

L'ingénierie écologique pour le contrôle de l'érosion dans les bassins versants torrentiels

Freddy Rey, Sylvain Della Torre et Frédéric Berger

On pourrait définir l'ingénierie écologique comme la connaissance du fonctionnement – naturel ou perturbé – des écosystèmes, pour mettre au point des stratégies d'intervention sur le milieu, visant à imiter ou adapter ce fonctionnement pour atteindre un écosystème-objectif déterminé, dans une perspective de développement durable. L'ingénierie écologique s'applique à des géosystèmes, c'est-à-dire qu'elle prend en compte des intérêts humains et économiques. C'est par excellence une discipline d'interface qui se caractérise par une dualité, d'une part au niveau du chercheur lui-même, qui possède souvent une double compétence de scientifique et d'ingénieur, d'autre part entre le chercheur et le gestionnaire, c'est-à-dire entre l'accroissement des connaissances et leur application. Pour le scientifique travaillant dans le domaine de l'ingénierie écologique, cela nécessite d'intervenir à quatre niveaux :

- problématique. Identification des problèmes et définition des objectifs à atteindre pour les résoudre ;

- recherche. Acquisition de connaissances par observations, retour d'expérience et expérimentations ;

- gestion. Mise au point d'outils d'aide à la gestion et application sur des cas concrets par le biais de l'expertise et de la maîtrise d'œuvre ;

- transfert. Rédaction de guides et enseignement du savoir par des formations et du monitorat.

L'ingénierie écologique pour le contrôle de l'érosion en contexte torrentiel, telle qu'elle est abordée au Cemagref de Grenoble, illustre bien ces concepts (Rey *et al.*, 2001). Les études concernent des problèmes concrets et présentent un caractère finalisé. Par exemple, elles peuvent contribuer à répondre aux problèmes liés aux dépôts de sédiments à l'aval du bassin versant de la Durance, dans les Alpes du Sud, qui menacent divers enjeux socio-économiques (populations et biens) (Balland *et al.*, 2002 ; Della Torre, 2004). Du point de vue des travaux de recherche, les domaines abordés sont variés : interactions végétation/érosion, restauration écologique des terrains érodés, écologie de la restauration des terrains érodés. Les résultats des recherches peuvent alors être appliqués au développement ou à l'amélioration d'outils d'aide au contrôle de l'érosion.

Les problématiques

L'exemple des dépôts de sédiments à l'aval du bassin versant de la Durance

Dans certaines régions montagnardes en France, il existe des problèmes liés à la surcharge solide des cours d'eau, provoquant des dépôts de sédiments pouvant être préjudiciables pour certains

Les contacts

Cemagref,
UR Écosystèmes
montagnards, 2 rue
de la Papeterie, BP 76,
38402 Saint-Martin-
d'Hères Cedex

enjeux socio-économiques. C'est le cas dans le bassin versant de la Durance, où l'on observe d'importants dépôts de sédiments à l'aval, se traduisant notamment par un envasement des retenues de barrages hydroélectriques (Roux, 1983) et un exhaussement du lit de la Basse-Durance (Balland *et al.*, 2002). Par ailleurs, de nombreuses perturbations sont apparues progressivement au niveau de l'Étang de Berre, depuis la création du canal usinier d'Électricité de France (EDF) et la dérivation d'une partie des eaux de la Durance vers cet étang (Balland *et al.*, 2002).

Ces dépôts de sédiments sont essentiellement dus à l'érosion des ravines inscrites dans des marnes du bassin versant de la Durance (Brochot, 1993). Ce dernier compte près de 46 000 ha de marnes dénudées, dont la production de sédiments altérés est estimée entre 100 et 150 t/ha/an. Vingt-six mille hectares sont des marnes noires très érodables, tandis que d'autres types de marnes atteignent une superficie de près de 20 000 ha. Ces terrains érodés sont généralement répartis dans les départements des Hautes-Alpes (vallée du Buëch) et des Alpes de Haute-Provence, notamment dans les secteurs de Sisteron et Digne.

Les marnes noires sont très friables et s'érodent facilement. L'alternance des facteurs climatiques génère une couche d'altération appelée régolite. Selon des observations effectuées depuis près de 20 ans sur les bassins versants expérimentaux de Draix, à proximité de Digne, Mathys *et al.* (2003) reportent une érosion de ces marnes de près de 1 cm/an. Les sédiments, sous la forme de nombreuses plaquettes, sont alors entraînés par le biais de rigoles d'évolution saisonnière et s'accumulent dans le fond des ravines, avec un ruissellement concentré jusqu'à 400 g/l de matières en suspension (MES) (Brochot, 1993). Ces plaquettes sont par la suite reprises par les eaux de ruissellement et transportées en suspension par les cours d'eau sur de grandes distances, lors des violentes pluies du climat méditerranéen. Les crues peuvent provoquer des écoulements à très fort débit solide, voire même des laves torrentielles. Les matériaux d'altération des marnes deviennent progressivement mais rapidement très fins. Ces éléments se déposent, par la suite, dans les retenues et le lit de la Durance, ainsi que dans l'Étang de Berre, où on les qualifie alors de limons.

La responsabilité des bassins versants torrentiels sur marnes dans les dépôts de sédiments au sein du système Durance-Étang de Berre avoisine

les 44 % (Brochot, 1993). Les matières en suspension issues de ces bassins susceptibles d'aboutir à l'Étang de Berre représentent 2,9 millions de tonnes/an. Cinquante pour cent des limons viennent de la seule Bléone et de son bassin versant. Il faut cependant souligner que tous les limons ne proviennent pas de la Durance, 27 à 31 % des MES sont issues des cours d'eau drainant le bassin versant de l'Étang de Berre (Fiandino, 2004).

Ces dépôts de sédiments peuvent menacer des enjeux socio-économiques de deux types : rapprochés et éloignés (par rapport aux zones d'érosion). Les enjeux rapprochés sont les populations, les habitations et les infrastructures situées à proximité de l'exutoire des bassins versants, principalement menacés par les laves torrentielles et les apports de sédiments responsables de dépôts boueux. Les enjeux éloignés sont multiples : personnes et biens situés au niveau du lit de la Basse-Durance et menacés par des inondations suite à l'exhaussement du lit de la rivière ; l'Étang de Berre dont l'enlimentation crée d'importantes perturbations écologiques (Balland *et al.*, 2002) ; les retenues de barrages hydroélectriques dont l'envasement peut affecter le bon fonctionnement (Verstraeten *et al.*, sous presse).

Précisons que dans d'autres régions françaises, par exemple dans la vallée de la Drôme, les problématiques peuvent à l'inverse être liées à un déficit sédimentaire dans les cours d'eau, responsable d'une érosion progressive, de glissements de berges ou encore d'écroulements de ponts. Les solutions à apporter sont alors différentes (Liébault et Taillefumier, 2000).

Les objectifs

Pour lutter contre ces dépôts importants de sédiments et protéger les enjeux, une solution consiste à retenir les sédiments dans les bassins versants torrentiels à l'amont, soit en empêchant l'érosion de se produire, soit en installant des pièges à sédiments à l'aval des zones érodées. Aux contraintes écologiques et techniques de cette gestion s'ajoute également aujourd'hui une contrainte économique, qui impose aux gestionnaires, notamment les services de restauration des terrains en montagne (RTM) de l'Office national des forêts (ONF), de définir des stratégies minimales pour la lutte contre l'érosion (Balland *et al.*, 2002). Si, au siècle dernier, la stratégie utilisée pour la restauration des terrains érodés était de reboiser « en masse » partout où cela

était possible (Vallauri *et al.*, 1997), on cherche plutôt aujourd'hui à sélectionner des zones-clés à revégétaliser, afin de minimiser l'érosion et l'exportation de sédiments fins dans les cours d'eau, avec le moins possible d'interventions.

Pour cela, l'ingénierie écologique peut constituer une solution intéressante pour réduire, à moindre coût, la mobilisation et l'accumulation de sédiments marneux érodés, grâce à l'influence des ouvrages de génie biologique et de la végétation sur les processus d'érosion et de sédimentation (Poncet, 1995 ; Rey *et al.*, 2004). Elle peut permettre de proposer une gestion minimale des problèmes d'érosion, tout en se plaçant dans l'optique d'un développement durable réunissant les trois paramètres écologique, économique et social. Des recherches ont donc été entreprises en ce sens.

Les recherches

Nos recherches sur la maîtrise de l'érosion en montagne visent à :

- mieux comprendre les interactions entre la végétation et les processus d'érosion et de sédimentation en contexte torrentiel ;
- étudier l'efficacité des ouvrages de génie biologique permettant d'installer une couverture végétale sur des terrains érodés ;
- étudier la dynamique végétale naturelle après les interventions d'ingénierie écologique.

Ces recherches se basent d'une part sur un retour d'expérience sur les travaux d'ingénierie contre l'érosion réalisés par le passé en France dans des bassins versants torrentiels, d'autre part sur des études expérimentales spécifiques et nouvelles répondant à des questionnements bien précis de l'ingénierie écologique.

Retour d'expérience

Les études menées afin de bénéficier d'un retour d'expérience ont porté tout d'abord sur des ouvrages anciens de génie biologique pour la maîtrise de l'érosion en contexte torrentiel, réalisés par les services RTM dans deux départements alpins, l'Isère et les Hautes-Alpes (Rey, 2004a). D'autre part, des réalisations plus récentes, réalisées par ces mêmes services RTM, ont également fait l'objet d'une synthèse et d'un bilan critique dans le département de l'Isère (Rey, 2003a).

Ces études ont permis de proposer des recommandations pour le choix des ouvrages de génie

biologique à utiliser lors de chantiers de restauration de bassins versants érodés (Rey, 2003c).

Études expérimentales

Les études expérimentales concernent principalement les bassins versants torrentiels marneux sous climat montagnard subméditerranéen (Alpes du Sud). Les approches sont réalisées à différentes échelles spatiales.

À l'échelle de bassins versants de l'ordre du kilomètre carré, les résultats obtenus sur les bassins versants expérimentaux de Draix permettent une approche globale de l'effet de la végétation sur l'érosion. Ils montrent qu'un bassin versant végétalisé à 87 % produit plus de 200 fois moins de sédiments qu'un bassin versant de caractéristiques lithologiques et topographiques similaires, mais végétalisé à 32 % (Mathys *et al.*, 2003).

À l'échelle de petites ravines de moins d'un hectare, soit à l'échelle d'application du génie biologique, nous avons orienté nos investigations vers la recherche d'un rôle optimal joué par la végétation sur les processus d'érosion et de sédimentation. Des études ont ainsi été réalisées afin de mettre en évidence le rôle de barrière joué par la végétation naturelle dans le piégeage et la rétention des sédiments. Ces travaux ont montré l'importance de la répartition spatiale de la végétation pour la réduction de transit sédimentaire à l'exutoire des ravines. Ils ont notamment permis de mettre en évidence un taux minimal de couverture végétale (20 %), suffisant pour stopper la sortie de sédiments de celle-ci. Dans ce cas, la végétation est majoritairement composée d'arbustes et d'herbacées, situés à l'aval et dans le lit. Cette végétation naturelle joue alors un rôle optimal d'obstacle piégeant les sédiments érodés à l'amont (Rey, 2003b, 2004b ; Cohen et Rey, 2005).

Par la suite, on s'est attaché à concevoir les ouvrages de génie biologique permettant l'installation de cette couverture végétale minimale. Les recherches ont porté d'une part sur la capacité de diverses espèces végétales à se développer par bouturage sous climat méditerranéen, d'autre part sur l'efficacité de différentes dispositions des boutures pour le piégeage des sédiments. Les résultats ont mis en évidence trois espèces de saule aptes à se développer et à mener à la constitution de barrières végétales : le saule pourpre, le saule drapé et le saule blanc. Ces végétaux, lorsqu'ils proviennent de boutures installées dans des lits

de ravines sous forme de « cordon et garnissage sur fascine » (assemblage d'un tapis de boutures, placées sur un remblai à l'amont d'un seuil lui-même composé de fagots de boutures) se révèlent très efficaces pour piéger des sédiments dès leur première année d'installation (photos 1 et 2). Un tel ouvrage de 1 m² peut piéger une quantité moyenne de sédiments de 0,10 m³ sur un an (Rey *et al.*, 2003 ; Rey, sous presse). Toutefois, beaucoup de boutures ont séché du fait d'une mauvaise rétention de l'eau de pluie par les ouvrages. Les études doivent donc être poursuivies pour améliorer ces derniers et optimiser la rétention de l'eau.

Nos recherches se sont ensuite orientées vers le domaine de l'écologie de la restauration des ravines érodées, l'objectif étant de mieux connaître la dynamique végétale naturelle s'installant après l'installation des ouvrages de génie biologique. Les premiers travaux ont porté sur la végétation naturelle pionnière (banques de graines et de semis) s'installant immédiatement après la construction des ouvrages, le développement des barrières végétales et le piégeage de sédiments. Les résultats montrent une colonisation végétale naturelle positive, avec une biodiversité intéressante mais un faible recouvrement (Rey *et al.*, sous presse).

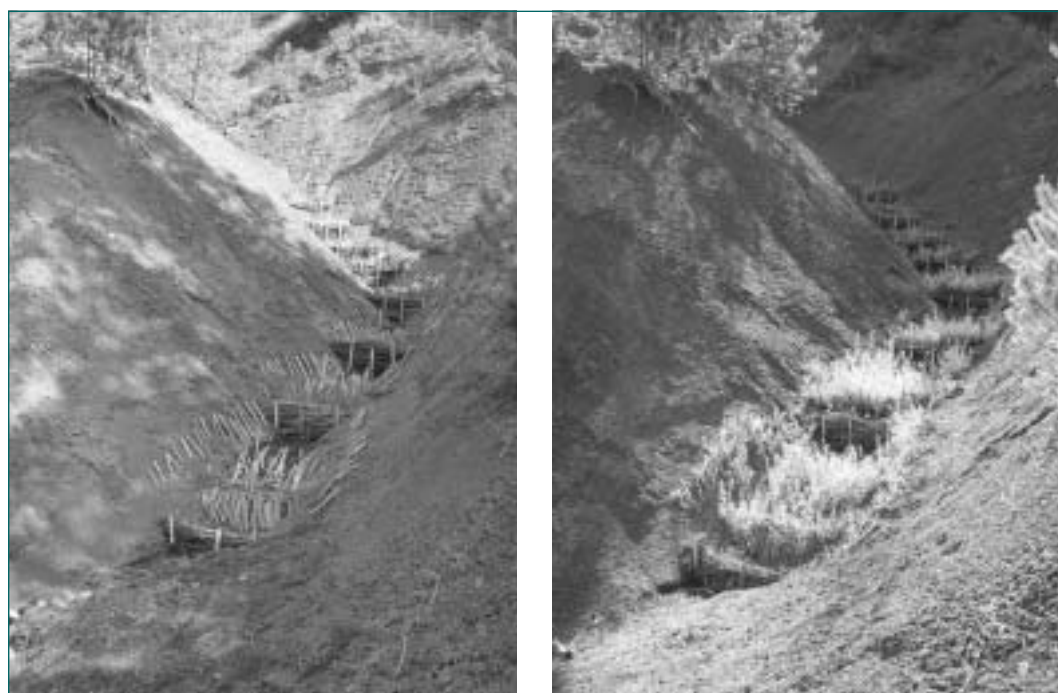
La gestion

Mise au point d'outils d'aide à la gestion

Les résultats de ces recherches sont traduits sous la forme d'outils d'aide pour la gestion des problèmes d'érosion. Nous avons ainsi proposé des stratégies de restauration minimale de ravines érodées (Rey, 2003c). Elles permettent notamment de définir spatialement des zones d'interventions prioritaires (ZIP) (figure 1).

À l'échelle régionale, la présence d'enjeux socio-économiques va déterminer le choix des bassins versants à restaurer en priorité.

À l'échelle des bassins versants prioritaires, la détermination des ravines prioritaires se fait selon deux critères : l'érodabilité des terrains et la présence d'une végétation naturelle. L'érodabilité des terrains dépend directement de paramètres physiques tels que la lithologie ou la topographie. La présence d'une végétation naturelle peut, quant à elle, indiquer que l'activité érosive est moins intense que sur des terrains nus et qu'une végétation installée aura plus de facilité à se développer. Dans le cas des marnes, pour aider au diagnostic de l'activité érosive de ravines non complètement recouvertes par la végétation, nous avons notamment mis au point une typologie de ravines partiellement végétalisées (Rey *et al.*, 2001).



► Photos 1 et 2 – Installation d'ouvrages de génie biologique à base de saules dans le lit d'une ravine érodée inscrite dans des marnes et reprise des boutures de saules deux mois après l'installation des ouvrages.

Au sein d'une ravine prioritaire à restaurer, la détermination de l'étendue de la correction nécessaire et suffisante pour obtenir son extinction (c'est-à-dire un transit sédimentaire nul à son exutoire) dépend de la spatialisation de la végétation. Les opérations de végétalisation par génie biologique peuvent s'effectuer seulement à l'aval et dans le lit, puis sur les berges et éventuellement sur les bas des versants. Notons que toute opération de restauration doit débiter par une stabilisation des sols et une lutte contre l'érosion concentrée. Une intervention par génie civil est ainsi indispensable dans les lits principaux des torrents.

Pour le choix des ouvrages de génie biologique à installer pour la restauration des ravines érodées, on se reportera notamment aux recommandations issues du retour d'expérience sur leur utilisation en contexte torrentiel (Rey, 2003c).

Notons que pour la gestion des forêts de protection contre l'érosion, nous avons également proposé des méthodes de cartographie de zones d'interventions forestières prioritaires (ZIFP) et des règles de sylviculture. Établies initialement pour les peuplements de pin noir d'Autriche sur marnes (Rey *et al.*, 2001 ; Rey et Berger, sous presse), ces stratégies sont actuellement étendues à tous les types de peuplements forestiers sur tous types de substrats (Berger *et al.*, 2003 ; Berger et Rey, 2004 ; Dorren *et al.*, 2004).

Cas d'application des résultats de la recherche : la restauration écologique de ravines incisées dans des marnes pour la lutte contre les dépôts de sédiments à l'aval du bassin versant de la Durance

Sur la base des principes et des outils de gestion présentés plus haut, nous pouvons proposer une approche minimale pour la restauration écologique de ravines incisées dans des marnes, pour la lutte contre les dépôts de sédiments à l'aval du bassin versant de la Durance.

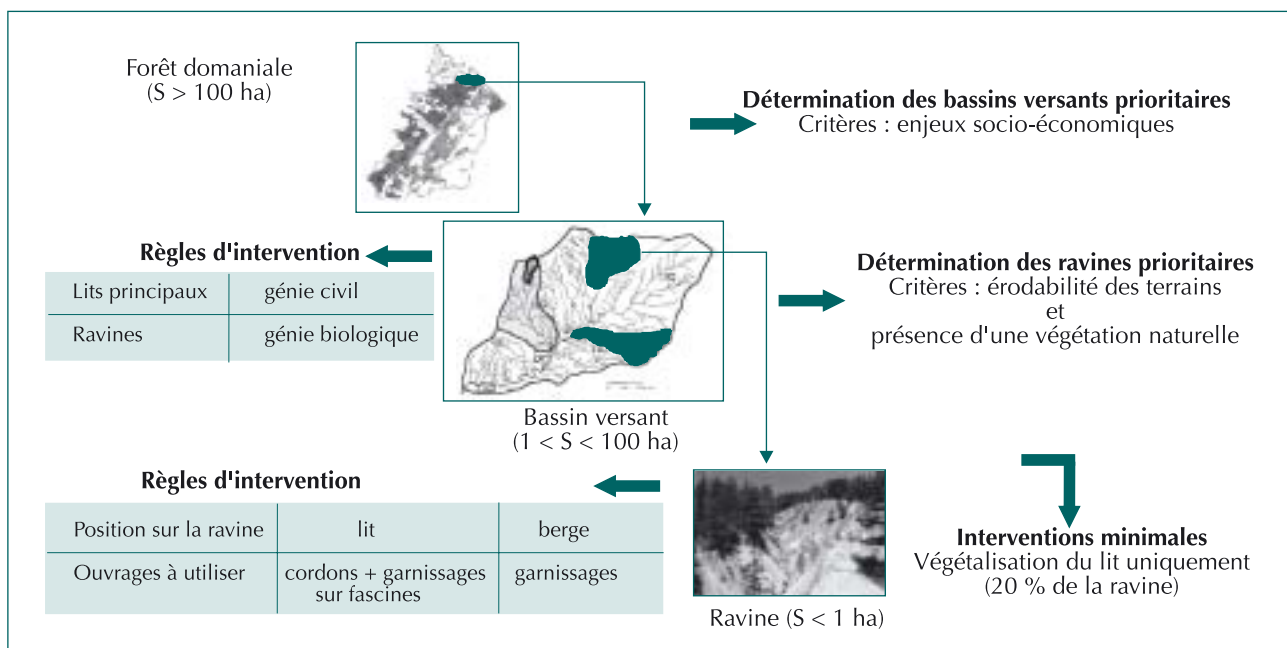
Nous pouvons tout d'abord déterminer les zones d'interventions prioritaires (Della Torre, 2004).

À l'échelle régionale, les enjeux socio-économiques peuvent être multiples : habitations de la Basse-Durance, Étang de Berre, retenues de barrages hydroélectriques. Les bassins versants marneux érodés situés à l'amont des enjeux considérés doivent être restaurés en priorité.

On peut alors descendre à l'échelle des ravines et déterminer celles qui seront à restaurer en priorité, en fonction de leur degré d'érodabilité et de la présence d'une végétation naturelle. Une cartographie des terrains érodés du bassin versant de la Durance a été réalisée par le Cemagref (Schubetzer, 1992) et permet de distinguer quatre types de terrains :

– marnes noires nues,

▼ Figure 1 – Méthode générale de détermination des zones d'interventions prioritaires pour la restauration de bassins versants torrentiels érodés.



- marnes noires avec couvert végétal hétérogène,
- autres marnes nues,
- autres marnes avec couvert végétal hétérogène.

Il est alors possible de classer ces types de terrains par ordre de priorité d'intervention. Les ZIP de 1^{ère} priorité seront les « marnes noires avec couvert végétal hétérogène ». En effet, les marnes noires sont les terrains les plus érodables fournissant le plus de sédiments et la présence de végétation peut indiquer que la topographie est plus favorable à l'installation d'une couverture végétale par génie biologique. L'utilisation de la typologie de ravines citée plus haut peut alors aider pour affiner les priorités au sein même de ces terrains. Les ZIP de moindre priorité seront ensuite à déterminer sur le terrain entre les « marnes noires nues » et les « autres marnes avec couvert végétal hétérogène ». Enfin, les « autres marnes nues » ne seront traitées qu'en dernier.

À l'échelle des ravines prioritaires, on pourra alors chercher à ne restaurer qu'une partie de celles-ci, à l'aval et sur 20 % seulement de leur surface.

Concernant les règles d'intervention, on peut installer des cordons et garnissages sur fascines, à base de saule pourpre, blanc ou drapé, dans le lit des ravines. Des garnissages peuvent être envisagés sur les berges des lits. Dans le bassin versant de la Durance, les zones marneuses érodées se situent généralement à une altitude comprise

entre 500 et 1 500 mètres, où l'intervention par génie écologique avec les espèces citées demeure raisonnable et peut être envisagée.

Conclusion : vers une poursuite des recherches et un transfert des connaissances

Nos recherches se poursuivent dans le domaine de l'ingénierie écologique pour le contrôle de l'érosion en contexte torrentiel. Ainsi, il faut prévoir d'optimiser les ouvrages de génie biologique, pour une meilleure rétention de l'eau permettant d'augmenter les taux de reprise des boutures en période de forte sécheresse et de favoriser la colonisation végétale. Par ailleurs, une poursuite des études sur la dynamique végétale naturelle après les opérations de restauration écologique, des stades pionniers aux écosystèmes forestiers, est nécessaire.

Les connaissances issues de la recherche doivent être mises à disposition des gestionnaires de manière claire, concise et accessible. Des guides sont ainsi en cours de rédaction, afin de mettre à leur disposition des outils synthétiques et pratiques. Par exemple, un guide de génie biologique pour la maîtrise de l'érosion dans les bassins versants torrentiels est en cours de rédaction. Parallèlement, des actions de formation et de monitorat sont menées, afin de réaliser un transfert des connaissances et des outils du chercheur vers les gestionnaires. □

Remerciements

Les auteurs remercient Damien Bilbault, Olivier Bouc, Émilie Nahon et Cécile Rousseau, élèves-ingénieurs à l'ENGREF, pour leur participation à la conception d'une partie de cet article.

Résumé

Cet article présente la façon dont l'ingénierie écologique pour le contrôle de l'érosion dans les bassins versants torrentiels est abordée au Cemagref de Grenoble. Il expose en quoi la prise en compte des problématiques de protection des territoires de montagne contre l'érosion amène à orienter les recherches vers une meilleure compréhension des interactions entre la végétation et l'érosion, une meilleure connaissance de l'efficacité des actions de restauration écologique et une meilleure connaissance de l'écologie des milieux restaurés. Des études sont notamment menées sur l'efficacité des barrières végétales naturelles pour le piégeage des sédiments, sur les moyens de les installer par le biais d'ouvrages de génie biologique, ainsi que sur la dynamique végétale naturelle s'instaurant après leur installation. Des stratégies économes d'utilisation du génie biologique pour une rétention durable des sédiments dans les bassins versants, devant mener à une réduction de la charge solide des cours d'eau, sont alors proposées. Ces différentes étapes sont abordées à travers l'exemple de la problématique des dépôts de sédiments à l'aval du bassin versant de la Durance, dans les Alpes du Sud.

Abstract

This paper presents the scientific methodology followed at Cemagref Grenoble to assess the field of ecological engineering for erosion control in torrential catchments. Firstly, it explains how operational problems and issues led us to carry out investigations in the field of the interactions between vegetation and erosion, the efficiency of various actions for ecological restoration, and the ecology of the restored lands. Therefore, studies have been realised on the efficiency of natural vegetation barriers for sediment trapping, the mean to install them with bioengineering works, and the natural vegetation dynamics following their installation. Therefore strategies for the use of bioengineering for sustainable retention of sediment in torrential catchments are proposed, in order to reduce the solid load in rivers. The example of sedimentation control in the Durance catchment, in the French Southern Alps, is presented.

Bibliographie

BALLAND, P. ; HUET, P. ; LAFONT, E. ; LETEURTOIS, 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*, MEDD, MAAPAR, METLTM, 93 p.

BERGER, F. ; REY, F. ; LIÉVOIS, J., 2003, Le zonage : un outil pour la gestion des forêts de montagne à fonction de protection contre les risques naturels, *Ingénieries-EAT*, n° 36, p. 53-63.

BERGER, F. ; REY, F., 2004, Mountain protection forests against natural hazards and risks: new French developments by integrating forests in risk zoning, *Natural hazards*, vol. 33, p. 395-404.

BROCHOT, S., 1993, *Érosion de badlands dans le système Durance-Étang de Berre*, Cemagref Grenoble, 200 p.

COHEN, M. ; REY, F., 2005, Dynamique végétale et processus d'érosion dans les Alpes françaises du Sud, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 1.

DELLA TORRE, S., 2004, *Réhabilitation écologique de ravines marneuses du bassin versant de la Durance afin de lutter contre l'envasement des barrages hydroélectriques d'EDF en Durance et de l'Étang de Berre*, Cemagref, Grenoble, mémoire INH, 55 p.

DORREN, L.-K.-A. ; BERGER, F. ; IMESON, A.-C. ; MAIER, B. ; REY F., 2004, Integrity, stability and management of protection forests in the European Alps, *Forest ecology and management*, vol. 195, p. 165-176.

- FIANDINO, M., 2004, Apports de matières en suspension par les fleuves côtiers à l'Étang de Berre (Bouches-du-Rhône, France), *Études de géographie physique, supplément au n° 31 « Travaux du Belvédère du Mont Lozère »*, 325 p.
- LIÉBAULT, F. ; TALLEFUMIER F., 2000, L'évolution contemporaine de la bande active des principaux affluents de la Drôme, de l'Eygues et du Robion (Préalpes du Sud, France), *Géocarrefour*, vol. 75, p. 327-336.
- MATHYS, N. ; BROCHOT, S. ; MEUNIER, M. ; RICHARD, D., 2003, Erosion quantification in the small marly experimental catchments of Draix (Alpes de Haute-Provence, France). Calibration of the ETC rainfall-runoff-erosion model, *Catena*, vol. 50, p. 527-548.
- PONCET, A., 1995, *Restauration et conservation des terrains en montagne*, Paris, Office national des forêts, 1000 p.
- REY, F., 2003a, *Synthèse et bilan critique des réalisations de génie écologique pour la maîtrise de l'érosion dans le département de l'Isère*, Grenoble, Cemagref-PGRN, 26 p.
- REY, F., 2003b, Influence of vegetation distribution on sediment yield in forested marly gullies, *Catena*, vol. 50, p. 549-562.
- REY, F., 2003c, Efficacité des barrières végétales pour la lutte contre l'envasement des retenues de barrages, *La houille blanche*, n° 6, p. 41-45.
- REY, F., 2004a, Efficacité du génie biologique par bouturage en petite correction torrentielle, *Revue forestière française*, vol. 61, p. 155-163.
- REY, F., 2004b, Effectiveness of vegetation barriers for marly sediment trapping, *Earth surface processes and landforms*, vol. 29, p. 1161-1169.
- REY, F., (sous presse), Efficiency of bioengineering works made of willow cuttings for sediment trapping in marly gullies under a Mediterranean climate (Southern Alps, France), *Land degradation and development*.
- REY, F. ; VALLAURI, D. ; CHAUVIN, C., 2001, Génie écologique contre l'érosion des marnes dans les Alpes du Sud, *Ingénieries EAT*, n° 25, p. 41-55.
- REY, F. ; BERGER, F. ; QUÉTEL, C. ; LE HIR, C., 2003, Le rôle de protection passive de la végétation forestière vis-à-vis de l'érosion et des chutes de pierres, *Ingénieries EAT*, n° spécial « Risques naturels et aménagement du territoire », p. 165-178.
- REY, F. ; BERGER, F., (sous presse), Optimal management of Austrian black pine on marly lands for sustainable protection against erosion (Southern Alps, France), *New forests*.
- 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*, vol. 336, p. 991-998.
- REY, F. ; ISSELIN-NONDEDEU, F. ; BÉDÉCARRATS, A. ; (sous presse), Vegetation dynamics on sediment deposits upstream of bioengineering works in mountainous marly gullies in a Mediterranean climate (Southern Alps, France), *Plant and soil*.
- ROUX, R.-M., 1983, *L'Étang de Berre ; Sédiments et dynamique sédimentaire*, Centre national pour l'exploitation des océans, centre d'océanologie de Marseille (URA 41).
- SCHUBETZER, C., 1992, *Badlands et autres faciès du bassin versant de la Durance*, Grenoble, Cemagref, carte au 1/250 000.
- VALLAURI, D. ; CHAUVIN, C. ; MERMIN E., 1997, La restauration écologique des espaces forestiers dégradés dans les Alpes du Sud. Chronique de 130 ans de restauration et problématique actuelle de gestion des forêts recréées en Pin noir, *Revue forestière française*, vol. 49, p. 433-449.
- VERSTRAETEN, G. ; BAZOFFI, P. ; LAJCZAK, A. ; RADOANE, M. ; REY, F. ; POESEN, J. ; DE VENETE, J. ; (sous presse), Reservoir and pond sedimentation in Europe, in J. BOARDMAN, J. POESEN (Eds), *Soil erosion in Europe*, Wiley.