

## **CONCILIER LES OBJECTIFS DE PROTECTION DE LA NATURE ET DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE**

*COHEN M.(1), DECAUDIN B.(1), LLAUSAS A.(2)*

*(1) University Paris Diderot, PARIS, FRANCE ; (2) University of Girona, GIRONA, SPAIN*

### **CONTEXTE ET OBJECTIFS**

Les nouvelles fonctions des espaces sont aujourd'hui marquées par une complexité croissante, exigeant une recherche de conciliation ou de hiérarchisation entre des objectifs parfois contradictoires. Les forêts méditerranéennes protégées constituent un exemple de ces enjeux contradictoires. Les mesures réglementaires visant à limiter les perturbations d'origine anthropique dans les massifs forestiers ont, dans un contexte de déprise agricole, accéléré la transformation des paysages vers des mosaïques de formations végétales à forte biomasse, continuité verticale et horizontale (Garcia-Ruiz et al. 1996, Lasanta et al. 2005, Varga 2007). Parallèlement, l'urbanisation, processus global, concerne aussi les zones de forêts méditerranéennes, en lien avec leur attrait touristique.

La concomitance de ces deux processus se produit dans un contexte climatique auquel est adaptée la végétation par l'accumulation de tissus scléreux, de terpènes et d'essences la rendant très inflammable (Trabaud 1976). Les régions concernées sont dès lors particulièrement exposées au risque d'incendie (Badia et al. 2002, Berolo et al. 2004) en particulier à l'interface entre milieu urbain et forestier (Caballero et al. 2005). Cet enjeu est considéré comme prioritaire par le Parc Naturel de Grazalema (Andalousie, Espagne) qui nous a demandé de leur fournir une expertise. Même si le feu n'est pas forcément considéré comme un désastre écologique (Pausas et al. 2008), sa survenue risquerait d'affecter l'espèce relique dont les gestionnaires du Parc sont responsables.

La cartographie et le SIG nous ont semblé de bons outils pour répondre à cette demande. Les SIG ont été mobilisés dans d'antérieurs travaux sur le risque d'incendie (Berolo et al., 2004, Madera et al. 2007, [www.geogra.uah.es/firemap](http://www.geogra.uah.es/firemap)). La cartographie est un instrument de dialogue entre chercheurs et acteurs locaux (Ferragut et al. 2008).

### **MÉTHODE ET APPROCHE**

Notre méthodologie s'inspire des travaux de modélisation de la propagation d'incendie, mais s'en démarque par la fonction des cartes produites. Alors que les premières visent une aide à la décision dans la lutte contre l'incendie (Blanchi et al. 2003, Berolo et al. 2004, Ramon et al. 2007), les nôtres ont pour finalité de prendre la mesure des processus ayant touché ces territoires au cours des 50 dernières années, pour en déduire des zones de risque caractérisées par la rencontre entre deux processus : l'urbanisation et la dynamique de boisement spontané. Leur objectif est donc une aide à la décision d'aménagement de l'espace afin de mieux concilier les différentes fonctionnalités de la forêt méditerranéenne.

### **Constitution de la base de données géographique**

Les données sources sont les ortho-photographies de 1957 (Vol américain, 1/30000) et de 2002 (Junta de Andalucía, 1/5000), leurs résolutions spatiale et spectrale ont été préalablement homogénéisées par traitement d'image, afin d'appliquer dans de bonnes conditions la métrique des paysages (McGarrigal et al. 2005). La photo-interprétation numérique des éléments de paysage, digitalisée au 1/10000, identifie l'occupation du sol et le recouvrement des strates buissonnantes et arborées. Ceci permet de construire a posteriori une nomenclature s'ajustant aux modèles de sensibilité à l'incendie des formations végétales (Gómez De Los Bueis, 2000). Le processus d'urbanisation est appréhendé par la digitalisation interactive (1956-2002) des maisons isolées et des contours des zones urbaines, afin d'éviter les faux doublons et de repérer les maisons semi-couvertes par la végétation en 2002 et pré-existantes en 1956. Les maisons entièrement recouvertes de forêt ne sont pas détectées. Le zonage du Parc a été vectorisé d'après le Plan de gestion (Porn 2006), ainsi que le réseau routier d'après la carte topographique.

### **Traitements de données**

Les traitements de données, réalisés sous Arcgis 9,3©, consistent à superposer des couches multistrates appartenant à un thème, et à croiser les thèmes pour déterminer une zone de risque autour du bâti par la fonction buffer. Le logiciel Fragstat est également utilisé afin de déterminer le type de configuration paysagère (Mc Garigal et al., 1995).

### **L'évolution de la composition et de la configuration du paysage entre 1957 et 2002**

Une nomenclature en 17 classes est établie (Godron et al. 1983). La superposition des cartes aux deux dates permet de quantifier l'évolution de la composition du paysage. Plusieurs indices de paysage sont calculés, au niveau de l'ensemble du Parc (paysage) et de chaque type d'élément du paysage (classe), afin de comparer aux deux dates la diversité du paysage (SHDI, SHEI), les effets de lisières entre zones voisines contrastées (CWED, TECI), la fragmentation spatiale des éléments du paysage (LSI), le nombre de patchs (NP) et leur distance (ENN).

Tableau 1 : Indices de paysage

Niveau	Indices calculés					
Paysage				CWED	TECI	SHDI   SHEI
Classe	NP	LSI	ENN			

NP: Number of patch; LSI: Landscape Shape Index; ENN: Mean Euclidean Nearest Neighbor (m); CWED: Contrast-Weighted Edge density (m/ha); TECI: Total Edge Contrast Index (%); SHDI:

Shannon diversity index; SHEI: Shannon Evenness Index.

### **Le risque d'incendie lié à la couverture végétale et à l'utilisation du sol**

On élabore une nomenclature des formations végétales selon leur sensibilité au feu (Gomez de los Bueis, 2000) et leur niveau de vulnérabilité (valeur culturelle, économique et écologique des formations végétales, résilience face au feu, d'après relevés, fig.1, Cohen et al. 2009). 7 niveaux de risque sont établis, depuis le risque quasi nul associé au bâti, aux champs cultivés non arborés et aux plans d'eau, jusqu'au risque 7 correspondant aux forêts fermées de résineux (ex. sapinière protégée).

### **Le processus d'urbanisation et le risque d'incendie associé aux formes urbaines**

La superposition des couches de maisons isolées et des noyaux urbains aux deux dates permet de déterminer l'évolution de ces deux formes urbaines. La fonction buffer détermine autour du bâti isolé et groupé une zone de risque de 1km, distance choisie en fonction de conditions de propagation rapide de l'incendie en zone montagneuse mal desservie par la voirie. Dans cette zone tampon, on calcule le taux moyen de risque lié à la couverture végétale ainsi que les pourcentages de surfaces concernées par les différents niveaux de risque.

### **Présentation de la zone d'étude**

Le Parc Naturel de Grazalema se situe au sud-ouest de l'Andalousie, en Espagne. C'est une montagne anciennement humanisée (cf. toponymes, fig.1), qui a connu un fort recul démographique depuis le milieu du 19ème siècle. Depuis la fin des années 70, ce territoire fait l'objet de protections réglementaires, du fait de la présence d'une forêt relique (*Abies pinsapo*, Quezel and Medail 2003). Il est devenu Réserve de Biosphère Unesco en 1977 puis Parc Naturel en 1984. Après une dizaine d'années de mise en défens des forêts domaniales, le pâturage a été de nouveau autorisé suite à un grand incendie en 1992, afin de lutter contre le développement du sous-bois. Des pare-feux ont également été réalisés.

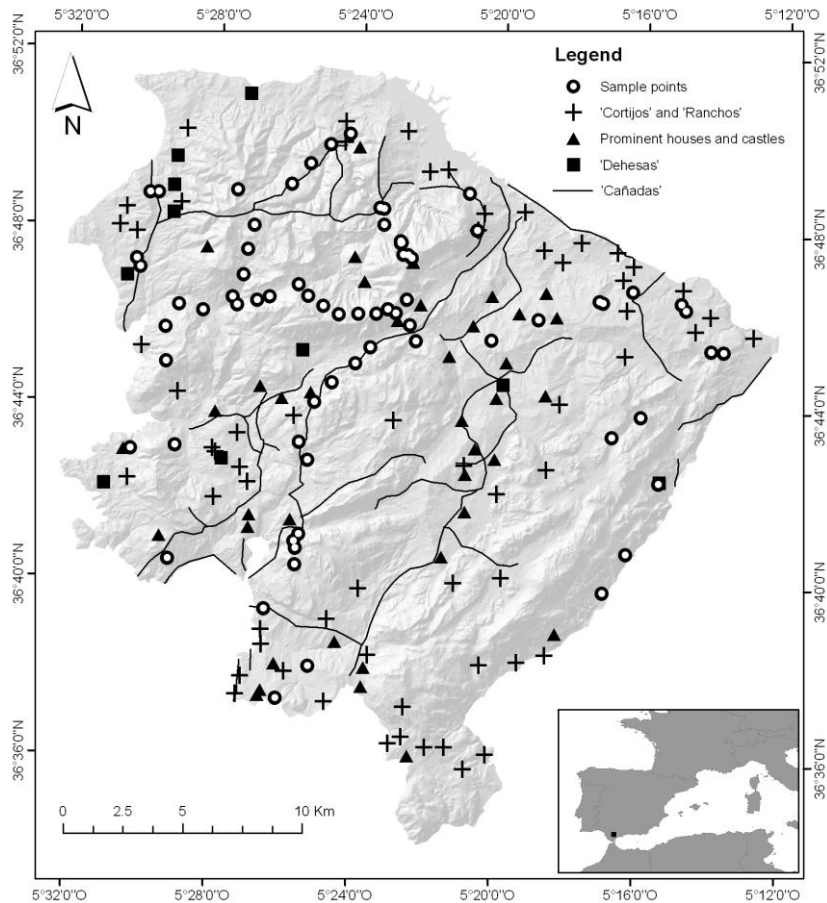


Figure 1 : Le parc de Grazalema

## RÉSULTATS

### L'évolution de la composition et de la configuration des paysages entre 1957 et 2002

La comparaison de la composition du paysage aux deux dates fait apparaître une extension très marquée des surfaces couvertes de forêts (\*5), due à la densification des forêts ouvertes et des 'dehesas'. Les surfaces occupées par les paysages anthropiques ont diminué, à l'inverse du bâti (noyaux urbains internes au Parc). Malgré cela, les indices de diversité (SHDI 1,98 à 2,19), de contraste (CWED 33,3 à 27,05) changent peu.

Tableau 2 : Composition du paysage en 1956 et 2002 (surfaces en ha)

Utilisation du sol	Type et densité des ligneux	Type n°	1956	2002
Forêts	Feuillus >50%	1	3020	13225
	Ripisylves >50%	10	214	149
	Résineux >50%	2	181	513
	30-50%	3	1060	3132
	10-30%	5	11617	4470
Guarrigues	10-100%	7	3198	7781
	<10%	8	16281	9497
	0%	9	918	1052
Paysages anthropisés	Plantations >50%	11	0	708
	Dehesa (ligneux <20%)	12	8218	6176
	Oliveraies (ligneux 20-50%)	13	2762	2108
	Pâtûre (ligneux <10%)	14	2189	1707
	Culture (ligneux <10%)	15	3701	2146
	Bâti (ligneux 0%)	16	57	167
	Eau (ligneux 0%)	17	30	616

Les calculs d'indices réalisés par classes d'éléments de paysage montrent que les sapinières (2) restent isolées (LSI 4,2) bien que plus compactes qu'en 1956 (de 33 patchs à 1 seul). Les forêts ouvertes et les paysages anthropiques sont plus fragmentés (diminution de LSI, augmentation de ENN), contrairement aux boisements denses et embroussaillés, beaucoup mieux connectés qu'en 1956. Les contrastes de voisinage augmentent pour les zones urbaines (CWED 0,1 à 0,5) et les forêts denses (6,1 à 12,7), alors qu'ils s'estompent pour les autres éléments du paysage.

Tableau 3 : Indices de paysage (classes)

Code	NP		LSI		ENN		CWED		TECI	
	1956	2002	1956	2002	1956	2002	1956	2002	1956	2002
1	274	420	31,9	31,4	198,0	150,8	6,1	12,7	46,3	47,1
2	33	1	9,6	4,2	75,6	-	0,3	0,2	32,4	28,0
3	14	87	7,8	18,5	1887,1	636,0	0,8	2,3	40,5	29,1
5	479	274	44,2	28,3	118,8	298,0	13,0	4,3	36,4	30,2
7	150	168	21,7	23,5	365,8	304,6	2,6	5,6	28,2	35,8
8	495	276	38,2	26,9	119,5	258,7	14,4	8,4	39,4	42,8
9	35	44	12,7	9,2	1406,6	1208,7	1,0	0,9	34,4	39,2
10	117	83	34,4	29,6	293,4	301,3	2,3	1,5	61,3	55,6
11	0	20		9,5		505,8		0,8		43,9
12	417	190	41,6	27,2	121,6	192,3	13,3	8,5	47,3	52,9
13	212	135	19,7	17,0	196,5	312,3	2,8	2,8	35,8	47,9
14	167	60	21,9	13,9	356,3	582,0	3,2	1,9	41,7	45,4
15	286	146	26,7	16,7	274,9	245,7	6,2	2,9	51,3	50,8
16	4	7	3,4	4,7	2845,3	6417,3	0,1	0,5	100,0	53,6
17	107	47	9,7	9,0	850,6	710,2	0,5	0,8	99,7	92,5

### Le risque d'incendie lié à la couverture végétale

L'indice de risque a augmenté de 2,4 à 3,3. Les masses forestières à haut risque sont connectées au centre du Parc, notamment autour de la sapinière (classe 7), et forment une vaste masse compacte et contiguë, alors qu'en 1956 le niveau de risque y était moindre et les zones forestières claires interrompues par des paysages ouverts.

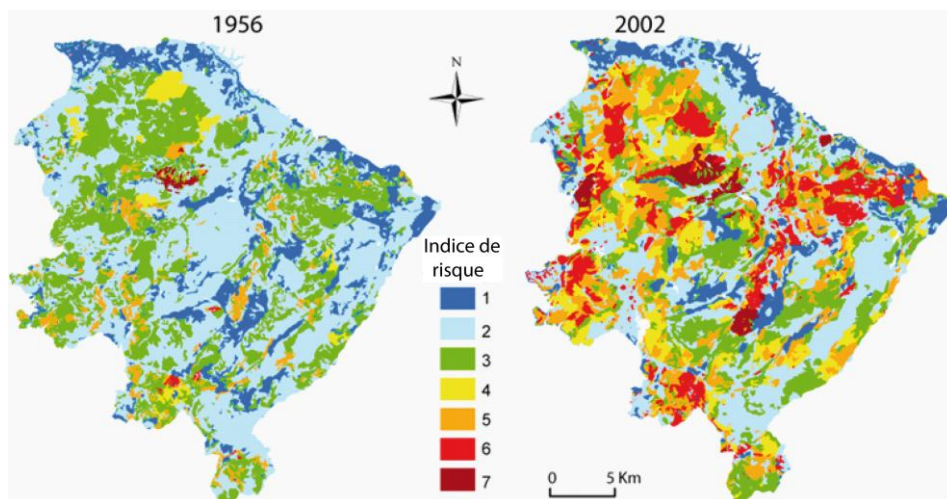


Figure 2 : Evolution de l'indice de risque d'incendie lié à la couverture végétale en 1956 et 2002

### Le processus d'urbanisation

La surface bâtie est multipliée par 2,8, par extension des noyaux urbains, surtout ceux situés à la lisière extérieure du Parc (El Bosque, Ubrique), et par augmentation du nombre de maisons isolées (de 721 à 1041). D'autres noyaux urbains comme Grazalema ont valorisé leur patrimoine bâti pour le tourisme et se sont peu étendus.

Tableau 4 : Superficie des centres urbains en 1956 et 2002

Noyau urbain	1956	2002	Noyau urbain	1956	2002	Noyau urbain	1956	2002
Benamahoma	3,3	10,7	El Bosque	4,8	32,5	Ubrique	21,3	94
Benaocaz	3,6	12,6	Grazalema	13,6	19,9	Villaluenga	4,7	8,1
Benaobjan	5,1	17,3	Montejaque	6,4	14	Zahara	8,5	19,5

### La détermination du risque d'incendie autour des noyaux urbains et des maisons isolées

Le risque d'incendie autour des noyaux urbains a augmenté de 1,8 à 2,8. La situation la plus préoccupante est celle d'El Bosque, Grazalema et Benamahoma, proches de masses forestières, et très fréquentées par les touristes. La politique forestière qui avait pour but à l'origine de protéger les villages de l'érosion les expose à présent à un risque d'incendie (plantation de résineux aux alentours de El Bosque, Grazalema).

Tableau 5 : Indice de risque (surfaces en %) autour des noyaux urbains en 1956 et 2002

Noyaux Urbains	Année	Indice de risque %							Risque moyen	Evolution 1956-2002	Rang 2002
		1	2	3	4	5	6	7			
Benamahoma	1956	14	25	59		2			2,5	1,2	6
	2002	1	23	16	31	22	7		3,7		
Benaocaz	1956	15	70	11		5			2,1	0,4	4
	2002	15	57	5	7	16			2,5		
Benaobjan	1956	12	87	1					1,9	0,6	4
	2002	5	64	18	6	7			2,5		
El Bosque	1956	0	93	7					2,1	1,9	7
	2002	14	39	1	4	2	1	39	4		
Grazalema	1956	35	65	0		0			1,7	1,5	5
	2002	3	49	22		14	4	8	3,2		
Montejaque	1956	21	78	1					1,8	0,5	3
	2002	11	56	26	5	2	0		2,3		
Ubrique	1956	10	47	22		20			2,7	0,5	5
	2002	3	41	4	39	12	1		3,2		
Villaluenga	1956	24	70	1		2	4		2	0,2	2
	2002	44	32	1	11	7	5		2,2		
Zahara	1956	32	66	2					1,7	-0,1	1
	2002	44	52	4					1,6		

L'indice de risque autour des maisons isolées a augmenté de 2,2 à 2,9. Les maisons se trouvent dans un environnement végétal qui représente un risque plus important qu'en 1956, à l'exception de quelques vallées aux paysages cultivés situées à la périphérie du Parc. Les situations à haut risque, exceptionnelles en 1956, sont devenues banales en 2002.

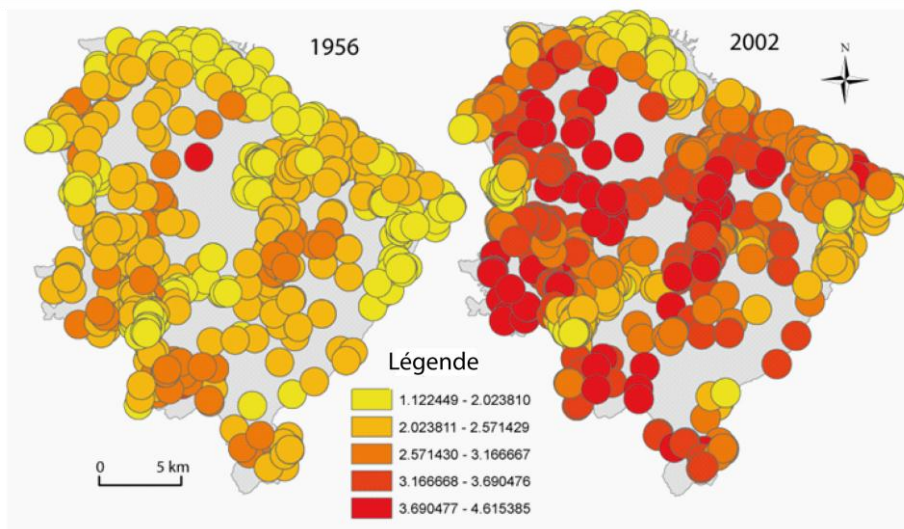


Figure 3 : Indice de risque autour des maisons isolées en 1956 et 2002

### CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La dynamique de boisement observée dans le Parc de Grazalema est comparable à d'autres paysages méditerranéens (Garcia-Ruiz et al. 1996, Lasanta et al. 2005), même si elle n'atteint pas les extrêmes observés en Catalogne espagnole (Varga 2007). Elle est liée à la déprise pastorale et à l'abandon des activités traditionnelles qui ont affecté l'ensemble des montagnes méditerranéennes, et aux conséquences de la mise en défens par le Parc. La mosaïque de paysage a été préservée, mais elle est plus favorable à la propagation des incendies.

La configuration paysagère observée autour de plusieurs bourgs cumule tous les indicateurs d'alerte déterminés par Caballero et al. (2005). De plus l'extension de ces bourgs est en bonne partie liée au développement des résidences secondaires et touristiques (la population permanente augmente moins que les surfaces bâties, voire elle diminue). L'interface entre milieu urbain et forestier n'en est que plus préoccupante, compte-tenu de la faible conscience du risque de la population touristique.

Tableau 6 : Evolution comparée de la population et de la superficie urbaine 1956-2002

Commune	Hab.	Noyau urbain	Surface	Commune	Hab.	Noyau urbain	Surface
Benaocaz	-50	Benaocaz	250				
Benaojan	-33	Benaojan	239	Montejaque	-56	Montejaque	119
El Bosque	17	El Bosque	577	Ubrique	122	Ubrique	341
Grazalema	-39	Benamahoma	224	Villaluenga	-28	Villaluenga	72
		Grazalema	46	Zahara	-48	Zahara	129

L'urbanisation diffuse, certes plus modeste que sur le littoral (Carrega 2005) multiplie les points potentiels de départ de feu. Les normes du Parc concernent les seuls bâtiments agricoles, et certaines maisons ont été construites sans permis. La plupart des voies sont des pistes difficilement carrossables, que le Parc répugne à améliorer de crainte d'augmenter le dérangement de la faune et les risques de mise à feu par les promeneurs (Porn 2006), contrairement aux politiques adoptées dans d'autres régions (Caballero et al., 2005). Ceci pourrait se retourner contre le capital naturel dont le Parc a la charge lors d'un événement important, si les résidents des maisons étaient menacés (leurs habitants et les maisons seraient prioritaires pour les pompiers). De plus, cela gêne l'activité agricole, alors que celle-ci contribue à entretenir le paysage.

La cartographie et la géomatique sont des outils adaptés au dialogue entre les scientifiques et les praticiens du territoire. Notre évaluation du risque d'incendie induit par l'urbanisation n'a pas l'ambition des modèles prédictifs de propagation d'incendie (Blanchi et al. 2003, Madero et al. 2007, Ramon 2007). Mais elle en a d'autres. L'analyse quantitative du paysage et du bâti à haute résolution spatiale permet un rapprochement avec les modèles biologiques de sensibilité au feu, une application de la métrique du paysage et des analyses spatiales dont les résultats s'avèrent convergents. Les cartes fondées sur des



chartes graphiques simples et des éléments de quantification facilitent le dialogue entre les chercheurs et les responsables de l'aménagement du territoire (Ferragut et al. 2008). Elles permettent de cerner les causes de la situation actuelle et les réponses possibles pour les aménageurs : amplifier la politique de contractualisation avec les agriculteurs qui contribuent à l'entretien de la végétation ligneuse, diversifier les actions de lutte contre l'incendie, en les concentrant autour de l'interface urbaine-forestière, des chemins, et en préconisant l'aménagement des alentours des maisons comme cela est fait dans d'autres régions (Giroud et al., 2006). Elles peuvent aussi orienter une politique sélective d'amélioration de la voirie. Toutefois, les cartes ne sont pas assez détaillées pour permettre au Parc de prendre des décisions concernant des maisons bien précises. Notre étude ne fait ainsi que contribuer à une approche intégrée de l'aménagement de ce territoire.

### **Bibliographie**

Badia A, Saurí D, Cerdan R, Llurdés J., 2002, Causality and management of forest fires in Mediterranean environments: an example from Catalonia. *Environmental Hazards*, 4:23-32.

BEROLO W., BONORA L., BOVIO G., CAMIA A., CARREGA P., CONESE C., DESHAYES M., FOX D., GITAS I., GUGLIELMET E., KARTERIS M., LAMPIN C., MALLINIS G., MARTÍN P., MARTÍNEZ J., MARTÍNEZ J., MOLINA D., SABATÉ S., SALAS J., SERGIOPOULOS I., VAYREDA J., 2004, Wildland Fire Danger and Hazards: a State of the Art, Deliverable D-08-02, Contract n° EVR1-CT-2002-40028, Euro-Mediterranean Wildland Fire Laboratory, <http://www.eufirelab.org>.

BLANCHI, R., ALLGÖWER, B., KOUTSIAS N., SALAS, J. CAMIA A. 2003 Fire risk mapping (I): Methodology, selected examples and evaluation of user requirements.(E. CHUVIECO ed.). *Forest Fire Spread Prevention and Mitigation (SPREAD) Deliverable D161*. Contract number EVG1-CT-2001-00043. 46 p.

CABALLERO D., GIROUD F., PICARD C., XANTHOPOULOS G., 2005; Wildland-Urban Interface Management:A State of the Art, Deliverable D-10-01, Contract n° EVR1-CT-2002-40028, Euro-Mediterranean Wildland Fire Laboratory, <http://www.eufirelab.org>.

CARREGA P., 2005. « Le risque d'incendie en forêt méditerranéenne semi-urbanisée : le feu de Cagnes-sur-Mer (31 août 2003) », *L'espace géographique* n°2005-4, 2005

COHEN M., ALEXANDRE F., LLAUSAS A., GENIN A., 2009, From a rural Mediterranean land to an abandoned wooded mountain. The case of Grazalema Natural Park (Andalucía, Spain), in Breuste, J.; Kozová, M.; Finka, M. (Eds.) 2009. *European Landscapes in Transformation: Challenges for Landscape Ecology and Management*. European IALE Conference 2009. Salzburg (Austria), Bratislava (Slovakia): 455-461.

FERRAGUT L., MONEDERO S., ASENSIO M. I.& RAMIREZ J., 2008 Scientific advances in fire modelling and its integration in a forest fire decision system, in J. de las Heras, C.A. Brebbia, D. Viegas, V. Leone Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires I; *Ecology and the Environment* volume 119, Wit Pres.

García-Ruiz J, Lasanta T, Ruiz-Flaño P, Ortigosa L, White S, Gonzáles C, Martí C., 1996, Land use changes and sustainable development in mountain areas: a case study in the Spanish Pyrenees. *Landscape Ecology*, Vol. 11, 5:267-277.

GODRON M., DAGET P., LONG G., SAUVAGE C., EMBERGER L., LE FLOCH' E., POISSONET J., WACQUANT J.P., 1983 [1968]. *Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu*, Paris, Ed. CNRS.

GIROUD F., PICARD C., ROSELLO G., XANTHOPOULOS G., 2006, Wildland-urban Interfaces Management. Complement to the State of the Art, Deliverable D-10-04, Contract n° EVR1-CT-2002-40028, <http://eufirelab.org>

GÓMEZ DE LOS BUEIS, J., 2000. *Defensa del Monte: Modelos de combustibles en la comarca del Bierzo*. [www.tecnosylva.com](http://www.tecnosylva.com).

LASANTA T, VICENTE-SERRANO S, CUADRATS-PRATS J., 2005, Mountain Mediterranean landscape evolution caused by the abandonment of traditional primary activities: a study of Spanish Central Pyrenees, *Applied Geography*, 25:47-65.

MC GARIGAL K, MARKS B (1995) FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. Washington, DC: United States Department of Agriculture General Technical Report PNW-GTR-351, 42 pp.

MADERO G., IGNACIO J., CISNEROS J. R. Y FERNÁNDEZ M.A., 2007, Cartografía de combustibles de alta resolución mediante integración de clasificación orientada a objetos y técnicas geoestadísticas, *Wildfire 2007*, Sevilla.

PORN, Plan de Ordenación de los Recursos Naturales del Parque Natural Sierra de Grazalema, 2006, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, 70 p. + anexos, [www//juntadeandalucia.es](http://juntadeandalucia.es)

PAUSAS J., LLOVET J., RODRIGO A., VALLEJO R., 2008, Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? –A review, *International Journal of Wildland Fire* 2008, 17, 713–723

Quezel P., Médial F., 2003, « Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen », Paris, Elsevier, 483 p.

RAMÓN G. J., PALIA M., PUKKALA M., TRASOBARES A., 2007, Modelling the risk of forest fires in Catalonia (North-East Spain) for forest management planning purposes, *Wildfire Conference 2007*, Sevilla

TRABAUD L., 1976. « Inflammabilité et combustibilité des principales espèces des garrigues de la région méditerranéenne », *Oecologia Plantarum*, *Revue internationale d'écologie fondamentale et appliquée*, tome 11, n°2, Paris, Gauthier-Villars

VARGA D., 2007. Paisatge i abandonament agrari a la muntanya mediterrània. Una aproximació al cas de les valls d'Hortmoier y Sant Aniol (Alta Garrotxa) des de l'ecologia del paisatge, Girona, Tesi doctoral del Programa de Doctorat de Medi Ambient de la Universitat de Girona, 371 pp.

[www.geogra.uah.es/firemap](http://www.geogra.uah.es/firemap)

Remerciements :

Ces recherches ont été conduites dans le cadre de l'UMR Ladyss, avec l'appui technique du Pôle Image (Université Paris Diderot) et financier du MEDDAD (Programme Paysage et Développement Durable)