

## TREE GROWTH ON EARTH DAMS AND CANAL DIKES : DIAGNOSIS AND RECOMMENDATIONS BASED ON CASE STUDIES

### *Colonisation par les arbres des petits barrages ou digues de canaux en terre : diagnostic et consignes d'entretien au travers d'études de cas*

Caroline Zanetti<sup>1a</sup>

Patrice Mériaux<sup>1a</sup>, Michel Venetier<sup>1b</sup>, Paul Royet<sup>1a</sup>

<sup>1</sup> Cemagref, 3275 route de Cézanne – CS 40061 – 13182 Aix en Provence cedex 5

<sup>a</sup> Groupe de Recherche « Ouvrages hydrauliques » patrice.meriaux@cemagref.fr, paul.royet@cemagref.fr,  
caroline.zanetti@cemagref.fr, Téléphone : +33 (0) 42 669 956, Fax : +33 (0) 42 668 865

<sup>b</sup> Groupe de Recherche « Ecosystèmes méditerranéens et Risques », michel.venetier@cemagref.fr

#### **MOTS CLÉS**

Systemes racinaires ligneux, végétation, gestion, sécurité des ouvrages hydrauliques.

#### **ABSTRACT**

*Trees growing on earth dams and dikes generate safety problems and reduce dam durability. Root systems generate internal and external erosion risks which can be important on dikes wooded for a long time. Internal erosion is related to galleries created by rotten roots in earthfill and also to mechanical action of live roots which can decompact dike materials or destroy masonry protection walls or joints. External erosion is often related to tree uprooting (during storms for example). Erosion risks increase with tree age and stand density. The aim of this study is to analyse root systems characteristics of trees rooted in canal dikes and dams. Dam embankment properties and tree position affect considerably stump structure and root architecture. Stump structure and volume, root distribution, diameter and root length depend on many factors: species, stump age, dike materials (texture, structure, compactness, organic matter content) and water availability. Stump structure and architectural root type influence risks for dikes. For example, risks are higher when big roots cross right through the dike body. Ideally, no trees should grow on dikes and all new tree growth should be stopped. However, by killing existing trees, the structure of dike materials changes due to rotting roots, thus creating galleries or heterogeneities leading to internal water erosion. The recommendation is to limit the growth of existing trees but not to kill them. Big trees shouldn't be devitalized if their stumps aren't removed, dikes embankment repaired with appropriate materials.*

#### **RÉSUMÉ**

*Colonisation par les arbres des petits barrages ou digues de canaux en terre : diagnostic et consignes d'entretien au travers d'études de cas*

*Les arbres se développant sur les barrages et les digues en terre génèrent des problèmes de sécurité et réduisent la durabilité des ouvrages. Les systèmes racinaires induisent des risques d'érosion interne et externe qui peuvent être importants sur les barrages boisés depuis une longue période. L'érosion interne est liée à la création de galeries créées par les racines pourries dans le remblai et aussi à l'action mécanique des racines vivantes qui peuvent décompacter les matériaux ou détruire les ouvrages de protection maçonnés ou les joints. L'érosion externe est souvent liée au déracinement des arbres (pendant les tempêtes par exemple). Les risques d'érosion augmentent avec l'âge des arbres et la densité du couvert végétal. Le but de cette étude est d'analyser les caractéristiques de systèmes racinaires d'arbres enracinés dans les digues de canaux et les barrages. Les propriétés du remblai de l'ouvrage et la position de l'arbre influencent considérablement la structure des souches et l'architecture des racines. La structure des souches et leur volume, la distribution, le diamètre et la longueur des racines dépendent de nombreux facteurs : espèce, âge des souches, matériaux de l'ouvrage (texture, structure, compacité, teneur en matière organique) et disponibilité en eau. La structure des souches et l'architecture des racines influent sur le risque et la sécurité des ouvrages. Par exemple, les*

*risques sont plus élevés quand de longues et grosses racines traversent directement le corps du remblai. Idéalement, il ne devrait pas y avoir d'arbres sur les digues et barrages et toute nouvelle pousse d'essences ligneuses devraient être éradiquée. Cependant, en tuant les arbres existants, la structure des matériaux change en raison du pourrissement des racines, créant des galeries ou des hétérogénéités qui augmentent le risque d'érosion interne. Les recommandations de court terme sont donc de limiter la croissance des arbres existants, sans les tuer. Les gros arbres ne doivent pas être dévitalisés si leurs souches ne sont pas extraites et le remblai reconstitué à l'aide de matériaux adaptés et correctement mis en œuvre.*

## 1. INTRODUCTION

Des dizaines de milliers de petits barrages (Figure 1) ou digues de canaux en terre (Figure 2), de tous âges, sont répartis sur notre territoire (barrages d'étang, retenues collinaires, bassins d'irrigation, canaux d'irrigation ou de voies navigables, etc.) [1]. Leurs structures génie civil passent fort souvent inaperçues dans le paysage et pour cause : elles sont envahies de broussailles, d'arbustes ou arbres et parfois même de forêts ! En effet, situées par définition à proximité de milieux aquatiques, ces ouvrages en remblai sont enclins à être colonisés par des espèces d'arbre hygrophiles et ce, en seulement quelques années [2] . Ceci résulte d'une carence d'entretien par les propriétaires qui, de bonne foi, ignorent les impacts négatifs occasionnés par le développement des racines dans les ouvrages hydrauliques et sont parfois même persuadés que plus un barrage se boise, plus il est sûr ...

De nombreux propriétaires sont ainsi confrontés à des barrages ou des digues de canaux plus ou moins boisés. Les risques sont alors grands de voir se développer des « renards » hydrauliques empruntant les conduits laissés par les racines mortes. Si, de plus, les parties aériennes des arbres ont atteint des dimensions importantes, il est à redouter les déracinements dus au vent avec des conséquences mécaniques ou hydrauliques plus ou moins préjudiciables à la structure, selon la localisation des arbres renversés et la constitution de l'ouvrage [3, 4].

De telles situations sont particulièrement complexes à gérer car l'abattage systématique des arbres sur les ouvrages incriminés ne supprime pas le risque d'érosion interne (renards), voire même l'aggrave :

- si les arbres rejettent de souche (ex : robinier, peuplier, chêne, ...), le système racinaire continue à croître et le problème s'aggrave inéluctablement à long terme ;
- si les arbres meurent, l'ensemble de leurs racines dépérit plus ou moins rapidement, ce qui crée un risque généralisé à court ou moyen terme.

La présente communication décrit sommairement quelques cas de diagnostic de végétation arborée indésirable s'étant développée sur des petits barrages ou digues de canaux en terre et les consignes d'entretien ou de remise à niveau qu'ils ont conduit à élaborer. Elle conclut sur la façon d'adapter aux barrages boisés les consignes de surveillance, les pratiques d'entretien et le déroulement des visites techniques approfondies.



Figure 1 : Petit barrage boisé en Isère



Figure 2 : Digue de canal du Rhône à Lyon

## 2. MATERIELS ET METHODES

Dans le cadre d'une thèse, des études de terrain ont été réalisées de 2006 à 2009 afin de pouvoir analyser, in situ, la structure des systèmes racinaires ligneux et le phénomène de décomposition des racines. Ces éléments conditionnent, en effet, l'apparition du risque d'érosion interne et externe..

### 2.1 Les sites d'études

Au total, quelque 90 souches ont été excavées depuis 2003 sur des digues et barrages français à charge hydraulique permanente : il s'agissait majoritairement de digues de canaux d'aménagement hydroélectrique du Rhône et d'un barrage de retenue des eaux de la Gervonde en Isère, anciennement aménagé pour la pêche. Ces ouvrages ont été généralement construits par déblai/remblai avec les sédiments alluviaux prélevés sur place. Leur constitution dépend donc du secteur géographique et des moyens mis en œuvre pendant la réalisation des travaux (différences à noter entre les digues et barrages anciens et les digues relativement récentes des aménagements hydroélectriques du Rhône, construites à partir des années 1950). Parfois, un noyau argileux a été mis en place au cœur de l'ouvrage pour améliorer l'étanchéité.

Tandis que les dimensions des digues du Rhône sont importantes (emprise au sol d'une centaine de mètres, largeur en crête et hauteur de 10 m), les barrages anciens sont souvent de dimensions plus réduites.

Les matériaux constituant les remblais, sur nos secteurs d'étude, sont sablo-graveleux à sablo-caillouteux. Les arbres ont été sélectionnés en fonction de leur gabarit (âges variés) et de leur position sur l'ouvrage (en pied, milieu ou sommet de talus). Sept essences, fréquemment rencontrées sur ces ouvrages, ont été observées : chêne (*Quercus* sp.), érable (*Acer* sp.), frêne (*Fraxinus excelsior*), peuplier (*Populus Nigra*, *Alba*, hybrid), robinier (*Robinia pseudoacacia*), saule (*Salix* Ssp.), aulne (*Alnus glutinosa*).

### 2.2 L'acquisition des données

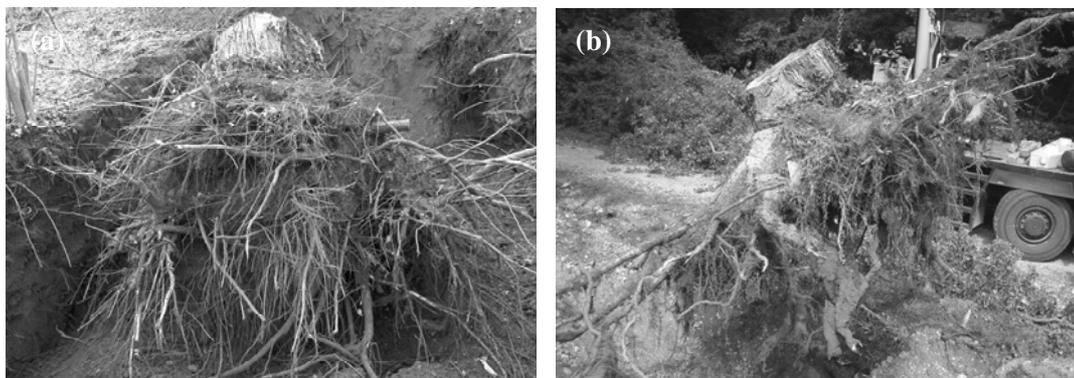
Des souches vivantes et en décomposition ont été excavées. Au cours de l'excavation, au moyen d'une pelle mécanique, la structure de la souche est décrite (distribution, direction, orientation, dimensions des racines), photographiée et schématisée. Les impacts des racines sur la structure du remblai et les matériaux sont observés. Ensuite, une fois les souches mises en dépôt, la description de la structure des systèmes racinaires est complétée par l'acquisition de données quantitatives sur les racines (diamètres, longueurs, ramifications) [3].

## 3. RESULTATS : SYSTEMES RACINAIRES LIGNEUX ET RISQUES

### 3.1 La structure des systèmes racinaires

La structure des systèmes racinaires résulte d'un compromis entre héritage génétique et interaction avec le milieu [5, 6]. Les observations réalisées au cours des travaux effectués sur les digues ont mis en évidence que la morphologie des systèmes racinaires est en effet influencée par l'espèce végétale, l'âge des arbres, le milieu (nature et structure des matériaux) et le contexte (position de l'arbre sur la digue, contraintes locales). Cependant, certains paramètres semblent avoir une influence prédominante, c'est le cas de la nature des matériaux.

Dans les matériaux fins (sableux à limoneux), la densité de racines par souches est élevée et leur morphologie est régulière avec des diamètres limités (Figure 3 - a) : il s'agit d'un système racinaire fasciculé. Tandis qu'au niveau des zones plus graveleuses, la densité de racines est plus faible, les diamètres plus importants et la morphologie des racines complexe, marquée par les déformations liées à la présence des galets (Figure 3 - b). Il s'agit alors d'un système racinaire à structure mixte, composé de racines traçantes et de pivots.



**Figure 3** : Souches de peuplier, (a) sur matériaux fins, (b) sur matériaux grossiers

Les racines pivotantes génèrent un risque pour les ouvrages car ils pénètrent le corps du remblai. Ils assurent un bon ancrage de l'arbre par leurs pivots mais posent le problème de la déstructuration des matériaux en profondeur.

Les racines traçantes assurent une fixation de la partie superficielle du sol (moyen de lutte efficace contre le ravinement). Ce type de racine est dangereux pour l'ouvrage si les racines traversent une partie de la digue ou s'enfoncent dans le corps de digue à l'horizontale, en direction du sommet de talus. Les grosses racines traçantes, qu'elles soient en pied d'ouvrage côté aval (contre-canal éventuel) ou en haut de talus côté retenue, peuvent générer une déstructuration des ouvrages drainants (parement aval) ou de protection (revêtement rigides - parement amont). Ces racines traçantes sont moins gênantes lorsqu'elles se situent en sommet de talus, car elles sont généralement très superficielles (5 à 30 cm de profondeur dans le sol), donc au dessus du niveau maximal des eaux dans la retenue (cote PHE).

Le risque dépend donc de la structure des enracinements et diffère entre les systèmes traçants, mixtes et pivotants.

Les systèmes fasciculés, présente une bonne résistance à l'arrachement du fait de la répartition dense et homogène des racines, mais ont des volumes d'encombrement élevés, nuisibles pour la structure génie civil en cas de pourrissement ou d'arrachage.

Bien que la structure racinaire des souches dépende peu de l'espèce végétale, certaines essences ont des prédispositions en termes d'architecture racinaire, qui rendent leur présence inappropriée sur certaines parties des digues. C'est le cas des robiniers et des peupliers (noirs, blancs ou hybrides) qui présentent des particularités morphologiques observées dans différentes situations, bien que plus ou moins marquées selon les matériaux.

Ils développent souvent une à trois grosses racines traçantes, aux dimensions disproportionnées par rapport à celle de la souche. Ces racines sont orientées soit en direction de la retenue d'eau ou du canal (pénétrant le remblai), soit parallèlement à l'ouvrage (restant ainsi superficielles). Elles peuvent atteindre plus de 10 m de longueur et avoir des diamètres au départ de plus de 20 cm. A la différence du robinier qui ne possède que des petits pivots lorsqu'il est doté d'une structure mixte, le peuplier peut développer de puissantes et

profondes racines verticales. Ces racines de grosses dimensions sont surtout observées dans les matériaux grossiers.

Le risque dépend évidemment de la dimension de l'ouvrage hydraulique, il est plus élevé sur les barrages ou digues de petites dimensions (profil en travers étroit) où la souche occupe une part relative importante du remblai et constitue ainsi une zone significative d'hétérogénéité. Sur les digues étroites, les racines traçantes peuvent traverser l'ouvrage de part en part et être responsable de la création de conduits – l'érosion interne étant l'une des principales causes de rupture de digues.

### 3.2 La décomposition des racines

Après la mort naturelle ou l'abattage des arbres, les systèmes racinaires se décomposent et laissent des zones d'hétérogénéité dans les remblais. Ce sont les dimensions des racines décomposées, leur position dans le remblai et leur direction qui sont susceptibles de générer des problèmes de sécurité vis-à-vis des ouvrages en terre.

Les racines traçantes peuvent créer des galeries tandis que les pivots de gros diamètre engendrent un risque d'effondrement après leur pourrissement. Généralement, une variation de la décomposition du matériel végétal en fonction de l'éloignement de la souche et du diamètre a pu être décrite. Les racines de faible diamètre pourrissent et disparaissent plus rapidement que les racines de diamètre important. Il y a cependant une variabilité du phénomène liée aux attaques de champignons ou d'insectes.

Le risque dépend également beaucoup du type de matériaux de remblai. Favorisant temporairement la conductibilité de l'eau, les racines en décomposition dans les ouvrages hydrauliques en terre sembleraient avoir un effet moindre sur la structure des matériaux constitutifs de l'ouvrage lorsque le remblai est sablo-graveleux, semi-perméable et avec peu de cohésion. En effet, dans de telles conditions, le colmatage progressif des racines pourries par les particules fines de sable évite la formation de galeries franches. De plus, les propriétés drainantes caractérisant ce type de matériaux, ne sont pas fortement modifiées par les racines décomposées, ce qui voudrait dire que le risque de renard hydraulique est relativement peu augmenté. Par contre, dans les matériaux fins et cohésifs, les galeries laissées par les racines pourries sont susceptibles d'être conservées et soulèvent à ce moment là le problème de la création de conduits francs dans le corps de digue ou de barrage, susceptibles d'aggraver le risque de renard hydraulique (Figure 4).



Figure 4 : Galerie liée à la décomposition d'une racine dans des matériaux à matrice limoneuse cohésive

## 4. CONCLUSION : RECOMMANDATIONS DE GESTION DE LA VEGETATION

### 4.1 Synthèse : risques pour les ouvrages liés à la présence de racines ligneuses

Premièrement, l'érosion interne, principale cause de rupture des ouvrages hydrauliques, est aggravée par la présence des systèmes racinaires qui constituent des zones d'hétérogénéité dans le corps du remblai. De leur vivant, les racines ont une action mécanique défavorable. Elles induisent le décompactage des matériaux, la dégradation des joints et la déstructuration des revêtements maçonnés ou bitumés lorsque l'ouvrage en est doté. Après pourrissement, elles génèrent un risque de renard hydraulique du fait de la création de conduits

favorisant les infiltrations et la circulation de l'eau, pouvant éventuellement conduire à la formation d'une brèche par effondrement.

Deuxièmement, l'érosion externe souvent liée à l'arrachement d'un arbre (ex : par le vent) réduit ponctuellement la largeur du remblai et/ou la revanche si sa crête est étroite. Il peut induire une déstabilisation de l'ouvrage par rupture de pente (instabilité mécanique), raccourcissement du chemin hydraulique ou surverse (point bas créé sur la crête par le chablis).

Le risque dépend également du type de matériaux de remblai :

- pour une structure racinaire identique, le risque de chablis (arrachage de l'arbre par le vent) est plus élevé dans les matériaux sableux, tandis que les arbres enracinés dans des matériaux limoneux sont plus stables ;
- après pourrissement des racines, les galeries formées sont conservées au sein de matériaux cohésifs (limoneux, argileux, argilo-graveleux ou argilo-caillouteux) tandis que s'opère une réorganisation granulaire au sein des matériaux sablo-graveleux.

## 4.2 Préconisations de gestion applicable à court, moyen et long terme, en entretien ou en urgence

Selon l'ampleur et le stade de colonisation des arbres, les moyens de prévention des risques liés à la présence de végétation ligneuse sur les remblais d'ouvrage hydraulique peuvent aller des simples dispositions d'entretien et de surveillance à de lourds travaux de génie civil. Ils sont justifiées par l'obligation réglementaire (décret du 11/12/2007 et ses arrêtés d'application) de maintenance d'un ouvrage hydraulique de génie civil.

### 4.2.1 Entretien régulier réalisable à court terme

L'objectif est de ne pas laisser se développer d'essences ligneuses sur les ouvrages et à leur proximité et, si le mal a commencé, d'empêcher, par des tailles régulières (en cépées), le développement d'arbres de dimension trop importante.

Pour cela, les recommandations de gestion sont :

- un débroussaillage régulier (au minimum une fois par an) entre les arbres existants ;
- si nécessaire et a minima, la création d'un sentier permettant un cheminement et une observation aisés en pied aval ;
- des visites régulières de surveillance avec compte-rendu dans un registre de l'ouvrage : 1 fois par mois au minimum.

### 4.2.2 Reprise de l'entretien et travaux à moyen terme

- en cas d'arbres épars, il convient d'abattre les arbres de grandes dimensions, penchés ou malades et d'extraire les souches (travaux qui doivent s'accompagner de reprises partielles du talus du barrage ou de la digue) ;

- en cas de forêt, il est nécessaire d'abattre et extraire la totalité de la végétation ligneuse implantée sur l'ouvrage (travaux qui doivent s'accompagner d'une reprise complète du talus et, si nécessaire et à plus ou moins brève échéance, d'un confortement du remblai).

Pour ce qui est des travaux de reconstitution de talus après dessouchage(s), le principe est d'agrandir et de taluter les parois de la fouille afin de pouvoir compacter le fond de fouille, disposer si nécessaire un géotextile-filtre et permettre la mise en œuvre correcte par couches du matériau de remblaiement. La nature du matériau filtrant et les caractéristiques du géotextile sont à déterminer en fonction de la granulométrie des matériaux du talus dans chaque zone d'extraction. En finitions, une couche de terre végétale peut être régalée en surface et ensemencée (graminées uniquement), à condition de replier préalablement le géotextile sur le sommet de l'ouvrage. Ces travaux doivent être réalisés à retenue abaissée si possible afin de diminuer, à titre préventif, le gradient hydraulique et une surveillance visuelle renforcée des zones ainsi traitées est à prévoir à la remise en eau.

Ces travaux peuvent avantageusement être précédés de la réalisation d'une étude de diagnostic approfondie s'appuyant, si non réalisée récemment, sur une campagne de reconnaissances géotechniques (sondages répartis sur des profils amont-aval et équipés en piézomètres, prélèvement d'échantillons et essais en laboratoire de mécanique des sols) afin de mieux connaître la structure et la composition de l'ouvrage pour évaluer le risque plus précisément et d'affiner la conception des travaux de moyen et long termes..

#### 4.2.3 Confortement de l'ouvrage en urgence ou prévision à long terme

Deux principales familles de solutions sont envisageables :

- mise en place d'une recharge aval contre-filtre, sur un tiers à deux tiers de la hauteur du parement aval, avec un dispositif de collecte et de jaugeage des débits de drainage ;
- création d'une paroi étanche (paroi moulée, rideau de palplanches) afin de s'affranchir des risques liés à la présence des racines (éviter tout de même la présence de très gros arbres).

La création d'une recharge est l'option a priori la moins coûteuse, mais la plus impactante au plan environnemental puisque nécessitant l'enlèvement de toute la végétation sur son emprise, y compris sur une bande de terrain en pied aval. Dans le cas particulier - mais fréquent - des barrages anciens d'étang possédant un évacuateur de crues sous-dimensionné par rapport aux standards actuels, une coupure étanche par paroi épaisse - certes coûteuse (de 150 à 200 €/ m<sup>2</sup>) - peut avantageusement se voir confier une fonction secondaire d'amélioration de la résistance de la crête de remblai à la surverse et au déferlement des vagues vis-à-vis des crues exceptionnelles.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le Cemagref et la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Les moyens techniques ont été mis à disposition par les gestionnaires d'ouvrages (EDF, CNR, Conseil Général de l'Isère). Les auteurs tiennent à remercier les techniciens de la recherche qui ont permis l'acquisition des données pendant les campagnes de terrain.

## RÉFÉRENCES

- [1] Royet, P. (2006) La surveillance et l'entretien des petits barrages, *ed. Quae*: Cemagref. p. 84.
- [2] Mériaux, P., et al. (2006) Diagnostic et gestion de la végétation sur les digues et barrages en remblai. *Commission Internationale des Grands Barrages. 22<sup>e</sup> Congrès des Grands Barrages*: p. 1-19.
- [3] Zanetti, C., et al. (2008) L'enracinement des arbres dans les digues en remblai : étude des systèmes racinaires et impacts sur la sécurité des ouvrages. *Ingénieries - E A T. 53*: p. 49-67.
- [4] Vennetier, M., et al. (2003) Bases de la gestion de la végétation des berges et digues sous contraintes de sécurité. *Forêt Méditerranéenne. XXIV*(3): p. 263-274.
- [5] Atger, C. (1991) L'architecture racinaire est-elle influencée par le milieu? *L'arbre, biologie et développement*, (hs): p. 71-84.
- [6] Atger, C. and C. Edelin (1994) Stratégie d'occupation du milieu souterrain par les systèmes racinaires des arbres. *Ecologie. 49*: p. 343-356.