

Le génie végétal pour la lutte contre l'érosion en rivière : une tradition millénaire en constante évolution

Pierre-André Frossard ^a et André Évette ^b

Parmi tous les domaines englobés dans les activités de restauration écologique et d'ingénierie écologique, le génie végétal en rivière occupe une place importante. En effet, les ouvrages de génie végétal en rivière font aujourd'hui l'objet de nombreuses réalisations sur le terrain, répondant à des enjeux et à des contextes naturels variés. Par ailleurs, de nombreux acteurs sont concernés par la mise en place de ces techniques : les syndicats de rivière, les collectivités publiques, les bureaux d'études spécialisés, les entreprises, les pépinières, les chercheurs, et bien sûr les usagers et riverains des cours d'eau concernés. Ces techniques font par ailleurs l'objet d'une littérature variée et sont décrites dans de nombreux guides francophones (Adam *et al.*, 2008 ; Lachat, 1994 ; Verniers, 1995 ; Zeh, 2007), germanophones (Schiechl *et al.*, 1996), anglophones (Coppin, 1990) et italophones (Sauli *et al.*, 2003).

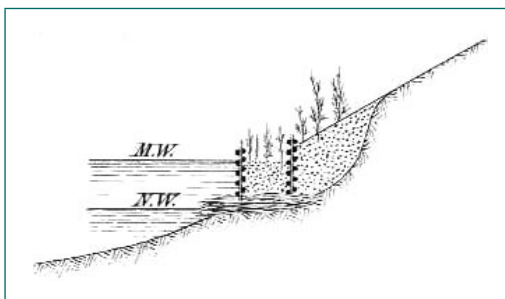
L'objet du présent article est de repositionner les techniques de génie végétal dans un contexte plus large, en rappelant leur contexte historique, leurs principes et domaines d'application, leurs aspects réglementaires, leurs limites mécaniques et les perspectives dans ce domaine en termes de recherche et de liens entre la recherche et la gestion.

Des techniques ancestrales

Le génie végétal pour la lutte contre l'érosion en rivière correspond à des techniques ancestrales dont on retrouve déjà la trace il y a près de deux

mille ans en Chine et dans la Rome antique (Évette *et al.*, 2009b). Plus proches de nous, des ingénieurs de différents pays européens ont élaboré des guides techniques de réalisation de ces ouvrages dès le XVIII^e siècle, et surtout au XIX^e siècle. Ces ouvrages présentent une grande variété de profils types (figure 1). Le développement du génie végétal a ainsi vraisemblablement connu son apogée à la fin du XIX^e siècle avec les gigantesques travaux de restauration des terrains en montagne entrepris notamment en France, en Italie et en Suisse (Labonne *et al.*, 2007). Ces travaux visaient essentiellement à remédier à la très forte érosion engendrée par la déforestation et le surpâturage.

Après avoir connu un certain abandon pendant les « Trente glorieuses », ces techniques connaissent un nouvel essor depuis une trentaine d'années (Lachat, 1999).



▲ Figure 1 – Profil type d'un double clayonnage, avec ramilles anti-affouillement et bouturage, d'après Scheck (1885).

Les contacts

a. Hepia, Haute École du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève, filière gestion de la nature, 150 route de Presinge, CH-1254 Jussy, Genève
b. Cemagref Grenoble, UR EMGR, Écosystèmes montagnards, 2 rue de la papeterie, BP 76, 38402 Saint-Martin-d'Hères Cedex

Principes du génie végétal

Le génie végétal utilise les aptitudes biologiques, physiologiques et physiques des plantes, pour apporter des solutions techniques à des problèmes de protection des sols et plus particulièrement de lutte contre l'érosion. En effet, les végétaux produisent, à de nombreux niveaux, des effets positifs dans la protection des sols, parmi lesquels on peut notamment citer :

- l'effet d'ancrage par les systèmes racinaires ;
- l'effet de couverture par les tiges aériennes ;
- l'effet de drainage par l'absorption (racines) et l'évapotranspiration (feuilles) ;
- l'effet de barrage face au ruissellement (les tiges aériennes rendent les surfaces plus rugueuses) ;
- l'effet de frein en cours d'eau, lors des crues (les tiges aériennes augmentent la rugosité des berges, ce qui, en cas de crue, diminue les vitesses d'écoulement et les forces d'arrachement ; dans le meilleur des cas, cela favorise la sédimentation) ;
- le maintien de la porosité du sol (racines) et l'amélioration de l'infiltration ;
- l'interception des précipitations ;
- l'amélioration de la fertilité (apport de matière organique ; nodosités ; etc.) ;
- etc.

En fonction des situations, des projets et des objectifs d'aménagements, ces différents effets sont plus ou moins importants et plus ou moins recherchés.

Les plantes ligneuses et herbacées seront donc utilisées comme principal matériau de construction, nécessaires à l'élaboration d'ouvrages de protection, associées ou non à d'autres types de matériaux (non vivants) (Lachat *et al.*, 1995).

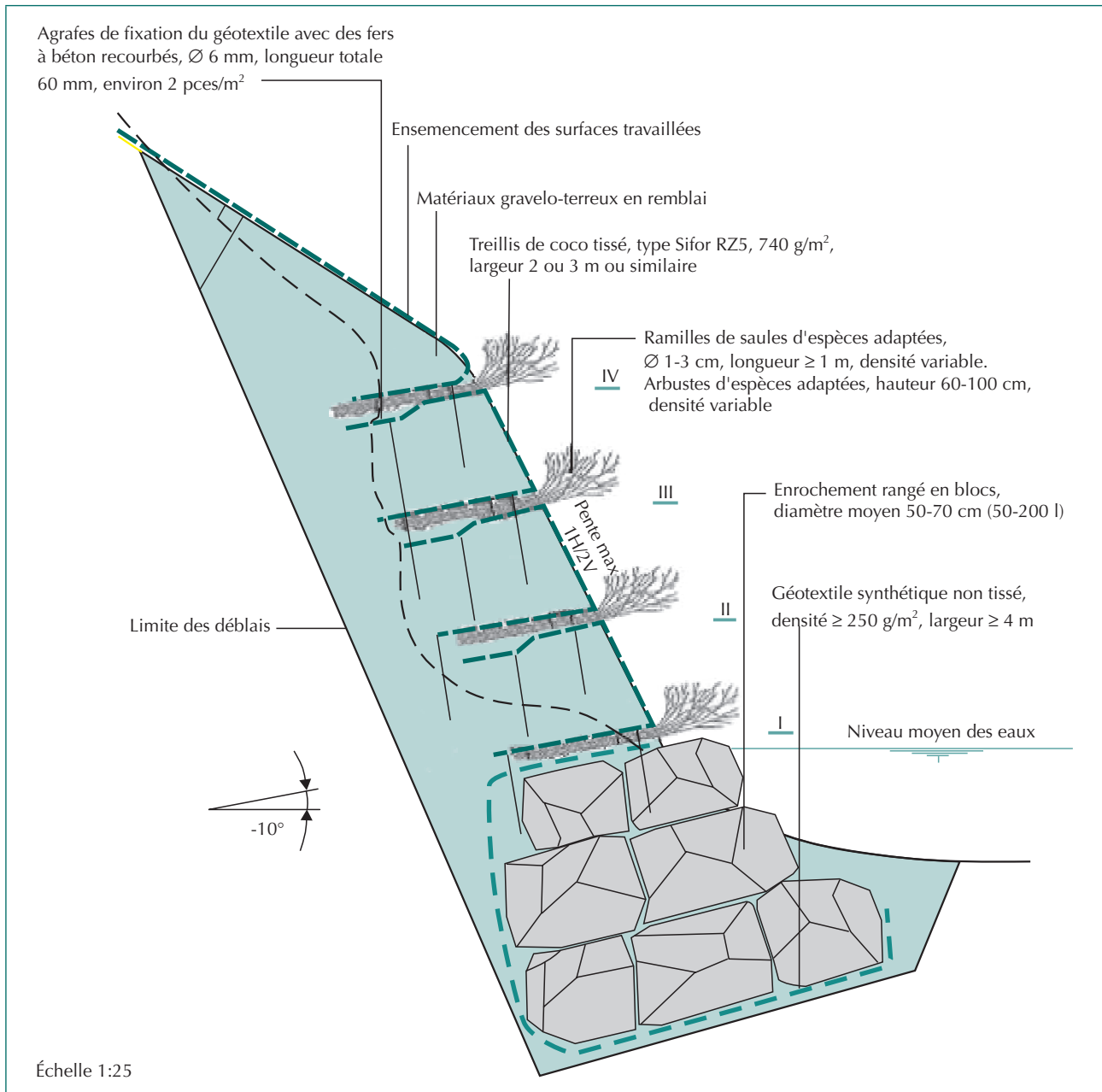
Dans le domaine de la conception des aménagements, une des idées maîtresse consiste à s'inspirer de formations végétales spontanées (herbacées et/ou ligneuses), capables de résister à des contraintes fortes et de reproduire par l'aménagement, des formations végétales semblables à ces « modèles naturels » (Adam *et al.*, 1998). Il est clair que l'adaptation aux facteurs stationnels des plantes utilisées pour l'aménagement est une condition élémentaire. Mais le choix des végétaux

est parfois un peu plus fin et utilise souvent des critères supplémentaires, comme par exemple, la vitesse de croissance, le développement et le type de port, la souplesse des tiges aériennes, le volume des tiges souterraines, la capacité de reproduction végétative ou de formation de racines adventives, etc.

L'aménagement en génie végétal doit apporter une solution techniquement efficace et engendrer des coûts qui restent en rapport avec la plus-value recherchée : c'est là sa mission première. Cet objectif prioritaire atteint, il est ensuite objectivement possible de lui reconnaître un certain nombre d'avantages en comparaison avec les techniques ne mettant en œuvre que des matériaux inertes. Parmi ces avantages qui sont également les arguments de « vente » du génie végétal, on peut mentionner :

- en milieu naturel ou semi-naturel, l'intégration paysagère des ouvrages est meilleure ;
- les aménagements constituent des milieux naturels à part entière ;
- les aménagements contribuent à la conservation de la biodiversité, de par les espèces végétales qui les constituent mais également en fonctionnant comme habitat potentiel (nidification, nourrissage, abri) ou structure guide (corridor biologique) pour la faune ;
- en cours d'eau, les aménagements ne perturbent pas les relations avec la nappe phréatique ;
- en cours d'eau toujours, la végétation, en plus de sa fonction de stabilisation des berges, produit également des effets bénéfiques sur la qualité physico-chimique de l'eau (ombrage, piégeage des particules fines, absorption d'éléments nutritifs d'origine agricole, etc.) ;
- l'impact négatif de l'ouvrage, à moyen et long terme, sur le milieu naturel est moindre, par rapport à un ouvrage de génie civil. Par rapport à une situation initiale dégradée, il peut même améliorer considérablement le fonctionnement de l'écosystème ;
- etc.

Idéalement, un aménagement doit être conçu de manière à pouvoir évoluer de manière autonome, être le théâtre des successions écologiques et ne nécessiter aucun entretien. Cependant, dans certaines situations qui sont la plupart du temps des situations à forte influence anthropique, se



▲ Figure 2 – Les ingénieurs-biologistes actifs dans le génie végétal développent des techniques permettant de construire de véritables ouvrages, où les végétaux constituent le principal matériau de construction, associés ou non à des matériaux auxiliaires, non vivants. Ici, application en cours d'eau de lits de plants et plançons (source : Hepia¹, filière Gestion de la nature).

caractérisant généralement par des contraintes fortes et un manque d'espace à disposition, des interventions d'entretien sont parfois nécessaires. Ces dernières ont alors pour objectifs de pérenniser l'efficacité de l'ouvrage et d'empêcher un développement végétal excessif, susceptible de

produire des effets indésirables (par exemple, l'encombrement du gabarit hydraulique sur de petits cours d'eau). À noter qu'un ouvrage bien conçu et qu'un choix judicieux de végétaux peuvent considérablement retarder la nécessité d'un entretien, voire l'éviter.

1. Haute École du paysage, d'ingénierie et d'architecture.

Les végétaux sont mis en œuvre dans un grand nombre de techniques développées dans les bureaux d'ingénieurs biologistes (photo 1). Souvent, les techniques de base actuelles sont



▲ Photo 1 – L'utilisation des herbacées en alternance avec la végétation ligneuse est toujours plus fréquente, dans un souci de diversification des structures végétales. De même, en matière d'aménagement des cours d'eau, les notions d'espaces de liberté et de restauration hydromorphologique gagnent en importance : le génie végétal devient un outil au service de la restauration de la qualité biologique des cours d'eau.



▲ Photo 2 – Lorsque les contraintes sont fortes, les techniques dites mixtes sont nécessaires. On voit ici, sur un cours d'eau dynamique, un enrochement de pied de berge surmonté d'un lit de plants et plançons.

dans leur principe, assez proches des techniques ancestrales, mais leur efficacité a été améliorée par certains matériaux auxiliaires (par exemple, les géotextiles) ou encore par la mécanisation dans leur mise en œuvre (par exemple, le battage mécanique des pieux). Dans la plupart des cas, un projet de génie végétal a recours à une combinaison de plusieurs techniques et pratiquement chaque cas traité nécessite des adaptations en fonction des contraintes et conditions locales (photo 2). C'est dans cette démarche, où l'importance de l'observation est primordiale, que résulte une des clés de la réussite.

Lorsque les matériaux auxiliaires prennent une place prépondérante dans la constitution de l'ouvrage, on peut parler de génie forestier lorsque le bois est le matériau dominant et de techniques mixtes, lorsqu'il s'agit du minéral (Adam *et al.*, 2003). Mais si le végétal tient malgré tout un rôle qui dépasse l'effet cosmétique, il est généralement admis que ces techniques constituent du génie végétal à part entière.

Enfin, le génie végétal n'a pas pour objectif de tout verdir à tout prix, mais d'intervenir là où de réels problèmes sont constatés et où une intervention est jugée nécessaire par les gestionnaires. La conformité de l'aménagement avec la station et son intégration dans le milieu environnant doivent rester parmi les préoccupations majeures du concepteur. Malheureusement, de ce point de vue, certaines dérives sont parfois constatées et la volonté de vouloir tout verdir, vite et bien, est parfois totalement antagoniste avec certains objectifs de conservation de la biodiversité ou même d'intégration paysagère.

Domaines d'application du génie végétal

Bien que la restauration des cours d'eau soit un des domaines d'application les plus fréquents du génie végétal, on peut également en mentionner d'autres, parmi lesquels certains sont, il est vrai, assez anecdotiques à ce jour :

- la stabilisation des pentes, des ravines et l'assainissement des glissements de terrain ;
- la restauration des milieux dégradés (par exemple, la remise en état de gravières en fin d'exploitation) ;
- la végétalisation de surfaces en déblais ou remblais, issues de grands chantiers induisant des

terrassements importants (par exemple, projets autoroutiers ou ferroviaires) ;

– la protection contre les dangers naturels (avalanches, chutes de pierres) ;

– le génie écologique (reconstitution de milieux naturels dans le contexte de la compensation écologique) ;

– les ouvrages de soutènement des chemins et petites routes ;

– les aménagements paysagers ;

– les buttes de protection anti-bruit.

Pour revenir au domaine de la restauration des cours d'eau, on peut constater une évolution récente au cours de laquelle le génie végétal est passé de simple technique d'endiguement à celui d'outil utile à la restauration hydromorphologique et à l'amélioration de l'état général de l'écosystème cours d'eau. Cette évolution est parallèle à celle de la stratégie en matière de protection contre les crues, où la notion d'espace de liberté du cours d'eau revêt toujours plus d'importance et où l'endiguement, qu'il soit végétal, minéral ou autre, ne constitue plus la seule réponse possible aux problèmes d'érosion et d'inondation (Frossard *et al.*, 1998). On gagne ainsi en finesse dans l'utilisation du génie végétal, en réservant les interventions uniquement là où elles sont indispensables en matière de protection contre les crues ou nécessaires pour rétablir un écosystème fonctionnel.

Les différents enjeux de protection contre les crues et de conservation de milieux alluviaux de qualité doivent être pondérés en fonction des situations, confrontés et hiérarchisés afin de mener à une sectorisation des cours d'eau, comportant des objectifs prioritaires différenciés et de ce fait, une gestion différenciée.

Ainsi, les projets de restauration de cours d'eau sont de plus en plus des projets combinés, où plusieurs outils plus ou moins interventionnistes (aménagement du territoire, espace de liberté, génie végétal, mesures d'entretien, technique mixtes...) sont utilisés en alternance, afin de gagner en efficacité.

Évolution du génie végétal

Les premières réalisations datant du renouveau du génie biologique (1980-1990) en France, se trouvaient en quelque sorte sous le feu des pro-

jecteurs : allaient-elles résister aux contraintes et notamment aux forces d'arrachement ? Pour convaincre les sceptiques, les promoteurs de ces nouvelles techniques n'avaient pas droit à l'erreur et ces dernières devaient faire leur preuve à tout prix. La résistance des ouvrages constituait la préoccupation majeure, ce qui est normal pour des ouvrages de protection ! Mais il est vrai que cette première génération d'aménagements a parfois péché par crainte de l'échec. Ce qui a pu aboutir, parfois, à des ouvrages surdimensionnés, des techniques lourdes (par exemple, caissons en rondins) là où elles n'étaient pas nécessaires, des projets trop homogènes ou encore une arborisation excessive des berges pour donner quelques exemples (on a entendu des détracteurs parler de béton vert !).

Peu à peu, l'expérience acquise au gré de certains échecs et l'assurance prise au gré de nombreuses réussites, ont permis de mieux observer les avantages et inconvénients ainsi que le comportement des différentes techniques appliquées. Cela a également permis d'apprendre à mieux cerner les contraintes et mieux identifier les enjeux dans l'analyse préalable et le développement des projets. Ainsi, les critères biologique et paysager qui font finalement la force du génie biologique, ont pu être de mieux en mieux intégrés dans la conception des aménagements.

On a vu ainsi naître des projets moins homogènes dans leur structure, comportant beaucoup plus de différenciation dans le degré de protection, en fonction d'une analyse fine des enjeux et des contraintes de terrain, tronçon par tronçon et d'une berge à l'autre. Le souci de diversification des structures et espèces végétales est devenu peu à peu systématique et les aspects de diversité paysagère et d'accès au cours d'eau ont été mieux pris en considération. Ainsi, par exemple, les concepteurs ont tenté d'éviter les « monocultures de saules » (bien que cette critique soit très discutable) en développant des techniques intégrant d'autres espèces ligneuses, afin de reconstituer des cordons boisés riverains diversifiés. De même, les techniques se basant uniquement sur des espèces herbacées ont pris toujours plus d'importance dans les projets (fascine d'hélophytes, plantations d'hélophytes, ensemencement et géotextile, etc.), lorsque les contraintes en présence le permettaient. D'autre part, peu à peu, le génie biologique a été confronté à de nouvelles contraintes où l'érosion n'est pas forcément induite épisodiquement par

les crues (batillage sur les canaux navigables, zones de marnage, marées et mascaret, etc.), ce qui a nécessité des innovations et des efforts d'adaptation des techniques de base, de la part des concepteurs.

Des saules mais pas uniquement

Capables de reproduction végétative et d'une croissance rapide, présentant un développement racinaire efficace en terme d'ancrage dans le sol, une capacité de régénération surprenante suite à diverses perturbations d'ordre physique (brisure, déchaussement partiel, écorçage, etc.), supportant des périodes d'immersion fréquentes et parfois prolongées, le genre *Salix* est un auxiliaire idéal pour l'ingénieur biologiste, concepteur d'ouvrages – du moins en ce qui concerne la majorité des espèces. De plus, le caractère pionnier très affirmé de toutes les espèces leur permet de coloniser des substrats parfois très grossiers et pauvres en éléments nutritifs. À ses qualités d'ordre physiologique et autécologique s'ajoutent des avantages physiques utiles à la construction, puisque la souplesse des branches est indispensable dans la mise en place de certaines techniques (par exemple, le tressage), et permet aux ouvrages de bien supporter les phénomènes de crue par exemple. On comprend donc aisément l'utilisation massive de différentes espèces de saules dans la réalisation des techniques végétales, ce d'autant que les saules constituent des composantes fondamentales des forêts riveraines et que la grande majorité des applications sont réalisées dans des contextes de cours d'eau. De quoi s'étonner que certains détracteurs qualifient le génie végétal de monoculture de saules. Comme dans la nature, les espèces pionnières sont les premières à s'installer suite à une perturbation. L'aspect monoculturel existe aussi sur un banc de gravier déposé relativement récemment par les crues et colonisé par les saules qui forment peu à peu des fourrés denses, parfois sur de grandes surfaces. Mais ce stade est transitoire puisque peu à peu, le phénomène de succession écologique va s'opérer et que d'autres espèces vont progressivement coloniser le site s'il reste stable, jusqu'à faire disparaître les espèces pionnières. Il en va de même pour un aménagement de génie biologique, pour peu que le concepteur ait prévu des conditions suffisantes (pente de berge pas trop inclinée notamment) pour permettre ce phénomène de succession.

Malgré cela, de plus en plus, lorsque les techniques mises en œuvre le permettent et que les conditions locales le justifient, la diversification des espèces ligneuses utilisées est hautement recommandée. Certaines techniques se prêtent particulièrement à la diversification (par exemple, les lits de plants et plançons) mais sinon, de simples plantations peuvent accompagner d'autres techniques pour remplir cette fonction. Les espèces utilisées peuvent être très variées, pour peu qu'elles soient compatibles avec les conditions stationnelles, les fonctions de l'ouvrage et que le site d'implantation corresponde à leur distribution géographique naturelle.

Les espèces herbacées revêtent également une importance toute particulière, notamment les graminées et les légumineuses, puisque pratiquement tous les chantiers font l'objet d'un ensemencement qui, lui aussi, accompagne le plus souvent d'autres techniques. D'autres espèces dicotylédones sont également utilisées, aussi dans un souci de diversification, mais surtout pour répondre à des conditions de croissance parfois extrêmes, dans certaines situations.

Enfin, dans l'aménagement des berges de cours d'eau et plans d'eau, les herbacées semi-aquatiques sont de plus en plus utilisées dans des ouvrages spécifiques.

Aspects réglementaires des protections de berge

La nouvelle réglementation sur l'eau introduite dans le Code de l'environnement impose des procédures particulières pour les protections de berges autres que végétales (article R 214-1 du Code de l'environnement). Les techniques de protection de berge présentent ainsi l'avantage d'être généralement dispensées des procédures administratives qui peuvent être lourdes.

Dans tous les cas, et étant donné la complexité de la réglementation, il est nécessaire de se rapprocher du service de la police de l'eau de son département avant d'entreprendre des travaux sur une berge de cours d'eau.

Études sur les limites mécaniques des ouvrages de génie végétal

Il existe deux sortes d'approches pour étudier la résistance à la contrainte mécanique des ouvrages de génie végétal.

La première est empirique et consiste au recueil d'observations sur la bonne tenue ou la destruction des ouvrages lors de crues importantes. Une rivière expérimentale a d'ailleurs été mise en place dans cet objectif par l'université de Vienne en Autriche (Meixner *et al.*, 2002). Ces relevés permettent d'établir des valeurs limites de résistance des ouvrages (Faber, 2004 ; Sauli *et al.*, 2003 ; Schiechl *et al.*, 1996) (figure 2). Il est à noter que ces limites mécaniques sont assez variables et ne doivent être considérées que comme des limites indicatives permettant de comparer la tenue des différents types d'ouvrage. En effet, ces valeurs reprises chez différents auteurs ne correspondent pas toutes à des valeurs limites et dépendent d'un grand nombre de facteurs qui sont variables d'un site à l'autre (Faber, 2004). Par ailleurs, ces limites prennent en compte la force tractrice exercée par l'eau et pas celle éventuellement exercée par le transport solide.

La seconde approche est plus mécaniste et consiste à préciser les mécanismes physiques donnant lieu à la destruction de l'ouvrage. Très peu de recherches ont été menées en ce sens. On peut néanmoins citer les travaux d'Oplatka (1998) à l'université de Vienne. Ses études concluent que la résistance de la berge dépendrait essentiellement de sa distribution granulométrique et de sa pente, et que les racines ne contribueraient à une augmentation significative de la résistance

des berges que pour des sols fins. La comparaison de la résistance et de la sollicitation montre que la rupture d'un ouvrage de stabilisation de berges ne peut se produire que si elle est précédée d'une érosion. Il s'ensuit que l'effet principal de la stabilisation de berges par génie biologique consiste en la réduction du courant immédiatement au contact du sol et, par conséquent, en la diminution de la sollicitation de ce dernier. Ainsi, les ouvrages de protection de berges doivent être conçus de manière à ce que la zone à fort gradient de vitesse et à formation importante de turbulences reste éloignée de la rive (Oplatka, 1998).

De nouvelles recherches dans le domaine du génie biologique

Des recherches sur les saules et sur l'utilisation de nouvelles espèces

Il existe plus d'une vingtaine de saules potentiellement utilisables en génie végétal, mais les études réalisées à leur sujet restent fragmentaires sur certains points. On dispose, surtout pour certaines d'entre elles, de données relatives à leur écologie (Lachat, 1994 ; Rameau, 1994 ; Schiechl *et al.*, 1996 ; Verniers, 1995). Par contre, peu d'informations existent sur leurs résistances relatives à la sécheresse, en ce qui concerne les différentes espèces et les populations qui les composent.

Technique	Résistance mécanique τ en N/m ²		
	À la réalisation	1 à 2 ans après	3 ou 4 ans après
Enherbement	4 ⁽³⁾ -20 ⁽³⁾	25-30 ⁽³⁾	30 ⁽³⁾ -100 ⁽²⁾
Boutures	10 ⁽³⁾	60 ⁽³⁾ -150 ⁽¹⁾	60 ⁽³⁾ -165 ⁽¹⁾
Boudin d'hélophytes	10 ⁽³⁾ -30 ⁽²⁾	20-30 ⁽³⁾	50 ⁽³⁾ -60 ⁽¹⁾
Clayonnages	10 ^(2,3)	10-15 ⁽³⁾	10 ⁽³⁾ -120 ⁽¹⁾
Fascines	20 ⁽³⁾ -60 ⁽²⁾	50 ⁽³⁾ -60 ⁽³⁾	80 ⁽²⁾ -250 ⁽⁴⁾
Saules		50-70 ⁽⁴⁾	100-140 ⁽⁴⁾ 800 (20 ans) ⁽⁴⁾
Plantation d'arbre	20 ⁽²⁾		120 ⁽²⁾
Lit de plants et plançons	20 ^(2,3)	120 ⁽³⁾	140 ^(2,3)
Couche de branches à rejet	50 ^(2,3) -150 ⁽³⁾	150 ⁽³⁾ -300 ⁽³⁾	300 ^(2,3) -450 ⁽³⁾
Caissons végétalisés	500 ⁽³⁾	600 ⁽³⁾	600 ⁽³⁾
Enrochements	Végétalisés	100 ⁽³⁾ -200 ⁽²⁾	300 ⁽²⁾ -350 ⁽³⁾
	Nus	250 ⁽²⁾	250 ⁽²⁾

◀ Tableau 1 – Tableau récapitulatif des contraintes admissibles des protections de berge en fonction de leur âge.

(1) Faber, 2004 ; (2) Schiechl et Stern, 1996 ; (3) Venti *et al.*, 2003 ; (4) Lachat, 1994.

Cependant, cette information apparaît importante car les saules sont très largement utilisés dans les ouvrages de génie végétal et la sécheresse est reconnue comme une des principales causes d'échec de ces ouvrages (Pezeshki *et al.*, 2007 ; Schaff *et al.*, 2002).

Par ailleurs, si les boutures de saules sont très largement utilisées, il existe également d'autres espèces issues des mêmes types de milieux qui ne sont pas ou très peu employées, ce qui peut sembler regrettable en terme de biodiversité, ce d'autant que leurs caractéristiques biologiques et physiques semblent très favorables à une utilisation plus fréquente. On peut ainsi citer l'argousier (*Hippophae rhamnoides*) et le myricaire d'Allemagne (*Myricaria germanica*) qui sont notamment présents dans les rivières alpines et qui possèdent de bonnes capacités de bouturage (Schiechtl, 1973). Plus largement répandu, on peut citer le peuplier noir sauvage (*Populus nigra*) qui contrairement au cultivar, pourrait présenter un intérêt pour le génie végétal et pour lequel un programme de conservation des ressources génétiques est en cours (*cf.* <http://peupliernoir.orleans.inra.fr>). Enfin, des espèces autochtones à affinité plus méditerranéenne, comme le peuplier blanc (*Populus alba*) ou le tamaris de France (*Tamarix gallica*), sont déjà utilisées dans des ouvrages de génie végétal en Italie, bien que le taux de reprise des boutures soit plus faible que pour la majorité des saules (Sauli *et al.*, 2006).

Le Cemagref de Grenoble a engagé une série de recherches et d'expérimentations visant à mieux comprendre la réponse de certaines espèces et populations de saules à différentes conditions de stress hydrique (Lavaine *et al.*, 2009). Différentes expérimentations sur les espèces citées ci-dessus sont également en cours (Evette *et al.*, 2009a ; Rey *et al.*, 2009).

Enfin, si les techniques de génie végétal sont maintenant largement utilisées sur les rivières de plaine, elles sont encore très peu présentes sur les rivières et torrents de montagne. En effet, les contraintes topographiques (pente), géomorphologiques (charriage), hydrologiques (régime nival) et climatiques (végétation spécifique) rendent les réalisations de génie végétal plus difficiles à mettre en œuvre en montagne. Des expériences existent toutefois dans d'autres secteurs de l'espace alpin, et des recherches sont actuellement menées en partenariat entre l'Hepia de Genève et le Cemagref de Grenoble sur les espèces et techniques à utiliser dans ce contexte. Un des

objectifs de ces recherches est d'arriver à terme à la réalisation de chantiers de démonstration utilisant des espèces et des techniques adaptées.

Le génie végétal demain

Aujourd'hui, sans faire preuve d'un optimisme démesuré, les stratégies de protection contre les crues évoluent dans le bon sens. Les concepts d'espaces de liberté du cours d'eau et de restauration géomorphologique font progressivement leur chemin en Europe, au bénéfice de la diversité structurelle et de la qualité physico-chimique et biologique des hydrosystèmes fluviaux. Néanmoins, il subsistera toujours des situations où la protection directe des berges contre les crues, *via* des mesures structurelles (aménagements), s'avèrera nécessaire. Il en va de la protection des biens et des personnes dans de nombreux cas où la notion d'espace de liberté ne trouve pas de solutions. Pour ces cas de figure, le génie biologique, lorsqu'un examen de faisabilité valide son application, remplacera toujours avantageusement les techniques de génie civil, en termes d'intégration paysagère de l'ouvrage et de bon fonctionnement écologique. Malheureusement, malgré deux décennies qui ont vu le développement de nombreuses réalisations très concluantes, les techniques végétales sont encore largement sous-utilisées et de nombreux gestionnaires n'y ont pas recours systématiquement, même si leur application s'avère techniquement possible. Des efforts considérables de vulgarisation sont donc encore nécessaires, y compris et surtout en dehors des métiers de l'environnement, auprès des aménagistes, planificateurs ou encore architectes. De même, la formation ne doit pas s'adresser uniquement aux concepteurs, mais également s'élargir beaucoup plus, et c'est primordial, aux techniciens qui devront mettre en œuvre de telles techniques.

Conclusion : la création d'une association française pour fédérer les acteurs du génie biologique pour la lutte contre l'érosion

L'Association française de génie biologique pour le contrôle de l'érosion des sols (AGEBIO) a été créée le 8 avril 2009. Cette association a pour objectif de promouvoir l'utilisation du génie biologique pour la gestion de l'érosion des sols. Cette nouvelle association ambitionne de favo-

riser les échanges entre les différents acteurs, depuis les gestionnaires et autres acteurs de terrain, jusqu'aux chercheurs, en passant par les entreprises et bureaux d'études spécialisés. Les outils qui seront mis en œuvre consisteront en des réunions, colloques (nationaux et internationaux), visites de terrain, constructions collectives d'articles et de projets transversaux.

Cette association devrait prochainement prendre sa place au sein de la Fédération européenne de

génie biologique (EFIB, cf. <http://www.efib.org/>), où la France n'est jusqu'à présent pas représentée, et qui fédère déjà des associations similaires originaires d'Allemagne, d'Autriche, d'Espagne, d'Italie, du Portugal, de Russie et de Suisse. L'AGEBIO a son siège au Cemagref de Grenoble (contact : freddy.rey@cemagref.fr). □

Résumé

Le génie végétal comme moyen de lutte contre l'érosion en rivière correspond à des techniques ancestrales. Le principe est d'utiliser les aptitudes biologiques, physiologiques et physiques des plantes, pour apporter des solutions techniques à des problèmes de protection des sols et plus particulièrement de lutte contre l'érosion. Si les berges de cours d'eau occupent une place importante dans le domaine d'application du génie végétal, ces techniques s'appliquent également à d'autres milieux comme la stabilisation des pentes et talus d'infrastructures, des ravines, la restauration des milieux dégradés (par exemple, la remise en état de gravières en fin d'exploitation) ou la protection contre certains dangers naturels (avalanches, par exemple). Le génie végétal en rivière connaît une réglementation particulière. Les limites mécaniques des ouvrages ne sont pas simples à définir d'autant plus qu'elles évoluent dans le temps. De nouvelles recherches sont par ailleurs en cours de développement et concernent notamment la caractérisation écologique d'espèces déjà utilisées couramment, ou utilisées jusque là de manière anecdotique. Enfin, on peut noter la création de l'AGEBIO (Association française de génie biologique pour le contrôle de l'érosion des sols) qui constitue un nouvel outil permettant de mieux fédérer les acteurs de ce domaine.

Abstract

Soil bioengineering techniques against erosion are very old techniques. The principle of the techniques is to use biological, physiological and physical abilities of plants to get solutions against soil erosion. Soil bioengineering techniques can be applied to riverbanks but also for other kinds of slopes, for ecological restoration or to prevent from natural hazards (avalanche ...). Soil bioengineering applied to riverbanks is ruled by a specific regulation. Mechanical resistance of these works is hard to define accurately, and increase with time. New researches are currently done about ecological characterization of species already used and other quite news. At least, we can quote the recent creation of the French association for soil bioengineering for erosion control (AGEBIO) that aims to federate parties involved.

Bibliographie

- ADAM, P., DEBIAIS, N., GERBER, F., LACHAT, B., 2008, *Le génie végétal, Un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques*, ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables.
- ADAM, P., FROSSARD, P.-A., 2003, Une solution originale et inédite pour réaménager le vallon du Rossignol en ville de Grasse (département des Alpes-Maritimes, France), *Génie biologique*, vol. 2, p. 3-8.
- ADAM, P., FROSSARD, P.-A., LACHAT, B., 1998, La référence aux modèles naturels pour l'aménagement des cours d'eau, *Ingénieries-EAT*, numéro spécial Rivières et paysages., p. 119-122.
- COPPIN, N.-J., 1990, *Use of Vegetation in Civil Engineering*, Richards, I.-G., London, 238 p.
- EVETTE, A., BALIQUE, C., LAVAINÉ, C., REY, F., 2009a, Using ecological and biogeographical features to achieve a typology of the plant species used in riverbank protection bioengineering in Europe, *Geophysical Research Abstracts*, vol. 11.
- EVETTE, A., LABONNE, S., REY, F., LIÉBAULT, F., JANCKE, O., GIREL, J., 2009b, History of bio-engineering techniques for erosion control in rivers in Western Europe, *Environmental Management*, vol. (sous presse).
- FABER, R., 2004, *New techniques for urban river rehabilitation Specifications for new materials and techniques improve instream morphology soil-bioengineering*, IWHW-BOKU, Vienna, 33 p.
- FROSSARD, P.-A., LACHAT, B., PALTRINIERI, L., 1998, Davantage d'espace pour nos cours d'eau pour l'homme et la nature. Contributions à la protection de la nature en Suisse, *Pro Natura*, vol. 20, p. 48.
- LABONNE, S., EVETTE, A., GIREL, J., REY, F., 2007, Historique du Génie Biologique sur les cours d'eau, *Ingénieries-EAT*, vol. 52, p. 37-48.
- LACHAT, B., 1994, *Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales*, ministère de l'Environnement, Paris 143 p.
- LACHAT, B., 1999, Quelques souvenirs historiques et perspectives d'avenir du génie biologique en Suisse romande et en francophonie, *Génie biologique*, vol. 4, n° 7-14.
- LACHAT, B., FROSSARD, P.-A., 1995, Quand le végétal devient matériau de construction, *Ligne verte*, vol. 10, p. 10-14.
- LAVAINÉ, C., EVETTE, A., PIEGAY, H., 2009, Capacity of regeneration and clonal reproduction of ligneous species used in biotechnical engineering according to a gradient of drought stress, *Geophysical Research Abstracts*, vol. 11.
- MEIXNER, H., RAUCH, H.-P., SCHREIBER, J., VOLLSINGER, S., 2002, Sediment transport on the vegetated bank of the soil bioengineering test flume at the Wien river, in : *Geophysical Research*, (ed Society E.G.), vol. 4.
- OPLATKA, M., 1998, *Stabilität von Weidenverbauungen an Flußufern*, Zürich, 244 p.
- PEZESHKI, S.-R., LI, S.-W., SHIELDS, F.-D., MARTIN, L.-T., 2007, Factors governing survival of black willow (*Salix nigra*) cuttings in a streambank restoration project, *Ecological Engineering*, vol. 29, n° 1, p. 56-65.
- RAMEAU, J.-C., 1994, *Flore forestière française, plaines et collines*, Institut pour le développement forestier, 1785 p.
- REY, F., LABONNE, S., MATHYS, N., PUËCH, C., JARDIN, J.-L., 2009, Life-size experimentation of bioengineering for sedimentation control in eroded marly gullies (Francon catchment, Draix (France), *Geophysical Research Abstracts*, vol. 11.

SAULI, G., CORNELINI, P., PRETI, F., 2003, *Manuale di Ingegneria Naturalistica Applicabile al settore idraulico. Regione Lazio*, Roma.

SAULI, G., CORNELINI, P., PRETI, F., 2006, *Manuale di Ingegneria Naturalistica Sistemazione dei versanti. Regione Lazio*, Roma.

SCHAFF, S.-D., PEZESHKI, S.-R., SHIELDS, F.-D., 2002, Effects of pre-planting soaking on growth and survival of black willow cuttings, *Restoration Ecology*, vol. 10, n° 2, p. 267-274.

SCHECK, R., 1885, *Anleitung zur Ausführung und Veranschlagung von Faschinenbauten*, Berlin.

SCHIECHTL, H.-M., 1973, *Sicherungsarbeiten un Landschaftsbau. Grundlagen Lebende Baustoffe Methoden*. Verlag Goerg. D. W. Callwey, München, 244 p.

SCHIECHTL, H.-M., STERN, R., 1996, *Water Bioengineering Techniques for Watercourse, Bank and Shoreline Protection*, Blackwell Science, 187 p.

VENTI, D., BAZZURRO, F., PALMERI, F., UFFREDUZZI, T., VENANZONI, R., GIBELLI, G., 2003, *Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica della Provincia di Terni. Applicabilità delle tecniche, limiti e soluzioni*, Provincia di Terni Servizio Assetto del Territorio, Ufficio Urbanistica, Terni, 430 p.

VERNIERS, G., 1995, *Aménagement écologique des berges de cours d'eau. Techniques de stabilisation*, Groupe interuniversitaire de recherche en écologie appliquée, Namur, 79 p.

ZEH, H., 2007, *Génie biologique, manuel de construction*, Société suisse du génie biologique et Fédération Européenne pour le génie biologique.