

Apport des Systèmes d'information géographiques dans la prévention et la lutte contre les incendies de forêts

Exemple de la forêt domaniale de Kounteidat, Algérie

par A. MISSOUMI, K. MEDERBAL et K. BENABDELLI

***Bien que l'intérêt des Systèmes
d'information géographiques
ne soit plus à démontrer,
leur emploi n'est pas très courant
dans le Sud de la Méditerranée.
C'est pourquoi, il nous a semblé
intéressant de publier cet article
de nos collègues algériens, qui,
à travers l'exemple de la forêt
de Kounteidat (près de Sidi Bel
Abbès, dans l'ouest Algérien),
nous montre comment cet outil
peut constituer une aide
en matière de définition
d'une politique de prévention
et de lutte contre les incendies
de forêts en Algérie.***

Introduction

Dans notre pays, la forêt doit endurer les excès d'un climat où la sécheresse est un facteur écologique limitant et destructeur, et ceux de l'homme et son troupeau qui ne trouvent bois de feu et fourrages qu'en milieu forestier. Partout, le maquis et la broussaille remplacent la forêt, sous l'effet conjugué de l'homme, des animaux et d'un climat peu propice ; les formations forestières n'arrivent plus à conserver leur équilibre et se dégradent en permanence.

En Algérie, la forêt est synonyme d'exception au regard de la très petite tache verte qu'elle constitue sur l'immensité de la superficie nationale. Pour une surface totale de 240 millions d'hectares, la forêt au sens propre du terme ne couvre en tout et pour tout, à peine 1 790 000 hectares soit, moins de 1%. En annexant toutes les autres formations forestières régressives et dont l'évolution semble incertaine, comme le maquis, la broussaille et les nappes alfatières, cela ne fait que 3 879 000 hectares qui ne représentent que près de 2%. Une seule conclusion à tirer de ces chiffres très significatifs : la couverture végétale est en danger, il faut la sauver.

Les principales causes de cette régression peuvent être résumées comme suit : l'accroissement démographique, l'exploitation abusive dans un but stratégique et économique, le pâturage intensif et les incendies.

Les incendies de forêt perturbent toute étude, car ils détruisent des surfaces importantes et réduisent en cendres annuellement un volume considérable de matière ligneuse que le forestier n'a pu retirer de sa forêt à temps.

Là, nous entrons dans le vif du sujet. Chaque année l'Etat et les collectivités locales consacrent des budgets importants à la lutte, et aux opérations de prévention.

Afin de prendre en compte le risque dans les décisions d'aménagement du territoire, plusieurs outils existent. Aux modèles complexes mais utiles pour traiter la multiplicité des composantes, il faudra préférer, le plus souvent, l'approche pragmatique et discutée à partir de l'état actuel des connaissances sur les feux de référence avec l'aide d'experts.

Une gestion forestière efficace, qu'elle soit posée en terme d'aménagement, de sylviculture ou de protection contre les incendies, requiert la prise en compte d'informations multiples décrivant de façon exhaustive l'espace d'étude et la disponibilité d'outils et de mécanismes susceptibles d'assister le processus décisionnel. Les Systèmes d'Information Géographique offrent aujourd'hui aux gestionnaires et décideurs la possibilité de disposer d'informations de synthèse résultant de requêtes complexes telles que peuvent l'être les qualifications de degré de vulnérabilité au feu d'une zone forestière en vue de la mise en place d'un dispositif de prévention et de lutte contre les incendies.

Les incendies de forêt en Algérie

La littérature spécialisée en matière de géographie et de foresterie nous enseigne qu'au XIV^e siècle, la superficie forestière de notre pays avoisinait les 12 millions d'hectares avec de belles forêts bien venantes où se distinguaient des formations au stade de futaie à base de chêne vert, chêne zeen, chêne afares, thuya, genévrier et pin d'Alep essentiellement. Les formations végétales couvraient encore 5 millions d'hectares avant

la colonisation et, au lendemain de l'indépendance seulement 3,2 millions d'hectares. Cependant il y a lieu de noter que sur cette surface forestière, il y a plus de 50% de maquis, garrigue et broussaille, ce qui se traduit par un taux de boisement de 12% rapporté à l'Algérie du nord et moins de 2% pour l'ensemble du territoire, c'est l'un des taux les plus faibles de tout le bassin méditerranéen¹.

Les formations forestières sont en permanence agressées et les feux de forêts viennent en tête avec un impact annuel moyen de 20 à 35 000 hectares.

Les incendies de forêt sont souvent liés à des situations et des conjonctures particulières. L'examen des statistiques met en exergue le caractère marqué de certaines périodes :

- de 1956 à 1961 où de très grands incendies ont été enregistrés, liés à la période de libération nationale ;
- 1983, avec des journées de grandes canicules, occasionnant la perte de plus de 220 000 hectares ;
- 1994 où des journées particulièrement chaudes ont occasionné des incendies importants contre lesquels l'intervention était difficile en raison de contraintes conjoncturelles.

Les forêts continuent à être incendiées et le maquis gagne en moyenne chaque année 25 000 hectares sur la forêt, de quoi décourager les plus optimistes en matière de préservation de ce patrimoine. Au rythme où la couverture végétale est incendiée, notre verdure disparaîtra dans un demi-siècle, car il nous est impossible de reboiser efficacement ce que le feu détruit.

Tenant compte des statistiques enregistrées durant la période allant de 1985 à 1994, la superficie forestière moyenne de forêts parcourues par le feu annuellement est de 47 460 hectares, ce qui représente 1,23% de la superficie forestière totale. Cette superficie moyenne incendiée par an est néanmoins localisée à certaines régions du pays.

Les causes des incendies sont, pour 72% d'entre elles, d'origine inconnue. Les incendies volontaires quant à eux représentent 27% et les causes diverses 1%. Malgré tout, l'imprudence et la malveillance demeurent pour une grande part les principales causes des incendies et sur lesquelles il faudrait agir pour réduire les risques d'incendie à l'avenir.

1 - Notons que l'Algérie saharienne couvre 2 millions de km² sur les 2,38 millions de km² du pays. (N.D.L.R.)

Aperçu sur les incendies de forêts dans la wilaya de Sidi Bel Abbès

Cette région du pays voit chaque année son patrimoine forestier exposé au phénomène destructeur qui est l'incendie. La protection des forêts contre les incendies revêt un caractère particulier par suite de l'importance des superficies forestières estimées à 209 000 hectares. La composition végétale caractérisée notamment par des résineux avec un sous-bois très dense, des conditions météorologiques défavorables et un climat aux étés secs et très chauds à vents dominants assez forts (sirocco soufflant 30 à 40 jours durant la période estivale), favorisent l'éclosion et la propagation des incendies.

A titre d'exemple, rappelons que la surface totale parcourue par le feu du 19 mars 1994 au 31 octobre 1994 fut de 75 100 hectares. Ces résultats sont exceptionnels et n'avaient jamais été enregistrés auparavant.

Les 75 100 ha incendiés représentent 36% de la totalité de la couverture forestière de la wilaya. Le bilan ainsi établi fait ressortir les moyennes suivantes : près d'un incendie tous les deux jours, et 875 ha de formations forestières incendiées par foyer.

Il est à noter que de 1970 à 1993 soit 24 ans, 54 469 ha de forêts ont été incendiés. En comparaison avec la moyenne de 2 270 ha/an de cette période, le bilan de l'année 1994 est 33 fois plus élevé. Signalons que les feux les plus nombreux se déclenchent durant la période estivale mais il y a aussi des feux d'automne. Par ailleurs les éclosions sont beaucoup plus nombreuses entre 13 h et 15h.

Ce résultat revêt le caractère de catastrophe pour la région, tant du point de vue économique qu'écologique. La destruction du couvert végétal par le feu favorise notamment l'érosion des terres en pente et accentue les effets de crue.

Cependant, en 1998 et 1999, une nette diminution est notée avec une superficie moyenne détruite de 3500 hectares répartis entre forêts et broussailles et localisées dans l'est et le sud de la

wilaya de Sidi Bel Abbès. Durant l'année 2001, le nombre d'incendies était de 202 pour les forêts et de 1225 pour les broussailles.

Cas de la forêt domaniale de Kounteidat, wilaya de Sidi Bel Abbès

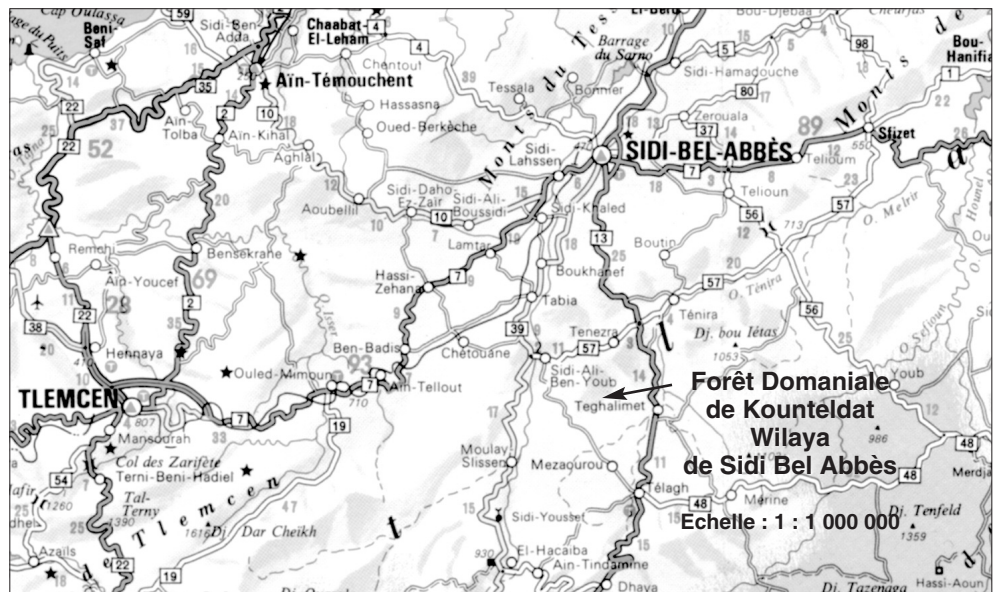
Le monde contemporain est celui de l'information. Les décisions se prennent de plus en plus vite et sont de plus en plus lourdes de conséquences au plan financier, économique ou humain. La carte est un des moyens les plus efficaces d'aide à la décision. Un des outils susceptibles aujourd'hui de prendre en considération grâce aux moyens informatiques, les exigences de disponibilité de l'information, d'interactivité, de connaissance des aspects dynamiques des territoires et de capacité d'analyse et de synthèse, c'est le système d'information géographique (S.I.G.).

Présentation de la zone d'étude

L'application réalisée vise à illustrer les résultats de l'approche méthodologique mise en œuvre dans la protection des forêts contre les incendies. Le modèle de risque de feu retenu a été appliqué à la forêt domaniale de Kounteidat, située dans la wilaya de Sidi Bel Abbès (Cf. Fig. 1), dans le nord ouest algérien.

La zone d'étude se situe à 35 km au sud-ouest de la ville de Sidi Bel Abbès. Elle porte

Fig. 1 : Localisation de la zone d'étude



sur une superficie de 50 km² environ. Elle est située au nord des monts du Dhaya. C'est une forêt mixte de pin d'Alep, de chêne vert et de thuya d'environ 50 ans d'âge. Elle se présente d'une façon inégale sur le plan de la hauteur et de la densité. Le type fréquent de végétation regroupe toutes les strates, herbacée, buissonnante, sous-arbustive, arbustive et arborescente, ce qui constitue une prédisposition certaine au démarrage et à l'extension des incendies qui disposent de matière et de combustibles à différents niveaux verticaux ou horizontaux. La stratification de la végétation contribue à l'accroissement ou l'atténuation des incendies, la présence ou l'absence des différentes strates fournit des éléments intéressants d'interprétation quant au déclenchement et la vitesse de propagation des feux de forêts.

L'aménagement global de la forêt comporte un aspect destiné à la protéger. Ce sont particulièrement les pistes forestières qui doivent avoir une densité suffisante permettant d'atteindre tout point du massif dans un délai raisonnable.

Etat de l'art en matière de risque d'incendie de forêt

P. CARREGA et J.L. WYBO, 1992 font remarquer que dans le début des années 70, TRABAUD propose déjà des cartes de sensibilité au feu des formations végétales fondées sur une combinaison de la morphologie de ces dernières et des essences présentes.

L. TRABAUD et D. ALEXANDRIAN mettent au point un indice de sensibilité au feu exprimé par la formule suivante : $I_s = \sum (2i+2j+k+l)$. Dans laquelle :

- i est l'indice de susceptibilité au feu des formations végétales variant de 1 à 10,
- j, k, l, sont des indices d'inflammabilité des essences, variant de 1 à 10, appliqués aux ligneux hauts, aux ligneux bas et aux herbacés, qui ont été établis pour estimer l'inflammabilité et la combustibilité de la végétation.

Mais un des premiers domaines ayant donné lieu à des efforts d'intégration plus poussés est celui de la météorologie où, un nombre croissant de paramètres est pris en compte conjointement dans des indices d'éclosion - propagation (BARESCUT, DROUET, CARREGA, SOL).

Toujours selon P. CARREGA et J.L. WYBO, 1992, en France, les efforts pour combiner numériquement les paramètres du climat à

ceux de la végétation ont été assez limités malgré quelques timides incursions dans ce second domaine alors que l'intégration dans ce sens a été beaucoup plus poussée au Canada et aux Etats Unis, où la combinaison *météorologie-végétation* est le pilier de l'appréciation du risque exprimé sous formes d'indices sophistiqués.

D'autres auteurs poussant plus loin cette logique de l'intégration, ont cherché l'association d'encore plus de paramètres, par exemple :

- nature de la végétation (V), pente (S), exposition (E), proximité d'une route ou d'une piste (R) et altitude (A) (CHUVIECO et CONGALTON, 1989) au sein d'un Système d'information géographique (S.I.G.). L'indice proposé est obtenu par la formule suivante :

$$H = 1 + 100V + 30S + 10E + 5R + 2A$$

- A. DAGORNE et Y. DUCHÉ, 1990 proposent un indice intégrant divers paramètres regroupés en trois sous-indices, tel que le décrit la formule suivante :

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

où IC représente l'indice de végétation, ramené à la combustibilité, jugée suffisante ; IH l'indice lié à l'occupation humaine et IM, l'indice topo-morphologique. Cet indice de risque autorise des simulations variées compte tenu des possibilités informatiques offertes par les S.I.G.

- Expert Graph dans les Alpes Maritimes qui définit, localise et met à jour automatiquement, un risque fondé sur un indice météorologique (CARREGA, 1992), le type de végétation classée suivant sa morphologie, et le temps d'accès le plus probable à un sinistre débutant, à partir de la praticabilité des routes y conduisant et de la localisation connue des secours (WYBO, 1992).

Approche méthodologique

Parmi les nombreux indices relevés dans les références bibliographiques, nous avons opté pour un indice de risque qui paraissait à notre avis, adapté au problème étudié. Il s'agit de l'indice que proposent A. DAGORNE et Y. DUCHÉ, 1990. Cet indice de risque est conçu selon un modèle mathématique simple affectant à chaque paramètre un coefficient de pondération, fonction de son influence sur la propagation de l'incendie. Cependant, l'indice IH représentant la composante liée aux activités humaines, sources potentielles de mise à feu, n'a pas été pris en compte dans le modèle retenu, la forêt domaniale de

Kounteidat ne présente pas de zones fréquentées, ni d'habitations.

Dans notre cas, nous tentons, à partir d'une intégration dans un S.I.G. de données provenant de sources multiples (numérisation, prospection de terrain, ...), de cartographier les secteurs vulnérables au feu, en exploitant les fonctionnalités de croisement d'information et d'analyse de cet outil. Cette caractérisation est basée sur la variabilité spatiale du risque d'incendie dont la détermination est issue de paramètres physiques intervenant dans le modèle choisi pour notre application. La figure 2 présente le modèle retenu et explicite les divers paramètres qui y interviennent.

L'idée consiste donc en la production de couches d'information représentant la carte de chaque paramètre considéré séparément et leur croisement selon le modèle retenu en exploitant pour cela les capacités des S.I.G.

Les paramètres pris en compte sont identifiés comme suit :

- Combustibilité de la végétation (IC)

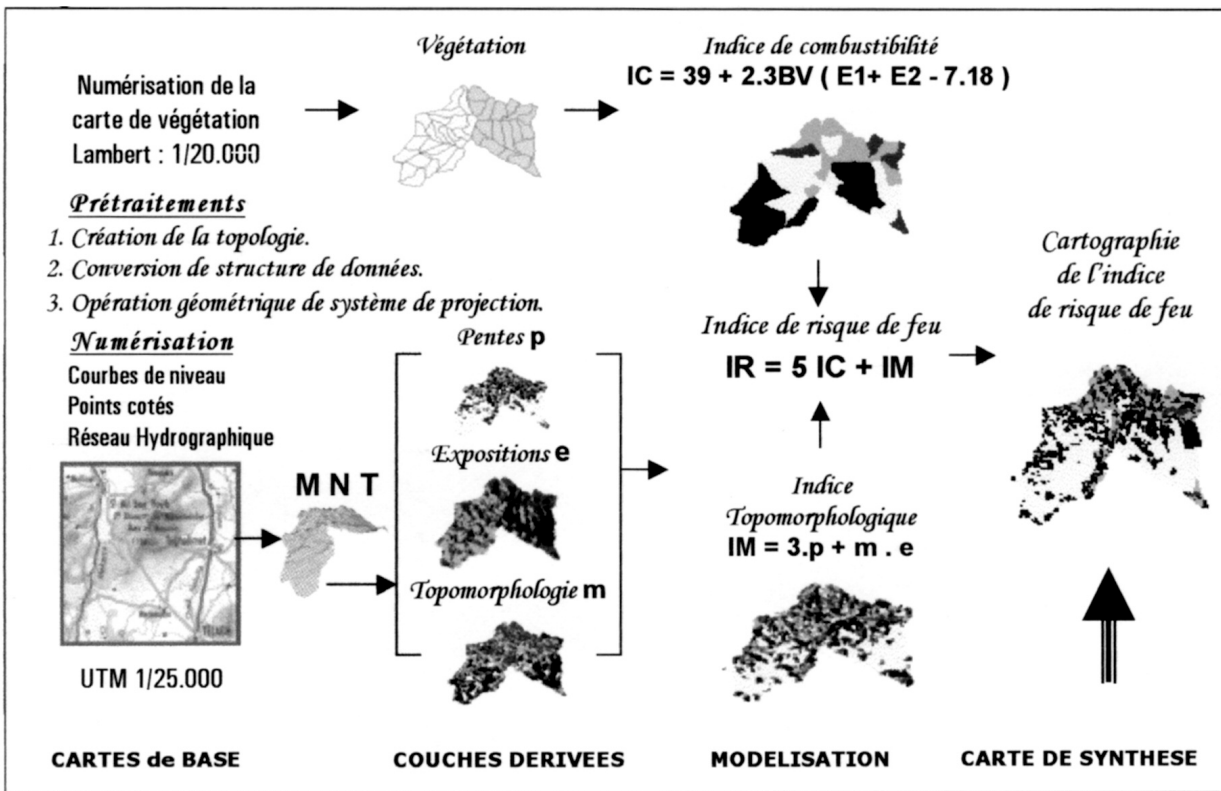
L'indice de combustibilité IC a été calculé à partir de la formule mise au point par le Cemagref. Il s'exprime sous la forme suivante : $IC = 39 + 0.23BV (E1 + E2 - 7.18)$, dans laquelle BV représente le bio-volume de

la formation végétale obtenu par addition des pourcentages de recouvrement de chacune des strates biologiques, E1 et E2 des notes d'intensité calorique (comprises entre 1 et 9) des deux espèces dominantes de ligneux hauts (E1) et bas (E2).

Il est important de noter que la combustibilité d'une formation végétale apparaît ici clairement comme dépendant avant tout des espèces qui la composent. Le bio volume intervient de façon différente suivant la valeur de la somme E1 + E2. Si cette somme est inférieure à 7,18 (espèces peu combustibles ou à pouvoir calorifique par unité de bio volume faible), l'indice reste inférieur à 40. Dans le cas contraire, il sera d'autant plus élevé que le bio volume sera important (CEMAGREF, 1990).

Par ailleurs, notons que dans le tableau des notes de combustibilité des principales espèces dominantes de la végétation méditerranéenne, établi par le Cemagref, ne figure pas une espèce algérienne qu'on retrouve dans la forêt étudiée. Il s'agit en l'occurrence du thuya, dont nous avons assimilé la note de combustibilité à celle du genévrier. Néanmoins, pour obtenir un avis autorisé, cette confirmation a fait l'objet d'un débat avec un expert français de passage en Algérie.

Fig. 2 :
Modèle d'indice de risque de feu



- Indice topo-morphologique (IM)

Il a été déterminé à partir de la relation : $IM = 3p + (m \times e)$. Le résultat de cette formulation est le croisement de trois couches : pentes (p), expositions (e) et topo-morphologie (m). Etant donné les limites du secteur expérimenté, il nous a paru plus logique de considérer les grands ensembles topo-morphologiques. La topo-morphologie a donc été retenue de préférence à l'altimétrie avec quatre classes selon les contraintes du relief.

Application

Pour valider l'approche retenue, l'application a été conduite sous environnement ARC/INFO. Ce S.I.G. offre la possibilité de s'adapter aux données et aux problématiques de tous les domaines qui requièrent la manipulation de l'information spatiale.

Les cartes existantes, source essentielle à la construction des S.I.G., fournissent l'information de base intégrée au S.I.G. par numérisation et traitements particuliers (digitalisation directe sous ARC/INFO et intégration sous forme numérique des données descriptives associées). L'homogénéité des couches ainsi construites est assurée par une référence cartographique commune. Cependant, des différences de précision entre les divers documents subsistent, l'intégration sous forme numérique ne modifiant pas la précision réelle des données.

L'ensemble géométrique a ainsi été constitué à partir de la digitalisation des courbes de niveau, des points cotés, des limites de la forêt, des points d'eau, du réseau hydrographique, des infrastructures routières, des lignes de transport d'énergie électrique. Tous ces éléments figurent dans la carte INCT échelle 1/25.000°, projection UTM. La végétation et les infrastructures forestières ont été numérisées à partir des cartes de la Conservation des Forêts de la wilaya de Sidi Bel Abbès, échelle 1/20 000°, projection Lambert.

Prétraitements

Avant leur stockage définitif et leur utilisation aux fins d'analyse, les données spatiales ont subi des prétraitements :

1. Création de la topologie :

Cette opération est un préalable indispensable à l'établissement de liens entre les données géométriques et les données descriptives associées. Elle constitue un bon moyen

de vérification des erreurs et imprécisions pouvant affecter les données. Cette opération manuelle et interactive est très longue et fastidieuse.

2. Conversion de structure des données :

Le problème du choix d'un mode (ou structure) de données est simplifié dès lors que le SIG ARC/INFO dispose d'algorithmes de conversion des données vecteur à raster et réciproquement. L'évolution de l'informatique a permis de lever les obstacles inhérents au choix de l'un ou de l'autre système.

Le mode raster² est approprié pour décrire la distribution spatiale d'un phénomène sans une exigence élevée de précision pour la localisation d'un objet. Il présente un maximum de souplesse pour la combinaison de variables entre elles. La taille de la maille détermine la précision du mode raster.

Dans le cadre de cette application, nous avons opté pour l'approche raster, plus adaptée à des données dont les limites sont peu précises. Le maillage appliqué est de 100 par 100 m, considéré comme très fin. Le choix de cette taille reste conditionné par la variabilité spatiale de la zone étudiée (topographie, végétation, climat, etc.). Il découle de l'analyse de nos données de base.

3. Unification du système de projection :

L'existence de documents graphiques définis dans des systèmes de coordonnées différents n'a pas posé de problème. ARC/INFO dispose d'outils permettant le passage d'un système à un autre. Il s'agit ici uniquement de la transformation des coordonnées sans modification ni du niveau descriptif, ni de la topologie géométrique. Le croisement d'informations ne peut s'opérer que dans le cadre d'un système de coordonnées, qui doit bien sûr être commun aux différentes couches mises en oeuvre.

Modèle Numérique de Terrain (MNT)

La couche d'information figurant la morphologie du terrain est considérée, à juste titre, comme l'une des plus importantes dans la mise en place d'un SIG en raison de la variété des produits qui peuvent en être dérivés et combinés à d'autres données. Dans notre cas, la représentation du terrain a été faite à partir de la combinaison des courbes de niveau, des points cotés, du réseau hydrographique. Les éléments structurants du modelé (failles, lignes de ruptures de la pente, zones planes) ont été pris en compte.

2 - Mose raster : représentation fondée sur un quadrillage abstrait du terrain (images issues de scanners, capteurs...)

L'obtention du MNT a permis d'en dériver les couches d'informations utiles suivantes :

- *Couche des pentes :*

Quatre classes de pente ont été retenues : pentes de moins de 15% - pentes comprises entre 15 et 30% - pentes comprises entre 30 et 60% - pentes de plus de 60%. Les seuils choisis tiennent compte des possibilités d'exécution des travaux forestiers (A. DAGORNE et Y. DUCHÉ, 1993).

- *Couche des expositions aux vents :*

L'unité forestière de la forêt domaniale de Kounteidat présente trois principales classes d'exposition en relation avec les vents dominants (Direction moyenne NO – N – NE et vitesse moyenne de 15 m/s). Signalons qu'en été les vents nord ouest sont les plus dominants dans la région. Cette direction est vérifiée sur le terrain où la majorité des houppiers des arbres prennent la forme de drapeau ou de fanion.

- *Couche de la topo-morphologie.*

Quatre classes ont été retenues selon les contraintes du relief : pentes de moins de 3% (Plaines) - pentes comprises entre 3 et 12.5% (Bas piémont) - pentes comprises entre 12.5 et 25% (Haut piémont) - pentes de plus de 25% (Montagnes).

Le croisement de ces trois couches pentes (p), expositions (e) et topo-morphologie (m) a donc permis de calculer l'indice topo-morphologique IM.

Pour rappel, l'indice de combustibilité IC a été calculé à partir de la formule du Cemagref (cf. supra).

La végétation de la forêt étudiée a fait l'objet d'un échantillonnage selon trois transects en bande. Le premier situé à l'est a fait l'objet de 12 relevés, le deuxième qualifié de central a fait l'objet de 15 relevés et le troisième situé à l'ouest, 12 relevés soit un total de 39 relevés. Chaque relevé a fait l'objet d'une fiche renseignée des éléments suivants : numéro du relevé, hauteur de la strate (m), taux de recouvrement (%), substrat géomorphologique, altitude (m), exposition, pente, coordonnées Lambert.

Cet échantillonnage se justifie par l'homogénéité physiognomique de la végétation et la stabilité de la composition floristique imposée par un étage bioclimatique constant et des conditions édaphiques stables.

Le procédé consiste à choisir des échantillons qui paraissent les plus représentatifs et suffisamment homogènes. La faible densité et le type de formation végétale ont été à l'origine du choix de la surface de la placette,



Photo 1 :
Exemple de tranchée
pare-feu

où ont été effectués des relevés phytoécologiques, où toutes les espèces ligneuses ont été mentionnées avec leur coefficient d'abondance - dominance – sociabilité, selon la méthode Braun – Blanquet, avec une répartition des espèces par strate, ainsi qu'une classification par famille. Les espèces qui présentent l'abondance – dominance la plus élevée sont dites dominantes. C'est en définitive de l'abondance – dominance des différentes espèces que dépend le degré de recouvrement qui renseigne sur l'état (aspect ouvert ou fermé) de la formation végétale. Un autre élément analytique en l'occurrence la sociabilité qui concerne la disposition des espèces dans le relevé, traduit le regroupement des individus d'une même espèce entre elles.

Afin de mieux caractériser la structure verticale de la végétation, la stratification ou plus précisément l'étagement vertical suivant a été retenu :

- Strate arborescente ou étage IV : hauteur de 7 m et plus.
- Strate arbustive ou étage III : hauteur de 2 à 7 m.
- Strate buissonnante ou étage II : hauteur de 50 cm à 2 m.
- Strate herbacée ou étage I : espèces herbacées et plantules d'arbres.

Résultats et discussion

L'indice de risque de feu, premier objectif de cette étude, est le résultat de l'opération suivante : $IR = 5IC + IM$. La carte résultant de ce croisement est visualisée à l'aide des fonctionnalités d'analyse de données et de cartographie du S.I.G. ARC/INFO. Elle est présentée dans la figure 3 qui met en relief

les secteurs discriminés par le critère de vulnérabilité au feu. L'interprétation des résultats obtenus permet de faire les analyses suivantes :

- une comparaison entre la carte synthétique de risque de feu obtenue, et le recueil d'informations sur des incendies déjà enregistrés dans la forêt étudiée, a permis de corroborer dans la plupart des cas les résultats de cette analyse. La validation des résultats n'a pas pu être concrétisée en raison de l'impossibilité conjoncturelle d'effectuer des sorties en forêts. Ce handicap a été contourné par des entretiens avec les responsables de la Conservation des Forêts de la wilaya de Sidi Bel Abbès, étayés par des documents émanant du Service "Incendies".

Cette comparaison fournirait un élément d'appréciation de la limite de l'indice IR à partir de laquelle les parcelles auraient été enflammées par le passé. Dans ce contexte, signalons qu'il n'existe pas de carte informative sur les feux passés. Les principaux feux

auxquels notre zone d'étude a été soumise sont présentés sous forme de fiche. Ces fiches renseignent sur leurs caractéristiques permettant ainsi de comprendre leurs conditions d'éclosion et de propagation. Elles fournissent également des éléments sur les dégâts occasionnés, l'intensité, la surface parcourue et les conditions climatiques.

Ce manque de données sur les feux passés a pu être compensé par une connaissance actuelle du site en question, tiré de l'expérience des responsables de la Conservation des Forêts de Sidi Bel Abbès, (Cf. Fig. 3).

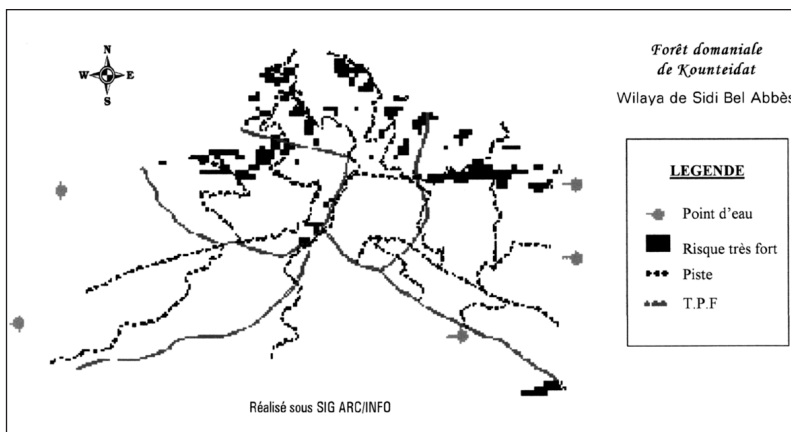
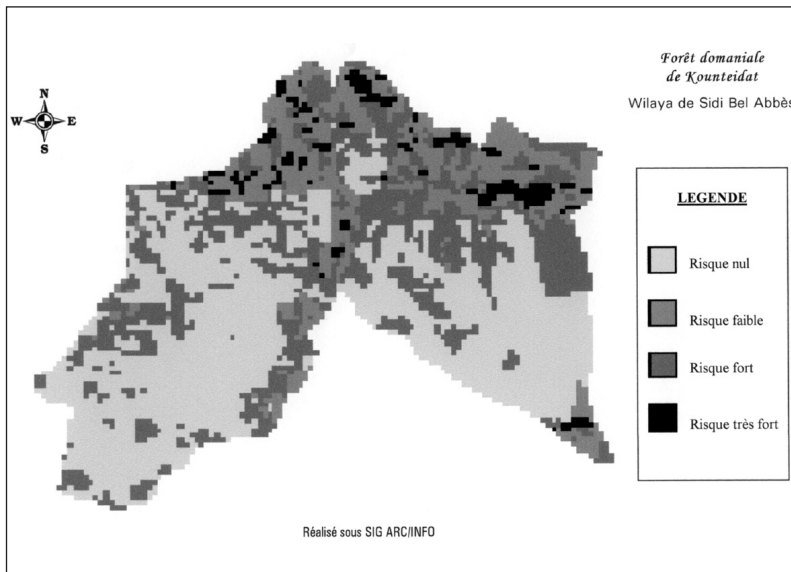
En superposant cette même carte au format raster dont l'affichage est limité uniquement aux secteurs les plus vulnérables avec celle représentant les infrastructures forestières au format vecteur (Cf. Fig 4), il est possible de mettre en évidence l'inadéquation de la distribution des équipements de Défense des Forêts Contre les Incendies (D.F.C.I.) dans les secteurs les plus sensibles. En effet, il apparaît clairement sur ce document que la zone sud de notre forêt qui présente le moins de risque est mieux équipée que la partie nord.

Ce document permettra aux gestionnaires des forêts de mieux localiser les secteurs exposés au risque d'incendie et par conséquent de décider si c'est dans tel secteur plutôt que dans tel autre qu'il convient d'effectuer des travaux de protection. Il pourra servir à l'implantation de points d'eau destinés à l'approvisionnement des véhicules dans toute la zone, à l'ouverture de nouvelles tranchées pare-feu ainsi qu'à l'établissement de nouvelles pistes d'accès destinées à l'intervention des secours en tout point de la zone. Il permettra aussi d'établir un ordre de priorité afin de concentrer tout d'abord les efforts sur les secteurs où des mesures contre l'incendie sont les plus indispensables. Une fois cette décision prise, il sera nécessaire de déterminer l'importance à donner à chaque forme de défense contre l'incendie. Celle-ci dépendra, en général des possibilités budgétaires de l'institution chargée de la gestion des forêts.

Interrogation de l'information géographique

Les fonctionnalités des S.I.G. ne se limitent pas aux seuls domaines de la gestion et de l'accès aux données géoréférencées. Ils offrent également de nombreux outils d'analyse qui prennent principalement en considé-

Fig. 3 (ci-dessous) :
Carte de l'indice de risque de feu de forêt

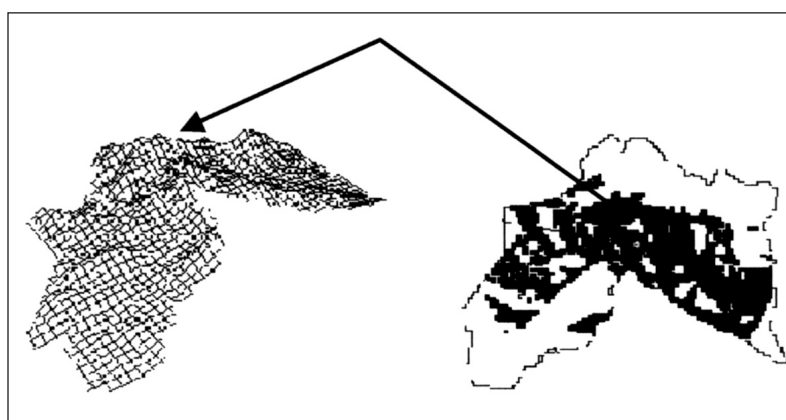




Enreg.	Pente	IM	IC	IR
3	60.064	21	3	36
104	61.124	21	4	41
139	68.462	20	4	40
282	84.730	24	4	44
Cont.	—	—	—	—

ration la composante spatiale de l'information et en tirent le plus grand parti. Les fonctions d'analyse spatiale génèrent de nouvelles données, qui résultent de la combinaison des données de base ou qui sont la réponse à des interrogations complexes. Elles interviennent dans le processus d'aide à la décision. Comme il aurait été long et fastidieux de présenter les différentes requêtes possibles, nous avons préféré nous concentrer sur quelques exemples de requêtes. La première (Cf. Fig. 5) fait intervenir à la fois la localisation géographique des entités et leurs attributs descriptifs.

Par ailleurs, étant donné que l'élément de base du système actuel de protection des forêts contre le feu, est surtout le réseau de postes d'observation qui constitue le principal moyen de découverte des incendies, il serait intéressant de signaler que le S.I.G. ARC/INFO fournit un traitement concernant les tours de vigies, qui permet de déterminer leurs meilleurs emplacements afin d'avoir une couverture de tout le territoire concerné (Cf. Fig. 6). Il est également possible de dessiner des profils du terrain passant par ces tours et de visualiser les zones vues ou non vues d'une ou plusieurs tours données.



Conclusion

Les résultats obtenus démontrent que l'approche méthodologique expérimentée ici revêt un caractère éminemment opérationnel. L'exposé de cette expérience peut sans doute inciter à l'optimisme quant au potentiel des technologies S.I.G. Les S.I.G. confirment une fois de plus, les possibilités qu'ils offrent en matière d'analyse stratégique de

l'espace, pouvant aboutir, dans le domaine qui nous préoccupe, à réduire l'extension du feu et à optimiser l'intervention des secours et de leurs moyens de lutte. Le SIG comme tous les outils informatiques, est un outil d'aide à la décision, mais pas un outil de décision.

Enfin, il faut reconnaître que de simples écrits n'ont jamais sauvé un patrimoine

Fig. 5 (en haut) :
Localisation des zones à risque avec pente supérieure à 60 %

Fig. 6 (ci-dessus) :
Localisation des zones visibles à partir du poste-vigie, d'altitude 1106 m

Photo 2 :
Poste-vigie

A. MISSOUMI
Centre National
des Techniques
Spatiales - courriel :
missoumi@cnts.dz
K. MEDERBAL
Université de Mascara
K. BENABDELLI
Université
de Sidi Bel Abbès

forestier dans aucun pays au monde. Seul un travail scientifique fondé sur un personnel spécialisé et occupant réellement le terrain pourra prendre en charge les problèmes de la forêt qui reposent essentiellement sur des choix purement techniques de gestion d'écosystèmes souvent méconnus dans l'état actuel des choses. « Dans la répétition, il y a toujours utilité »³, c'est un adage bien de chez nous et qui traduit une attitude particulière du citoyen qui ne peut être sensibilisé qu'à la longue.

A.M., K.M., K.B.

Remerciements

Cette étude représente la 1^{ère} phase d'un projet de recherche du Centre national des techniques spatiales (code 03/01/02/03/50/97). Les deux autres phases concernent la simulation des feux de forêts et l'expérimentation des données satellitales pour l'estimation du degré d'inflammabilité d'un couvert végétal en vue d'une cartographie d'un territoire entier. Ce projet a été réalisé grâce à un financement DCRSDT/MESRS dans le cadre des Programmes Nationaux de Recherche.

Références bibliographiques

- [1]. [Bureau National d'Etudes Forestières, 1984] - Rapport sur l'étude d'aménagement de la forêt de Kounteidat. p. 55
- [2]. [F. de BLOMAC et al, 1994] - ARC/INFO concepts et applications en géomatique. Hermès, 1994. p.85 à 87 et p.91.
- [3]. [P. CARREGA et J.L. WYBO, 1992] - Vers une évaluation intégrée du risque d'incendie de forêt. Colloque International « le feu : avant – après ». Revue d'Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée, n° 32, 1992. Université de Nice – Sophia Antipolis. p. 53.
- [4]. [CEMAGREF 1990] - Protection des forêts contre les incendies, guide technique du forestier méditerranéen français. Fiche 5 : Inflammabilité et combustibilité.
- [5]. [A. DAGORNE, Y. DUCHE et al, 1994] - Protection des forêts contre les incendies & Système d'information géographique : Application à la commune d'Auribeau sur Siagne (Alpes Maritimes). Revue forêt méditerranéenne T. XV, n°4, octobre 1994. p. 416 à 419.
- [6]. [A.DAGORNE, 1992] - SIG, télédétection aérospatiale et gestion des espaces sensibles aux feux et/ou parcours par eux ou l'utilisation de la cartographie. Colloque International « le feu : avant – après ». Revue d'Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée, n° 32, 1992. Université de Nice – Sophia Antipolis. p. 167.
- [7]. [A. DAGORNE et J.Y. OTTAVI, 1992] - Des données à l'information, ou l'utilité d'un SIG. Colloque International « le feu : avant – après ». Revue d'Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée, n° 30, 1991. Université de Nice – Sophia Antipolis. p. 69.
- [8]. [Direction Générale des Forêts, 1997] - Statistiques des feux de forêts en Algérie p 45 à 48.
- [9]. [F. KOUDACHE, 1995] - Etude de la répartition et de la relation faune flore dans un écosystème forestier. Thèse de magister, Université D. LIABES, Sidi Bel Abbès. p. 36 à 37.
- [10]. M.LENCO et B.KIENTZ, Etude par télédétection de la simulation du déroulement du feu de forêt du massif de Sainte Victoire. Colloque International « le feu : avant – après ». Revue d'Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée, n° 32, 1992. Université de Nice – Sophia Antipolis. p. 159.
- [11]. [H. PORNON, 1995] – Les SIG : mise en œuvre et applications. Hermès, 1995. p.51 et p. 155.
- [12]. [A. MISSOUMI et al, 1997] - Utilisation des SIG et de la télédétection pour la prévention des incendies de forêts. Séminaire international Utilisation de l'outil spatial pour la prévention des risques majeurs – Arzew (Algérie), les 5 et 6 mai 1997.
- [13]. [A. MISSOUMI et al, 1999] - ArcInfo et la protection des forêts contre les incendies. Conférence des utilisateurs 1999. ESRI France Paris (France) 29 et 30 septembre 1999.
- [14]. [A. MISSOUMI et al, 1999] - SIG et feux de forêts. Séminaire international sur les SIG 'ALSIG 99'. Alger (Algérie) du 15 au 18 novembre 1999.
- [15]. [A. MISSOUMI et al, 2000] - Apport des SIG à la protection des forêts contre les incendies. MARISY Rabat (Maroc) 27 et 28 octobre 2000.
- [16]. [A. MISSOUMI and al, 2001] - Contribution of GIS and remote sensing to the protection against forest fires : case of the domanian forest of kounteidat - Algeria. Conference Athenes Greece 13 et 14 mars 2001.
- [17]. [A. MISSOUMI et al, 2001] - SIG et Risques Majeurs : cas des feux de forêts. Séminaire national sur la gestion des risques majeurs et organisation des secours. Sidi Bel Abbès (Algérie), 13 et 14 mars 2001.
- [18]. DOCUMENTATIONS ARC/INFO ESRI : Editing coverages & tables with ARCEDIT - ARCPLOT, map display & query.- Map projections & coordinate management. - Data conversion. - Cell-based modelling with GRID. - Surface modelling with TIN. - AML user's Guide. - Understanding GIS - The ARC/INFO Method.

3 - Cela ressemble fort au : "Hâtez-vous lentement, et sans perdre courage, vingt fois sur le métier remettez votre ouvrage" (Nicolas Boileau) (N.D.L.R.)

Résumé

Le facteur de dégradation le plus redoutable de la forêt algérienne et méditerranéenne est, sans contexte, l'incendie qui bénéficie de conditions physiques et naturelles favorables à son éclosion et à sa propagation. La structure et la composition des formations végétales où dominent des espèces résineuses accompagnées d'un sous-bois où la broussaille domine, sont autant de facteurs favorisant les feux de forêts.

L'Algérie paye un lourd tribut considéré par les spécialistes comme la part du feu. Cette part, il faut le reconnaître devient catastrophique au fil des années. 30 000 hectares au moins sont saccagés en moyenne annuellement et il est impossible de rester indifférent à cette éradication de la couverture végétale qui risque de menacer l'équilibre écologique du pays.

Une étude visant à asseoir une stratégie de prévention axée sur l'apport des techniques modernes d'observation et d'analyse de l'espace : télédétection satellitale et Systèmes d'Information Géographique (SIG), a été réalisée sur la région de Sidi Bel Abbès (Ouest algérien). Il est évident que certaines institutions ne pourront rapidement plus se passer de tels outils parce que les décisions qu'elles prennent nécessitent l'accès à une grande masse d'informations localisées, ou parce que les décisions doivent être prises dans des délais brefs.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent article. Ce travail s'appuie sur un constat simple : les outils et techniques traditionnels ne permettent plus de traiter de situation complexe sur la base de volume d'informations important et dans des délais de décisions courts. L'objectif est donc de montrer concrètement l'apport des SIG dans la prévention contre les incendies de forêts en nous référant à un cas réel, celui de la forêt domaniale de Kouunteidat (près de Sidi Bel Abbès).

L'objectif de cette étude de faisabilité est de tester l'opérationnalité d'un S.I.G. pour :

- mieux définir et localiser les zones forestières à risque d'incendie dans le but de prescrire des mesures de prévention.,
- permettre une amélioration de l'efficacité de la prévention, ainsi qu'une stratégie adaptée de lutte contre les incendies de forêts, qui dépend tant du schéma d'aménagement de la forêt concernée et de l'adéquation du dispositif de protection mis en place, que de l'assistance à l'intervention.

Les documents cartographiques réalisés constitueront un outil de négociation et d'aide à la décision en matière de définition de politique de prévention et de lutte contre les incendies de forêts.

Mots clefs : Système d'information géographique - feux de forêts.

Summary

Contribution of GIS (Geographical information systems) to the prevention and control of wildfire : an example of the state forest in Kouunteidat (Algeria)

The most dangerous factor contributing to the destruction of Algerian, and Mediterranean, woodlands is, without question, wildfire which, in these regions, profits from physical and natural conditions that favour its outbreak and spread. The structure and makeup of the plant formations, in which oil-bearing species predominate accompanied by brush undergrowth, are clear factors which encourage forest wildfire.

Algeria pays a high price in terms of destruction, a price that experts call the wages of fire. It must be admitted that as time goes on this cost is becoming catastrophically high. At least 30,000 hectares are ravaged on average each year and it is impossible to remain indifferent to this wiping out of the plant cover which threatens to endanger the ecological balance of the country.

A study has been carried out in the region of Sidi Bel Abbès (Western Algeria) with the aim of establishing a preventive strategy based on modern techniques of observation and spatial analysis : remote satellite detection and GIS, geographical information systems. It is obvious that certain institutions do not need to have recourse to such tools because the decisions they take are not based on access to a huge amount of localised information, or do not have to be taken rapidly.

This article addresses the situation just alluded to above. The work described here derives from a simple fact : traditional tools and methods are not able to deal with complex situations on the basis of handling huge volumes of data and taking decisions under very short deadlines. The aim of the work here presented is to show concretely how GIS can contribute to wildfire prevention by looking at a real case, the fire in the state forest at Kouunteidat.

The aim of this feasibility study was to test the operational efficiency of a GIS in order to :

- better describe forested areas where wildfire is a real risk and localise such forests in order to prescribe preventive measures;
- enhance the efficiency of prevention, as well as to design a strategy suited to fighting wildfire, both of which depend as much on the land use plan of the woodlands involved and on the suitable scaling of the protective measures set up, as on the help given in actual firefighting.

The cartographic documents produced will serve as a basis in any negotiation and serve, also, as an aid in decision-making when it comes to defining wildfire prevention and fighting policy.

Riassunto

L'Apporto dei sistemi informativi geografici nella previsione e la lotta contro gli incendi di foreste. Esempio della foresta demaniale di Kounteida, Algeria

Il fattore di degradazione il più temibile della foresta algeriana e mediterranea è, senza dubbio, l'incendio che beneficia di condizioni fisiche e naturali favorevoli al suo scoppio e alla sua propagazione. La struttura e la composizione delle formazioni vegetali in cui dominano specie resinose accompagnate da un sottobosco in cui la boscaglia domina, sono altrettanti fattori incoraggiando i fuochi di foreste.

L'Algeria paga un tributo pesante considerato dagli esperti come la parte del fuoco. Questa parte, bisogna riconoscerlo diventa catastrofica al filo degli anni. 30 000 ettari al meno sono saccheggiate in media annualmente e è impossibile di rimanere indifferente a questo sradicamento del coperto forestale che rischia di minacciare l'equilibrio ecologico del paese.

Uno studio mirando a stabilire una strategia di prevenzione imperniata sull'apporto delle tecniche moderne di osservazione e di analisi dello spazio : telerivelazione satellitale e sistemi informativi geografici (GIS), è stato realizzato sulla regione di Sidi Bel Abbès (ovest algeriano). È evidente che certe istituzioni possono ancora se fare a meno di tali arnesi perché le decisioni che prendono non necessitano l'accesso a una grande massa d'informazioni localizzate, o perché le decisioni non devono essere prese in brevi indugi.

È in questo contesto che s'inscrive il presente articolo. Questo lavoro si basa su un'accertamento semplice : gli arnesi e le tecniche tradizionali non permettono di trattare la situazione complessa sulla base di un volume importante d'informazioni e negli indugi di decisione corti. L'obbiettivo è dunque di mostrare concretamente l'apporto dei GIS nella prevenzione contro gli incendi di foreste riferendoci a un caso reale, quello della foresta demaniale di Kounteida.

L'obbiettivo di questo studio di fattibilità è di provare l'operatività di un GIS per :

- definire meglio e localizzare le aree forestali a rischio di incendio nello scopo di prescrivere misure di prevenzione,
- permettere un miglioramento dell'efficacia della prevenzione, come di una strategia adattata di lotta contro gli incendi di foresta, che dipende tanto dallo schema di pianificazione della foresta in causa, dell'adeguamento del dispositivo di protezione messo in posto, quanto dall'assistenza all'intervento.

I documenti cartografici realizzati costituiranno un arnese di negoziato e di aiuto alla decisione in materia di definizione di politica di prevenzione e di lotta contro gli incendi di foreste