

La gestion actuelle de l'érosion par la végétation forestière dans les Alpes du sud

par *Freddy REY, Daniel VALLAURI et Murielle MILLOT **

Introduction

Afin de lutter contre l'érosion et les crues torrentielles, les terrains marneux des Alpes du sud ont fait l'objet, à la fin du siècle dernier, d'importants reboisements, essentiellement en pin noir d'Autriche (*Pinus nigra Arn. ssp nigricans Host.*). 100 ans plus tard se pose le problème de la déstabilisation de ces peuplements : maintenant âgés, homogènes sur de vastes surfaces (plusieurs milliers d'hectares), ils risquent d'être détruits par des phénomènes catastrophiques étendus tels que chablis, incendies ou attaques parasitaires. Cette disparition incontrôlée des peuplements forestiers pourrait être localement à l'origine d'une reprise d'érosion. C'est pourquoi aujourd'hui, il faut trouver le moyen de pérenniser les forêts restaurées, tout en continuant à réhabiliter les zones en érosion vive.

Pour tenter d'assurer le renouvellement des peuplements de pin noir, il faut tout d'abord connaître leur état, leur fonctionnement et leur viabilité. Il est alors possible de déterminer des règles sylvicoles, appliquées selon une planification s'appuyant sur la détermination de zones d'interventions forestières prioritaires. En parallèle, des recherches concernant les pro-

blèmes de réhabilitation des zones en érosion visent à mieux connaître le rôle de la végétation forestière dans la lutte contre l'érosion, afin de proposer des stratégies économies d'utilisation du génie biologique.

L'équipe Forêt de montagne du Cemagref de Grenoble mène ces différentes études, en gardant à l'esprit que la gestion de l'érosion par la végétation forestière doit être un compromis entre un maximum d'efficacité contre l'érosion et un coût minimum d'intervention. Cet article fait le bilan des principaux résultats concernant la gestion de l'érosion par la forêt dans les Alpes du sud.

Pérennisation des forêts réhabilitées

Analyse écologique 120 ans après réhabilitation et conséquences pour la gestion

Les forêts de pin noir d'Autriche sur substrats marneux constituent un stade réhabilité de l'écosystème en cours de restauration. En conséquence, les recherches ont visé à montrer quel



Photo 1 : Peuplements de pin noir d'Autriche sur marnes (Alpes-de-Haute-Provence)

Photo M. Brillat-Savarin

* Cemagref Grenoble, équipe Forêt de montagne
BP 76 38402 Saint-Martin-d'Hères cedex

était le degré d'avancement de la restauration, l'évolution naturelle des processus recréant l'écosystème, ainsi que les interventions d'accompagnement appropriées. Dans cette optique, des études ont porté sur les stations forestières, les sols, la diversité spécifique des arbres et l'infestation par le gui ; elles ont été réalisées sur le bassin versant du Saignon, situé dans la forêt domaniale du Grand Vallon, dans les Alpes de Haute-Provence (VALLAURI, 1997 ; VALLAURI et al, 1998).

Les stations forestières

Les stations sont réparties selon une mosaïque très hétérogène variant à l'échelle décamétrique, rendant leur cartographie difficile, voire impossible. Cinq types de stations ont été définis selon un gradient d'humidité. Seules les stations les plus sèches semblent poser problème pour le renouvellement de la forêt : elles correspondent aux peuplements de pin noir qui comportent un sous-étage clair de genêt cendré, stéheline douteuse et laser de France ; ce type de station apparaît exclusivement sur marnes noires, en exposition chaude. Les autres stations sont plus humides et présentent un sous-bois plus dense et plus diversifié, laissant présager une meilleure capacité de régénération.

La restauration des sols

Sur ces sols anciennement dégradés par l'érosion, la profondeur moyenne de matériel fragmenté ou altéré dépasse 50 cm. L'ensemble du profil est abondamment prospecté par les racines. Les humus sont majoritairement de type dysmull sur marnes et colluvions marneuses ; les horizons sont de texture limoneuse fine, carbonatés, chimiquement pauvres et peu structurés.

Les évolutions naturelles attendues sont une amélioration de la macro-structure, notamment celle des horizons superficiels, leur enrichissement en matière organique et en éléments minéraux. L'activité biologique dans le sol, notamment celle des vers de terre, est le facteur principal préparant ces évolutions, la majorité des stations étant ou pouvant être le siège d'une activité lombricienne. Une évolution favorable rapide des communautés de lombrics est attendue suite à une régénération des boisements introduisant une proportion importante de feuillus, entraînant une amélioration de la qualité des litières et de l'humus résultant. Il convient donc de favoriser les essences feuillues.

La restauration de la diversité des arbres

Le boisement est constitué dans la canopée par le seul pin noir. Les densités sont très souvent supérieures à 1500 tiges par ha à 120 ans. La diversité potentielle des arbres comprend 13 espèces indigènes, dont les 3 principales sont le chêne pubescent, l'érythrine à feuilles d'obier et l'alisier blanc. Des études historiques ont montré que l'écosystème objectif de la restauration est en général la chênaie supraméditerranéenne ou la hêtraie sub-montagnarde, pour la zone étudiée (VALLAURI, 1997). L'installation des semis reste toutefois peu fréquente et aléatoire sous boisement dense de pin noir pour toutes les espèces.



Photo 2 : Régénération naturelle feuillue sous une pineraie noire âgée et dense (forêt du Grand Vallon)

Photo F. Rey

Les recherches entreprises nous conduisent à suspecter des difficultés dans la dissémination des semences de feuillus en direction, et à l'intérieur, des boisements denses. La faible fréquentation des espèces d'oiseaux disséminateurs pourrait en être la cause principale. La forte densité du boisement est sans doute également directement défavorable à la dissémination par le vent du pin sylvestre et des érables. Ainsi, une seule opération d'éclaircie, en diversifiant le sous-étage, offrirait plus de nourriture pour les oiseaux tout en facilitant leur pénétration, ce qui agirait très favorablement sur la dissémination et la régénération. (Cf. Photo 2)

L'infestation par le gui

L'infestation par le gui prend une ampleur considérable dans ces peuplements homogènes, équiennes, denses et âgés (VALLAURI, 1998). Sans opérations sylvicoles, la mortalité naturelle conduira à l'ouverture des boisements à une échéance et dans des circonstances mal connues. Le gui se propage actuellement sur de vastes surfaces et assez rapidement, grâce au concours de la grive draine à longue distance,

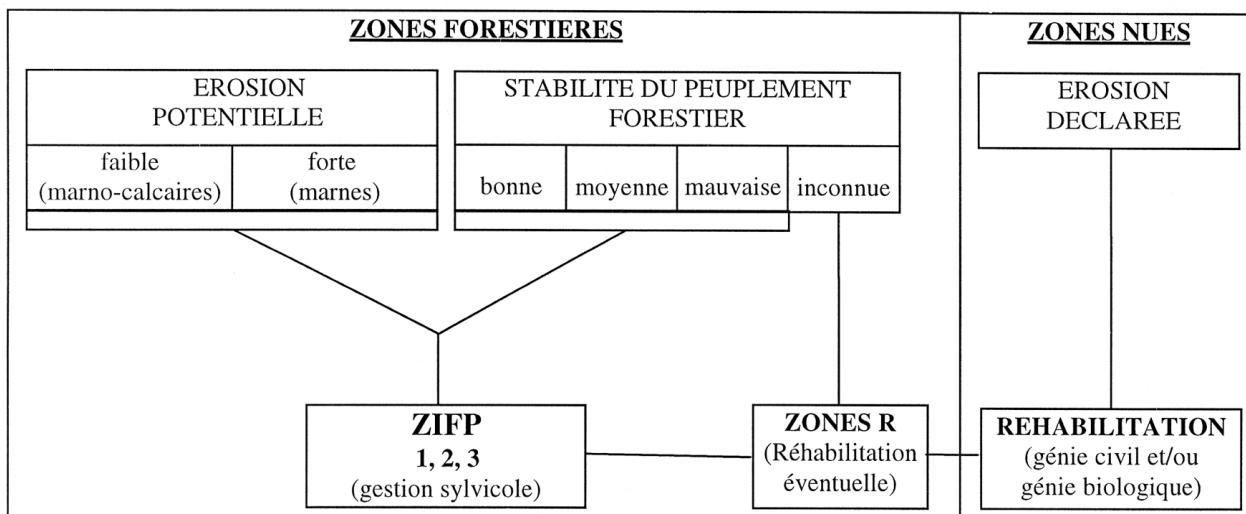


Fig. 1 : Organigramme de détermination des ZIFP

et de la fauvette à tête noire localement. La grive draine est l'une des rares espèces d'oiseaux dont l'abondance augmente avec la densité des boisements de pin noir ; l'abondance de la fauvette à tête noire augmente quant à elle après une forte éclaircie. Il convient donc de faire attention aux conséquences des coupes d'éclaircie intervenant dans ou à proximité de zones infestées.

Conclusion

Ce premier bilan, réalisé à partir d'une étude écologique de l'évolution et de l'état actuel des écosystèmes réhabilités, a permis notamment de mettre en évidence les potentiels de régénération naturelle des forêts et les dynamiques écologiques à favoriser. Il peut alors servir de base pour la gestion des peuplements forestiers, par la détermination de zones d'interventions forestières prioritaires et la définition de règles de gestion sylvicole.

Détermination des Zones d'interventions forestières prioritaires (ZIFP)

Devant l'ampleur des surfaces à rajeunir en un laps de temps relativement court, les gestionnaires forestiers ont besoin de hiérarchiser les urgences d'intervention par coupes dans les

		Stabilité du peuplement forestier			
		bonne	moyenne	mauvaise	inconnue (zones R)
Erosion	faible	3	3	2	priorité
	forte	3	2	1	à définir

Fig. 2 : Matrice de détermination des ZIFP

Note 1 = 1^{ère} priorité, note 2 = 2^{ème} priorité, note 3 = 3^{ème} priorité

pineraies noires âgées. Une méthode de détermination et de cartographie de Zones d'interventions forestières prioritaires (ZIFP), pour la protection contre l'érosion, a donc été développée (Rey et al, 1998). Elle a été mise au point dans les forêts domaniales du Grand Vallon et de la Haute Bléone (Alpes-de-Haute-Provence). Cette méthode s'applique pour l'instant à la gestion des peuplements de pins noirs vieillis sur terrains marneux dans les Alpes du sud, mais sera prochainement élargie à l'ensemble des forêts de protection contre l'érosion sur différents substrats érodables.

Les ZIFP sont déterminées par croisement de deux critères principaux :

- la stabilité du peuplement forestier : elle est déterminée à partir de critères de base caractérisant le

peuplement : âge, densité, infestation par le gui, et régénération sous couvert (Rey et al, 1998) ; quatre classes de stabilité sont ainsi définies : bonne, moyenne, mauvaise et inconnue, cette dernière correspondant aux peuplements de pin noir dépourvus de régénération en sous-étage ;

- l'érosion potentielle : elle est estimée à partir de la lithologie, qui permet de distinguer deux substrats plus ou moins érodables, les marnes et les marno-calcaires.

La détermination des ZIFP est réalisée par combinaison de ces critères, via un Système d'information géographique (SIG ARC-INFO), de la manière suivante (Cf. Fig. 1 et 2).

Les zones classées en première priorité (ZIFP 1) correspondent aux peuplements âgés, denses et guîés, sur

marnes, avec une forte régénération sous couvert : l'instabilité physique des arbres est donc maximale, et la régénération présente sous couvert doit, au plus vite, prendre le relais dans la protection contre l'érosion.

A l'opposé, les ZIFP 3 représentent les zones pour lesquelles l'instabilité du peuplement n'est pas critique, et où une disparition naturelle du peuplement ne semble pas préjudiciable en terme d'érosion (zones de marno-calcaires).

Les " zones R " désignent quant à elles les zones de Réhabilitation éventuelle ; elles correspondent aux peuplements de pin noir dépourvus actuellement de végétation naturelle ligneuse en sous-étage (stabilité non déterminée) : la priorité d'intervention sur ces zones difficiles reste à définir.

L'application de la méthode au bassin du Brusquet, dans la forêt domaniale de la Haute Bléone, donne les résultats présentés sur la figure 3.

Conclusion

Les ZIFP permettent de déterminer où et quand intervenir de manière prioritaire sur les peuplements forestiers âgés ; il convient maintenant de définir les modalités d'intervention sylvicole sur ces forêts.

Définition de règles de gestion sylvicole

Sur la base d'une approche de gestion minimale, des règles de sylviculture peuvent être proposées en fonction des contraintes du milieu, pour la réalisation des coupes dans les peuplements vieillis, ainsi que pour la gestion de la régénération et des peuplements de deuxième génération (REY, CHAUVIN, 1998 ; VALLAURI et al, 1998).

Principes généraux pour une gestion minimale des pineraies noires à fonction de protection

Pour réaliser une gestion minimale de forêts de protection contre l'érosion, il faut chercher à garantir une

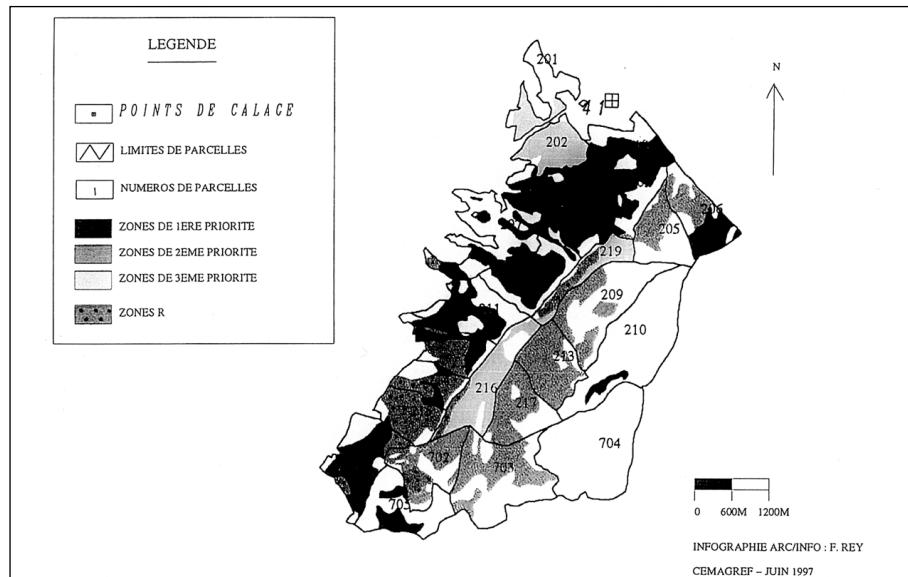


Fig. 3 : Carte des ZIFP pour le bassin du Brusquet (forêt domaniale de la Haute Bléone)

protection suffisante des sols, tout en limitant les interventions forestières afin de réduire leurs coûts.

- Pérennisation de la protection contre l'érosion

L'objectif principal reste la protection des sols contre l'érosion par le maintien d'une couverture végétale. Il faudra donc agir avec précaution lors des coupes, afin d'éviter :

- de découvrir le sol sur de trop grandes surfaces, par des coupes rases par exemple ;

- d'accélérer la déstabilisation du peuplement, en tenant compte de la densité des peuplements et de l'infestation par le gui.

Pour assurer le maintien à long terme de la couverture forestière, il faut renouveler les peuplements âgés, notamment en accompagnant la régénération. La présence et l'abondance de cette régénération doit donc être prise en compte en priorité. La répartition actuelle de la régénération, essentiellement feuillue, présente sous le couvert des pins noirs âgés prouve que, dans la plupart des cas, l'ouverture des peuplements permettra le développement et l'installation d'une nouvelle couverture végétale.

En second lieu, on peut s'intéresser

à la diversité de la régénération. Celle-ci doit être favorisée pour accélérer le retour à l'écosystème objectif (chênaie ou hêtre). Elle est actuellement faible sous les pins, mais devrait augmenter lors des coupes favorisant la pénétration de la lumière au sol ; elle pourra alors être gérée par la réalisation de dépressions.

- Limitation des interventions

La minimisation des interventions forestières peut s'envisager de deux manières :

- en concentrant les efforts suivant le classement des forêts en ZIFP : les crédits d'entretien sont ainsi orientés sur les zones forestières où le risque de reprise d'érosion est le plus important et le plus imminent (ZIFP 1) ; à l'inverse, on peut définir des zones de "non-intervention", correspondant en fait aux ZIFP 3 ;

- en prévoyant des coupes qui, en favorisant d'une part la dissémination des graines, d'autre part l'installation, la diversification et le développement des semis, permettront de limiter les interventions en dépression, la compétition naturelle éliminant une partie des tiges.

Des recherches sont en cours concernant ce dernier point, mais

selon les situations rencontrées, on peut déjà préconiser certains types d'interventions.

Les coupes de régénération

Les coupes de régénération peuvent être réalisées de deux manières : par trouées ou pied à pied. Elles s'effectuent en deux ou trois passages, sur 5 à 7 ans maximum.

Dans les coupes de régénération par trouées, les ouvertures ont une dimension de quelques ares. Pour une exploitation avec trois passages en coupe, on prélève en premier passage 40 % de la surface totale de la parcelle exploitée, puis 80 % lors du deuxième passage, la coupe définitive éliminant le reste.

La coupe par trouées est la plus adaptée lorsque la régénération est abondante, car elle permet aux semis

présents de se développer rapidement et largement.

La coupe de régénération pied à pied laisse entre 300 et 600 tiges/ha après la première coupe.

Dans les cas où les semis sont peu présents ou peu diversifiés, la coupe d'ensemencement pied à pied doit être préférée pour favoriser l'installation des semis, car cette structure est très attractive pour les oiseaux et donc favorable à la régénération.

On peut donc proposer le schéma stratégique suivant :

- *la présence, l'abondance et la diversité de la régénération* sous les pins déterminent le choix de la technique de coupe :

- * si les semis sont abondants ($> 1\ 500/\text{ha}$) et diversifiés, on pratiquera des coupes de régénération par trouées ;

- * si les semis sont peu présents ($< 1\ 500/\text{ha}$), ou s'ils sont abondants mais peu diversifiés, on préférera les coupes de régénération pied à pied ; les zones dépourvues de végétation naturelle ligneuse sous les pins (zones R) devront notamment faire l'objet d'un maximum de précautions ; on ne sait effectivement pas si une ouverture du peuplement, artificielle ou naturelle, peut permettre à une régénération de s'installer ;

- *la densité du peuplement et l'infestation par le gui*, défavorables à la stabilité physique des peuplements lors des coupes, déterminent alors le nombre de passages à réaliser, quelque soit le type de coupe : les forêts denses et/ou guitées doivent être récoltées en deux passages, alors que trois passages seront possibles pour les peuplements clairs et non guités.

Cf Photo 3



Photo 3 : Coupe de régénération par trouée (forêt du Grand Vallon)

Photo F. Rey

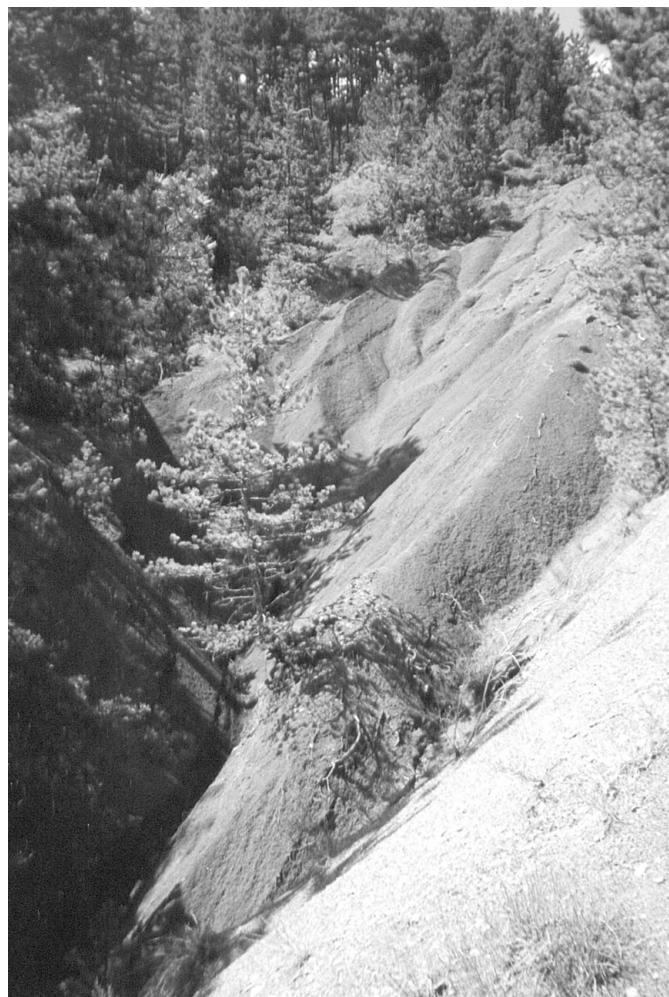


Photo 4 : Ravine marneuse en érosion (forêt du Grand Vallon)

Photo Q. Jourget

Gestion de la régénération

Des dépressions seront à effectuer au sein de la régénération naturelle trop dense ; pour répondre au principe de gestion minimale, ces dépressions ramèneront la densité à environ 1500 plants/ha avec création de bouquets de régénération.

Les essences feuillues (chêne pubescent, érable à feuille d'obier, alisier blanc...) seront favorisées seules ou en mélange au pin noir, car pour ce dernier, le gui peut s'installer sur les jeunes plants.

Les reboisements ne doivent être pratiqués que si nécessaire, c'est-à-dire en cas d'absence ou d'insuffisance des semis après exploitation. Le pin noir semble être encore la seule solution de plantation là où il n'y a pas eu reconstitution du sol. Ailleurs, on pourra planter des essences feuillues, notamment l'aulne à feuilles en cœur en fond de ravin, ou encore des érables, voire même le chêne pubescent.

Gestion à long terme

Pour les peuplements de deuxième génération (pineraies noires, futaies feuillues ou forêts mixtes), la sylviculture à adopter sera celle de la futaie irrégulière par parquets, ceci afin de diversifier les classes d'âge et de garantir une couverture permanente du sol par au moins une strate végétale. Les peuplements feuillus pourront également être traités en taillis. La diversité des essences devra être favorisée lors des éclaircies.

Pour les jeunes reboisements actuels de pin noir, d'un âge inférieur à 50 ans environ, il s'avère nécessaire de pratiquer dès maintenant quelques éclaircies, afin de diversifier le peuplement et d'éviter de se retrouver à l'avenir dans la même situation d'instabilité que les peuplements vieillis actuels.

Il s'agit maintenant de définir des stratégies de gestion des zones en érosion vive, applicables notamment aux terrains restaurés susceptibles d'être remis à nu après disparition du peuplement forestier.

Réhabilitation des zones en érosion

En parallèle des études réalisées sur la gestion des zones forestières, des recherches sont menées sur les problèmes de réhabilitation des zones en érosion vive, à savoir les terrains marneux non actuellement végétalisés, ainsi que les forêts restaurées non renouvelées en l'absence de régénération naturelle. Il s'agit alors de définir des stratégies pour la réhabilitation de ces zones, notamment par le génie biologique.

Principes pour une réhabilitation économique des terrains en érosion

La revégétalisation artificielle complète d'un bassin versant torrentiel en érosion, telle qu'elle était envisagée par les services de Restauration des terrains en montagne au siècle dernier, n'est plus envisageable de nos jours. Les stratégies de réhabilitation doivent être économies : il faut donc obtenir un maximum d'efficacité tout en limitant les interventions. Pour cela, il faut connaître de manière précise le rôle joué par la végétation dans la régularisation du régime des eaux et la diminution de l'érosion, afin notamment d'établir des modèles hydro-sédimentologiques prenant en compte la végétation : ces outils de simulation doivent permettre d'optimiser les opérations de réhabilitation, notamment en déterminant où installer prioritairement la végétation.

Influence de la végétation forestière sur le fonctionnement érosif de bassins versants torrentiels marneux

La littérature scientifique concernant les relations végétation/érosion est très importante actuellement. Le Cemagref de Grenoble étudie notamment ces relations dans le cas des bassins versants marneux dans les Alpes du sud, essentiellement dans les bassins ver-

sants expérimentaux de Draix, dans les Alpes de Haute-Provence (Cemagref, 1995). Deux de ces bassins, le Brusquet (108 ha, boisé à 87%) et le Laval (86 ha, boisé à 32 %), ont été comparés entre eux afin de mettre en évidence le rôle global de la végétation, à l'échelle du bassin versant, dans la protection contre l'érosion et les crues : les résultats montrent un rôle de la forêt dans la réduction des pointes de crue et des volumes ruissements, ainsi que dans l'augmentation de la rétention initiale avant le début d'un écoulement et de la capacité maximale d'infiltration pendant une crue.

Modélisation

L'utilisation de modèles hydro-sédimentologiques, tenant compte de la couverture végétale des bassins et de leur rôle contre l'érosion et les crues, peut permettre la réalisation de simulations de reboisement, en vue d'une optimisation de l'efficacité des opérations de revégétalisation.

En l'occurrence, le modèle ETC (Erosion des torrents en crue), mis au point par l'équipe Erosion torrentielle du Cemagref de Grenoble (Brochot, Meunier, 1996), permet de simuler le comportement érosif de bassins versants en crue, sur la base d'une spatialisation du bassin en biefs et versants de caractéristiques homogènes. Dans ce modèle, la végétation est prise en compte par l'intermédiaire de la couverture végétale du bassin ; on considère ainsi que l'érosion est nulle sous couvert, alors que les zones nues sont productrices de sédiments alimentant la charge solide des cours d'eau.

Cependant, l'application de ce modèle au bassin du Brusquet (LACHENY, 1998) a mis en évidence que la seule prise en compte de la surface végétale est insuffisante pour caractériser le rôle joué par cette dernière ; on obtient en effet, par modélisation, une surestimation de la production de sédiments à l'exutoire du bassin par rapport à ce qui est réellement observé (10 fois plus). Il semble donc que la végétation n'intervient pas seulement de manière active contre l'érosion, en empêchant l'ablation et le départ des matériaux, mais également de manière passive, par piégeage des

Technique	Type de torrent		Position sur la ravine					Ravine		Sige Réussite (%)	
	clappes	affouillt	crête	pente	bas	berge	lit	P	S	-	0
Cordons	++	+++	-	+	+++	+++	+++	+++	++	+	< 35
Fascines et clayonnages	++	+++	++	+++	+++	+++	-	++	+++	++	35 à 65
Garnissages	++							++	+	+++	+++ > 65
											0 donnée

Ravine : P = principale ; S = secondaire

Fig. 4 : Efficacité des techniques de génie biologique selon les facteurs limitants

sédiments à l'amont des parties végétales aériennes, notamment des troncs, sur les versants comme dans les lits (embâcles), d'où l'importance de la prise en compte de la position du peuplement forestier sur le versant. En considérant uniquement les surfaces nues directement connectées aux ruisselets sans présence de végétation, qualifiées alors de "surfaces contributives", on réduit de moitié cette surestimation, mais les résultats restent toujours éloignés de la réalité.

Les recherches actuelles vont donc dans le sens d'une meilleure connaissance de ces mécanismes de blocage des sédiments, pour une meilleure modélisation du rôle de la végétation, notamment forestière, dans la protection des terrains marneux contre l'érosion et les crues torrentielles dans les Alpes du sud. Cette modélisation améliorée permettra donc de déterminer où installer la végétation de manière efficace et optimale. Il convient maintenant de définir comment installer cette végétation sur des sols dégradés, et donc de connaître l'efficacité des techniques de génie biologique.

Efficacité des techniques de génie biologique

Il n'existe pas à ce jour de principes d'utilisation des techniques de génie biologique en petite correction torrentielle en fonction des contraintes du milieu à réhabiliter. Une première

étude historique sur l'efficacité des techniques d'embroussaillement par boutrage (cordons de boutures, fascines, clayonnages, garnissages) a donc été réalisée sur le département de l'Isère (REY, 1999), afin de bénéficier d'un retour d'expérience sur les réalisations passées. Elle a permis de mettre en évidence quelques facteurs limitant la réussite des ouvrages (Cf. Fig. 4).

Ces résultats permettent de proposer les premiers éléments de stratégie suivants, pour une utilisation des techniques d'embroussaillement par boutrage en petite correction torrentielle :

- Le choix de la technique à utiliser dépend essentiellement de la position sur la ravine ; on peut ainsi préconiser une implantation des ouvrages de la manière suivante :

- * garnissages dans les lits ;
- * cordons sur les berges ;
- * alternance de cordons et de fascines ou clayonnages sur les bas de pentes ;
- * fascines et clayonnages sur les pentes ou les niches d'érosion, ainsi que sur les crêtes.

- L'opportunité d'application de ce schéma dépend alors de l'importance de la ravine et du type de torrent ; on peut ainsi définir trois situations principales :

- * *ravines secondaires des torrents à affouillement* : on peut envisager l'extinction de ces ravines ; le schéma

stratégique général proposé plus haut peut être appliqué ;

* *ravines principales des torrents à affouillement et ravines secondaires des torrents à clappes* : la possibilité d'utilisation des ouvrages dépend de l'importance des écoulements solides et liquides susceptibles d'avoir lieu en cas d'intempérie, donc de l'importance du bassin versant drainé et des surfaces dénudées amont ; les restrictions peuvent concerner l'utilisation des garnissages dans les lits, ainsi que celle des fascines et clayonnages dans les lits et les bas de pente ; les cordons de boutures semblent quant à eux être efficaces sur les berges malgré de fortes contraintes érosives ;

* *ravines principales des torrents à clappes* : ces lits resteront toujours actifs et il est utopique de chercher à installer une végétation qui sera, de toute façon, déchaussée et emportée lors des fortes crues.

L'étude sera prochainement poursuivie dans les Alpes du sud. Ces études par retour d'expérience seront par ailleurs complétées par des expérimentations sur la résistance des ouvrages : les résultats auront ainsi une utilisation opérationnelle directe, comme l'estimation des débits auxquels risque d'être soumis un petit ouvrage de correction biologique, permettant d'optimiser la dimension et la nature de cet ouvrage, garant de la réussite de l'implantation de la végétation sur des sols dégradés.

Conclusion

La gestion de l'érosion par la forêt dans un bassin versant doit s'appuyer sur des études hydro-sédimentologiques et sur une connaissance approfondie du fonctionnement des écosystèmes. A ce jour, les travaux menés par le Cemagref de Grenoble dans les Alpes du sud, permettent de proposer des premiers éléments pour une prise en compte intégrée des problématiques liées à la lutte contre l'érosion et les crues torrentielles sur substrats marneux, par le génie écologique.

Les études se poursuivent actuellement, notamment sur les processus de dissémination et l'évolution de la régénération naturelle en fonction de la sylviculture pratiquée, ainsi que sur le rôle exact de la végétation forestière sur la maîtrise de l'érosion et des crues.

A terme, il serait souhaitable d'établir un guide de gestion, par la végétation forestière, des écosystèmes sensibles à l'érosion, dégradés ou restaurés ; ciblé dans un premier temps sur les substrats marneux et les peuplements de pin noir d'Autriche, il pourrait être généralisé à l'ensemble des substrats et des forêts de protection contre l'érosion et les crues.

Bibliographie

- BROCHOT (S.), MEUNIER (M.). – Un modèle d'érosion des torrents en crue (ETC). – Ingénieries EAT, n°6, 1996. – pp.9-18.
- CEMAGREF. – Compte rendu de recherches n°3 : BVRE de Draix. – Grenoble : Cemagref, 1995. – 248 p.
- LACHENY (B.). – Etude et modélisation de l'érosion dans un bassin versant forestier : Le Brusquet. – Grenoble : Cemagref, 1998. – 120 p. + annexes. (Mémoire d'ingénieur géotechnicien).
- REY (F.). – Etude historique de l'efficacité des techniques d'embroussaillement par bouturage en petite correction torrentielle dans les Alpes du nord. – Trente (Italie) : communication pour la Conférence sur la Gestion de l'érosion, 28-29 Mai 1999. – 8 p.
- REY (F.), CHAUVIN (Ch.). – La gestion du Pin noir d'Autriche sur marnes dans les Alpes du sud : priorités d'interventions forestières et règles de gestion sylvicole. – Ingénieries EAT, n° spécial "Risques naturels", 1998, pp.131-137.
- REY (F.), CHAUVIN (Ch.), BERGER (F.). – Détermination de Zones d'interventions forestières prioritaires pour la protection contre l'érosion dans les Alpes du sud. – Revue Forestière Française, vol. L, n° spécial, 1998, pp. 116-127.
- VALLAURI (D.), REY (F.), BERGER (F.), CHAUVIN (Ch.). – Gestion minimale des forêts pour le contrôle des crues torrentielles dans les Alpes du sud. – Grenoble : Cemagref, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement ; programme fédérateur risques, sous-action 4-1, 1998 – 47 p.
- VALLAURI (D.). – Dynamique parasitaire de *Viscum album* L. sur pin noir dans le bassin du Saignon (Préalpes françaises du sud). – Annales des Sciences Forestières, vol. 55, 1998, pp. 823-835.
- VALLAURI (D.). – Dynamique de la restauration forestière des substrats marneux avec *Pinus nigra* J.F. Arnold ssp. *nigra* dans le secteur haut-provençal : trajectoires dynamiques, avancement du processus de restauration et diagnostic sur l'intégrité fonctionnelle des écosystèmes recréés. – Grenoble : Cemagref, 1997. – 300 p. (Thèse de doctorat de l'Université de Marseille III).

Résumé

L'équipe Forêt de montagne du Cemagref de Grenoble mène plusieurs études sur la gestion de l'érosion par la végétation forestière dans les Alpes du sud. Concernant la gestion des zones forestières, un premier bilan a été réalisé sur l'état actuel des forêts restaurées en pin noir d'Autriche sur marnes. S'appuyant sur cette étude écologique, une gestion pour la pérennisation de la protection contre l'érosion par le renouvellement des forêts vieillies est proposée : une méthode de détermination de Zones d'interventions forestières prioritaires (ZIFP) permet de déterminer où et quand les coupes doivent être effectuées, et des règles de gestion sylvicole précisent la nature des coupes à préconiser, ainsi que des éléments de gestion de la régénération et de la deuxième génération forestière. En parallèle, des stratégies de réhabilitation des zones en érosion tentent d'être établies, notamment par l'établissement de modèles de simulation de reboisement. Ces stratégies s'appuieront sur une connaissance approfondie, à acquérir, concernant le rôle de la végétation forestière contre l'érosion et les crues, ainsi que sur l'efficacité des techniques de génie biologique pour l'implantation de la végétation sur des sols érodés. Cet article présente les principaux résultats obtenus, en présentant la logique de réflexion concernant la gestion de l'érosion par la forêt dans les Alpes du sud.