

Érosion hydrique et paysages dans les montagnes méditerranéennes – Quelques enseignements d'une comparaison spatiale et bibliographique entre la France du Sud et la Catalogne espagnole

Marianne Cohen ^a, Francesc Aspero ^b, Véronique Fourault ^c, Alia Gana ^a, Catherine Mering ^d, Luis Outeiro ^b, Milena Palibrk ^a, Ana Poletto ^a, Raymond Raymond ^a, Freddy Rey ^e et Xavier Ubeda ^b

Les montagnes méditerranéennes constituent un terrain d'étude intéressant car présentant des liens entre érosion, paysage et développement durable. Les paysages méditerranéens occupent en effet une place bien particulière dans le débat scientifique, en relation avec la controverse scientifique quant à l'état de « dégradation » des milieux méditerranéens, documenté depuis longtemps, et notamment pour ce qui concerne les montagnes, par une abondante littérature sur la question de la torrentialité (Surell, 1841). Ceci a notamment justifié la politique de reboisement, élaborée en réponse au problème de l'érosion. Cette « crise torrentielle » a depuis été largement relativisée (Kaiser, 1987 ; Bravard, Métaillé, *in* Beck et Luginbuhl, 2005). Elle n'en a pas moins été le point de départ de ce que l'on peut considérer comme l'une des premières politiques paysagères de protection, voire les prémisses des politiques de développement durable, à savoir la RTM (restauration des terrains en montagne, le mot de restauration étant ici à prendre au sens fort – Poncet, 1995 ; Tabeaud *et al.*, 2003) ou la mise en place des *monte publico* (Espagne : Gomez Mendoza 1992, 2000). Il n'est pas anodin que ces reboisements soient aujourd'hui rebaptisés « restauration écologique » par les forestiers eux-mêmes, qui tentent d'en montrer les intérêts et les limites vis-à-vis des problèmes d'érosion (Didon-Lescot, 1996 ; Rey, 2002). D'un point de vue paysager, l'introduction d'essences allochtones, encouragée par les aides européennes à la reforestation, forme de grandes masses boisées ne répondant pas aux

critères traditionnels de définition du paysage méditerranéen (Pech et Simon, 2000 ; Simon et Pech, 2003). D'un point de vue écologique, se pose le problème de la gestion des massifs arrivés à maturité et de leur contribution à la préservation de la biodiversité (Vallauri, 1997).

Aujourd'hui, les montagnes méditerranéennes se trouvent dans une situation que certains pourraient trouver paradoxale. On constate la persistance d'une activité d'érosion, comme le montrent de nombreux travaux de recherche reposant sur des mesures, tant en France (travaux du GIS¹ Draix « Érosion en montagne » ; Descroix *et al.*, 2002 ; Mathys, 2006), que dans d'autres pays européens (Espagne, Italie : Geeson *et al.*, 2002). Les facteurs déterminants de cette érosion sont liés entre eux, même si des hiérarchisations peuvent être dégagées : le type de roche, la topographie (Lecompte *et al.*, 1997, 1998 ; Descroix, 1998 ; Richard et Mathys, 1999 ; Descroix et Olivry, 2002 ; Maquaire *et al.*, 2003), le stade de la succession végétale (Rovéra *et al.*, 1999), la fréquence des pluies intenses (Alexandre et Lecompte, 2001), mais aussi les aménagements et discontinuités qui favorisent la concentration des eaux de ruissellement, ainsi le réseau des chemins et routes en terre (Ubéda et Sala, 2001). La couverture végétale n'est en revanche pas systématiquement corrélée à la production de sédiments (Dumas *et al.*, 1987 ; Brown, Francis et Thornes, Trimble, *in* Thornes, 1990 ; Cammeraat *et al.*, *in* Geeson *et al.*, 2002 ; Rey, 2002 ; Cohen et Rey, 2005). Toutefois, de nombreuses études montrent son rôle modérateur, direct ou indirect, dans les processus d'érosion, en

1. Groupement d'intérêt scientifique.

Les contacts

a. CNRS, Université Paris VII, UMR Ladyss, Dynamiques sociales et recomposition des espaces, Case 7001, 75205 Paris Cedex 13.

b. GRAM (Grup de Recerca Ambiental Mediterrània), Departament de Geografia Física i AGR, Facultat de Geografia i Història, Universitat de Barcelona, C/Montalegre, 6. Planta 3, 08001 Barcelona, Espagne

c. Université Paris X, Département de Géographie, 200 avenue de la République, 92001 Nanterre Cedex

d. CNRS, Université Paris VII, UMR Prodig, Pôle de recherche pour l'organisation et la diffusion de l'information géographique, 2 rue Valette, 75005 Paris

e. Cemagref, UR EMGR, Écosystèmes montagnards, Domaine universitaire, BP 76, 38402 Saint-Martin-d'Hères Cedex

2. Électricité de France.
3. Remplacée depuis 2009 par l'Agence andalouse de l'eau.
4. Direction départementale de l'équipement.
5. Office national des forêts.
6. Groupe de renforts et d'actions forestières.
7. *Alternatives to high intensity forest fires.*

particulier lorsque le couvert végétal est continu (Dunne *et al.*, 1991 ; Snelder et Bryan, 1995 ; Desmet et Govers, 1995 ; Bergkamp *et al.*, 1996 ; Morgan *et al.*, 1997 ; Solé-Benet *et al.*, 1997 ; Bochet *et al.*, 1998 ; Cerdá, 1998 ; Bochet *et al.*, 1999 ; Cerdá, 1999 ; Martínez-Mena *et al.*, 1999 ; Richard et Mathys, 1999 ; Gyssels *et al.*, 2005). En revanche, la survenue d'incendies violents, favorisée par les essences inflammables de la forêt méditerranéenne, est un facteur aggravant jusqu'à ce que la végétation s'installe à nouveau (Ballais, 1993 ; Úbeda et Sala, 2001 ; Úbeda *et al.*, 2002). Les conséquences de ces processus d'érosion sont loin d'être négligeables, surtout lorsqu'elles sont associées à des crues de rivières torrentielles. Régulièrement, les matières en suspension viennent encombrer les retenues hydro-électriques ou destinées à l'irrigation se trouvant à l'aval des grands systèmes, ce qui est le cas dans le bassin de la Durance (Brochet et Meunier, 1993 ; Balland *et al.*, 2002). En outre, des processus d'érosion plus brutaux que ce simple transport sur longue distance peuvent provoquer des ravinements ou éboulements dans les secteurs montagneux d'amont, coupant des routes ou allant jusqu'à mort d'hommes. Dégâts matériels importants et pertes en vies humaines concernent surtout les fonds de vallée en contexte de crues torrentielles, tel celui de l'Ouvèze en septembre 1992, où divers travaux ont permis de replacer la succession des systèmes fonctionnels amont/aval et versants/lits fluviaux dans un paysage sensiblement modifié par les abats d'eau et les écoulements (Arnaud-Fassetta *et al.*, 1993 ; Flageollet *et al.*, 1993), y compris sous forêt (Kaiser, 1993).

Ces catastrophes dans des régions à l'économie fragile concernent aussi des bassins versants entiers, comme le bassin du Tagliamento (Frioul-Vénétie Julienne), où une brusque onde de crue chargée de matériaux issus des glissements de terrain et des laves torrentielles d'amont, se propagea en quelques heures seulement et inonda la plaine d'aval (Mosetti, 1983 ; AAVV, 1990 ; Garlatti, 2007). En France et en Espagne, l'épisode paroxysmique majeur ayant touché une moyenne montagne méditerranéenne reste « l'Aiguat del 40 » qui, en octobre 1940, affecta les deux versants des Pyrénées orientales et leurs avant-pays (Becat, Soutadé, Ribas i Palom, 1990), la forêt ne faisant plus écran (Lalanne-Berdoutiq, 1990). Parallèlement, les moyens pouvant être consacrés aux opérations de reboisement ou de restauration des terrains en montagne sont aujourd'hui beaucoup plus limités, et doivent donc être ciblés sur

les secteurs les plus problématiques. Plus généralement, ces questions sont liées aux problèmes de gestion de l'eau dans les bassins hydrologiques méditerranéens, marqués par une fragilité de la ressource et des usages concurrentiels (Ventura *et al.*, 2000 ; Sauri *et al.*, 2001), porteurs de conflits socio-environnementaux (Pavon *et al.*, 2003). Cette chaîne des processus hydromorphologiques d'amont en aval, exceptionnels ou habituels, concerne en effet toute une série d'acteurs :

- les organismes gérant les barrages en aval (en France : EDF² ; en Andalousie : la Confederación hidrográfica del Guadalquivir – MMA³, 1994) ;
- les institutions gérant les territoires d'amont (en France : DDE⁴, ONF⁵, parcs régionaux ; en Espagne : Observatoire des paysages catalans, GRAF⁶, ALINFO⁷, Communauté autonome) ;
- les professionnels (agricoles notamment, comme l'a montré une étude exploratoire sur la perception de l'érosion hydrique par les agriculteurs dans les Baronnies méridionales – Dufau, 2004), et les individus eux-mêmes.

Alors que de nombreux travaux scientifiques, notamment en écologie, relativisent aujourd'hui la « dégradation » des milieux méditerranéens (Naveh, 1998 ; Grove et Rackham, 2000 ; Alexandre, 2001), dans la lignée d'une remise en cause d'un supposé « équilibre de la nature » hors influence de l'homme, des études européennes à connotation plus alarmiste sont publiées sur la « désertification méditerranéenne » (Geeson *et al.*, 2002). Cette notion de désertification ne s'applique pas à toutes les montagnes méditerranéennes, notamment pas en France et en Italie septentrionale. Elle n'en exprime pas moins la position scientifique d'un certain nombre de spécialistes, insistant sur la dégradation de la couverture végétale et des sols, le rôle néfaste d'un pâturage mal contrôlé (Naeth et Chanasyk, 1996 ; Heathwaite *et al.*, in Thornes 1990 ; BRE, 2000 ; Geeson *et al.*, 2002), le risque d'incendie et leurs conséquences sur la vigueur des processus d'érosion. De récents événements de crues ou des épisodes de sécheresse contribuent à entretenir cette inquiétude, voire à l'amplifier si l'on y voit les prémises des effets du changement climatique, bien que ces irrégularités du climat ne soient pas limitées aux milieux méditerranéens. Le retournement d'image des paysages méditerranéens suite à la relativisation de ces modèles catastrophistes de « dégradation » et de « crise torrentielle » n'est donc pas complet.

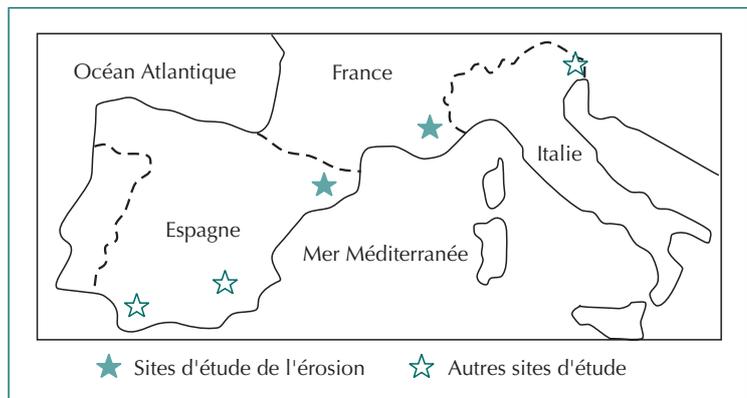
Contexte de l'étude

La question de l'érosion hydrique dans les montagnes méditerranéennes ne peut être posée sans tenir compte de l'évolution du contexte de production des paysages par les sociétés locales, qui a fortement évolué depuis l'émergence de la « crise torrentielle ». On assiste en effet aujourd'hui à un double mouvement : d'une part, la déprise agro-pastorale qui livre des territoires entiers à la reconquête par les ligneux et au risque d'incendie, d'autre part la persistance, voire le développement d'une agriculture très spécialisée dans des « niches » de marché porteuses : lavande (en altitude), abricots, oliviers. Pour ce qui concerne le cas des régions touchées par la déprise, l'analyse des dynamiques paysagères au cours des cinquante dernières années réalisée dans plusieurs zones méditerranéo-montagnardes européennes (en France, Espagne et Italie du Nord, figure 1 ; Cohen, 2008) montre l'existence de deux trajectoires paysagères, toutes deux associées avec des processus d'érosion.

Les deux exemples présentés dans cet article sont représentatifs de ces deux trajectoires et peuvent être positionnés sur un gradient de perte de contrôle des dynamiques paysagères par les sociétés locales.

Des paysages à matrice forestière

Ce sont des paysages où la biodiversité liée aux espaces ouverts est sérieusement menacée, et où les populations rurales (dont les très rares exploitations agricoles ou forestières) soit vivent difficilement la fragmentation des paysages ouverts, soit résident et travaillent au moins à temps partiel dans des noyaux urbains et industriels situés à la périphérie de la zone. Lorsque cette matrice forestière est constituée d'essences méditerranéennes inflammables, cette continuité spatiale de la forêt, de même que la continuité verticale de la structure végétale, induit un risque d'incendie. L'accumulation de biomasse induite par la déprise facilite la propagation d'incendies violents, avec de graves conséquences humaines, économiques et écologiques, et notamment un impact sur l'érosion (Catalogne : Ubeda et Sala, 2001 ; Lorca et al., 2004 ; Provence : Ballais et Bosc, 1994 ; Ballais, 1993). Une éventuelle pression d'urbanisation constitue alors un facteur de vulnérabilité accrue (Ubeda et Sala, *op.cit.*). Malgré cette prédominance du boisement (ex. : Massif des Gavarres où le taux de boisement est proche de 87 %), on peut noter la persistance



de processus d'érosion localisés. Les politiques publiques élaborées en réponse à cette situation sont très diverses selon les contextes nationaux (ex. en Italie du Nord : Garlatti, 2008 ; en Catalogne : Aspero et al., 2008, *infra*).

▲ Figure 1 – Carte de localisation.

Des paysages en mosaïque

Ce sont des paysages associant cultures, pâtures, garrigue et forêts, mais ayant néanmoins connu une progression de la forêt depuis les années cinquante, notamment du fait de plantations de résineux destinés à lutter contre l'érosion. Cette évolution du paysage induit des risques d'incendie, de perte de biodiversité. Dans les Alpes du Sud françaises, on a ainsi assisté à une progression des surfaces forestières, constatée depuis le XVIII^e siècle d'après les cartes de Cassini (multiplication par trois des surfaces ; Vallauri, 1997) et plus récemment par comparaison entre photographies aériennes actuelles et remontant aux années cinquante, partiellement due aux plantations RTM (Vallauri, 1997 ; Cohen et Rey, 2005 : 35 % des surfaces sont forestières dans le Val de la Méouge). La confrontation, à plusieurs échelles spatiales, entre ces dynamiques de paysage et les valeurs de l'érosion hydrique a montré que les processus érosifs persistent en contexte de reconquête végétale tant dans les Préalpes de Digne que dans les Baronnies méridionales. En effet, on ne peut établir une règle simple entre le taux de couverture végétale et la diminution de la production de débris (Cohen et Rey, *op.cit.*). Ces processus (changement de paysage, érosion hydrique) sont très variablement pris en charge par des politiques publiques, en fonction de l'existence ou non d'un acteur territorial systémique et des effets à distance de certains processus (ex. : le plan Durance, traitant de la question de l'érosion à l'échelle régionale). Les agriculteurs (un peu plus

nombreux que dans le cas précédent), pratiquant des systèmes d'élevage relativement extensifs, ressentent des difficultés et sont confrontés aux politiques de plurifonctionnalité des paysages.

Dans cet article, nous nous attacherons à mettre en évidence les processus d'érosion rencontrés dans ces deux types de paysage, ainsi que la façon dont ils sont pris en charge par les acteurs locaux et professionnels.

Une méthodologie associant l'étude des processus d'érosion et celle de leur prise en compte par les populations et les acteurs institutionnels

Le programme de recherche dans le cadre duquel nos études sur l'érosion ont été conduites visait à comprendre les relations entre les processus naturels pouvant affecter une région et ses paysages, et les stratégies d'action éventuellement développées pour y faire face. C'est pourquoi nous avons associé deux types de méthodes, d'une part pour améliorer nos connaissances sur les processus d'érosion et d'autre part, pour analyser la façon dont les acteurs locaux intègrent ces processus dans leurs actions directes ou indirectes sur le territoire.

La mesure de l'érosion et sa régionalisation

LA MESURE DE L'ÉROSION

La mesure de l'érosion a été conduite dans la région forestière granitique des Gavarres (Catalogne espagnole) dans un réseau de stations. Le premier choix est celui d'un bassin versant élémentaire ; les pentes fortes y sont fréquentes, ce qui peut influencer sur les résultats. La comparaison des taux d'érosion selon l'usage des sols s'appuie sur l'échantillonnage de trois cas de figure dans ce bassin :

- bois dense non géré, couverture arborée 100 % (pin *Pinus picea* et ou chêne liège *Quercus suber*) ;
- bois géré, de chêne liège (*Quercus suber*) ou pin (*Pinus picea*), dont la strate arbustive (*Erica arborea*, *Arbutus unedo*) a été éclaircie mécaniquement ;

– chemins forestiers de niveau 3, non asphaltés, en mauvais état, d'après une cartographie établie à partir des photographies aériennes.

Les méthodes employées ont été la simulation de pluies (avec protocole standard) et la pose de pièges (Gerlach : forêt dense et type siltence : forêt gérée) pour le recueil des sédiments et leur analyse en laboratoire (détermination du taux de matière organique et de la fraction granulométrique fine dans les sédiments).

LA RÉGIONALISATION DES MESURES D'ÉROSION

Comment passer de la mesure, forcément ponctuelle, réalisée dans des stations, à une évaluation à l'échelle de la région ? Dans les Alpes du Sud, où les mesures avaient été réalisées dans le cadre de précédents programmes de recherche (Lecompte *et al.*, *op.cit.*), la démarche a été conduite en deux étapes et avec deux outils.

Dans un premier temps, l'interprétation des photographies aériennes de 1948 et 1991, orthorectifiées et intégrées dans un SIG⁸, permet de remettre en perspective les mesures réalisées dans les stations, en repérant les zones de sol nu et les autres formes d'occupation du sol, les changements survenus depuis les années cinquante, leurs relations avec les alternances entre substrats marneux et calcaire. Toutefois, cette méthode est très fastidieuse (environ un millier de zones de sol nu digitalisées dans la zone de 79 km² à chaque date). Reposant sur une interprétation visuelle, elle ne peut être automatisée et par conséquent envisagée à l'échelle régionale.

C'est pourquoi nous avons élaboré une méthode de traitement automatisable d'identification des fonds de ravines végétalisées, s'appuyant sur les images multispectrales Spot 5 à haute résolution spatiale et le MNT⁹ Opsia (Cemagref). En effet, les travaux de Rey (*op.cit.*) ont montré que l'érosion hydrique était ralentie, voire stoppée lorsque la végétation colonisait les fonds de ravines. La reconnaissance automatique de cette couverture végétale spécifique permettrait de différencier les ravines peu actives (et par conséquent de repérer celles présentant une activité érosive). Cette méthode gagnerait à être développée dans les Préalpes de Digne, où les résultats pourraient être validés *in fine* par leur confrontation avec des cartes à grande échelle de la répartition de la couverture végétale dans des ravines (Rey, *op.cit.*). Des obstacles techniques (essentiellement liés à la déformation des images Spot initialement

8. Système d'information géographique.

9. Modèle numérique de terrain.

acquises, des images orthorectifiées étant depuis disponibles sur demande auprès du CNES¹⁰) ont limité l'aboutissement de cette démarche, dont nous présenterons les premiers résultats.

La prise en compte de l'érosion par les acteurs locaux et professionnels

Deux méthodes ont été appliquées, l'enquête et l'analyse de textes.

LES ENQUÊTES

Le modèle d'enquête comporte un guide d'entretien en huit rubriques (tableau 1). Il est complété d'un questionnaire photographique. Un certain

nombre de clichés sont présentés aux interlocuteurs qui s'expriment librement (Luginbuhl, 1989), selon une série de thématiques générales (les paysages méditerranéens) ou plus spécifiques (ex. : l'érosion, tableau 2). L'enquête a été appliquée à un nombre limité de personnes, significatif de la diversité des acteurs locaux (tableau 3). Deux types d'acteurs ont été interrogés : a) des acteurs directs, dont les pratiques peuvent influencer les processus paysagers et d'érosion, b) des acteurs indirects : représentants de l'administration, d'ONG¹¹, entrepreneurs, élus. Les traitements de l'information ont privilégié la reconstitution de chaînes logiques apparaissant dans le discours des personnes interviewées.

10. Centre national d'études spatiales.

11. Organisations non gouvernementales.

Ordre	Thème
1	Présentation de l'enquête
2	Caractérisation de la région et dynamiques du paysage perçues
3	Dynamiques spécifiques (ex. : progression de la forêt, érosion, si non évoquée spontanément, relance de l'interlocuteur)
4	Identification des causes ou processus à l'origine des changements observés dans les paysages
5	La position de l'informateur : opinion, possibilités d'actions, actions entreprises
6	Position vis-à-vis de mesures et projets spécifiques (ex. : projet de parc)
7	Jeux d'acteurs
8	Dimension prospective : perception du futur, du changement climatique

◀ Tableau 1 – Guide d'entretien appliqué à la perception des processus paysagers et d'érosion.

Thème	Hypothèse sous-jacente	Série de photos
Agriculture et érosion	Le risque d'érosion sur les terres agricoles est-il perçu, pris en compte par les acteurs ? Sur quelles cultures ? (paysage dramatique)	Traces d'érosion dans la céréaliculture, l'olivieraie et la lavandaie
Formes de l'érosion	L'érosion est-elle perçue comme un risque, comme un facteur de déstabilisation végétale ? Les formes d'érosion sont-elles identifiées et reconnues ?	Photos montrant les détails de ravines

◀ Tableau 2 – Élaboration du questionnaire photographique sur la perception de l'érosion.

Type d'acteurs	Nombre d'entrevues réalisées	
	Gavarres	Baronnies
Aménageurs, techniciens et administrations	4	7
Scientifiques et médias	3	1
Élus locaux	0	3
Organisations non gouvernementales	3	1
Entrepreneurs	4	0
Acteurs directs : agriculteurs, propriétaires ou entrepreneurs forestiers	5	7
Total	22	19

◀ Tableau 3 – Structure d'échantillonnage des enquêtes.

L'ANALYSE DE SOURCES ÉCRITES

L'analyse de textes considérés comme représentatifs du regard porté sur l'érosion et le paysage par des acteurs institutionnels et/ou scientifiques nous éclaire sur le contexte dans lequel les acteurs locaux s'expriment. Une étude historique de divers textes techniques relatifs à l'érosion, de revues forestières française et espagnole (*Revue des Eaux et Forêts*, devenue en 1945 la *Revue Forestière Française*, et *Montes*), ainsi que la consultation des catalogues des principaux organismes forestiers espagnols et français, permet d'esquisser certaines des évolutions du rapport établi par les gestionnaires des deux pays entre paysage, forêt et érosion depuis la fin du XIX^e siècle. Tous les articles relatifs au paysage de la *Revue Forestière Française* et de *Montes* ont fait l'objet d'une analyse détaillée, portant tout à la fois sur les tonalités du texte, les qualités de ses auteurs, les thèmes abordés, les composantes du paysage, et pour ce qui nous concerne ici, les descriptions de paysage d'érosion. Des bases de données bibliographiques, telles BiblioFor (Espagne) ont également été mobilisées.

Faute de temps, les périodes antérieures ont été étudiées de manière non exhaustive, en privilégiant les textes admis comme fondateurs, souvent cités en référence dans les textes postérieurs, et les périodes durant lesquelles le contexte politique a placé l'érosion au cœur des débats politiques et techniques. L'impossibilité matérielle d'accéder directement à un grand nombre de sources a fortement limité l'ampleur de cette étude, qui mériterait un approfondissement réel, afin de repérer un éventuel enrichissement de la notion de paysage dans les approches de l'érosion, enrichissement qui témoignerait d'une intégration croissante de la globalité des problématiques liées au développement rural. La documentation technique mériterait aussi d'être explorée.

Principaux résultats

L'érosion dans deux territoires montagnards méditerranéens

L'hétérogénéité des situations de nos différents terrains est confirmée, du fait de combinaisons spécifiques entre la lithologie, le caractère diffus ou localisé des processus, le rôle de l'utilisation du sol. Au-delà des automatismes de pensée liant l'érosion à la destruction de la forêt, les situations rencontrées en contexte de déprise suggèrent une vision plus complexe, avec le rôle de facteurs nou-

veaux (ex. : l'urbanisation et la multiplication des infrastructures, notamment des chemins, la gestion forestière de lutte contre l'incendie, l'évolution des pratiques agricoles, la diversité des paysages).

Deux cas sont ici exposés, représentant chacun une facette de la situation que nous avons pu observer dans les régions étudiées dans notre programme de recherche international. Il ne s'agit pas de comparer de façon abrupte ces deux situations, mais plutôt de montrer comment la question de l'érosion, au cœur des problématiques territoriales dans la montagne méditerranéenne, peut être appréhendée dans des contextes différents, en lien avec les méthodologies employées dans chaque cas.

L'ÉROSION DANS UN PAYSAGE DE MATRICE FORESTIÈRE

D'après les mesures réalisées dans les Gavarres, les sédiments produits lors des expériences de simulation de pluies (période 2006-2008) proviennent à 85 % des chemins forestiers, 14 % des forêts gérées, et 1 % des forêts denses. La teneur en matière organique et en éléments fins des sédiments est bien supérieure dans les forêts (tableau 4), en particulier dans les forêts non gérées (denses). La proportion d'éléments fins est significativement supérieure sous forêt, gérée ou non, que sur les chemins.

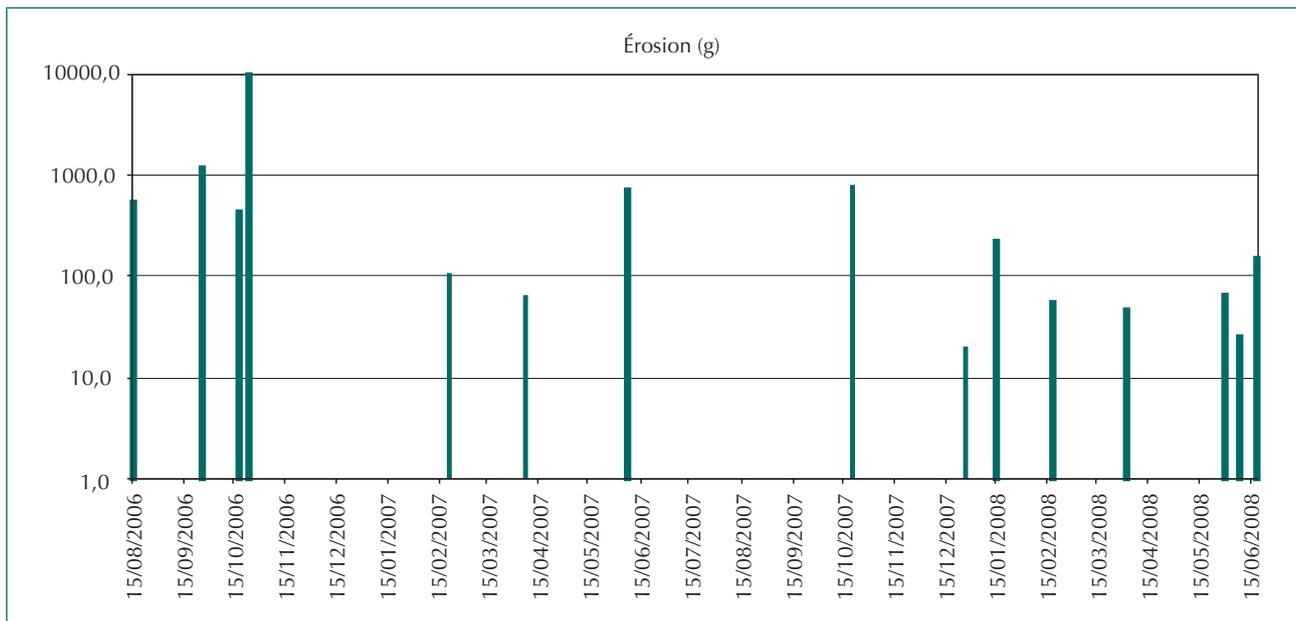
Au cours de la période d'étude (2006-2008), quinze événements érosifs se sont produits dans les chemins, trois dans les forêts gérées et un dans la forêt dense (figure 2). Il y a une corrélation ($r = 0,8708$) entre l'intensité des pluies et la quantité de sédiments piégés.

Un dernier résultat concerne l'estimation de l'érosion agricole (tableau 5).

D'après ces résultats, les chemins non asphaltés sont les milieux qui contribuent le plus à l'érosion hydrique. Fait aggravant, les sédiments arrivent

▼ Tableau 4 – Pourcentage de matière organique et d'éléments fins dans le sédiment piégé dans trois parcelles d'étude.

Type d'utilisation du sol	% matière organique	% fines < 0,05 mm
Chemins	5,8	21,1
Forêt dense	35,3	32,3
Forêt gérée (sous-bois débroussaillé)	14,5	31,4



▼ Tableau 5 – Érosion estimée dans les champs agricoles, en fonction de l'époque de l'année (sur 1 ha).

Phase du cycle cultural	Érosion (kg)	Précipitations (mm)	Intensité (mm/h)
Labour	1 606	393,0	30
Semis	3 843	94,8	19,2
Plein développement	287	160,5	9,6
Total	5736	648,3	

▲ Figure 2 – Quantité de sédiments piégés (en g) dans le chemin forestier et date de l'événement.

alors directement jusqu'à la rivière, puis sont transportés jusqu'au drain majeur du bassin (Riera de Vernagà). Le facteur déterminant de la mise en mouvement des particules de sols est l'intensité des pluies. Les sols des chemins ont une faible capacité d'infiltration, ce qui explique que lors des pluies intenses, toute l'eau de ruissellement s'écoule dans ces chemins, déclenchant l'érosion (photo 1). Leurs caractères chimiques et physiques témoignent de leur dégradation. Lorsque l'ablation atteint le niveau de la roche-mère (granite), les rigoles sont déviées latéralement.

Or ces chemins sont stratégiques dans la gestion du massif forestier, car ce sont eux qui permettront le déplacement des pompiers s'il survenait un incendie majeur.

Un autre résultat intéressant concerne le rôle de la gestion forestière. Celle-ci a d'abord un objectif économique ; secondairement elle vise à rendre

la forêt moins vulnérable à l'incendie majeur (photo 2). D'une façon générale, les sols forestiers ont une faible probabilité d'être érodés, du fait de l'interception des pluies, y compris intenses, par la végétation. Les expériences de simulation de pluies montrent une absence de ruissellement, du fait de la bonne capacité d'infiltration des sols granitiques sableux. Dans les forêts gérées (débranchées), du fait de la moindre couverture végétale du sol, les gouttes de pluies parviennent directement au sol, ce qui déclenche le ruissellement lorsque les pluies sont très intenses (ex. : lors des simulations), pouvant transporter les particules le long du versant.

La différence de production de sédiments entre le bois dense et le bois géré reste toutefois faible (13 %). Le sol, bien que mis à nu par le défrichage, est protégé par les rémanents de coupe, dont la décomposition en humus amortit l'impact des gouttes de pluies et favorise l'infiltration de l'eau, évitant des pics de ruissellement. Bien qu'il

► Photo 1 – Exemple de ravine (photo : M. Cohen).



► Photo 2 – Forêt gérée de chênes liège, dont la strate basse a été éclaircie (photo : M. Cohen).



ne se soit pas produit d'incendie depuis plus de vingt ans, un tel événement provoquerait une érosion plus ou moins importante selon le degré de dénudation du sol et de dégradation du sol (ex. : brûlage de la matière organique, qui amortit l'impact des gouttes de pluies). La forêt dense est donc vulnérable, car si un grand incendie se déclençait, cela provoquerait non seulement la destruction de la forêt mais aussi l'érosion.

Quant à l'érosion agricole, elle se produit dans les champs, du fait du labour et du semis. Le risque le plus important de formation de rigoles se produit pendant la période postérieure au semis, le sol étant dénudé, aplani par le passage de la rouleuse, et soumis aux pluies automnales intenses (octobre-novembre). C'est ce qui a été observé durant l'année d'étude (2007, tableau 5). Ces résultats justifieraient des mesures protectrices ou une adaptation des systèmes de culture, afin que le sol ne soit pas dénudé au moment du maximum pluviométrique automnal.

PREMIERS RÉSULTATS POUR LA RÉGIONALISATION DE L'ÉROSION DANS DES PAYSAGES DE MOSAÏQUE
 Dans les paysages en mosaïque des Baronnie, des mesures réalisées dans le cadre de programmes antérieurs de recherche ont mis en évidence, dans des stations de mesure, l'érosion hydrique dans des affleurements de marnes, ravinés en grands champs de « roubines » (Lecompte *et al.*, *op.cit.*).

Un premier résultat obtenu à l'échelle régionale concerne l'évolution des surfaces occupées par des plages de sol nu, entre 1948 (photographies aériennes les plus anciennes) et 1991 (tableau 6) ainsi que des autres types d'occupation du sol : forêts (TR ligneux hauts > 50 %), pelouses, garrigues et bois clairs, cultures. Les effets de la déprise agricole et des reboisements de pins noirs ont eu pour effet une progression des surfaces forestières, aux dépens des paysages ouverts, consacrés à l'élevage (pelouses, garrigues). Corrélativement, la surface occupée par les sols nus a diminué quasiment de moitié.

Malgré la forte diminution des surfaces occupées par les sols nus, ceux-ci n'ont pas disparu et occupent encore une portion non négligeable du terrain étudié (figure 3).

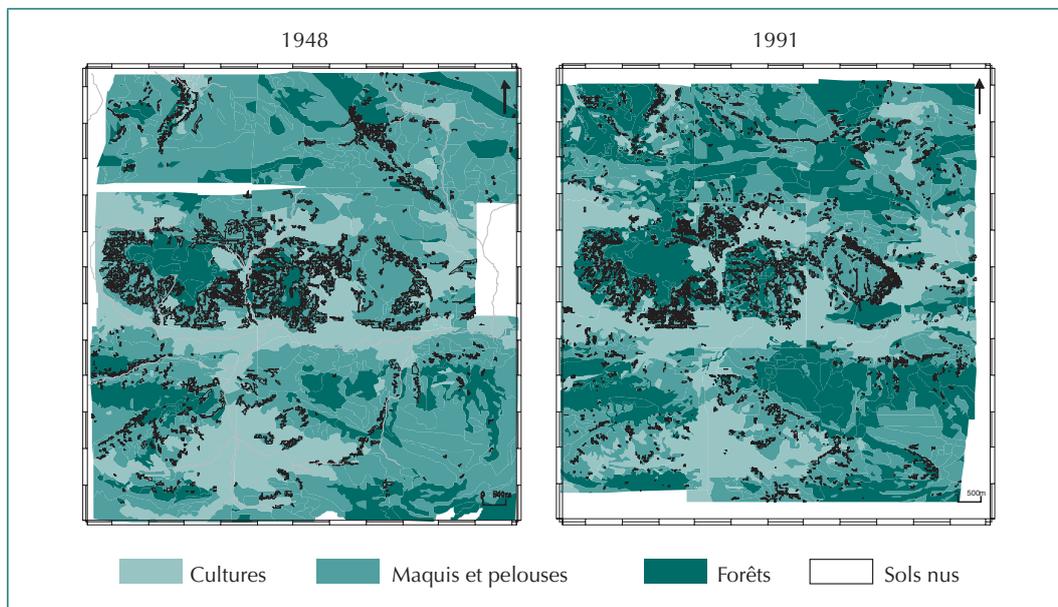
L'essentiel de ces zones de sol nu est concentré sur les versants marneux de deux buttes témoins surmontées de forêts : Chassenaye située à l'ouest, et Gonson, au centre de la carte (figure 3, photo 3), sur des affleurements de marnes grises du Cénomaniens (figure 4), les moins sensibles à l'érosion, 10 mm de perte moyenne par an (Lecompte *et al.*, *op.cit.*). Elles y ont régressé entre 1948 et 1991, avec la réalisation de plantations de pins noirs d'Autriche sur les versants orientés à l'ouest. Dans des zones qui sont restées non forestières, ou dans

▼ Tableau 6 – Occupation du sol en 1948 et 1991 – Val de la Méouge (en %).

Occupation du sol	1948	1991
Forêt	16,40	35,93
Pelouse, maquis	54,91	38,26
Cultures	21,62	20,99
Sol nu	7,08	4,81



◀ Photo 3 – Exemple de zones de sols nus, concentrées sur les versants marneux de buttes surmontées de forêts (photo : M. Cohen).



◀ Figure 3 – Occupation du sol dans le Val de la Méouge en 1948 et 1991 (source : photographies aériennes IGN).

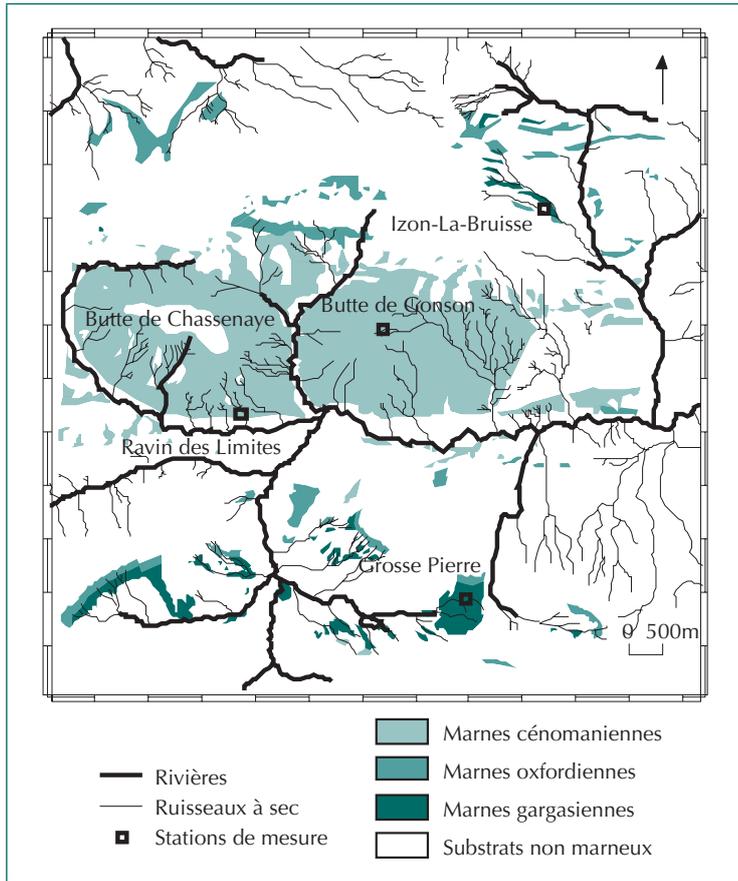
des zones autrefois agricoles et abandonnées à la friche et à la garrigue, on note au contraire une augmentation des surfaces de sol nu. C'est le cas sur le versant sud-est de la Butte de Chassenaye, à l'est de la Butte de Gonson, sur marnes cénomaniennes. On le remarque aussi au sud de la carte, sur des affleurements de marnes noires de l'Oxfordien sensibles à l'érosion (figure 4, 20 à 30 mm de perte par an, selon les mesures réalisées sur le site de Grosse Pierre, *ibid*).

Ce résultat montre que la reconquête végétale naturelle, relativement lente dans cette région, va de pair avec la persistance de processus d'érosion localisés. Quant aux plantations de pins noirs, elles ont « remplacé » les sols nus dans la perception que nous offre la photographie aérienne, mais il n'est pas impossible que le sol soit resté dénudé sous la couverture ligneuse, ce qui indique une cicatrisation ina-

boutie (Cohen et Rey, *op.cit.*). Les résultats des mesures de l'érosion hydrique réalisées dans des stations expérimentales semblent donc bien en concordance avec cette première généralisation spatiale.

Un deuxième résultat concernant ces essais de généralisation spatiale et régionale est essentiellement d'ordre méthodologique. En tirant les enseignements des difficultés rencontrées lors d'un premier essai, nous proposons un protocole méthodologique (tableau 7) fondé sur l'utilisation de trois sources :

- les images multispectrales à haute résolution (Spot 5, figure 5),
- le MNT à 2 m de résolution (Opsia, figure 5),
- la cartographie des ravines à grande échelle (Rey, *op.cit.*).



▲ Figure 4 – Carte de situation du Val de la Méouge.

L'objectif est d'établir une méthodologie de traitement automatique d'images Spot à haute résolution spatiale afin de repérer les fonds végétalisés de ravines, supposés peu ou non actifs (Rey, *op.cit.*) et par déduction, les fonds de ravines dépourvus de végétation les plus sensibles à l'érosion. Cette méthode pourrait être appliquée pour déterminer, à l'échelle d'un grand bassin versant comme celui de la Durance, les zones les plus propices à la réalisation d'interventions de plantation, génie civil ou ingénierie écologique afin de limiter la production de sédiments.

Cette méthode nous semble prometteuse. Les premiers essais réalisés ont permis de repérer un certain nombre de signatures spectrales pouvant correspondre à des couverts végétaux discontinus, tels que ceux supposés coloniser les fonds de ravines. Ces derniers étant étroits (forme en V des ravines), ils sont colonisés par la végétation qui forme alors un mince ruban. La résolution spatiale des images Spot 5 (2,5m) est encore insuffisante

pour permettre de repérer des « pixels purs », uniquement occupés par la végétation des fonds de ravines. Les fonds végétalisés de ravines sont donc susceptibles de correspondre à des classes ne présentant pas de pic dans le canal XS2 (ce qui est le cas du sol nu, ex. : classe 6), ni dans le canal XS3 (ce qui est le cas de la végétation, ex. : classe 1, figure 5b et 6). Les classes sont ordonnées selon la part croissante de la végétation, celles susceptibles de correspondre aux fonds de ravines sont soulignées : classe 6 < c17 < c14 < c12 < c11 < c16 < c2 < classe 1. Pour poursuivre et systématiser l'étude, il conviendrait de déterminer précisément avec quelles classes existe la meilleure correspondance avec la situation de fond de ravines. Pour cela, il faut confronter l'image satellite traitée selon les étapes 5 à 18 (tableau 7) avec le tracé des fonds de ravines, élaboré par les étapes 1 à 4, puis avec les cartes de végétation à grande échelle. Cette confrontation de documents pourrait s'opérer dans un SIG (étapes 19 à 22).

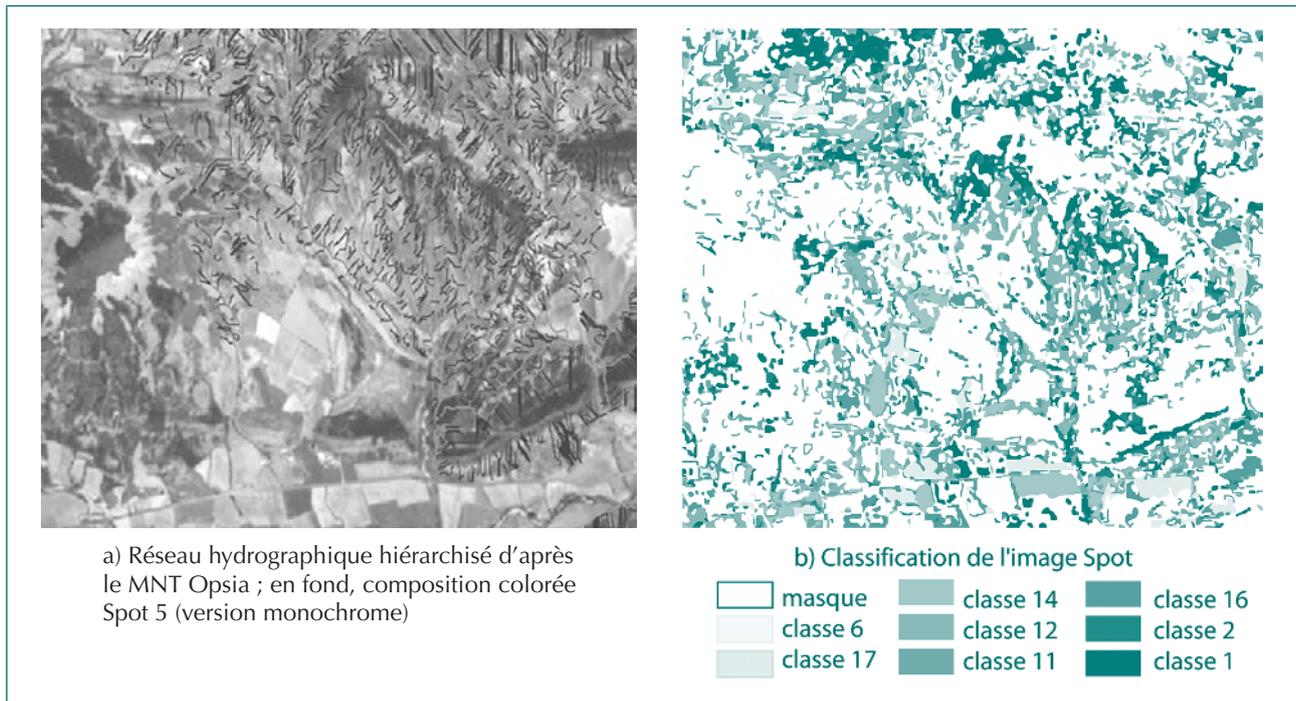
La prise en compte de l'érosion par les acteurs locaux et professionnels

La perception des dynamiques paysagères et d'érosion ne fait pas toujours consensus ; on peut observer des positions différentes selon l'origine des acteurs (ex. : agriculteurs et randonneurs s'opposant à des agriculteurs non originaires et associations écologistes), qui font écho à l'opposition entre vision « arcadienne » et vision « sauvage » de la nature (Buijs *et al.*, 2006). Ces divergences sont ressorties non seulement des enquêtes, mais également des séminaires de restitution des résultats sur l'ensemble des terrains d'étude du programme.

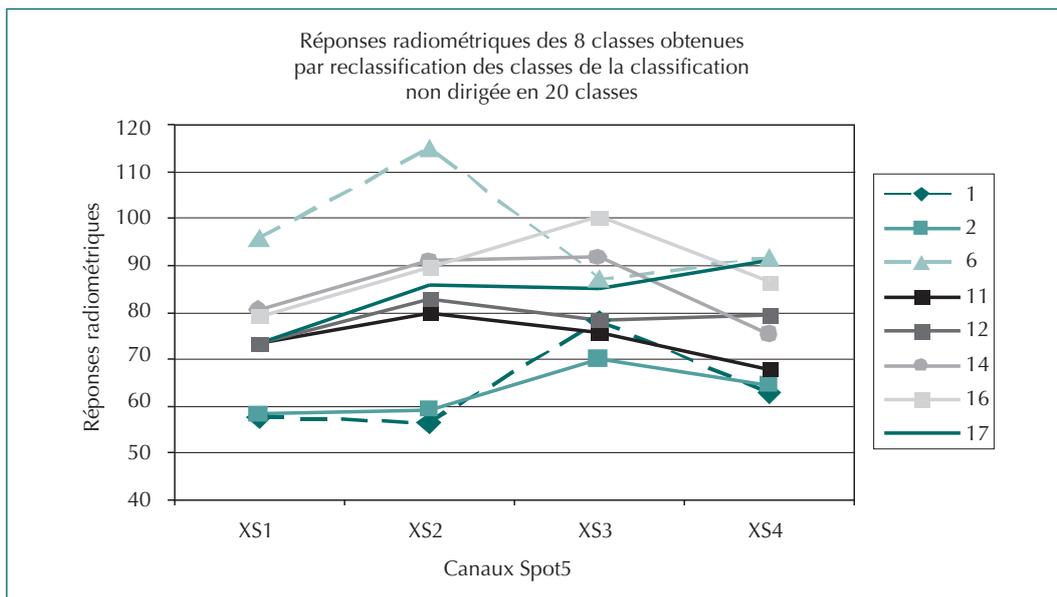
GAVARRES : UNE PRISE EN COMPTE INDIRECTE DE L'ÉROSION, À TRAVERS LE PRISME DU RISQUE D'INCENDIE DANS LES MATRICES FORESTIÈRES

Dans les Gavarres, quasi intégralement classées en PEIN (espace d'intérêt naturel), et de ce fait gérées par un organisme territorial (*Consorti*), la crainte d'un incendie forestier majeur justifie un plan de gestion forestière, associant une association de propriétaires forestiers (plan de prévention, surveillance par les pompiers en été).

La politique d'entretien des forêts mise en place a pour premier objectif de favoriser les arbres, la qualité et le rendement des produits forestiers (ex. : liège). Cette gestion est aussi adaptée à la prévention d'incendies de haute intensité, en



▲ Figure 5 – Exemple de résultats obtenus par les traitements d'image – Zone Gonson Est.



◀ Figure 6 – Classes radiométriques de végétation peu dense et de sol nu.

diminuant la charge en combustible et en rompant sa continuité verticale. Toutefois, la journée de restitution de nos résultats auprès des acteurs locaux a été l'occasion d'un débat au sujet de la pertinence des coupes préventives, qui ne font

pas consensus. Le problème de la prévention des incendies n'est pas indépendant de celui de l'urbanisation, et des dispositions sont prises pour protéger les habitations (bande déboisée de 25 m autour des maisons).

▼ Tableau 7 – Étapes méthodologiques pour le repérage automatique des fonds de ravines végétalisées.

	Étapes de travail	Objectif
A.	Traitement du MNT Opsia (résolution 2 m)	
1.	Rééchantillonnage à 2,5 m	Mise en cohérence avec la résolution des images Spot
2.	Extraction du réseau hydrographique	Repérage et hiérarchie des fonds de ravines
3.	Nettoyage du réseau hydrographique	Élimination des artefacts (profils pas en V)
4.	Réalisation d'un buffer d'1 m de large	Création d'objets au sein desquels est attendue la végétation des fonds de ravines
B.	Traitement des images Spot 5	
5	Commande d'extraits de scènes orthorectifiés sur une zone sur laquelle on dispose du MNT	Réalisation du travail sur les zones marneuses. Orthorectification permettant une superposition ultérieure avec le MNT
6.	Rééchantillonnage par fusion entre l'image panchromatique à 2,5 m et l'image multispectrale à 10 m. Répétition de cette procédure pour les quatre canaux disponibles : XS1, XS2, XS3, XS4	Obtention d'une image multispectrale à 2,5 m de résolution, prenant en compte l'information apportée par l'image prise en mode panchromatique
7.	Réalisation d'une ACP ¹¹ sur les valeurs numériques des 4 canaux	Traitement des données numériques multispectrales
8.	Classification non dirigée en dix classes (algorithme Kmeans) sur les quatre premières composantes de l'ACP	Classification des images issues de l'ACP
9.	Sélection de deux groupes de classes, « adret » et « ubac » en fonction de leur réponse spectrale	Différenciation des milieux en fonction de l'effet d'ombrage ou d'ensoleillement, qui fausse la comparaison entre classes
10.	Réalisation de deux masques « adret » et « ubac »	Discrimination de deux sous scènes où les conditions d'éclairage sont identiques
11	Classification non dirigée en 10 classes (algorithme Kmeans) sur le masque « Ubac »	Différenciation des types de réponses spectrales en contexte ombré
12	Élaboration de deux masques sur les classes forêts de feuillus et forêts de conifères	Élimination de deux classes <i>a priori</i> non associées à des secteurs marneux ravinés
13	ACP sur masque Ubac, masque Feuillus et masque Conifères	Traitement des données numériques sur la végétation peu dense en contexte ombré
14	Classification non dirigée K-means sur les 4 premières composantes de l'ACP en 20 classes	Différenciation de types de réponses spectrales
15	Reclassification en 8 classes	Resserrement de la classification autour de 8 classes dont les réponses spectrales sont interprétables
16	Interprétation puis repérage visuel de la végétation des lits de ravines	Première validation des étapes précédentes
17	Répétition sur le masque « adret » des opérations 7 à 11	Idem que pour le masque « ubac »
18	Assemblage des deux classifications « ubac » et « adret »	Constitution d'une image traitée globale
C	Croisement des informations dans un SIG	
19	Intégration dans un SIG du MNT et de l'image traitée	Superposition entre les deux couches
20	Intégration des cartes à grande échelle dans le SIG	Superposition entre les trois couches
21	Traitement SIG afin de vérifier la cohérence entre les différentes classes radiométriques et la localisation en fond de ravines végétalisées	Détection des classes correspondant aux fonds de ravines végétalisées. Calcul du taux de confusion
22	Si fort taux de confusion sur une classe, réalisation d'un masque, puis retraitement de la classe à problème	Affiner la correspondance entre les trois thématiques

11. Analyse en composantes principales.

Selon les responsables territoriaux, un réseau de chemins en bon état est indispensable, quitte à ce que certaines pistes, très sensibles à l'érosion hydrique et au creusement de ravines comme l'ont montré les résultats des mesures, soient l'objet d'une réfection. Le massif forestier doit être accessible en cas d'incendie majeur depuis la base des pompiers. C'est pourquoi le Consortium des Gavarres (organisme de gestion territoriale) et les conseils de groupements de communes (Gironès et Baix Empordà) font établir une cartographie des chemins pour la lutte contre l'incendie. Si un chemin desservant un massif est en mauvais état, des travaux sont entrepris pour le hisser au niveau 1 (piste-rue). Un certain nombre d'actions publiques sont en outre développées : débroussaillage sur une largeur de 16 m, zones de sécurité tous les 2 km, réservoirs d'eau, signalisation, amélioration et densification du réseau depuis le poste des pompiers (140 km).

La question de l'érosion sur les chemins et, dans une moindre mesure dans les forêts débroussaillées, n'est donc qu'indirectement prise en compte à travers la politique de lutte contre l'incendie. Il est d'ailleurs significatif que le thème de l'érosion ne soit l'objet de commentaires que d'une minorité de personnes interrogées (cinq sur vingt-deux). Dans ce petit groupe, certains identifient le manque d'entretien des chemins comme cause de l'augmentation de l'érosion (cas d'un propriétaire forestier et d'un entrepreneur du secteur touristique), mais d'autres, plus nombreux (quatre personnes, dont trois acteurs indirects), incriminent la gestion des forêts (le débroussaillage, plus rarement la plantation d'eucalyptus). En revanche, la plupart des acteurs interrogés convergent sur l'utilité du réseau de chemins, pour rompre l'isolement géographique dans ce massif perçu comme une île, une minorité étant plus réservée quant à la réfection des pistes. Il y a donc un certain décalage entre la perception des acteurs locaux et, en particulier les acteurs indirects, et les résultats obtenus par les mesures d'érosion, qui relativisent l'impact de la gestion forestière et identifient comme problème principal les chemins. D'après ces enquêtes, le problème principal n'est pas l'érosion, c'est le feu.

L'ÉROSION, UN PROBLÈME JUGÉ SECONDAIRE DANS LES MOSAÏQUES PAYSAGÈRES DES ALPES DU SUD

Contrairement à la progression de la forêt et des broussailles, l'érosion ne joue pas un rôle important dans la structuration des politiques territoria-

les. Ainsi, dans les Baronnies (région des Alpes du Sud, incluant le Val de la Méouge), l'érosion n'est pas un diagnostic partagé, à l'inverse de l'embroussaillage. Alors que la progression du boisement est vue par les responsables institutionnels comme le symptôme visible des problèmes économiques locaux, ce n'est pas le cas de l'érosion (Poletto et al., 2007). Des enquêtes préliminaires (Dufau, 2004) avaient mis en avant le fait que les agriculteurs connaissent les deux processus pour les avoir observés dans leurs exploitations et y sont très sensibles. Les dernières enquêtes relativisent cette perception de l'érosion hydrique par les agriculteurs. La faible sensibilité à l'érosion semble liée à la médiocre visibilité du processus. On ne le voit pas, on n'en parle pas. Les acteurs institutionnels comme les agriculteurs interprètent la stabilité de la taille des zones dénudées (les roubines) à leur échelle temporelle d'observation comme un indice de faible érosion, voire son absence totale. Or, nos études contredisent cette perception d'une « stabilité » des roubines (figure 3). De plus, ces petites zones marneuses dénudées peuvent, d'après les mesures réalisées (*ibid.*), fournir beaucoup de sédiments, qui transitent ensuite dans le réseau hydrographique du bassin de la Durance (Cohen et Rey, *op.cit.*).

Selon les agriculteurs, la sécheresse accrue contribuerait à minorer le problème de l'érosion hydrique. Néanmoins, aux questions sur les marnes, les agriculteurs répondent en termes de creusement des roubines, transfert de sédiments jusqu'aux rivières, et difficulté à trouver des solutions du fait de l'inclusion de ces zones dans les parcs pâturés. La perte de terre agricole par sapement des berges de la rivière est aussi fortement ressentie (Dufau, *op.cit.*).

À l'échelle du Bassin de la Durance, certains acteurs (ex. : ONF, EDF) se préoccupent de l'apport de sédiments par les territoires situés en amont, qui se déposent en aval, dans les basses vallées. Ceci a justifié la mise en place du plan Durance, qui vise à un partage équitable de l'eau, entre les usages traditionnels (hydro-électricité, agriculture, industrie) et émergents (prévention des inondations, restauration des milieux, tourisme). Le faible consensus autour de l'érosion semble aussi lié à l'émiettement des compétences entre de multiples acteurs territoriaux.

Les enquêtes ont aussi montré que les acteurs institutionnels locaux des Baronnies, convaincus du rôle protecteur de la forêt et de la dynamique inexorable de progression des ligneux (une

représentation à relativiser au vu de nos résultats, tableau 5), méconnaissent, voire peinent à croire à l'existence d'une érosion active. Cette confiance dans le rôle de la forêt chez les acteurs institutionnels, partagée avec certains agriculteurs, est probablement liée à la diffusion de la culture des forestiers et de la restauration des terrains en montagne.

L'ANALYSE DES TEXTES DES REVUES FORESTIÈRES

Les forestiers sont des acteurs majeurs des politiques paysagères dans les montagnes méditerranéennes. Ils jouent un rôle influent, voire directement prescripteur, dans la gestion des paysages (Fourault, 2007). Ils influencent les représentations sociales des autres acteurs territoriaux, comme nous venons de le voir à propos des Baronnies. Par ailleurs, la mise en relation entre paysage et érosion est une question importante ; elle se fait mal d'après les enquêtes. Qu'en est-il dans des textes de référence du corps des forestiers ?

Les sources étudiées témoignent d'une prise en compte ancienne de l'érosion par le biais paysager. Pour autant, se dégagent des temporalités très différenciées, et plus encore, une intégration plus ou moins forte de la notion de paysage dans l'étude de l'érosion. De simple approche rhétorique, le paysage tend à devenir progressivement un mode d'approche de l'érosion. Cette intégration est assortie d'une évolution du sens conféré au paysage par les forestiers dans leurs travaux sur l'érosion. Si la sensibilité, le regard de l'observateur jouaient un rôle non négligeable dans l'appréciation de l'érosion par les forestiers du XIX^e siècle et de l'immédiat après-guerre (ex. : en France, textes de Surell, en 1841 ; plus récemment, en Espagne, A. Pascual), cette conception subjective de la notion, largement tacite, cède le pas à une approche formalisée durant les dernières décennies. De mode d'approche descriptif, le paysage devient élément d'une étude naturaliste de l'érosion, et ce dans les deux pays étudiés.

Au XIX^e siècle, la description paysagère, notamment celle de la dégradation, fait partie d'une argumentation visant à justifier les reboisements. Rappelons le contexte, marqué par la vivacité de ces phénomènes érosifs alors qu'un véritable optimum démographique a été atteint dans les campagnes méditerranéennes des deux pays et par un important mouvement de privatisation des forêts (en Espagne : Loi Madoz de Desamortization ; en France : Code forestier). La thématique

de l'érosion et de ses manifestations paysagères est présentée par les forestiers comme un élément justifiant la limitation de ces ventes et la politique de reboisement. En outre, l'affirmation forte du sentiment national s'accompagne à l'époque, tant en France qu'en Espagne, d'une valorisation paysagère du territoire. En l'absence d'une formalisation théorique de la notion de paysage, le lien établi entre paysage et érosion relève plutôt d'une figure littéraire, d'une sensibilité collective aux panoramas, exacerbée dans ces textes par les polémiques associées aux politiques forestières de la fin du siècle.

Si la production (ou la disponibilité dans les archives) de textes forestiers fléchit au cours du premier tiers du XX^e siècle, un regain d'intérêt est notable dans l'immédiat après-guerre jusque dans les années soixante. Les textes produits sont alors beaucoup plus techniques, s'appuyant sur les progrès de la géomorphologie dynamique, de la pédologie, et faisant largement appel à des références internationales. Parallèlement à cette tendance, les textes témoignent de l'institution de l'érosion comme une thématique particulièrement sensible, voire d'une charge affective forte dans l'imaginaire forestier, élément de définition et de légitimation de leur action (ex. : numéro spécial de la *Revue forestière française* pour le centième anniversaire des RTM en 1982). Le paysage n'est à nouveau associé à la thématique de l'érosion que plus récemment (depuis les années quatre-vingt-dix surtout) dans un nombre assez faible de textes d'après les premières investigations. Cette fois, le paysage n'est plus une simple description, mais participe de la compréhension globale du phénomène, en s'appuyant par exemple sur la définition qu'en donne Bertrand (1968). L'approche du paysage dans ces différents textes est bien souvent fortement naturaliste (Cuesta Aguilar, 2001), et n'intègre que peu les dimensions sociales et culturelles de la notion (Buijs *et al.*, *op.cit.*).

Enfin, notons que la montagne méditerranéenne occupe une place de premier plan et de façon explicite dans la *Revue forestière française*. En Espagne, les textes anciens sont peu localisés (ce qui n'est pas forcément contradictoire avec la situation française, vu la position géographique de l'Espagne) ; certains textes plus récents (quatre sur dix, Base BiblioFor) font référence aux territoires les plus méridionaux (Andalousie, Murcie, Almeria) en lien avec la problématique émergente de la désertification.

Conclusion et perspectives pour les politiques publiques

Quand on rapproche les résultats concernant l'érosion hydrique de ceux concernant la dynamique paysagère, on remarque la co-occurrence entre dynamique de boisement spontané et persistance de l'érosion, que ce soit dans les Gavarres (sur les chemins) ou dans les Alpes du Sud (sur les roubines marneuses). On voit que ces situations perdurent en raison de la conjonction de plusieurs facteurs : des pluies intenses, l'existence de secteurs non boisés fragiles (d'origine naturelle – ravines marneuses – ou anthropique – chemins), où se concentrent les écoulements, et qui fournissent les réseaux hydrographiques en sédiments. Les premiers essais de généralisation spatiale confirment que les mesures réalisées à l'échelle stationnelle se traduisent à l'échelle micro-régionale. La méthodologie de traitement automatique d'images satellite à haute-résolution devrait permettre d'étendre cette généralisation à l'échelle de grands bassins versants, tel que celui de la Durance, et ainsi constituer un référentiel pour la localisation d'actions ciblées de restauration, reboisement ou ingénierie écologique.

En revanche, on note un décalage entre l'existence des processus d'érosion et leur prise en compte dans les revues forestières. Depuis les années soixante, est-ce parce que l'érosion a diminué en intensité, ou parce que les forestiers considèrent ce problème comme réglé, la préoccupation de l'érosion a pratiquement disparu des sommaires des revues forestières. Cet impensé succède à une époque où, au contraire, la dégradation des paysages était un argument pour justifier des politiques ambitieuses de reboisement, tant en France qu'en Espagne. L'analyse historique des textes des revues forestières nous éclaire dans l'interprétation des représentations actuelles des aménageurs, à propos de l'érosion agricole. Ainsi, en Espagne, les cartes de risque d'érosion du plan hydrologique du Guadalquivir (1994) pointent les zones de l'oléiculture et de la céréaliculture et exemptent les montagnes, qui ont été massivement reboisées. En Italie, les reboisements ont été limités aux zones les plus sujettes à l'érosion (*franes*), la montagne étant considérée comme un lieu déshérité et soumis à l'érosion (Garlatti, *op.cit.*).

Le décalage entre la persistance des processus d'érosion et leur prise en compte par les acteurs locaux est également marquant. En Catalogne

espagnole, la question de l'érosion n'est qu'indirectement prise en considération, à travers la politique de prévention des incendies. Dans les Alpes du Sud, l'érosion hydrique est considérée comme un problème mineur, localisé, voire appartenant au passé. Cet enjeu est aujourd'hui pris en charge par d'autres acteurs, notamment à l'échelon européen, où l'érosion liée à l'activité agricole émerge comme une question d'avenir, du fait de ses incidences sur la qualité des eaux (ex. : plan Durance). De même, en France, de récentes modifications du Code rural¹³ remettent en avant la question de l'érosion et de la conservation des sols.

L'enquête menée auprès des acteurs du reboisement en France par Rey (2006) montre en outre la persistance des modèles d'intervention technique dans les représentations des forestiers. Les techniques de génie biologique, mises en œuvre par le volet « Restauration » des politiques forestières au XIX^e siècle, ont été abandonnées depuis les années cinquante au profit du génie civil. Elles sont aujourd'hui mal acceptées par ces acteurs, qui les jugent aléatoires. Ils préfèrent les réserver aux territoires où les enjeux (infrastructures, habitations) sont faibles, et les financements disponibles moins importants. Pourtant, ces techniques ont évolué, elles mobilisent notamment les capacités de marcottage et de régénération végétative de végétaux ligneux buissonnants, pour constituer des fascines. Elles sont donc associées à une vision de la restauration forestière qui s'appuie davantage sur des processus écologiques, que sur une artificialisation du fonctionnement hydrologique par des constructions civiles. Leur mise en œuvre est d'ailleurs prévue dans le cadre du plan Durance. Malgré cela, la promotion du génie biologique se heurte à des obstacles à l'échelle locale : faible acceptation par les acteurs concernés, réseaux sociotechniques non constitués, pas de sensibilité positive de la part des décideurs politiques. La création de l'association AGEBIO¹⁴ contribuera peut-être à diffuser auprès des acteurs sociaux l'idée d'un possible contrôle de l'érosion par des méthodes de restauration écologique.

La vision des acteurs locaux semble singulièrement décalée par rapport aux récentes évolutions juridiques, qui privilégient une prise en charge des problèmes d'érosion au plus près des exploitants (ex. : bail environnemental), et l'incitation à des pratiques « douces », parmi lesquelles « la restauration ou l'entretien d'un couvert végétal

13. Loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003 du Code rural, relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages.

14. Association française de génie biologique pour le contrôle de l'érosion.

15. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire.

16. Incitation à l'utilisation scientifique des images Spot du Centre national d'études spatiales.

17. Programme pluri-formations.

spécifique » (décret de 2007, Code rural), aucune disposition relative au génie civil n'étant en revanche prévue. L'analyse des textes et chartes élaborés à l'échelle régionale (Bedecarrats, 2008, *infra*) montre que les orientations du plan Durance

et les nouveaux instruments juridiques concernant l'érosion sont encore faiblement intégrés à l'échelle locale dans les projets de développement territorial et de gestion des paysages. □

Remerciements

Nous remercions le programme « Paysage et développement durable » (MEEDDAT¹⁵), ISIS- CNES¹⁶, le GIS Draix « Érosion en montagne » (mise à disposition du MNT Opsia), le PPF¹⁷ Pôle Image (université Paris 7-Diderot) pour leur soutien financier et technique, et Brigitte Kaiser pour ses conseils sur la bibliographie du thème « Crues et érosion ».

Résumé

Une étude comparative France-Espagne des relations entre érosion, paysage et développement durable a associé des protocoles de mesure et de régionalisation de l'érosion et des enquêtes auprès des acteurs locaux. En Catalogne (matrice forestière), les chemins produisent beaucoup de sédiments ; dans les des Alpes du Sud (paysage en mosaïque), ce sont les roubines sur substrat marneux. Ces mesures sont confirmées par les premiers essais de généralisation ; une méthode automatique est proposée. Les enquêtes montrent une certaine sous-estimation du problème de l'érosion, la priorité étant la protection contre l'incendie en Catalogne et le contrôle de la progression forestière dans les Alpes du Sud.

Abstract

A comparative study France-Spain of the relationships between erosion, landscape and sustainable development is relied on measurements and regionalization of erosion and inquiries of local stakeholders. In Catalonia (wooded matrix), the paths produce sediments, in Southern Alps (mosaic landscape pattern), it is the case of the badlands. These measurements are confirmed by the first results of a generalization study, with a special methodology. Local stakeholders do not take enough in consideration erosion problem ; they are more concerned by fire hazard (Catalonia) and shrub encroachment (French Alps).

Bibliographie

VÉGÉTATION ET PAYSAGES

A.A.V.V., 1990, *Gli aspetti fisici del territorio regionale: elementi e metodologie par gli strumenti di pianificazione*, 145 p. + 5 cartes au 1/50 000.

ALEXANDRE, F., 2001, Le milieu biophysique méditerranéen, in : MORINIAUX, V. (Ed), *La Méditerranée*, Paris Ed. du temps, p. 47-74.

ALEXANDRE, F., GENIN, A., LECOMPTE, M., 2000, Dynamic phytoclimatology, an aid to spatial generalisation of external geodynamical studies, *Geodinamica Acta*, n° 13, p. 367-376.

ALEXANDRE, F., LECOMTE, M., 2001, Variations spatiales de la pluviosité dans les Alpes du Sud. Coïncidences entre variations spatiales des fortes pluies et variations de vitesse du ravinement dans les Alpes du Sud, *Revue de Géographie alpine*, 89, 3, p. 41-50.

BALLAIS, J.-L., 1997, La méditerranéisation des géosystèmes ou les géosystèmes du Midi français comme produit social, in : TABEAUD, M., PECH, P., SIMON, L., eds *Géo-Méditer*, publication de la Sorbonne, p. 101-102.

BERTRAND, G., 1968, Paysage et géographie physique globale : esquisse méthodologique, *RGPSO*, n° 3, p. 249-272.

COHEN, M., 2008, Paysage et développement durable : l'exemple des montagnes méditerranéennes, in : *Colloque international 2008 : des milieux aux territoires forestiers : itinéraires biogéographiques*, 15-17 octobre 2008, article 14 pages à paraître.

FORMAN RICHARD, T.-T., GODRON, M., 1986, *Landscape ecology*, New York, John Wiley & Sons, 619 p.

GENIN, A., ALEXANDRE, F., COHEN, M., REY, F. 2003, Les forêts montagnardes des Alpes du sud : rôle écologique et social, in : TAABNI, M. dir. : *La forêt : enjeux comparés des formes d'appropriation, de gestion et d'exploitation dans les politiques environnementales et le contexte d'urbanisation généralisée*, Actes du colloque international des 16-17 octobre 2003, Poitiers; Maison des Sciences de l'Homme et de la Société/Laboratoire ICoTEM (EA 2252), p. 188-199.

GROVE, A.-T., RACKHAM, O., 2000, *The nature of mediterranean europe: an ecological history*, New Haven Londres Yale Univ Press, 384 p.

NAVEH Z., 1998, From biodiversity to ecodiversity. Holistic conservation of the biological and cultural diversity of mediterranean landscapes, in : RUNDEL, F.-W. et al. (eds), *Landscape disturbance and biodiversity in mediterranean type ecosystems*, *Ecol. Stud.*, vol. 136, p. 23-53.

PECH, P., SIMON, L., 2000, *Régression et extension des milieux naturels dans les campagnes en montagne de Lure*, Collection KUBABA auteurs, La campagne colonisée, 2000, 9 pages + figures.

PONCET, A., 1995, *Restauration et conservation des terrains en montagne*, Office national des forêts, Paris, 1 000 p.

Revue Forestière Française 1982, numéro spécial 100^e anniversaire des RTM.

SIMON, L., PECH, P., 2003, Les paysages forestiers de Lure : le fruit d'une histoire écologique et sociale, *Forêt Méditerranéenne*, t. XXIV, n°1, mars 2003, p. 6-10.

VALLAURI, P., 1997, *Dynamique de la restauration forestière des substrats marneux avec Pinus nigra J.F. Arnold ssp. nigra dans le secteur haut-provençal*, thèse de sciences, Univ. Marseille III-Cemagref, 300 p. + annexes.

VÉGÉTATION ET ÉROSION

BERGKAMP, G., CAMMERAAT, L.-H., MARTINEZ-FERNANDEZ, J., 1996, Water movement and vegetation patterns on shrubland and on abandoned field in two desertification-threatened areas in Spain, *Earth surface processes and landforms*, n° 21, p. 1073-1090.

BOCHET, E., RUBIO, J.-L., PESEN, J., 1998, Relative efficiency of three representative matorral species in reducing water erosion at the micro-scale in a semi-arid climate (Valencia, Spain), *Geomorphology*, n° 23, p. 139-150.

BOCHET, E., RUBIO, J.-L., PESEN, J., 1999, Modified topsoil islands within patchy mediterranean vegetation in SE Spain, *Catena*, n° 38, p. 23-44.

CERDA, A., 1998, The influence of geomorphological position and vegetation cover on the erosional and hydrological processes on a Mediterranean hillslope, *Hydrological processes*, n° 12, p. 661-671.

CERDÁ, A., 1999, Parent material and vegetation affect soil erosion in eastern Spain, *Soil science society of America journal*, n° 63, p. 362-368.

COHEN, M., REY, F., 2005, Dynamiques végétales et érosion hydrique sur les marnes dans les Alpes françaises du Sud, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 1, p. 31-44.

COHEN, M., 1998, Végétation et ravinement dans les Baronnies méridionales (Alpes françaises), *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 1, p. 35-52.

DIDON-LESCOT, J.-F., 1996, *Forêt et développement durable au mont Lozère. Impact d'une plantation de résineux, de sa coupe et de son remplacement, sur l'eau et sur les réserves minérales du sol*, thèse de doctorat de l'université d'Orléans, 195 p.

DUNNE, T., ZHANG, W., AUBRY, B.-F., 1991, Effects of rainfall, vegetation and microtopography on infiltration and runoff, *Water resources research*, n° 27, p. 2271-2285.

GYSELLES, G., POESEN, J., BOCHET E., LI, Y., 2005, Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review, *Progress in Physical Geography*, 29, 2, p. 1-28.

KAISER, B., 1993, Gully erosion beneath mediterranean forest canopy (Ouveze drainage bassin, southern french Alps). Application to Jan DE PLOEY Es model, communication au *Memorial symposium Jan DE PLOEY*, Leuven, 22-26 mars 1993.

MARTINEZ-MENA, M., ALVAREZ ROGEL, J., ALBALADEJO, J., CASTILLO, V.-M., 1999, Influence of vegetal cover on sediment particle size distribution in natural rainfall conditions in a semiarid environment, *Catena*, n° 38, p. 175-190.

REY, F., 2002. *Influence de la distribution spatiale de la végétation sur la production sédimentaire de ravines marneuses dans les Alpes du sud*, thèse de doctorat, université J. Fourier Grenoble I, Cemagref, 183 p.

REY, F., BALLAIS, J.-L., MARRE, A., ROVÉRA, G., 2004, Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface, *Comptes rendus géoscience*, n° 336, p. 991-998.

REY, F., DELLA TORRE, S., BERGER, F., 2004, L'ingénierie écologique pour le contrôle de l'érosion en contexte torrentiel, *Ingénieries EAT*, n° spécial « Ingénierie écologique ».

REY, F., ROBERT, Y., VENTO, O., 2002, Influence de la végétation forestière sur la formation de dépôts sédimentaires en terrains marneux, *Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement*, n° 1, p. 85-92.

ROVERA, G., ROBERT, Y., COUBAT, M., NEDJAI, R., 1999, Érosion et stades biorhexistatiques dans les ravines du Saignon (Alpes de Haute Provence) ; essai de modélisation statistique des vitesses d'érosion sur marnes, *Études de Géographie physique*, n° 28, p. 109-115.

SIMON, L., PECH, P., TABEAUD, M., 2000, Landscapes types and geocology dynamics of a mediterranean mountain. The southern Alps, *IALE conference : « Landscape Ecology ; theory and applications for practical purposes »*, International Association of Landscape Ecology, Pultusk, Poland, p. 261-274.

SOLÉ-BENET, A., CALVO, A., CERDÁ, A., LÁZARO, R., PINI, R., BARBERO, J., 1997, Influences of micro-relief patterns and plant cover on runoff related processes in badlands from Tabernas (SE Spain), *Catena*, n° 31, p. 23-38.

THORNES, J.-B., 1990, *Vegetation and erosion. Processes and environments*, John Wiley & Sons Ltd: Chichester.

INCENDIES DE FORÊT ET ÉROSION

BADIA, A., SAURÍ, D., CERDAN, R., LLURDÉS, J., 2002, Causality and management of forest fires in Mediterranean environments: an example from Catalonia, *Environmental Hazards*, n° 4, p. 23-32.

LAVABRE, J., ARNAUD, P., FOLTON, N., MICHEL, C., 1996, Les écoulements d'un petit bassin versant méditerranéen après un incendie de forêt, *Ingénieries EAT*, n° 7, p. 21-30.

LORCA, M., ÚBEDA, X., 2004, L'efecte de les cremes de gestió de combustible en el sòl. Incendis forestals, dimensió socioambiental, gestió del risc i ecologia del foc, *Actes de les Jornades sobre Incendis Forestals i Recerca ALINFO*, p. 77-80.

MARTIN, C., ALLÉE, P., BÉGUIN, É., KUZUCUOGLU, C., LÉVANT, M., 1997, Mesure de l'érosion mécanique des sols après un incendie de forêt dans le massif des Maures, *Géomorphologie, Relief, Processus, Environnement*, n° 2, p. 133-142.

CRUES ET ÉROSION

ARNAUD-FASSETTA, G., BALLAIS, J.-L., BEGUIN, E., JORDA, M., MEFFRE, J.-C., PROVANSAL, M., RODITIS, J.-C., SUANEZ, S., 1993, La crue de l'Ouvèze à Vaison-la-Romaine (22 septembre 1992). Ses effets morphodynamiques, sa place dans le fonctionnement d'un géosystème anthropisé, *Revue de Géomorphologie Dynamique*, n° 2, p. 34-48.

BALLAIS, J.-L., 1993, L'érosion consécutive à l'incendie d'août 1989 sur la Montagne Sainte-Victoire : 3 années d'observations (1989-1992), *Réseau Érosion*, n° 13, p. 165-179.

BALLAIS, J.-L., BOSCH, M.-C., 1994, The ignifractions of the Sainte-Victoire Mountain (Lower Provence, France), in : SALA, M., RUBIO, J. (eds), *Soil erosion and degradation as a consequence of forest fires*, Logrono, p. 217-227.

BALLAND, P., HUET, P., LAFONT, E., LETEURTROIS, J.-P., PIERRON, P., 2002, *Rapport sur la Durance. Propositions de simplification et de modernisation du dispositif d'intervention de l'État sur la gestion des eaux et du lit de la Durance. Contribution à un plan Durance*, Document MEDD, MAAPAR, METLTM, 93 p.

BECAT, J., GUAL, R., 1990, Images, témoignages et éléments d'analyse de l'averse de 1940 en Catalogne Nord, in : *L'Aiguat del 40, Actes du colloque de Vernet-les-Bains, 18-20 octobre 1990*, p. 11-53.

BROCHOT, S., MEUNIER, M., 1993, *Érosion de badlands dans le système Durance-Étang de Berre*, fascicules 1 à 7 Cemagref/Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse.

CUESTA AGUILAR, M.-J., 2001, *Dinámica erosiva en los paisajes de la Cuenca del Río Guadajoz (Córdoba y Jaén)*, Cordoue, Servicios de Publicaciones de la Universidad de Córdoba, 226 p.

DESCROIX, L., 1998, L'érosion hydrique dans les terrains peu résistants des Préalpes françaises du sud : mesures et variables explicatives sur parcelles et bassins-versants, *Revue de géographie alpine*, n° 1, p. 43-58.

DESCROIX, L., GAUTIER, E., 2002, Water erosion in the southern French Alps: climatic and human mechanisms, *Catena*, n° 50, p. 53-85.

DESCROIX, L., OLIVRY, J.-C., 2002, Spatial and temporal factors of erosion by water of black marls in the badlands of the French Southern Alps, *Hydrological Sciences Journal*, n° 47, p. 227-242.

DESMET, P.-J.-J., GOVERS, G., 1995, GIS-based simulation of erosion and deposition patterns in an agricultural landscape: a comparison of model results with soil map information, *Catena*, n° 25, p. 389-401.

DUMAS, B., GUEREMY, P., LECOMPTE, M., LHENAFF, R., RAFFY, J., 1987, Mouvements de terrain et érosion hydrique dans les Baronnies méridionales: méthodes d'étude et premiers résultats, *Travaux de l'Institut de Géographie de Reims T.I.G.R.*, n° 69-72, p. 68-93.

FLAGEOLLET, J.-C., de FRAIPONT, P., GOURBESVILLE, P.-H., THOLEY, N., TRAUTMANN, J., 1993, La crue de l'Ouvèze de septembre 1992 : origines, effets, enseignements, *Revue de géomorphologie dynamique*, XLII, n° 2, p. 57-72.

GEESON, N.-A., BRANDT, C.-J., THORNES, J.-B. (eds), 2002, *Mediterranean desertification. A mosaic of processes and responses*, Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 440 p.

KAISER, B., 1987, *Les versants de Vanoise ; enjeux traditionnels et fonctionnement morphoclimatique*, thèse de doctorat d'État, Université Paris VII, Livre I & Livre II, 425 p. & 639 p.

LALANNE-BERDOUÏQ, G., 1990, Aspects méthodologiques de la reconstitution des écoulements des grandes crues catastrophiques, in : *L'Aiguat del 40, Actes du colloque de Vernet-les-Bains, 18-20 octobre 1990*, p. 229-243.

LECOMPTE, M., ALEXANDRE, F., COHEN, M., GENIN, A. et al., 2007, Éléments pour une géographie du ravinement dans les secteurs marneux des Alpes du Sud, *Travaux de l'Institut de Géographie de Reims*, n° 123-124, 2005, p. 27-58.

LECOMPTE, M., CHODZKO, J., LHENAFF, R., MARRES, A., 1997, Marls gullyng: canonical analysis of erosion and sedimentation sequencies (Baronnies-France), *Geodinamica Acta*, 10 (3), p. 115-124.

LECOMPTE, M., LHENAFF, R., MARRES, A., 1998, Huit ans de mesures du ravinement des marnes dans les Baronnies méridionales (Préalpes françaises du sud), *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 4, p. 351-374.

MAQUAIRE, O., MALET, J.-P., REMAÎTRE, A., LOCAT, J., KLOTZ, S., GUILLON, J., 2003, Instability conditions of marly hillslopes: towards landsliding or gullyng? The case of the Barcelonnette Basin, South East France, *Engineering Geology*, n° 70, p. 109-130.

MATHYS, N., BROCHOT, S., MEUNIER, M., 1996, L'érosion des Terres Noires dans les Alpes du Sud : contribution à l'estimation des valeurs annuelles moyennes (bassins versants expérimentaux de Draix, Alpes de haute Provence, France), *Revue de Géographie Alpine*, n° 2, p. 17-27.

MATHYS, N., BROCHOT, S., MEUNIER, M., RICHARD, D., 2003, Érosion quantification in the small marly experimental catchments of Draix (Alpes de Haute Provence, France). Calibration of the ETC rainfall-runoff-erosion model, *Catena*, n° 50, p. 527-548.

MATHYS, N., 2006, *Analyse et modélisation à différentes échelles des mécanismes d'érosion et de transport de matériaux solides: cas des petits bassins versants de montagne sur marne (Draix, Alpes-de-Haute-Provence)*, thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Grenoble, 306 p.

MORGAN, R.-P.-C., MCINTYRE, K., VICKERS, A.-W., QUINTON, J.-N., RICKSON, R.-J., 1997, A rainfall simulation study of soil erosion on rangeland in Swaziland, *Soil Technology*, n° 11, p. 291-299.

MOSETTI, F., 1983, Sintesi sull'idrologia del Friuli-Venetia Giulia, in : *Quaderni ETP*, n° 6, 295 p.

RIBAS i PALOM, A., SAURI i PUJOL, D., 1990, L'Aiguat d'octubre de 1940 a les conques dels rius Ter, Fluvia i Muga, in : *L'Aiguat del 40, Actes du colloque de Vernet-les-Bains, 18-20 octobre 1990*, p. 147-157.

RICHARD, D., MATHYS, N., 1999, Historique, contexte technique et scientifique des BVRE de Draix. Caractéristiques, données disponibles et principaux résultats acquis au cours de dix ans de suivi, in : *Actes du colloque « Les bassins versants expérimentaux de Draix, laboratoire d'étude de l'érosion en montagne »*, Draix, Le Brusquet, Digne, France, 22-24 octobre 1997, Cemagref Grenoble, France, p. 11-28.

SNELDER, D.-J., BRYAN, R.-B., 1995, The use of rainfall simulation to assess the influence of vegetation density on soil loss on degraded rangelands in the Baringo district (Kenya), *Catena*, n° 25, p. 105-116.

SOUTADE, G., 1990, Les inondations catastrophiques d'octobre 1940 en Catalogne nord : le pourquoi d'une commémoration, in : *L'Aiguat del 40, Actes du colloque de Vernet-les-Bains, 18-20 octobre 1990*, p. 55-64.

SURELL, A., 1841, *Étude sur les torrents des Hautes-Alpes*, Paris, Carilion-goeury & Dalmont, 284 p.

TABEAUD, M., PECH, P., SIMON, L., 2003, Weather hazards, vulnerabilities and risks in Mediterranean hinterlands from the 19th century – the Lure Mountain (France), in : *IAG Working Group on Geoarchaeology*, colloque international Dynamiques environnementales et histoire en domaines méditerranéens, Paris, avril 2002, Elsevier SAS, Paris, p. 147-155.

THOMMERET, N., 2006, *Analyse du paysage de badlands par les approches morphométrique et fractale*, mémoire de M1 de Géographie, Université Paris 1, 99 p.

THOMMERET, N., 2007, *Analyse de réseaux de ravines à différentes échelles à partir d'imagerie aérienne et spatiale. Perspective pour une approche fractale*, mémoire de M2 Espaces, dynamiques des milieux et risques, 98 p.

ÚBEDA, X., SALA, M., 2001, Chemical concentrations in overland flow from different forested areas in a Mediterranean Environment: burned forest at different fire intensity and unpaved road, *Zeitschrift für Geomorphologie*, 45, 2, p. 225-238

RÔLE DES SOCIÉTÉS HUMAINES

ASPERÓ, F., OUTEIRO, L., RODRÍGUEZ, R. CAMPS, J. Y ÚBEDA, X., 2008, Landscape perception changes in the Gavarres massif (north-east Catalonia) based on stakeholder interviews, poster présenté à la 23^e session du Permanent European Conference for the Study of the Rural Landscape « Landscapes, identities and development », Lisbonne et Obidos, Portugal, 1-5/9/2008.

B.R.E., 2000, Influence de l'homme sur l'érosion, volume 2 : bassins-versants, élevage, milieux urbain et rural, thème 7 : érosion et élevage, *Bulletin du réseau Érosion*, n° 20, Ird-GTZ.

BECK, C., LUGINBUHL, Y., MUXART, T. (Eds), 2006, *Sociétés et ressources renouvelables. Temps et espace des crises environnementales*, Paris, QUAE, 409 p.

BEDECARRATS, A., 2008, *Dynamique des paysages et érosion dans les Alpes du Sud françaises. Logiques de l'action publique et du développement local, convergences et différences*, rapport de recherche Programme « Dynamiques du paysage et développement durable en montagnes méditerranéennes », mimeo, 16 p.

BUIJS ARJEN, E., PEDROLI, B., LUGINBUHL, Y., 2006, From hicking through farmland to farming in a leisure landscape: changing social perceptions of the European landscape, *Landscape ecology*, n° 21, p. 375-389.

COHEN, M. (Dir.), 2003, *La Brousse et le Berger. Une approche interdisciplinaire de l'embroussaillage des parcours*, Paris, Éditions du CNRS, Collection Espace et Milieux, 356 p. + 16 planches couleur.

DUFAU, B., 2004, *Rôle de l'utilisation du sol dans la dynamique des paysages du Val de la Méouge*, mémoire de maîtrise, Université Paris 7, 98 p.

FOURAU, V., 2007, *L'approche paysagère en forêt méditerranéenne, notion théorique ou outil d'aménagement émergent pour des territoires forestiers atypiques en Europe ?*, doctorat de géographie, Université Paris 1-UMR Ladyss.

GARLATTI, F., 2007, *Risque torrentiel et sa perception dans la vallée de l'Arvino (Frioul – NE Italie)*, doctorat de géographie et environnement, Université Paris 7-UMR Prodig.

GARLATTI, F., 2008, *Dynamique des paysages, érosion et développement durable dans les montagnes méditerranéennes. Cas des Préalpes Carniques méridionales et orientales (Région Autonome Frioul-Vénétie Julienne)*, rapport de recherche UMR Ladyss, miméo, 63 p.

GÓMEZ MENDOZA, J., 1992, *Ciencia y Política de los montes españoles, (1848-1936)*, Madrid, ICONA Clásicos, 260 p.

GÓMEZ MENDOZA, J., 2000, Las políticas repobladoras del siglo XX. Análisis de discursos, en Montes para la sociedad del nuevo milenio, in : *III Congreso Forestal Español*, Granada 25-28 de septiembre 2001, Junta de Andalucía, Grupo transga, SECF, Tomo VI, p. 877-883.

LUGINBUHL, Y., 1989, Au-delà des clichés... la photographie du paysage au service de l'analyse, *Strates, matériaux pour la recherche*, n° 4, p. 11-16.

Ministerio de Medio Ambiente, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir – Oficina de Planificación, 1994, *Plan hidrológico del Guadalquivir*, CD Kelvin Aplicaciones Multimedia.

NAETH, M.-A., CHANASYK, D.-S., 1996, Runoff and sediment yield under grazing in foothills fescue grasslands of Alberta, *Water resources bulletin*, n° 32, p. 89-95.

PAVÓN, D., VENTURA, M., RIBAS, A., SERRA, P., SAURÍ, D., BRETON, F., 2003, Land use change and socio-environmental conflict in the Alt Empordà country (Catalonia, Spain), *Journal of Arid Environments*, n° 54, p. 543-552.

POLETO, A., RAYMOND, R., BARRUSSAUD, E., 2007, Strategies to face the socio-economic crisis in a rural territory: the case of the Baronnies provençales (Drôme, Southeast France), communication au IAMO Forum 2007, Sustainable rural development: what is the role of the agri-food sector?, 27-29 juin, Halle (Allemagne), in : PETRICK, M., BUCHENRIEDER, G. (eds.), *Studies on the Agricultural and Food Sector in Central and Eastern Europe*, Halle (Saale), IAMO, p. 51 -51.

REY, F., 2006, *Enquête auprès des acteurs du reboisement*, rapport de recherche Programme « Dynamique des paysages, érosion et développement durable dans les montagnes méditerranéennes », mimeo, 5 p.

SAURÍ, D., ROSET, D., RIBAS, A., PUJOL, P., 2001, The 'escalator effect' in flood policy: the case of the Costa Brava, Catalonia, Spain, *Applied Geography*, n° 21, p. 127-143.

VENTURA, M., RIBAS, A., SAURÍ, D., 2000, Gestión del agua y conflictividad social en la cuenca del río Muga (Alt Empordà), *Geographica*, n° 38, p. 59-75, Universidad de Zaragoza.