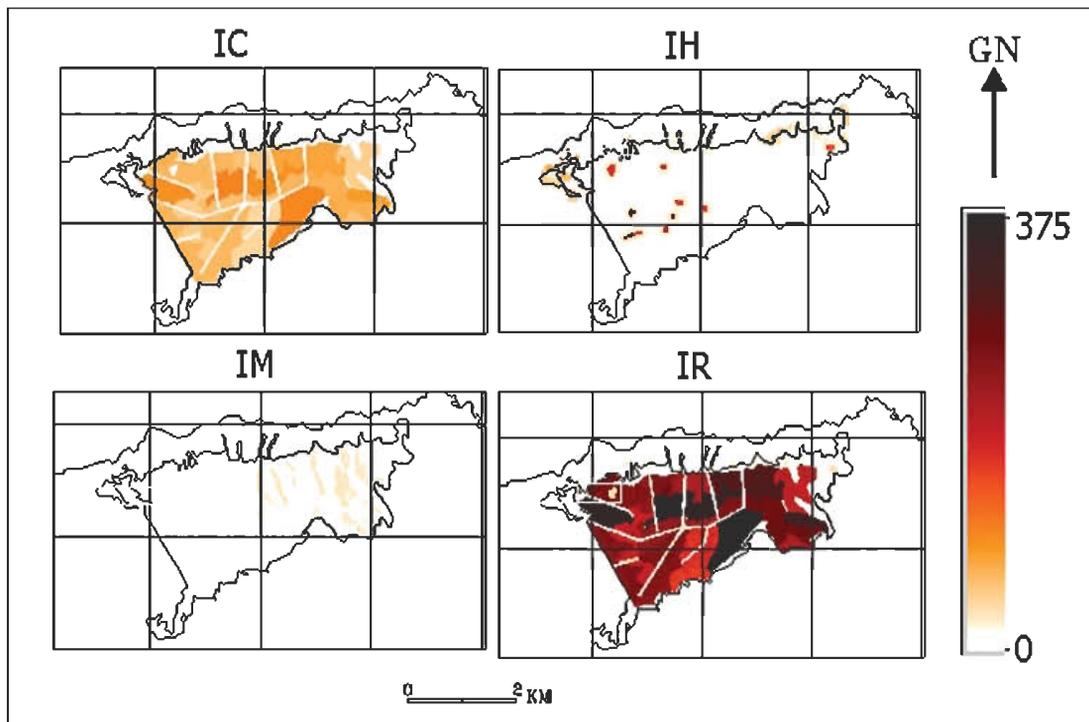


Fig. 12 représentation des trois indices formant l'indice de risque de la forêt de Bainem

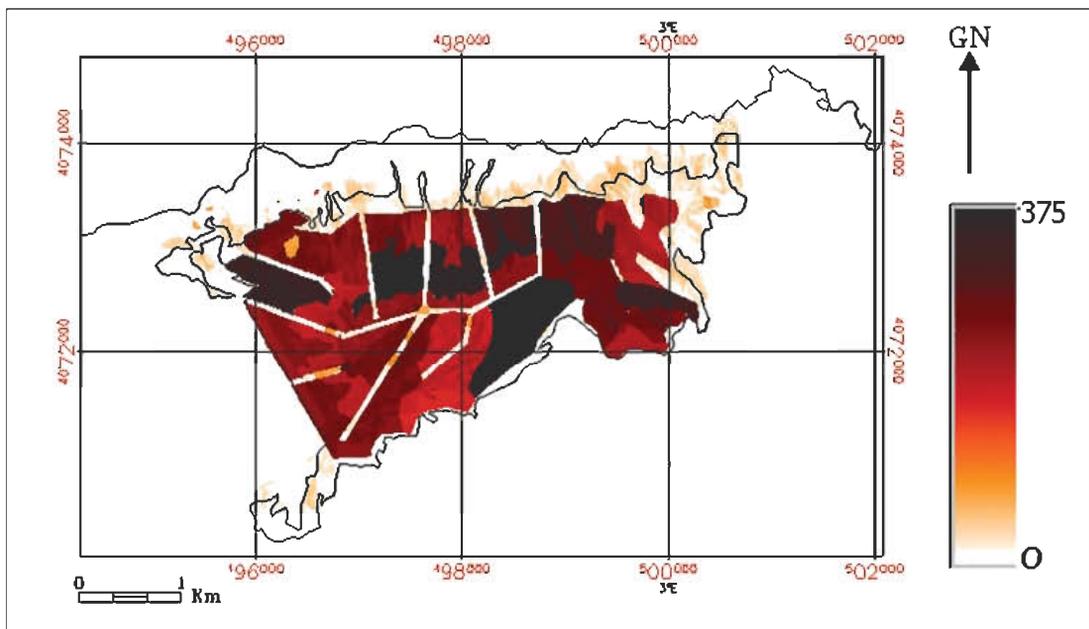


Fig. 13 Carte de l'indice de risque de la forêt de Bainem

4. Conclusion

Dans cette communication, nous avons présenté les méthodes utilisées pour établir une cartographie des zones vulnérables et élaborer une stratégie de prévention en se basant sur une étude scientifique utilisant les nouvelles technologies.

La cartographie du risque incendie pose deux problèmes majeurs:

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 régionale.

L'actualisation des données: plus les méthodes d'évaluation du risque sont complexes, plus la quantité et la qualité des informations requises augmentent. C'est pour cette raison que de nombreuses méthodes d'actualisation des cartes utilisées sont étudiées. Ces méthodes vont de la simple visite sur le terrain, à l'utilisation de photos aériennes ou satellitaires. Cependant l'utilisation d'un système SIG global qui peut intégrer des modèles de mise à jour quelque soit le type de changement, devient nécessaire. L'Algérie éprouve un grand besoin dans l'usage des technologies de l'Espace pour la gestion des catastrophes.

En effet, la télédétection et le GIS peuvent fournir les renseignements utiles, et une aide aux politiciens à la prise de décision dans la gestion de la catastrophe. À un tel niveau général, l'objectif est d'établir une cartographie des régions à risque ou affecté pour le pays entier. Dans ce cas nous devons déterminer les régions:

- à faible ou sans risque pour le développement.
- à risque élevé où la plupart du développement devrait être évité.
- hasardeuses où le développement a déjà eu lieu et où le besoin de prendre des mesures pour réduire la vulnérabilité devient nécessaire.

Références

- Alonso, F.G. & Casanova Roq J.L., 1997. *Application of NOAA-AVHRR images for the validation and risk assessment of natural disasters in Spain*. Remote Sensing '96, Spiteri editors, Balkema, Rotterdam.
- Cova, T.J., 1999. GIS in emergency management. In: *Geographical Information Systems, management and applications*.
- DAGORNE, A DUCHE .Y.et al , 1993. Protection des forêts contre les incendies & Système d'information Géographique. Application à la commune d'Auribeau sur Siagne (Alpes Maritimes) article
- Harms, J., Pierre, G. & Cazaux J.C., 1997. *Use of space technologies for majors risks management*. Remote Sensing '96, Spiteri editors, Balkema, Rotterdam.
- Longley, P.A.; Goodchild, M.F.; Maguire, D.J. and Rhind, D.V. Pearson, E. Wadge, G, and Wiscoski, A P, 1991. An integrated expert system/GIS approach to modeling and mapping hazards. Proc European conference on GIS, session 26, pp 763-771.
- MARIEL, A. 1995. Cartographie du niveau de risque d'incendie: exemple du massif des Maures, CEMAGREF, article.
- Pohl, C. ,1997. Operational issues of data fusion for visual image exploitation. Expert Meeting on Data Fusion Techniques, Freiburg, Germany, p. 10-15.
- SMARA .Y., BELHADJ-AISSA .M & BELHADJ-AISSA .A...2002. *Application des nouvelles technologies pour la prévention et la gestion des feux de forêts*. Séminaire national sur la prévention et la lutte contre les incendies de forets, Batna, ALGERIE.
- TRABAUD, L. 1980 Impact biologique et écologique des feux de végétation sur l'organisation, la structure et l'évolution de la végétation des zones de garrigues du bas-Languedoc . Thèse de doctorat d'état Montpellier.
- Wald, L., 2000. A Conceptual Approach to the Fusion of Earth Observation Data. Survey in Geophysics, vol. 21, p. 177-186.