

Les Tamaricaceae en génie végétal

Le génie végétal se révèle une solution naturelle, efficace et durable pour lutter contre les problèmes d'érosion des berges. Comment ces techniques peuvent-elles s'appliquer aux berges de cours d'eau soumises à des sécheresses estivales ?

Cet article se propose d'étudier les potentialités d'espèces ripicoles encore peu exploitées aujourd'hui, les Tamaricaceae, présentant des facultés spécifiques de résistance à la sécheresse tout en ayant des capacités de stabilisation des berges.

Le génie végétal, un savoir-faire encore à étayer sur les berges de rivière

Il est maintenant reconnu que l'érosion de berge de rivière est un processus naturel qui participe à la diversité des habitats et à l'équilibre hydromorphologique des cours d'eau (Piégay *et al.*, 2005). De fait, la protection des berges contre l'érosion n'est recommandée que lorsque les milieux riverains accueillent des infrastructures importantes que l'on ne peut pas déplacer ou pour lesquels les coûts de déplacement seraient disproportionnés par rapport aux gains environnementaux. Dans ce contexte, le génie végétal est aujourd'hui de plus en plus employé. Il peut soit se substituer au génie civil, soit être associé à celui-ci. On parle alors de techniques mixtes combinant matériaux minéraux, comme des enrochements, et végétaux vivants.

Le génie végétal tire partie des aptitudes biologiques des plantes. Il offre ainsi des solutions techniques de lutte contre l'érosion qui sont durables et intégrées (Frossard *et al.*, 2009). Le développement d'une couverture végétale dense et pérenne peut par exemple être une solution efficace pour fixer une zone érodée. En effet, la végétation s'oppose à l'érosion *via* différents processus, concourant notamment à un renforcement de la berge par les racines par effet d'ancrage (Lachat *et al.*, 1994 ; Adam *et al.*, 2008). Celles-ci créent un maillage dense et structuré, maintenant efficacement le substrat. Ces techniques procurent par ailleurs des bénéfices écologiques et sociétaux, permettant de préserver une biodiversité

spécifique et fonctionnelle *via* le maintien d'un corridor écologique, tout en s'intégrant mieux dans le paysage que des ouvrages de génie civil.

Les techniques de génie végétal employées pour la protection des berges font largement appel à des ligneux capables de se reproduire à partir de sections de tiges (boutures, baguettes...). Ces techniques se sont largement diffusées au cours des années 1970 en Suisse, Autriche et Italie du Nord et un peu plus tardivement en France (Lachat *et al.*, 1994). Parmi les espèces actuellement utilisées dans ce cadre, les saules occupent une place importante. Ces espèces sont en effet traditionnellement utilisées en raison de leur caractère pionnier qui leur confère une grande capacité à coloniser des milieux pauvres et ensoleillés et d'excellentes capacités de reprise au bouturage. De plus, elles présentent un fort ancrage, une grande souplesse de tiges, mais également une résistance à l'anoxie et à la submersion.

Cependant, deux problèmes se posent aujourd'hui quant à une diffusion plus large de ces techniques sur les berges des cours d'eau métropolitains :

- la partie basse de ces ouvrages est souvent presque exclusivement constituée de saules et à ce titre présente une faible diversité végétale (photo 1). Promouvoir d'autres espèces serait ainsi intéressant, à condition qu'elles puissent être utilisées selon les mêmes techniques (fascines, tressages, boutures...);
- il est difficile d'appliquer ces techniques en utilisant des saules, plutôt inféodés à des milieux humides, dans des secteurs où les contraintes de xéricité sont plus fortes,

notamment dans la zone méditerranéenne caractérisée par une sécheresse marquée durant la période végétative. Par ailleurs, dans d'autres régions où le génie végétal est largement appliqué, le changement climatique pourrait entraîner des sécheresses plus fortes, susceptibles d'affecter le matériel végétal, notamment les boutures dans leurs premiers stades de développement. La sécheresse durant les mois qui suivent l'installation des boutures est considérée comme l'un des principaux facteurs limitant le succès de ces techniques. Aussi paradoxal que cela puisse paraître, les berges des cours d'eau peuvent enregistrer une période de sécheresse, notamment en période estivale. Cette sécheresse est d'autant plus marquée que les sols composés de sédiments sont grossiers et filtrants. Les conditions de sécheresse estivale vont alors dépendre du volume et de la fréquence des précipitations, de la position de la nappe phréatique et de sa fluctuation, mais aussi de la texture des sols. Dans ce contexte, la survie des individus, et donc la réussite de l'ouvrage, dépendent de la capacité des boutures à résister à la sécheresse. Les boutures doivent donc, soit posséder des capacités de résistance au stress hydrique, soit disposer d'une capacité de progression du front racinaire qui leur permettent d'atteindre rapidement la nappe phréatique.

L'objectif est donc d'étudier des espèces ripicoles encore peu exploitées présentant des facultés potentielles de résistance à la sécheresse tout en ayant des capacités de stabilisation des berges et de reprise au bouturage proches de celles des saules. Ces aptitudes semblent caractériser notamment les *Tamaricaceae*. Cette étude propose donc de passer en revue les caractéristiques communes de ces deux groupes d'espèces, mais également d'aborder leur résistance spécifique à la sécheresse.

Quelques éléments d'écologie concernant les Tamaricaceae de France...

En France, les *Tamaricaceae* endémiques sont représentées essentiellement par *Tamarix gallica* et *Myricaria germanica* (pour un descriptif précis, voir les fiches botaniques en annexes, page 9).

Ces deux espèces se rencontrent sur des sols généralement constitués de matériaux grossiers et pauvres en matière organique tels que ceux trouvés sur les bancs gravo-sableux du bord des cours d'eau, *T. gallica* affectionnant en plus les sols argileux et quelquefois salés. La présence d'une nappe phréatique n'est pas une condition obligatoire à leur survie car ce sont des espèces phréatophytes facultatives¹. De plus, ces espèces héliophiles ont une reproduction sexuée et végétative très efficace avec une importante production de graines et un fort taux de réussite à la germination et au bouturage.

Les distributions géographiques de ces deux espèces ne se recouvrent pas totalement : *M. germanica* est plutôt une espèce alpine, même si on la retrouve assez bas dans la vallée de la Durance, tandis que *T. gallica* reste inféodée au milieu méditerranéen (avec une remontée dans la vallée du Rhône) et à la façade atlantique.

M. germanica ne peut se maintenir dans son habitat, principalement les marges des rivières en tresses des Alpes, que si la dynamique fluviale est active (alternance de mises en mouvement et de dépôts de sédiments lors



1 Ouvrage de génie végétal en berge de rivière.

des crues). En effet, la concurrence des saules et autres espèces associées pour l'accès à la lumière lui est défavorable du fait de sa plus petite taille. Cette espèce aura donc tendance à disparaître sur les marges de cours d'eau lorsque le renouvellement des formes fluviales est limité. Enfin, les fourrés de *T. gallica* peuvent remplacer les saulaies lorsque la chaleur et la sécheresse sont fortes, sur des sols pauvres et soumis à des arrivées d'eau salée et/ou polluée.

Dans le présent article, nous décrivons les caractéristiques écologiques et biologiques de ces espèces et leur intérêt pour le génie végétal. Ce travail est illustré par le résultat d'expérimentations *ex situ* et *in situ* menées par le Cemagref. Quelques recommandations sont également préconisées quant aux modalités pratiques d'utilisation de ces espèces en génie végétal.

1. Un phréatophyte est une espèce s'approvisionnant en eau principalement à partir de la nappe phréatique. Un phréatophyte facultatif puise également l'eau provenant d'autres compartiments et peut donc s'installer dans des secteurs ne disposant pas d'une nappe phréatique.

De l'utilisation des Tamaricaceae en génie végétal

Actuellement, l'usage des *Tamaricaceae* en génie végétal (comme *Tamarix gallica*, *aphylla* ou *chinensis*) concerne surtout la lutte contre l'érosion éolienne. Ils sont utilisés comme brise-vent et fixateurs de dunes au Maghreb et en Chine pour contrôler la désertification. Certaines espèces de *Tamaricaceae* ont même été identifiées comme des espèces-clés pour résoudre ces problèmes.

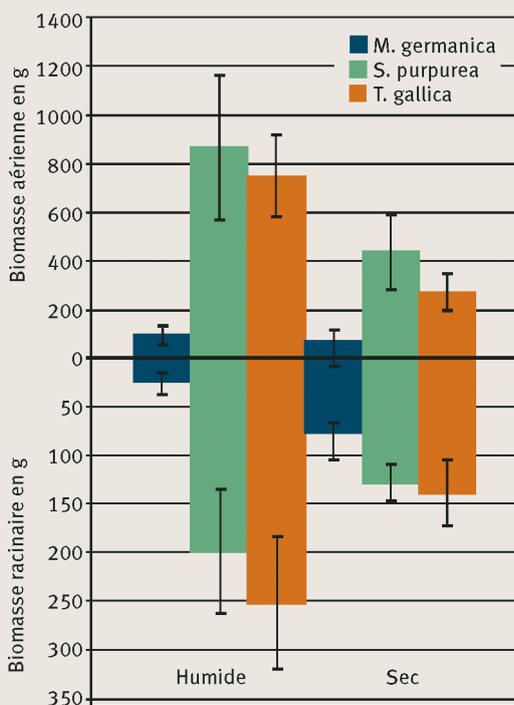
Leur utilisation en génie végétal sur les bords des cours d'eau reste anecdotique. Les *Tamaricaceae* sont pourtant présentés dans certains guides techniques, tels que ceux de Schiechtl (1980) et Sauli *et al.* (2006) et ont été implantés sur quelques ouvrages en Italie et en Espagne. Sur le continent américain et en Australie, l'introduction d'espèces allochtones du genre *Tamarix* a conduit à une modification des écosystèmes riverains, les espèces locales étant incapables de réagir face aux capacités de régénération et de résistance aux stress de ces espèces. Ces *Tamarix* ont dès lors été considérés comme invasifs dans ces milieux. *A contrario*, *Tamarix gallica* et *Myricaria germanica* sont des espèces endémiques sur le territoire métropolitain français et pour lesquelles on ne rencontre pas de problème d'invasibilité². *M. germanica*, autrefois plus répandu, est même en régression à l'échelle alpine, du fait de la rectification de nombreux cours d'eau.

2. Potentiel pour une espèce envahissante exogène à devenir invasive dans un milieu donné.

Pourquoi utiliser de telles espèces en génie végétal ?

Ces espèces pourraient être à même de mieux résister que les saules à la sécheresse du fait de leur faible surface d'évapotranspiration résultant de la disposition en écailles de leurs feuilles. Présents en zone méditerranéenne, les *Tamaricaceae* sont pour la plupart phréatophytes facultatifs, ce qui leur confère une grande résistance à la sécheresse ainsi qu'une meilleure efficacité pour capter l'eau des sols que leurs espèces compagnes (saules et peupliers). Les *Tamarix* et les *Myricaria* s'alimentent ainsi dans la nappe, mais également dans le compartiment non saturé du sol. Ils peuvent passer d'une alimentation à une autre sans dommages. Cette faculté à optimiser l'utilisation de la ressource en eau permet de minimiser le stress hydrique. L'architecture et la production de biomasse racinaire en elles-mêmes sont également particulièrement tournées vers l'acquisition de ressources chez les *Tamaricaceae* (encadré 1). En effet, les racines latérales des *Tamarix* servant à capter l'eau sont extrêmement abondantes et étalées au voisinage de la nappe phréatique. L'extension latérale des racines dépasse souvent de quatre à sept mètres le diamètre de la couronne de l'arbre chez *T. euphratica*. Ceci permet à ces plantes de faire face aux fréquents dessèchements des couches supérieures du sol. En cas de sécheresse due à un abaissement phréatique, tous les *Tamarix* émettent rapidement un grand nombre de racines en direction de

1 EXPÉRIMENTATION EN POTS SUR LES PRODUCTIONS DE BIOMASSES (photo 2)



1 Biomasses aérienne et souterraine moyenne d'un saule et de deux Tamaricaceae à 16 mois de culture en fonction de deux modalités de sécheresse (barres verticales = écarts-types).

Les quantités de biomasse produites permettent de rendre compte de la cinétique de croissance des espèces. Cependant, celle-ci peut être influencée par le diamètre initial de la bouture, inhérente à l'espèce même.

La figure 1 présente les productions de biomasses selon deux modalités de sécheresse. En condition non limitante, les biomasses aériennes de *T. gallica* sont très proches de celles de *S. purpurea*. Leur vitesse de croissance est donc comparable, même s'il semble que le saule produise un peu plus de biomasse. À l'inverse, *M. germanica* pousse significativement plus lentement.

Pour la biomasse racinaire, la figure 1 montre qu'il n'y a pas de différence significative entre *T. gallica* et *S. purpurea*, mais on peut cependant noter que *T. gallica* tend à produire plus de biomasse racinaire que *S. purpurea*. *M. germanica* se retrouve, comme dans le cas de la biomasse aérienne, avec une biomasse souterraine significativement plus faible que les deux autres espèces.

Ceci est dû à sa croissance plus lente, mais sans doute également au fait que les boutures de *M. germanica* sont d'un diamètre plus faible que les boutures de *T. gallica* et de *S. purpurea*.

En condition limitante, les observations faites précédemment se vérifient également. Cependant, les espèces produisent moins de biomasse racinaire et aérienne, hormis *M. germanica* dont la production de biomasse racinaire apparaît supérieure en condition sèche, ce qui dénote d'une acclimatation à la sécheresse.



② Dispositif de génie végétal avec des boutures âgées de trois mois (Pépinière forestière de l'État d'Aix-les-Milles, août 2010).

la nappe afin de pallier le manque d'eau tout en prospectant dans la zone non saturée. L'augmentation de biomasse racinaire permet ainsi aux individus de retrouver la nappe avant la fin de la période de sécheresse. Cela est possible grâce à une stratégie d'investissement des ressources dans l'appareil racinaire en cas de sécheresse (encadré ②). De plus, chez les *Tamarix*, les mouvements d'eau sont compartimentés au sein de la plante en secteurs indépendants les uns des autres et chaque racine n'irrigue ainsi qu'une seule partie du houppier. Lorsqu'une racine desséchée meurt, cela n'affecte qu'un seul secteur de la partie aérienne. Les *Tamarix* peuvent également coloniser des secteurs présentant une nappe phréatique profonde. Des propagations racinaires verticales de plus de dix mètres ont ainsi été observées. Cette profondeur racinaire leur permet également de ne pas entrer en concurrence avec d'autres espèces pour l'eau de subsurface.

Enfin, une résistance à l'anoxie (sol saturé) et à l'inondation (submersion) est également essentielle pour les espèces de bord de cours d'eau. Les *Tamarix* se développent bien dans les sols saturés en eau et ils supportent une submersion totale prolongée qui peut aller jusqu'à deux mois pour les *Myricaria*. Ces derniers exigent même des inondations périodiques pour se reproduire par voie sexuée.

Par ailleurs les *Tamaricaceae* résistent remarquablement bien aux contraintes mécaniques. En effet, elles sont extrêmement résistantes aux forces d'arrachement exercées par le cours d'eau grâce à des racines principales profondes. Il en va de même pour *M. germanica* qui s'oppose à l'érosion grâce à son puissant système racinaire (photos ③ et ④, encadré ①). Chez les *Tamaricaceae*, le rapport entre biomasses aérienne et souterraine est plus en faveur des racines que chez le saule (encadré ②). Cette caractéristique leur confère ainsi un fort ancrage en berge et une moindre exposition de l'appareil aérien aux écoulements de surface.

② EXPÉRIMENTATION EN POTS SUR L'ALLOCATION RACINAIRE ET LES STRATÉGIES FACE À LA SÉCHERESSE (photos ③, ④, ⑤).

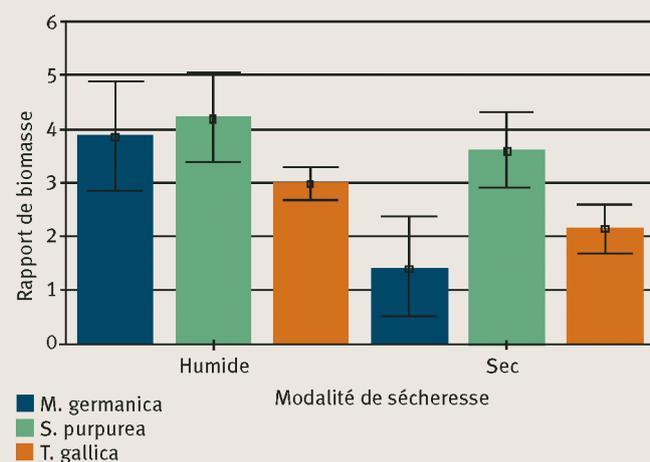
En cas de stress hydrique, une allocation préférentielle des ressources aux racines constitue un avantage. La biomasse aérienne se trouve ainsi réduite par rapport à la biomasse racinaire. Une biomasse racinaire importante est également un atout en génie végétal car elle permet une meilleure fixation des sols.

La figure ② montre une allocation racinaire forte en cas de stress hydrique chez les *Tamaricaceae*. En cas de sécheresse, les *Tamaricaceae* (*M. germanica* et *T. gallica*) réduisent significativement leur ratio de biomasses aériennes sur souterraines.

Les ressources captées sont ainsi essentiellement allouées au développement racinaire, afin d'étendre la rhizosphère, et de minimiser la surface aérienne et l'évapotranspiration. Malgré sa moindre production racinaire et aérienne (figure ①), *M. germanica* enregistre une forte diminution de son ratio de biomasse aérienne sur souterraine, ce qui constitue une forme d'adaptation à la sécheresse.

Par contre *S. purpurea* ne présente pas de différence significative entre les deux modalités. Cependant, les productions de biomasse montrent que sa croissance est moindre en modalité sèche (figure ①). Cette espèce est donc affectée par la sécheresse, mais contrairement aux *Tamaricaceae*, elle n'alloue pas plus de ressources aux racines.

② Rapport des biomasses aériennes sur souterraines moyennes pour trois espèces en fonction de deux modalités de sécheresse (barres verticales = écarts-types).



► Les *Tamarix* présentent une structure racinaire très spécifique. Parmi les espèces méditerranéennes, ils disposent d'une des plus grandes densités de racines de petite et moyenne taille dans les vingt premiers centimètres du sol ; ils peuvent ainsi protéger efficacement le sol ; ils peuvent ainsi protéger efficacement le sol. Ces espèces possèdent par ailleurs une cinétique de croissance aérienne très forte. À titre d'exemple, certains *Tamarix* invasifs observés aux États-Unis, produisent deux à trois fois plus de biomasse que les saules indigènes. Toutefois, de telles différences ne semblent pas observées en Europe, même si la production de biomasse du *Tamarix* reste importante (encadré 1). La souplesse des tiges leur permet de se coucher en cas de crue, et d'assurer une protection des sols par effet « tapis ». Cela assure également un effet « peigne » qui, en ralentissant le courant, favorise le dépôt de sédiments, ce qui minimise le risque d'arrachage par le courant. Ces mécanismes de protection seraient d'ailleurs plus efficaces que ceux observés chez les saules du fait de la morphologie foliaire des *Tamaricaceae*. Ils survivent aisément au recouvrement sédimentaire lors des crues en émettant des racines adventives³, à partir de tiges ensevelies pour *T. gallica*, et en développant des tiges à partir du collet pour *M. germanica*.

T. gallica et *M. germanica* ont en outre un comportement pionnier, ce qui leur permet de s'adapter à la plupart des perturbations naturelles (inondation, sécheresse, incendie...). Ils se régénèrent très facilement et rapidement par bouturage de tiges. *M. germanica* présente cependant quelques difficultés à reprendre en cas de sécheresse estivale précoce (encadré 3).

La résistance au sel est commune à tous les *Tamarix*, que les sels soient présents dans le sol ou dans la nappe phréatique. Si cette capacité s'avère rarement utile en génie végétal, elle peut cependant permettre de réaliser des ouvrages sur sol salin comme la fixation de dunes

et ainsi contrer l'érosion, améliorer les sols et revégétaliser ces zones. De plus, leur capacité à accumuler du sel dans leurs tissus permet aux *Tamarix* de résister à la sécheresse et d'extraire plus facilement de l'eau des zones insaturées par rapport aux peupliers et saules.

Les *Tamarix* sont par ailleurs remarquablement résistants à certains pathogènes comme les champignons lignicoles du genre *Armillaria*, responsables de la pourriture fibreuse chez de nombreuses espèces de ligneux (Bean, 1981).

3 RÉUSSITE AU BOUTURAGE DE TAMARIX GALLICA ET MYRICARIA GERMANICA

Le Cemagref a engagé des expériences sur la réussite au bouturage de *Tamarix gallica* et *Myricaria germanica* en les comparant à *Salix purpurea*.

Une expérience en pots de grande taille en jardin expérimental (photo 5) a donné un taux de reprise de 96 % pour *T. gallica*, 84 % pour *M. germanica* et 100 % pour *S. purpurea*.

Une seconde expérience a été réalisée sur un ouvrage expérimental de protection de berge sur l'Arc, cours d'eau de type méditerranéen à la Pépinière forestière de l'État située à Aix-les-Milles (photo 6). Il s'agit d'une berge exposée au sud à très forte contrainte de température et de sécheresse. Les résultats indiquent un taux de reprise de 96 % pour *T. gallica* quelle que soit la hauteur de la berge (distance à l'eau entre 0 et 4 m) tandis que *M. germanica* préfère la moitié inférieure de la berge (33 % de reprise sur les 70 cm inférieurs et 0 % au dessus).

Le faible taux de reprise de *M. germanica* peut s'expliquer par une sécheresse trop précoce, ce qui n'a pas permis aux boutures de se développer suffisamment pour résister. Dans les mêmes conditions, *Salix purpurea* a un taux de reprise intermédiaire de 76 %, et présente donc une moindre résistance à ces conditions de sécheresse par rapport à *T. gallica*.

3. Racines apparaissant directement sur la tige.

5 Racines de *T. gallica* après 16 mois de culture (Pépinière forestière de l'État d'Aix-les-Milles).



6 Racines de *M. germanica* après 16 mois de culture (Pépinière forestière de l'État d'Aix-les-Milles).





❸ Expérimentations en containers circulaires : boutures de 4 mois de *M. germanica* à gauche, *T. gallica* à droite, *S. purpurea* au premier plan (Pépinière forestière de l'État d'Aix-les-Milles).

© C. Lavaine

Certaines aptitudes biologiques et mécaniques, telles qu'un développement rapide, une reprise au bouturage élevée, une résistance à l'anoxie et à la traction, sont considérées comme indispensables pour une utilisation en génie végétal. Elles ont été déjà décrites chez les *Tamaricaceae*. Cependant, aucune étude comparant les deux espèces de *Tamaricaceae* français avec le saule, que l'on peut considérer comme le taxon de référence en génie végétal, n'a encore été effectuée. Le Cemagref a mené des expérimentations, en jardin expérimental (photo ❸) et en grande nature (photo ❷), sur le taux de survie au bouturage ainsi que les productions de biomasses aériennes et racinaires de boutures de *T. gallica* et *M. germanica* sous différentes conditions de sécheresse. Les résultats de cette étude sont présentés sous forme d'encadrés (encadrés ❶, ❷ et ❸).

Comment utiliser les Tamaricaceae en génie végétal ?

Modalités d'utilisation

Il existe peu d'informations sur les modalités d'utilisation des boutures de *Tamaricaceae* en génie végétal. Quelques prescriptions techniques existent toutefois. Certains préconisent ainsi de planter les boutures de *T. gallica* à 45 cm les unes des autres (Arizpe *et al.*, 2009) et de les irriguer les cinq premiers jours (Schiechl, 1980). Étant donné que leur structure ligneuse est proche de celle des saules en termes de diamètre et de longueur de branches, les *Tamarix* peuvent être utilisés dans les mêmes types d'ouvrages que les saules, qu'il s'agisse de fascines vivantes, de boutures ou de couches de branches à rejets. Cependant, la répartition habituelle de *T. gallica* dans les plaines méditerranéennes conditionne son utilisation en deçà de 400 m d'altitude.

Concernant *M. germanica*, Staffler (1999) préconise une longueur minimale des boutures de 25 cm. Les tiges fines et fragiles de la plante ne permettent pas de l'utiliser autrement que sous forme de boutures individuelles ou de lits de boutures. Sa croissance étant plus lente que celle des autres espèces (encadré ❶), *M. germanica* doit être planté plus densément sur les ouvrages. Enfin, sa faible compétition pour la lumière le destine plutôt à des zones très perturbées, telles que les bas de berge de rivières dynamiques soumises à de fortes contraintes érosives, où les ligneux ayant un port plus élevé ne peuvent se maintenir. On pourrait aussi planter *M. germanica* sous forme de boutures groupées de manière à créer des bosquets ou des zones homogènes, afin de limiter la compétition pour la lumière avec les saules ou les autres espèces de ligneux.

Les capacités de résistance à la sécheresse et aux inondations de *T. gallica* permettent de le préconiser sur toute la hauteur de la berge. Par contre, *M. germanica* est plutôt à privilégier sur les parties basses, en raison de son faible taux de reprise en cas de sécheresse précoce et de ses médiocres capacités compétitives.

Les Tamaricaceae sont sources de diversité

Ces espèces peuvent non seulement contribuer à améliorer la résistance des ouvrages à la sécheresse, mais leur association avec des saules peut en plus permettre d'accroître l'efficacité technique d'un ouvrage. En effet, la mixité racinaire résultant de la présence d'un plus grand nombre d'espèces augmente la cohésion du sol. Une combinaison de réseaux racinaires peu profonds mais denses et de racines grossières pénétrant profondément dans le sol pourrait être une solution efficace pour contrôler l'érosion d'après certains auteurs. L'apport de ces espèces permettrait également une meilleure

► diversification des formes aériennes. Körner et Spehn ont ainsi montré qu'une combinaison de différentes formes de végétation est plus efficace pour le maintien de talus qu'une formation uniforme avec peu d'espèces (Körner *et al.*, 2002). On peut raisonnablement supposer qu'il en est de même sur les ouvrages de génie végétal.

Les capacités des *Tamaricaceae* à s'installer dans des milieux différents ainsi que la variété des techniques auxquelles ils peuvent être intégrés pourrait conduire les opérateurs à les utiliser dans la plupart des milieux riverains en complément des saules.

La biodiversité observée sur certains ouvrages de génie végétal est parfois réduite. Aussi, l'utilisation des *Tamaricaceae* permettrait de diversifier un peu plus les ouvrages et notamment les bas de berges lorsqu'ils sont uniquement constitués de saules. Les *Tamaricaceae* sont également connus pour constituer des sites de nidification prisés par l'avifaune et de nourrissage pour certains insectes ; leur introduction contribuerait à améliorer les capacités d'accueil de ces milieux et donc leur biodiversité.

Au-delà de ces aptitudes, il est probable que ces espèces aient d'autres atouts permettant de les préconiser dans une logique multifonctionnelle. En Chine ou au Maghreb, elles sont aussi utilisées pour rendre cultivables des terres salines ou réhabiliter des terres polluées par des métaux lourds. Les *Tamaricaceae* pourraient ainsi à la fois stabiliser les berges en complément des saules, augmenter la biodiversité des ouvrages et contribuer à améliorer la qualité des sols et de l'eau.

Conclusion et perspectives

Les *Tamaricaceae* présentent de nombreux atouts pour une utilisation en génie végétal. Elles assurent aux ouvrages un excellent ancrage, un taux de réussite plus élevé en cas de sécheresse, une diversité structurelle aérienne et souterraine accrue et parfois une richesse spécifique plus importante. De plus, l'usage d'espèces résistantes à la sécheresse permet de limiter les arrosages à la suite des travaux. L'utilisation de *T. gallica* apparaît

particulièrement prometteuse pour le génie végétal en milieu méditerranéen, où ces techniques sont plus rarement mises en œuvre du fait de l'impact des sécheresses estivales sur les jeunes boutures.

En ce qui concerne *Myricaria germanica*, celle-ci étant encore peu répandue, il est encore difficile de disposer de boutures à des coûts raisonnables, ce qui rend son usage en génie végétal encore assez peu fréquent. Cette espèce a néanmoins été utilisée en 2011 dans des chantiers expérimentaux en Haute-Savoie dans le cadre du projet européen Génie'Alp (<http://www.geni-alp.org/>). ■

Les auteurs

Catherine LAVAINE

Cemagref, Centre de Grenoble,
UR EMGR, Écosystèmes montagnards,
2 rue de la Papeterie, BP 76,
38402 Saint-Martin-d'Hères Cedex

CNRS, UMR 5600 Environnement Ville Société
Site École nationale supérieure de Lyon,
15 Parvis René Descartes, 69342 Lyon Cedex 07
catherine.lavaine@free.fr

André ÉVETTE

Cemagref, Centre de Grenoble,
UR EMGR, Écosystèmes montagnards,
2 rue de la Papeterie, BP 76,
38402 Saint-Martin-d'Hères Cedex
andre.evette@irstea.fr

Hervé PIÉGAY

Centre national de la recherche scientifique,
UMR 5600 Environnement Ville Société
Site École nationale supérieure de Lyon,
15 Parvis René Descartes, 69342 Lyon Cedex 07
herve.piegay@ens-lyon.fr

Bernard LACHAT

Biotec Biologie appliquée SA,
rue du 24-Septembre 9, 2800 Delémont, Suisse
biotec@biotec.ch

Patrice BRAHIC

Pépinière forestière expérimentale de l'État d'Aix,
90 Chemin de la Pioline, 13546 Aix-en-Provence Cedex 04
patrice.brahic@bouches-du-rhone.gouv.fr

QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

- ADAM, P., DEBIAIS, N., GERBER, F., LACHAT, B., 2008, *Le génie végétal. Un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques*, Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire, La Documentation française, Paris, 290 p.
- ARIZPE, D., MENDES, A., ABAÇA, J.E., 2009, *Sustainable riparian zones, a management guide*.
- BEAN, W.J., 1981, *Trees and Shrubs Hardy in Great Britain*, Murray, London.
- FROSSARD, P.-A., ÉVETTE, A., 2009, Le génie végétal pour la lutte contre l'érosion en rivière : une tradition millénaire en constante évolution, *Ingénieries-EAT*, numéro spécial Écologie de la restauration et ingénierie écologique, p. 99-109.
- KÖRNER, C., SPEHN, E., 2002, *Mountain biodiversity, a global assessment*, Parthenon Publishing, 332 p.
- LACHAT, B., ADAM, P., FROSSARD, P.-A., MARCAUD, R., 1994, *Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales*, Ministère de l'Environnement., Paris, 143 p.
- PIÉGAY, H., DARBY, S.-E., MOSSELMAN, E., SURIAN, N., 2005, A review of techniques available for delimiting the erodible corridor: a sustainable approach to managing bank erosion, *River Research and Applications*, vol. 21, p. 773-789.
- SAULI, G., CORNELINI, P., PRETI, F., 2006, *Manuale di Ingegneria Naturalistica Sistemazione dei versanti*, ed LAZIO, R., Roma.
- SCHIECHTL, H.M., 1980, *Bioengineering for Land Reclamation and Conservation*, University of Alberta Press, Edmonton, Canada, 404 p.
- STAFFLER, H., 1999, Die deutsche Tamariske (*Myricaria germanica* (L.) DESV.). Bepflanzung und Pflege von verbauten Bachböschungen in Südtirol, *Mitteilungen der Gesellschaft für Ingenieurbioogie*, vol. 14, p. 2-6.

Annexes

1 Fiche botanique de l'espèce *Tamarix gallica*

Espèce	<i>Tamarix gallica</i>	
Zone d'implantation possible	<ul style="list-style-type: none"> • Frange océanique, berges de cours d'eau méditerranéens et cours d'eau non permanents, rives du Rhône jusqu'à Orange, Drôme et Ardèche méridionales (Rameau, Mansion et al. 2008) 	
Climat / Altitude / Ensoleillement	<ul style="list-style-type: none"> • Méditerranéen / océanique • 0 / 400 m (Europe) • Soleil / exposition sud possible 	
Nature des sols	<ul style="list-style-type: none"> • Matériaux grossiers et/ou argileux (sables / graviers / blocs), parfois salés/pollués • Pauvres en matière organique (- de 15 %) 	
Taux de reprise	• De 96 à 100 %	
Rapport de biomasses tige/racine à deux ans	• 4,3	
Hauteur	• 2 à 10 m	
Nappe phréatique	• Facultative	
Hauteur d'implantation sur la berge	• Hauteur totale de la berge	
Techniques utilisables	• Idem aux saules	
Boutures	• Boutures espacées de 45 cm (Arizpe, Mendes et al. 2009)	
Arrosage	• 5 premiers jours (Arizpe, Mendes et al. 2009)	
Particularités	<ul style="list-style-type: none"> • Possible sur cours d'eau non permanent • Résistance forte à la sécheresse et aux inondations • Résistance forte à l'arrachement • Utilisation possible sur talus et pentes instables 	

2 Fiche botanique de l'espèce *Myricaria germanica*

Espèce	<i>Myricaria germanica</i>	
Zone d'implantation possible	<ul style="list-style-type: none"> • Bancs de galets et graviers des cours d'eau en tresses alpines, de la Durance, d'Alsace et des Pyrénées (Rameau, Mansion et al. 2008) 	
Climat / Altitude / Ensoleillement	<ul style="list-style-type: none"> • Montagnard / méditerranéen / continental • 0 / 2350 m (Europe) • Soleil / exposition sud possible 	
Nature des sols	<ul style="list-style-type: none"> • Matériaux grossiers (sables / graviers / blocs) • Pauvres en matière organique (- de 15 %) 	
Taux de reprise	• De 28 % (en cas de sécheresse précoce en milieu méditerranéen) à 84 %	
Rapport de biomasses tige/racine à deux ans	• 3,0	
Hauteur	• Jusqu'à 3 m	
Nappe phréatique	• Facultative	
Hauteur d'implantation sur la berge	• Bas de berge (milieu perturbé)	
Techniques utilisables	• Lit de plançons, boutures	
Boutures	• Longueur minimale : 25 cm (Staffler 1999)	
Arrosage	• Important en début de végétation	
Particularités	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation en tache monospécifique / densité forte pour les boutures • Résistance forte à la sécheresse et aux inondations • Résistance forte à l'arrachement • Milieux très perturbés (torrent alpin) • Plante en régression à l'échelle alpine 	

