

# Gestion de la végétation des digues et berges sous contrainte de sécurité

Michel Vennetier<sup>a</sup>, Christian Ripert<sup>a</sup>, Olivier Chandieux<sup>a</sup>, Patrice Mériaux<sup>b</sup> et Gaylord Doirat<sup>a</sup>

L'objectif de cet article est de préciser le contexte de la gestion de la végétation des berges et digues de rivières sous forte contrainte de crues et de sécurité des ouvrages hydrauliques, principalement dans les systèmes endigués. Définir et optimiser cette gestion nécessite que soient associées :

- des connaissances scientifiques relevant de l'écologie, pour connaître la dynamique et la croissance de la végétation et ses relations avec le milieu physique (climat, substrat) ;

- une expertise forte sur les problèmes relevant de l'ingénierie : sécurité des ouvrages hydrauliques d'une part, aménagement d'espaces naturels et forestiers d'autre part ;

- une connaissance des enjeux économiques, sociaux et culturels attachés aux systèmes étudiés.

Parce que la gestion de cette végétation est forcément assez intensive, elle est le plus souvent coûteuse. Minimiser ces coûts et les étaler dans le temps fait partie intégrante des contraintes imposées par les gestionnaires.

Depuis plusieurs années, deux équipes du Cemagref d'Aix-en-Provence, l'une spécialiste de génie civil et l'autre forestière, travaillent de concert sur ces questions.

Une partie de ces travaux et de leurs conclusions s'applique aux cours d'eau ordinaires. Mais dans

les systèmes endigués, les enjeux de sécurité sont considérablement accrus. On ne peut pas y laisser la végétation se développer librement, ni dans sa composition ni dans sa structure, parce qu'elle interfère directement avec les caractéristiques physiques des ouvrages hydrauliques et avec le fonctionnement hydraulique du système. Dans certains cas, les contraintes de ces systèmes imposent des travaux très en amont sur le lit naturel des cours d'eau.

Dans cet article, nous expliquons la finalité de nos travaux dans ce domaine en les illustrant par quelques exemples, et en les situant par rapport au concept d'ingénierie écologique.

## Les systèmes étudiés, les enjeux

Les systèmes étudiés sont représentés schématiquement sur la figure 1 : ils comprennent le lit mineur de la rivière, correspondant à la largeur de la rivière en débit moyen, les berges, un espace plus ou moins plat séparant les berges des digues, appelé ségonnal et parfois absent, les digues elles mêmes, et le plus souvent une partie ou la totalité du lit majeur, zone naturelle d'expansion des crues.

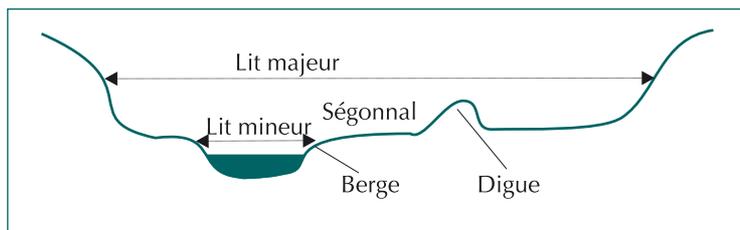
La végétation qui borde les cours d'eau, appelée ripisylve quand elle comprend des peuplements arborés, est l'objet de fréquentes polémiques et de conflits d'usages. Dans la majorité des cas,

### Les contacts

Cemagref,

<sup>a</sup> UR Écosystèmes méditerranéens et risques

<sup>b</sup> UR Ouvrages hydrauliques, BP 31, 13612 Aix-en-Provence Cedex 1



▲ Figure 1 –  
Éléments d'un système endigué.

les enjeux sont écologiques, en raison de la grande richesse biologique de ces milieux (Ward *et al.*, 2002), de leur relative rareté, et des fortes pressions qui s'exercent sur eux : chaque année les ripisylves reculent en surface (Girel et Manneville, 1998), au point d'être considérées comme un habitat naturel partout menacé. Mais en milieu urbain et périurbain, où les ripisylves comptent parmi les rares espaces verts ou lieux publics naturels, les fonctions paysagères et de loisir peuvent être primordiales et entrer en concurrence avec les exigences de sécurité. La végétation même très artificialisée y est interprétée comme un havre de nature et de biodiversité, par une population en quête d'un cadre de vie de qualité ou de nature sauvage, et rebelle à l'aménagement des lieux (Aspe, 2003). L'analyse et la prise en compte des pratiques sociales sont nécessaires pour qu'un plan de gestion puisse être appliqué avec succès, quelles que soient ses qualités et ses justifications techniques.

En France, environ 10 000 km de digues bordent des cours d'eau de toutes tailles pour protéger des zones urbaines, agricoles ou industrielles (Mériaux *et al.*, 2003) : les enjeux économiques et sociaux et parfois écologiques (risques de pollution) sont considérables, car quelle que soit la qualité des ouvrages on n'élimine jamais totalement le risque d'inondation. Beaucoup de digues sont encore insuffisamment entretenues, mais les inondations dramatiques qui se sont succédées en France et en Europe de 1999 à 2003 ont entraîné une prise de conscience du risque encouru et un mouvement accéléré de reprise en main de la gestion des cours d'eau. Cette gestion pose des problèmes particuliers pour les ripisylves de secteurs endigués et encore plus pour les peuplements sur digue : les règles de sécurité commandent le plus souvent des interventions vigoureuses et régulières de coupe et d'entretien de la végétation et, sur les digues, l'absence d'arbres (Mériaux *et al.*, 2001). Mais face aux fréquentes et fortes pressions des riverains, élus et associations, le gestionnaire doit

trouver le meilleur compromis entre la sécurité, qui est toujours prioritaire, et une optimisation des fonctions écologiques et sociales de la végétation. En fait, la gestion actuelle de la végétation des cours d'eau « à risque » varie du maintien strict d'une végétation herbacée par fauchage régulier au ras du sol jusqu'à l'abandon total à l'état de forêt haute et dense depuis des dizaines d'années, avec tous les modes intermédiaires. L'élimination des peuplements forestiers indésirables est rarement possible à très court terme, pour des raisons techniques (cela peut aggraver les risques sur les digues), économiques ou sociales.

Les secteurs endigués des vallées permettent le développement d'un écosystème dynamique et riche car ils bénéficient à la fois d'eau en abondance et de sols fertiles et profonds. Les arbres y ont une croissance très rapide et atteignent de grandes dimensions (Ripert *et al.*, 2003), et la production de biomasse par unité de surface est supérieure à celle des peuplements forestiers voisins. Certaines digues de grandes dimensions peuvent cependant se révéler peu fertiles si les matériaux sont perméables et le climat sec, car elles se dessèchent facilement en profondeur par drainage. On obtient alors des écosystèmes qui, bien qu'artificiels, constituent des habitats originaux sans équivalent dans la nature, qui peuvent avoir un intérêt écologique (Michelot, 1997) : communautés spécifiques, maintien d'espèces rares.

Les peuplements des secteurs endigués répondent à la trilogie classique de tout système forestier : protection, production et accueil. Ils présentent en plus des particularités liées à la présence de l'eau :

- les fonctions de protection comprennent toutes les fonctions habituellement qualifiées de « non marchandes » bien que les enjeux économiques soient parfois considérables : le maintien des sols, de la biodiversité, des paysages. De nombreux travaux ont mis en évidence le rôle des ripisylves dans l'épuration des pollutions diffuses ou ponctuelles, et la possibilité d'optimiser cette fonction (Qiu, 2003). La protection contre l'érosion est ici bien sûr privilégiée au vu des enjeux de sécurité. Les ripisylves, écosystèmes d'une exceptionnelle richesse biologique, jouent dans les secteurs urbanisés ou agricoles une fonction primordiale de corridors biologiques permettant la circulation des espèces, mais aussi un rôle de dernier refuge pour la survie de nombreuses espèces des milieux

boisés (Naiman *et al.*, 1993). Dans ces mêmes secteurs, ils structurent et enrichissent les paysages trop monotones ou trop humanisés (Dupuis-Tate *et al.*, 2003). La végétation des berges est aussi importante pour la vie aquatique et pour la qualité de l'eau : niches dans les racines au ras de l'eau (Shirvell, 1990) et dans les embâcles pour la reproduction et le refuge de nombreux animaux aquatiques (Crook and Robertson, 1999 ; O'Connors, 1991), dépollution (Dosskey, 2001), ombrage limitant l'eutrophisation (Wilcock *et al.*, 2002) et les variations de température (Rutherford *et al.*, 1997), intrants de la chaîne alimentaire aquatique par apport de matières organiques, de substances nutritives et de proies dépendant de cette végétation (Eggyshaw, 1964 ; Anderson et Sedell, 1979) ;

– la production de bois est importante mais le plus souvent non valorisée économiquement (Combe, 2003) ;

– enfin, nous avons déjà souligné l'importance des fonctions sociales, notamment dans les secteurs urbains et touristiques.

Il est rarement possible d'optimiser et même de concilier toutes ces fonctions, et ce d'autant moins que les enjeux de sécurité sont importants.

## Questions clés pour la gestion en relation avec la sécurité

### Dynamique et structure de la végétation

Une bonne gestion de la végétation et particulièrement des peuplements arborés ne peut pas s'envisager sans une planification à moyen et long termes, c'est-à-dire en rapport avec le cycle des arbres qui la composent : planning précis de travaux sur 8 à 10 ans, trame d'objectifs et prospective sur 15 à 20 ans ou plus.

Avoir cette vision à long terme oblige, comme pour toute autre forme de peuplements arborés, à poser quelques questions de base : sur quels substrats se trouve-t-on, quelle est leur fertilité et leur variabilité ? À quelle vitesse poussent les arbres et quelle est leur durée de survie ? Comment les peuplements sont-ils structurés, comment évoluent-ils dans le temps, et comment se régénèrent-ils en absence de bouleversement ou après un bouleversement naturel (crue, tempête) ou artificiel (coupes, nettoyages, débroussailllements...) ?

### Interaction végétation-sécurité

Répondre aux préoccupations de sécurité pose d'autres questions qui pour certaines sont encore mal résolues : à partir de quelles dimensions et dans quelle situation un arbre ou un peuplement crée-t-il un risque d'embâcle ? Que deviennent les arbres morts ? Quelle est l'architecture des racines dans les berges et surtout dans les digues ? Couper ou tuer les arbres existants résout-il le problème ? Les arbres ont-ils un rôle stabilisant ou au contraire favorisent-ils l'instabilité des berges et talus de digues ?

Aucune de ces questions n'a de réponse unique, car les réponses doivent être modulées en fonction d'une part, des caractéristiques physiques de chaque rivière (profils en long et en travers, types de matériaux et dimensions du lit, des berges et des digues, débit moyen et variations de ce débit), d'autre part, du régime de crues (fréquence, débits, hauteurs, vitesse du courant, durées, etc.) et enfin en fonction de l'environnement humain et des enjeux à protéger : on ne considère pas de la même manière la protection d'une zone d'agriculture extensive, d'une zone urbaine dense ou d'une installation industrielle classée « Seveso », et on ne peut appliquer les mêmes règles pour un oued méditerranéen, un torrent de montagne ou un grand fleuve.

## Analyse de quelques problèmes cruciaux de sécurité

### Digues et racines

Une question prioritaire est la pénétration des racines des arbres dans les digues. Ces racines facilitent, surtout lorsqu'elles sont mortes, la création de canaux dans les digues (amorces potentielles de renards hydrauliques). Lorsque ces derniers traversent une digue de part en part, ils peuvent en quelques minutes provoquer sa destruction totale par érosion interne lors d'une crue. Supprimer les arbres préexistants sur des digues ou à leurs abords n'est donc pas envisageable sans mesures d'accompagnement : démontage de la digue avec élimination des souches et racines puis remise en forme et recompactage, ou élargissement, ou toute autre mesure assurant l'étanchéité (Venetier *et al.*, 2004). Le coût élevé de ces travaux oblige à un étalement des interventions dans le temps et l'espace dès que les longueurs de digues concernées sont importantes, et donc à une gestion qui assure à titre transitoire la réduction

des autres risques liés aux arbres. Le traitement en taillis ne réduit pas les risques liés aux racines, à cause du développement continu de celles-ci et des souches. Ainsi sur les digues en gravier du Rhône pourtant peu fertiles et desséchantes, le traitement en taillis de peupliers noirs maintenant les arbres en dessous de 10 m de hauteur a abouti en 25 ans à des souches atteignant 60 cm de diamètre, avec des pivots pouvant atteindre 2 m de profondeur et plusieurs dizaines de cm de diamètre à 1,5 m de profondeur (Chandioux *et al.*, 2003). Le recépage ne peut donc être qu'une solution d'attente.

Le Cemagref a démarré en 2002 des travaux approfondis sur cette question qui avait été très peu traitée en France et dans le monde. La pénétration racinaire dans les digues dépend des qualités physiques et chimiques du substrat, de la circulation de l'eau et de la position d'éventuelles nappes d'eau, du climat ainsi que des espèces d'arbres (Doirat, 2003 ; Chandioux *et al.*, 2003).

Les résultats actuels montrent que le système racinaire de différentes espèces (peupliers noir et blanc, frêne, divers saules, aulne glutineux, chêne pédonculé, robinier, noisetier) est très plastique et s'adapte à l'échelle métrique aux variations du substrat. On peut ainsi trouver, à quelques mètres de distance pour la même espèce, des enracinements totalement traçants ou profondément pivotants, et des systèmes mixtes. Le développement du pivot dépend de sa capacité, au cours des premières années de la vie de l'arbre, à pénétrer le matériau constitutif de la digue et à atteindre des horizons régulièrement alimentés en eau. Des limons compactés ou des horizons graveleux très drainants et pauvres peuvent constituer des obstacles infranchissables.

Les racines recherchent prioritairement les horizons présentant à la fois une bonne richesse minérale (teneur non négligeable en limon ou argile) et une bonne alimentation en eau. Cette alimentation en eau provient en partie de la pluie dans les horizons superficiels. Le climat joue donc un rôle important, suivant qu'il est capable de maintenir ou non un niveau d'humidité dans le corps de digue à la saison de végétation, en conjonction avec la texture plus ou moins drainante des matériaux. L'eau peut aussi provenir de la nappe phréatique et de remontées capillaires. La stabilité de cette nappe et sa profondeur sont donc aussi des critères importants.

Les dimensions variables des digues ajoutent à la complexité du phénomène.

Globalement, les racines dans les digues ne semblent pas capables de se développer dans les horizons de matériaux très grossiers à la fois pauvres et très secs (graviers). Les matériaux sablo-limoneux leur sont par contre très favorables. Les racines sont capables d'exploiter le moindre défaut dans la mise en œuvre des matériaux de la digue. Ainsi une passée sableuse peu cohérente de quelques centimètres d'épaisseur permet à des racines de pénétrer dans un noyau de limon compacté au cœur d'une digue. De même un mauvais recouvrement des passages d'engins de compactage permet aux racines d'exploiter les « failles » verticales de plus faible densité : elles se développent alors en « 2D », aboutissant à des pivots plats pouvant mesurer plus d'un mètre de longueur, et 60 centimètres de largeur dans le sens de la « faille » pour quelques centimètres seulement dans l'autre dimension.

L'accès à la nappe joue un rôle à la fois attractif et bloquant. Les racines se développent préférentiellement vers celle-ci lorsqu'elle est stable. Mais elles cessent de se développer en longueur à proximité de celle-ci, formant des foisonnements très denses de racines de petites dimensions optimisant localement l'alimentation de l'arbre.

Ces études vont se poursuivre sur plusieurs années à l'échelle nationale en France sur un échantillon représentatif de digues, d'espèces végétales et de conditions climatiques. Elles montrent déjà que le risque lié aux racines dépend beaucoup de la structure de la digue. Lorsque les matériaux sont hétérogènes dans le sens transversal ou dans le sens longitudinal, et que cette hétérogénéité est mal connue, l'évaluation et la cartographie du risque sont impossibles.

Des observations similaires peuvent être faites dans les berges de rivières, où la croissance des arbres est liée au substrat et à la proximité de la nappe (*cf.* « Croissance des arbres », page 30).

### Stabilité des berges et talus de digues

Les relations entre la végétation et la stabilité des pentes sont complexes (Mériaux *et al.*, 1999). L'expérience montre que certaines données sont à prendre en compte systématiquement :

- enracinement de la végétation (*cf.* paragraphe précédent) ;

– nature et cohérence des matériaux. Certains matériaux sont cohérents mais sensibles à l'eau (comme les substrats argilo-limoneux), d'autres sont moins cohérents et facilement érodables (substrats à dominante sableuse ou graveleuse). Moins le substrat est cohérent, plus les arbres posent problème même avec des dimensions réduites, en raison des risques de déracinement, et ce d'autant plus que la pente est forte. En se déracinant, les arbres emportent une partie de la berge ou de la digue, ce qui l'affaiblit directement. L'irrégularité de surface qui en résulte peut conduire à une érosion rapide lors des crues à cause du tourbillon qui se crée dans la zone d'arrachage ;

– nature des contraintes. Les arbres posent d'autant plus de problèmes qu'ils sont soumis à des contraintes fortes d'arrachement (crues, vent, inclinaison). Ces contraintes dépendent du type de crues, du climat local et de la morphologie locale du lit du cours d'eau. Dans les régions méditerranéennes, le vent est un facteur particulièrement actif ;

– taille des arbres. Plus les arbres sont grands, plus les contraintes sont fortes en général. Mais dans certains cas, les grands arbres dont le houppier se situe au-dessus du niveau des crues peuvent poser moins de problèmes que des arbres plus petits et entièrement submergés en hautes eaux.

### Embâcles

Les embâcles sont des accumulations temporaires de matériaux divers (bois, plantes, rochers, terre, objets fabriqués par l'homme...) formant des barrages partiels ou totaux à l'écoulement de l'eau. Ils se forment préférentiellement sur des obstacles naturels (rochers, dépôts affleurants de sédiments, arbres penchés...), ou artificiels (ponts, passages busés), et à proximité des berges où ils s'accrochent.

Du point de vue de la sécurité, les embâcles peuvent, lors des crues, provoquer des érosions de berges en déviant le courant. Elles peuvent aussi obstruer des ouvrages de franchissement, provoquant leur submersion ou des débordements. La rupture brusque d'un embâcle de grandes dimensions (débâcle) peut créer une vague, d'autant plus destructrice qu'elle transporte des quantités importantes de matériaux, parfois des arbres entiers. Ce risque est mis en avant par une majorité de gestionnaires pour justifier une part des travaux d'entretien qui sont effectués

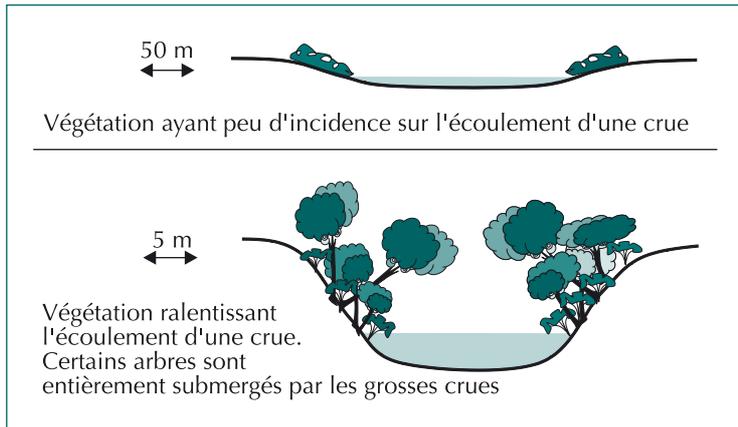
sur la végétation des rivières. Arbres submergés qui peuvent être arrachés et transportés lors des crues, arbres penchés dans le lit faisant office de barrage et d'amorce pour un embâcle, bois morts accumulés sur les berges, plaques de végétation herbacée haute pouvant être arrachées en masse, sont autant de facteurs de risque. Les seuils au-delà desquels le risque devient important dépendent du type de crue, du profil en travers et de la largeur du lit, de la vitesse du courant, des obstacles situés dans le lit et des enjeux situés en aval. Dans certains cas, c'est sur des secteurs du cours naturel en amont du système endigué que des travaux s'imposent pour limiter le risque d'embâcles.

Sur le plan biologique, il est admis que les embâcles créent des niches écologiques variées, qui constituent des sites privilégiés de reproduction, d'abri contre les prédateurs, de repos et de nourrissage pour les animaux aquatiques de tous types. Ils contribuent fortement à l'apport d'éléments nutritifs dans les cours d'eau, par décomposition du bois et des autres débris organiques qui y sont piégés. À ce titre, leur enlèvement et leur prévention doivent être limités au strict nécessaire (Piégay, 2000). Le bois mort est par ailleurs une des sources importantes de la biodiversité animale dans les écosystèmes boisés (Vallauri et al., 2002). Son élimination éventuelle doit aussi être réfléchie et limitée. Ce besoin de conserver embâcle et bois mort, fréquemment admis dans les cours d'eau naturels, est d'autant plus grand que les systèmes endigués sont fortement artificialisés et que les habitats terrestres et aquatiques y sont peu variés.

### Problèmes hydrauliques

Le risque hydraulique lié à la végétation dans son ensemble dépend aussi de deux critères de taille de la végétation (figure 2), qui doivent être pris en compte à l'échelle locale et à l'échelle globale du cours d'eau. Il faut y prêter une attention particulière dans les systèmes endigués, où la moindre variation du niveau de l'eau peut être lourde de conséquence.

● Le pourcentage du volume du lit majeur occupé par la végétation : si ce pourcentage est élevé, la végétation va ralentir l'écoulement de l'eau lors des crues, et provoquer localement une élévation du niveau de l'eau. Cet effet peut être favorable lorsqu'on veut protéger des enjeux plus en aval ; mais il est néfaste si on se situe au niveau des enjeux à protéger, car il peut provoquer



▲ Figure 2 – Incidence de la végétation sur l'écoulement d'une crue.

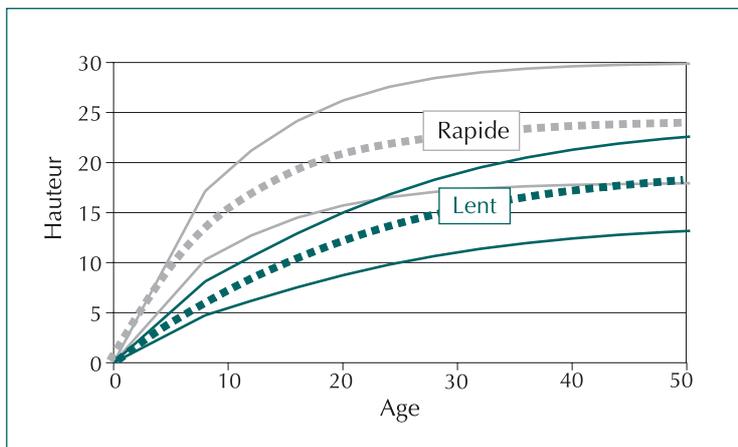
des débordements non souhaités. La rugosité hydraulique de la végétation, liée à sa structure et à son hétérogénéité, est aussi à prendre en compte (Tabacchi *et al.*, 2000).

- Le niveau de submersion des arbres : lors de crues dans les secteurs endigués, il est fréquent que des arbres se trouvent totalement submergés. Le risque d'arrachement est alors maximum si le courant est rapide.

### Surveillance

Sauf exception, les règles de sécurité exigent que les digues toutes entières puissent être à tout moment inspectées visuellement pour détecter précocement les problèmes. Cela implique une végétation basse, de type herbacée, ou dans de rares cas, une végétation arborescente dense éliminant le sous-bois, ou à défaut un entretien très régulier pour éliminer ou clairsemer la végétation arbustive.

▼ Figure 3 – Modèles de croissance en hauteur des arbres de la ripisylve de l'Aude.



## Quelques questions importantes sur la végétation

### La croissance des arbres

La croissance des arbres de la ripisylve est en général très rapide comme le montre la figure 3. À vingt ans, les arbres atteignent ou dépassent fréquemment vingt mètres. Cette croissance dépend en partie de l'espèce, en partie de l'accessibilité de l'eau, mais aussi du régime de crues (Venetier *et al.*, 2001). Elle dépend enfin du substrat, notamment de sa richesse chimique et de sa texture, cette dernière étant très importante pour la disponibilité de l'eau et la pénétration racinaire. Prévoir l'évolution à long terme des peuplements, et la périodicité des coupes d'entretien, exige de bien connaître la croissance des principaux arbres de la ripisylve, et celle des arbustes du sous-bois. La croissance en diamètre étant très dépendante de la densité du peuplement, c'est plutôt la croissance en hauteur à laquelle on s'intéresse pour définir des niveaux de fertilité et la fréquence des coupes.

La figure 3 montre l'exemple de deux modèles de croissance calculés sur les ripisylves du secteur endigué de l'Aude. Dans certains systèmes, des modèles différents sont nécessaires pour chaque espèce. Sur l'Aude, ces modèles s'appliquent à toutes les espèces principales de la ripisylve (peupliers noirs et blancs, saules, frênes, érables). Dans ce cas d'étude, en raison du climat sec et du substrat assez filtrant, la position sur la berge (figure 4) est déterminante pour l'accès à l'eau dans le jeune âge, et détermine le type de modèle de croissance. La croissance peut ainsi varier du simple au double pour une espèce donnée dans les 15 premières années. La différence de hauteur observée dans le jeune âge s'atténue avec le temps : les arbres de haut de berge accèdent tardivement et progressivement aux ressources profondes en eau, tandis que les arbres de milieu de berge, à croissance initiale très rapide atteignent plus vite des limites physiologiques de hauteur (liées à l'espèce), et se trouvent confrontés lorsqu'ils sont grands aux limites imposées par la violence et la fréquence du vent (tramontane) : rupture de branches, dessèchement, inclinaison progressive et déracinement partiel. Les arbres situés en bas de berge, fréquemment noyés par les crues, très exposés au vent et blessés par le frottement d'embâcles, ont une croissance très irrégulière, intermédiaire en général entre les deux situations précédentes.

Ces modèles servent ensuite à prédire la croissance future d'arbres jeunes, ou à reconstituer la croissance passée d'arbres anciens. La hauteur d'une espèce à un âge donné étant surtout liée à la fertilité du site où il pousse (incluant la disponibilité en eau), l'opération permet de comparer la fertilité de différents sites entre eux à partir de simples mesures d'âge et de hauteur d'arbres.

Chaque espèce possède par ailleurs une vitesse potentielle maximale de croissance en hauteur (figure 4) et une hauteur maximale possible dans un milieu donné, qui déterminent ensemble sa position relative dans le faisceau du modèle de croissance qui s'applique.

### La dynamique de régénération des peuplements

#### LA RÉGÉNÉRATION NATURELLE

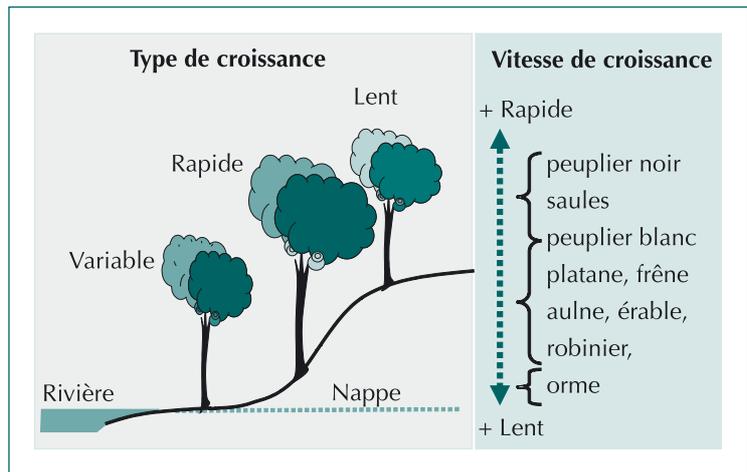
Optimiser la gestion d'une végétation d'un système endigué implique de bien comprendre sa dynamique naturelle.

Dans certains systèmes, à cause de la grande hauteur d'eau lors des crues et de la violence du courant, des frottements par les embâcles ou entre des arbres proches provoquent fréquemment des blessures sur les troncs. Ces blessures se transforment vite en pourritures dans les bois peu résistants des espèces de ripisylves, et dans l'ambiance humide du cours d'eau. Ces pourritures affaiblissent les troncs et les grosses branches qui cassent ensuite facilement lors de coups de vent ou des crues suivantes. Le vent peut casser des branches et des cimes même en absence de pourriture, et incliner fortement les arbres. En cassant ou en s'inclinant, les arbres blessent souvent leurs voisins et le cycle se reproduit :

blessures → pourritures → chute → blessures → etc.

Nous avons ainsi montré que sur 600 arbres représentatifs de la végétation riveraine de l'Aude, près du tiers présentait un état sanitaire défectueux à cause de blessures sur le tronc, ce taux montant à plus 60 % en bas de berges (Vennetier et al, 2001).

Le cycle est d'autant plus rapide que les crues sont fréquentes et que le vent est fort. Le vent est en région méditerranéenne, un des éléments importants de la dynamique des ripisylves, en lien avec les crues. C'est ainsi que dans les ripisylves de l'Aude, un quart des arbres dominants présentait des bris de grosses branches ou de cimes et un



autre quart était incliné, parfois fortement, dans le sens du vent dominant. Un tiers des arbres était aussi incliné, dont 20 % fortement, en direction de la rivière, les arbres de pied de berge étant les plus nombreux dans ce cas. Les chutes d'arbres ou de parties d'arbres contribuent à l'ouverture permanente du couvert, et donc à la régénération des espèces de lumière comme peupliers et saules, dont les bois sont légers et fragiles. Il y a en partie auto-entretien du système.

▲ Figure 4 – Vitesse de croissance en hauteur en fonction de l'espèce et de la position sur berge. Cas de l'Aude (cf. figure 3).

Dans d'autres systèmes aux crues moins violentes, le cycle de reproduction est plus long et dépend beaucoup à l'heure actuelle des interventions humaines. En absence d'intervention, et en raison de la relative stabilité des lits endigués, la dynamique naturelle élimine progressivement les espèces héliophiles qui ne peuvent se reproduire sous elles-mêmes et favorise les espèces à bois dur qui se régénèrent sous couvert.

#### DIRIGER ET UTILISER LA DYNAMIQUE NATURELLE

Bien connaître la dynamique naturelle du système permet de limiter la fréquence et l'impact des entretiens de la végétation, et donc de diminuer sensiblement le coût de ces travaux.

Un exemple peut être donné sur les cours d'eau où la coupe des grands arbres est imposée par la sécurité des ouvrages hydrauliques. En réalisant des coupes régulières et totales sur des surfaces parfois importantes et des entretiens qui détruisent le sous-étage (ce qui est une pratique courante), on perpétue la structure actuelle de la végétation en favorisant les espèces à croissance rapide et bois tendre comme les peupliers et les saules : il faut donc repasser souvent. Or on constate sou-

vent la régénération en sous-bois de plusieurs espèces à bois plus dur et résistant, comme les ormes, frênes, érables. Ces espèces ont une croissance globalement plus lente et peuvent en partie se régénérer sous couvert, ce qui n'est pas le cas des peupliers et saules qui exigent la pleine lumière. Une gestion plus prudente limitant la coupe des arbres au strict nécessaire pour la sécurité et épargnant le sous-bois favoriserait les espèces à croissance plus lente, plus résistantes aussi au vent et aux pourritures : on limiterait ainsi à terme la fréquence et le coût des entretiens. Cette gestion prudente peut aussi limiter la prolifération de plantes envahissantes comme la renouée du Japon (*Fallopia japonica*), le buddleia (*Buddleia variabilis*) ou les solidages (*Solidago sp.*), toutes héliophiles, qui profitent des ouvertures et perturbations pour s'installer en masse. Capable de former des tapis hauts et très denses, ces invasives constituent une menace sérieuse pour la biodiversité. Leur vigueur oblige à des entretiens très fréquents lorsqu'elles se situent en talus de digue ou dans des lits étroits.

#### LES ARBRES MORTS

On reproche principalement aux arbres morts d'être générateurs potentiels d'embâcles : soit en étant arrachés d'un bloc par les crues, soit à cause des morceaux tombés au sol et qui peuvent être mobilisés par les crues et alimenter des embâcles existants.

Les observations que nous avons réalisées sur différentes ripisylves méditerranéennes montrent que la plupart du temps, ces arbres morts tombent en morceaux de petite taille, de quelques dizaines de centimètres à un ou deux mètres, en quelques années seulement après leur mort. Cette fragmentation est réalisée par les champignons et les insectes lignivores. À ce titre, les arbres morts représentent des pôles très importants de la biodiversité : pour les champignons, pour les insectes, pour l'ensemble des prédateurs de ces derniers (oiseaux, micro-mammifères) et pour les oiseaux cavernicoles.

L'abattage des arbres morts est une des opérations les plus dangereuses et les plus coûteuses des entretiens de ripisylves. Leur élimination n'est souvent nécessaire qu'à proximité immédiate de la berge, lorsqu'ils risquent de tomber directement dans la rivière ou d'être emportés par le courant. Une végétation arborée suffisamment dense retient les fragments de grande taille sur les berges et le ségonnal. Conserver les arbres

morts non dangereux, en respectant des consignes propres à chaque situation, permet donc de réduire sensiblement les coûts d'entretien tout en accroissant la richesse biologique du système.

#### Le génie végétal

Souvent utilisé pour reconstituer une végétation sur berge ou talus de digue après catastrophe ou travaux (Lachat, 1994), le génie végétal propose des solutions alternatives et souvent moins coûteuses aux travaux de génie civil (enrochements, soutènement) quand ceux-ci ne sont pas imposés par la sécurité des ouvrages, ou par des contraintes hydrauliques. La végétalisation artificielle permet par le choix des espèces de déterminer d'avance les dimensions et la croissance de la végétation, et donc de programmer et minimiser son entretien. Sur ou à proximité des digues, il faut veiller à ce que le défaut d'entretien ne conduise pas au développement d'arbres. Bien qu'applicables sur de nombreux cours d'eau, ces techniques sont particulièrement intéressantes en système endigué quand il faut s'adapter aux contraintes hydrauliques et freiner au minimum l'écoulement de l'eau, sans artificialiser totalement le lit.

#### Exemple d'application

La figure 5 montre un exemple d'adaptation de la structure de végétation au profil de berge sur le secteur endigué du Vidourle (Vennetier *et al.*, 1998). Dans ces structures, plusieurs types de végétation sont juxtaposés en bandes longitudinales : végétation herbacée sur les digues, végétation arbustive dense en limite de digue, végétation arborée haute avec sous-étage lorsqu'on est en présence d'un ségonnal large et plat ou de berges larges et en pente douce, végétation arborée de hauteur moyenne sur les berges de pente moyenne avec un sous-étage dense, taillis maintenu dense et bas sur les berges les plus raides et, dans tous les cas, tout en bas de la berge qui est la partie la plus sollicitée par les crues. La densité du sous-bois peut être adaptée aux contraintes hydrauliques locales : plus dense lorsque le lit est large, moins dense lorsque le lit est étroit et qu'on veut limiter la rugosité hydraulique du peuplement.

La juxtaposition de types et structures de végétation très différents multiplie les niches écologiques pour des animaux et végétaux, et accroît les longueurs de lisières dont on sait qu'elles sont les zones les plus riches de biodiversité.

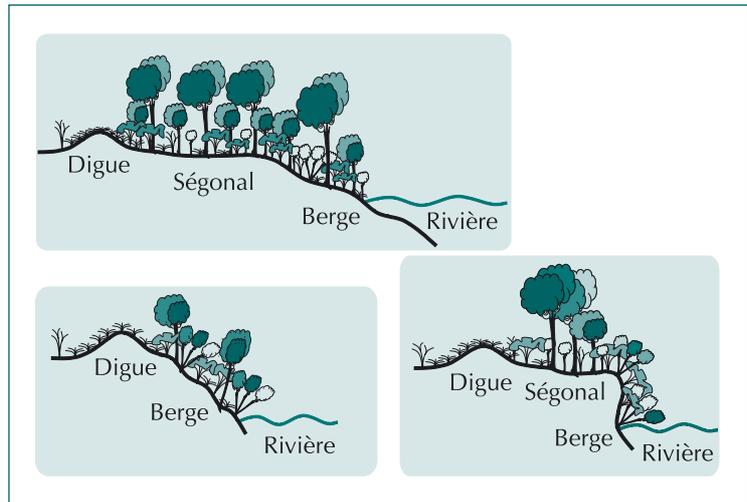
Les profils de berge variant le long du cours d'eau, une variabilité longitudinale s'ajoute à la variabilité transversale

La gestion de ce type de végétation doit être intensive, car le Vidourle est un des fleuves les plus capricieux de la zone méditerranéenne française. Des limites de taille (en diamètre et hauteur) sont imposées aux arbres, ce qui oblige à passer tous les 7 à 8 ans pour couper les plus grands. Ces travaux peuvent être organisés dans l'espace pour éviter les coupes de grande ampleur d'un seul tenant. Le traitement des secteurs à tour de rôle dans le temps, avec une rotation régulière des coupes, provoque aussi la création d'une mosaïque de parcelles d'âge différent, qui accroît la diversité des peuplements et des lisières et contribue à la richesse biologique malgré l'intensité des travaux. Les choix de dates de travaux peuvent tenir compte des périodes de reproduction et de nourrissage des animaux et de floraison d'espèces mellifères. L'abattage sélectif des arbres peut privilégier les espèces à croissance lente. Des arbres morts peuvent être conservés dans les zones où le ségonnal est large. Cet exemple montre qu'il est possible de concilier une gestion intensive et relativement destructive (coupes fréquentes et massives) avec une diversité paysagère forte, qui induit une grande richesse biologique.

### Conclusion : l'ingénierie écologique ou comment façonner une nature sur mesure mais écologiquement fonctionnelle

La gestion de la végétation des cours d'eau posant des problèmes de sécurité ne peut pas être standardisée, même s'il existe quelques règles générales : chaque cas est particulier et doit faire l'objet d'une étude approfondie tenant compte de l'ensemble des contraintes hydrauliques, biologiques et socio-économiques énumérées dans les paragraphes précédents. Le produit final comprend :

- la détermination d'une structure de végétation la plus appropriée à chaque partie de berge et digue. Cette structure peut varier dans l'espace en fonction des changements de substrat, de profil de berge, de largeur et de direction du lit, de variations dans l'importance et la localisation



des enjeux économiques protégés ou des enjeux sociaux, de la présence d'espèces rares ou d'écosystèmes particuliers, etc.

- un plan de gestion qui permet à moindre coût d'obtenir cette structure optimale de végétation puis de la maintenir sur le long terme, en régularisant les travaux et les coûts dans le temps.

Concrètement, il s'agit de façonner l'écosystème pour qu'il réponde à une série de critères de nature physique (dimensions, rugosité hydraulique, structure verticale et horizontale...) pour assurer la sécurité des ouvrages de protection. Il s'agit là de véritable ingénierie, d'autant que dans certains cas, l'ensemble du système (berges, digues, lit du cours d'eau et végétation) est façonné simultanément dans un objectif hydraulique.

Mais on joue, pour la végétation, avec un matériau biologique réactif, dont l'évolution est très rapide, dont la dynamique propre doit être à la fois bien comprise et maîtrisée pour en tirer parti au moindre coût. Il faut comprendre et intégrer les autres éléments de l'écosystème (sols, climat, faune). Et on cherche simultanément à préserver au mieux les fonctions écologiques et sociales de cet écosystème artificialisé, notamment la biodiversité. Il s'agit parfois de reconstituer de toutes pièces un écosystème à partir d'un milieu fortement dégradé.

C'est dans ce contexte que nous situons nos travaux dans l'ingénierie écologique. □

▲ Figure 5 – Exemple de structures de végétation adaptées à différents profils de berges et digues.

### Résumé

Cet article précise le contexte des travaux portant sur la gestion de la végétation riveraine des cours d'eau endigués. Il fait un bilan des contraintes à prendre en compte et explique la finalité des travaux en cours au Cemagref, en les illustrant par quelques exemples et en les situant par rapport au concept d'ingénierie écologique. La conception de cette gestion associe des connaissances scientifiques relevant de l'écologie, une expertise sur les problèmes relevant de l'ingénierie (sécurité des ouvrages hydrauliques d'une part, aménagement d'espaces naturels et forestiers d'autre part), et enfin une connaissance des enjeux économiques, sociaux et culturels attachés aux systèmes étudiés.

### Abstract

This paper deals with the management of riparian and dikes vegetation with the constraints of high flood risk. Constrains and concerns of this management, illustrated by a few examples, are reviewed and explained in the context of ecological engineering. Designing specific management plans requires gathering skills in the fields of ecology, civil engineering, natural area development and socio-economics.

### Bibliographie

- ANDERSON, N.-H. ; SEDELL J.-R., 1979, Detritus processing by macroinvertebrates in stream ecosystems, *Ann. Rev. Entomology*, 24, p. 351-377.
- ASPE, C., 2003, Usages sociaux de la ripisylve ou quand la marge rejoint la norme, *Forêt Méditerranéenne*, vol. XXIV, n° 3, p. 283-288.
- CHANDIOUX, O. ; RIPERT, C. ; VENNETIER, M. ; ESTÈVE, R., 2003, *Étude de la végétation des digues du Rhône. Première partie : étude des systèmes racinaires*, Cemagref, Aix en Provence, 10 p.
- COMBE, P.-M., 2003, Intérêt économique de la ripisylve, in *Les forêts riveraines des cours d'eau. Écologie, fonctions et gestion*, PIÉGAY H. ; PAUTO, G. ; RUFFINONI, C., 2003, Institut pour le Développement Forestier, Paris, p. 330-351.
- CROOK, D.-A. ; ROBERTSON, A.-I., 1999, Relationships between riverine fish and woody debris: Implications for lowland rivers, *Marine and Freshwater Research*, 50 (8), p. 941-953.
- DOIRAT, G., 2003, *Mise en place d'un plan de gestion de la végétation, dans un but sécuritaire, des digues de l'Isère*, Cemagref, ENGREF, Aix-en-Provence, 168 p.
- DOSSKEY, M.-G., 2001, Toward quantifying water pollution abatement in response to installing buffers on crop land, *Environmental Management*, 28 (5), p. 577-598.
- DUPUIS TATE, M.-F. ; FISCHER, B. ; CHATEAUVIEUX, M., 2003, *Prise en compte des valeurs qualitatives relatives au paysage dans l'aménagement et la gestion des « Rivières-vallées ». Analyse critique de retours d'expériences d'études paysagères expérimentales réalisées sur des zones ateliers dans les systèmes de vallées fluviales. Les cas de la vallée de l'Ubaye (Alpes de Haute-Provence) et du Bassin de l'Ardèche*, Cemagref, Grenoble, 63 p.
- EGLISHAW, H.-J., 1964, The distributional relationship between the bottom fauna and plant detritus in streams, *Journal of Animal Ecology*, 33, p. 463-476.
- GIREL, J. ; MANNEVILLE, O., 1998, Present species richness of plant communities in alpine stream corridors in relation to historical management, *Biological Conservation*, 85, p. 21-33.
- LACHAT, B., 1994, *Guide de protection des berges et cours d'eau en techniques végétales*, ministère de l'Environnement, DIREN Rhône-Alpes, 143 p.

MÉRIAUX, P. ; ROYET, P. ; FOLTON, C., 2001, réédité en 2004, *Surveillance, entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations : guide pratique à l'usage des propriétaires et des gestionnaires – Monitoring, maintenance and diagnosis of dikes: a practical guide for owners and managers*, Cemagref Éditions, Antony, 191 p.

MÉRIAUX, P. ; VENNETIER, M. ; LYON, G., 1999, *Diagnostic study of mediterranean coastal river flood embankments: the Vidourle river*, II<sup>nd</sup> International Conference on «Safety and durability of hydraulic structures» organized by the Institute of Environmental Engineering in Wroclaw, Kamien Slaski (Poland) 3-5 novembre 1999, 10 p.

MÉRIAUX, P. ; WOLFF, M. ; FOLTON, C. 2003, Recensement national des digues de protection contre les inondations. État d'avancement de l'opération, premiers résultats et perspectives, *Ingénieries-EAT*, n° spécial Risques naturels et aménagement du territoire, p. 113-126.

MICHELOT, J.-L., 1997, *Atlas des sites d'intérêt écologique d'Ampuis à St Rambert d'Albon*, CNR, Lyon, 72 p.

NAIMAN, R.-J. ; DECAMPS, H. ; POLLOCK, M., 1993, The Role of Riparian Corridors in Maintaining Regional Biodiversity, *Ecological Applications*, vol. 3, n° 2, p. 209-212.

O'CONNORS, N.-A., 1991, The effects of habitat complexity on the macroinvertebrates colonizing wood substrates in a lowland stream, *Oecologia*, 85, p. 504-512.

PIÉGAY, H., 2000, Le bois mort en rivière. Faut-il toujours l'enlever ?, *Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, vol. 86, p. 97-107.

PIÉGAY, H. ; PAUTO, G. ; RUFFINONI, C., 2003, *Les forêts riveraines des cours d'eau. Écologie, fonctions et gestion*, Institut pour le Développement Forestier, Paris 464 p.

QIU, Z.-Y., 2003, AVSA-based strategy for placing conservation buffers in agricultural watersheds, *Environmental Management*, vol. 32, n° 3, p. 299-311.

RIPERT, C. ; DOIRAT, G. 2003, *Étude du plan de gestion de la végétation arborée des digues de l'Isère*, Cemagref, Aix-en-Provence, 76 p.

RUTHERFORD, J.-C. ; BLACKETT, S. ; BLACKETT, C. ; SAITO, L. ; DAVIES-COLLEY, R.-J., 1997, Predicting the effects of shade on water temperature in small streams, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 31, p. 707-721.

SHIRVELL, C.S., 1990, Role of Instream rootwads as juvenile Coho Salmon (*Onchorhynchus kisutch*) and Steelhead trout (*O. mykiss*) cover habitat under varying streamflows. *Canadian Journal of Fishery and Aquatic Sciences*, 47, p. 852-861.

TABACCHI, E. ; LAMBS, L. ; GUILLOY, H. ; PLANTY-TABACCHI, A.-M. ; MULLER, E. ; DECAMPS, H., 2000, Impacts of riparian vegetation on hydrological processes, *Hydrological Processes*, vol. 14, n° 16-17, p. 2959-2976.

TICKNER, D.-P. ; ANGOLD, P.-G. ; GURNELL, A.-M. ; MOUNTFORD, J.-O., 2001, Riparian plant invasions: Hydrogeomorphological control and ecological impacts, *Progress in Physical Geography*, 25 (1), p. 22-52.

VALLAURI, D. ; ANDRÉ, J. ; BLONDEL, J., 2002, *Le bois mort, un attribut vital de la biodiversité de la forêt naturelle, une lacune des forêts gérées*, WWF-France, Paris, 34 p.

VENNETIER, M. ; CHANDIOUX, O. ; ESTÈVE, R., 1998, *Diagnostic de la végétation des digues du Vidourle*, Cemagref, Aix-en-Provence, 29 p.

VENNETIER, M. ; ALIBERT, N. ; BAILLON, S., 2001, *Diagnostic de la végétation des digues des basses plaines de l'Aude*, Cemagref, Aix en Provence, 26 p.

VENNETIER, M. ; CHANDIOUX, O. ; RIPERT, C. ; MÉRIAUX, P., 2004, *Diagnostic et gestion de la végétation sur et dans l'environnement des digues*, Colloque Sécurité des digues fluviales et de navigation, Orléans 25-26 nov. 2004, Comité français des grands barrages, ministère de l'Environnement et du Développement durable, France, Cemagref Éditions, p. 551-567.

WARD, J.-V. ; TOCKNER, K. ; ARSCOTT, D.-B. ; CLARET, C., 2002, Riverine landscape diversity, *Freshwater Biology*, vol. 47, n° 4, p. 517-539.

WILCOCK, R.-J. ; SCARSBROOK, M.-R. ; COSTLEY, K.-J. ; NAGELS, J.-W., 2002, Controlled release experiments to determine the effects of shade and plants on nutrient retention in a lowland stream, *Hydrobiologia*, 485, p. 153-162.