

Actes du XXeme colloque international de l'AIC. Tunis septembre 2007.

RISQUE METEOROLOGIQUE D'INCENDIE DE FORET ET METHODES DE SPATIALISATION POUR UNE CARTOGRAPHIE A FINE ECHELLE.

Pierre CARREGA (1), Nuno JERONIMO (2)

Université de Nice-Sophia Antipolis, 98 bd Herriot 06204 Nice cedex 3 (France)

(1) tel : 33- 4 93 37 54 61 carrega@unice.fr (2) jeronimo.nuno@gmail.com

Résumé : A partir d'un réseau de stations automatiques il est procédé par interpolation à une spatialisation et à une cartographie automatique très fine (pixel de 50m) du risque météorologique de feu de forêt, en temps réel ou « a posteriori » .

Abstract : From a weather stations network, forest fire meteorological hazard is spatialized by interpolation and automatic mapping is proposed, in real time or « a posteriori » at an accurate scale (50m).

Mots-clés : incendies de forêts, risque météorologique, cartographie, SIG.

Key-words : forest fire, meteorological hazard, mapping, GIS

Le risque d'incendies de forêt peut être décomposé en trois étapes : l'aléa est l'éclosion ; la susceptibilité du milieu (pente, combustible fourni par la biomasse) et le vent commandent la propagation des flammes ; tandis que les dégâts sont liés à la vulnérabilité. L'éclosion est donc le phénomène initial provoqué par une étincelle (due à la foudre ou à l'homme) qui ne pourra embraser la végétation que si les conditions météorologiques l'autorisent. Il peut en effet être impossible d'allumer un feu sous la pluie, alors que la veille, avec chaleur, sécheresse de l'air et du sol, et fort vent, la moindre flamme aurait pu réduire en cendres plusieurs milliers d'hectares. La variabilité temporelle de l'éclosion d'incendie peut donc être très forte d'un jour à l'autre, parfois même en terme d'heures. Nous étudions ici la spatialisation de la composante météorologique du risque dans un espace-test, les Alpes-Maritimes (sud-est de la France).

1. Les indices de risque météorologiques.

1.1. Le fondement des indices

Que traduit un indice de risque météorologique de feu de forêt ? En fait la combinaison des variables météorologiques qui permettra à un feu donné, toutes conditions étant égales par ailleurs (y compris le combustible forestier), de se développer avec plus ou moins de puissance. Le terme de « puissance » du feu ne doit pas être confondu avec la superficie brûlée et encore moins avec les dégâts. Les feux brûlant une forte superficie ne sont pas forcément puissants : il suffit que l'intervention des pompiers soit tardive ou difficile ou que l'enjeu soit limité. Inversement, des feux ayant brûlé une petite superficie peuvent avoir été très puissants, mais ont eu la malchance (!) de naître près d'une caserne de pompiers ou dans une forêt de petite taille qui, une fois consommée, ne leur a plus fourni de combustible. La puissance s'exprime par la vitesse de propagation des flammes, l'énergie fournie par la combustion, la chaleur du front de flammes, etc, qui influenceront directement sur la difficulté

d'extinction du feu. Tous ces paramètres varient fortement selon les moments pour un lieu donné, et à un moment donné selon les endroits, en fonction des conditions météorologiques.

De nombreux indices de risque météorologique de feu de forêt ont été créés depuis plus de 20 ans, qui sont classiquement utilisés par les forces opérationnelles (pompiers, forestiers), afin d'obtenir la meilleure adéquation possible entre, d'une part les ressources et moyens de lutte (tactique), et d'autre part, le risque. Il est en effet inutile de garder des forces en alerte quand la probabilité qu'une éclosion se transforme en puissant incendie est très faible ou nulle. Inversement, il est judicieux de mobiliser des forces si un incendie naissant risque de devenir non maîtrisable, car la croissance d'un feu étant exponentielle, il est capital d'intervenir le plus vite possible dès sa détection pour le « prendre de vitesse ». Les indices renseignent en fait sur la puissance d'un feu à combustible constant, et traduisent la probabilité d'éclosion et de propagation. Ils combinent toujours, mais différemment, les variables météorologiques essentielles pour la combustion : vent, humidité de l'air, stress ou déficit hydrique du sol, de la litière ou des plantes elles-mêmes, température de l'air, etc...

1.2. Le système officiel en cours.

En France, MétéoFrance est officiellement en charge de la prévision de ce risque et le CIRCOSC (Centre Interrégional de Coordination des Opération de Sécurité Civile) utilise ces informations pour adapter le degré de vigilance et de mobilisation des moyens tactiques au degré de risque prévu. Or cette mobilisation a un coût : 1,26 millions d'euros en 2004 uniquement pour les patrouilles de surveillance... Depuis une vingtaine d'années, différents indices de risque météorologique ont été utilisés par MétéoFrance, parmi lesquels les indices Orioux, Carrega-Drouet,... jusqu'à l'indice canadien actuellement en vigueur. Le calcul du risque est effectué quotidiennement pour le lendemain, avec une valeur pour chaque secteur prédéfini du pourtour méditerranéen, secteur dépassant parfois 1000 km² de surface.

Dans le département français des Alpes-maritimes (région de Nice), par exemple, il existe 7 « zones » de dimensions très variables, couvrant une surface totale de 4400 km² (fig. 1).

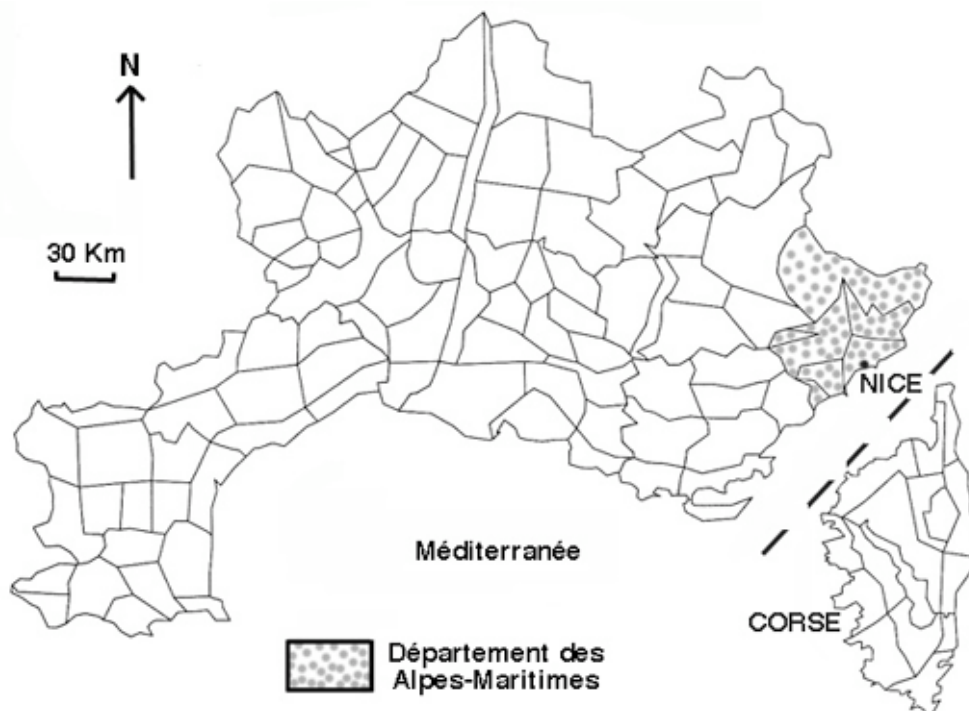


Fig. 1 Les secteurs de la région méditerranéenne française pour chacun desquels est calculé l'indice de risque par MétéoFrance pendant la saison estivale des feux de forêt.

Le relief très contrasté de ce département dont l'altitude maximale dépasse 3000m rend illusoire la représentativité spatiale de l'indice pour toutes les parties de chaque secteur. Des travaux antérieurs (Carrega, 1992, 1994) ont déjà donné lieu à une spatialisation beaucoup plus fine du risque, puisque le pixel utilisé avait 200m de côté. Nous proposons aujourd'hui une spatialisation encore plus fine (50 m de côté), en insistant sur la méthodologie qui attribue un niveau de risque à un pixel pour une heure donnée, ce qui permet d'effectuer un suivi diachronique du risque au cours d'une même journée.

2. Méthodologie suivie : les choix.

Plusieurs choix s'offrent pour élaborer une carte du risque météorologique de feu, choix que nous expliquons ici rapidement, compte-tenu du manque de place :

- Le choix de l'indice de risque : il en existe plusieurs, plus ou moins complexes et demandeurs d'information et nous avons sélectionné l'indice « Carrega I85/90 » (mais n'importe quel autre indice pourrait l'être aussi) en particulier pour son bon rendement malgré sa simplicité. Il a d'ailleurs été partiellement à la source de l'indice MétéoFrance « DK » (Drouet- Carrega) à la fin des années 80 et, parallèlement utilisé opérationnellement par les pompiers et forestiers des Alpes-Maritimes pendant plus de 10 ans. La formule de l'indice s'écrit :

$$I_{85/90} = (500 - (R^{0.5} * H / V)) / 25$$

où R est la réserve d'eau du sol calculée selon la méthode de Thornthwaite ou de Penman afin d'approcher la teneur en eau des végétaux vivants (maximum régional fixé à 150mm) ; H est l'humidité relative, et V est la vitesse du vent. La valeur varie de 0 à 20 (danger maximum).

- La logique de détermination des variables constitutives de l'indice : déterministe à partir de modèles physiques, ou inductive, donc statistique, à partir des données d'un réseau de 20 stations météorologiques automatiques mesurant vent, température, humidité relative et pluie. La deuxième logique a été suivie, car bien plus simple et seule opérationnelle à l'heure actuelle. Nous avons utilisé un MNT, celui de l'Institut Géographique National : la BD Alti et le Système d'Information Géographique (SIG) Arcview, ArcGis 8.3.

- La méthode de spatialisation : pour affecter sa valeur la plus vraisemblable à un pixel, on peut se fonder sur la logique de l'auto-corrélation spatiale (la valeur d'un pixel dépend de celle des pixels voisins, d'autant plus qu'ils sont proches). Le calcul des variogrammes vérifie que l'influence moyenne (la « portée ») des postes du réseau est supérieure à leur éloignement mutuel.

On peut aussi se fonder sur une logique « environnementale » : la valeur d'un pixel dépend des caractéristiques de son environnement, en particulier topographique, exprimé quantitativement : altitude, exposition, pente, altitude relative, distance à la mer.... Une équation de régression multiple permet de donner à chaque pixel la valeur recherchée, une fois que toutes les variables topographiques sont connues, travail dévolu au SIG. De nombreux travaux ont montré que cette seconde solution est bien préférable dès que le relief devient complexe, ce qui est le cas de la France méditerranéenne et de son arrière-pays (Alpes, Massif central, Pyrénées), et des Alpes-maritimes en particulier (fig.2), et c'est donc le choix retenu a priori.

Il faut donc construire successivement les couches du SIG représentant « l'environnement » quantifié (en degrés, mètres, pourcentages, ...) de chaque pixel de la carte (pente, exposition,

etc), ce qui est parfois complexe car les fonctions automatiques du logiciel ne conviennent pas forcément.

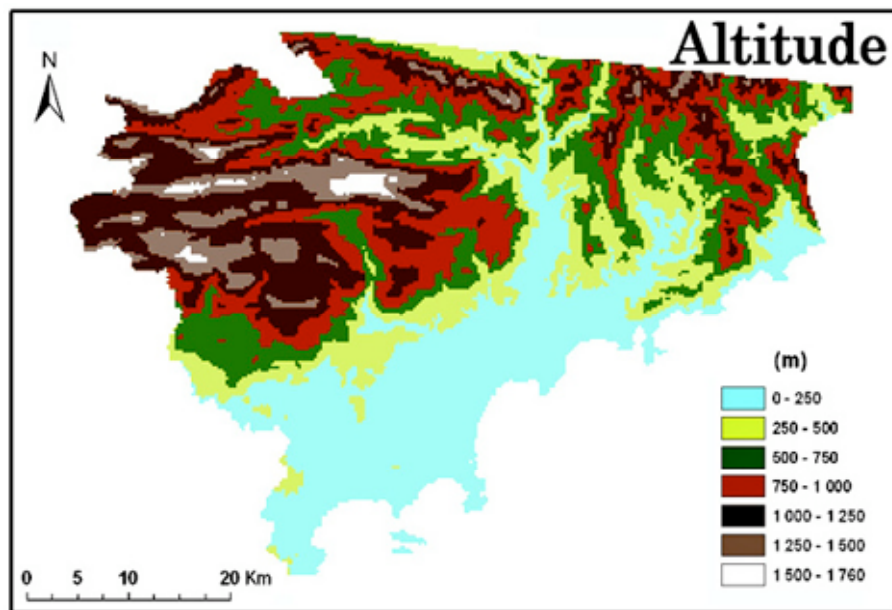


Fig. 2 Le relief de la moitié sud des Alpes-Maritimes (pixel = 50m). ArcView et BD Alté.

Ainsi, la pente a été calculée sur une valeur moyenne de 600m à la ronde autour de chaque pixel (et non avec les seuls voisins immédiats)... Il a fallu également produire une couche de la distance à la mer de chaque pixel ainsi qu'une autre de son altitude relative (traduisant l'encaissement, favorable par exemple aux inversions thermiques nocturnes).

Dernier choix important, la construction de la carte du risque peut s'effectuer de deux manières :

- La méthode 1 consiste à construire une carte de chaque variable météorologique constitutive de l'indice, à partir de 20 stations automatiques. Pour l'indice « Carrega I85/90 » il faut donc successivement reconstituer le champ d'humidité relative et de réserve d'eau du sol (par régression environnementale), tandis que la vitesse du vent, beaucoup plus complexe à évaluer, est par défaut interpolée par krigeage. Quand chaque pixel est doté de sa valeur pour chacune des variables, il suffit de calculer son indice de risque en résolvant la formule.

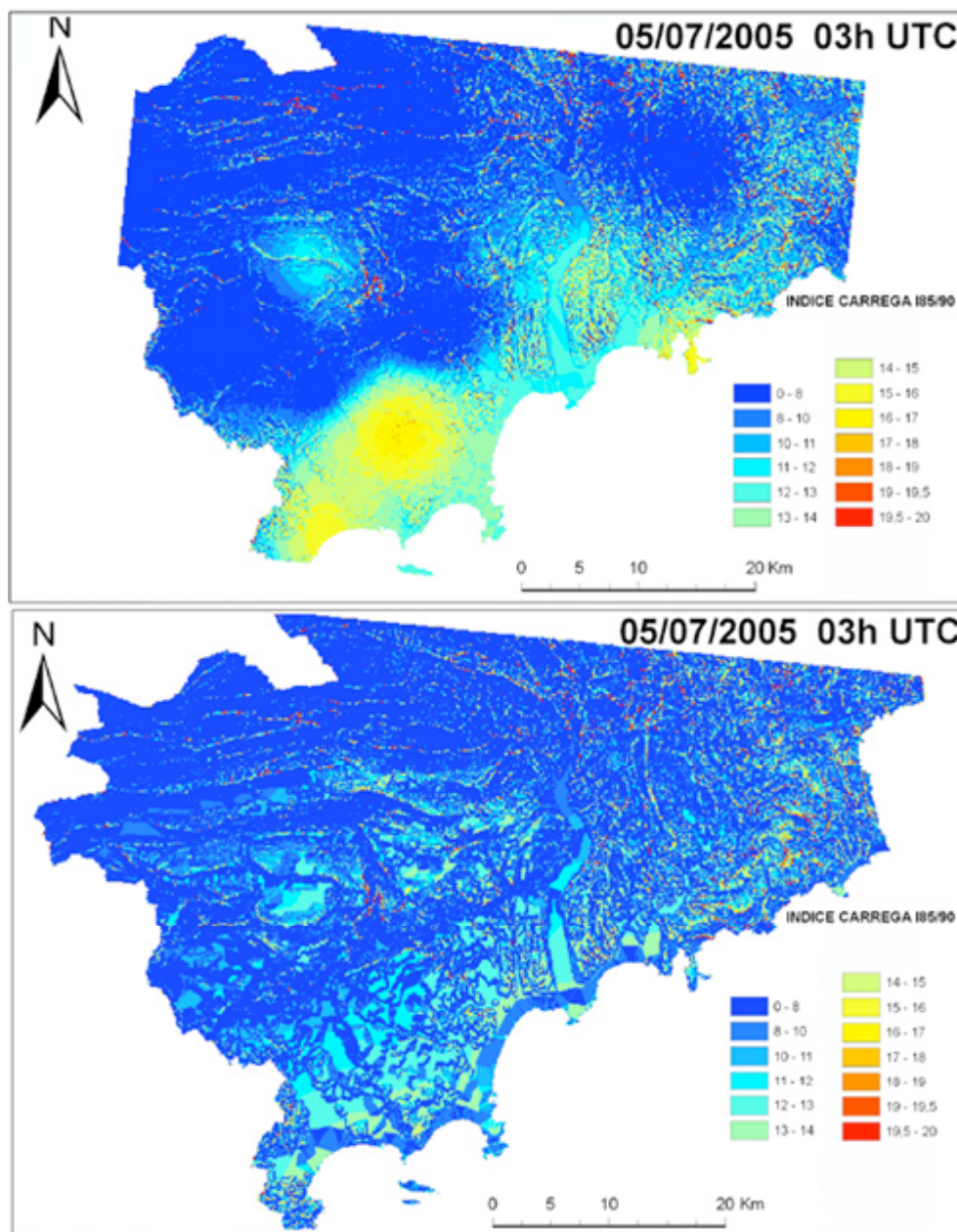
- La méthode 2 consiste à calculer directement l'indice de risque pour chacune des stations automatiques, puis à reconstituer une carte du risque en interpolant pour chacun des pixels son indice, en suivant la méthode de régression environnementale (la même que pour l'humidité et la réserve d'eau dans la première méthode). Dans les deux cas, les coefficients de corrélations sont rarement $<0,80$ et souvent $>0,90$, et les régressions sont « significatives ».

3. Comparaison des résultats obtenus

Deux séries de cartes ont donc été élaborées, l'une selon la première méthode, en couches successives de variables nécessaires au calcul de l'indice (fig. 3a et 4a) ; et l'autre selon la méthode 2, en « interpolant » d'emblée son indice pour chaque pixel, à partir de l'indice calculé pour chacune des stations du réseau (fig. 4a et b). On observe sur ces deux échantillons la forte variabilité temporelle du risque qui augmente fortement en cours de journée. Le calcul toutes les 3 heures, et aussi pour beaucoup d'autres épisodes, non montrés

ici, prouve bien la progression, due à la baisse de l'humidité relative liée à l'accroissement de la température diurne, et de l'augmentation de la vitesse du vent. En pratique l'on sait que près de 80% des feux se déclarent entre 12h et 19h.

On constate également des différences spatiales, y compris la nuit, inégalement soulignées selon la méthode suivie. La méthode 1 donne une place importante au vent, interpolé par krigeage, et dont on voit nettement l'aire d'influence des postes « sortant » de la moyenne (surtout au SW en fig. 3a). La méthode 2 interpolant l'indice lui-même, et non ses composantes, est moins sensible à ces dernières, mais dépend fortement de son environnement. Elle reflète ainsi fortement la topographie (cf fig. 2).



Conclusion

Intellectuellement, la méthode 1 est plus satisfaisante, mais pêche ici par la technique d'interpolation du vent, variable très difficile à interpoler statistiquement. La méthode 2 est

par contre plus rapide, ce qui est intéressant en temps réel. Reste le problème essentiel de la validation, loin d'être résolu, car faute de mesures suffisantes sur feux en grandeur réelle, on en est souvent réduit à valider les indices uniquement à partir des surfaces brûlées, dont on sait qu'elles dépendent de beaucoup d'autres paramètres que les variables météorologiques...

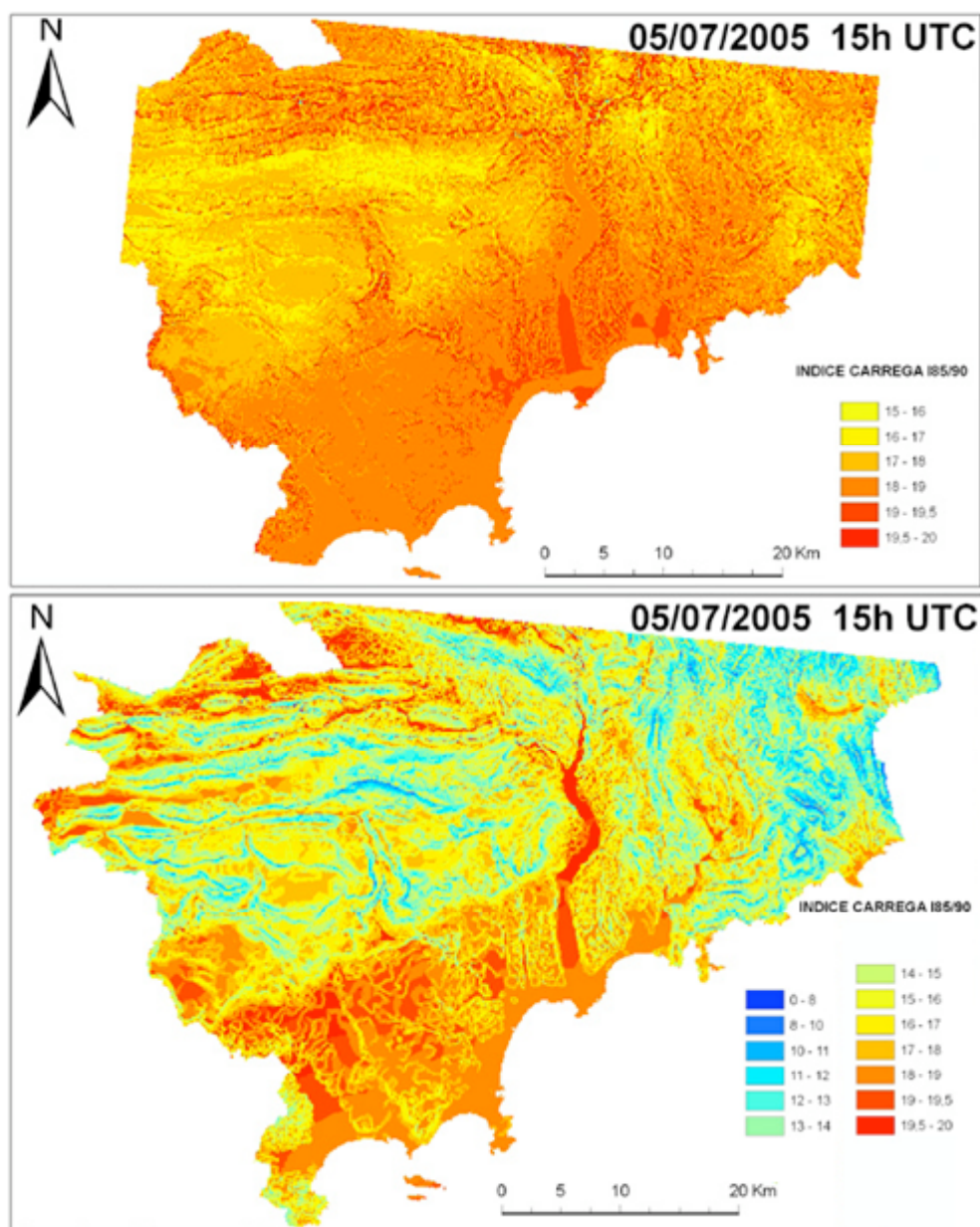


Figure 4 a (haut) et b (bas). Risque d'incendie le 5 juillet 2005 à 15 heures. Légende idem fig.3.

Bibliographie :

Burrough, P. A., McDonell, R.A., 1998. Principles of G I S. *Oxford University Press*, New York, 190p.

Carrega P., Wybo J.L., 1989 : "Climatologie et Système-Expert dans la lutte contre les incendies de forêt. (Alpes-Maritimes)". *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*. Vol.1. pp. 235-240.

Carrega P., 1991 : "A Meteorological Index of Forest Fire Hazard in Mediterranean France". *International Journal of Wildland Fire* 1(2), 1991, Roslyn, Wa (U.S.A.), pp. 79-86.

Carrega P., 1992 : "Topoclimatologie et habitat ". *Thèse Doctorat d'Etat, ronéo*, Nice, 475 p. + annexes. Publiée en 1994 dans la *Revue d'Analyse Spatiale*, Nice, n° 35 et 36. 408 p.

Carrega P., 2003 : « Les risques naturels liés à la pluie et à la sécheresse : élaboration de cartes des pluies extrêmes et des risques d'incendies de forêt dans une région méditerranéenne : la Toscane (Italie) ». *Riscuri si catastrofe*. **T.II**. (V. Sorocovschi), Universitatea « Babes-Bolyai », Cluj-Napoca, Roumanie, pp. 271-286.

Laborde J.P. , Logiciel Hydrolab (macro Excel).

IGN, BD alti au 1/25000° Alpes-Maritimes