

An illustration of a plant with a dense, fibrous root system. The plant is shown from a top-down perspective, with its roots spreading out horizontally and then descending vertically into the ground. The roots are depicted as a complex network of dark, branching lines. The background is a solid light blue color.

Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales

BERNARD LACHAT

Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales

Par Bernard Lachat

EN COLLABORATION AVEC

Philippe Adam

Pierre-André Frossard

René Marcaud

Bureau d'études Silène-Biotec

ILLUSTRATIONS

Martine Saucy

Claude Surmont

Bureau Biotec

1 9 9 4

réédition 1 9 9 9



préface



La loi sur l'eau de 1992 ordonne la gestion des cours d'eau sur l'écosystème et son équilibre : ainsi, le législateur reconnaît à la Nature une place qu'elle n'aurait jamais dû perdre. Car, les aménagements inconsidérés nuisent à l'environnement donc aux ressources en eau et, en définitive à l'homme lui-même.

L'état d'un cours d'eau résulte des actions et réactions permanentes de la nature et de l'homme. Un cours d'eau en "bonne santé" garantit le maintien des activités humaines, alors que des travaux hydrauliques abusifs (rectifications, recalibrages) réduisent la capacité auto-épuratoire de la rivière et l'alimentation des nappes souterraines. Une gestion équilibrée, fondée sur la connaissance de l'écosystèmes en son entier, participe à la lutte contre la pollution et préserve la ressource en eau. Il n'y a pas opposition entre économie et écologie, mais nécessaire convergence.

L'entretien des berges, aspect essentiel de la gestion, a été trop longtemps négligé ou, au contraire, conduit avec des procédés dévastateurs. Mais, un peu partout des riverains, des pêcheurs, des écologistes, des collectivités locales ont aujourd'hui la volonté de réagir. Les techniques anciennes se sont souvent perdues, mais pas partout. En France peut-être plus intensément en Suisse, Allemagne, Autriche, des chercheurs et des praticiens se sont efforcés de les recueillir, analyser, expérimenter, expliciter. Aujourd'hui, nous disposons d'un capital de connaissances important, et l'on peut parler de "génie

végétal" adapté à l'entretien des berges : il faut l'exploiter.

Au travers de ce guide, le ministère de l'environnement veut présenter des solutions concrètes aux problèmes que rencontrent les hommes de terrain. Ce guide se veut pratique. Il est le fruit d'expériences menées en des milieux naturels variés, qui ont montré que l'on peut redonner durablement vie et harmonie aux rivières.

Mais ce guide n'est pas un livre de recettes. Le choix des techniques de restauration doit se fonder impérativement sur un diagnostic, analysant avec minutie non seulement l'état physique et biologique du milieu mais les préoccupations des riverains et de tous ceux qui ont des intérêts liés à la rivière. Sans cette démarche préalable, point de réussite assurée dans la restauration, ni dans l'entretien qui doit suivre, faute de ruiner les effets de la restauration. Le diagnostic déterminera où il faut agir (parfois c'est le libre jeu de la dynamique fluviale qui rétablira, sans travaux, l'équilibre perdu) et dans quelle mesure.

Grande ambition, la reconquête du milieu aquatique n'est nullement une utopie. Elle exigera un effort tenace, inspiré par l'expérience et la connaissance. Le guide veut contribuer à les diffuser.

Le directeur de l'eau



Jean-Luc Laurent



avant propos

Les mots précédés d'un astérisque () sont expliqués dans le lexique.*

Les numéros entre crochets sont des références bibliographiques.



Les publications récentes relatives aux techniques du *génie végétal ne sont pas très nombreuses en langue française. Les pays germanophones ont beaucoup plus écrit sur ces aspects et l'importante masse bibliographique répétitive, disponible sur le sujet, désarçonne beaucoup de personnes désireuses d'innover en matière de protection de cours d'eau. Pour une fois, un ouvrage en français (qui n'est pas une simple traduction) fait le point sur les techniques végétales les plus éprouvées en France et en Suisse, afin qu'elles puissent utilement servir dans un souci de respect et de maintien des équilibres hydroécologiques sur les cours d'eau.

Ce manuel se veut volontairement limité. Ainsi, seules les techniques de base y sont décrites, seuls quelques exemples y sont illustrés. L'imagination et le doigté doivent faire le reste. La notion d'entretien général du cours d'eau n'est pas traitée ici, seul un rappel est amorcé car ce domaine doit faire l'objet, à part entière, d'une publication spécifique. Par contre, l'entretien des ouvrages est abordé.

Afin de marier au mieux les aspects physiques et les caractéristiques biologiques, une approche hydraulique est présentée. L'intégration des paramètres écologiques dans les approches hydrauliques nous semblent constituer la clé d'un bon aménagement.

Un ouvrage comme celui-ci ne pourrait voir le jour dans des délais raisonnables sans l'aide précieuse de collaborateurs efficaces et de personnes compétentes, soucieuses de la qualité de notre environnement.

Il nous est donc particulièrement agréable de remercier chaleureusement celles et ceux qui ont participé à l'élaboration de ce guide :

Philippe ADAM, ingénieur rural EPF à SILENE-BIOTEC ;
Pierre-André FROSSARD, ingénieur agronome à SILENE-BIOTEC ;
René MARCAUD, ingénieur DPE - TP à SILENE-BIOTEC ;

pour la partie rédactionnelle, les conseils et une nouvelle vision des phénomènes.

Il nous tient particulièrement à cœur de formuler un merci tout spécial à Monsieur Francis TROCHERIE de la DIREN, dont le dynamisme, la clairvoyance et l'encouragement ont été les moteurs de cette publication.

De plus, il nous est aussi très agréable de remercier le Ministère de

l'Environnement qui nous a aidé matériellement à élaborer cette publication. Ses représentants, Madame Marie-Pierre COLLIN-HUET et Monsieur Frédéric PAREDES, nous ont beaucoup aidé dans l'orientation de ce guide par des remarques et des conseils très judicieux.

Plusieurs personnes issues de milieux divers ont été sollicitées pour formuler des critiques et des suggestions afin que ce guide réponde à l'attente de tous. Ces personnes ont aimablement prêté leur concours et il est indéniable que la publication actuelle s'en trouve grandement améliorée :

Jean-Pierre ARGOUD, SATERCE,

Conseil général de la Savoie ;

Patrick BAZIN, Espaces naturels de France ;

Franck BOMPUIS, Conseil général de la Loire ;

Mireille BOYER, bureau d'études

SILENE-BIOTEC ;

Philippe CAILLEBOTTE, CFPF Centre de Formation Professionnelle Forestière, Châteauneuf-sur-Rhône (Drôme) ;

Christophe DALL'OSTO, D.D.A.F. de la Savoie ;

Dominique ETIENNE, STCPMVN Service Technique des Ports Maritimes et des Voies Navigables ;

Jean-Pierre FEUVRIER, CEMAGREF de Grenoble ;

Yves MAJCHRZAK, D.D.E. de l'Ain ;

Laurence MARIDET, CEMAGREF de Lyon ;

Christine PAGES, D.D.A.F. de la Loire ;

Jean-François PERRIN, DIREN Rhône-Alpes ;

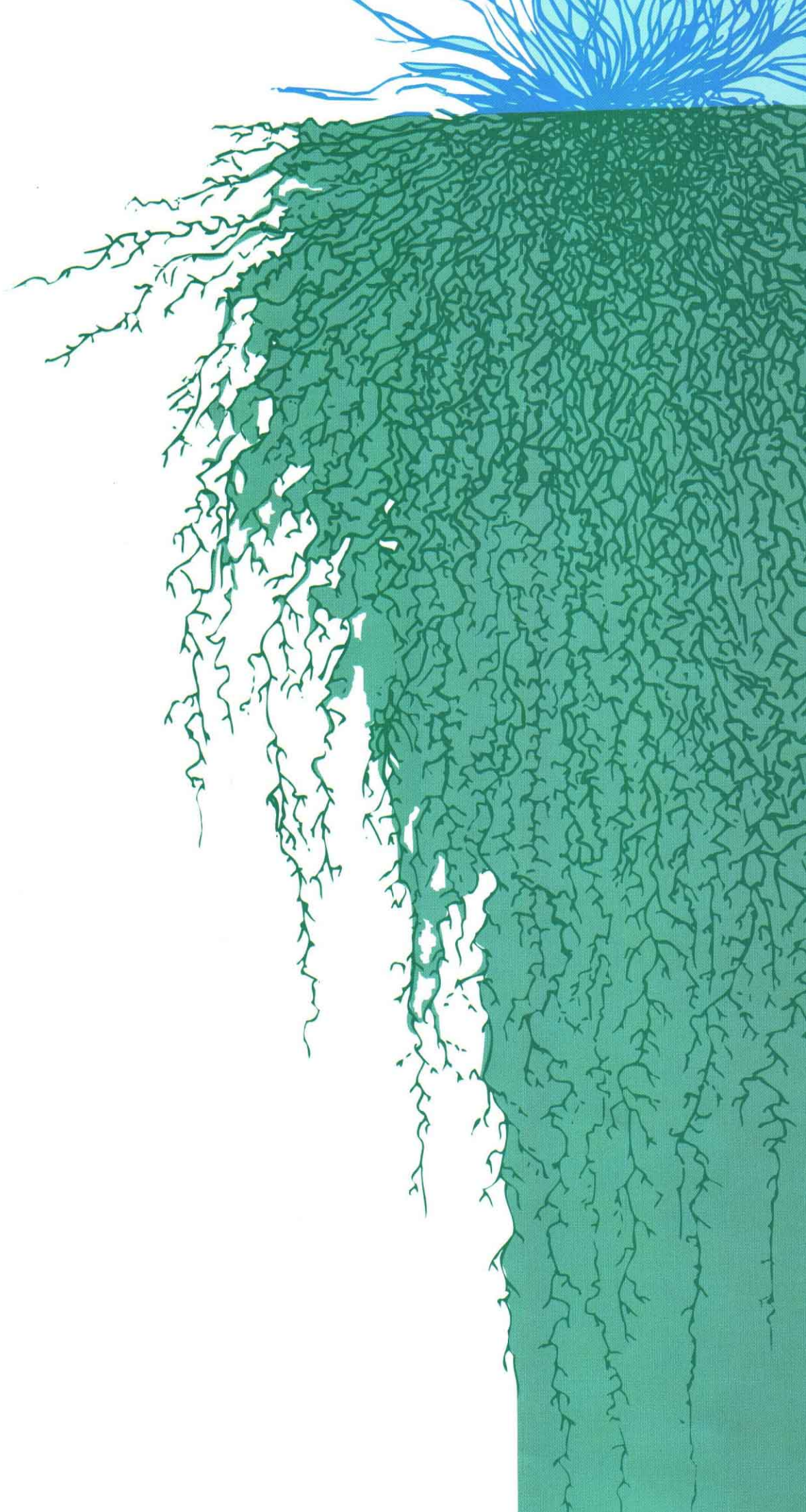
Catherine PETIT, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse.

Finalement, il serait impardonnable d'oublier dans nos remerciements les personnes en bout de chaîne qui encaissent généralement les humeurs changeantes et les modifications constantes des rédacteurs ; que les secrétaires et dactylos (puisque'il s'agit d'elles), Danielle LACHAT et Angela CATENA, trouvent ici l'expression de toute notre gratitude.

Bourgoin-Jallieu et Vicques, le 5 janvier 1994

Bernard Lachat
biologiste-ingénieur
Silène - Biotec







Ce document constitue un support technique pratique pour les concepteurs-projeteurs, les Maîtres d'œuvre, les techniciens et les Maîtres d'ouvrage afin d'optimiser leurs interventions en matière de protection de berge à l'aide des techniques végétales. Il ne prétend pas, malgré un certain nombre d'exemples, répondre à toutes les situations. Les techniques décrites ci-après sont la base du génie biologique et, régulièrement, celles-ci sont combinées entre elles ou adaptées de manière à répondre précisément à chaque particularité et spécificité d'un tronçon de cours d'eau considéré. Pour de plus amples détails ainsi que pour une approche plus théorique, le lecteur se reportera aux publications mentionnées dans la bibliographie.

Le guide n'est surtout pas un livre de recettes où l'on pourrait y puiser une solution au hasard. La conception d'un ouvrage de stabilisation à l'aide des techniques végétales nécessite des compétences multiples aussi bien en botanique, en *écologie qu'en *pédologie et surtout en hydraulique où une connaissance complémentaire des processus érosifs et *morphodynamiques est indispensable à la réussite des ouvrages.

Il est également nécessaire de préciser que toute zone de berge érodée ne doit pas forcément être corrigée et stabilisée. Les phénomènes érosifs sont des phénomènes fréquents et normaux qui participent à l'"équilibre"

*morphodynamique du cours d'eau. Une étude réalisée par des personnes compétentes doit, d'une part cerner les causes de l'instabilité ou de l'érosion et, d'autre part, évaluer les risques d'un éventuel maintien en l'état. Au même titre que les paramètres physiques, les composantes écologiques du milieu doivent être prises en compte dès le début des études et déboucher sur une synthèse d'ordre hydroécologique devant régir et guider les interventions éventuelles. Ce n'est que dans un deuxième temps que des solutions de stabilisation seront appliquées si nécessaire. On peut très bien imaginer des mesures de protection "passives", c'est-à-dire, par exemple, délimiter les zones de danger, y interdire les constructions, y interdire les cultures sensibles aux phénomènes hydrauliques, etc. Dans la mesure du possible, un minimum d'interventions doit être proposé, afin de ne pas détruire des équilibres écologiques et afin de laisser une marge de manoeuvre à la dynamique naturelle du cours d'eau. Une solution alternative à la correction des berges de cours d'eau est de ne procéder à aucun aménagement et d'acquiescer les terrains riverains concernés en bordure du cours d'eau.

Ce guide vise à familiariser avec le *génie végétal tous les corps de métier touchant à l'eau courante dans la nature.



sommaire



Préface

Avant-propos

Généralités

Historique succinct

12

Principes, définitions et buts

16

Le cours d'eau, un système dynamique
et biologique unique

16

Végétation rivulaire : stable ou fragile ?

18

Le rôle de la végétation dans la
stabilisation naturelle des berges

19

Actions physiques
positives de la végétation

20

Actions physiques
"négatives" de la
végétation ligneuse

21

Comment définir le génie végétal ?

22

Un principe fondamental du génie végétal :
l'entretien

23

Un outil précieux : la carte de synthèse
hydroécologique

24

Quels sont les buts du génie végétal ?

26

Quels sont les avantages du génie végétal ?

26

Quelles sont les limites du génie végétal ?

27

Le génie végétal n'est pas de la décoration !

28

Les végétaux "indésirables"

29

Méthodes de calculs pour le dimensionnement des ouvrages végétaux

30

Détermination des paramètres
hydrauliques courants

32

Rappel de la formule générale
de Manning-Strickler

32

Calcul de la hauteur d'eau pour
un débit de référence

33

Calcul de la force tractrice	34
Formule générale	34
Force tractrice critique (formule générale)	34
Force tractrice critique sur les berges	35
Force tractrice en fonction de la vitesse de l'eau	35
Conclusion sur les méthodes de calculs pour le dimensionnement des ouvrages végétaux	36

Conditions de réussite des techniques végétales 38

Facteurs stationnels	40
Facteurs botaniques	41
Les causes d'échec liées à la mise en oeuvre	43
Qualité générale de mise en oeuvre	44
Facteurs humains	46

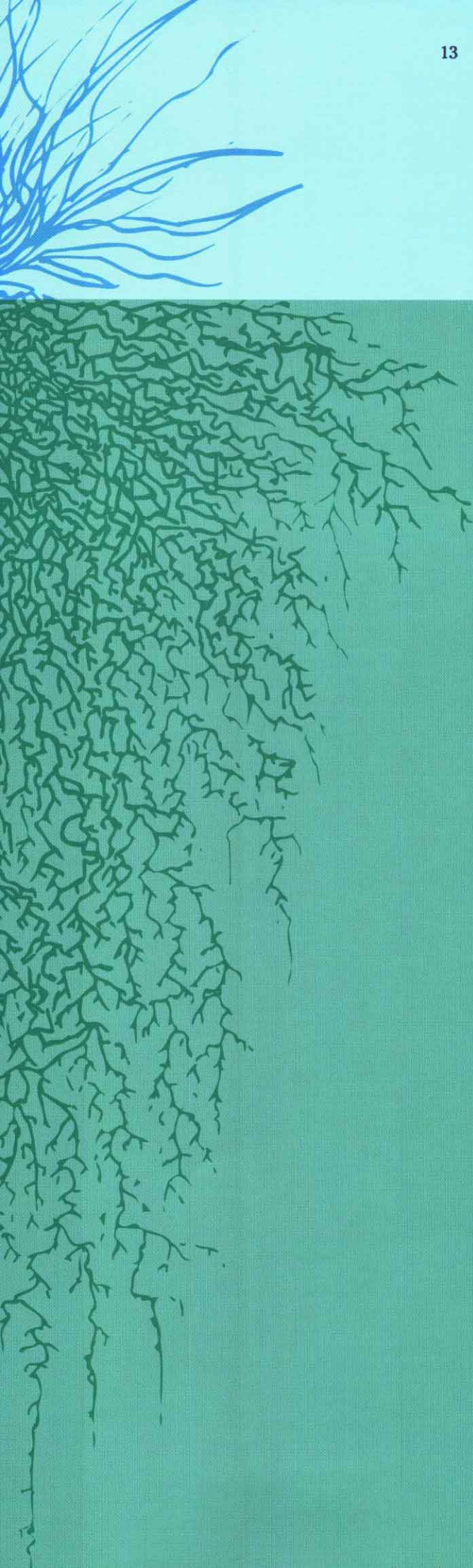
Les techniques 48

Généralités	50
Calendrier	52
Description des techniques	53
Boutures	53
Lit de plans et plançons (= boutures)	55
Tressage	56
Fascine	59
Couche de branches	62
Peigne	64
Plantation	66
Ensemencement	67
Caisson végétalisé à double paroi (description, champs d'application, avantages, désavantages, préparation du terrain, mise en oeuvre et *phasage, coûts)	70
Amélioration de l'efficacité par l'apport d'autres matériaux	72
Géotextiles	72
Bois	75
Les rondins	75
Les pieux	75

Entretien des aménagements	76
Végétation herbacée	78
Végétation buissonnante et arbustive	79
Végétation arborescente	80
Examen de quelques réalisations	82
La Sorne (Jura Suisse)	84
Le problème de base	84
Solutions proposées	84
Appréciation	86
L'Ognon (Département de Haute Saône)	89
Le problème de base	89
La solution proposée	89
Appréciation	91
Le Rhône (à Lyon)	93
Le problème de base	93
La solution proposée	93
La Birse (Jura Suisse)	98
Le problème de base	98
La solution proposée	99
Appréciation	101
Autres exemples illustrés	104
Conclusion	108
Lexique	110
Bibliographie	116
Annexes	120
A1. Domaine d'application des protections végétales sur les berges	122
A2. Description et connaissance des espèces non indigènes indésirables sur les cours d'eau	124
A3. Détermination des coefficients de rugosité "n" et "Ks" et force tractrice	128
A4. Valeurs du coefficient de rugosité en cours d'eau naturels	132
A5. Détermination de l'angle interne de frottement de divers matériaux non cohérents	134
A6. Clés de détermination simplifiées pour les saules basées sur différents critères morphologiques	135



généralités



Si le concept d'utilisation des végétaux en protection et stabilisation des sols, appelé *génie végétal, est contemporain à cette seconde moitié du 20ème siècle, il n'en demeure pas moins qu'il puise sa source dans des techniques et observations ancestrales. Quelques reliques de savoir conservées dans la mémoire collective et dans d'anciennes publications auxquelles se sont ajoutés les connaissances scientifiques modernes et les moyens mécaniques actuels, ont pu engendrer cette renaissance. Une constante demeure cependant. Car, si l'application de certaines techniques a été, à l'origine, l'oeuvre de pionniers qui, par leur travail, vivaient en contact permanent avec la nature et savaient l'observer, cette observation du végétal et de son comportement est aujourd'hui toujours nécessaire à celui qui veut appréhender un problème et le résoudre à l'aide des techniques végétales.

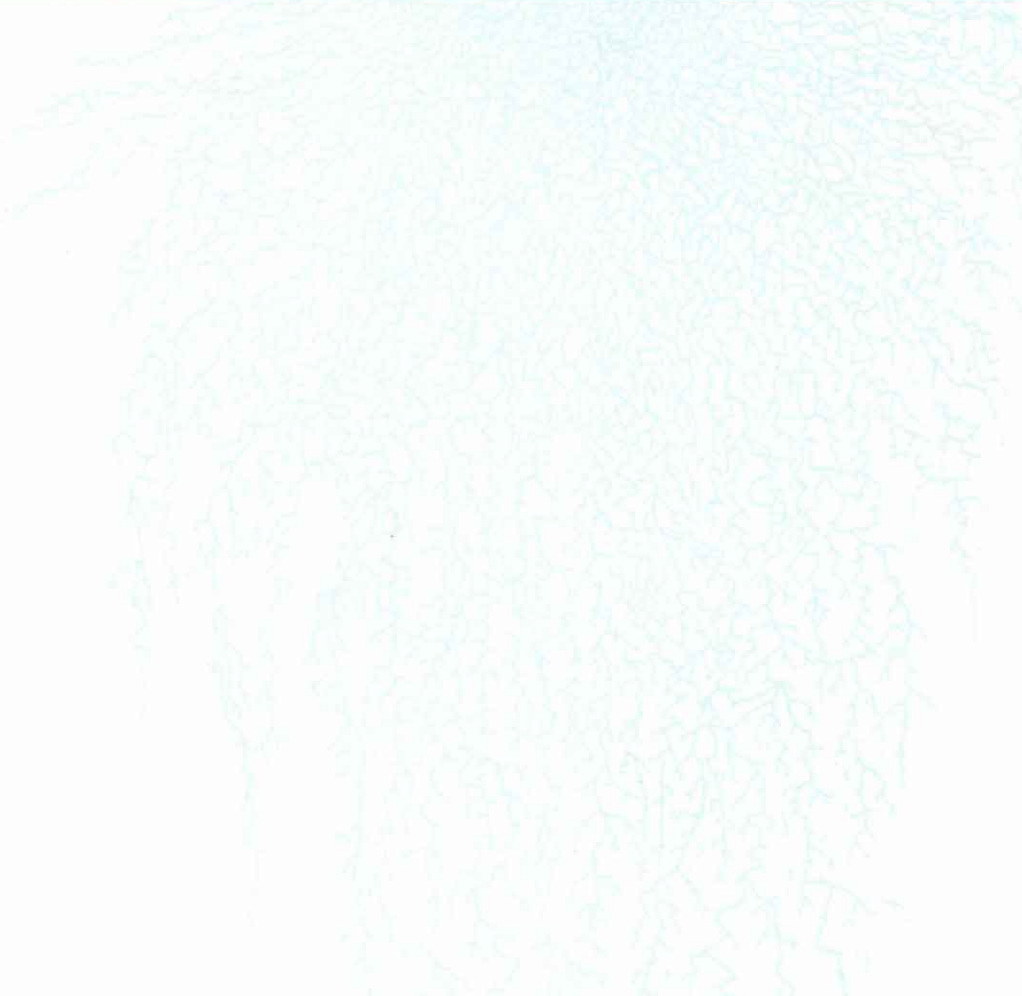
Aux impacts sur le paysage laissés par les grands travaux ferroviaires et routiers du 19ème et du 20ème siècle, est apparu l'aménagement végétal des talus, pour lesquels on s'est souvent contenté de gazons et de plantations d'acacias. Les protections contre les glissements de terrain et les chutes de pierres ont été réalisées avec des constructions coûteuses. Il en va de même des constructions paravalanches ou d'endiguement des torrents de montagne. Cette lutte contre les éléments, propre aux régions de montagne, associée aux conditions extrêmes du relief et du climat, ont fortement influencé la renaissance des techniques végétales. En effet, la répétition régulière de la démolition des ouvrages à cause d'incidents météorologiques, rendait leur

efficacité très partielle et insatisfaisante, le coût de leur remplacement exorbitant. C'est alors que l'idée d'une protection à l'aide d'une couverture végétale est intervenue.

A l'orée des années 50, un nom a été associé au renouveau des techniques végétales, en raison des nombreuses publications qui portent son nom. Il s'agit de Dr. Hugo Meinhard Schiechl, qui a été amené à développer des solutions économiques et surtout efficaces, avec des plantes vivantes, pour résoudre des problèmes de glissements de terrain notamment dans les Alpes autrichiennes. Pour ce faire, il pouvait s'appuyer sur un nombre de pionniers, surtout allemands, dont nous nous abstenons d'en dresser une liste exhaustive. Le but de ses travaux était de développer des méthodes de construction, en exploitant les capacités naturelles de la flore indigène.

Aux préoccupations économiques des ouvrages de protection qui ont fait resurgir les techniques végétales, sont venus s'agglomérer les problèmes environnementaux, et du même coup une certaine conscience à l'égard de la protection de l'environnement qui a également renforcé la crédibilité du *génie végétal.

En France, un phénomène curieux est à relever à propos de la conservation d'un certain savoir dans l'application des techniques. En effet, la renaissance de leur utilisation s'est appuyée sur des exemples émanant d'Allemagne, de Suisse ou d'Autriche. Pourtant, à la fin du siècle dernier, P. Demontzey, conservateur des forêts, publiait des études très détaillées traitant du reboisement en montagne [1], de même que des



aménagements liés aux torrents [2]. De nombreuses techniques y sont décrites jusqu'au coût de chaque phase de réalisation. Il est notamment question de fascinage et clayonnage, et de l'utilité de diverses essences. De nombreuses réalisations sont citées, principalement dans les Alpes. Heureusement, les écrits restent pour témoigner de l'importance que l'on vouait déjà à des techniques parfois proches de celles décrites dans le présent guide, plutôt inspirées du génie forestier cependant et adaptées aux conditions climatiques et topographiques de la montagne. Il est surprenant de constater qu'à peine plus d'un siècle plus

tard, l'application de tout un savoir soit tombé dans l'oubli et qu'un Autrichien, en l'occurrence Schiechtl, cite Demontzey, ignoré de beaucoup de Français. Au niveau des Travaux publics, des textes anciens existent aussi à propos de l'utilisation des végétaux en construction [3].

Bien sûr, les techniques ont bien évolué depuis le siècle dernier, notamment grâce à un engouement certain et à de nombreuses expérimentations, en conditions limites, faites depuis une vingtaine d'années essentiellement en Suisse, en Autriche, en Allemagne et en Italie du Nord.

LE COURS D'EAU, UN SYSTEME DYNAMIQUE ET BIOLOGIQUE UNIQUE

Un cours d'eau n'est pas uniquement une masse d'eau en mouvement, résultant du drainage de toutes les eaux de surface ou d'infiltration dans un *bassin versant. C'est un *écosystème complexe composé d'un *biotope (regroupant toutes les composantes non vivantes et spatiales correspondant à l'environnement physique d'un cours d'eau) et d'une *biocénose (englobant l'ensemble des *communautés d'êtres vivants, qu'elles soient végétales ou animales). Une modeste synthèse des rôles et des fonctions que peut jouer le cours d'eau est illustrée par la figure 1, selon [4], modifiée et complétée.

Dans l'environnement physique (ou *biotope) agissent des facteurs que l'on qualifie d'*abiotiques. Ceux-ci, regroupant l'ensemble des *facteurs physico-chimiques, peuvent être :

- de nature climatique (température, lumière, hygrométrie, pluviométrie, etc.),
- de nature hydrologique et hydro-géomorphologique (vitesse, courant, capacité de transport, érosion, pH, teneur en oxygène, en substances dissoutes, etc.),
- de nature édaphique, relatifs aux sols (texture, structure, matière minérale, etc.),
- de nature topographique, liés au relief (pente, sinuosité, etc.).

Tous ces facteurs régissent la qualité et la quantité des eaux dans le cours d'eau.

A grande échelle, la topographie de la région traversée, le type de sous-sol, l'utilisation des terrains riverains et l'efficacité de leur drainage (naturel ou artificiel), auront une influence prépondérante sur la *morphodynamique.

La *biocénose quant à elle est composée de *producteurs (végétaux aquatiques et semi-aquatiques, végétation des berges), de *consommateurs (invertébrés, poissons, amphibiens) de même que de

toute la faune terrestre inféodée aux cours d'eau comme les mammifères, oiseaux, reptiles, invertébrés, et de *décomposeurs (bactéries, champignons). Toutes les *interactions de ces êtres vivants sur le milieu et sur eux-mêmes sont qualifiées de *biotiques.

"L'*écosystème rivière" s'est formé au cours d'une longue évolution et son état d'"équilibre" est la conséquence de longs processus d'adaptation. Ses deux composantes que sont le *biotope et la *biocénose évoluent ensemble.

Le *biotope remplira d'autant plus de fonctions (alimentation, abri, etc.) et sera d'autant plus attrayant pour un grand nombre d'êtres vivants, qu'il présentera des faciès différents. Ainsi, des alternances de rapides (zones lotiques) et de calmes (zones lentiques) auxquels correspondent des profondeurs, des températures, une granulométrie, un taux d'oxygène et des substrats différents, apporteront la diversité nécessaire à la vie. La diversité sera également liée aux zones d'ombres et de lumière, ainsi qu'aux débris végétaux provenant des boisements riverains.

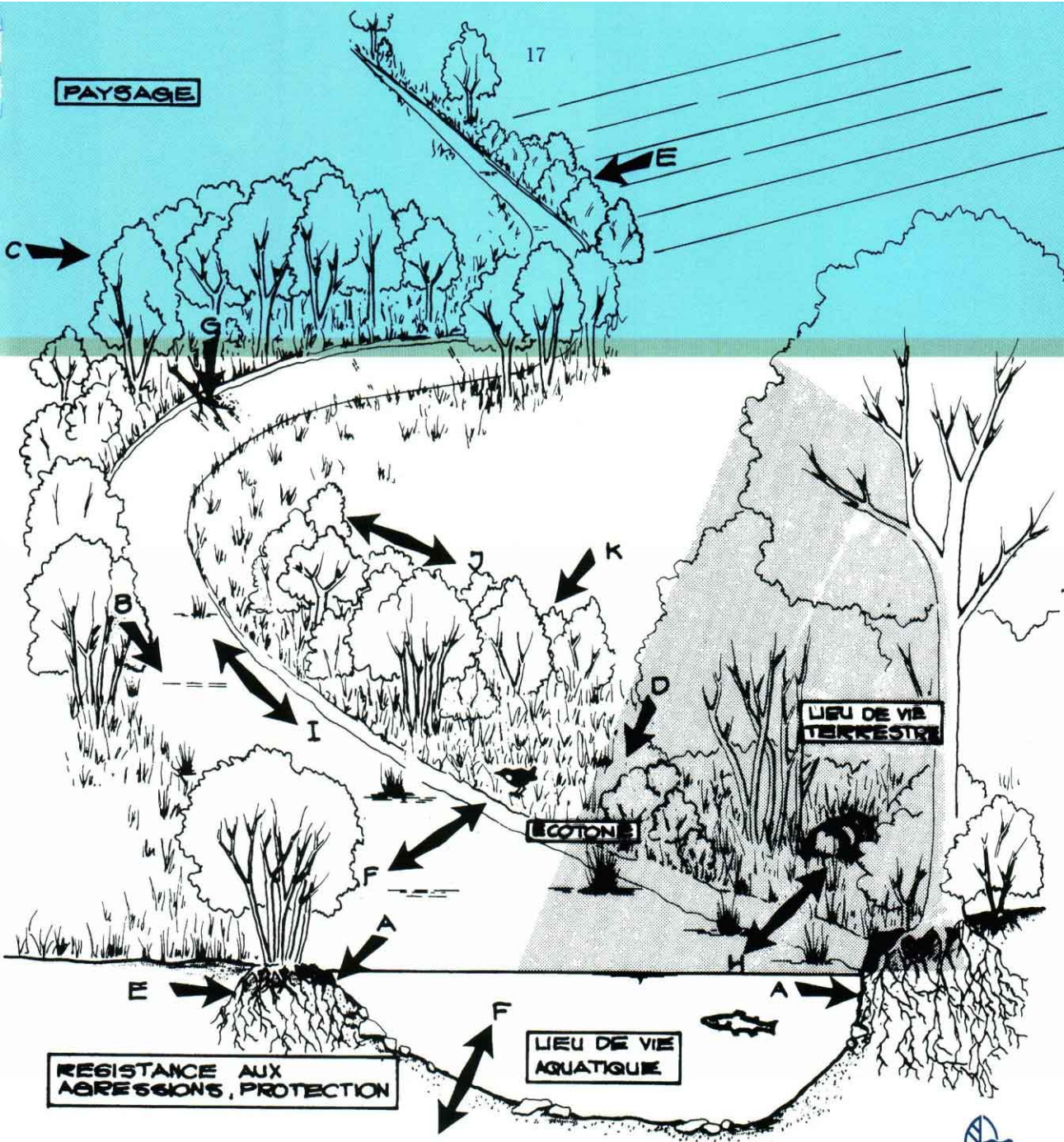
Les *communautés d'êtres vivants présentes constituent un descripteur de la qualité du *biotope et des *biocénoses. Les êtres vivants réagissent directement aussi bien à des modifications des ressources trophiques, de leur composition intrinsèque, de la qualité de l'eau qu'à des phénomènes hydrologiques et morphologiques. Toute intervention conduisant à des pollutions chimiques, physiques ou *microbiologiques, à la destruction des structures morphologiques et à la modification artificielle trop forte des débits provoque des impacts négatifs immédiats.

Il faut bien noter que les conditions de vie, l'*écosystème et tous les

Figure 1.
Fonctions
et actions
de la *ripisylve
et de l'eau
sur une rivière.

- A** Protection physique de la berge, abris, caches.
- B** Régulation des crues par dissipation de l'énergie du courant.
- C** Effet brise-vent.
- D** Ombrage des eaux.
- E** Barrage à l'érosion agricole, élimination des nitrates, fixation des phosphates.
- F** Echange avec les aquifères.
- G** Production de matière organique.
- H** Echanges entre écosystèmes terrestre et aquatique.
- I** Effet corridor.
- J** Structure - guide pour la faune terrestre et ailée.
- K** Effet refuge.

PAYSAGE



processus écologiques changent de façon continue en eau courante, à mesure que l'on se déplace, des sources à l'embouchure. Les composants de la *biocénose seront différents en fonction de la variabilité du milieu le long du continuum fluvial. La rivière est un milieu vivant fonctionnel dont la richesse des *interactions entre tous les éléments constitutifs évolue avec le temps. Les nombreuses interrelations et la dépendance de "l'*écosystème rivière" d'avec les *écosystèmes terrestres qui le bordent ne permettent pas, en aménagement, de considérer un cours d'eau en se limitant à son *lit mineur, car cet *écosystème est bel et bien formé de rives, de berges

et du cours d'eau lui-même. La gestion de la rivière ne passe pas uniquement par l'eau mais aussi par la gestion des sols. Ces deux éléments sont inséparables.

L'aménagement des cours d'eau ne peut donc se faire qu'à un niveau global, même si la maîtrise des *bassins versants dans leur intégralité n'est pas encore réalité. C'est le but à atteindre. Mais la prise en compte des zones alluviales constituent déjà un point de départ important pour une gestion intégrée des cours d'eau, dans la mesure où elles dirigent les *interactions entre les milieux aquatiques et leur environnement terrestre.

VEGETATION RIVULAIRE : STABLE OU FRAGILE ?

Caractérisée à la fois par une fragilité apparente et une remarquable stabilité en terme de constance, la végétation *rivulaire étonne également par sa diversité. Mais cette diversité n'est pas un appareil cosmétique gratuit ; elle est au contraire très fonctionnelle, puisqu'il s'agit là d'un reflet de l'exceptionnel pouvoir d'adaptation de ce type de végétation à des conditions de vie pouvant brusquement changer. La végétation *rivulaire est composée de diverses formations et de très nombreuses *associations végétales disposées en mosaïque sérielle, allant des groupements de plantes aquatiques et semi-aquatiques, jusqu'à ceux des arbres de haut port. Toutes ces associations ont une fonction et une place bien précise sur le profil transversal d'un cours d'eau (fig. 2).

Ainsi, bras morts, vasières, *atterrissements récents, gravières, berges de *lit mineur ou terrasses de *lit majeur, sont autant de milieux qui abritent une végétation différente qui leur est propre. Au gré des crues qui érodent, détruisent ou au contraire déposent du matériel, des lambeaux de certaines formations disparaîtront (d'où la fragilité apparente) alors que d'autres, composées de plantes *pionnières, s'installeront sur les nouveaux *atterrissements, et amorceront le mécanisme des successions végétales. Celles-ci, en fonction de leur position sur le terrain et de la fréquence de crues, seront plus ou moins rapidement

interrompues. Le perpétuel renouvellement, ajouté à la vigueur exceptionnelle de certaines plantes, et particulièrement des ligneux de la zone à bois tendre, confère au cours d'eau une grande constance, de même qu'un certain "équilibre" dans la répartition et l'importance des différentes *associations végétales. Ainsi les crues régissent la zonation de la végétation, notamment par les facteurs suivants :

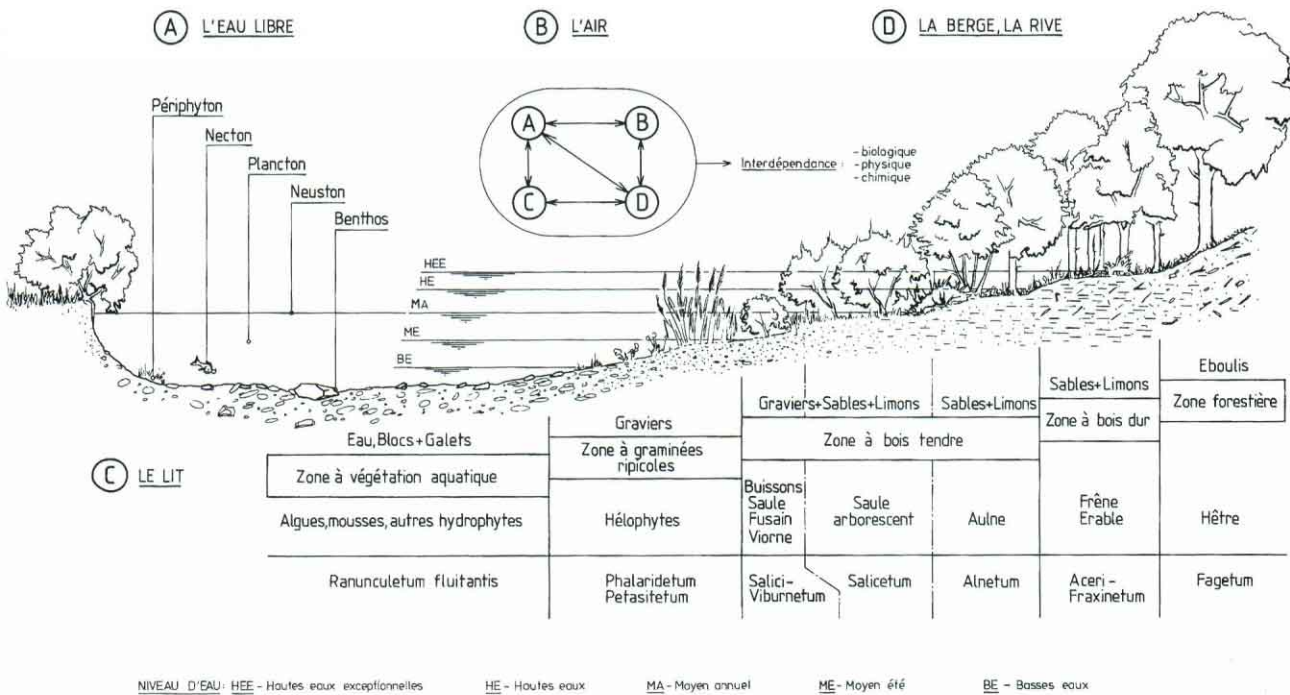
- pouvoir érosif,
- pouvoir sédimentaire,
- fréquence, apparition saisonnière, périodicité,
- durée,
- violence (puissance),
- quantité d'eau (débit),
- turbulence de l'écoulement.

A ces facteurs s'ajoutent également toutes les conditions de croissance propres à la végétation, à savoir :

- le climat,
- l'ensoleillement,
- le contact avec des eaux capillaires,
- la granulométrie du substrat,
- la richesse du sol en éléments nutritifs,
- les interventions *anthropiques.

Les limites de cette zonation ne sont pas tirées au cordeau et les paliers sont souvent le lieu d'imbrication de plusieurs associations. Mais sur les rives encore naturelles, là où le cours d'eau possède de la place et où les interventions humaines sont limitées, cet étagement de la végétation est très distinct.

*Figure 2.
Zonation
typique
des séries végétales
sur un
cours d'eau
et interrelations des
éléments
constitutifs.
D'après [5]*



NIVEAU D'EAU : HEE - Hautes eaux exceptionnelles

HE - Hautes eaux

MA - Moyen annuel

ME - Moyen été

BE - Basses eaux



LE RÔLE DE LA VÉGÉTATION DANS LA STABILISATION NATURELLE DES BERGES

Par la structure même de leurs parties aériennes et souterraines, de même que par leur emplacement sur le profil transversal d'un cours d'eau, les végétaux fournissent des actions différentes, protectrices ou néfastes, selon les espèces. Une protection naturelle est d'autant plus efficace que les groupements *rivulaires composant la couverture végétale sont adaptés à l'effet complexe de l'ensemble des *facteurs écologiques. Pour pouvoir

résister aux crues, les espèces les plus touchées par ce phénomène doivent développer des systèmes de racines très performants pour leur ancrage. Ainsi, des plantes herbacées *rivulaires peuvent avoir des racines qui s'installent jusqu'à 2,50 m (fig. 3).

D'une manière générale on peut énumérer comme suit, de façon non exhaustive, les actions physiques de la végétation ainsi que les modes possibles d'implantation :

ACTIONS PHYSIQUES POSITIVES DE LA VEGETATION

PLANTES AQUATIQUES OU *HYDROPHYTES

Effets protecteurs :

- réduction de la vitesse du courant et, de ce fait, de sa puissance d'érosion ;
- protection du lit contre l'érosion lors des crues, par plaquage des plantes au sol.

Mode d'implantation :

- peu d'expériences entreprises à ce jour en cours d'eau.

PLANTES SEMI-AQUATIQUES OU *HÉLOPHYTES

Effets protecteurs :

- fixation du sol sous l'eau avec leurs racines et *rhizomes ;
- obstacle perméable formé par leurs organes aériens immergés, diminuant par frottement (frein) l'énergie du courant ou les ondes liées aux vagues ;
- capacité de se plier sous l'effet de la crue et de se trouver ainsi plaquées au sol pour offrir une protection sous forme de tapis.

Mode d'implantation :

- plantation de mottes découpées, après fauchage ou non des organes aériens ;

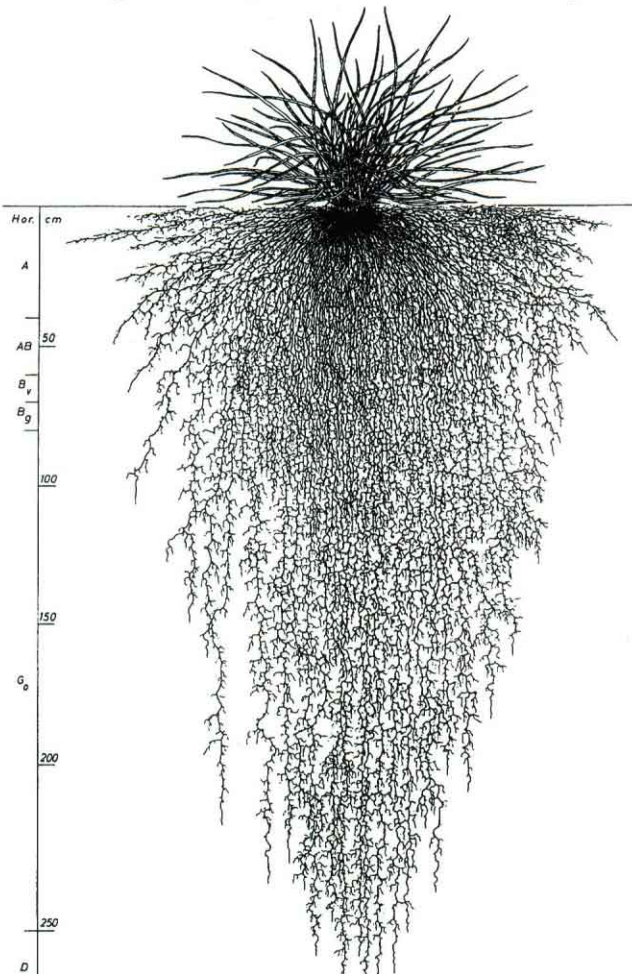
- plantation de *rhizomes ;
- plantation de boutures (p. ex. le roseau *Phragmites australis*) ;
- ensemencement pour certaines espèces (p. ex. la Baldingère *Phalaris arundinacea* ou la Glycérie *Glyceria maxima*) ;
- fascines confectionnées à l'aide de mottes.

GROUPEMENTS D'ARBUSTES ET BUISSONS (ZONE À BOIS BLANCS)

Effets protecteurs :

- fixation du sol par les racines empêchant celui-ci d'être emporté au-dessus et au-dessous du niveau de l'eau ;
- résistance élastique par les parties aériennes des végétaux buissonnants et arbustifs, souples et denses, divisant le courant, réduisant sa vitesse par frottement et de ce fait sa puissance d'érosion ;
- action identique en temps de crue, où les arbustes les plus reculés reprennent le même rôle ;
- haut pouvoir de régénération des espèces composant la zone à bois blancs leur permettant, lors de dégâts infligés par les crues, de former des rejets

Figure 3.
Système *racinaire
de la *graminée
Fétuque Faux
Roseau
(*Festuca*
arundinacea).
D'après [6]



neufs rapidement. Ce même pouvoir permet de développer, avec les saules, des méthodes de construction fondées sur des structures vivantes.

Mode d'implantation :

- plantation (toutes les essences) ;
- boutures (saules) ;
- fascines (saules) ;
- tressage (saules) ;
- couche de branches à rejets (saules) ;
- lit de plants et *plançons (branches de saule + plants à racines nues d'autres essences) ;
- caisson en rondins, *végétalisé (branches de saule + plants à racines nues d'autres essences).

GROUPEMENTS D'ARBRES (ZONE À BOIS DURS)

Effets protecteurs :

- stabilisation du sommet de berge par le système *racinaire ;
- capacité de remplir partiellement les rôles des arbustes et buissons lors de grandes crues ;
- rôle de filtre, par accumulation de matériel, des arbres tombés naturellement (p. ex. par la foudre) et restés sur place dans l'eau, et frein au courant.

Mode d'implantation :

- plantation uniquement (procédés techniques

rarement nécessaires car les zones concernées sont moins exposées à l'érosion).

GROUPEMENTS DE HAUTES HERBES OU *MÉGAPHORBIAIES

Effets protecteurs :

- protection de la couche superficielle de terre contre le ruissellement ;
- consolidation de la rive par *stolons ou systèmes *racinaires, là où les boisements ne sont pas souhaitables ;
- aucun soin exigé, contrairement aux prairies.

Mode d'implantation :

- plantation de mottes ;
- repiquage de *stolons et *rhizomes ;
- ensemencement.

PELOUSES ET PRAIRIES

Effets protecteurs :

- action réservée pour la partie supérieure des (berges) rives ;
- formation d'un tapis protecteur par l'enchevêtrement des racines et des *stolons ;
- protection active car les *graminées se couchent sans offrir d'emprise à l'eau.

Mode d'implantation :

- ensemencement à sec ;
- ensemencement hydraulique.

ACTIONS PHYSIQUES "NÉGATIVES" DE LA VÉGÉTATION LIGNEUSE

Il ne s'agit ici que des actions "négatives" d'un point de vue physique sur la berge. En contrepartie, les avantages biologiques (et parfois même physiques) que procurent les situations décrites sont très importants, parfois indispensables, au bon fonctionnement hydroécologique. D'une manière générale, les impératifs d'écoulement des crues doivent tenir compte du rôle joué par la végétation ligneuse.

- Dans le *lit mineur, il peut y avoir des gros troncs sans végétation périphérique buissonnante, créant des turbulences très actives au pouvoir érosif dévastateur.

- Une position malencontreuse d'un arbre ou d'un groupe d'arbres sur le tracé, peut provoquer également des turbulences.
- Les arbres penchés et les souches trop avancées dans la section du cours d'eau peuvent provoquer turbulences et *affouillements.
- Les arbres très hauts et très proches du lit possédant un enracinement superficiel peuvent, lors de grands vents, provoquer un effet de bras de levier sur la berge conduisant au déchaussement de la souche et à l'arrachement de la berge.

COMMENT DEFINIR LE GENIE VEGETAL ?

Le *génie végétal est une science hybride dans la mesure où il fait appel à des connaissances issues d'horizons divers. Disons que ses fondements puisent dans la connaissance de la physiologie végétale et, plus particulièrement, dans le mode de croissance et de développement de certaines espèces végétales. Ainsi, sur des modèles naturels de mécanismes de croissance, connus et observés, il développe des procédés qui permettent, parfois à grande échelle, de résoudre des problèmes de protection des sols contre l'érosion. Et 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.

Le *génie végétal aide l'écologue et l'ingénieur à résoudre des problèmes techniques d'érosion de sols grâce à l'utilisation des végétaux. De par les exigences écologiques des végétaux, les domaines d'activités possibles sont les talus (chemin, route, voie ferrée, ravin, versant, etc.), les berges (cours d'eau, étang, lac, etc.) et les zones diverses à réaménager naturellement.

GENIE VEGETAL

Techniques applicables
aux pentes et talus

Techniques applicables
aux berges de cours d'eau,
d'étang et lac

Techniques applicables au
réaménagement de sites et
au paysage

La réussite de son entreprise nécessite encore la maîtrise d'un large éventail de connaissances, aussi multiples que variées. Botanique, géobotanique, *phytosociologie et *écologie végétale en sont les principales pour ce qui est de la maîtrise de la composante vivante. Mais physique,

mécanique et dynamique des sols, connaissance des matériaux auxiliaires, géologie, *pédologie et surtout hydraulique dès que l'on touche aux cours d'eau, sont autant d'outils indispensables à la réussite de l'application des techniques développées.

UN PRINCIPE FONDAMENTAL DU GENIE VEGETAL : L'ENTRETIEN

Si tant est qu'il faille intervenir sur le cours d'eau, l'entretien réfléchi et pondéré avec le respect du cours d'eau et de ses caractéristiques morphologiques et écologiques propres doit être prôné avant toute chose.

Dans le même ordre d'idée, le *génie végétal exclut de ses principes l'intervention à tout prix. Par exemple, une niche d'érosion présentant une falaise ne nécessite pas forcément une intervention, si aucun enjeu ne semble être menacé dans l'environnement proche du *lit majeur. Les berges garderont ainsi une morphologie plus variée qui augmentera leur capacité d'accueil pour la faune. Et chaque fois que la possibilité est offerte, il faut saisir l'opportunité de laisser suffisamment de place au cours d'eau, afin que, régi par la périodicité des crues, il puisse exprimer toute son originalité. En laissant libre cours à sa dynamique si intéressante, modelée par les crues, les érosions et les sédimentations, on conserve le caractère propre au cours d'eau, composé de l'alternance des rapides et des calmes, des variations de granulométrie et de profondeur, de l'éphémère apparition d'associations *pionnières ou encore de la zonation typique de la végétation.

Les zones alluviales sont sans aucun doute parmi les plus agressées. De plus en plus d'atteintes qualitatives sont portées non seulement à la qualité de l'eau, mais également aux structures et à la *morphodynamique des cours d'eau. Les surfaces agricoles, industrielles, urbaines ou de loisirs se rapprochent sans cesse des cours d'eau. Les rectifications

et protections rapprochées par digues réduisent ainsi les zones alluviales qui voient du même coup leur pouvoir de régulation de crue disparaître, ce qui accroît considérablement les dangers des inondations. Dans les *bassins versants, l'assèchement et l'assainissement de grandes surfaces réduisent le pouvoir tampon de ces dernières et augmentent également le danger des crues.

L'apparente sûreté des endiguements fait oublier les fonctions primordiales des zones alluviales et négliger du même coup leur entretien. C'est alors que la végétation, malgré ses facultés naturelles à protéger les berges, peut poser de nombreux problèmes. En effet, des arbres penchés ou déracinés, des troncs mal placés et non entourés de buissons, une végétation lacunaire dans un méandre ou trop luxuriante à d'autres endroits peuvent être à l'origine de turbulences violentes, d'*affouillement, de réduction de gabarit, d'embâcles, et provoquer de ce fait une dégradation importante de l'état des berges et une tendance plus prononcée aux crues. C'est alors la végétation qui est en cause, mais la raison véritable de cette situation dégradée est en fait l'état défectueux des boisements, lié à un manque d'entretien.

Convaincu de l'efficacité de la stabilisation engendrée par les végétaux adaptés à leur milieu, le *génie végétal a pour principe de base de favoriser une protection naturelle des berges, en conservant la végétation existante. Cependant, un mauvais état sanitaire des boisements *rivulaires, des espèces mal adaptées à leur

situation sur la section du cours d'eau, d'autres non indigènes et envahissantes, peuvent engendrer des mesures d'assainissement, traduites par l'élimination sélective d'une partie de la végétation. Et c'est dans cet

entretien que réside la première démarche du *génie végétal. Les techniques à proprement parler n'intervenant que dans le cas de dégradations constatées des berges.

UN OUTIL PRECIEUX : LA CARTE DE SYNTHESE HYDROECOLOGIQUE

Lorsqu'un projet (entretien et/ou aménagement) porte non pas sur un petit secteur de rivière, mais sur un tronçon de plusieurs kilomètres ou un cours d'eau entier, il est utile d'avoir une représentation synthétique de cet objet, afin de pouvoir définir clairement, quels types d'interventions sont nécessaires. Un diagnostic général est alors dressé, par l'intermédiaire d'investigations de terrains en relevant précisément sur un fond de carte toutes les informations utiles, et en mettant en évidence les potentialités, les atouts et les problèmes. Ce premier travail fera ensuite l'objet d'une cartographie, où seront symbolisés tous les éléments dignes d'intérêt. Y figureront notamment les renseignements suivants :

1. Morphologie du lit :

seuil naturel ; *pool ; banc de galets ; banc de sable ; affleurement rocheux ; île ; *atterrissement ; vasière ; bras mort ; gravière ; etc.

2. Végétation riveraine :

la localisation des différentes formations végétales, avec indications des espèces ligneuses et, éventuellement, les espèces dominantes pour les formations herbacées, de même que les espèces végétales envahissantes, indésirables et exotiques. Il est également possible de citer l'*association végétale, lorsqu'elle est typique.

3. Ouvrages hydrauliques et arrivées d'eau :

barrage ; seuil artificiel ; écluse ; rejet d'eaux usées ; embouchure de drainage ; prise d'eau ; pont ; passerelle ; passage à gué ; etc.

4. Ouvrages de stabilisation existants :

*gabion ; enrochement ; technique végétale ; etc.

5. Etat sanitaire des berges :

niche d'érosion ; affaissement de berge ; embâcle ; tronc abattu ; arbre penché ; souche ; trous de *rat musqué et de *ragondin ; etc.

6. Surfaces riveraines, d'influence *anthropique :

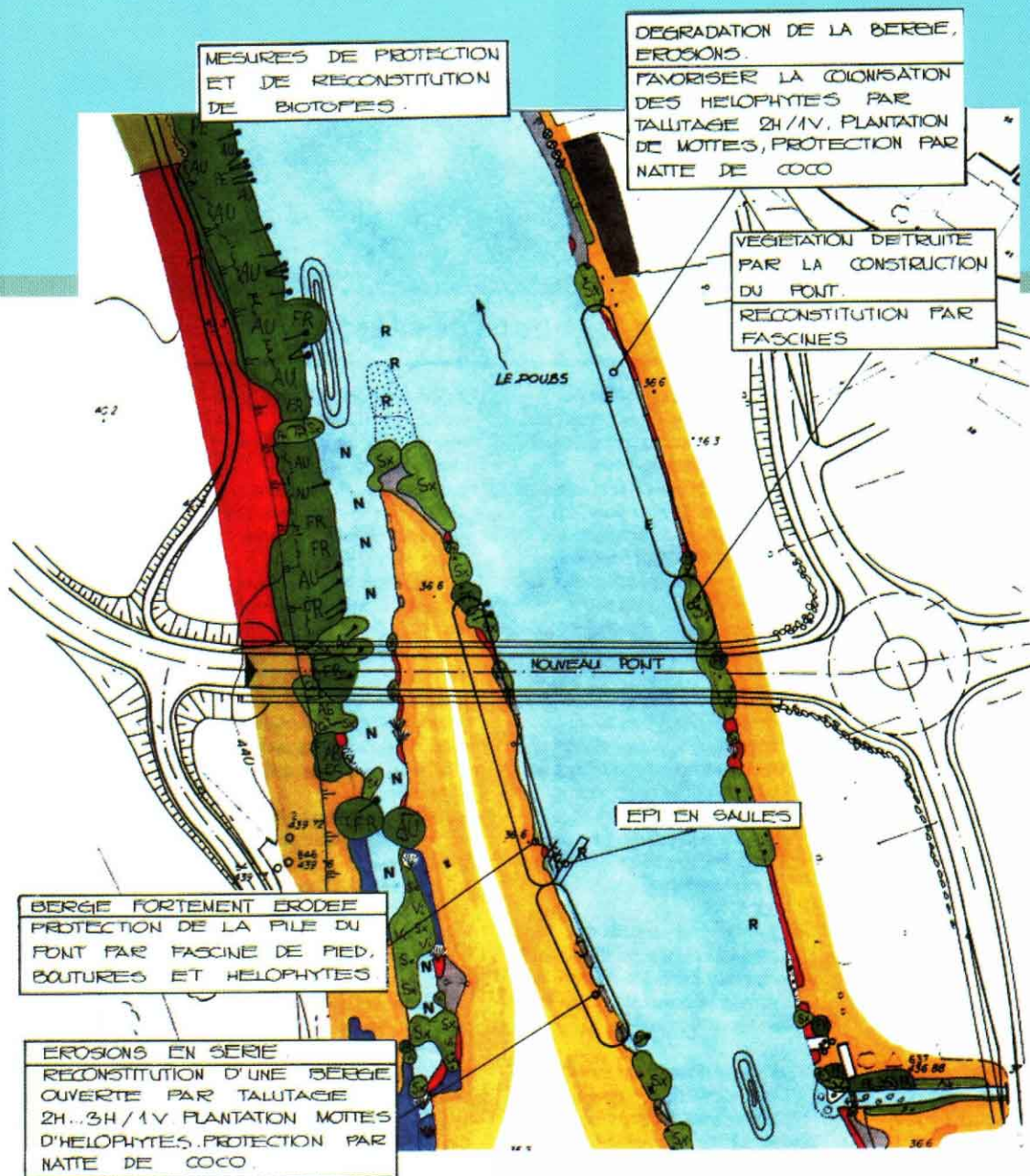
surface agricole ; milieu urbain ; parc ; zone industrielle ; etc.

On choisira parmi les symboles utilisés, les plus parlants, aussi bien du point de vue de la couleur que du graphisme afin qu'à la lecture de la carte, les caractéristiques et la personnalité du cours d'eau soient immédiatement comprises.

Par la suite, après maturation du projet, on peut y greffer les interventions d'entretien et les ouvrages à réaliser, également en les symbolisant. Il est généralement préférable, pour faciliter la lecture et aérer le graphisme, de choisir pour cette dernière opération, un fond de carte différent.



Figure 4.
Exemple de carte synthétique avec légende orientée sur les structures végétales et plan d'intervention sommaire.



Végétation arborescente

AB Aubépine
AU Aune
CHE Chêne
EC Erable champêtre
EPI Epicea
ES Erable sycomore
FR Frêne
NO Noyer
NY Noyer
PE Peuplier
PO Pommier
POI Poirier
SX Saule
TI Tilleul

Végétation herbacée

Prairie
 Mégaphorbiaie
 Culture
 Rudérale
 Hélophytes
- Petasites
- Phalaris
- Festuca
- Sparganium
- Prairie humide à Scirpus
- Iris
Hydrophytes
- Nuphar
- Ranunculus fluitans
- Elodea

Végétation arbustive

Ab Aubépine
Cha Charme
Co Cornouiller
Ec Erable champêtre
Eg Eglantier
Epi Epicea
Es Erable sycomore
Ex Exotiques
Fr Frêne
Fu Fusain
Li Lilas
Me Merisier
Ne Nerprun
No Noysetier
Pr Prunellier
Su Sureau
SX Saule
Tr Troène
Vi Viorne

Seuil

Banc de galets
 Banc de graviers, sable, vase
 Banc de galets immergé
 Banc de sable immergé
 Banc de marne

Pool
 Direction principale du courant
 Bloc, enrochement visible
 Arbre, arbuste penché
 Vieille souche
 Déchets végétaux
 Remblais pierreux + déchets
 Ecoulement latéral
 Berge érodée

Gabions
 Mur droit maçonné
 Mur penché maçonné
 Talus, digue

Escalier, échelle
 Plongeur

QUELS SONT LES BUTS DU GENIE VEGETAL ?

Lorsqu'il est question de *génie végétal, les premiers objectifs mis en exergue font allusion au caractère particulièrement respectueux de ses méthodes pour l'environnement. Tendance tout à fait compréhensible puisque c'est précisément cet aspect qui lui vaut tout l'engouement exprimé en sa faveur.

Cependant, il s'agit de ne pas perdre de vue que toute technique végétale n'a aucune raison d'être si elle ne remplit pas les buts principaux attendus, à savoir :

- offrir une solution efficace à un problème de protection des sols (érosion, glissement, etc.) ;
- engendrer un coût de réalisation raisonnable, dont le montant reste à la mesure du problème constaté et des avantages procurés.

Partant de là, il est alors intéressant de constater que les techniques proposées par le *génie végétal visent à poursuivre une quantité d'objectifs que l'on peut

qualifier de secondaires, mais qui en fait constituent l'essentiel de leur intérêt comparativement aux procédés habituellement utilisés par le génie civil. On peut les énumérer comme suit :

- considérer le cours d'eau comme un complexe formé d'un lit, de berges et de rives, le tout étroitement en relation avec le *bassin versant et les nappes phréatiques ;
- maintenir une diversité maximale d'habitats aussi bien au niveau du lit que des berges et des rives ;
- garder une morphologie correcte et typique au cours d'eau ;
- éviter une structure rocheuse des berges en des lieux où elle n'existe pas naturellement ;
- respecter une distribution étagée de la végétation, du pied au sommet de berge, régie par les conditions hydriques et hydrauliques ;
- intégrer l'ouvrage dans son site ;
- minimiser l'impact occasionné par l'implantation d'un ouvrage de stabilisation.

QUELS SONT LES AVANTAGES DU GENIE VEGETAL ?

L'utilisation de plantes vivantes à la place de matériaux de construction inertes, comme des enrochements, apporte une série d'avantages dont voici les principaux :

- les techniques végétales acquièrent une efficacité de stabilisation croissante, au fur et à mesure du développement des plantes car elles sont vivantes. Leur résistance aux forces d'arrachement est comparable, voire supérieure après quelques années, aux techniques minérales habituelles (voir tableaux 1 et 2) ;

- elles opposent une résistance souple aux forces du courant, permettant de mieux dissiper l'énergie ;
- elles sont également souples dans leur application, car leur grande diversité, les possibilités de les combiner ou de les joindre à des matériaux auxiliaires (bois, *géotextile, etc.) leur confèrent une grande capacité d'adaptation, répondant aux besoins de chaque cas particuliers ;
- elles favorisent l'autoépuration du cours d'eau au niveau des racines ;
- elles ne perturbent pas les relations entre le cours d'eau et les nappes phréatiques ;

Tableau 1.
Valeurs de
résistance à la
force
d'arrachement
de quelques
matériaux et
techniques en
cours d'eau

Matériaux et techniques

τ (N/m²)

Sable fin ($\leq 0,2$ mm)	2
Petit gravier (< 2 cm)	12
Gazon quelconque, longtemps immergé	15-18
Gazon préfabriqué	25-30
Gazon quelconque, peu immergé	25-50
Petits galets	40-60
Fascine de roseaux	50
Saules, 1-2 ans	50-70
Gazon jeune, bonne qualité	60-80
Saules, > 2 ans	100-140
Herbacées sur *géotextile tissé	120
Pavé-gazon	160
Tressage de saule, pieux battus	180
Enrochement	200
Pieux dans enrochement en vrac	250
Fascine de saule (pieux battus)	250
Couche de branches à rejet	300
Boutures interstitielles	350
Saules, 20 ans	800

- elles contribuent à maintenir ou à restaurer une grande diversité botanique et faunistique par la variété de supports et d'habitats qu'elles offrent du lit jusqu'aux rives ;
- elles fournissent l'ombre nécessaire à maintenir la fraîcheur de l'eau et à limiter la croissance de plantes aquatiques envahissantes telles que les algues filamenteuses ;
- elles contribuent à conserver ou à restaurer le

- patrimoine paysager et génétique d'une région ;
- elles sont peu coûteuses en fourniture, car les matériaux de base peuvent souvent être prélevés sur place ;
- les ouvrages eux-mêmes sont susceptibles de fournir le matériel végétal (branches, baguettes, pieux, boutures) pour d'autres ouvrages après quelques années de croissance.

QUELLES SONT LES LIMITES DU GENIE VEGETAL ?

Malgré les nombreux avantages que procurent les techniques végétales, il existe des facteurs limitants, directement liés aux conditions de croissance des végétaux : altitude, lumière, type de substrat, régime des eaux, etc.

Les torrents de montagne regroupent typiquement plusieurs facteurs limitants qui rendent parfois l'application des techniques végétales très problématique : substrat rocheux, limite altitudinale de la végétation, régime torrentiel, pente du cours d'eau et énergie élevées.

D'une manière générale et après avoir analysé le comportement d'ouvrages lors d'événements exceptionnels

(tableau 1 et [7, 8]), on admet une limite d'utilisation des techniques végétales, au sens strict, à partir d'une pente de cours d'eau de 3 % sous 1 m de hauteur d'eau (cf. calcul de la force tractrice p. 34 et annexe A1).

De plus, on distingue encore les points suivants :

- l'efficacité de la stabilisation n'est pas maximale dès la finition de l'ouvrage (voir tableau 2). Cependant, les limites inférieures peuvent être augmentées par l'utilisation judicieuse de géotextiles et par une mise en oeuvre plus conséquente des moyens de fixation ;
- certains types de réalisation sont exigeants en main-d'oeuvre.

Tableau 2.
Valeurs de
résistance à la
force
d'arrachement
en fonction de la
croissance des
végétaux
(en N/m²).
(D'après [9])

Plantation	A la finition	1ère période de végétation	2ème période de végétation	3ème période de végétation
Plantation	0	10	30	>30
Engazonnement	10	30	30	30
Couches de branches à rejet	50	150	300	>300
Tapis de buissons	32	40	100	300
Plantations consolidées	15	—	75	120
Pieux dans enrochement en vrac	50	—	100	250
Matelas de fascines vivantes	100	200	—	>300
Boutures interstitielles	75	100	300	>350

■ les entreprises spécialisées et la main-d'oeuvre qualifiée sont encore peu nombreuses à ce jour ;

■ les ouvrages peuvent nécessiter un entretien après plusieurs années de végétation, afin de limiter l'encombrement de gabarit du cours d'eau et de maintenir un état buissonnant de la

végétation en certains points de la section du cours d'eau. Cette dernière remarque mérite d'être pondérée car le prélèvement de matériel végétal peut être l'occasion d'une taille d'un ouvrage de *génie végétal ancien. D'autre part, il faut tenir compte de la grandeur et de la capacité du cours d'eau.

LE GENIE VEGETAL N'EST PAS DE LA DECORATION !

Si la capacité d'intégration d'un ouvrage dans le paysage est un des nombreux atouts qu'offre le *génie végétal, il ne faut pas voir dans l'utilisation de matériel vivant la seule volonté de produire un effet cosmétique. Les végétaux sont avant tout utilisés pour leurs fonctions biotechniques, à savoir :

- absorption des contraintes mécaniques ;
- stabilisation du sol au moyen des racines ;
- drainage du sol par *évapotranspiration et formation de cavités ;
- protection contre les contraintes météorologiques (vents violents, ensoleillement excessif, glissement de neige, etc.) ;
- amélioration du sol en substances humiques.

Ainsi, il ne faudrait pas voir dans l'habillage de *gabions

ou d'enrochements avec de grosses boutures de saule l'application d'une technique végétale digne de ce nom. Par contre, on peut considérer que l'effet d'esthétique et d'intégration d'un aménagement est en fait le résultat d'un équilibre naturel, retrouvé au fil des années. Et il est possible d'influencer positivement ce mécanisme de réhabilitation par un choix approprié des végétaux, leur disposition judicieuse sur la section du cours d'eau, dictée par la fonction qu'ils sont appelés à remplir. Les structures végétales, composantes importantes du paysage, ont une histoire, empreinte ou non d'une influence *anthropique. Leur situation n'est jamais le fruit du hasard et encore moins celui d'une volonté quelconque de créer un beau paysage.

Regroupées en *associations végétales composées d'essences parfaitement adaptées au milieu, elles ont trouvé un état d'équilibre régi par le phénomène de la concurrence intraspécifique, qui traduit justement les conditions environnementales locales. Qu'elles soient encore dans une phase évolutive ou au contraire qu'elles aient atteint une composition stable, les formations

végétales remplissent toutes des fonctions bien déterminées, pourvues ou non d'intérêt direct pour les activités humaines. C'est de cet équilibre qu'est composé le paysage végétal et c'est ce qui crée l'impression d'esthétique. Toute tentative de recréer un paysage dans le seul but de produire un effet cosmétique paraît hasardeuse et compromise.

LES VEGETAUX "INDESIRABLES"

Il existe dans toute l'Europe des essences végétales originaires d'autres continents, introduites volontairement par l'homme à des fins ornementales, ou accidentellement. Certaines de ces essences ont la fâcheuse tendance à se propager spontanément dans la nature, et à s'y développer. Généralement, elles présentent un comportement très agressif et un développement exubérant. Elles forment avec le temps des massifs purs, desquels est exclue progressivement la flore indigène. Bon nombre de cours d'eau en sont infestés. Sur la base d'observations régulières, on peut dire intuitivement que le phénomène se caractérise par une évolution exponentielle marquée, du moins pour certaines espèces. Cette propagation est inquiétante à plus d'un titre :

- étant donné leur fort pouvoir colonisateur et leur comportement agressif, ces végétaux excluent la flore indigène et banalisent la diversité botanique de la *phytocénose *rivulaire ;
- les espèces de la faune spécifiquement tributaires de la flore indigène disparaissent aussi ;
- de par la structure de leurs organes aériens et souterrains, leur pouvoir stabilisateur est généralement mauvais ;
- ils peuvent compromettre des projets de revégétalisation des berges avec des espèces autochtones.

Les espèces indésirables les plus fréquentes sont décrites en annexe A2. Des renseignements précieux sur ces plantes ont été collectés dans [10, 11].