

Bases de la gestion de la végétation des berges et digues sous contrainte de sécurité

par Michel VENNETIER, Olivier CHANDIOUX,
Christian RIPERT et Roland ESTEVE

**Nous avons choisi de placer
cette intervention du Cemagref
dans la partie "Ecologie
de la ripisylve", car elle est
un bon exemple de l'intégration
des données de l'écologie
dans l'aménagement.
Elle traite plus particulièrement
des secteurs endigués
et des peuplements des digues, où
d'une part les enjeux de sécurité
sont prioritaires, et d'autre part
une connaissance de base
du milieu est primordiale
à l'établissement d'un plan
de gestion à long terme.**

Contexte

Dans le débat sur les ripisylves, une question soulève fréquemment des polémiques : faut-il les gérer comme d'autres peuplements forestiers, les aménager comme d'autres milieux naturels soumis à une forte pression de l'homme, ou leur laisser un maximum de naturalité ? Les enjeux sont majoritairement écologiques, en raison de la richesse biologique de ces milieux, de leur relative rareté, et des fortes pressions qui s'exercent sur eux et en réduisent régulièrement les surfaces.

Mais la question se pose différemment quand on s'intéresse à des ripisylves de secteurs endigués et à des peuplements sur digues. En France en effet, de nombreux cours d'eau de toutes tailles sont endigués, et protègent des enjeux considérables : zones urbaines, industrielles ou agricoles. Quelle que soit la qualité des ouvrages, les risques d'inondations ne sont jamais totalement éliminés, comme l'ont rappelé les dramatiques événements de ces dernières années. Dans ces secteurs, on ne peut pas abandonner la végétation à elle-même, ni même la contrôler sommairement en lui conservant un aspect naturel ; les risques d'embâcles ou de rupture de digue étant trop grand, la sécurité des ouvrages et des personnes conduit le plus souvent à des interven-



Photo 1 :
Travaux de génie végétal sur les berges du Vidourle (Hérault)
Photo D.A.

tions vigoureuses de coupe et d'entretien. Mais par ailleurs, les rôles de protection que joue cette végétation vis-à-vis des berges et digues impose de ne pas la supprimer, et même dans beaucoup de cas, de lui redonner une place plus importante qu'actuellement dans les systèmes trop artificialisés.

Le Cemagref d'Aix-en-Provence est fréquemment sollicité, avec des partenaires comme les CETE¹, pour des expertises de systèmes de digues, trop souvent après les catastrophes, plus rarement en anticipation de celles-ci. L'expertise comprend un volet de génie civil et de géotechniques, réalisé par l'équipe "sécurité des ouvrages hydrauliques"

1 - CETE : Centre d'études techniques de l'équipement

pour l'expertise du corps des digues et des berges, un volet hydraulique, et un volet biologique pour l'expertise de la végétation. Les équipes chargées de ces opérations travaillent ensemble. Leur objectif est de trouver un compromis entre la sécurité des ouvrages, qui est toujours prioritaire, et une optimisation des fonctions écologiques et sociales de la végétation. Les mêmes enjeux apparaissent hors des systèmes endigués chaque fois que les cours d'eau, plus ou moins encaissés, sont soumis à des crues régulières ou au risque de crues exceptionnelles ; les berges de ces cours d'eau encaissés sont alors soumis, au regard de la végétation, aux mêmes contraintes que les secteurs endigués.

Une bonne gestion de la végétation ne peut pas s'envisager sans une planification. Les gestionnaires des systèmes de digues demandent donc souvent, en plus de l'expertise, une étude proposant les bases d'un plan de gestion à long terme, et parfois un plan de gestion finalisé. L'expression "à long terme" est en rapport avec le cycle des arbres de ripisylves : les plans de gestion proposent un planning précis de travaux sur 10 ans et une trame d'objectifs et d'évolution portant sur une durée de 20 ans.

Questions de base

Avoir une 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, quelles sont leur fertilité et leur variabilité ? à quelle vitesse poussent les arbres ? quelle est leur durée de survie ? comment les peuplements s'organisent-ils et 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, débroussaillements, ...) ?

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 existant sur les digues résout-il le problème ? Les arbres ont-ils un rôle stabilisant ou au contraire favorisent-il l'instabilité des berges et talus de digues ?

Toutes ces questions n'ont pas de réponse unique, car les réponses doivent être modulées en fonction d'une part des caractéristiques physiques de chaque rivière (nature du substrat, profils des berges, largeur du lit, débits moyens et débits de crues, fréquence des crues, hauteurs d'eau lors des crues, rapidité du courant, etc...) et d'autre part en fonction de l'environnement humain et des enjeux à protéger. Ainsi, 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 "Sevezo".

Dans la région méditerranéenne, le climat détermine des crues fréquentes, d'une violence et d'une ampleur relative inconnue dans le reste de la France. Ces crues sont par contre généralement de courte durée. Le traitement de la végétation doit être adapté à ces conditions particulières. Par exemple, la crue centennale du Vidourle dépasse 2000 m³/s alors que celle de l'Isère, dont le bassin versant est beaucoup plus grand, n'est que de 900 m³/s. Le débit moyen de l'Isère est par contre beaucoup plus important que celui du Vidourle. Alors que les pics des crues méditerranéennes dépassent rarement quelques heures, et exceptionnellement un jour, ceux des fleuves du nord de la France durent fréquemment un à plusieurs jours et peuvent dépasser une semaine.

Enfin dans la mesure où une gestion plus ou moins intensive de la végétation est nécessaire, il faut concilier un maximum d'objectifs (de sécurité, de biodiversité, d'accueil, ...) tout en limitant la fréquence et le coût des travaux pour que les propositions soient économiquement et socialement acceptables.

Une pression sociale forte et contradictoire

La gestion actuelle de la végétation des cours d'eaux «à risque» varie de l'abandon total depuis 40 ans et plus, jusqu'au broyage annuel de toute la végétation au ras du sol, avec tous les modes intermédiaires.

La pression sociale est à la mesure des enjeux contradictoires de sécurité d'une part, de recherche d'une qualité du cadre de vie d'autre part.

Le degré de naturalité initiale d'un secteur influence fortement le niveau d'artificialisation qui peut être accepté par la population de la part d'un plan de gestion : une végétation herbacée ponctuée d'arbres isolés, qui peut être imposée par des questions de sécurité, sera acceptée comme un progrès considérable et de naturalité avancée si l'on part d'un aménagement récent totalement artificiel et dénudé, alors que la même végétation obtenue à partir d'un secteur de digues anciennes densément boisées sera considérée comme une dégradation inacceptable du milieu et du cadre de vie, et ceci indépendamment du degré de sécurité réclamé par les riverains. En milieu urbain et périurbain, où les ripisylves comptent souvent parmi les rares espaces verts publics, les fonctions paysagères et d'accueil peuvent être primordiales et entrer en concurrence avec les exigences de sécurité. La végétation pourtant très artificialisée peut y être interprétée comme un havre de nature sauvage et de biodiversité. Autant et parfois plus que dans d'autres espaces naturels sensibles, l'analyse et la prise en compte des pressions sociales est nécessaire pour qu'un plan de gestion soit appliqué avec succès, quelles que soient ses qualités techniques et ses justifications pratiques.

Un milieu très favorable à la végétation

Le milieu naturel des secteurs endigués est en moyenne très favorable à la végétation, car il bénéficie à la fois d'eau en abondance et de sols fertiles et profonds. Ces conditions permettent le développement d'un écosystème dynamique et riche.

Les arbres y ont une croissance très rapide et la production totale de biomasse par m² est très supérieure à la production de peuplements forestiers ou agricoles voisins. Le différentiel est d'autant plus prononcé lorsqu'on se trouve en zone méditerranéenne, où la production des forêts est faible à cause de la sécheresse d'été, et où la longue saison de végétation favorise au contraire la croissance

des milieux riches en eau. Ces caractéristiques rendent la gestion de cette végétation peu aisée, car les temps de retour après entretien ou coupes sont très courts.

Exceptionnellement, certaines digues de grandes dimensions peuvent se révéler peu fertiles si les matériaux sont perméables, car elles se dessèchent facilement en profondeur par drainage. On obtient alors des écosystèmes artificiels, n'ayant pas d'équivalent dans la nature, qui sont originaux et peuvent avoir un intérêt écologique (communautés spécifiques, maintien d'espèces rares).

Quelques points clef pour la sécurité

Digues et racines

Une question prioritaire, et pour l'instant non résolue, est la pénétration des racines des arbres dans les digues.

Ces racines peuvent faciliter, surtout lorsqu'elles sont mortes, la création de canaux internes dans les digues (renards hydrauliques). Lorsque ces derniers arrivent à traverser une digue de part en part, ils peuvent en quelques minutes provoquer sa destruction totale par érosion interne lors d'une crue.

De plus, les arbres peuvent provoquer des affaissements de berges et des brèches dans les digues lorsqu'ils sont déracinés par le vent ou le courant. Ces déracinements sont d'autant plus faciles que lors des crues le corps des digues et le sol des berges sont gorgés d'eau et perdent leur cohérence.

Mais par ailleurs, les racines peuvent assurer une certaine stabilité aux talus de pente forte, et lutter efficacement contre l'érosion superficielle, autre facteur de destruction.

La pénétration racinaire dans les digues dépend des qualités physiques et chimiques du substrat, de la position d'éventuelles nappes d'eau ainsi que des espèces d'arbres. Il n'existe à ce jour aucune étude d'envergure sur le sujet permettant de donner des consignes, et les observations existantes sont toujours ponctuelles et imprécises. Le Cemagref démarre en 2003 des études détaillées sur ce problème ; mais les besoins portent sur une étude générale sur un

échantillon représentatif de digues, d'espèces et de conditions climatiques à l'échelle de la France au moins et si possible de l'Europe, et qui ne pourra être réalisée que sur un grand nombre d'années.

En attendant, la règle actuelle consiste à interdire les arbres sur les digues chaque fois que cela est possible, à en limiter progressivement le nombre au cours du temps lorsque des peuplements existent. Lorsqu'on ne peut pas ou ne veut pas les éliminer, il faut les recéper régulièrement pour éviter qu'ils atteignent une grande hauteur.

Stabilité des berges et talus de digues

Les relations entre la végétation et la stabilité des pentes sont complexes. Nous ne traitons pas ici de ce problème et rappelons simplement quelques données à prendre en compte systématiquement :

- **Type d'enracinement de l'espèce :** l'enracinement des arbres est sous dépendance à la fois de la génétique et du milieu. Chaque espèce a tendance à développer une structure de racine particulière : traçante, pivotante, mixte, etc. Mais les racines se développent aussi beaucoup en fonction de l'accessibilité des ressources en eau et en substances nutritives, et en fonction des contraintes de croissance qu'elles rencontrent : obstacles physiques (roche, horizons compacts ou asphyxiants, nappes d'eau, horizons pauvres, ...). Il n'y a donc pas de règle absolue en la matière.

- **Nature et cohérence des matériaux :** certains matériaux sont naturellement stables et cohérent (comme les substrats argilo-limoneux), d'autres sont moins cohérents et facilement instables (substrats à dominante sableuse ou graveleuse). Moins le substrat est cohérent, plus les arbres auront tendance à poser problème même avec des dimensions réduites, et ce d'autant plus que la pente sera forte.

- **Nature des contraintes :** les arbres poseront d'autant plus de problèmes qu'ils seront soumis à des contraintes fortes d'arrachement (crues, vent, inclinaison). Ces contraintes dépendent du climat local, du type de crue, de la morphologie locale du lit du cours d'eau, etc.

- **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.

Risques d'embâcles

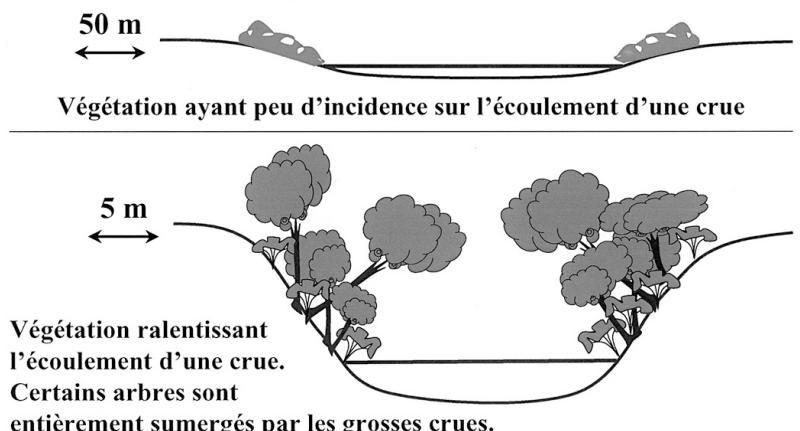
Ces risques sont liés en partie à la végétation : arbres vivants ou bois morts accumulés sur les berges et qui peuvent être arrachés et transportés lors des crues, arbres penchés dans le lit et faisant office de barrage, plaques de végétation herbacée (canne de Provence), pouvant être arrachés en masse, etc... Il est toujours difficile de définir des seuils au delà desquels le risque devient important, car ces seuils dépendent là encore du type de crue, du profil en travers et de la largeur du lit, et des enjeux situés en aval. Ce risque est mis en avant pour justifier une part importante des travaux d'entretien qui sont effectués sur la végétation des rivières.

Problèmes hydrauliques

Le risque lié à la végétation dans son ensemble dépend aussi de deux critères de taille de la végétation (Cf. Fig. 1), qui doivent être pris en compte à l'échelle locale et à l'échelle globale du cours d'eau.

- 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 la crue. Cet effet peut être favorable et recherché lorsqu'on veut protéger des enjeux plus en aval ; on retient alors la crue et on peut éventuellement faire déborder le cours d'eau dans des zones sans enjeux. Par contre le même effet peut être désastreux si on se situe au niveau ou en aval des enjeux à protéger, car l'élévation du niveau de l'eau peut conduire à des débordements non souhaités.

- Le niveau de submersion des arbres : lors de crues dans les secteurs endigués, il est fréquent que des arbres se trouvent totalement submergés. Outre le frein à l'écoulement de l'eau qui s'accroît, le risque d'arrachement est maximum si le courant est rapide.



Surveillance

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

Fig. 1 :
Végétation
et écoulement
de l'eau

Fonctions de la végétation

Les peuplements des secteurs endigués répondent à la trilogie classique de tout peuplement forestier : protection, production et accueil. Mais ils présentent des particularités liées à la présence de l'eau.

- Les fonctions de protection, notamment contre l'érosion, sont importantes au vu des enjeux de sécurité.

Ces écosystèmes sont aussi d'une exceptionnelle richesse biologique. Ils 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. La végétation des berges est aussi importante pour la vie aquatique et pour la qualité de l'eau : niches dans les racines au raz de l'eau et dans les embâcles pour la reproduction et le refuge de nombreux animaux aquatiques, dépollution et ombrage limitant l'eau-

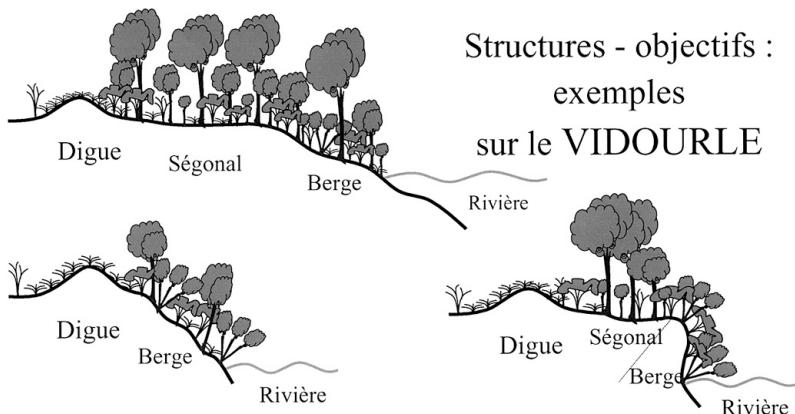


Fig. 2 :
Adapter la structure
de végétation

trophisation, intrants de la chaîne alimentaire aquatique par apport de matières organiques et de substances nutritives, sans compter l'apport de proies dépendant de cette végétation ...

- La production de bois est importante mais le plus souvent non valorisée.
- Enfin, nous avons déjà souligné l'importance des fonctions sociales, notamment dans les secteurs urbains et touristiques.

Il est rarement possible de concilier toutes ces fonctions, et ce d'autant moins que les enjeux de sécurité sont importants. (Nous ne décrirons pas ici ces fonctions, car elles sont développées dans les pages suivantes de ce numéro).

Une gestion adaptée à chaque cas

De l'ensemble des contraintes énumérées dans les paragraphes qui précèdent, et si l'on souhaite tenir compte des fonctions écologiques et sociales de la ripisylve, il ressort que la gestion de la végétation d'un cours d'eau ne peut en aucun cas être standardisée. Bien qu'il soit possible de généraliser certains principes de gestion, et de tirer parti de l'expérience acquise ailleurs, chaque cas est particulier et doit faire l'objet d'une étude approfondie. Les choix doivent être fait en tenant compte de l'ensemble des contraintes, et ils se traduisent en deux types de recommandations :

2 - NDLR Ségonal : banquette horizontale entre la digue et la berge

- 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 d'obtenir à moindre coût cette structure de végétation optimale puis de la maintenir sur le long terme.

Nous montrons dans la figure 2 un exemple de proposition d'adaptation de la structure de végétation au profil de berge sur le secteur endigué du Vidourle. 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 ségonal² large et plat ou de berges larges et de pente douce, végétation arborée de hauteur moyenne sur les berges en pente pas trop forte, 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 présence de ces types de végétation très différents multiplie les niches écologiques pour des animaux et végétaux de toutes sortes, exigeant soit des milieux ouverts soit des milieux fermés. Elle multiplie aussi les types de nourritures et leur disponibilité tout au long de l'année. En favorisant la richesse végétale, elle accroît la richesse animale associée. Enfin, cette juxtaposition de milieux de hauteur et de densité variées crée une multitude 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 assez 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 recéper 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, dans une rotation régulière des coupes, provoque aussi la création d'une mosaïque de parcelles d'âge différent, qui accroît la diversité et contribue à la richesse biologique malgré des travaux assez intensifs.

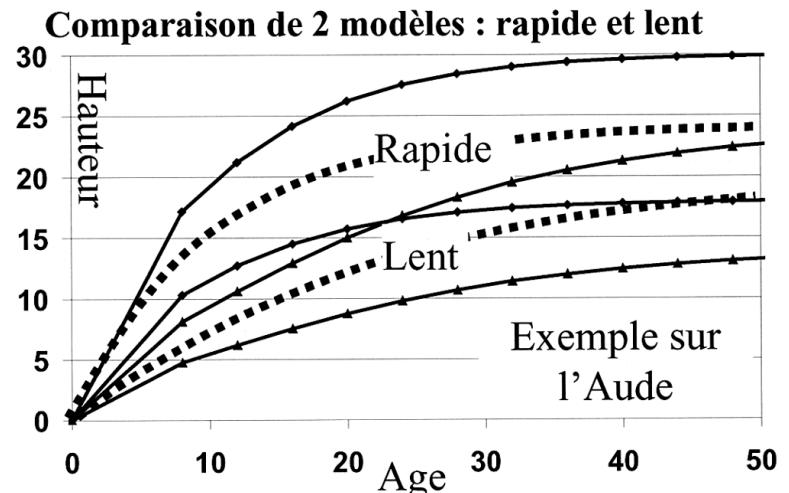
Croissance des arbres

La croissance des arbres de la ripisylve est en général très rapide comme le montre la figure 3. Cette croissance dépend en partie de l'espèce, en partie de l'accessibilité de l'eau, mais aussi du régime de crues (Cf. figure 4). Elle dépend enfin du substrat ; bien que celui-ci soit rarement le facteur limitant (cas de grandes digues filtrantes) la texture plus ou moins perméable joue beaucoup dans la disponibilité en eau et la position des nappes, ainsi que pour les remontées capillaires qui peuvent alimenter les racines très au-dessus du niveau des nappes.

Prévoir l'évolution à long terme des peuplements, et le plan de rotation des coupes d'entretien, exige de bien connaître la croissance des principaux arbres de la ripisylve. La croissance en diamètre étant très dépendante de la densité du peuplement, c'est plutôt à la croissance en diamètre que l'on s'intéresse pour définir des niveaux de fertilité et des vitesses de rotation de coupes. Cette croissance est calculée par différentes méthodes empiriques et scientifiques, qui sont le plus souvent employées simultanément et en complément :

- On peut parfois évaluer la croissance moyenne des arbres en mesurant des sites qui ont été coupés dans le passé et dont on connaît avec précision la date de coupe. En multipliant les mesures sur des coupes plus ou moins anciennes, on finit par avoir une approximation de la vitesse de croissance. Mais cette procédure est lourde, et n'est pas toujours possible. Elle ne peut pas couvrir en général la totalité des variations du milieu naturel.

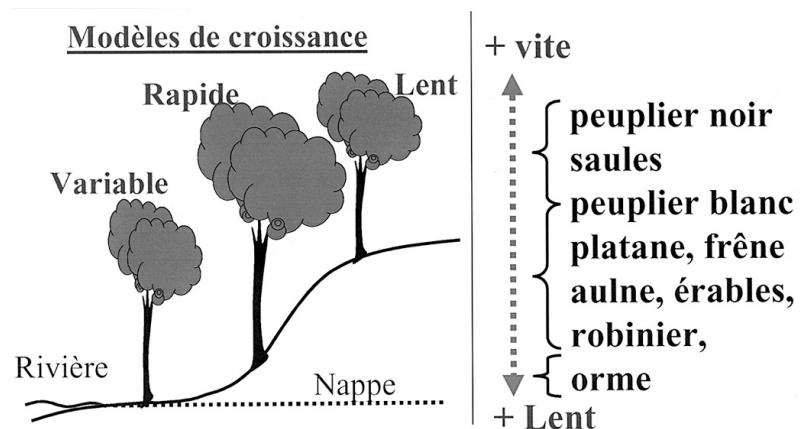
- On peut aussi faire des mesures d'âge et hauteur sur un échantillon représentatif d'arbres vivants dans les sites à étudier. Les âges sont évalués par sondage à la tarière de Pressler qui permet de lire les cernes de croissance. En obtenant une série de mesures âge + hauteur pour des arbres



d'âges différents, on peut reconstituer approximativement la courbe de croissance en hauteur des arbres de chaque espèce. Cette méthode assez rapide donne des bons résultats mais présente des inconvénients : d'une part il est difficile de connaître avec précision l'âge exact des arbres, car on ne peut pas sonder à la souche, d'autre part on ne peut pas mettre en évidence d'éventuels accidents de croissance pour la hauteur. Enfin, si la lecture des cernes de certaines espèces à bois dur est facile (frênes, ormes, érables, platanes) cette lecture est beaucoup plus difficile pour certaines espèces dominantes des ripisylves (peupliers, saules), voire impossible à l'œil nu sur les carottes de

Fig. 3 :
Croissance des arbres
Comparaison de deux modèles : rapide et lent

Fig. 4 :
Croissance des arbres



sondage pour certains aulnes. La lecture nécessite alors des travaux de séchage, ponçage et coloration du bois, et dans les cas extrêmes la photographie aux rayons X qui exige l'intervention d'un laboratoire spécialisé. La courbe de croissance obtenue est une approximation basée sur la moyenne de nombreux arbres d'âge différent dont on ignore si les courbes individuelles de croissance se ressemblent vraiment.

- La méthode la plus fiable, et que nous employons le plus souvent possible, consiste à reconstituer la croissance d'arbres sur toute leur durée de vie par analyse de tige. Cette analyse consiste à :

- * abattre un échantillon représentatif des arbres à étudier,
- * les tronçonner en billons de longueurs variables suivant la vitesse de croissance, l'âge et la précision recherchée (de 50 cm à 2 m),
- * de compter les cernes de croissance au niveau de chaque découpe.

Connaissant le nombre de cernes (donc l'âge) à chaque niveau de hauteur, on peut reconstituer très finement la croissance de l'arbre durant toute sa vie. Cette méthode ne demande pas un trop grand nombre d'arbres, mais n'est pas toujours facile à mettre en œuvre pour des raisons physiques (pentes fortes, peuplements denses), ou humaines (autorisations d'abattage).

Cette méthode permet de mettre en évidence des ruptures de croissance correspondant à des accidents, des formes de courbes de croissance variant beaucoup en fonction des conditions locales, etc.... En combinant les courbes des différents arbres, la modélisation de la croissance par une ou plusieurs équations mathématiques est possible. Ces modèles servent ensuite à prédire la croissance future d'arbres jeunes, ou à calculer la hauteur qu'avaient des arbres vieux quand ils étaient plus jeunes. Ces opérations permettent de comparer objectivement les hauteurs d'arbres d'âges différents en les ramenant tous au même âge de référence. La hauteur d'un arbre à un âge donné (pour une espèce) étant proportionnelle à la fertilité du site où il pousse, l'opération permet de comparer la fertilité de différents sites entre eux à partir de simples mesures d'âge et de hauteur d'arbres.

La figure 3 montre l'exemple de deux modèles de croissance calculés sur les ripi-

sylves du secteur endigué de l'Aude. En fonction de la position sur la berge (Cf. Fig. 4), la croissance peut varier du simple au double pour une espèce donnée dans les 15 premières années. Il arrive que la différence soit plus marquée encore (du simple au quadruple sur les digues du Rhône). La différence de croissance observée dans le jeune âge entre les deux modèles de l'Aude s'atténue avec le temps : les arbres de haut de berge accèdent progressivement aux ressources profondes en eau, tandis que les arbres à croissance initiale très rapide atteignent plus vite des limites physiologiques de hauteur, et se trouvent confrontés lorsqu'ils sont grands aux limites imposées par la violence et la fréquence de la tramontane (rupture de branches, dessèchement, inclinaison progressive et déracinement partiel, ...).

Dynamique de régénération des peuplements

Régénération naturelle

Au cours de l'étude des secteurs endigués de l'Aude, nous avons étudié l'état sanitaire des arbres et tenté de le mettre en rapport avec la survie de ceux-ci et la dynamique des peuplements. Les critères suivants ont été notés : blessures (pertes d'écorce ou entailles plus profondes, rupture de branches ou de la cime ...), pourritures, déracinement partiel ou total par le sapement des berges, déracinement partiel ou total par inclinaison, degré d'inclinaison, attaques de parasites foliaires ou de xylophages, arbres morts sur pied, entiers ou en partie tombés.

Nous avons constaté qu'une majorité des arbres, toutes espèces confondues, présentaient au moins un critère de désordre sanitaire pouvant à terme raccourcir sa durée de vie. Nous avons pu noter que peu d'arbres atteignaient des âges élevés, même dans des secteurs épargnés par les coupes. Même dans les secteurs jeunes (15-20 ans), une proportion importante des arbres présente des dégâts qui limitent leur durée de survie. On peut interpréter ces résultats comme une résultante du fonctionnement de ce système soumis à des crues fortes et répétées et à la tramontane.

Les crues provoquent fréquemment des blessures sur les arbres, à cause des frotte-

ments des embâcles, et des mouvements des arbres dans le courant. 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. La tramontane par elle-même casse fréquemment des branches et des cimes en absence de pourriture. En cassant, les arbres blessent souvent leurs voisins et le cycle reprend : blessures => pourritures => chute => blessures => etc... Le cycle est d'autant plus rapide que les crues sont fréquentes et que le vent est fort.

Mistral et tramontane sont ainsi, en région méditerranéenne, des éléments importants de la dynamique des ripisylves avec les crues.

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.

Bien connaître la dynamique naturelle du système permet de préconiser des modifications des méthodes d'intervention, pour limiter la fréquence et l'importance des entretiens de la végétation, et donc diminuer sensiblement le coût global de l'entretien du système.

En réalisant des coupes à blancs sur des surfaces parfois importantes, et des entretiens qui détruisent le sous-étage, ce qui est une pratique courante actuellement, on perpétue la structure actuelle de la végétation en favorisant les espèces à croissance rapide et bois tendre.

On constate en sous bois naturel la régénération 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 elles-mêmes, ce qui n'est pas le cas des peupliers et saules qui exigent la pleine lumière pour se développer correctement.

Une gestion plus prudente limitant la coupe des arbres au strict nécessaire pour la sécurité et épargnant le sous-bois pourrait favoriser les espèces à croissance plus lente et plus résistantes au vent : on limiterait ainsi à terme la fréquence et le coût des entretiens, et les risques d'embâcles.

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 aller alimenter des embâcles existant.

Nous avons fait des observations sur les arbres morts de toutes tailles dans les ripisylves méditerranéennes, et constaté que la plupart du temps, ces arbres morts tombaient en morceaux de petite taille, de quelques dizaines de cm à 1 ou 2 m, en quelques années seulement. Cette fragmentation est réalisée par les champignons et les insectes lignivores. A 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.

Le danger d'embâcles dépend en grande partie des profils de berge, de la largeur du lit et des types de crues et du type de végétation en place. Dès que la ripisylve est large, les arbres morts qui sont arrachés par les crues s'encrouent dans les arbres en place si le peuplement est assez dense. Ils ne présentent pas de danger particulier, sauf s'ils sont en pied de berge et risquent de tomber directement en entier dans le lit ouvert. Les arbres morts penchés vers le lit en bas de berge sont les seuls qui doivent être éliminés en toute circonstance.

Lorsqu'ils sont tombés en morceaux, les arbres morts peuvent alimenter des embâcles créés par des obstacles importants (arbres entiers, ouvrages trop étroits), mais ne peuvent pas par eux-mêmes être à l'origine d'un barrage. Si la crue est capable d'emporter des arbres vivants entiers, le fait d'avoir gardé quelques arbres morts ne change pas le résultat.

Il faut bien entendu moduler ce raisonnement en fonction de la largeur du lit : sur les tout petits cours d'eau, les embâcles peuvent se créer avec des débris de petite taille sur des ouvrages de franchissement (buses, seuils) et dans ce cas les arbres morts peuvent poser problème.

L'abattage des arbres morts est une des opérations les plus dangereuses et les plus coûteuses en bûcheronnage. En général, la

conservation des arbres morts ne présentant pas de dangers immédiat permet de réduire sensiblement les coûts d'entretiens tout en accroissant la richesse biologique du système.

Des observations plus systématiques et plus prolongées seraient nécessaires pour compléter les connaissances dans ce domaine.

Perspectives et conclusions

Les systèmes racinaires sont la plus grosse inconnue et la question prioritaire au niveau de la sécurité des digues : une étude et des expérimentations sont nécessaires rapidement à l'échelle française et européenne. Les observations directes étant rarement possibles, nous devons travailler à la mise au point d'une méthode non destructive, dont le concept est défini mais qui n'a encore jamais été expérimentée.

De même, la relation entre végétation et stabilité des berges doit être étudiée expérimentalement, et sur un grand nombre de situations réelles. Les auteurs d'articles scientifiques comme les auteurs de guides pratiques pour l'entretien des rivières donnent sur le sujet des observations et consignes parfois contradictoires. Ces contradictions s'expliquent par le fait que des

conditions locales très différentes peuvent conduire à des relations arbres/stabilité opposées. Seule la compilation d'un grand nombre d'expériences permettra de dégager les règles constantes et de comprendre les variations liées aux conditions locales.

Il reste également à étudier la croissance des arbres des ripisylves sur un échantillon représentatif des rivières méditerranéennes. Nous n'avons pour l'instant que des mesures ponctuelles sur un nombre restreint de fleuves, qui ne peuvent pas être extrapolées avec certitude, et les observations ne portent pas en nombre suffisant sur des vieux arbres. Les modèles sont incomplets pour chaque espèce et dans leurs relations avec les conditions locales.

La définition de règles pour la gestion des ripisylves dans les systèmes endigués nécessite donc encore un gros travail d'étude et de concertation entre scientifiques et gestionnaires. Il serait nécessaire de créer un réseau spécifiquement dédié à ce sujet, de définir un plan de travail pluriannuel, et de rechercher des financements spécifiques. Cela éviterait de continuer à ne réaliser que des travaux dispersés, réalisés dans l'urgence, et ne permettant pas d'avoir une approche globale, ni un échantillon représentatif des conditions régionales.

M.V., O.C., C.R., R.E.

Résumé

Dans le débat sur les ripisylves, une question soulève fréquemment des polémiques : faut-il les gérer comme d'autres peuplements forestiers, les aménager comme d'autres milieux naturels soumis à une forte pression de l'homme, ou leur laisser un maximum de naturalité ? Les enjeux sont majoritairement écologiques.

Mais la question se pose différemment quand on s'intéresse à des ripisylves de secteurs endigués et à des peuplements sur digues. Dans ces secteurs, les enjeux de sécurité des ouvrages et des personnes conduisent le plus souvent à des interventions vigoureuses de coupe et d'entretien : on ne peut pas y abandonner la végétation à elle-même, les risques de rupture de digue ou d'embâcles étant trop grands.

Le Cemagref d'Aix-en-Provence est fréquemment sollicité pour des expertises de systèmes de digues, trop souvent après les catastrophes, parfois en anticipation de celles-ci. L'expertise comprend un volet de génie civil et de géotechniques, pour l'expertise du corps des digues, et un volet biologique pour l'expertise de la végétation. Les équipes chargées de ces deux opérations travaillent ensemble. Leur objectif est de trouver un compromis entre la sécurité des ouvrages, qui est toujours prioritaire, et une

optimisation des fonctions écologiques et sociales de la végétation. Les mêmes enjeux apparaissent hors des systèmes endigués chaque fois que les cours d'eau, plus ou moins encaissés, sont soumis à des crues régulières ou au risque de crues exceptionnelles. Les berges de ces cours d'eau sont alors soumis, au regard de la végétation, aux mêmes contraintes que les digues.

Une bonne gestion de cette végétation ne peut pas s'envisager sans une planification. Les gestionnaires des systèmes de digues demandent donc souvent, en plus de l'expertise, une étude proposant les bases d'un plan de gestion à long terme, parfois un plan de gestion finalisé. L'expression "à long terme" est en rapport avec le cycle des arbres : les plans de gestion proposent un plan de travaux précis sur 10 ans et une trame d'objectifs et d'évolution sur 30 ans.

Avoir une vision à long terme oblige, comme pour toute autre forme de peuplements forestiers, à poser quelques questions de base : sur quels substrats se trouve-t-on, quelles sont leur fertilité et leur variabilité ? à quelle vitesse poussent les arbres ? quelle est leur durée de survie ? comment les peuplements s'organisent-ils et évoluent-ils dans le temps et comment se régénèrent-ils en absence de bouleversement et après un bouleversement naturel ou artificiel (coupes) ?

Répondre aux préoccupations de sécurité pose d'autres questions qui pour certaines sont encore mal résolues ou dont les réponses sont à moduler dans chaque cas : 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 existant sur les digues résout-il le problème ?

Enfin dans la mesure où une gestion plus ou moins intensive de la végétation est nécessaire, il faut rechercher la structure de végétation qui optimisera la sécurité et la diversité biologique tout en limitant la fréquence et le coût des travaux.

Nous exposons à travers des exemples quelques résultats et recommandations des études réalisées dans le sud-est de la France, notamment celles des parties endiguées du Rhône, du Vidourle, de l'Aude et de l'Agly.

Summary

The basis for managing riverbank and dyke vegetation in safety-sensitive areas

In discussion on riverside woodlands, one issue in particular often gives rise to polemic : should such woodlands be run as other forests are, improved or modified as they are in other natural areas subject to pressure from man; or should they be given as free a rein as possible? The implications are largely ecological. But the issue takes on a different colouring when it involves riverine cover on consolidated banks or stands planted on dykes. Along such sectors, considerations related to the safety both of the works and of people most often give rise to drastic intervention through felling or upkeep : the vegetation cannot be left to itself because the risk of collapsed banks, broken dykes or blocked channels is too great.

The CEMAGREF (French research body for agricultural and environmental engineering) at Aix-en-Provence (S.-E. France) is often called on as a consultant to assess dyked systems, too often after catastrophic flooding, occasionally before. Its brief covers civil engineering work and land technology involved in dyke and coffering construction but, also, a biological assessment of the vegetation. Separate teams are responsible for the two audits but they work together. Their aim is to obtain a compromise between the safety of the engineering works, which is the overriding priority, and the optimisation of the ecological and social functions of the vegetation. The same considerations arise outside the dyked systems each time a watercourse that is more or less channelled undergoes regular overspilling or faces the threat of exceptional flooding. The banks of the rivers, from the point of view of the riverine vegetation, are subject to the same pressures as the dykes.

Good management of the vegetation cannot be achieved without planning. Thus, those responsible for running the dyke systems, apart from asking for an assessment survey, often also require a study proposing a basis for long-term management or, on occasion, a finalised management scheme. The expression "long-term" is to be understood in relation to a tree's life : a management plan details working operations over 10 years and a framework for objectives and evolution for 30 years.

As for any form of planted woodland, such a long-term view implies answering a number of fundamental questions : what soils are involved; how fertile are they; how varied? How fast is growth? How long will the trees live? How are the stands organised and how will they evolve through time? How will regeneration happen, in the absence of major upheaval or after a massive change, either natural or artificial (felling)?

Concern for safety leads to posing other questions whose answers remain, in some cases, unclear or vary according to the situation : starting from what size and in what situations do trees or stands represent a risk as fallen obstacles? What happens to dead trees? What is the configuration of root systems in banks and, more especially, in dykes? Does cutting or killing existing trees on dykes solve the problem?

Finally, in so far as more or less intensive management is required for the vegetation, it is necessary to define the best cover structure for optimising safety and biological diversity at the same time as the frequency and cost of interventions are kept to a minimum.

We present here, through several examples, some results and recommendations obtained through studies carried out in south-east France, in particular of the dyked sections of the Rhône, the Vidourle, the Aude and the Agly rivers.

Riassunto

Basi della gestione della vegetazione delle sponde e argini sotto costrizione di sicurezza

Nel dibattito sulle foreste riparie, una questione solleva spesso polemiche : bisogna gestirle come altri popolamenti forestali, sistemerle come altri ambienti naturali sottomessi a una forte pressione dell'uomo, o lasciarloro un massimo di naturalezza ? Le poste sono in maggioranza ecologici.

Ma la questione si pone diversamente quando si interessa a foreste riparie di zone arginate e a popolamenti su argini. In queste zone, le poste di sicurezza delle opere e delle persone conducono il più spesso a interventi vigorosi di taglio e di mantenimento : non si può abbandonarci la vegetazione a se stessa, i rischi di rottura di argine o di sbarramenti dai trasporti solidi essendo troppo grandi.

Il CEMAGREF a Aix-en-Provence è spesso sollecitato per perizie dei sistemi di argini, troppo spesso dopo le catastrofe, qualche volta in anticipo a quelle. La perizia comprende un elemento di genio civile e di geotecniche, per la perizia del corpo degli argini, e un elemento biologico per la perizia della vegetazione. Le squadre incaricate di queste due operazioni lavorano insieme. Il loro obiettivo è di trovare un compromesso tra la sicurezza delle opere, che è sempre prioritaria, e un'ottimizzazione delle funzioni ecologiche e sociali della vegetazione. Le stesse poste appaiono fuori i sistemi arginati ogni volta che i corsi d'acqua più o meno incassati, sono sottomessi a piene regolari o al rischio di piene eccezionali. Le sponde di questi corsi d'acqua sono allora sottomessi, riguardo alla vegetazione, alle stesse costrizioni che gli argini.

Una buona gestione di questa vegetazione non può prevedersi senza una pianificazione. I gestori dei sistemi di argini chiedono dunque spesso, per di più della perizia, uno studio proponendo le basi di un piano di gestione a termine lungo, talvolta un piano di gestione finalizzato. L'espressione " a termine lungo " è in rapporto col ciclo degli alberi : i piani di gestione propongono un pianto dei lavori preciso su 10 anni e una trama d'obiettivi e di evoluzione su 30 anni.

Avere una visione a termine lungo costringe, come per tutt'altra forma di popolamenti forestali, a porre qualche domanda di base : su quale sostratto si troviamo, quali sono la loro fertilità e la loro variabilità ? con quale velocità crescono gli alberi ? qual'è la loro durata di sopravvivenza ? come si organizzano i popolamenti e compiono evoluzione nel tempo e come si rigenerano in assenza di sconvolgimento e dopo uno sconvolgimento naturale o artificiale (tagli) ?

Rispondere alle preoccupazioni di sicurezza pone altre domande di cui alcune sono ancora male risolte o di cui le risposte sono da modulare per ogni caso : da quale dimensione e in quale situazione un albero o un popolamento crea un rischio di sbarramento ? che cosa diventano gli alberi morti ? Qual'è l'architettura delle radici nelle sponde e soprattutto negli argini ? tagliare o uccidere gli alberi esistendo sugli argini risolve il problema ?

Finalmente nella misura in cui una gestione più o meno intensiva della vegetazione è necessaria, bisogna ricercare la struttura di vegetazione che darà la situazione ottimale per la sicurezza e la diversità biologica limitando insieme la frequenza e il costo dei lavori.

Esponiamo attraverso esempi ulcuni risultati e raccomandazioni degli studi realizzati nel sud-est della Francia, in particolare quelle delle parte arginate del Rodano, del Vidourle, dell'Aude e dell'Agly.