

Gestion de la végétation
des ouvrages hydrauliques en remblai

Dessins d'en-tête : Myriam Tallah

(inspirés de *La Linea*, série télévisée d'animation italienne

créée en 1971 par le dessinateur Osvaldo Cavandoli)

Référence

Vennetier M., Mériaux P., Zanetti C., 2015. *Gestion de la végétation des ouvrages hydrauliques en remblai*. Cardère éditeur, Irstea Aix-en-P^{ce}, 232 p.

La publication de cet ouvrage a bénéficié d'une aide financière
de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Région



Provence-Alpes-Côte d'Azur

© Cardère éditeur – Irstea Aix-en-Provence ISBN 978-2-914053-84-6

Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique. Toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage, est interdite sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) 3 rue Hautefeuille, Paris 6^e.

Michel Vennetier

Patrice Mériaux

Caroline Zanetti

Gestion de la végétation des ouvrages hydrauliques en remblai

Guide technique

une coédition

Irstea Aix-en-Provence – Cardère éditeur





Sommaire

| | |
|--------------------|----|
| Préface | 8 |
| Avant-propos | 10 |

1 RÔLES ET RISQUES ASSOCIÉS À LA VÉGÉTATION PRÉSENTE SUR LES OUVRAGES HYDRAULIQUES

| | |
|--|----|
| Les types de végétation | 14 |
| Risques et bénéfices liés aux différents types de végétation | 17 |
| Herbacées | 17 |
| Arbustes | 18 |
| Arbres | 18 |
| Vitesse de croissance des arbres et de leurs racines | 23 |
| Facteurs contrôlant la croissance aérienne des arbres | 23 |
| Modèles de croissance en hauteur | 25 |
| Vitesse de croissance et taille des racines | 27 |
| Développement et impacts des systèmes racinaires dans les ouvrages hydrauliques en remblai | 31 |
| Structure et architecture racinaires | 34 |
| Le développement des systèmes racinaires | 40 |
| Décomposition racinaire | 44 |
| Influence des dimensions et du type d'ouvrage | 45 |
| Influence de la nature des matériaux constitutifs du remblai | 47 |

2 RÉGLEMENTATION ET RÈGLES DE L'ART

| | |
|---|----|
| Réglementation | 53 |
| Aspects sécuritaires et végétation sur les ouvrages hydrauliques | 53 |
| Droit environnemental et ouvrages hydrauliques boisés | 53 |
| Pratiques actuelles : Principes généraux d'entretien des ouvrages et aspects environnementaux | 59 |
| Les apports de ce guide | 62 |



3

DU DIAGNOSTIC À LA GESTION DE LA VÉGÉTATION

| | |
|--|----|
| L'ouvrage hydraulique et son environnement | 65 |
| Les types et principales constitutions d'ouvrages | 65 |
| Structure interne des ouvrages et développement racinaire | 70 |
| Les peuplements végétaux | 73 |
| Détermination d'une typologie de végétation | 73 |
| Caractéristiques détaillées des types de végétation | 76 |
| Cartographie des types de végétation | 84 |
| Zonage de la végétation en fonction des types d'ouvrages | 85 |
| État individuel des arbres | 89 |
| Risque prévisible et causes de dépérissement des arbres | 89 |
| Risques imprévisibles ou aléatoires : le vent et l'ancrage de l'arbre | 91 |

4

GESTION ET CONFORTEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES BOISÉS

| | |
|---|-----|
| Le plan de gestion..... | 99 |
| Les bases d'un plan de gestion de la végétation | 99 |
| Les outils d'aide à la conception et au suivi de la gestion | 101 |
| Gestion courante de la végétation | 104 |
| Objectifs | 104 |
| Surveillance des ouvrages | 104 |
| Techniques d'entretien | 119 |
| Prise en compte de l'écologie et du climat | 123 |
| Recommandations de gestion curative des ouvrages hydrauliques boisés | 136 |
| Entretien curatif de la végétation..... | 136 |
| Travaux de confortement | 144 |

5

ÉTUDES DE CAS

| | |
|--|-----|
| Cas des digues du Vidourle | 168 |
| Description de l'ouvrage | 168 |
| Historique et comportement de l'ouvrage..... | 168 |
| Contexte | 170 |
| Pression administrative et contraintes écologiques | 170 |
| Problématique liée à la végétation : boisement des digues et berges | 170 |
| Mesures de réduction des risques préconisées | 172 |
| Mise en œuvre et retours d'expérience | 174 |
| Perspectives | 175 |



| | |
|---|-----|
| Cas de la digue d'Eyglies | 176 |
| Description de l'ouvrage (état au moment du diagnostic de végétation) | 176 |
| Historique et comportement de l'ouvrage | 177 |
| Problématique liée à la végétation | 177 |
| Caractérisation et diagnostic de la végétation arborée | 179 |
| Réalisation des travaux Retours d'expérience | 181 |
| Cas des digues de l'Isère | 183 |
| Description de l'ouvrage | 183 |
| Historique et comportement de l'ouvrage | 183 |
| Contexte | 185 |
| Pression administrative et contraintes écologiques | 185 |
| Problématique liée à la végétation : digue boisée | 185 |
| Mesures de réduction des risques mises en œuvre | 187 |
| Perspectives | 189 |
| Retours d'expérience | 189 |
| Cas de la digue de Cusset | 191 |
| Description de l'ouvrage : Digue de canal | 191 |
| Historique et comportement de l'ouvrage | 191 |
| Problématique liée à la végétation : digue fortement boisée | 192 |
| Mesures de réduction des risques mises en œuvre | 194 |
| Retours d'expérience | 195 |
| Perspectives | 196 |
| Cas de la digue du Robinet | 197 |
| Description de l'ouvrage (état au moment du diagnostic de végétation) | 197 |
| Historique et comportement de l'ouvrage | 197 |
| Contexte | 197 |
| Problématique liée à la végétation : digue boisée | 198 |
| Mesures de réduction des risques mises en œuvre | 200 |
| Retours d'expérience. Comportement de l'ouvrage depuis les travaux | 201 |
| Perspectives | 201 |
| Cas du barrage de Montjoux | 202 |
| Description de l'ouvrage (état au moment du diagnostic de végétation) | 202 |
| Historique et comportement de l'ouvrage | 203 |
| Problématique liée à la végétation | 203 |
| Caractérisation et diagnostic de la végétation arborée | 204 |
| Mesures de réduction des risques mises en œuvre (parement aval) | 206 |
| Retour d'expériences. Perspectives | 208 |



REMERCIEMENTS, CONCLUSION, BIBLIOGRAPHIE ET ANNEXES

| | |
|--|-----|
| Remerciements | 212 |
| Conclusion | 214 |
| Bibliographie | 215 |
| Annexe 1. LES ESPÈCES VÉGÉTALES LIGNEUSES LES PLUS PRÉSENTES EN FRANCE SUR LES DIGUES ET BARRAGES ET DANS LEUR ENVIRONNEMENT PROCHE (LISTE NON EXHAUSTIVE) | 218 |
| Annexe 2. ESPÈCES PROTÉGÉES : PROCÉDURES DE DEMANDE DE DÉROGATION .. | 220 |
| Éléments de calendrier | 221 |
| Le contenu du dossier de demande | 222 |
| Les formulaires Cerfa | 223 |
| Cas des dérogations prévues à l'article L411-2 c | 223 |
| L'autorisation | 224 |
| Annexe 3 : Glossaire | 226 |



PRÉFACE

En France, la plupart des digues et de nombreux barrages en terre souffrent ou ont souffert d'un manque d'entretien, qui a conduit au développement d'une végétation arborescente abondante sur les remblais et à leurs abords. L'existence de végétation non maîtrisée sur les ouvrages hydrauliques présente plusieurs inconvénients vis-à-vis de leur sécurité : surveillance difficile, abri pour les animaux fouisseurs, risque d'érosion interne dans les conduits liés à la décomposition des racines, risque d'arrachement d'arbre par prise au vent, etc. Ce sont plus de 10 000 km de digues fluviales et de canaux et plusieurs milliers de petits barrages en remblai qui sont potentiellement concernés en France. Sur cette thématique, existe une forte expression de besoin de la profession. Face à des digues, des canaux ou des barrages comportant des arbres, voire recouverts d'une végétation ligneuse, les gestionnaires, les exploitants et les bureaux d'études qui les accompagnent sont souvent en peine à proposer des solutions adéquates, compromis nécessaire entre le contrôle du développement de la végétation, la proposition d'un traitement pérenne sans compromettre la sécurité des ouvrages, la préservation écologique de la ripisylve et des écosystèmes et le respect des usages dans un environnement de qualité.

Irstea répond à cette demande en dirigeant, depuis 20 ans, des travaux sur les questionnements scientifiques et techniques liés au développement de la végétation sur les ouvrages hydrauliques en remblai : plusieurs thèses ont été conduites sur le sujet, de très nombreuses expérimentations engagées *in situ* et au laboratoire, un important retour d'expérience accumulé lors d'expertises et d'études et une connaissance complète de la bibliographie et des acteurs sur le plan national et international.

Ce livre, composé par Irstea, comble un manque en termes d'informations, de méthodologies et d'accompagnement des gestionnaires et des bureaux d'études sur la question de la gestion de la végétation des ouvrages hydrauliques. Il vise à apporter des méthodes opérationnelles aux professionnels du domaine pour établir le diagnostic d'un ouvrage boisé et proposer un plan de gestion de la végétation.

Au croisement de plusieurs disciplines – l'écologie, le génie civil et l'hydraulique –, ce guide est le trait d'union entre des enjeux souvent contradictoires nécessitant des compétences plurielles pour apporter



des solutions durables et intégrées pour la gestion de la végétation. Ces compétences sont le plus souvent présentes au sein des services techniques des gestionnaires et des bureaux d'études, mais c'est bien la pluridisciplinarité des compétences qui faisait défaut et qui permet de proposer des solutions adéquates. Le temps de préparation de cet ouvrage, 5 ans, est révélateur de la difficulté de cette tâche, qui a nécessité un travail considérable pour aboutir à un manuel cohérent, clair et facile d'emploi que la profession pourra aisément s'approprier.

Les professionnels des ouvrages hydrauliques ont été étroitement associés, faisant de cet ouvrage un véritable manuel intégré opérationnel. Ils ont aussi largement contribué financièrement aux études en prenant en charge une grande partie des travaux sur le terrain, notamment l'arrachage de plusieurs centaines d'arbres pour l'étude des systèmes racinaires. Sans être exhaustif, je citerai les contributions de l'Association Départementale Isère-Drac-Romanche, des Dreal Paca et Franche-Comté, de la Compagnie Nationale du Rhône, d'EDF, de VNF, de Chambéry Métropole, du conseil départemental de l'Isère, du SMAVD, de la DDT de la Nièvre et de plusieurs autres gestionnaires publics d'ouvrages. Il faut également rappeler les organismes qui ont financé ces recherches depuis son origine ou qui contribuent aux recherches actuelles : Irstea, le ministère chargé de l'Écologie, la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur (qui a également subventionné l'édition de ce guide), l'Europe, l'Irex via le projet National Erinoh, le Symadrem, la Fédération de recherche Eccorev et le Labex OT-MED.

Rédigé par deux de nos meilleurs ingénieurs chercheurs spécialistes en écologie forestière et en génie civil et notre premier docteur sur cette thématique, cet outil très complet propose les bonnes pratiques de la gestion de la végétation des ouvrages hydrauliques en remblai et apporte des réponses précises et opérationnelles.

Je suis convaincu qu'il sera précieux à tous les techniciens et ingénieurs qui s'engagent dans une gestion durable et intégrée de la végétation des ouvrages hydrauliques en remblai des rivières et des fleuves.

Laurent Peyras

Ingénieur des Ponts, des Eaux et des Forêts

Docteur génie civil – Habilité à diriger des recherches

Directeur adjoint de l'unité de recherche Risques, Écosystèmes, Vulnérabilité, Environnement, Résilience d'Irstea



AVANT-PROPOS

Le présent guide s'intéresse aux ouvrages hydrauliques en remblai confrontés à un développement plus ou moins prononcé de végétation ligneuse. S'appuyant sur les connaissances et retours d'expérience les plus récents, il vise à expliquer aux gestionnaires de ces ouvrages la dynamique de croissance des arbres et arbustes et de leurs racines, à souligner les enjeux de sécurité liés au développement anarchique de la végétation ligneuse et à leur proposer des solutions concrètes d'intervention et de gestion, intégrant les critères environnementaux.

Les ouvrages hydrauliques concernés, à charge permanente ou temporaire, sont ceux constitués de remblai ou mixtes (remblai et maçonnerie). Pour ces ouvrages, une partie en remblai (terre, tout-venant, remblai compacté) et une fondation meuble assurent une fonction d'étanchéité, principale ou complémentaire, et sont potentiellement sujettes à l'installation et au développement d'arbres. Il s'agit de barrages en terre de diverses fonctions (eau potable, irrigation, loisirs, écrêtement des crues...), de digues d'aménagement hydroélectrique ou de canaux de navigation ou d'irrigation ou, enfin, de digues de protection contre les inondations de cours d'eau ou les crues torrentielles. Ces dernières digues sont des ouvrages à charge temporaire et leur parement côté rivière, exondé en dehors des crues, peut se boiser dans son intégralité, tout comme la crête et le parement côté zone protégée. Pour les barrages et digues à charge permanente, seul le sommet de parement amont peut se végétaliser, en plus de la crête et du parement aval. Les digues maritimes sont exclues du champ d'application du présent guide, bien que sur le principe, les risques liés à la végétation ligneuse soient similaires.

Par fonction, les ouvrages ciblés dans ce guide sont implantés au contact direct ou à proximité de l'eau, et les matériaux qui forment le remblai, les fondations et les sols aux alentours sont souvent fertiles. Ils constituent donc un milieu idéal pour l'installation de la végétation arborée, surtout s'ils sont peu ou pas compactés, cas général des constructions anciennes, abondantes dans le parc. De nombreuses digues de protection ont été édifiées au plus près ou même directement



au sommet de la berge (absence de ségonnal ou franc-bord, c'est-à-dire d'espace entre la berge et le pied de digue) et, dans ce cas, la nature et la gestion de la végétation des berges influent, elles aussi, sur la sécurité des ouvrages. La gestion de la végétation des berges et de l'ouvrage doit donc être intégrée dans une approche globale.

Cette gestion intégrée n'est pas un simple problème technique. Bien qu'artificiels ou artificialisés, ces milieux sont soumis à de multiples pressions sociales et les enjeux environnementaux y sont exacerbés. Les digues et les ripisylves associées constituent des corridors écologiques essentiels dans les zones de grande culture et les zones urbaines. Les milieux humides et rivulaires comptent parmi les habitats les plus menacés, et ayant perdu en proportion le plus de surface à l'échelle européenne en un siècle. Leur sauvegarde et leur réhabilitation éventuelle sont donc des priorités, traduites fréquemment par des statuts de protection ou de vigilance à différentes échelles : habitat prioritaire, site Natura 2000, réserve naturelle, espace naturel sensible, Znieff, espace boisé classé des PLU, etc. Dans les zones urbaines et à leurs abords, les berges et digues sont aussi devenues une composante importante des espaces verts, parfois la seule, et un élément clé du paysage, lieu de détente, promenade et activité sportive. C'est aussi le domaine des pêcheurs, et la végétation des berges et digues joue un rôle écologique important pour le milieu aquatique, comme décrit dans le chapitre 4 de ce guide. Malgré l'acuité des enjeux sécuritaires dans ces zones, les travaux visant à éliminer les arbres et arbustes, ou toute opération en modifiant la végétation, y sont donc perçus comme une dégradation de l'environnement. Ils provoquent fréquemment des protestations et souvent des blocages de la part des populations ou des élus locaux et d'associations de protection de la nature. Dans ce domaine, on verra que les plans de gestion, discutés dans le chapitre 4, sont de bons outils de négociation, médiation et communication qui permettent de prioriser les interventions pour une remise en état raisonnée des ouvrages.

Pour répondre aux objectifs ci-dessus, ce guide se décompose en quatre chapitres :

Le **chapitre 1** décrit les types de végétaux rencontrés sur les ouvrages hydrauliques en remblai et leurs avantages et inconvénients en termes de sécurité. Pour étayer l'analyse des risques, il précise la vitesse de croissance des arbres, et détaille particulièrement le mode et la vitesse de développement des systèmes racinaires dans les remblais, ainsi que leur décomposition, en fonction de l'environnement.



Le **chapitre 2** donne les informations clés sur la réglementation et les règles de l'art actuelles dans le domaine de la gestion des ouvrages hydrauliques et de leur végétation. Chacun devra l'actualiser car la réglementation évolue très vite.

Le **chapitre 3** fournit les bases pour un diagnostic objectif de la végétation et des risques associés. Après la description des principales natures d'ouvrages, il propose une typologie opérationnelle de la végétation, associée à des recommandations générales sur l'acceptabilité des types de végétation, en fonction des risques encourus, suivant les natures d'ouvrages hydrauliques. Il propose aussi des outils pratiques d'aide à la décision sur les objectifs de gestion.

Le **chapitre 4** pose en préambule les bases de la rédaction d'un plan de gestion, puis il développe successivement : les éléments à prendre en compte dans la gestion courante d'une végétation acceptable en termes de sécurité des ouvrages, et les recommandations pour la gestion curative d'une végétation jugée inacceptable en l'état, ou à terme, pour cette sécurité.

Enfin, le guide propose dans son **chapitre 5** six études de cas tirées de diagnostics et de travaux récents, ayant servi à affiner les connaissances qui sont présentées dans ce guide. Elles sont représentatives de situations fréquemment rencontrées, mais sans aucune prétention d'être exhaustives.



chapitre 1

Rôles et risques associés à la végétation présente sur les ouvrages hydrauliques



LES TYPES DE VÉGÉTATION

Les végétaux peuvent être classés en trois groupes selon leurs conditions optimales de développement en relation avec le bilan hydrique :

- les végétaux hygrophiles : ils ont besoin ou ils tolèrent de fortes quantités d'eau tout au long de leur développement ; certains sont adaptés à la submersion ou aux sols saturés d'eau ;
- les végétaux xérophiles : espèces pouvant s'accommoder de milieux ou climats secs, les plus résistantes d'entre elles tolérant une dessiccation partielle ;
- les végétaux mésophiles : intermédiaires entre hygrophiles et xérophiles, ces végétaux ne tolèrent ni l'engorgement prolongé du sol par l'eau, ni une forte ou longue sécheresse.

Comme les berges des cours d'eau, les ouvrages hydrauliques en remblai (digues et barrages) présentent des milieux variés, propices suivant le cas au développement de chacun de ces groupes : espèces hygrophiles à proximité des nappes phréatiques, canaux ou rivières en pied d'ouvrage ou de la retenue pour les barrages, espèces xérophiles sur les matériaux grossiers et drainants en crête ou haut de parement, et espèces mésophiles dans les situations intermédiaires. Le climat joue parallèlement un grand rôle dans la sélection des espèces : un matériau ou une position prédisposant au stress hydrique peuvent être compensés par un climat frais sans période sèche, tout comme un environnement a priori favorable peut être dégradé par de fortes sécheresses, en région méditerranéenne par exemple.

Au sein de ces trois groupes (hygro, xéro, méso), on distingue différentes strates de végétation (cf. annexe 1) :

- la strate herbacée, composée de plantes à tige verte et souple, non ligneuse, atteignant de 0,5 à 1,50 m de hauteur à maturité en général. Cette même famille comprend également les roseaux, cannes, et autres joncs (à tige creuse et rigide) qui peuvent parfois dépasser 4 m de haut ;
- la strate arbustive, composée d'arbustes ou buissons, végétaux mesurant moins de 7 m de haut à l'état adulte, dotés d'un ou plusieurs troncs ligneux de petite dimension (diamètre généralement inférieur à 7,5 cm) ;



- la strate arborée, composée d'arbres (végétaux ligneux de grande taille qui possèdent un tronc bien différencié dont les ramifications n'apparaissent qu'à une certaine hauteur au-dessus du sol) d'une hauteur potentielle supérieure à 7 m. Les arbres peuvent cependant avoir des troncs multiples s'ils rejettent après une coupe.

Il existe dans chaque strate des espèces exotiques envahissantes. Il s'agit d'espèces introduites par erreur ou volontairement dans un écosystème et qui peuvent engendrer des nuisances environnementales, économiques ou sanitaires, notamment par leur prolifération. Parmi les plus courantes : le robinier faux-acacia (improprement nommé acacia), l'érable negundo et l'ailante pour les arbres, l'arbre à papillon (*Buddleia*) pour les arbustes, la renouée du Japon et la berce du Caucase pour les grandes herbacées, des balsamines, solidages et asters pour les petites herbacées. Mais plus de 10 autres espèces posent des problèmes plus locaux, et sont parfois en forte et rapide expansion. Certaines plantes autochtones ayant un fort pouvoir de colonisation peuvent parfois devenir tout aussi envahissantes, comme la canne de Provence dans le sud de la France. Des plantes aquatiques comme les jussies peuvent aussi être envahissantes sur les rivières et plans d'eau, et véhiculées accidentellement par des travaux sur les berges et digues.

A contrario, certaines espèces végétales sont protégées. Au niveau national, elles sont listées dans des arrêtés du gouvernement français : celui du 20 janvier 1982, modifié à trois reprises en 1995, 2006 et 2013 (cf. chapitre 2 p. 51) :

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGI-TEXT000006074622&dateTexte=20131121>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_espèces_végétales_protégées_sur_l'ensemble_du_territoire_français_métropolitain

D'autres espèces à enjeux plus locaux bénéficient d'une protection régionale, dont le niveau est équivalent à celui offert par les arrêtés nationaux. Des arrêtés ministériels spécifiques aux différentes régions concernées listent ces espèces.

Les arbres les plus fréquemment rencontrés sur les ouvrages hydrauliques en remblai en France métropolitaine sont :

- d'une part, des hygrophiles tels que les peupliers, les saules et l'aulne glutineux, ces deux derniers étant plus fréquents au pied des remblais à proximité immédiate de l'eau. L'aulne a la particularité de développer, en plus des racines terrestres habituelles,



des racines supportant d'être noyées continuellement et qui tapissent les berges sous l'eau. C'est pourquoi on le trouve surtout en alignement en bordure de l'eau. Peu d'autres arbres hygrophiles ont ce pouvoir. En France, seul le platane semble capable de l'imiter dans certains cas.

- d'autre part, des mésophiles tels que le robinier (parfois issu de plantations), le frêne, les érables, les chênes et plus localement le platane, qui se situent plus fréquemment sur les talus et crêtes d'ouvrages. Quand le climat n'est pas trop aride, le peuplier noir, tout en étant naturellement hygrophile, supporte les conditions assez sèches des remblais de digues où sa croissance est cependant très diminuée.



RISQUES ET BÉNÉFICES LIÉS AUX DIFFÉRENTS TYPES DE VÉGÉTATION

Bien que propices au développement d'une biodiversité floristique et faunistique, toutes les strates de végétation, si elles ne sont pas régulièrement entretenues (fauchage, débroussaillage, abattage), gênent la surveillance visuelle des ouvrages (cf. chapitre 3 p. 63) et favorisent l'installation d'animaux fouisseurs qui creusent des terriers dans les remblais. Comme les travaux d'entretien peuvent impacter la biodiversité, leur réalisation doit être parfaitement réfléchie (cf. chapitre 4 p. 97).

Afin d'évaluer les avantages et les inconvénients des végétaux implantés sur les ouvrages (tableau 1 p. 21 pour le cas des digues), il faut considérer leurs parties aérienne et racinaire. Il faut aussi distinguer, le plus souvent, les talus côté terre (aval) et côté cours d'eau, retenue ou canal (amont), qui sont soumis à des contraintes en partie différentes : celles liées à l'écoulement externe ou à la présence de l'eau (batillage, courant, tourbillons, hauteur d'eau, surverse), celles liées à l'écoulement interne éventuel (position de la nappe, systèmes de drainage), celles liées aux protections (perrés, revêtements) si elles existent, etc.

Herbacées

Les herbacées souples offrent une protection superficielle du sol : leur partie aérienne intercepte les eaux et forme un tapis protecteur tandis que la partie racinaire fixe quelques dizaines de centimètres d'épaisseur de sol. Elles permettent un entretien mécanique par fauchage, rapide et peu onéreux. Ainsi entretenues, elles ne favorisent pas l'installation d'animaux fouisseurs et leur présence est avantageuse à bien des titres.

Les herbacées rigides comme les cannes de Provence ont les mêmes propriétés mais peuvent générer des embâcles lorsqu'elles sont déracinées par grosses touffes ou plaques pendant les crues, leur enracinement étant assez superficiel. De plus, elles présentent l'inconvénient



d'être souvent envahissantes : en couverture dense ou haute (par manque d'entretien), elles masquent les désordres, cachent les animaux fouisseurs et peuvent empêcher ou au moins compliquer l'accès aux ouvrages.

Arbustes

Les strates arbustives ont également un rôle de protection et de renforcement du sol en surface et plus en profondeur (jusqu'à parfois plus d'1 m). Mais leurs racines ligneuses peuvent être à l'origine de dégradations, notamment pour les parties d'ouvrage « dures » (maçonnées, bétonnées ou bitumineuses) comprenant des joints ou des fissures que les racines pénètrent et agrandissent (fig. 1.1). Les formations arbustives denses gênent la surveillance visuelle des talus et constituent un habitat très propice aux animaux fouisseurs. Dans des systèmes endigués très étroits, et côté cours d'eau, elles peuvent diminuer la capacité d'écoulement du lit, donc surélever la ligne d'eau. Par contre, elles ralentissent le courant à proximité des talus, donc diminuent l'érosion externe potentielle. Les arbustes à port rigide et à couronne dense peuvent, lorsqu'ils sont isolés ou en petits massifs, provoquer des tourbillons érosifs s'ils se trouvent noyés dans un courant.



Figure 1.1. Dégradation d'une dalle béton par des racines d'arbuste ayant colonisé une fissure (ph. C. Zanetti).

Arbres

La strate arborescente peut avoir des fonctions bénéfiques : interception des pluies, renforcement du sol en surface et dans la zone d'exploration des racines (de 1 à 5 m de profondeur en général), stabilisation des terrains en pente par augmentation de la cohésion du sol et de sa



résistance au cisaillement et, en saison de croissance (du printemps à l'automne), par absorption de l'eau dans le sol. Elle ombrage et couvre en partie les cours d'eau, limitant les températures extrêmes en été comme en hiver. Elle a un rôle écologique et social (cf. chapitre 4 p. 97). C'est pourquoi de nombreux arbres ont été plantés, surtout jusqu'aux années 1950 mais encore récemment, sur des digues et barrages afin de stabiliser les talus en surface ou de les végétaliser dans un but paysager. On ignorait alors leurs impacts négatifs potentiels. Remarquons que les remblais modernes sont normalement construits dans le respect des règles de calcul de stabilité et n'ont pas besoin du renfort des racines ligneuses pour être stables.

Mais la présence d'arbres sur les ouvrages hydrauliques génère des risques importants, principalement liés à leur système racinaire.

Risque d'érosion externe, par arrachement comme détaillé ci-dessous et **risque d'érosion interne**, développé plus en détail dans le paragraphe sur le développement des racines p. 31. Côté cours d'eau, un peuplement arboré ou arbustif dense accentue aussi le risque de surverse par rehaussement de la ligne d'eau dans les lits étroits (cf. chapitre 3 p. 63, fig. 3.21 p. 82).

Lorsqu'un arbre est déraciné par le vent ou le courant, le système racinaire emporte avec lui une quantité variable de matériaux : cette quantité dépend d'une part du type et de la densité de ce système, et d'autre part de la cohésion du sol. La loupe d'arrachement peut mesurer de 1 à 10 m de diamètre et de 0,5 à 3 m d'épaisseur (cf. paragraphe sur le développement des racines p. 31 et fig. 1.19 p. 45 et fig. 3.26 p. 95). Cela réduit ponctuellement la largeur du remblai lorsque l'arbre se situe sur l'un des talus, et engendre un point bas lorsque l'arbre occupe une crête étroite. Il peut en résulter alors :

- un glissement du talus de l'ouvrage du fait de la rupture de pente (instabilité mécanique) ;
- un affouillement du pied ou une érosion externe du talus de l'ouvrage côté rivière ou canal par des courants tourbillonnaires (fig. 1.2) ;
- un raccourcissement du gradient hydraulique dans le remblai avec risque d'érosion interne (cf. paragraphe sur le développement des racines p. 31) ;
- une surverse au niveau du point bas créé en crête ¹.

¹ Un cas avéré de brèche de ce type sur digue de protection a été signalé lors des crues de l'été 1997 en Allemagne, Pologne et Tchéquie (cf. rapport de mission Mériaux-Tourment en Pologne – novembre 1998).



Figure 1.2. Affouillement du pied d'une digue par des courants tourbillonnaires derrière un arbre tombé (ph. C. Zanetti).

Le risque de déracinement d'un arbre est bien sûr lié entre autres à la taille de son houppier. Les arbres jeunes, plus souples, sont moins susceptibles d'être déracinés que les arbres plus âgés qui offrent une grande prise au vent et moins de flexibilité. Mais ce risque dépend aussi beaucoup du rapport entre la taille de l'arbre et celles de son système racinaire, et du type de système racinaire :

- sur les milieux riches et bien alimentés en eau, les arbres peuvent atteindre rapidement de grandes hauteurs et de forts diamètres avec des systèmes racinaires peu développés. Ce sera le cas notamment quand ils poussent à proximité immédiate d'une rivière, d'un canal ou d'une retenue. Quand ils poussent sur des matériaux pauvres et drainants, ou en climat très sec sans accès proche à une ressource en eau, les arbres restent petits et consacrent beaucoup plus de ressources au développement des racines : des petits arbres peuvent alors avoir un système racinaire très étendu ou très profond, ce qui les rend relativement plus résistants à l'arrachement par le vent ou le courant. Dans les zones habituellement ventées avec une direction préférentielle, les arbres développent des racines « haubans » qui les protègent de ces vents dominants, mais pas de vents venant d'autres directions ;
- concernant le type de système racinaire, sa résistance à l'arrachement dépend beaucoup de sa profondeur et de la présence ou non de pivots ancrant l'arbre dans le sol et opposant une forte résistance au basculement. Ce point est détaillé dans le paragraphe sur la structure racinaire p. 34 (cf. encadré p. 39).

Le poids des arbres et la force exercée sur eux par le vent sont transmis au sol par les racines, réduisant le facteur de sécurité et augmentant le risque de glissement. Ce risque s'accroît lors d'une décrue rapide (digue de protection) ou lors d'une vidange de plan d'eau (canal ou barrage) lorsque le remblai est saturé, à cause des sous-pressions que cela crée. Les arbres venant à basculer dans le cours d'eau, le canal ou



la retenue forment des embâcles, qui entravent l'écoulement et induisent un risque de colmatage et de débordement sur des zones à fort enjeu telles que les piles de pont, usines hydroélectriques, zones étroitement endiguées ou évacuateurs de crues. La rupture brutale de ces obstacles peut provoquer des submersions par la vague de débâcle¹. Même lorsqu'ils sont debout, la base des troncs d'arbres constitue un obstacle ponctuel pour l'écoulement de l'eau, favorisant la formation de tourbillons. Ces tourbillons très érosifs sont susceptibles de se former à la fois dans le courant côté rivière (digue de protection) et, en cas de surverse, dans la lame d'eau qui descend le talus aval. L'érosion ainsi créée est susceptible à son tour de déstabiliser les arbres en déchaussant leurs racines.

| | Herbacées souples fauchées | Herbacées rigides | Arbustes | Arbres |
|--|----------------------------------|----------------------|----------|--------|
| Contrôle de l'érosion superficielle | ☺ | ☺ | ☺ | ☺ |
| Intérêt potentiel écologique | ☺ | ☺ | ☺ | ☺ |
| Intérêt paysager et social | ☺ | ☺ | ☺ | ☺ |
| Stabilisation des pentes (jusqu'à 3 – 5 m de profondeur) | | | | ☺ |
| Permettent ☺ ou entravent 🚫 l'entretien mécanique ^a | ☺ | ☺ | ☺ | 🚫 |
| Prise au vent et au courant (déstructuration du sol, renversement avec arrachage d'une loupe de matériaux) | | | | 🚫 |
| Réduction de la capacité d'écoulement du lit ^b | | | 🚫 | 🚫 |
| Favorisent l'érosion par tourbillons | | | 🚫 | 🚫 |
| Pèsent sur le remblai (à la décrue ou vidange) | | | | 🚫 |
| Favorisent ☺ ou pas 🚫 les animaux fouisseurs | ☺ | 🚫 | 🚫 | |
| Formation d'embâcles | | 🚫 | 🚫 | 🚫 |
| Dégradations externes : perrés, revêtements | | 🚫 | 🚫 | 🚫 |
| Dégradations internes (décompaction, érosion) | | | 🚫 | 🚫 |

(a) La végétation arbustive gêne ou empêche le fauchage mais pas le broyage mécanique.

(b) Une réduction significative de la capacité d'écoulement du lit par une végétation dense surélève la ligne d'eau à son niveau et en amont.

Tableau 1. Bénéfices ☺ et risques 🚫 liés aux différents types de végétation sur les digues.

¹ Une vague de débâcle est créée par la rupture brusque d'un embâcle qui formait un barrage dans un cours d'eau.



Enfin, les arbres développent des systèmes racinaires de grandes dimensions susceptibles de dégrader physiquement les ouvrages. Ce point est détaillé dans le paragraphe sur le développement des racines p. 31 et le tableau 1.

Sur les ouvrages hydrauliques, les risques liés aux arbres et arbustes dépendent largement de la taille de ces derniers. Concevoir un plan de gestion implique souvent de leur imposer un âge limite ou des dimensions maximales (et une densité en rapport avec ces dimensions), que ce soit pour leur partie aérienne (hauteur, diamètre) ou pour leur système racinaire. La gestion doit aussi prévoir un échancier de travaux en fonction de ces limites. Il faut donc bien connaître la vitesse de développement de ces deux parties (aérienne, racinaire) pour les principales espèces végétales concernées, ce qui implique une étude spécifique. Bien qu'elles soient théoriquement corrélées, les dimensions relatives des parties aériennes et racinaires vont dépendre de nombreux facteurs : climat et type de matériaux, comme discuté précédemment, disponibilité de ressources en eau ou nutritives, densité du peuplement et mode de gestion. Enfin, il est fréquent que les arbres poussant sur des ouvrages hydrauliques soient régulièrement coupés pour limiter leur hauteur ou leur diamètre. Lorsque ces arbres sont capables de rejeter de souche, ces recépages ralentissent provisoirement la croissance racinaire, mais celle-ci reprend rapidement. Si le peuplement est ainsi traité en taillis depuis longtemps, on peut avoir d'énormes souches sous des petits arbres.

La gestion des arbres et arbustes en fonction de leur taille ou de leur âge doit par ailleurs tenir compte du fait que le cortège d'espèces animales et végétales évolue avec ces dimensions et avec le temps et que les travaux modifient en permanence la structure et le nombre des habitats correspondants.

Le paragraphe suivant détaille successivement la croissance des parties aériennes et souterraines des arbres.



VITESSE DE CROISSANCE DES ARBRES ET DE LEURS RACINES

Facteurs contrôlant la croissance aérienne des arbres

La production de biomasse par la partie aérienne des arbres est globalement contrainte par la fertilité du sol, celle-ci comprenant la richesse minérale et l'approvisionnement en eau. Le climat joue également un rôle important : directement par la durée de la période chaude favorable à la croissance ; et indirectement par la répartition des pluies dans l'année et leur régularité d'une année sur l'autre. Ces paramètres climatiques, combinés aux caractéristiques du sol (ou ici au matériau de l'ouvrage), vont déterminer la quantité d'eau disponible pour l'arbre. Le régime d'écoulement de la rivière ou du canal mais aussi la profondeur de la nappe et ses variations temporelles sont à prendre en compte, car ils peuvent rendre l'arbre partiellement indépendant ou au contraire totalement dépendant du climat ou du sol pour leur approvisionnement en eau.

Si l'eau est indispensable, l'excès d'eau à faible profondeur ou latéralement, qu'il soit permanent ou temporaire, empêche le développement de racines pour de nombreuses espèces d'arbres et se révèle donc défavorable à leur croissance. Leur sensibilité à cet engorgement est cependant très variable. L'aulne peut développer une partie de ses racines à la surface de berges immergées et les espèces hygrophiles (saules, peupliers) sont plus tolérantes à ces engorgements et à la submersion temporaire que les espèces plus forestières.

Finalement, il est impossible de prédire le développement aérien potentiel des arbres (vitesse, taille maximale) sans connaître l'ensemble de ces facteurs du milieu.

Le potentiel de production de biomasse aérienne est réparti entre la croissance primaire (allongement des branches et du tronc, production de feuilles ou aiguilles et reproduction) et la croissance secondaire (croissance en diamètre du tronc et des branches). Pour un arbre donné, cette répartition dépend beaucoup de la concurrence avec ses voisins :