

**L'équipe du programme de stabilisation  
des berges du lac Saint-Jean  
vous souhaite la bienvenue au colloque**

**Les  
techniques  
de génie  
végétal**



**Alma, le 12 juin 1997**



# CONDITIONS DE RÉUSSITE DES TECHNIQUES DE GÉNIE VÉGÉTAL EN COURS D'EAU

Bernard LACHAT  
BIOTEC Biologie appliquée SA  
Route de Courroux 17  
CH - 2824 Vicques (Switzerland)  
Tél. ++41 32 435 66 66 Fax ++41 32 435 56 46  
e-mail : biotec@compuserve.com  
[http ://ourworld.compuserve.com/homepages/biotec/](http://ourworld.compuserve.com/homepages/biotec/)

## 1. PRÉAMBULE

D'une manière générale, la lutte que l'Homme mène pour enrayer l'érosion est une partie perdue d'avance, puisque les phénomènes érosifs existeront toujours. Tout au plus peut-il les freiner, momentanément. Malheureusement aussi, en empêchant certains phénomènes de se produire, d'autres, souvent plus graves, surgissent. Tout est donc une question de temps.

Dans la mesure où l'Homme estime être capable de lutter contre la Nature, qu'il y croit fermement et que rien ne pourra le détourner de son idée fixe, il est nécessaire de se poser un certain nombre de questions et d'établir une philosophie à adopter face aux problèmes d'érosion qui s'appuie sur une démarche logique selon les principes suivants (LACHAT, 1996a) :

- 1) **Faut-il réellement intervenir ? Déterminer s'il y a réellement lieu de devoir intervenir, en fonction des impacts et des enjeux (variante zéro).**
- 2) S'il faut intervenir, évaluer d'abord si les **techniques végétales** peuvent satisfaire à la résolution des problèmes.
- 3) En cas contraire, établir si des **techniques combinées** peuvent pallier aux problèmes.
- 4) Seulement en dernier stade, appliquer une **technique habituelle de génie civil** pour autant qu'elle s'avère raisonnable et proportionnée.

Le point 1, *le plus fondamental*, ne sera pas abordé ici, ni les points 3 et 4.

Seul le point 2 sera développé afin de mieux appliquer cette « logique naturelle » et permettre de mieux rendre possible l'utilisation des techniques de génie végétal dans les aménagements.

L'amélioration considérable de l'efficacité des techniques face aux pratiques du siècle passé (DEMONTZEY, 1878; THIERY, 1891) ou du début du XXe siècle permet de proposer leur réalisation sur des linéaires de berge importants (BEGEMAN & SCHIECHTL, 1986; GRATTON, 1989; LACHAT, 1991 et 1994; LEWIS & WILLIAMS, 1984; SCHIECHTL, 1973; ZEH & al., 1990).

On peut étendre leur application à de nombreux types de cours d'eau différents, que ce soit en relation avec le régime hydraulique, le faciès, la nature des berges et des substrats ou encore l'origine des dérangements constatés.

De plus, la remise à ciel ouvert d'un cours d'eau ou la décorrection d'un autre peut (ou devrait) se pratiquer avec des techniques végétales adaptées.

De nouvelles méthodes ont également été développées, de telle sorte qu'il est maintenant possible de trouver une solution idéale pour de nombreux cas particuliers.

**Il est bien sûr exclu de concevoir et réaliser un bon projet en calquant simplement un même aménagement type sur tous les cas d'érosion qui se présenteraient.**

Dans tout projet, il y a lieu aussi de déterminer quelles berges ou rives doivent être conservées dans leur état et lesquelles doivent être améliorées totalement ou partiellement. Suivant le contexte, les contraintes environnantes et les valeurs réelles à protéger, des berges qui s'érodent ne doivent pas obligatoirement être modifiées.

Les propos tenus ici se situent à un niveau où l'on ne se demande plus si les techniques végétales peuvent exister ou si elles sont fonctionnelles. Ce serait une injure face aux très nombreux travaux et publications à ce sujet, en Europe notamment.

Certains ouvrages réalisés, ou d'autres en cours actuellement au Québec, montrent des perspectives tout à fait réjouissantes face aux conditions rudes du climat hivernal, surtout lorsque les travaux sont bien conçus et bien exécutés.

A ce propos, quelles sont donc les conditions de réussite des techniques de génie végétal ?

## 2. FACTEURS STATIONNELS

Toute implantation de végétation, y compris celles de végétaux fonctionnant comme éléments de construction, doit être précédée d'une analyse des conditions de croissance qu'offrira la station.

Cette appréhension des paramètres se fait, en général, complètement sur le terrain et consiste d'une part en une approche globale et d'autre part dans la saisie de données essentielles pour l'élaboration du projet. D'autres résultats importants pour la nature des ouvrages s'obtiennent en laboratoire ou par calcul.

L'expérience de terrain et surtout la connaissance des phénomènes qui s'y passent et des êtres vivants qui l'habitent sont absolument fondamentales. Il est inutile de vouloir implanter des saules si l'on ne connaît ni les espèces, ni leurs exigences édaphiques, ni leur étage de croissance en relation avec les niveaux d'eau, etc.

Dans la liste ci-dessous (tableau 1), les paramètres stationnels à appréhender absolument sont précédés du signe (+), ceux qu'il serait important de posséder sont précédés du signe (+/-) et ceux non indispensables mais pouvant aider au choix sont précédés du signe (-). Cette liste n'est pas exhaustive (LACHAT, 1994). Voir aussi GRATTON 1994, ZEH, 1990.

Contraintes physico-chimiques de l'eau :	+ débits et niveaux de crues + périodicité des crues + durée moyenne des crues + niveau moyen des eaux + niveaux d'étiage et semi-permanent + durée moyenne de l'étiage + force d'arrachement +/- vitesse du courant +/- qualité
Morphologie du terrain :	+ nature des sols + pente + exposition - relief
Propriétés physiques du sol :	+ teneur en matériaux fins + profondeur + granulométrie - porosité
Propriétés chimiques du sol :	+/- teneur en eau +/- pH - richesse en éléments nutritifs - teneur en éléments polluants (not. métaux lourds)
Propriétés biologiques du sol :	- activité microbiologique
Propriétés mécaniques du sol :	+ instabilité superficielle + instabilité en profondeur + érosion
Conditions climatiques :	+ ensoleillement + altitude +/- durée de la période de végétation - précipitations + gel + durée d'enneigement
Conditions environnementales :	+ présence d'animaux pouvant nuire aux plantes + activités anthropiques proches (culture intensive, fauche, pâture) + activités de loisirs +/- présence de maladies cryptogamiques.

Tableau 1 : Facteurs stationnels influant sur les végétaux et sur le choix d'une méthode de stabilisation végétale (LACHAT, 1994).

# Milieu récepteur de l'aménagement

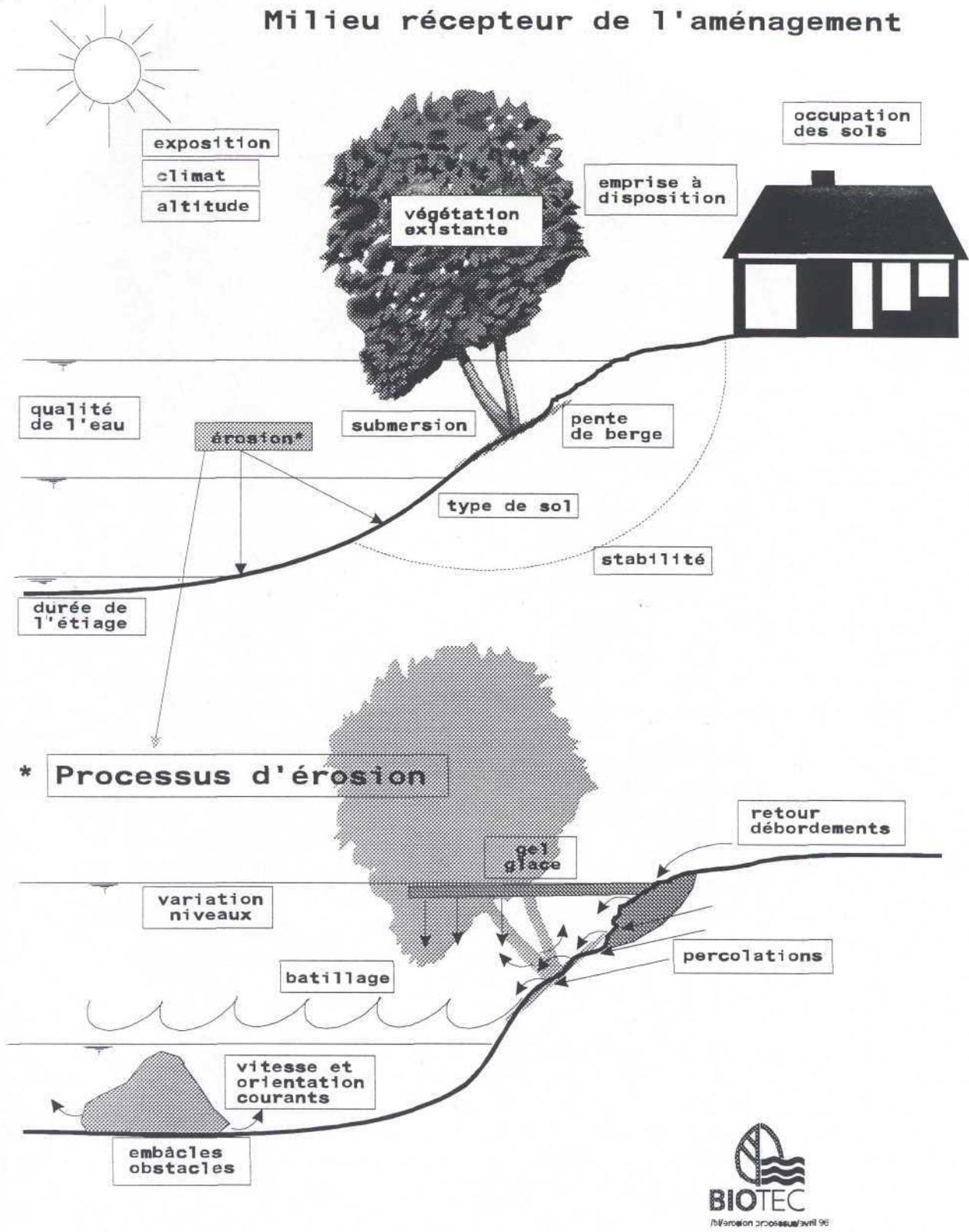


Figure 1 : Paramètres influant sur le milieu récepteur des ouvrages et processus d'érosion possibles (LACHAT, 1996b).

### 3. FACTEURS BOTANIQUES

D'une manière générale, l'élaboration d'une carte synthétique aide beaucoup à comprendre l'état existant et à diriger l'aménagement futur. Toutefois, elle n'est pas indispensable mais l'appréhension de la composition botanique sur le site à travailler et sur ses abords est incontournable pour détecter la présence des espèces capables de jouer un rôle actif en protection des berges.

De plus, la représentation des objets conduisant à des phénomènes modifiant l'écoulement et provoquant des érosions peut être un outil précieux pour comprendre et élaborer des modes d'implantation de la végétation (figure 1).

Le choix des végétaux est déterminant dans la réussite des ouvrages. La règle est de **travailler avec des essences indigènes**, adaptées aux conditions locales de croissance et qui satisfont au mieux les facteurs stationnels énumérés plus haut. La littérature donne souvent des listes de plantes. Pour des interventions sur des cours d'eau dont les rives sont encore habillées d'une végétation naturelle, la meilleure solution consiste à prélever les matériaux sur place en veillant à ne **pas prendre des espèces exotiques**. De cette manière, on a la meilleure garantie possible que les essences utilisées soient adaptées à la station. Si une catégorie de végétaux ligneux, les saules par exemple, viennent à manquer, notamment par l'absence ou la modification de la ripisylve, et afin de garantir un approvisionnement de qualité avec les espèces spécifiées dans les projets, il est parfois nécessaire de constituer des plantations pépinières.

Comme la plupart des saules se bouturent très facilement, la production de baguettes pour les ouvrages s'avère rapide et fonctionnelle si l'on prend soin d'utiliser des sols adaptés.

Dans un aménagement, il est toujours recommandé, de varier les essences, que ce soit les espèces de saule, s'il s'agit de matériaux devant être aptes à rejeter, ou les genres si des plants à racines nues peuvent entrer en ligne de compte. Cette recommandation n'a pas pour seul but de satisfaire à des critères de **diversité biologique**, mais elle augmente également les chances d'une **bonne reprise de la végétation**, et de ce fait, favorise un bon comportement de l'ouvrage. Respecter les facteurs stationnels signifie également que les essences seront distribuées sur la berge en respectant le principe des **séries végétales**, réparties en fonction des contraintes hydriques et hydrauliques. Ceci exige évidemment des connaissances indispensables en botanique et en phytosociologie.

Le choix des végétaux doit également tenir compte de leur aptitude à être utilisés comme éléments de construction, qu'il s'agisse de leur aptitude à rejeter, à drageonner, de leur flexibilité, de leur mode de croissance ou de leur développement futur. A ce propos, certaines remarques méritent d'être mentionnées :

- Seuls les saules (et quelques autres espèces) garantissent avec sûreté de rejeter à partir de segments d'organes aériens, que ce soit des branches entières ou partielles, ou des ramilles. De plus, la flexibilité de leurs branches permet la réalisation d'ouvrages particuliers tels que les tressages.
- Certaines espèces de saules présentent une capacité à la multiplication végétative plus faible que d'autres.

- Les fragments d'aulnes (*Alnus sp.*) sont à déconseiller pour des raisons de manque de régularité dans la reprise. Si le bouturage est encore concevable, l'utilisation de branches entières vivantes n'est pas recommandée. Par contre les aulnes sont vivement conseillés s'ils peuvent être intégrés dans un ouvrage comme plants à racines nues. La structure de leur réseau racinaire, leur pouvoir purificateur, leur aptitude à synthétiser les nitrates à partir de l'azote de l'air grâce à leur nodosités à actinomycètes, leur adaptation à l'eau et aux sols hydromorphes en font des auxiliaires précieux.
- Les peupliers (*Populus sp.*), mêmes s'ils peuvent rejeter, sont à déconseiller en raison de leur enracinement superficiel et de leur port élevé qui les rend trop sujets au déchaussement.
- Certaines espèces de saules ont un développement buissonnant, d'autres arborescent. Certains sont arbustifs et ne deviennent arborescents qu'en conditions hydriques particulières. Cela constitue également des critères de choix.
- Des saules arborescents sont en général à éviter dans un aménagement de pied de berge, à moins qu'on puisse garantir une fréquence d'entretien qui les maintienne arbustifs.

Si l'aspect aérien s'avère important, il est tout aussi nécessaire de connaître la morphologie du système racinaire et les profondeurs qu'il peut atteindre. D'autres facteurs botaniques, plus particulièrement liés aux aspects physiologiques, doivent être connus avant l'utilisation des végétaux :

- l'élasticité (*Salix fragilis*, p. ex., est inapproprié pour les tressages);
- les actions sur les autres végétaux (certains peupliers, p. ex., inhibent la croissance d'autres plantes);
- la capacité de résistance aux parasites et aux maladies;
- l'appétence que constituent certains végétaux pour la faune (p. ex. rat musqué, ragondin, castor, ...).

#### 4. FACTEURS HUMAINS

Enfin, les **facteurs humains** sont tout aussi déterminants que les précédents dans la réussite d'un ouvrage de protection de berge en techniques végétales. C'est pourquoi les domaines de connaissances, déjà exprimés, sont indispensables à tous les acteurs, du concepteur au réalisateur. De plus, il est particulièrement important de bénéficier **d'entreprises spécialisées** pour ces applications, dont la main-d'œuvre possède le sens de l'eau et du végétal.

A ce propos, en Europe, plusieurs organisations ont mis sur pied des cours de formations théoriques et pratiques dont le cours d'eau constitue un des éléments des connaissances enseignées. Les aspects écologiques, la notion d'entretien et des méthodes d'aménagement y sont dispensées. Selon le programme proposé ou le degré de formation des candidats, ceux-ci peuvent choisir la filière qui leur convient le mieux.

En ce qui concerne la maîtrise d'oeuvre, une présence soutenue et un contrôle accru des conditions d'exécution sont indispensables. Le respect des plans et du cahier des charges propre à l'ouvrage par les entreprises s'avère incontournable lorsque le projet a été établi sur la base de critères hydrauliques et techniques particuliers au cours d'eau.

Pour réussir une opération, il faut donc un minimum de conditions :

- des **connaissances** (notamment biologie, botanique, physique, hydrologie, sols, processus évolutifs, vision globale, ...).

Mais les connaissances seules ne suffisent pas, il faut aussi :

- des **compétences** dans ces divers domaines et aussi dans l'application pratique.

**La nature fort complexe des cours d'eau ne permet pas et n'autorise pas les simplifications !**

## 5. LES CAUSES D'ÉCHEC LIÉES À LA MISE EN OEUVRE

La meilleure façon d'éviter les problèmes consiste certainement en l'énumération des causes les plus fréquentes d'échec rencontrées lors de la réalisation d'ouvrages à l'aide des techniques végétales. Parmi les événements malheureux qui surviennent plus moins souvent, la liste non exhaustive ci-dessous mentionne les plus courants :

- 1) choix d'une technique inadaptée;
- 2) préparation insuffisante du terrain (talutage, nivellement, débroussaillage) ou mauvais matériel de remblayage;
- 3) mauvaise méthode de construction ou mode d'exécution mal adapté;
- 4) période de travail inadaptée;
- 5) mauvais choix de la végétation, aussi bien pour des critères d'adaptation aux conditions de la station, que d'aptitude des espèces à fonctionner comme matériel vivant de construction;
- 6) mauvais stockage des matériaux vivants, entre le prélèvement et leur utilisation;
- 7) absence de soins et d'entretien à la végétation, lorsque la situation l'exige;
- 8) mauvaise connaissance sur le site d'intervention des niveaux d'étiage et semi-permanents.

La plupart du temps, les fautes proviennent d'une prise en compte insuffisante que les matériaux utilisés sont vivants et que pour être efficaces, ils doivent non seulement survivre, mais se développer dans les meilleures conditions.

## 6. QUALITÉ GÉNÉRALE DE MISE EN OEUVRE

Mis à part les détails spécifiques propres à chaque technique décrite au chapitre suivant, un certain nombre de principes généraux sont à respecter, quel que soit l'ouvrage considéré. La réussite des travaux y est subordonnée, au même titre que la prise en compte des facteurs stationnels et botaniques. En voici les principaux, livrés sans ordre particulier (LACHAT, 1994) :

- Les outils de coupe doivent être le plus tranchant possible. Des cisailles à mâchoires enserrantes ou avec un côté plat finement crénelé seront préférées à tout autre, à cause de leur efficacité dans la coupe franche des branches, jusqu'à 4 cm de diamètre.
- Que ce soit lors du prélèvement, du rabattement ou pour appointer la base des boutures, toutes les coupes effectuées sur du bois vivant, doivent être nettes et franches, sans écorchures.
- Tout matériel végétal susceptible de rejeter (composante vivante de l'ouvrage) doit être prélevé sur des sujets sains et vigoureux.
- Le temps qui sépare le prélèvement des végétaux de leur implantation dans l'ouvrage, doit être réduit au minimum. Si pour des raisons d'organisation, un temps d'attente est inévitable, on choisira pour le stockage temporaire, un lieu ombragé qui offre la possibilité de mettre la base des branches dans l'eau.
- L'utilisation de matériel mort ou non adapté, non susceptible de reprise et de croissance, est absolument proscrite et la mise en place des boutures doit impérativement être effectuée durant la période propice (voir calendrier).
- Tout segment végétal destiné à être planté ou enfoui partiellement en terre en vue de rejeter, doit être dirigé de manière à respecter la polarité du rameau.
- Les pieux utilisés, que ce soit comme support de tressage, pour fixer des fascines ou autres, doivent absolument être battus mécaniquement pour offrir une résistance suffisante aux crues.
- Toutes les extrémités qui ont été battues, que ce soit manuellement pour des boutures ou mécaniquement pour des pieux, peuvent être endommagées. Il est alors nécessaire de rabattre l'extrémité, avec une cisaille ou une tronçonneuse suivant le diamètre, afin d'avoir une coupe franche, ce qui évite le développement de pourritures nuisant à la vitalité des plantes.

Cette intervention est également nécessaire en fin de réalisation, pour obtenir un ouvrage le plus compact possible, dépourvu d'aspérités inutiles qui provoquent des turbulences en cas de crue et offre d'avantage de prise au courant.

- Les branches d'un tressage, d'une fascine ou d'un tapis, doivent être en contact direct avec de la terre pour pouvoir rejeter. On y veillera notamment lors de la mise en place de géotextile. Ainsi, un tressage ou une fascine sera toujours bien appliqué au sol, et de la terre sera toujours remblayée entre les branches côté berge. De même, les branches d'un tapis doivent être en contact avec le sol sur toute leur longueur.
- Lors de l'enfouissement partiel de branches dans un caisson végétalisé ou un lit de plants et plançons, tout vide est à exclure. A cet effet, un tassement du remblai couche après couche est nécessaire.
- Certains saules possèdent des branches de base courbes, impossibles malgré leur diamètre à être utilisées comme pieux. On les emploiera avantagement dans les remblais et non en construction tressée.

## 7. PARTICULARITÉS SPÉCIFIQUES AUX TECHNIQUES

### 7.1 CALENDRIER GÉNÉRAL

L'application des diverses techniques végétales de protection de berge, les modifications éventuelles du lit pour compléter les ouvrages (seuils, épis, etc.) et les divers entretiens nécessaires ou possibles n'auront pas les mêmes effets et les mêmes incidences selon l'époque durant laquelle ils s'exécutent. Une parfaite connaissance du milieu, mise au service des interventions, évitera bien des impacts écologiques négatifs.

D'une manière générale, les mois de juin, juillet et août ne sont pas favorables aux techniques végétales sauf si les plantes ont été mises en chambre froide.

### 7.2 EXIGENCES TECHNIQUES

La description des techniques étant supposée connue (LACHAT, 1994), elle n'est pas reprise ici. Ce chapitre ne reprend pas non plus les exigences déjà formulées précédemment (chap. 6), générales à toutes les techniques, quant à la qualité de mise en œuvre. Seules les distinctions fondamentales liées à la technique sont citées.

Il est important de noter que certaines techniques ne peuvent pas fonctionner dans certaines conditions, d'où la nécessité de décrire les champs d'application possibles afin de mieux cerner les potentialités des techniques.

## 7.2.1 BOUTURES

### CHAMPS D'APPLICATION

- Constitue une méthode économique et simple pour la stabilisation des talus et berges peu menacés des cours d'eau.
- Permet un reverdissement rapide de talus et de berges où les forces tractrices sont peu élevées.
- Ne pas utiliser cette méthode dans des terrains très compacts où l'enracinement serait difficile.
- Si les berges de cours d'eau sont composées d'un matériel grossier et fortement drainant, faire attention à ce que les boutures ne se dessèchent pas si elles sont placées sur le haut de berge.

### AVANTAGES

- Peuplement pionnier ponctuel, facile à réaliser, nécessitant peu de moyens mécaniques et financiers.
- Une fois que la plante a repris, bon développement.

### DESAVANTAGES

- Effet ponctuel et peu stabilisant au niveau mécanique, avant que les boutures aient une à deux périodes de végétation.

### PREPARATION DU TERRAIN

- La mise en place des boutures demande peu de travaux préparatoires. Cependant, un nettoyage de la berge, un débroussaillage (ronces, buissons, hautes herbes, etc.), l'élimination de quelques gros cailloux sont souhaités.
- Si les sols sont compacts, un décompactage est nécessaire.

### MISE EN ŒUVRE ET PHASAGE

- Selon la nature du sol, préparer des trous avec une pointe en métal (barre à mine) d'un diamètre légèrement plus petit que celui des boutures (densité variable, mais entre 2-5 trous/m<sup>2</sup>).
- Enfoncer les boutures dans les trous en laissant dépasser à l'air libre environ un quart de la longueur, en veillant à les tourner dans le bon sens (bourgeons dirigés vers le haut).
- Les boutures doivent être relativement comprimées dans le trou généralement nécessaire à leur implantation. En d'autres termes, la bouture doit encore offrir une certaine résistance, lorsqu'on l'enfonce dans le trou et ne pas être complètement libre.
- Arroser la bouture à la pose avec environ 1 litre d'eau par pièce.

## 7.2.2 LIT DE PLANTS ET PLANÇONS

### CHAMPS D'APPLICATION

- Pour des consolidations rapides.
- Sur des pentes instables présentant des dangers de glissement.
- Pour reconstituer des berges même hautes, après effondrement.
- Pour des pentes raides.

### AVANTAGES

- Technique très simple et bon marché.
- Pénétration profonde des racines.
- Possibilité d'intégrer d'autres essences que le saule grâce aux plants à racines et d'éviter ainsi une monoculture.
- Ouvrage colonisable spontanément par d'autres plantes, qui est souvent le théâtre d'une succession végétale naturelle.

### DESAVANTAGES

- Ouvrage nécessitant beaucoup de petit matériel végétal.

### PREPARATION DU TERRAIN

Si on travaille uniquement en remblai, il s'agira d'avoir en pied de berge une surface relativement plane, libre de toute végétation ou blocs de pierres, afin de pouvoir réaliser la première assise sur laquelle reposera le premier niveau de plants et plançons. Si l'ouvrage se réalise en déblai, la berge doit être préparée, de manière à ne pas laisser d'obstacles importants pour ne pas gêner les travaux.

### MISE EN ŒUVRE ET PHASAGE

- Au fond d'une berge terreuse, on ménage une saignée oblique pouvant varier de 0,5 à 2 mètres suivant les cas et qui présente une inclinaison de 10° orientée côté rive.
- Des branches de saule aptes à rejeter sont couchées les unes à côté des autres, en ordre serré, toujours avec la base des branches dirigée côté rive. Elles ne doivent pas dépasser le front du talus de plus du tiers de leur longueur, et généralement pas de plus de 30 cm.
- Des plants à racines nues peuvent également être couchés, intercalés entre les plançons. On veillera à tailler leurs extrémités de manière à ce qu'ils croissent immédiatement à la verticale.
- Une fois couverte de branches, cette première saignée est remblayée avec le matériel excavé de la tranchée supérieure. Un bon compactage du matériel est nécessaire pour éviter les vides et pour que les branches soient en contact avec la terre sur toute la longueur enfouie.

- On peut également réaliser ce type d'ouvrage en remblai, ce qui est plus simple. C'est notamment le cas lorsque l'on reconstitue une berge effondrée. On donnera au remblai la forme d'une terrasse, également inclinée côté rive. Une fois la première rangée de branches installée, on peut continuer de remblayer, en compactant bien les matériaux terreux à la machine.
- Pour augmenter l'efficacité de la structure interne, les plants et plançons peuvent se croiser en "X" sous le remblais.

### 7.2.3 TRESSAGE

#### CHAMPS D'APPLICATION

- Représente une méthode rapide et efficace pour stabiliser les bords de cours d'eau en pied de berge, sur des cours d'eau peu agressifs du point de vue érosif
- Sur des cours d'eau puissants, le tressage est régulièrement accompagné d'autres techniques de protection (boutures, couche de branches, plantations, etc.) car il ne constitue pas une technique appropriée pour la protection du talus en entier.
- Permet la réalisation d'épis provisoires sur les bords de cours d'eau.
- Permet de modeler le pied de berge de manière très souple pour diversifier l'écoulement et les habitats (granulométrie différenciée).
- Les pieux seront préférentiellement faits de saule mais peuvent aussi être façonnés avec d'autres essences ou être faits en bois mort d'acacia, de marronnier, de chêne, etc., ou en métal. La mise en place doit être effectuée durant la période de repos de la végétation.
- Au-dessus du tressage de pied, pour la stabilisation du talus, des tressages supplémentaires en escalier peuvent aussi être mis en place.

#### AVANTAGES

- Permet une protection immédiate, efficace et bon marché.
- Constitue par son effet mécanique une protection stable dès la mise en place, même avant que les végétaux aient repris et produit des racines.
- S'adapte de façon souple aux irrégularités de la berge.
- Technique très connue et répandue, d'où facilité de mise en œuvre (savoir-faire des entreprises).

#### DESAVANTAGES

- Hauteur de protection relativement limitée et ouvrage nécessitant souvent d'autres techniques végétales accompagnatrices.
- Sur des petits cours d'eau, le fort développement de saules aura tendance à limiter quelque peu le gabarit si aucun entretien n'est réalisé après quelques années. C'est un élément dont il faut tenir compte dans la mise en œuvre en se tenant le plus près possible de la berge ou en talutant éventuellement celle-ci.

## PREPARATION DU TERRAIN

La mise en place d'un tressage demande souvent très peu de travaux préparatoires. Cependant, un nettoyage du pied de berge est nécessaire, de même que l'enlèvement de l'un ou l'autre gros bloc et le terrassement léger du pied de berge, de manière à ne pas empiéter sur le cours d'eau avec l'ouvrage.

## MISE EN ŒUVRE ET PHASAGE

- Enfoncer par battage mécanique dans le sol, les pieux de saule (ou autres) d'une longueur de 200 cm au minimum, diamètre 5-12 cm. La distance entre les pieux doit être environ égale à 60-80 cm et le pieu situé le plus à l'amont du tressage sera enfoncé en retrait dans la berge de manière à ne pas créer d'obstacle à l'écoulement (tressage incurvé et rentrant dans la berge).
- Tresser les branches de saule avec toutes leurs ramilles entre les pieux (longueur  $\geq$  200 cm, diamètre 1-5 cm) de manière à constituer un mur végétal haut de 15-40 cm.
- Les extrémités des branches de saule seront dirigées côté aval, la base côté amont et enfoncée, si possible, dans le substrat du lit pour les premières couches. Pour les couches supérieures, la base de la baguette touchera la berge et ne sortira pas du tressage.
- Généralement, la première couche de branches est mise en place sur toute la longueur du tressage avant de passer à la couche supérieure et ainsi de suite.
- On prendra soin de presser au maximum les branches tressées vers le bas en se mettant debout sur le tressage ou en mettant une planche sur l'ouvrage, que l'on pressera avec le bras de la pelle hydraulique, afin d'obtenir un ouvrage le plus compact possible.
- Il est indispensable d'alterner l'appui sur les pieux à chaque couche de branches (répartition des forces), afin de ne pas provoquer un basculement des pieux.
- Il est possible de compléter la fixation des branches aux pieux avec du fil de fer galvanisé (diamètre 2-3 mm) ou de la ficelle agricole.
- Si le tressage est réalisé sur un bord de cours d'eau à substrat très fin (sable, limons, etc.), il est judicieux de placer un lit de branches (mortes ou vivantes) perpendiculairement au sens du courant et sous le tressage, afin d'éviter un déchaussement de l'ouvrage en cas de crue. L'emploi de géotextiles est aussi possible.
- Il est important de remblayer l'espace situé derrière le tressage avec du matériel terreux, de manière à ce que les branches ne se dessèchent pas et prennent correctement racines.
- Une fois le tressage réalisé à hauteur désirée, couper l'extrémité des pieux dépassant au-dessus de l'ouvrage.

### 7.2.4 FASCINE

#### CHAMPS D'APPLICATION

- Constitue une méthode efficace pour stabiliser les bords de cours d'eau (pied de berge).
- Les fagots peuvent contenir en leur centre un noyau fait de galets, graviers ou matériaux terreux. Ces fascines de lestage complètent la protection du pied de berge.

- De même que le tressage, la fascine est régulièrement accompagnée d'autres techniques de protection (boutures, lit de plants et plançons, couches de branches, etc.) car elle ne constitue pas une technique appropriée pour la protection du talus en entier.
- Protection très adaptée pour la stabilisation de niches d'érosion le long des cours d'eau.
- Protection convenant relativement bien pour des cours d'eau où l'étiage peut être relativement sévère et où les fascines se retrouvent hors de l'eau pendant quelque temps.
- Les pieux seront préférentiellement faits de saule mais peuvent aussi être façonnés avec d'autres essences ou être faits en bois mort d'acacia, de marronnier, de chêne, etc., ou en métal. La mise en place doit être effectuée durant la période de repos de la végétation.
- Permet la réalisation d'épis vivants sur les bords du cours d'eau si l'on prend soin de remplir le noyau de la fascine avec des matériaux terreux.
- Au-dessus de l'ouvrage de pied, des petites fascines, disposées sur le talus de façon oblique, peuvent être mises en place pour protéger le talus.

#### AVANTAGES

- Permet une protection solide dans les endroits où le pied de berge est sapé.
- S'adapte aux irrégularités de la berge.
- Constitue par son effet mécanique une protection stable dès la mise en place, même avant que les végétaux aient repris.

#### DESAVANTAGES

- Nécessite de grandes quantités de saules et est un peu plus difficile à réaliser que le tressage.
- Hauteur de protection limitée au pied de berge.
- Sur de petits cours d'eau, le fort développement des saules aura tendance à limiter quelque peu le gabarit, si aucun entretien n'est réalisé après quelques années. C'est un élément dont il faut tenir compte dans la mise en œuvre, en se tenant le plus près possible de la berge.

#### PREPARATION DU TERRAIN

Outre le nettoyage, le débroussaillage ou l'enlèvement de l'un ou l'autre gros blocs propres à tous les ouvrages en techniques végétales, la réalisation d'une petite assise, légèrement creusée, est nécessaire.

#### MISE EN ŒUVRE ET PHASAGE

- Confection de la fascine sur la rive ou sur le lieu de prélèvement des saules; branches de saule (longueur  $\geq 200$  cm,  $\varnothing$  1-5 cm) attachées solidement ensemble tous les 80 cm environ avec du fil de fer galvanisé ( $\varnothing$  2-3 mm), de manière à former un fagot (longueur 200-400 cm,  $\varnothing$  20-40 cm). Les branches de saule sont compressées les unes aux autres avec un serre-fagots (outil régulièrement utilisé par les forestiers).
- Pose des fascines depuis l'aval vers l'amont, en prenant soin de placer chaque fois l'extrémité aval (bout des branches) d'une fascine sur l'extrémité amont (base des branches) de la fascine suivante.

- Enfoncer les pieux à travers la fascine par battage mécanique. Les pieux de saule (ou autres) d'une longueur de 200 cm au minimum selon la nature des sols auront un diamètre de 5-12 cm et seront espacés de 60-100 cm. Afin de ne pas déstabiliser le pied de berge par compression lors du battage, les pieux pourront être inclinés pour former un angle de 90° par rapport à la berge.
- Attaches complémentaires des fascines aux pieux avec du fil de fer.
- Remblai de matériaux terreux derrière la fascine indispensable, afin que les branches ne se dessèchent pas et prennent correctement racines.
- Une fois la fascine posée, couper l'extrémité des pieux dépassant au-dessus de l'ouvrage.
- Si la fascine est réalisée sur un bord de cours d'eau à substrat très fin (sable, limon, etc.), il est judicieux de placer un lit de branches (mortes ou vivantes) perpendiculairement au sens du courant sous la fascine, afin d'éviter un déchaussement de l'ouvrage en cas de crue.
- Il est judicieux pour ne pas créer d'obstacle à l'écoulement, de placer l'extrémité amont du fascinage à l'intérieur de la berge (fascine incurvée et rentrant dans la berge).

Variante :

La méthode de réalisation décrite ci-dessus constitue la fascine traditionnelle; il est cependant très courant de modifier et d'adapter les méthodes du génie végétal aux conditions locales du cours d'eau ou selon le savoir-faire et l'expérience de l'entreprise. C'est pourquoi il est également décrit la mise en œuvre d'une variante très répandue dans l'aménagement de cours d'eau :

- Enfoncement mécanique de deux rangées parallèles de pieux de saule (ou autres).
- Pose de branches de saule entre les pieux, que l'on prendra soin de compacter au maximum (en posant une planche perpendiculairement aux branches et que l'on pressera à la pelle hydraulique).
- Il est également possible d'intégrer de fines couches de matériaux terreux entre les branches ou de ménager un noyau des mêmes matériaux.
- Une fois le niveau voulu atteint, attaches de fil de fer aux pieux perpendiculairement aux branches.
- Recouvrement de l'ouvrage avec des matériaux terreux afin que les branches ne se dessèchent pas et prennent correctement racines.

#### 7.2.5 COUCHE DE BRANCHES

##### CHAMPS D'APPLICATION

- Talus et berges fortement menacés par le courant ou ayant subi une érosion et qui doivent être protégés en surface.
- Talus et berges où les forces tractrices sont élevées ou en conditions difficiles.
- Peuvent remplacer les géotextiles.

#### AVANTAGES

- Les couches de branches à rejets sont immédiatement efficaces (effet mécanique exercé par le tapis avant que les bourgeons débourent) sur toute la surface de la berge.
- Elles croissent bien et forment un réseau très dense de racines.
- Permettent un reverdissement rapide et total.
- Elles forment le long des cours d'eau une ceinture végétale dense et durable, capable de résister à de fortes crues.
- Permettent la reconstitution de saulaies résistantes.

#### DESAVANTAGES

- La réalisation d'une couche de branches nécessite beaucoup de matériel et de travail.
- Constitue un espace de saules dense sans que d'autres espèces ligneuses puissent s'installer naturellement et diversifier la berge aménagée avant quelques années.

#### PREPARATION DU TERRAIN

- Outre les travaux de débroussaillage et nettoyage mentionnés aux paragraphes précédents, la préparation du terrain pour la pose d'une couche de branches nécessite absolument un talutage de la berge afin de produire une surface la plus régulière possible, sur laquelle viendront reposer les branches.
- Si le substrat de la berge n'est pas propice à la croissance des végétaux, un apport supplémentaire de matériaux terreux sera nécessaire avant la mise en œuvre de la couche de branches (min. 30 cm d'épaisseur).

#### MISE EN ŒUVRE ET PHASAGE

- Poser les branches de saule côte à côte de manière à masquer le sol (minimum 20 branches par mètre linéaire, longueur des branches variable, généralement  $\geq 2$  m et diamètre 1-4 cm). Les disposer perpendiculairement à l'axe longitudinal du talus ou de la berge à protéger, avec l'extrémité des branches dirigées vers le haut et la base placée au contact de l'eau.
- Enfoncer dans le sol des pieux de saule ou d'autres matériaux (longueur  $> 60$  cm,  $0$  2-6 cm) destinés à fixer la couche de branches. Hors sol, ils dépasseront provisoirement de 20 cm. La distance entre les pieux doit être environ égale à 80-100 cm dans le sens vertical comme horizontal et la rangée inférieure des pieux sera placée environ 20 cm au-dessus des extrémités inférieures des branches.
- Fixer et plaquer les couches de branches par un treillage de fil de fer (généralement galvanisé, doublé et de 2-3 mm de diamètre) tendu entre les pieux d'une même rangée (parallèlement à la direction du courant ou du talus et donc perpendiculairement aux branches). Si l'on désire utiliser moins de fil de fer, il est possible de plaquer la couche de branches au sol avec des branches de saule rigides, attachées en croix et directement fixées aux pieux.

- Il est essentiel pour une reprise optimale que les branches soient pressées contre le sol, c'est pourquoi une fois le fil de fer ligaturé aux pieux, ces derniers seront définitivement enfoncés (battus mécaniquement) de manière à maintenir et à plaquer correctement la couche de branches.
- Recouvrir le tapis de branches d'une couche plus ou moins régulière et fine (quelques centimètres) de terre végétale de manière à laisser encore apparaître les branches.
- Selon le régime hydrologique du cours d'eau, une natte de protection sur le tout peut être souhaitable.

#### 7.2.6 PEIGNE

##### CHAMPS D'APPLICATION

Convient pour lutter contre des niches d'arrachement, des affouillements, des sapements de berge et des instabilités de pied. Le cours d'eau doit charrier et transporter des éléments limono-sableux à chaque crue, même lors des plus petites ( $Q_1$ ).

##### AVANTAGES

- Effet immédiat de protection.
- Intervention peu coûteuse et rapide, applicable en cas d'urgence.
- Les saules, en produisant des nouvelles branches, augmentent l'effet de filtration.

##### DESAVANTAGES

- Utilisable uniquement sur des cours d'eau qui transportent beaucoup d'alluvions fines.
- Nécessite des crues fréquentes.

##### PREPARATION DU TERRAIN

- Aucune préparation particulière du terrain n'est nécessaire.

##### MISE EN ŒUVRE ET PHASAGE

- Enfoncer, par battage mécanique des pieux de saule ou autre (longueur  $\geq 200$  cm,  $\phi$  7-15 cm) de manière à ce qu'il ne dépassent pas le fond du lit de plus de 80 cm (distance entre les pieux : 100-200 cm). Localiser la ligne des pieux là où l'on désire reconstituer le pied de berge.
- Entasser les branches, troncs et arbres parallèlement au sens du courant, éventuellement avec des éléments perpendiculaires, en dirigeant les grosses extrémités en aval. Une grande proportion de saules est souhaitable. Il faut veiller à ne pas mettre du peuplier (!).
- Il est possible d'intercaler une ou plusieurs couches de matériaux terreux entre les branches si l'on sait que le cours d'eau n'est pas très riche en éléments en suspension ou pour pallier à un manque de crue, selon l'état hydrique du bassin versant (neige, etc.).
- Enfoncer dans la berge (presque à l'horizontale) des pieux de saule ( $\phi \geq 4$  cm) ou barres d'acier (longueur  $\geq 100$  cm,  $\phi \geq 2$  cm).

- Attacher solidement tout l'ouvrage avec du fil de fer galvanisé ou du petit câble (Ø 3 mm) tendu entre les pieux ou entre les barres d'acier fichées dans la berge et les pieux battus dans le lit.
- Une fois le fil de fer ligaturé aux pieux (côté cours d'eau), ces derniers seront définitivement enfoncés (battus mécaniquement) de manière à maintenir tout l'ouvrage le plus compact possible.

#### 7.2.7 PLANTATION

##### CHAMPS D'APPLICATION

- Pour végétaliser la partie médiane et supérieure des berges.
- Pour végétaliser des berges à faibles contraintes hydrauliques.
- Pour installer des végétaux héliophytes en courants peu agressifs.

##### AVANTAGES

- Intervention simple, nécessitant une préparation de terrain minimale.
- Etant donné que toutes les espèces végétales sont aptes à la plantation, cette technique permet d'apporter la diversité botanique souhaitée dans un aménagement.

##### DESAVANTAGES

- Champ d'application restreint, du moins pour des cours d'eau à fortes contraintes hydrauliques.
- Efficacité faible dans un premier temps.

##### PREPARATION DU TERRAIN

La plupart du temps, les plantations peuvent s'effectuer pratiquement sans préparation de terrain. Des travaux d'ameublissement du sol peuvent d'ailleurs rarement se réaliser sur une berge. Par contre un débroussaillage des plantes herbacées hautes est souvent nécessaire, afin de limiter la concurrence exercée sur les jeunes plants mis en place.

##### MISE EN ŒUVRE ET PHASAGE

- Un trou préalable est creusé, plus ou moins important en fonction du sujet à planter, de manière à ce qu'on puisse installer le nouveau plant sans que les racines soient comprimées au fond ou qu'elles se relèvent sur les côtés. Du matériel terreux doit se trouver au fond du trou.
- Des racines trop longues et encombrantes peuvent être taillées, mais le chevelu racinaire est gardé intact.
- Les racines sont ensuite recouvertes de terre jusqu'au niveau du collet de la plante, à savoir au point de différenciation entre les racines et les organes aériens.

- Il est important qu'en recouvrant les racines, le matériau soit bien tassé, afin qu'aucun vide important ne se crée, car tout le réseau racinaire doit être en contact direct avec la terre, pour assurer une bonne reprise.
- Les hautes tiges supérieures à deux mètres nécessitent généralement le tuteurage.
- Il est possible d'incorporer du compost ou d'introduire une pastille d'engrais dans le trou de plantation, mais cet apport est souvent superflu.

#### 7.2.8 ENSEMENCEMENT

##### CHAMPS D'APPLICATION

Surtout valable pour assurer une stabilisation en surface, la plupart du temps, l'ensemencement accompagne d'autres techniques et souvent les plantations. Parfois, il est simplement destiné à fonctionner à très court terme, le temps que les rejets de boutures ou de branches recouvrent entièrement la surface à protéger (p. ex. sur les couches de branches à rejets). Hormis le semis hydraulique avec collage des graines et protection, appliqué seul, il ne suffit pas à la stabilisation de berges très pentues et ne résiste pas à des forces d'arrachement élevées.

##### AVANTAGES

- Il offre une colonisation végétale à haute densité, très régulière pour la technique du semis hydraulique.
- Il permet de végétaliser de grandes surfaces en peu de temps, surtout à l'aide de l'ensemencement hydraulique.
- Il offre la possibilité de garder certaines berges ouvertes, et d'apporter par endroit plus de lumière aux cours d'eau.
- Il assure une couverture protectrice de surface sur laquelle l'eau a peu d'emprise.

##### DESAVANTAGES

- Efficacité limitée en fonction des sols, de la pente et de la force d'arrachement du courant.

##### PREPARATION DU TERRAIN

L'ensemencement se réalise sur une surface partiellement ou totalement nue, dépourvue de végétation, soit après un apport de terre, après un dégrappage des matériaux en place ou sur une berge érodée dont on souhaite garder le fasciès. Même des substrats bruts en sols pauvres peuvent être ensemencés, pour autant que le mélange de graines soit approprié. Un ensemencement sur une couverture végétale existante est voué à l'échec, de par la concurrence trop élevée exercée sur les jeunes plantules naissantes et par le fait que la graine n'arrive pas au sol généralement.

## MISE EN ŒUVRE ET PHASAGE

- Ensemencement à sec :

Le mélange de graines est simplement épandu à la main. Pour de grandes surfaces ( $> 500 \text{ m}^2$ ), on aura pris soin de diviser la surface en secteurs plus réduits et de peser chaque fois la quantité de graines correspondante. Pour des mélanges nécessitant une densité de semis très faible ( $5-15 \text{ g/m}^2$ ), il est conseillé de mélanger les graines à du sable, sans quoi la densité ne sera jamais respectée. Si la topographie du terrain le permet et que le sol n'est pas trop humide, un roulage de la surface améliore les conditions de germination et de croissance.

- Fleur de foin :

Une parcelle d'herbe dont les plantes dominantes sont au stade de la floraison est fauchée. Cette première opération doit s'effectuer le matin et de préférence par temps humide, afin de limiter les pertes. Ensuite, l'herbe est chargée et transportée, puis étendue à la fourche sur les parcelles prévues. En général l'herbe récoltée suffit à ensemer une surface double de celle fauchée, mais si l'herbe est très dense elle peut suffire pour une surface trois à cinq fois plus grande. On parle également de  $0.5$  à  $2 \text{ kg}$  de fleur de foin par mètre carré. Une fois sèche, l'herbe épandue doit être laissée sur la parcelle, car elle agit contre l'évaporation et la brûlure des germes. Par contre, le foin sera évacué dès que les germes commenceront à taller. Cette méthode d'ensemencement ne peut se pratiquer que pendant une courte période de l'année, et ne convient pas pour de fortes pentes. De plus elle exige beaucoup de manutention. Généralement, la fleur de foin utilisée manque de semences de plantes capables de coloniser des sols bruts.

- Ensemencement hydraulique :

L'eau est ici utilisée comme support qui permet l'épandage en un seul passage d'un mélange composé de graines, d'engrais, de mulch (déchets organiques) et d'un produit naturel adhésif. L'équipement nécessaire à cette opération comporte une citerne munie d'une pompe et d'un malaxeur (hydroseeder), le tout installé sur camion ou tiré par un tracteur. Cette méthode permet l'ensemencement de talus très raides non accessibles et des sols à substrat brut et rocheux. La capacité d'une telle technique est appréciable, puisque  $10'000$  à  $20'000 \text{ m}^2$  peuvent être traités en une journée. La variabilité est fonction des accès, de la proximité d'une source d'eau et de la puissance du matériel. Parmi les dizaines de techniques existantes, celle nécessitant le paillage des graines suivi de l'application d'un film bitumineux est aussi très répandue.

### 7.2.9 CAISSON VEGETALISE A DOUBLE PAROIS

#### CHAMPS D'APPLICATION

- Pour des berges très raides et fortement sapées.
- Lorsque la berge fonctionne comme appui d'une infrastructure (route, voie ferrée, ...).

- Pour des terrains instables (glissement).
- Pour assainir et stabiliser des glissements.
- En remplacement de murs ou de gabions.
- Lorsque la pente du cours d'eau et les forces tractrices sont élevées.

#### AVANTAGES

- Protection immédiate.
- Construction rapide et assez simple.
- Possibilité d'adapter la hauteur de l'ouvrage à toute situation.
- Ouvrage colonisable par n'importe quelle plante suivant les facteurs stationnels et les matériaux de remblais.

#### DESAVANTAGES

- Une bonne assise et une bonne fondation sont nécessaires pour la stabilité et la pérennité.
- Un ou des seuils sont parfois nécessaires, en complément, pour éviter le déchaussement de la base de l'ouvrage.

#### PREPARATION DU TERRAIN

Le caisson doit reposer sur une assise régulière et nivelée. Cette assise doit également être solide, résistante et ne pas se déformer. Dans un lit présentant une granulométrie dominante très grossière (cailloux; galets), la préparation de cette assise peut se faire directement en travaillant et compactant le sol en place. Par contre, dans un substrat limoneux ou vaseux instable, un apport de tout-venant sera nécessaire. L'assise doit présenter une pente de 5 à 10 % orientée côté berge.

#### MISE EN ŒUVRE ET PHASAGE

- Sur le terrain préparé, on pose les deux premières longrines.
- A chaque étage de rondins (longrines ou moises), le caisson est rempli de matériaux terreux, présents sur place ou amenés à pied œuvre. Ces matériaux de remplissage doivent être compactés à la machine (godet de la pelle hydraulique ou rouleau léger), et un travail manuel complémentaire est nécessaire pour combler des vides sous les rondins.
- Les moises placées perpendiculairement sur les longrines sont clouées à l'aide des tiges d'acier d'armature.
- Entre deux étages de longrines et entre deux moises du même étage, des branches de saule capables de rejeter, sont couchées en rang serré, la base des branches à l'intérieur du caisson. Les branches ne doivent pas dépasser de plus de 20 à 30 cm le front du caisson.
- Parmi les branches, on peut également intégrer des plants à racines nues que l'on couchera. Ils seront taillés de manière à ce que la croissance soit immédiatement verticale.
- Pour la reprise des branches, il est important que chaque couche de matériaux terreux soit bien tassée, afin d'éviter les vides.

- En cas de fortes arrivées d'eau de suintement ou lors d'un soutien de route, on peut prévoir une chemise drainante de galets, de graviers ou de tout-venant grossier, dans le fond et dans le dos du caisson. Les plantes jouent cependant un rôle non négligeable de drainage par les racines.
- Il est envisageable d'incorporer un géotextile entre deux rangées de longrines, afin d'éviter l'évidement du caisson lorsque le diamètre des longrines est grand.
- Si l'aménagement se réalise sur un long tronçon et que plusieurs caissons se succèdent, ils doivent s'emboîter sur environ 50 cm. Les caissons seront aussi assez courts pour offrir un pied de berge irrégulier et non rectiligne.

## 8. CONCLUSION

Le génie végétal est souvent assimilé (par méconnaissance ou par mépris) à de simples plantations. Or, il n'est absolument pas comparable à cela ni à la notion qui voudrait que le végétal soit utilisé comme « cosmétique » ou comme élément décoratif d'ouvrages classiques de génie civil. Ainsi, il ne faudrait pas voir dans l'habillage de gabions ou d'enrochements, avec de grosses boutures de saule ou avec toutes sortes d'autres plantes, l'application d'une technique du génie végétal digne de ce nom.

Sur des modèles naturels de mécanismes de croissance connus et observés, le génie végétal développe des procédés qui permettent, parfois à grande échelle, de résoudre des problèmes de protection des sols contre l'érosion. C'est précisément dans le développement des techniques et leurs applications que réside son essence propre. En d'autres termes, non seulement il exploite, comme modèle, les capacités naturelles du végétal, mais il utilise ce dernier comme matériel de base à la construction d'ouvrages.

La matière végétale étant vivante, elle est par définition capable de croissance, d'évolution et sujette à des modifications aléatoires rapides, influencées par son environnement. Par conséquent, il n'est pas possible de la mettre en équation, contrairement à la matière inerte. D'autre part, des résultats positifs de mise en place de techniques végétales ne sont pas forcément reproductibles en fonction des nombreux facteurs d'influence.

Malgré tout, en matière de protection des sols riverains avec l'aide des végétaux, l'approche empirique basée sur des connaissances biologiques et hydrauliques est fiable et, vraisemblablement, une des seules valable.

Pour une réussite des ouvrages dans le temps, non seulement la connaissance des facteurs environnementaux du site est indispensable, mais aussi la compétence tant dans la conception que dans la réalisation. Ceci doit toutefois être modéré fortement car, face à la Nature et aux éléments qui la composent, il faut savoir rester modeste et humble. Mais, de toute évidence, le passé nous a montré (et le présent nous le montre tous les jours) qu'aucune technique de protection, même très coûteuse, n'est éternelle. Alors pourquoi pas le génie végétal, qui s'apparente plus à la logique naturelle que toute autre technique et qui offre des avantages écologiques et techniques indiscutables?

En espérant que les divers propos tenus ci-dessus aident à la compréhension et au succès des techniques de génie végétal !

## 9. BIBLIOGRAPHIE

- BEGEMAN, W. et SCHIECHTL, H. M. 1986. *Ingenieurbiologie*. Handbuch zum naturnahen Wasser- und Erdbau. Bauverlag. Wiesbaden und Berlin. 261 p.
- DEMONTZEY, P. 1878. *Etude sur les travaux de reboisement et de gazonnement des montagnes*. Paris. Imprimerie nationale.
- GRATTON, L. 1989. L'utilisation des plantes ligneuses dans la stabilisation des berges en milieu agricole. Ministère du Loisir, Chasse et Pêche. 61 p.
- GRATTON, L. 1994. L'utilisation des plantes ligneuses dans la stabilisation des berges : un potentiel à développer. In *L'Arbre en ville et à la campagne*. Actes colloque 2-3.11.94, Montréal. Fondation Louis-de-Gonzague-Fortin, La Pocatière (Québec) : 19-32
- LACHAT, B. 1991. *Le cours d'eau - Conservation, entretien et aménagement*. Série aménagement et gestion n° 2. Conseil de l'Europe. Strasbourg. 84 p.
- LACHAT, B. 1996a. *De l'âge de la pierre à l'âge du vert*. Société hydrotechnique de France. 24<sup>e</sup> journée de l'hydraulique. Paris 18-20 sept. 1996 : 181-192.
- LACHAT, B. 1996b. *Méthodes et techniques de construction en cours d'eau. Critères, choix et dimensionnement d'une méthode végétale*. Journées du génie biologique. 7 et 8 mars 1996. EPF, Lausanne 10 p.
- LACHAT, B. 1996c. *Bioengineering techniques to prevent shore erosion*. 2nd International symposium on habitat hydraulics. Ecohydraulics 2000. IAHR. INRS-Eau éd. Québec juin 1996. Vol B : 683-701
- LACHAT, B. et coll. 1994. *Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales*. Ministère de l'Environnement. Paris. 143 p.
- LEWIS, G. et WILLIAMS, G. 1984. *Rivers and wildlife Handbook : a guide to practices which further the conservation of wildlife on rivers*. RSPB, RSN. 296 p.
- SCHIECHTL, H. M. 1973. *Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau. Grundlagen Lebende Baustoffe Methoden*. Verlag Goerg. D. W. Callwey, München. 244 p.
- THIERY, E. 1891. *Restauration des montagnes, Correction des torrents. Reboisement*. Baudry et Cie. éd. Paris.
- ZEH, H. 1990. *Grenzen der Ingenieurbiologie*. In Grundsätze und Beispiele der Ingenieurbiologie. Vortragstagung 7.12.90. Verein für Ingenieurbiologie. Zurich. p. 33-37.
- ZEH, H., ROTH, H., MOSIMANN, R., SCHENKER, J., LACHAT, B. et DURLER, R. 1990. *Mesures de génie biologique dans l'aménagement des rives*. Méthodes et exemples dans le canton de Berne. Direction des travaux publics du canton de Berne - Office des ponts et chaussées. 44 p.