

EFFICACITÉ DU GÉNIE BIOLOGIQUE PAR BOUTURAGE EN PETITE CORRECTION TORRENTIELLE

FREDDY REY

Le génie biologique peut être défini comme l'ensemble des techniques et méthodes permettant l'installation d'une couverture végétale à rôle de protection contre un aléa naturel. Le génie biologique associe reboisement, embroussaillage et engazonnement, par plantation, bouturage ou semis. Il peut en particulier être utilisé en petite correction torrentielle, c'est-à-dire pour les opérations de stabilisation de terrains soumis à l'érosion torrentielle (Poncet, 1995). La végétation, par ses parties aériennes ou souterraines, influe sur l'hydrologie des bassins versants, stabilise les sols et retient les sédiments (Rey *et al.*, 2004). Parmi les techniques de génie biologique utilisées, le bouturage occupe une place importante. Les techniques de bouturage ont été très utilisées en France par les services de Restauration des Terrains en Montagne (RTM) dès la fin du XIX^e siècle (Demontzey, 1878, 1894). Il n'a jamais été réalisé de synthèse en France sur l'efficacité des techniques de végétalisation par bouturage en correction torrentielle. Une meilleure connaissance de ces techniques permettrait pourtant de guider le choix des ouvrages à utiliser lors de la réhabilitation de terrains dégradés.

Cet article traite du sujet de l'efficacité des techniques de génie biologique par bouturage utilisées en petite correction torrentielle. Il débute par une présentation de ces techniques et de leur utilisation. Ensuite, il présente les résultats d'une étude réalisée sur deux départements français (Isère et Hautes-Alpes) et dont le but était d'étudier l'efficacité d'ouvrages anciens de génie biologique réalisés par les services RTM. Les résultats de cette étude permettent alors de proposer des éléments de stratégie pour le choix des techniques de génie biologique à utiliser selon la correction torrentielle envisagée.

PRÉSENTATION DES TECHNIQUES DE GÉNIE BIOLOGIQUE PAR BOUTURAGE

Principe du bouturage

La technique du bouturage repose sur la faculté de rejet de certaines espèces ligneuses, par multiplication végétative. On utilise des boutures, qui sont des parties de plantes (tiges, branches ou rameaux). Enfoncées dans le sol, elles émettent des rejets à partir des bourgeons, permettant à la bouture de former un plant qui développera un système racinaire. Les boutures ont la faculté de se développer rapidement en offrant une couverture du sol efficace en termes de protection contre l'érosion. Elles nécessitent alors un entretien par recépages car elles ont souvent une faible longévité.

Choix des espèces

Les espèces utilisées pour le bouturage sont des espèces pionnières ayant une grande faculté à rejeter. Le Saule est la principale essence utilisée. Parmi les nombreuses espèces existantes, on

peut citer le Saule pourpre (*Salix purpurea*) qui est l'espèce présentant le meilleur taux de reprise (Schiechl et Stern, 1996 ; Zuffi, 1989), ou encore le Saule drapé (*Salix incana*) ou le Saule blanc (*Salix alba*). D'autres espèces peuvent également se bouturer, comme par exemple l'Argousier (*Hippophae rhamnoides*) et le Peuplier noir (*Populus nigra*).

Opportunités d'utilisation

La végétation permet de lutter contre l'érosion essentiellement à l'échelle de petites ravines⁽¹⁾, soit pour des surfaces de moins d'un hectare. Il faut alors en premier lieu maîtriser l'érosion régressive en stabilisant la base de ces ravines qui débouchent généralement dans des torrents principaux, car la végétation ne peut se développer que sur des terrains temporairement stabilisés. En effet, toute opération de réhabilitation 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 en préalable à toute opération de végétalisation des ravines.

Bien entendu, il existe des restrictions à l'usage de boutures en petite correction torrentielle. Il faut notamment que les conditions écologiques soient favorables à l'installation et au développement des boutures, la sécheresse estivale sur certains substrats pouvant constituer un obstacle. Par ailleurs, le facteur pente doit également être pris en compte, même si l'intervention par génie biologique est très souvent possible sur des pentes de 100 % et plus.

Les techniques et leur utilisation

Les différents ouvrages de génie biologique se distinguent par leurs constituants et leur morphologie. Ils peuvent être séparés en trois grands groupes : les cordons de boutures, les fascines et clayonnages, enfin les garnissages de boutures. On ne parlera pas ici du bouturage simple, consistant à planter des boutures dans des ouvrages divers, de génie civil notamment. Les descriptions des techniques et les préconisations d'utilisation selon les ouvrages anciens (Demontzey, 1878, 1894) ou contemporains (Bavard, 1973 ; Barrouillet, 1982 ; Zuffi, 1989 ; Lachat, 1989, 1994 ; Poncet, 1995 ; Gray et Sotir, 1996 ; Schiechl et Stern, 1996, 1997) sont les suivantes :

- *Les cordons de boutures* : ce sont des rangées de boutures, disposées en courbe de niveau et formant de petites haies continues ou discontinues (photo 1, p. 157). Les cordons permettent de fixer les terrains grâce aux rejets des boutures qui s'ancrent au sol, et ils provoquent un atterrissement des matériaux à l'amont, diminuant ainsi la pente d'équilibre des talus. Ils peuvent être utilisés pour la stabilisation et la revégétalisation des versants et des berges de torrent, sur des pentes très fortes et instables. Dans certains pays, on les utilise parfois comme seuils dans le lit même des petites ravines. Cette technique est réputée simple, rapide et économique, les ouvrages étant durables car résistants à l'ensevelissement.
- *Les fascines et les clayonnages* : ce sont de petites barrières constituées de pieux, vivants ou morts, derrière lesquels des boutures sont soit empilées — sous forme de fagots, ce sont alors des fascines (photo 2, p. 157) —, soit tressées — on parle alors de clayonnages (photo 3, p. 157). Les fascines et clayonnages peuvent être utilisés principalement de deux manières : installés sur les versants et les berges, perpendiculairement à la pente, ils permettent de lutter contre l'érosion de versant ; disposés transversalement dans le lit même des torrents, ils jouent le rôle de seuils, pour une lutte contre l'érosion concentrée. D'une manière générale, ils permettent de stabiliser les sols grâce à l'enracinement des boutures et de retenir les sédiments érodés, les pieux assurant la solidité et l'ancrage de l'ouvrage au sol. Les fascines, plus rarement les

(1) Un "bassin versant" est drainé par des "torrents principaux" sur lesquels débouchent des "ravines" de plus ou moins grande taille.



Photo 1 Cordons de boutures
Photo F. REY, 2002



Photo 2 Fascine
Photo F. REY, 1998



Photo 3 Clayonnage
Photo F. REY, 2002



Photo 4 Garnissages de boutures
Photo F. REY, 2003

clayonnages, sont également souvent employées longitudinalement pour la protection et la revégétalisation des berges de cours d'eau, rivières torrentielles et rivières. Les principaux avantages pour ces deux techniques sont la rigidité, la durabilité et la pérennité de l'ouvrage.

- *Les garnissages de boutures* : ce sont des tapis de boutures disposés soit dans le lit du torrent, soit sur les berges (photo 4, ci-dessus). Les boutures installées permettent d'une part de filtrer et de retenir les sédiments en suspension dans l'eau, provoquant à terme un atterrissement des matériaux, d'autre part de protéger les sols contre l'action érosive des écoulements. Les rejets et l'enracinement des boutures permettent quant à eux de stabiliser les sols.

Les ouvrages de génie biologique ont pour fonction première de créer sur quelques années des conditions de stabilité temporaire des sols, nécessaires pour permettre aux plants de s'enraciner et s'installer. Ils permettent ainsi de retenir les matériaux meubles. Durant les premières années,

c'est essentiellement l'ouvrage lui-même qui va jouer un rôle prépondérant dans la lutte contre l'érosion, plus que les végétaux qui verront quant à eux leur influence sur l'érosion augmenter au cours de leur développement.

ÉTUDE SUR L'EFFICACITÉ DES TECHNIQUES EN FRANCE

Caractéristiques de l'étude

Le suivi de l'efficacité d'ouvrages installés dans des bassins versants érodés est une opération qui nécessite plusieurs années. Un autre moyen de connaître cette efficacité est d'étudier le résultat d'ouvrages anciens réalisés par les services RTM. Une étude a ainsi été menée sur ce sujet dans les départements de l'Isère (Rey, 1998) et des Hautes-Alpes (Magris, 1999).

Méthodologie de l'étude

Un recensement et une datation des travaux anciens d'embroussaillage par bouturage ont d'abord été réalisés, à partir de l'analyse des *Comptes permanents*, de nombreuses cartes dressées par quelques agents RTM, et de clichés photographiques. Au total, 108 réalisations d'ouvrages, datées entre 1890 et 1980, ont été étudiées sur 22 sites.

L'efficacité de ces ouvrages a ensuite été étudiée. L'efficacité d'un ouvrage a été définie comme son aptitude à permettre l'installation et le développement de végétaux qui assurent après plusieurs années un rôle de protection efficace et durable contre l'érosion. Ainsi, un ouvrage a été jugé efficace lorsqu'il a permis d'installer une couverture végétale sur plus de 50 % de la surface d'un sol initialement érodé et lorsque l'érosion était globalement maîtrisée. Dans le cas contraire, l'ouvrage a été jugé comme inefficace.

L'efficacité des ouvrages a ensuite été analysée selon différents facteurs limitants.

On a tout d'abord pris en compte le type géologique général du bassin versant où ont été implantés les ouvrages. Les bassins versants à clappes, caractérisés par la présence de roches dures libérant des éléments grossiers, ont été distingués des bassins versants à affouillement, pour lesquels l'érosion a lieu dans des roches tendres, par abrasion et transport de matériaux fins.

Ensuite, on a tenu compte de la taille des ravines dans lesquelles les ouvrages ont été installés. Les ouvrages réalisés dans des "grandes ravines", de taille supérieure à un hectare, ont ainsi été distingués de ceux installés dans des "petites ravines", de taille inférieure à un hectare. La surface drainée détermine en grande partie les contraintes hydrologiques et érosives sévissant lors des pluies dans les lits et sur les berges des torrents.

Enfin, l'efficacité des ouvrages a été jugée selon leur position dans la ravine. Cette distinction permet de séparer les ouvrages soumis plutôt à une érosion concentrée ou plutôt à une érosion diffuse. L'érosion concentrée se produit dans les lits et sur les berges

TABEAU II

Ouvrages	Type géologique du bassin versant	
	clappes	affouillement
Cordons	++	+++
Fascines et clayonnages	++	+++
Garnissages.	+	+++

des lits ; elle se caractérise par un sapement des berges et une incision du fond du lit. L'érosion diffuse se manifeste quant à elle sur les pentes drainées par des écoulements en minces filets d'eau, c'est-à-dire sur les crêtes, les versants et les bas de versant.

Il faut noter ici qu'on a veillé à ce que les ouvrages de génie biologique s'appuyaient bien sur l'existence d'ouvrages de génie civil réalisés dans les torrents principaux du bassin versant. D'autre part, il n'a pas été possible de déterminer si les ouvrages avaient fait ou non l'objet d'un entretien, opération pouvant parfois déterminer la réussite ou l'échec d'un ouvrage. Enfin, l'étude de l'efficacité des espèces végétales n'a pas été réalisée, faute de traces dans les archives.

Efficacité générale des techniques d'embroussaillage par bouturage

Les résultats globaux d'efficacité par technique sont présentés dans le tableau I (ci-dessous). Les résultats montrent un taux de réussite des techniques de végétalisation par bouturage de 58 %. Les cordons, les fascines et les clayonnages présentent un taux de réussite de près de 60 %. Pour les garnissages, la moitié des ouvrages a réussi.

Ces résultats montrent que le génie biologique par bouturage, quelle que soit la technique, peut constituer une réponse efficace aux problèmes d'érosion, même dans des circonstances très contraignantes comme le contexte torrentiel.

Mise en évidence des facteurs limitant par technique

Les résultats de l'étude d'efficacité des ouvrages pour chacun des facteurs limitant apparaissent dans le tableau II (ci-dessous).

TABLEAU I Réussites et échecs des ouvrages de génie biologique par bouturage

Ouvrages	Efficacité des ouvrages (%)	
	réussite	échec
Cordons	61	39
Fascines et clayonnages	58	42
Garnissages	50	50

Efficacité des ouvrages de génie biologique selon les facteurs limitants

Taille de la ravine		Position des ouvrages				
grande (> 1 ha)	petite (< 1 ha)	lit	berge	bas de versant	versant	crête
+++	++		++	+++	++	-
++	+++	-	+++	+++	++	++
+	+++	++				

Efficacité : +++ : > 75 % ; ++ : entre 50 et 75 % ; + : entre 25 et 50 % ; - : < 25 % ; grisé : pas d'utilisation

L'étude du facteur "position des ouvrages" est apparue particulièrement intéressante. Les résultats sont présentés dans les tableaux III et IV (ci-dessous).

TABLEAU III Efficacité des ouvrages de génie biologique installés dans des grandes ravines (> 1 ha)

Ouvrages	Position des ouvrages dans la grande ravine		
	lit	berge	versant
Cordons		++ / +++	++ / +++
Fascines et clayonnages	-	+++	++
Garnissages	+		

Efficacité : +++ : > 75 % ; ++ : entre 50 et 75 % ; + : entre 25 et 50 % ; - : < 25 % ; grisé : pas d'utilisation

TABLEAU IV Efficacité des ouvrages de génie biologique installés dans des petites ravines (< 1 ha)

Ouvrages	Position des ouvrages dans la petite ravine		
	lit	berge	versant
Cordons		+	++
Fascines et clayonnages	-	+++	++ / +++
Garnissages	++ / +++		

Efficacité : +++ : > 75 % ; ++ : entre 50 et 75 % ; + : entre 25 et 50 % ; - : < 25 % ; grisé : pas d'utilisation

L'analyse des résultats permet de proposer les principes suivants pour chaque technique :

- *Les cordons de boutures* : ils sont très bien adaptés à la correction des bas de versant et, dans une moindre mesure, des versants et des berges. Les mauvais résultats obtenus sur crêtes doivent être pondérés par le fait que seuls deux ouvrages ont été étudiés dans ces conditions, ce qui ne permet pas de donner des résultats significatifs. Les cordons montrent une grande efficacité dans les grandes ravines. Ces principes s'observent de manière générale dans les bassins versants à affouillement, mais sont plus nuancés dans les bassins versants à clapets.
- *Les fascines et les clayonnages* : ils sont efficaces quelle que soit leur position, surtout sur les berges et les bas de versant, sauf dans les lits des bassins versants à clapets où ils sont très peu efficaces. Hormis ce dernier point, leur efficacité est relativement indépendante du type géologique du bassin versant. Ils sont surtout efficaces pour la correction des petites ravines.
- *Les garnissages de boutures* : dans les bassins versants à clapets, les garnissages sont très efficaces dans les petites ravines, beaucoup moins dans les grandes ravines. Ils semblent par contre efficaces quelle que soit la taille de la ravine dans les bassins versants à affouillement.

Discussion

La plus ou moins grande efficacité des ouvrages de génie biologique peut s'expliquer par leur différence de nature et de morphologie, dans un contexte érosif donné.

Dans les lits d'une ravine quelle que soit sa taille, les garnissages donnent de bons résultats car ce sont des ouvrages flexibles, contrairement aux fascines et clayonnages qui constituent des ouvrages rigides. Ainsi, lors des crues, les boutures des garnissages ne s'opposent pas aux écoulements concentrés ; elles sont plaquées au sol et sont recouvertes par des dépôts de sédiments meubles. Les boutures vont alors rejeter au contact de ces sédiments et se développer à nouveau. Les fascines et les clayonnages sont pour leur part des ouvrages qui s'opposent aux écoulements concentrés. Dans une petite ravine, ces ouvrages peuvent être efficaces si la surface drainée n'est pas trop importante — même si les résultats de l'étude indiquent une faible efficacité. Dans les grandes ravines, il est par contre utopique de chercher à installer des ouvrages biologiques rigides ; seuls des ouvrages de génie civil peuvent résister à de fortes contraintes hydrologiques.

Sur les berges et les versants, il n'apparaît pas de différence d'efficacité très marquée entre les différents ouvrages. Les fascines et les clayonnages se montrent toutefois particulièrement efficaces dans les petites ravines. L'explication provient certainement du fait que leur morphologie leur permet une importante rétention des sédiments érodés favorable au développement des boutures, les cordons retenant moins bien les sédiments et étant donc moins efficaces.

ÉLÉMENTS DE STRATÉGIE POUR LE CHOIX DES OUVRAGES À UTILISER

Au vu des bilans d'efficacité présentés plus haut, on peut proposer un schéma stratégique général pour une utilisation du génie biologique par bouturage en petite correction torrentielle. Il convient de distinguer les opérations réalisées dans les grandes ravines de celles réalisées dans des petites ravines.

Dans les grandes ravines, qui resteront en principe toujours actives, il est vain de chercher à installer dans le lit une végétation qui sera, de toute façon, déchaussée et emportée lors des fortes crues. Les corrections de berges restent quant à elles possibles, par le biais d'ouvrages flexibles : les cordons et les garnissages de boutures sont donc préconisés.

Dans les petites ravines, il est par contre envisageable d'intervenir dans le lit même. Par ailleurs, des études ont montré qu'il n'est pas indispensable de végétaliser une petite ravine en entier pour stopper la production sédimentaire en charriage à son exutoire, car les ouvrages biologiques et la végétation situés à l'aval de la ravine piègent et retiennent les sédiments érodés plus à l'amont (Rey *et al.*, 2002). En particulier, la végétalisation de la partie amont des versants ainsi que celle des crêtes ne sont pas nécessaires. En résumé, on peut proposer une stratégie générale d'intervention sur une petite ravine que nous présentons dans le tableau V (ci-dessous).

TABLEAU V Proposition d'une stratégie de choix des ouvrages de génie biologique en fonction de la position d'installation de l'ouvrage dans une petite ravine (< 1 ha)

Position sur la ravine . . .	lit	berge	bas de versant
Ouvrages à utiliser. . . .	fascines et clayonnages + garnissages de boutures	garnissages ou cordons de boutures	fascines et clayonnages

CONCLUSIONS

Les éléments présentés dans cet article illustrent dans quelle mesure les ouvrages de génie biologique composés de boutures peuvent permettre de lutter efficacement contre l'érosion en

contexte torrentiel. Ces techniques sont très peu utilisées actuellement en France (Banget-Mossaz, 2000) mais sont largement utilisées — avec beaucoup de succès — dans les autres pays européens (EFIB, 1999), démontrant ainsi l'opportunité d'emploi de ces techniques pour la réhabilitation des terrains érodés.

Il serait intéressant de pousser plus loin l'étude de certains aspects du bouturage n'ayant pu être analysés ici. Par exemple, des études sur l'aptitude des espèces de bouturage à s'installer sur différents substrats mériteraient des approfondissements. Au-delà des essences connues comme les Saules, des recherches sur les facultés de réussite d'espèces comme les Peupliers ou le Robinier permettraient peut-être d'enrichir les possibilités de choix d'essences. Des expériences en vraie grandeur d'installation et de suivi d'ouvrages sont également à l'étude dans les Alpes du Sud.

La poursuite et l'approfondissement des recherches permettront alors d'effectuer une synthèse globale sur les techniques de génie végétal, débouchant sur l'établissement d'un guide pratique à l'usage de tous les gestionnaires soucieux de recourir au génie biologique pour lutter contre les phénomènes d'érosion en contexte torrentiel.

Freddy REY

Unité de Recherche Écosystèmes

et Paysages montagnards

CEMAGREF

2, rue de la Papeterie

BP 76

F-38402 SAINT-MARTIN-D'HÈRES CEDEX

(freddy.rey@cemagref.fr)

Remerciements

L'auteur tient à remercier les services de Restauration des Terrains en Montagne de l'Isère et des Hautes-Alpes pour leur participation dans la réalisation des études dont les résultats sont présentés dans cet article.

BIBLIOGRAPHIE

- BANGET-MOSSAZ (C.). — La Réhabilitation des terrains érodés par le génie biologique : enquête sur l'utilisation récente par le service RTM des techniques d'embroussaillage par bouturage en petite correction torrentielle. — Grenoble : Cemagref, 2000. — 24 p.
- BARROUILLET (J.). — La Revégétalisation dans les Alpes du Sud ; choix et emploi des espèces herbacées ou arbustives. — Grenoble : Cemagref, 1982. — 148 p.
- BAVARD (D.). — L'Engazonnement et le reverdissement en travaux RTM. — Nancy : École nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts, 1973. — 43 p.
- DEMONTZEY (P.). — Étude sur les travaux de reboisement et de gazonnement des montagnes. — Paris : Imprimerie nationale, 1878. — 421 p. + atlas.
- DEMONTZEY (P.). — L'Extinction des torrents en France par le reboisement. — Paris : Imprimerie nationale, 1894. — 459 p. + planches.

- EFIB (Europäische Föderation für Ingenieurbiologie). — Efficacia e costi degli interventi di ingegneria naturalistica. — Trieste : EFIB-AIPIN, 1999. — 216 p.
- GRAY (D.H.), SOTIR (R.B.). — Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization : a practical guide for erosion control. — New York (USA) : John Wiley & Sons, 1996. — 378 p.
- LACHAT (B.). — Cours sur la stabilisation végétale des cours d'eau. — Vicques (Suisse) : Biotec, 1989. — 47 p.
- LACHAT (B.). — Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales. — Paris : Ministère de l'Environnement, DIREN Rhône-Alpes, 1994. — 135 p.
- MAGRIS (A.). — La Réhabilitation des terrains érodés par le génie biologique : étude des techniques d'embroussaillage par bouturage en petite correction torrentielle en Gapençais (Hautes-Alpes). — Grenoble : Cemagref-RTM, 1999. — 62 p.
- PONCET (A.). — Restauration et conservation des terrains en montagne. — Paris : Office national des Forêts, 1995. — 10 fascicules. — 1 000 p.
- REY (F.). — La Réhabilitation des terrains érodés par le génie biologique : étude des techniques d'embroussaillage par bouturage en petite correction torrentielle en Isère. — Grenoble : Cemagref-RTM, 1998. — 71 p.
- REY (F.), BALLAIS (J.-L.), MARRE (A.), ROVÉRA (G.). — Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. — *Comptes rendus géosciences*, vol. 336, 2004, pp. 991-998.
- REY (F.), ROBERT (Y.), VENTO (O.). — Influence de la végétation forestière sur la formation de dépôts sédimentaires en terrains marneux. — *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 1, 2002, pp. 85-92.
- SCHIECHTL (H.M.), STERN (R.). — Ground bioengineering techniques for slope protection and erosion control. — Oxford (UK) : Blackwell Science, 1996. — 146 p.
- SCHIECHTL (H.M.), STERN (R.). — Water bioengineering techniques for watercourse bank and shoreline protection. — Oxford (UK) : Blackwell Science, 1997. — 186 p.
- ZUFFI (D.). — Cours sur la stabilisation végétale des talus. — Suisse : Inspection cantonale des Forêts, 1989. — 49 p.

EFFICACITÉ DU GÉNIE BIOLOGIQUE PAR BOUTURAGE EN PETITE CORRECTION TORRENTIELLE (Résumé)

Cet article présente des éléments sur l'efficacité du génie biologique par bouturage en petite correction torrentielle. Après une présentation des techniques existantes, il expose les principaux résultats d'une étude sur l'efficacité de ces techniques, réalisée dans deux départements alpins en France. La prise en compte de ces résultats permet alors de proposer des éléments de stratégie pour le choix des ouvrages de génie biologique à utiliser lors de chantiers de petite correction torrentielle.

EFFECTIVENESS OF BIOLOGICAL ENGINEERING BY CUTTINGS FOR SMALL-SCALE TORRENT CORRECTION (Abstract)

This article describes elements relating to the effectiveness of biological engineering using cuttings for small-scale torrent correction. Following a description of current techniques, it sets out the main findings of a survey on the effectiveness of these techniques conducted in two Alpine *départements* in France. Consideration of these findings leads to a number of suggestions for choosing the biological engineering works for conducting small-scale torrent correction.
