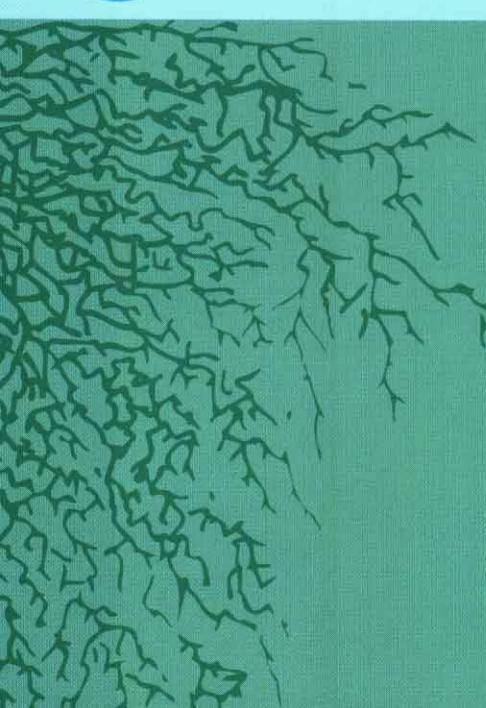


entretien des aménagements

Comme pour les ouvrages du génie civil et selon les cours d'eau, les ouvrages réalisés en techniques végétales nécessitent un entretien plus ou moins régulier. La fréquence des interventions dépend surtout de la position de l'ouvrage dans le profil transversal du cours d'eau et de sa relation avec le gabarit de ce dernier. Mais elle dépend également de la situation de l'ouvrage dans son contexte environnemental.

- Les raisons les plus fréquentes qui motivent un entretien d'ouvrage, sont les suivantes :
- le gabarit du cours d'eau est trop encombré par une végétation devenue exubérante et l'écoulement est fortement ralenti, provoquant une montée des eaux ;
 - la volonté de maintenir une formation végétale à un certain stade (herbacé ou buissonnant), plus

efficace selon les buts fixés ou facilitant l'accès à l'eau ;

- l'approvisionnement en matériaux, destinés à d'autres réalisations en techniques végétales ;
- permettre la croissance de certaines espèces par coupe sélective d'autres.

D'une manière générale, un entretien d'ouvrage (tous les 5 à 10 ans) est extrêmement bénéfique aux plantes, s'il est fait entre septembre et mars. En effet, cette opération stimule la croissance, renforce les souches et les racines, rajeunit l'ouvrage qui trouve une nouvelle vitalité. Seul l'entretien mécanique par la fauche et la taille sélective peuvent correspondre à des actions respectueuses du cours d'eau pour autant qu'elles soient pratiquées correctement. C'est pourquoi il n'est pas envisagé ici l'utilisation d'autres procédés.

VEGETATION HERBACEE

Une fois un ensemencement réalisé, la fréquence de son entretien dépendra avant tout des deux critères suivants :

- l'évolution souhaitée de la surface ensemencée ;
- la composition botanique du mélange utilisé (bien que celle-ci devrait déjà être établie en fonction du premier critère).

Si on désire garder ouverte et dépourvue de ligneux une certaine surface de rive, une fauche annuelle voire tous les deux ans est un degré d'intervention minimum pour lutter contre l'embroussaillement spontané.

Pour satisfaire à une certaine notion d'esthétisme, notamment en milieu urbain, des rives pourront être fauchées jusqu'à six reprises durant une période de végétation. Conscient de cette situation, on aura pris soin de choisir un mélange à dominance de ray-grass anglais (*Lolium perenne*), fétuque et pâturin des prés (*Festuca pratensis*, *Poa pratensis*), de même que trèfle blanc (*Trifolium repens*), toutes des espèces supportant un rythme de coupe élevé.

Généralement, on profite d'apporter une diversité biologique supplémentaire avec l'ensemencement, et on choisira des mélanges riches en espèces, tout en favorisant celles qui sont les plus efficaces dans la stabilisation. Les mélanges s'inspirent alors des associations *rivulaires locales, existantes sur les berges naturelles. Une à deux fauches annuelles seront alors suffisantes, suivant l'association, si l'on désire maintenir la diversité botanique. Toute intervention supplémentaire provoquera à relativement court terme, une banalisation de la flore.

Il arrive fréquemment qu'un ensemencement se réalise au dessus d'un ouvrage plus conséquent (fascine, tressage, etc.) Il s'agira alors de veiller à ce que les déchets de fauche ne soient pas déversés sur la végétation buissonnante naissante de l'ouvrage. Les déchets en décomposition sur un tressage par exemple, n'ont pas l'effet fertilisant qu'on pourrait attendre. Au contraire, cela étouffe et fait périr la végétation en place, ce qui remet directement en question la stabilité de la berge. D'une manière générale, cette mauvaise habitude de stocker des déchets végétaux sur des berges est à proscrire, même sur des berges non aménagées, car cela constitue souvent l'origine de gros problèmes :

- la végétation en place pérît étouffée et la protection de surface de la berge n'est plus assurée ;
- les matériaux s'accumulent en pied de berge et devient le courant qui va entamer la berge opposée ;
- les déchets sont emportés par les crues et forment des embâcles en aval ;
- les jus de fermentation sont toxiques pour la faune aquatique.

Dans des plantations denses, l'herbe est éventuellement fauchée une à deux fois la première année, pour assurer la reprise des jeunes plants qui, dans certains cas, peuvent être trop fortement concurrencés. La nécessité de cette intervention dépend de la hauteur des plants utilisés lors de la plantation. Par la suite, on abandonne la végétation aux libres mécanismes de la concurrence *interspécifique et des modifications de composition, du moins en milieu naturel.

VEGETATION BUISSONNANTE ET ARBUSTIVE

Généralement, c'est dans la berge que réside souvent l'essentiel des travaux d'entretien. En effet, pour les ouvrages situés en pied (tressage ou fascine), un développement trop exubérant n'est pas toujours souhaité, du moins dans de petits cours d'eau qui pourraient présenter des risques d'obstruction du gabarit.

Les espèces de saule à développement arborescent (*Salix alba* et *Salix fragilis*) sont à éviter dans des ouvrages de pied de berge. Pour des raisons de disponibilité des fournitures ou de confusion lors des prélèvements (qui se font en hiver !), il est parfois difficile de les éviter. Des sujets qui présenteraient donc un tel port sont indésirables, à cause des grosses turbulences que provoquent les troncs, ainsi que le risque de déchaussement plus élevé et toutes les conséquences qui s'ensuivent (instabilité de la berge, déviation du courant, érosion accrue, embâcles, etc.).

La taille des saules de pied de berge a également pour but de faire gagner les aménagements en efficacité. En effet, des peignes denses de branches souples sont préférables à de gros troncs espacés.

La taille ne doit pas se faire à hauteur d'homme en réduisant la couronne des arbustes, mais il s'agit de procéder à un recépage (coupe à 5 ou 10 cm du sol) sélectif des plus grosses tiges, ou de celles qui pourraient entraver l'écoulement du cours d'eau, et favoriser l'accumulation des embâcles. Avec les branches les plus souples, il est également possible de

procéder au *marcottage. Les tiges aériennes, après flexion, plaqueage au sol et recouvrement de terre sur la berge, sont fixées avec des agrafes ou des boutures entrecroisées. Elles forment ainsi des rejets, plus haut dans la berge et fixent le sol avec de nouvelles racines.

Sur les positions plus retirées de la berge, les travaux d'entretien doivent dépendre du développement souhaité de la végétation mise en place, et plus particulièrement des saules, qui proviendront généralement de boutures ou lits de *plançons :

- veut-on garder artificiellement une végétation *pionnière à long terme ?
- veut-on voir succéder naturellement aux saules d'autres essences *rivulaires ?

L'entretien sera dirigé de manière différente, dans l'une ou l'autre option. Dans le premier cas on procédera à un recépage. Pratiquement, il s'agit, par une section propre et légèrement inclinée afin de diminuer les risques de pourriture, de sectionner les tiges à ras de terre ou à 10 ou 15 cm au-dessus du sol si la strate herbacée peut concurrencer en lumière le ligneux. L'intervention doit se répéter dans un intervalle de 3 à 10 ans. Dans le second cas, l'entretien se basera sur des principes empruntés à la sylviculture et plus précisément au concept de la forêt jardinée, à la différence près que le but ici n'est pas de produire du bois. On effectuera donc des coupes sélectives, dans l'idée que les saules devront progressivement être remplacés par d'autres essences (aulne, frêne, érable, etc.).

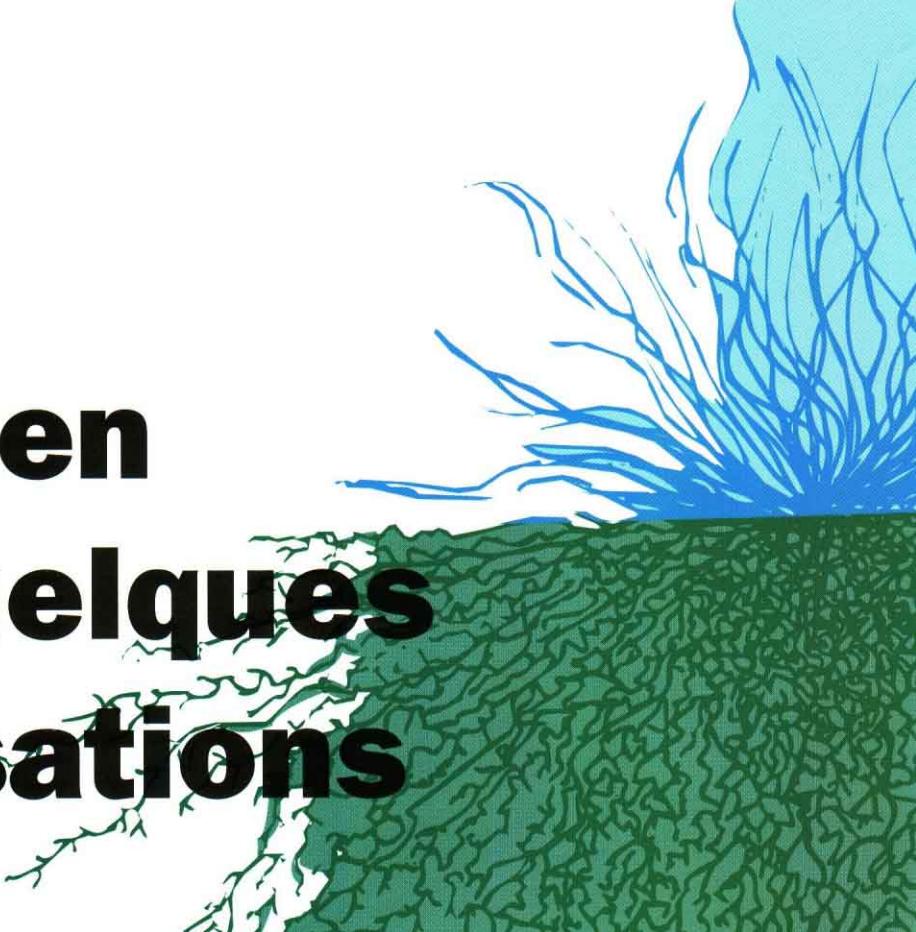
VEGETATION ARBORESCENTE

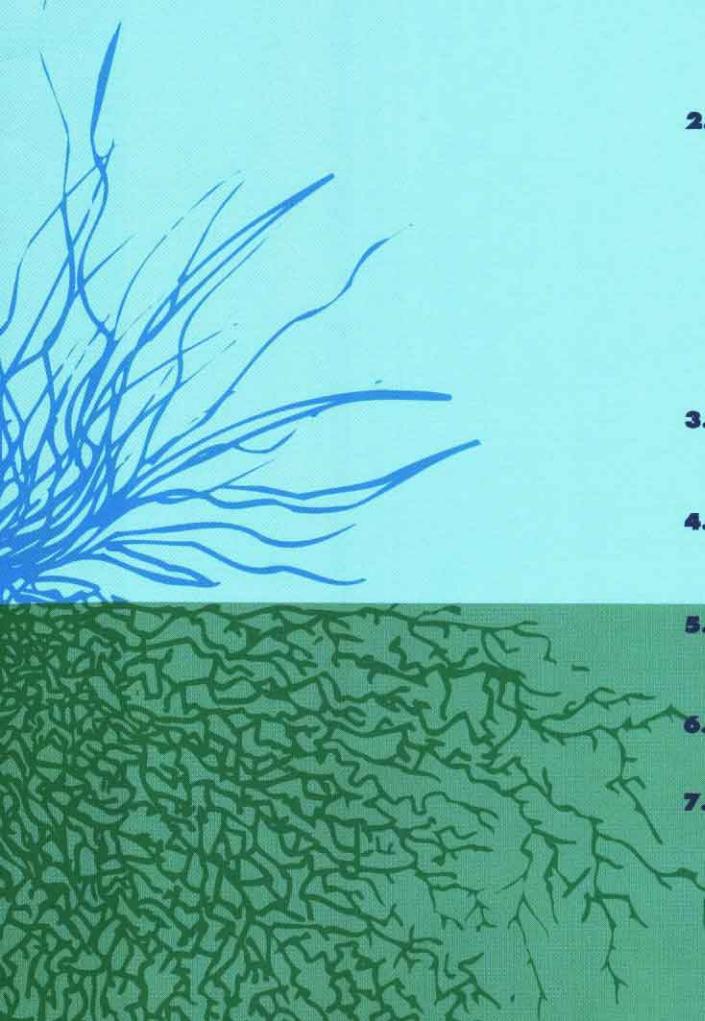
Dans les aménagements, la végétation arborescente est généralement destinée à être plantée en sommet de berge ou au-dessus du niveau de crue de plein bord. Il peut s'agir de boutures de saule d'espèces arborescentes ou de plantation d'autres essences. Dans des conditions où les riverains ne désirent pas jouir du bois et afin de favoriser la faune *rivulaire, plutôt que de brûler ou d'évacuer les déchets de coupe, un dépôt du bois hors niveau de crue *cinquantennale fournit nourriture, caches, abris et

diversification du milieu. Si le développement de la végétation et sa disposition sur la berge ont bien été appréhendés lors de la réalisation du projet, l'entretien de la végétation arborescente devrait se limiter à des travaux mineurs :

- éliminer un arbre penché ou déchaussé ;
- éliminer un arbre placé trop bas sur la berge ;
- redonner plus de lumière à un cours d'eau très fermé.

examen de quelques réalisations





Les exemples ci-après ont été sélectionnés pour les raisons suivantes :

- 1.** Chacun a été motivé par une problématique de base différente (érosion, glissement de terrain, création d'un boulevard, déplacement du cours d'eau, etc.).
- 2.** Chacun a été approché et analysé différemment, car les données scientifiques (hydraulique, sol, faune, flore, etc.) étaient soit inexistantes, soit existaient partiellement ou totalement.
La méthodologie a donc été adaptée à la disponibilité de certaines données.
- 3.** Chacun a bénéficié de techniques végétales différentes.
- 4.** Chacun correspond à des types de rivières complètement différents.
- 5.** Chacun se situe dans des régions suisses et françaises différentes.
- 6.** La plupart ont des âges différents.
- 7.** Chacun renseigne différemment sur la réussite ou les problèmes constatés.

LE PROBLEME DE BASE

La rivière Sorne est un cours d'eau du canton du Jura dans le nord-ouest de la Suisse. Affluent de la Birse, elle parcourt une longueur totale de 29,6 km avec une superficie totale de *bassin versant égale à 208,5 km².

Le tronçon étudié se situe sur la commune de Courfaivre où le *bassin versant compte environ 156 km² soit les 3/4 de la surface totale. Il a une longueur égale à 35 m, se situe sur la berge gauche de la rivière et est caractérisé par une zone d'érosion marquée d'environ 25 m et d'une zone de glissement (éboulement d'une dizaine de mètres de longueur et environ 3 mètres de hauteur). La pente générale du cours d'eau est de 17,4 % alors qu'elle est de 5 % sur le tronçon étudié.

Le cours supérieur de la Sorne est très "sauvage" et coule à travers de nombreuses formations rocheuses (gorges, cluses). Le tronçon concerné est plus en aval, en plaine, et se situe juste après un pont qui crée une contraction et un seuil qui accélère l'écoulement.

La pluviométrie est environ égale à 1.400 mm/an aux abords de la source (950 m d'altitude), alors qu'elle est d'environ 1.000 mm/an dans la région du tronçon étudié (450 m d'altitude).

De manière générale, les débits de la Sorne sont faibles, étant considérablement influencés par les phénomènes *karstiques. Toutefois, lors de la crue exceptionnelle du 23 juin 1973, le débit de la Sorne a été mesuré à 100 m³/s à Delémont (confluence avec la Birse) ; un calcul de proportion rapporté à la surface du *bassin versant a permis d'évaluer le débit de projet égal à 75 m³/s à l'endroit étudié.

La Sorne a été fortement corrigée en amont de Courfaivre. L'accélération des courants a provoqué une érosion accrue des berges et du lit. Des enrochements se trouvent "pendus" à plus d'un mètre au-dessus du fond du lit. L'agriculture étant assez intensive, celle-ci laboure jusqu'au sommet de berge, contribuant à détruire la *ripisylve protectrice.

Le manque d'entretien du *lit mineur et les coupes systématiques en sommet de berges ont favorisé aussi la dégradation des zones encore naturelles. Toute la plaine est considérée comme zone inondable car les phénomènes de remontées de nappes souterraines et des engorgements superficiels sont souvent plus fréquents que les débordements du cours d'eau.

SOLUTIONS PROPOSEES

Les aménagements en techniques végétales proposés ont été de deux natures différentes, en fonction de la nature des sols, des contraintes hydrauliques et des paramètres physiques (érosion et glissement).

L'ensemble des travaux a été réalisé en avril 1993 :

ZONE ERODÉE (figure 17)

- travaux forestiers et de nettoyage (défrichement de buissons, abattage de 2 arbres

- et dessouchage, évacuation des matériaux et déchets) ;
- réglage de la pente de la berge ;
- battage mécanique des pieux de saule (longueur 150 cm, espacés de 60-100 cm) ;
- mise en place d'un tressage en pied de berge, hauteur ~ 30 cm (branches de saule capables de rejeter), fixation aux pieux ;
- remblai de terre végétale derrière le tressage et réglage (apport extérieur) ;

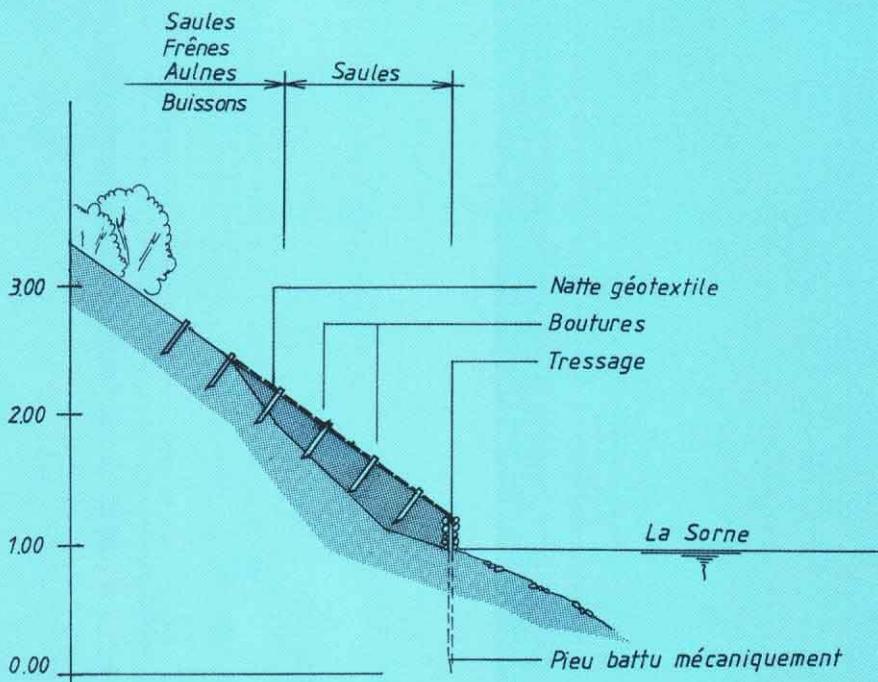


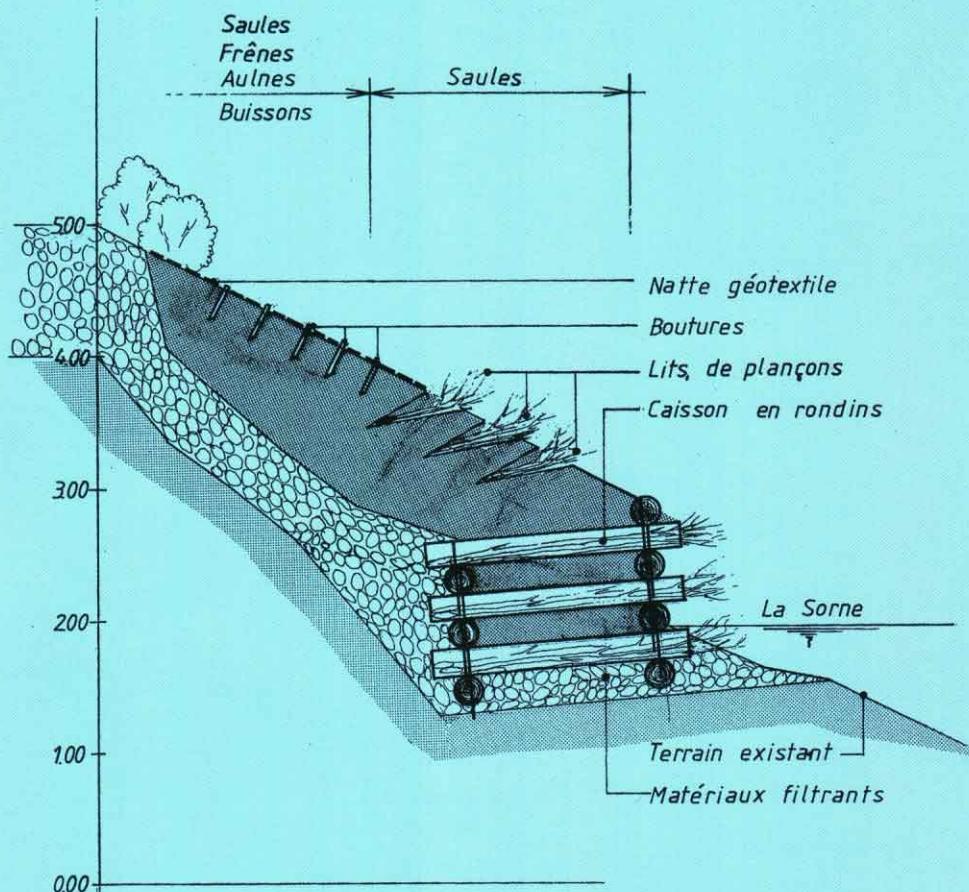
Figure 17.
Techniques végétales proposées pour la zone érodée de la Sorne à Courfaiivre



- mise en place d'une natte en jute tissée (type Sifor S 1.000 g/m²) de manière à couvrir la berge et éviter le ravinement en cas de crue durant les deux premières périodes végétatives (fixée par des agrafes métalliques en U, longueur totale 60 cm) ;
 - mise en place de boutures de saule (longueur 60-80 cm, diamètre 2-5 cm, enfouies aux 3/4, 5 pièces/m²) ;
 - ensemencement manuel des surfaces travaillées (mélange type Hydrosta soleil, 30 g/m²) ;
 - des plantations d'essences *rivulaires ont été prévues mais la saison étant déjà avancée, elles seront réalisées durant l'automne-hiver 93-94.
- ZONE DE GLISSEMENT (figure 18)**
- terrassements : déblais à la machine (pelle hydraulique) des matériaux de manière à dégager une bonne assise en bordure du cours d'eau (mise en dépôt latéral de matériaux) ;
 - réalisation d'un caisson en rondins (*résineux) à double parois (longueur 11 m, profondeur 2 m, hauteur 1,20 m, diamètre des rondins 20 cm) ; rondins fixés les uns aux autres par des aciers d'armature (diamètre 14-16 mm, longueur 60 cm) ;
 - réalisation d'une chemise drainante derrière le caisson pour évacuer l'eau et diminuer la poussée de l'ouvrage (matériaux calcaires anguleux 40-150 mm ou graviers-galets, compactés légèrement par couche) ;
 - remplissage du caisson par les déblais du dépôt latéral ;
 - au fur et à mesure du montage du caisson, pose de branches de saule capables de rejeter incorporées dans la structure (longueur des branches ≥ 2 m, Ø - 2 cm, 15 pièces/m) ;
 - le remblayage du talus sur caisson et la mise en forme se fait par l'apport de matériaux terreux ;
 - au fur et à mesure du remblayage du talus par des matériaux terreux, un lit de *plançons est réalisé en branches de saule capables de rejeter (longueur 50-60 cm, Ø env. 2 cm ; 15 pièces/m enfouies aux 3/4 et inclinées à 10°) ;
 - le haut de berge est complété par la mise en place d'une natte en jute tissée, plantée de boutures de la même manière que pour la zone érodée ;
 - ensemencement manuel des surfaces travaillées.



Figure 18.
Techniques végétales proposées pour la zone de glissement de la Sorne à Courfaivre



APPRECIATION

La réalisation très récente de cet ouvrage ne permet pas de tirer de conclusions définitives quant à son comportement. Cependant, des points positifs sont à constater :

- un excellent développement de la végétation, notamment des lits de branches du caisson ainsi que du lit de *plançons, ceci malgré une réalisation relativement tardive en avril 1993. Ce n'est possible qu'en respectant des temps d'attente minimum entre le prélèvement des branches de saule et leur utilisation, de même qu'un entreposage correct durant l'attente (endroit ombragé, base des branches au contact de l'eau) ;

- un bon comportement de l'ouvrage lors des hautes eaux, dont la fréquence a été très soutenue pendant les mois de septembre et octobre 1993.

Alors qu'il n'était pas prévu au départ, la mise en place d'un filet de jute s'est avérée nécessaire sur la zone des boutures et de l'ensemencement. Il est vrai que l'effet stabilisateur des boutures est faible juste après la réalisation. C'est donc essentiellement dans le but d'assurer la stabilité la première année que le filet de jute est utilisé. Son emploi devrait être systématique dans des situations identiques.

Le développement des branches du caisson et du lit de *plançons forme un massif de saules dense et compact. Etant donné l'ampleur relativement faible de l'ouvrage, cette "monoculture" de saules n'est pas particulièrement choquante. Mais pour des travaux identiques sur plusieurs dizaines voire centaines de

mètres, il faut profiter de l'occasion que donnent ces deux techniques (caisson *végétalisé + lit de plants et *plançons) pour varier les essences utilisées, puisque des plants à racines nues peuvent être couchés parmi les branches. Dans le cas présent, la diversité a été apportée par les plantations en sommet de berge (voir figure 19).

*Figure 19 a-b.
La Sorne à Courfaivre.
Illustrations photographiques de l'évolution de la berge aménagée
(Photos : B. Lachat et P.A. Frossard,
Silène-Biotec)*



a) Etat de la berge avant les travaux (30.3.93) :

Zone d'érosion marquée et zone de glissement. Les matériaux glissés ont été emportés par les crues. La berge a été nettoyée en vue des travaux.

Noter le caractère semi-urbain du site.

b) Développement de l'ouvrage (22.9.93), cinq mois après.



Figure 19 c-d.
La Sorne à Courfaivre.
Illustrations
photographiques de
l'évolution de la berge
aménagée
(Photos : B. Lachat,
Silène-Biotec)

c) Durant les travaux, détail du caisson (23.4.93) :

*Réalisation de lits de *plançons au-dessus du caisson*
**végétalisé.*

Transition entre l'ouvrage en tressage de saule et le caisson
**végétalisé.*

Protection derrière le tressage avec une natte de jute.



d) Six mois après (4.10.93) :

*Les boutures dans le caisson et les *plançons ont vigoureusement rejetés, conférant une solidité supplémentaire à l'ouvrage et une "ambiance" de vie caractéristique.*



L'OGNON (DÉPARTEMENT DE HAUTE SAONE)

LE PROBLEME DE BASE

Le tronçon étudié sur la rivière l'Ognon a une longueur de 1.300 m, est situé en aval de la commune d'Autrey-le-Vay et est géré par le Syndicat d'Aménagement de la Haute Vallée de l'Ognon.

La rivière, très méandreuse, présente une allure *morphodynamique très variée : peu d'endroits sont stables. De longs tronçons présentent de fortes érosions, provoquant des dépôts de graviers qui se végétalisent rapidement et qui augmentent l'effet de détournement du cours d'eau.

La pluviométrie est abondante dans la région de la source de l'Ognon (1.500-2.000 mm par

an) et de bon nombre de ses affluents, alors qu'elle atteint environ 1.000 mm par an dans la partie juste en amont du secteur étudié (à 65 km de la source). Les inondations sont fréquentes à la fin du printemps, en été (orages) et durant l'automne, alors que la période sèche se situe en hiver et au début du printemps.

La pente générale du cours d'eau est de 9 %, celle du tronçon d'étude d'environ 1,16 %. L'écoulement, rapporté à l'ensemble du tronçon étudié, est fluvial.

Les données disponibles ont permis d'établir les débits caractéristiques suivants :

Moyenne sur 1 jour :

Q1 = 93 m³/s Q2 = 102 m³/s Q5 = 130 m³/s Q10 = 148 m³/s

Moyenne sur 3 jours :

Q1 = 68 m³/s Q2 = 76 m³/s Q5 = 102 m³/s Q10 = 118 m³/s

Les valeurs de débits sur 3 jours renseignent sur les niveaux et durée de submersion.

Les crues présentent une montée rapide et un étalement assez lent. Les débordements sur le site concerné sont fréquents avec des hauteurs d'eau atteignant 50 à 70 cm sur les terrains avoisinants.

Très peu d'informations sur les débits et hauteurs d'eau moyens étaient disponibles. Mais, selon les conditions naturelles rencontrées, déterminer un débit de projet ne semblait pas être utile puisque, logiquement, il faut considérer et maintenir la zone bordant le cours d'eau comme inondable.

En ce qui concerne le secteur étudié, les berges sont soit complètement dénudées de leur végétation typique et adaptée, soit meublées avec des essences de culture inappropriées telles que le peuplier, ce qui crée une situation tendant à renforcer l'érosion dans les deux cas.

L'exemple illustré par la figure 21 montre une rive agricole complètement déboisée où les derniers arbres isolés dans le *lit mineur se déchaussent. L'autre rive est occupée par une plantation de peupliers qui tombent régulièrement et entravent l'écoulement en déviant le courant sur les deux berges.

LA SOLUTION PROPOSÉE

En ce qui concerne le lit, les bancs de galets ont été partiellement arasés, un grand seuil à effet directif a été réalisé (rampe en enrochements incurvée de manière à conserver un niveau d'eau minimum à l'étiage et cintrée côté amont de manière à dévier au centre l'écoulement qui se dirigeait contre la berge). Des épis

(enrochements) ont également été implantés dans des courbes externes de manière à guider l'écoulement vers l'intérieur du *lit mineur et à ralentir la vitesse de l'eau sur une certaine portion, favorisant ainsi la sédimentation différenciée des granulats.

En ce qui concerne la berge droite de l'Ognon (courbe

externe), initialement quasiment verticale sur deux à trois mètres de hauteur, les aménagements suivants ont été réalisés :

- *talutage de la berge avec pente 3/2 à 3/1 ;
- confection d'un solide pied de berge en fascines de saule, surmonté de boutures (figure 20, variante 1) dans la majeure partie du tronçon corrigé et d'une couche de branches de saule vivantes (figure 20, variante 2) dans les endroits où les forces d'arrachement sont les plus importantes, soit juste en amont du seuil par exemple ;
- ensemencement hydraulique de la berge travaillée.

la berge en vue de la préparation de l'ouvrage en techniques végétales, car le substrat très limono-terreux de toute la berge présentait de bonnes conditions pour les végétaux :

- un lit de petites branches a été placé sous la fascine afin d'éviter un déchaussement de l'ouvrage par le dessous, ceci en raison de la granulométrie très fine du substrat ;
- afin de réaliser un pied de berge végétal le plus stabilisant possible, un lit de branches capables de rejeter a été placé derrière la fascine. Le niveau d'étiage n'étant pas connu très précisément, les branches placées ainsi, presque verticalement, ont toujours les pieds dans l'eau et, sauf en cas de crue, ont toujours le nez hors de l'eau (condition de réussite de l'ouvrage).

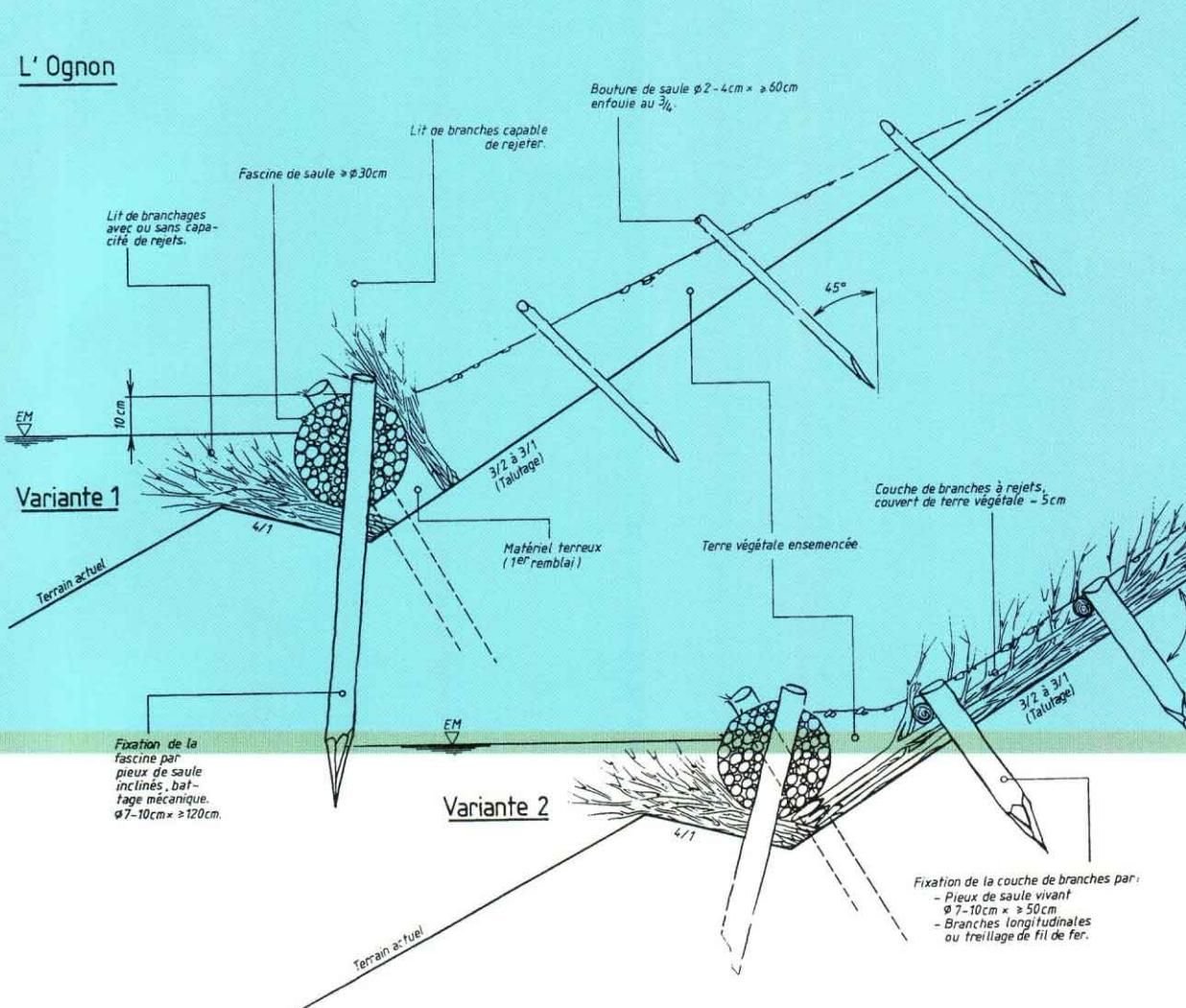


Figure 20.
Coupe type des
solutions
réalisées pour
protéger la berge
droite de l'Ognon

REMARQUES :

- il n'a pas été nécessaire de procéder à un apport de terre végétale suite au *talutage de

L' Ognon



APPRECIATION

L'aménagement ayant été réalisé au début du printemps 1993, il est possible d'en tirer un certain nombre de leçons. En effet, si initialement le projet et la motivation permettaient de garantir toutes les conditions de réussite, un certain nombre d'éléments liés à la réalisation ont conduit à un ouvrage qui est satisfaisant, mais qui aurait pu être beaucoup plus performant :

- des difficultés administratives liées au choix de l'entreprise et au financement des travaux ont provoqué un retard notable dans le début des opérations (1ère réunion d'implantation des ouvrages et début de chantier le 13 avril 1993 !), de sorte que les végétaux commençaient déjà à débourrer, perdant ainsi une bonne partie de leur énergie ;

- les saules étaient abondants sur le site, mais répartis sur de longs tronçons et surtout sur des propriétés non touchées par les aménagements. Ceci fait que l'essentiel des végétaux utilisés ont été prélevés à l'avance et ailleurs,

puis transportés (env. 150 km) avant d'être mis en place, leur capacité de rejets étant ainsi réduite. Il paraît alors essentiel de préciser à l'avenir, dans le cahier des charges pour l'entreprise, que les saules doivent être prélevés un maximum sur place et que le temps entre le prélèvement et la mise en place ne devrait pas excéder deux jours. Même si pour les administrations (DDAF, syndicats intercommunaux, etc.) cela demande du temps et que négocier le prélèvement de saules avec les propriétaires des terrains concernés est parfois gênant et difficile, il faut le faire. La qualité de l'ouvrage réalisé en techniques végétales en est directement dépendante.

Finalement, l'ouvrage se comporte bien. Des compléments sont encore à apporter par rapport au projet, à savoir la reconstitution d'une *ripisylve en sommet de berge pour amener à long terme une protection complémentaire à la stabilité de la berge. La figure 21 illustre l'évolution des ouvrages.

Eventuellement boutures de saule jusqu'au sommet de berge

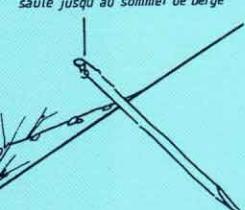


Figure 21 a-c.
L'Ognon à Autrey-le-Vay.
 Illustrations photographiques de l'évolution de la berge aménagée
 (Photos :
 B. Lachat,
 Silène-Biotec)

a) Avant les travaux (30.4.91) :

Les berges sont soit complètement dénudées de leur végétation typique adaptée, soit meublées avec des essences de cultures inappropriées tel que le peuplier, situation tendant à renforcer l'érosion dans les deux cas.



b) Pendant les travaux (22.4.93) :

*Talutage des berges et confection d'un solide pied en fascines de saule fixées à des pieux battus mécaniquement. Au fond on devine la construction du seuil à effet directif en complément aux techniques végétales.



c) Après les travaux (26.8.93) :

La berge nouvellement *végétalisée retrouve sa résistance naturelle face à l'érosion.



LE PROBLEME DE BASE

Le schéma directeur de l'agglomération lyonnaise, approuvé en avril 1990, a mis en évidence la nécessité de réaliser le bouclage routier du boulevard périphérique. Le site est stratégique par le rôle de son entrée nord-est de Lyon et par les possibilités offertes de prolonger la ville le long du fleuve. Le Rhône constitue une forte image de marque à l'échelle de l'agglomération lyonnaise et doit représenter un élément fédérateur pour les différents grands projets sur le site. L'aménagement des berges et du lit du Rhône ont toute leur importance non seulement pour des questions hydrauliques et d'implantation d'ouvrages routiers, mais également pour des questions de revalorisation paysagère du site.

Afin de permettre la réalisation des ouvrages précités, le Rhône sur le secteur concerné (tronçon pont Poincaré - pont Churchill) voit son lit rétréci par un aménagement remblayé sur le cours d'eau d'environ 30 m de largeur et approfondi de 5 - 6 m sous le pont Poincaré. Cela laisse une berge gauche du fleuve neuve, artificielle et entièrement nue, dont la mission confiée était de la *végétaliser, de manière à se rapprocher le plus possible du modèle d'une berge naturelle et caractéristique de la *ripisylve, sur une longueur de plus de 600 mètres. Les différentes études hydrauliques existantes liées aux grands projets sur le site ont permis de connaître un certain nombre de données

nécessaires au dimensionnement des ouvrages en techniques végétales :

- température annuelle moyenne à Lyon : 11,5° C ;
 - total des précipitations annuelles : 829,4 mm ;
 - superficie du *bassin versant : 20.300 km² dont 37 % au-dessus de 1.000 m ;
 - pente de la ligne d'eau sur le tronçon étudié : 0,5 % ;
 - le Rhône en amont de Lyon est marqué par l'influence montagnarde avec des eaux fraîches et bien oxygénées ;
 - la région lyonnaise se situe à l'interface entre plusieurs influences climatiques, qu'il est difficile d'analyser ici ; ainsi, si le premier trimestre de l'année (hiver) est la période la plus sèche à Lyon (161,3 mm de pluie), c'est aussi la période où le Rhône connaît ses plus grandes crues (d'octobre à janvier). Les grosses crues sur le Rhône se sont toujours produites par une grande crue de l'Ain (débit moyen de 200 m³/s) ;
 - les vitesses varient généralement de 0,13 à 2,3 m/s et peuvent atteindre 4 m/s en cas de grande crue ;
 - les débits caractéristiques du Rhône sur le tronçon étudié sont les suivants :
- | | | |
|-----------------------------|---|--------------------------|
| $Q_{\text{étage}}$ | = | 220 m ³ /s, |
| $Q_{\text{semi-permanent}}$ | = | 515 m ³ /s, |
| Q_1 | = | 1.460 m ³ /s, |
| Q_2 | = | 2.200 m ³ /s, |
| Q_{10} | = | 3.200 m ³ /s, |
| Q_{100} | = | 4.400 m ³ /s, |
| Q_{1000} | = | 5.500 m ³ /s; |
- la différence de niveau entre $Q_{\text{étage}}$ et Q_{100} est d'environ 6 mètres.

LA SOLUTION PROPOSÉE

CALCUL DE FORCE TRACTRICE

Afin de déterminer quel type d'aménagement en techniques végétales de protection de berge peut être mis en oeuvre, il a été procédé à différents calculs de force tractrice dont voici un extrait applicable à deux profils en travers du secteur étudié :

Rappel des formules :

$$\tau (\text{N/m}^3) = \rho \cdot h \cdot I$$

(force tractrice en fonction de la hauteur d'eau)

$$\tau = \rho \cdot I^{1/4} \cdot K_s^{-3/2} \cdot V^{3/2}$$

(force tractrice en fonction de la vitesse de l'eau).

Profil 6.2 (aval)	Débit (m³/s)	Niveau d'eau (m)	h (m)	τ (N/m²) (ct. de h)	Vitesse berge gauche (v) (m/s)	τ (N/m²) (ct. de v) avec $K_s = 30$
Etiage	220	162.15	0	0	-	-
Semi-permanent	515	162.55	0.40	2.0	-	-
Q_1	1.460	164.10	1.95	9.8	2.2	29.7
Q_2	2.200	165.35	3.20	16.0	-	-
Q_{10}	3.200	166.55	4.40	22.0	0.8 - 2.5	6.5 - 36.0
Q_{100}	4.400	167.85	5.70	28.5	1.0 - 2.7	9.1 - 40.4

Profil 7.0 (amont)						
Etiage	220	162.18	0	0	-	-
Semi-permanent	515	162.75	0.57	2.9	-	-
Q_1	1.460	164.50	2.32	11.6	0.8 - 2.8	6.5 - 42.6
Q_2	2.200	165.82	3.64	18.2	-	-
Q_{10}	3.200	167.15	4.97	24.9	1.5 - 3.0	16.7 - 47.3
Q_{100}	4.400	168.48	6.30	31.5	1.5 - 3.5	16.7 - 59.6

Ces calculs de force tractrice donnent des valeurs qui sont faibles (maximum de 60 N/m² pour la crue centennale et calculées en fonction de la vitesse de l'eau contre la berge), ce qui, en regard de l'abaque de l'annexe A1, serait supportable par des essences herbacées, *graminées, bien adaptées. Il est cependant nécessaire de prendre une certaine distance par rapport à ces résultats et considérer un facteur de sécurité important. En effet, la berge entièrement neuve sera moins "compactée" qu'une berge naturelle (cohésion entre les matériaux constitutifs peu importante), d'où fragilité potentielle de la fondation de l'ouvrage en techniques végétales.

D'autre part, même si la pente de la ligne d'eau sur le tronçon considéré ainsi que les vitesses de l'eau en cas de crues demeurent peu élevées, la "force intrinsèque" du cours d'eau, de par les volumes d'eau transportés, demeure très importante et difficile à évaluer.

CALCUL DE FORCE TRACTRICE CRITIQUE

Il a également été procédé à différents calculs de force tractrice critique afin de

connaître les limites de mise en mouvement des matériaux constitutifs de la berge (graviers grossiers avec $d_{75} = 5$ cm) :

Rappel des formules :

$$\tau_0 (\text{N/m}^2) = 8 d_{75} (\text{cm})$$

(force tractrice critique sur le fond)

$$\tau'_0 (\text{N/m}^2) = \lambda \cdot \tau_0$$

(force tractrice critique sur les berges).

avec :

$$\lambda = \cos \varphi \cdot \sqrt{1 - \frac{\operatorname{tg}^2 \varphi}{\operatorname{tg}^2 \theta}}$$

Formule applicable pour le Rhône :

■ pente des berges : 3/1,
d'où : $\varphi = 18,43^\circ$

■ diamètre des grains : 5 cm,
d'où selon l'abaque
de l'annexe A5 : $\theta = 37^\circ$

■ Rhône peu sinueux,
d'où coefficient de
multiplication : 0,9

ainsi, on trouve par calcul :

$$\lambda = \cos 18,43 \cdot \sqrt{1 - \frac{\operatorname{tg}^2 18,43}{\operatorname{tg}^2 37}} = 0,85$$

$$\text{et } \tau' = 0,85 \cdot 0,9 \cdot 8 \cdot 5 = 30,6 \text{ N/m}^2$$

Ce calcul donne un résultat de force tractrice critique qui est inférieur aux forces tractrices dues aux crues, calculées précédemment. On peut donc admettre que, dès la crue annuelle, les matériaux constitutifs de la berge peuvent entrer en mouvement selon un calcul fait en fonction de la vitesse de l'eau.

C'est pour cette raison qu'il a été projeté de mettre en place un *géotextile de protection sur toute la surface de la berge aménagée, quel que soit l'ouvrage en techniques végétales imaginé.

PROFIL DE BERGE À RÉALISER

Les différents calculs présentés ci-dessus, l'expérience du bureau d'études ainsi que les différentes discussions avec les représentants du ou des maîtres d'ouvrages (SEM de la Cité Internationale de Lyon, Compagnie Nationale du Rhône) et du bureau de paysagiste (M. Corajoud, Paris) ont conduit à proposer le profil type de la figure 22 pour la végétalisation de la berge gauche du Rhône. En partant du pied de berge et jusqu'au bas-port (promenade piétonne submersible avec la crue quinquennale), on trouve :

- un merlon : constitue l'assise de la berge ; réalisation en enrochement avec un niveau supérieur qui ne doit pas dépasser la cote correspondant au débit semi-permanent. Imposé par le maître d'ouvrage pour éviter l'effet du batillage contre la berge ;

- une zone d'*hélophytes : espace en eau, généralement calme, délimité entre le merlon et le pied de berge *végétalisé; fonction naturelle et esthétique mais non de soutien de berge ;

- une couche de branches à rejets : ouvrage de

stabilisation solide en techniques végétales ; protection de la partie de berge la plus sollicitée par les crues et fixée par du fil de fer à de solides pieux de saule dont la longueur aura au minimum 1,50 m ;

- des boutures de saule : stabilisation de la berge dans la partie intermédiaire ;

- des plantations : stabilisation du haut de berge où les sollicitations sont moins importantes ;

- un ensemencement : toute la surface de berge est ensemencée manuellement ou hydrauliquement afin d'augmenter la protection du sol d'une part et d'éviter un trop fort développement d'essences végétales non désirées d'autre part ;

- un *géotextile : pour les raisons citées plus haut, une natte *géotextile est mise en place sur toute la surface de la berge (filet de jute 1.000 g/m²). Cette natte est putrescible au bout de deux à trois ans, c'est-à-dire une fois que les végétaux se sont suffisamment développés. Elle est fixée solidement au moyen de fil de fer et pieux jusqu'à un niveau correspondant à Q1. Au-delà, des fers à béton recourbés d'une longueur totale de 1 m et des agrafes métalliques en forme de U pour la remise en place du *géotextile, découpé pour les travaux de plantations, sont utilisés. La découpe est nécessaire dans le *géotextile pour les plantations, alors que les boutures sont mises en place directement à travers la natte.

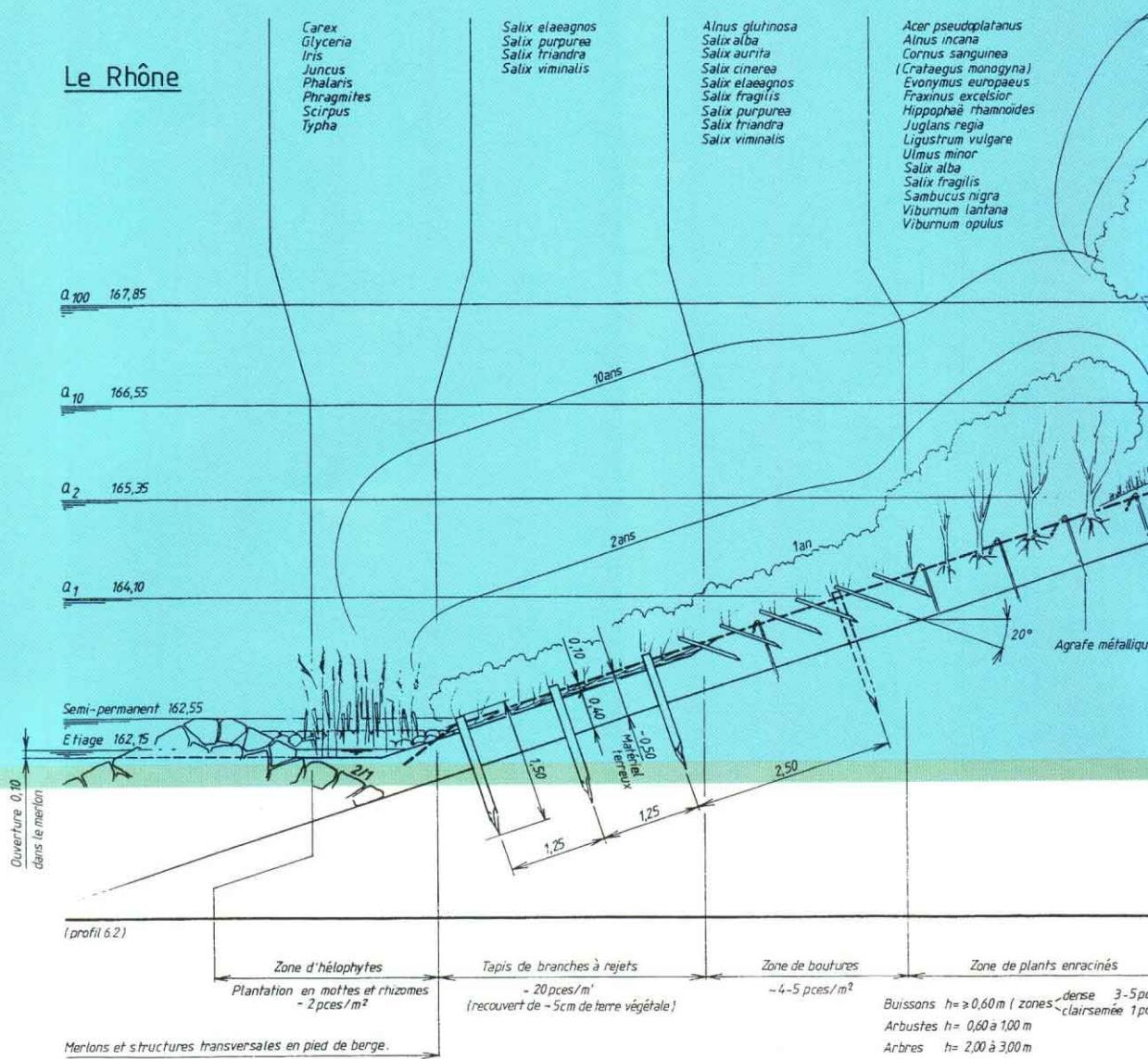
Le choix d'un type de *géotextile n'est pas simple (cf. «géotextiles» p. 72), car il doit répondre à divers critères dont deux, a priori, contradictoires. D'une part, les mailles doivent être les plus petites possibles afin de retenir les particules fines en cas de crue et d'autre part, les plus grosses possibles afin de ne pas étrangler les végétaux et

permettre un développement correct. C'est pourquoi le choix s'est porté sur le jute (produit naturel et dégradable) offrant néanmoins une bonne résistance à la traction et tissé (écartement des fibres par les végétaux et non étranglement). Cependant, le fait d'utiliser un *géotextile à mailles relativement fines (3-7 mm) oblige à réaliser

l'ensemencement en deux étapes, à savoir une première fois avant la pose du *géotextile et une fois après, afin d'éviter que la majorité des graines projetées hydrauliquement restent piégées à la surface de la natte de jute.

Les travaux ont débuté en janvier 1994 (voir figure 23).

Figure 22.
Profil-type d'aménagement en techniques végétales du Rhône à Lyon.



*Figure 23 a-b.
Le Rhône à Lyon.
Illustration des travaux
envisagés pour protéger
la berge
(Photos : B. Lachat,
Silène-Biotec)*



*a) Phase travaux
(24.1.94) :
Les couches de branches
sont plaquées au sol et
recouvertes de terre.*



*b) Phase travaux
(24.1.94) :
Protection de l'ouvrage
en saule par un
*géotextile en jute,
fixation du tout avec
des pieux de saule et
treillage en fil de fer.
La zone à *hélophytes
se trouve entre la
première lignée de
pieux et le merlon.*

160.00



LE PROBLEME DE BASE

La rivière Birse est un cours d'eau du Jura suisse, affluent du Rhin.

Le tronçon étudié se situe sur la commune de Soyhières, où le *bassin versant compte environ 580 km². Le but de l'étude et des travaux qui ont suivis, avaient pour objet le détournement du cours d'eau sur une longueur égale à 840 m afin d'obtenir les avantages suivants :

- éloignement de la route importante Bâle-Bienne par rapport au village de Soyhières, la circulation étant dense, le tracé étroit et sinueux, sans compter l'absence de trottoir ;
- suppression d'un passage à niveau de chemin de fer à l'ouest du village de Soyhières, fermé 6 heures par jour.

Les missions confiées ont été de deux types :

- contrôler les travaux de confection du lit de manière à garantir un bon fonctionnement hydroécologique du cours d'eau ;
- élaborer un projet de végétalisation des berges dans les parties où les techniques de stabilisation pouvaient porter sur le génie biologique.

Les débits caractéristiques suivants ont été admis pour l'élaboration du projet :

$Q_{\text{étage}}$	=	3 m ³ /s
Q_{10}	=	160 m ³ /s
Q_{50}	=	230 m ³ /s
Q_{100}	=	270 m ³ /s
Q_{1000}	=	350 m ³ /s.

Des enregistrements limnigraphiques sur une période de 920 jours ont été effectués par le Service hydraulique national, avant le début des travaux, afin de compléter ces données :

- basses eaux : 156 jours (17 % de la période)
- $Q \leq 4.6 \text{ m}^3/\text{s}$: 118 jours (13 %)
- $Q \leq 3.0 \text{ m}^3/\text{s}$: 38 jours (4 %)
- Minimum 4.4.84 : 2.4 m³/s
- Maximum 25.7.82 : 161 m³/s
25.5.83 : 198 m³/s

Afin de calquer au mieux le nouveau tracé de la rivière dans son environnement, une carte synthétique du lit et des berges de l'ancien tracé a été élaborée. Y sont reportées les alternances principales du lit, la diversité des écoulements, la configuration des berges ainsi que la composition floristique des espèces ligneuses et herbacées. Des inventaires faunistiques ont également été pratiqués.

En ce qui concerne la géologie du nouveau tracé, outre des sondages et la pose de *pénétromètres, les couches mises à nu lors du creusage du nouveau lit ont été analysées et laissaient entrevoir un ancien méandre dans lequel des bois flottés ont été analysés au C¹⁴. Les plus vieux échantillons ont montré des âges de 5240 ± 40 et 3360 ± 60 . La Birse coulait jadis dans les parages du nouveau lit choisi mais avec un tracé sans doute différent. La partie en amont du nouveau tracé est supportée par des couches calcaires (*Dogger) alors que la majeure partie, en aval, traverse des marnes oxfordiennes.

LA SOLUTION PROPOSEE

La figure 24 (situation) illustre l'ancien ainsi que le nouveau lit de la Birse lié aux aménagements routier et ferroviaire.

La pente rapportée au nouveau tracé est de 3 %.

La nouvelle voie de chemin de fer a été dimensionnée pour une vitesse de base de 125 km/h et la nouvelle route lui est parallèle. Par conséquent, le nouveau lit de la Birse, influencé par la nécessité d'éviter les constructions routières et ferroviaires, présente une courbure très accentuée au début de la correction ($R = 50$). Ensuite, le tracé suit la colline sous le château de Soyhières, volontairement relativement sinuex. La correction peut être schématisée de la manière suivante :

- partie en amont : 420 m corrigés en technologie dure et combinée ;
 - partie en aval : 420 m aménagés en technologie végétale et combinée.
- Les marnes oxfordiennes

du lit ont été recouvertes de gravier et de galets avec les matériaux de l'ancien lit.

PARTIE EN AMONT

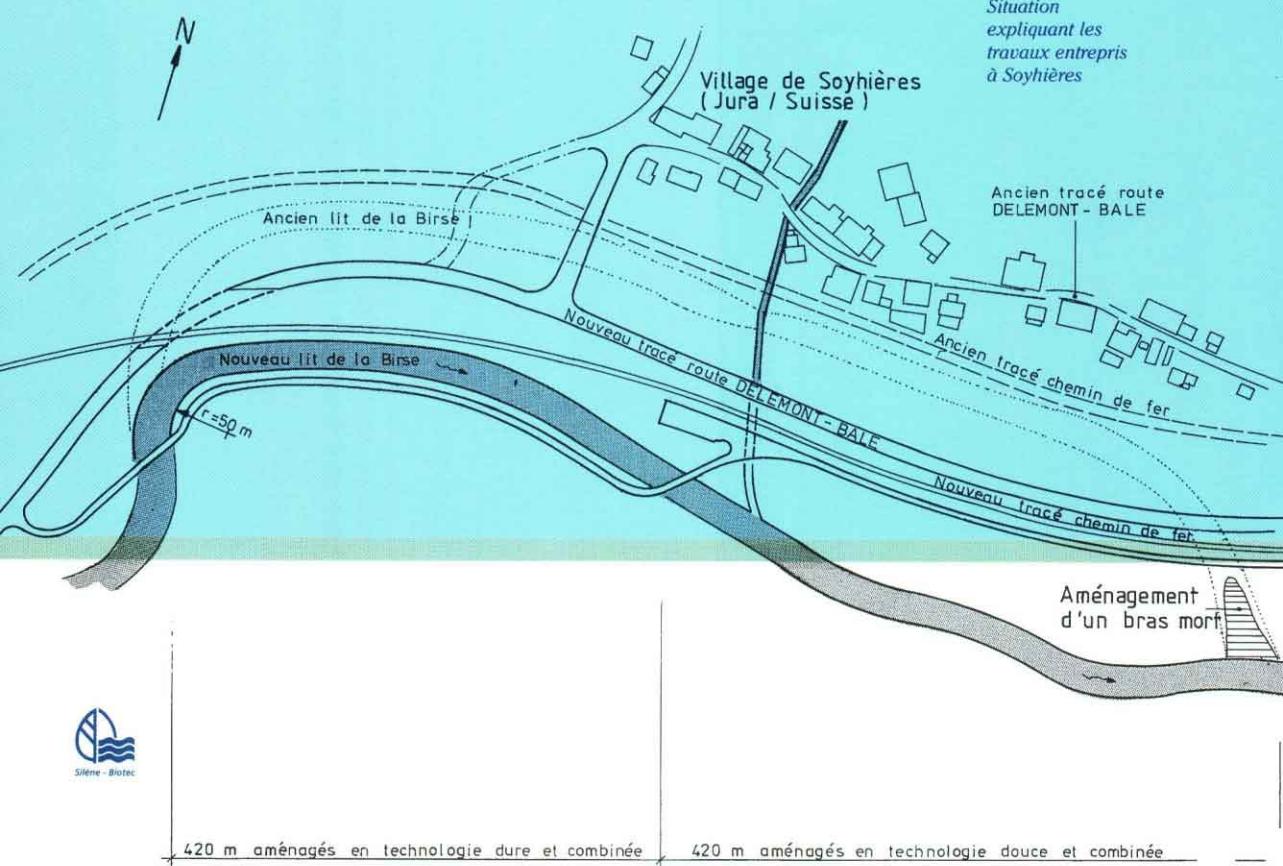
Rive gauche :

- en amont du premier pont, une zone d'inondation abritant principalement des plantes "hélophytes" a été créée ;
- le mur de soutènement des chemins de fer, réalisé en béton, a vu l'incorporation de nichoirs à martin-pêcheur, espèce d'oiseau en forte diminution dans la région ;
- au pied du mur, des blocs de pierre ont été disposés afin de ménager des caches à poissons (truites principalement) et, entre les blocs, des boutures de saule ont été mises en place.

Rive droite :

- le perré exigé par les ingénieurs civils ne laissait qu'une maigre place aux végétaux, de sorte que seules de longues boutures de saule ont pu être mises en place à travers les interstices, ainsi que des plantations d'arbres et arbustes au-dessus.

Figure 24.
Situation
expliquant les
travaux entrepris
à Soyhières



D'une manière générale, l'aménagement de la rive droite devrait cicatriser la forte coupure pratiquée dans la forêt, au pied de la colline, par la recréation d'une zone de lisière.

PARTIE EN AVAL

Une irrégularité maximale des berges a été recherchée :

Rive gauche :

- pente variant de 2/1 à 6/1 permettant l'implantation de plantes *hélophytes comme les roseaux qui existaient sur les bords de l'ancien lit ; un bloc de pied de berge a été mis en place pour lester les *géotextiles (nécessaires à la stabilisation des berges avant le développement *racinaire des végétaux d'une part, et afin de créer un effet de serre produisant une action

immédiate sur la germination des graines et leur croissance d'autre part) ;

- le haut de berge a été planté en boutures éparses de diverses espèces de saule, accompagnées de buissons et de quelques arbres disséminés.

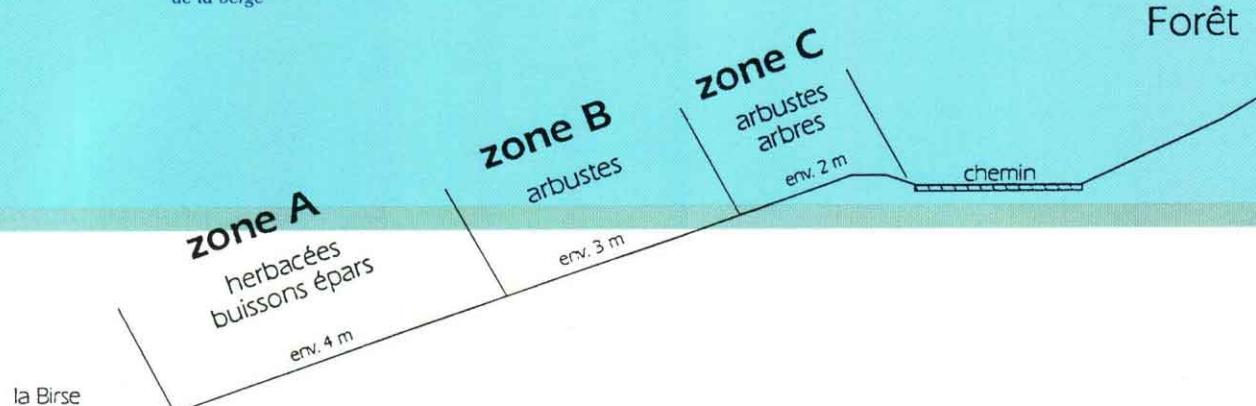
Rive droite :

- cette berge a été considérée en tant que rive forestière et comptée comme surface de compensation au défrichement ; quelques 24 espèces ligneuses ont été réparties sur la berge divisée en trois zones distinctes (A, B et C) à stratification différenciée (voir figure 25) :
- par endroit, deux blocs de pied de berge ont été exigés pour lester les *géotextiles d'une part et soutenir un chemin et les pentes instables de la colline d'autre part.

Buissons

Buissons	Arbres	Saules
<i>Cornus sanguinea</i>	<i>Acer campestre</i>	<i>Salix purpurea</i>
<i>Corylus avellana</i>	<i>Tilia grandifolia</i>	<i>Salix triandra</i>
<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Alnus glutinosa</i>	<i>Salix fragilis</i>
<i>Crataegus oxyacantha</i>	<i>Alnus incana</i>	<i>Salix alba</i>
<i>Evonymus europaeus</i>	<i>Carpinus betulus</i>	<i>Salix viminalis</i>
<i>Ligustrum vulgare</i>	<i>Acer pseudoplatanus</i>	<i>Salix elaeagnos</i>
<i>Lonicera xylosteum</i>	<i>Ulmus montana</i>	
<i>Sambucus nigra</i>	<i>Fraxinus excelsior</i>	
<i>Viburnum opulus</i>	<i>Prunus padus</i>	

Figure 25.
Principe général
d'aménagement
de la berge



Au point de confluence avec l'ancien lit, un bras mort a été gardé de manière à diversifier l'ensemble.

Compte tenu des délais imposés très courts (2 mois) pour travailler avec les végétaux et compte tenu de la saison déjà très avancée au moment où il a été possible d'utiliser les plantes, le choix de la technique s'est porté essentiellement sur l'utilisation de plantes herbacées doublées de *géotextiles. Ceux-ci, au nombre de trois, dont un provisoire, devaient assurer les rôles (voir [21]) :

- d'armature du tapis végétal herbacé,
- de rétention du sol,
- d'effet de serre pour la germination et la croissance des végétaux,
- de protection de surface.

Les compléments de plantation pour reconstituer les séries végétales ont été effectués en 1985.

Depuis cette date, plus rien n'a été entrepris sur ce tronçon, la Nature devant

faire le reste. L'impulsion de départ a été donnée artificiellement ; au gré des compétitions *interspécifiques et des apports de graines ou de boutures par les crues, les espèces se développent naturellement.

Bref historique des travaux réalisés :

- début 1984 : premiers terrassements ;
- du 4 au 29 septembre 1984 : ensemencements hydrauliques des berges et pose des 3 *géotextiles ;
- 22 novembre 1984 : derniers ensemencements ;
- 23 novembre 1984 : plantations de boutures de saule ;
- 27 novembre 1984 : la Birse en crue coule pour la 1ère fois dans son nouveau lit ;
- avril 1985 : plantations d'*héliophytes et de ligneux ;
- fin avril 1985 : enlèvement total du *géotextile provisoire ;
- mai 1985 : crue supérieure à Q₁₀.

APPRECIATION

A l'heure actuelle et déjà quelques années après les travaux, on ne distingue plus l'artificialisation du déplacement, notamment dans la partie en aval. Les végétaux ont joué pleinement leur rôle protecteur contre l'érosion et l'implantation de la végétation a contribué à redonner au cours d'eau un élément

indispensable : la *ripisylve. Les fonctions biologiques et écologiques des berges sont retrouvées et l'aspect paysager est loin d'être monotone et stérile. Ne plus voir qu'il y a eu intervention constitue un des critères de réussite du génie biologique. La figure 26 illustre l'évolution de l'ouvrage.

Figure 26 a-c.
Evolution de
l'aménagement
de la Birse à
Soyhières
(Photos :
B. Lachat,
Silène-Biotec)



a) Phase de creusement du nouveau lit
(1.6.84)



b) Technique végétale de protection de la
berge utilisant 3 types de "géotextiles"
différents pour pallier aux contraintes de
saisons et de délais de réalisation des
travaux (13.9.84)

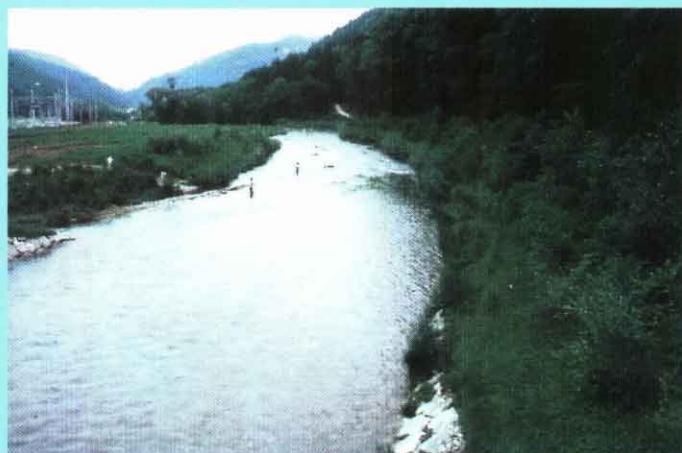
c) Détail de l'utilisation des 3 "géotextiles"
(24.8.84)



*Figure 26 d-f.
Evolution de
l'aménagement
de la Birse à
Soyhières
(Photos :
B. Lachat,
Silène-Biotec)*

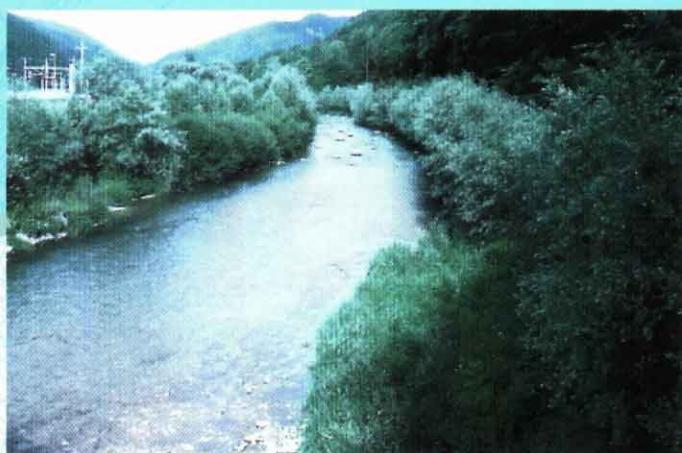


*d) La protection a été conçue et basée sur l'utilisation de *graminées à action immédiate. Les berges ont très vite été couvertes et le *géotextile provisoire a été enlevé. Les plantations sont réalisées.
(13.5.85, après une crue)*



*e) Les espèces ligneuses ont participé ultérieurement à la stabilisation générale. Avec une variabilité du tracé, des berges et des structures végétales, la rivière offre un aspect naturel et des fonctions biologiques réelles déjà quelques années après les travaux.
(19.6.88)*

*D Huit ans après l'aménagement, on ne voit plus qu'il y a eu une intervention. Les crues ont apporté des branches de saule qui ont pu enrichir naturellement la *ripisylve et les séries végétales se modèlent au gré des crues et des dépôts.
(17.6.93)*



AUTRES EXEMPLES ILLUSTRES

a) Avant les travaux (11.4.84) :
Berge sapée et arbre basculé



Figure 27 a-b.
La Sorne à
Courfaivre.
Illustration de la
technique du
peigne
(Photos : B. Lachat,
Silène-Biotec)

b) Mise en place des branches et
des pieux dans la niche d'érosion
(2.4.85)



Figure 27 c-d.
La Sorme à
Courfaivre.
Illustration de la
technique du
peigne
(Photos : B. Lachat,
Silène-Biotec)

c) Crue de la Sorme (8.5.85) :
"Filtration" et piégeage dans le
peigne des éléments en suspension
dans l'eau



d) Six ans après, la berge est
stable, l'érosion est enravée
(4.6.91).



Figure 28 a-c.
La Sorne à
Courfaivre.
Illustration d'un
ouvrage ancien.
(Photos : B. Lachat,
Silène-Biotec)

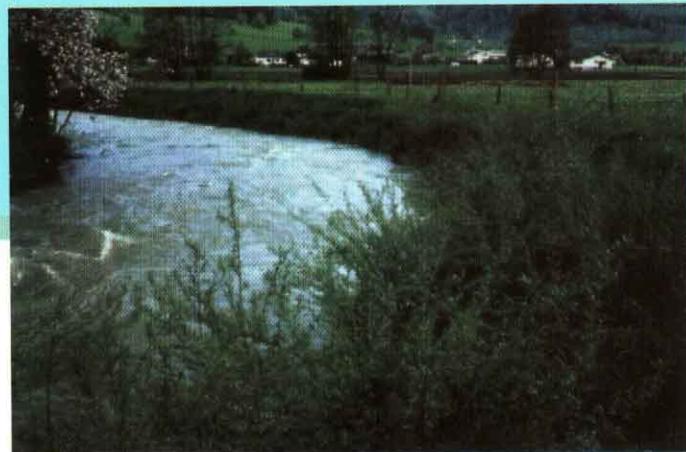


a) Méandre érodé et préparé
en vue de la pose d'un
**géotextile (23.4.82).*



b) Ouvrage de pied en saule et
reconstitution de la berge suivie d'un
ensemencement avec un mélange
grainier adapté.
(20.5.82)

c) Evolution de
l'ouvrage deux ans
après (27.5.84).



*Figure 28 d-e.
La Sorme à
Courfaivre.
Illustration d'un
ouvrage ancien
(Photos : B. Lachat,
Silène-Biotec)*

*d) Le développement de la
végétation et le "géotextile ancré
par les racines assurent le
maintien de la berge en conditions
difficiles.
(6.5.86)*



*e) En 1988, les saules ont été coupés
pour alimenter en matériel vivant
d'autres ouvrages.
Les rejets produits sont vigoureux et la
berge procure des refuges pour la faune.
On distingue un nid dans les branches.
(18.3.93)*

*La Sorme a subi des crues importantes en
juillet 1982, mai 1983, mai 1985, mars
1988, février 1990, décembre 1991.*

