



HAL
open science

Colonisation par les arbres des barrages en remblai : diagnostic et consignes d'entretien

C. Zanetti, P. Mériaux, M. Vennetier, P. Royet

► To cite this version:

C. Zanetti, P. Mériaux, M. Vennetier, P. Royet. Colonisation par les arbres des barrages en remblai : diagnostic et consignes d'entretien. 24th International Congress on Large Dams, Jun 2012, Kyoto, Japon. pp.147-163. hal-01191532

HAL Id: hal-01191532

<https://hal.science/hal-01191532>

Submitted on 2 Sep 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

COMMISSION INTERNATIONALE
DES GRANDS BARRAGES

VINGT QUATRIÈME CONGRÈS
DES GRANDS BARRAGES
Kyoto, Juin 2012

**COLONISATION PAR LES ARBRES DES BARRAGES EN REMBLAI :
DIAGNOSTIC ET CONSIGNES D'ENTRETIEN ⁽¹⁾**

Caroline Zanetti

Patrice Mériaux

Michel Vennetier

Paul Royet

Ingénieurs-chercheurs, Cemagref

FRANCE

1. INTRODUCTION

Des dizaines de milliers de petits barrages ou digues de canaux en terre, de tous âges, sont répartis sur le territoire français (barrages d'étang, retenues collinaires, bassins d'irrigation, canaux d'irrigation ou de voies navigables, etc.). Leurs structures passent souvent inaperçues dans le paysage car elles sont envahies par la végétation et parfois même boisées [1]. En effet, situées par définition à proximité de milieux aquatiques, ces ouvrages en remblai sont enclins à être rapidement colonisés par des espèces hygrophiles. 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 ...

Or, l'arbre ne peut être considéré comme un facteur de sécurité des remblais d'ouvrages hydrauliques. Au contraire, il est porteur de risque car susceptible de générer des désordres, autant du fait de sa partie aérienne que

¹ *The report includes a French text followed by an English version. All figures are placed in the French text.*

racinaire [2]. En effet, dès que les parties aériennes des arbres atteignent des dimensions importantes, il faut redouter les déracinements dus au vent avec des conséquences mécaniques ou hydrauliques plus ou moins préjudiciables au barrage, selon la localisation des arbres renversés et la structure de l'ouvrage. Les racines vivantes ont, quant à elles, l'inconvénient de décompacter les matériaux, d'agrandir les joints et les fissures, de déstructurer les revêtements rigides de protection et de coloniser les drains. Et, après abattage ou mort naturelle des arbres, les risques sont grands de voir se développer des « renards » hydrauliques (une des formes d'érosion interne) empruntant les conduits laissés par les racines décomposées.

De nombreux propriétaires sont ainsi confrontés à des barrages ou des digues de canaux plus ou moins boisés. 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, 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 brièvement deux cas de diagnostic de végétation arborée s'étant développée sur des ouvrages hydrauliques et les consignes d'entretien ou de remise à niveau qu'ils ont permis d'élaborer. Elle conclut sur la façon d'adapter aux barrages boisés les consignes de surveillance et les pratiques d'entretien.

2. ÉTUDES DE CAS

Deux études de cas sont présentées, une sur un barrage boisé et l'autre sur un tronçon des digues de canaux d'un aménagement hydroélectrique. Ces diagnostics ont contribué à alimenter le retour d'expérience valorisé par une recherche expérimentale effectuée au Cemagref depuis une dizaine d'années, visant à mieux connaître :

- la structure et l'architecture racinaires des arbres, selon leur espèce et leur situation sur le remblai ;
- la vitesse de croissance des racines en fonction des essences et du milieu ;
- la vitesse de pourrissement des racines (conditionnant celle de l'apparition du risque d'érosion interne).

2.1. BARRAGE DE LA GERVONDE (ISÈRE)

2.1.1. Description du site et problématique

Ce barrage en terre, datant probablement du 17^{ème} siècle, d'une longueur de 350 m et d'une hauteur de 7 m, a été construit pour former un étang qui avait anciennement la vocation de réserve de pêche.

Le barrage vieillissant présentait des traces d'érosion marquées sur le parement amont dans la zone de battillage et des zones humides sur le parement aval. Certains des organes de vidange étaient, de plus, en très mauvais état [3].

De très grands peupliers bordaient le sommet du parement du barrage côté étang, tandis qu'une forêt dense de noisetiers, frênes et érables tapissait le parement aval (Fig.1). Cette situation était, a priori, contraire aux règles de sécurité des barrages qui préconisent l'élimination de la végétation autre qu'herbacée sur les parements amont et aval des ouvrages en terre ainsi que sur une frange de leur pied aval.



Fig.1

Crown of the Gervonde earthfill dam (D/S face on the left, U/S face on the right)
Crête du barrage de la Gervonde (talus aval à gauche, talus amont à droite)

Bien que ce site soit classé au titre de la protection de l'environnement, l'impact des arbres sur le remblai devait être étudié vis à vis de la sécurité.

2.1.2. Étude exploratoire

Sur la crête côté retenue, deux des grands peupliers ont été excavés, après leur coupe, afin d'observer la morphologie et le développement de leur système racinaire. L'objectif de ces extractions était d'appréhender l'impact du renversement d'un peuplier sur l'ouvrage. Le volume des souches s'est avéré considérable (Fig.2). Il s'agit de systèmes racinaires mixtes, composés (1) d'un système traçant puissant - grosses racines sur le premier mètre d'épaisseur, distribuées en étoiles avec prédominance des racines sur la pente côté retenue, développées dans des matériaux argilo-caillouteux, et (2) de racines pivotantes descendant jusqu'au niveau de la nappe dans l'ouvrage. Ces investigations ont été réalisées en hiver, avec un plan d'eau abaissé.



Fig.2

Uprooting of a large poplar stump on the upstream face
Extraction d'une souche de peuplier de gros volume sur le parement amont

Sur le parement aval, deux petits arbres ont également été arrachés (un jeune frêne et une cépée de noisetier). Ces systèmes racinaires avaient des dimensions réduites et ne généraient pas de risque apparent. Cependant, de nombreuses vieilles souches sont présentes sur le remblai mais n'ont pu être extraites. Par ailleurs, l'analyse des matériaux du barrage, prélevés sur le parement aval, a révélé des propriétés granulométriques propices à l'érosion interne, avec des zones limoneuses et une granulométrie discontinue. Les racines décomposées génèrent donc un risque fort dans ce type de situation.

2.1.3. Remise en état du barrage

Le dessouchage de la totalité des grands peupliers a été réalisé et s'est accompagné d'une reprise totale du haut du parement amont. Afin d'assurer la pérennité de l'ouvrage, la construction d'un évacuateur de crue à surface libre a été réalisée (Fig. 3). Les solutions de traitement de la végétation arborée implantée sur le parement aval sont toujours en cours d'étude, notamment à cause de la présence d'espèces rares à proximité du pied du barrage. En l'attente de travaux, une surveillance visuelle renforcée de ce parement a été préconisée, à l'appui d'un débroussaillage régulier entre les arbres sur au moins les deux-tiers inférieurs du talus.



Fig. 3

Dam after poplar extraction and construction of a flood control spillway
Vue du barrage après travaux, avec le nouvel évacuateur de crue

2.2. DIGUE DU CANAL DU RHÔNE

2.2.1. Description du site et problématique

Cette digue de canal d'aménagement hydroélectrique du Rhône, mise en service en 1897, était fortement végétalisée avec de très grands arbres (Fig. 4). Elle se caractérisait par la présence de souches vives et mortes très anciennes. Les archives [4] mentionnent la plantation de robiniers lors de la construction dont les souches peuvent par conséquent être âgées d'une centaine d'années. Située en zone urbaine, cette digue est très appréciée pour des pratiques de loisir et sa contribution à un paysage naturel.



Fig. 4
Rhône canal levee, woody landside face
Digue de canal du Rhône, parement aval boisé.

La digue s'élève plus ou moins progressivement (0 à 12 m de hauteur) de l'amont vers l'aval du canal et possède un profil large et régulier (largeur de 6 à 8 m en crête et supérieure à 60 m à la base), avec des pentes de talus de l'ordre de 1V/3H. Le corps de digue est essentiellement constitué de matériaux sablo-graveleux d'origine alluviale avec des passées sablo-limoneuses par endroits. Le parement amont est recouvert d'un masque imperméable en argile et chaux et dispose d'un perré bétonné de protection contre le batillage. Sur le talus aval, une couche de sol organique s'est développée en surface, sur les 30 premiers centimètres. La digue est dotée d'un dispositif d'auscultation complet en piézométrie (un profil en travers instrumenté tous les 250 m), et de quelques stations pour le suivi des débits de fuite ou de drainage.

De nombreux désordres ont été répertoriés sur cet ouvrage depuis sa construction, tels que fuites, fontis ou phénomènes de boulanges, traduisant des défauts d'étanchéité et des écoulements internes.

Dans ce contexte, l'évaluation du risque induit par la présence de nombreuses souches de dimension importante mitant le corps de digue, vivantes ou en cours de décomposition, était nécessaire.

2.2.2. Etude exploratoire

Environ trente arbres (peuplier, robinier, frêne, chêne, érable) ont été abattus et leur souche excavée afin d'étudier le développement racinaire et les

risques engendrés. Ces investigations ont révélé, d'une part, la présence de longues et grosses racines traversant une partie de l'ouvrage (racines de peupliers et robiniers - Fig. 5) et, d'autre part, la présence de racines pourries qui, dans les matériaux sablo-limoneux, sont susceptibles de laisser des galeries (Fig. 6) aggravant le risque d'érosion interne.



Fig. 5

Long and large locust roots growing right through the earthfill

Longues et grosses racines de robinier traversant une partie du remblai



Fig. 6

Gallery created by a decaying root in silty materials

Galerie laissée par une racine décomposée dans des matériaux limoneux

2.2.3. Remise en état de la digue

Six zones ont été définies sur le profil en travers (Fig. 7), en fonction du risque induit par la végétation arborescente implantée sur la digue. Elles prennent en compte la position des arbres sur l'ouvrage, le diamètre à la base des souches et la hauteur des arbres.

Il a été recommandé d'éliminer tous les arbres se situant :

- en zone 3 (haut du parement aval), dans les 4 m en aval de la crête ;
- en zone 5 (bas du parement aval), dans les 6 mètres en amont du pied de digue, là où débouchent les systèmes de drainage.

La présence d'arbres dans l'espace compris entre ces deux zones a été tolérée mais soumise à conditions : le diamètre à la base des souches est limité à 30 cm et la hauteur des arbres à 10 m. De plus, après deux recépages, les souches doivent être extraites et le talus reconstitué.

Au final toutefois, la solution mise en œuvre par le gestionnaire de la digue a été l'éradication de toute la végétation ligneuse avec une purge des talus et un ré-enherbement global de l'ouvrage afin de le remettre en état dans sa totalité et de minimiser le coût des entretiens futurs. En raison des enjeux sociaux, le gestionnaire a dû prévoir une opération préalable de communication

circonscrite pour expliquer les motivations sécuritaires et les modalités des travaux.

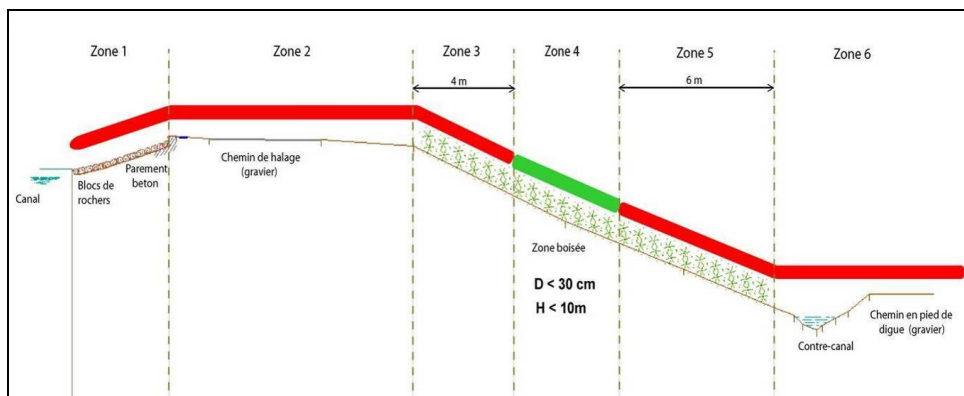






Fig.7

Guidelines for vegetation management on the different parts of an earthen levee
Recommandation de gestion de la végétation sur les différentes parties d'une digue en terre

	Tree presence permitted with size restrictions		<i>Présence d'arbre autorisée sous conditions</i>
	No tree allowed		<i>Présence d'arbre non autorisée</i>
D = Tree basal diameter		D = Diamètre à la base des souches	
H = Tree height		H = Hauteur des arbres	

3. RECOMMANDATIONS DE GESTION DES BARRAGES BOISÉS

Les objectifs des recommandations concernant la gestion de la végétation ligneuse implantée sur les barrages sont de limiter les risques de destruction et d'érosion interne de l'ouvrage liés au développement et au dépérissement racinaires, ainsi que de réduire le risque de chablis, tout en maintenant éventuellement un état arboré maîtrisé sur certaines zones, définies en tenant compte des contraintes de sécurité. La sectorisation et la définition de priorités dans des interventions de traitement de la végétation ligneuse, ou mieux un plan de gestion, sont recommandées sur les digues de grande longueur [5].

Les opérations de surveillance et d'entretien des barrages en remblai se classent en trois catégories :

- les opérations courantes : surveillance visuelle, tonte des parements, débroussaillage (coupe des arbustes), mesures d'auscultation de lecture facile (débits de fuite et de drainage, piézométrie) ;
- les opérations spécialisées : levés topographiques, auscultation renforcée, investigations approfondies (sondages géotechniques, ...) ;
- les opérations de maintenance exceptionnelles : remplacement des équipements vétustes ou défailants, réparation des structures en béton (joints, fissures), extractions de souches d'arbre et reconstitution du remblai, etc.

Pour l'établissement des consignes de surveillance et d'entretien des ouvrages hydrauliques boisés, les éléments suivants doivent être considérés :

- 1) La végétation ne doit pas nuire à l'examen visuel de l'ouvrage. Et une végétation dense favorise l'installation d'animaux fouisseurs dont les terriers nuisent à la sécurité.
- 2) Il est nécessaire de limiter la prise au vent des arbres (élagage ou recépage).
- 3) Recéper les arbres n'empêche pas le développement de leur partie racinaire. Il faut donc éviter le vieillissement des souches et extraire les souches trop grosses ou anciennes (dessouchage, puis reconstitution du talus).
- 4) Il faut absolument éviter le développement des souches à proximité des organes de drainage (risque de colmatage) et de protection (risque de déstructuration). L'extraction tardive des souches est très coûteuse car elle exige l'abaissement de la retenue afin de diminuer préventivement le gradient hydraulique et implique la reconstruction des parties colmatées ou déstructurées.
- 5) Le développement de certaines essences arborées sur les ouvrages hydrauliques est à éviter, notamment les peupliers, les robiniers et les saules, vu les caractéristiques de leurs systèmes racinaires.
- 6) Un broyage annuel (automne ou début d'hiver) de la végétation empêche le développement des plantules d'essences arbustives et arborées.

Les visites techniques approfondies (VTA), imposées par la réglementation française selon des fréquences croissant avec l'importance du barrage, fournissent l'occasion à un personnel qualifié en génie civil et souvent extérieur à la structure gestionnaire, d'apprécier l'état de l'ouvrage et de sa végétation, de vérifier l'application des consignes et leur pertinence et de formuler toutes propositions utiles visant à améliorer le suivi de l'ouvrage.

REMERCIEMENTS

Les études présentées ont été financées par le Cemagref, la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, le Conseil Général de l'Isère et EDF.

RÉFÉRENCES

- [1] MÉRIAUX P., VENNETIER M., AIGOUY S., HOONAKKER M., ZYLBERBLAT M. Diagnostic et gestion de la végétation sur les digues et barrages en remblai. CIGB, Barcelona, 2006, Q86–R68.
- [2] ZANETTI C., Caractérisation du développement des systèmes racinaires ligneux dans les digues, Thèse de doctorat, Cemagref Aix-en-Provence, Université de Provence I, 2011, 197p.
- [3] MÉRIAUX P., ZANETTI C., VENNETIER M. Note de recommandations pour la sécurisation du barrage de la Gervonde vis-à-vis du développement de la végétation ligneuse sur le parement aval Cemagref / CG Isère, Juillet 2010, 23p.
- [4] ZANETTI C., MÉRIAUX P., VENNETIER M. Etude de l'impact de l'enracinement des arbres sur la sécurité de la digue rive droite de l'aménagement de « x » : intervention sur le parement aval, Rapport d'étape Confidentiel, Cemagref / EDF, 2008, 30p
- [5] ZANETTI C., MÉRIAUX P., VENNETIER M. Gestion de la végétation des ouvrages hydrauliques en remblai, Guide pratique, Cemagref, en cours de rédaction.

RÉSUMÉ

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.

Deux études de cas sont présentées, une sur un barrage boisé et l'autre sur un tronçon de digue. On y décrit l'état des ouvrages et les travaux de traitement de la végétation et de confortement.

Les objectifs des recommandations concernant la gestion de la végétation sont de limiter les risques de déstructuration et d'érosion interne liés aux phénomènes de développement et de dépérissement racinaires, ainsi que de réduire le risque de chablis, tout en maintenant éventuellement un état arboré

maîtrisé sur certaines zones, définies en tenant compte des contraintes de sécurité. La coupe des gros arbres doit s'accompagner d'une extraction de leurs souches et d'une reconstitution du remblai à l'aide de matériaux adaptés, ainsi que d'un suivi régulier.

WOODED EARTH FILL DAMS GUIDELINES FOR DIAGNOSIS ET MAINTENANCE

1. INTRODUCTION

Dozens thousand of small earth dams or levees of any ages are distributed throughout the French territory, delimiting impoundments, reservoirs or channels for irrigation, flood control, leisure, fishing, waterways, power plants, etc.). They often pass unnoticed in the landscape as they are invaded by vegetation and sometimes even forested. Indeed, situated near aquatic environments, these earth fills are prone to be readily colonized by hygrophilous trees. The present situation is the results of a lack of maintenance by owners: most of them ignore the negative impacts caused by the development of roots in hydraulic earth fills, and are sometimes even persuaded that the more a dam or levee is afforested, the safer it is.

But trees cannot be considered as a factor of safety for earth fills. On the contrary, their aerial part as well as root system can generate risks [2]. Indeed, windthrow is at stake as soon as a tree is large, with mechanical or hydraulic consequences according to the localization of the trees and to the fill structure and size. The living roots may unplug materials, damage joints and linings, enlarge cracks, and colonize drains. After logging or dieback of trees, decaying roots induce a risk of piping.

Many owners are confronted with more or less afforested dams and levees. Such situations are particularly complex to manage because tree logging does not suppress the risk of internal erosion and even aggravates it:

- When trees resprout after logging (broadleaved species), the root system keeps on growing and the problem aggravates in the long term;
- If trees die, their roots decay more or less quickly, what creates a generalized risk of piping in the short or medium term.

The present communication describes briefly two cases of diagnosis of wooded dam and levee and the instructions for maintenance or upgrading which were elaborated for them. It concludes on how maintenance and monitoring practices can be adapted to afforested dams.

2. CASE STUDIES

Two case studies are presented, one on a wooded dam and the other one on the levees of channels of a hydroelectric development.

These diagnoses contributed to the feedback of a 10-year long research program by Cemagref, aiming at describing and quantifying, according to the species, tree age, fill design features and all environment variables (i) the general structure and detailed architecture of tree root systems in levees, and (ii) root growth speed and root decaying speed after tree death, conditioning the appearance of the risks.

2.1. GERVONDE DAM (ISÈRE)

2.1.1. *Site description and issues*

This earth dam, probably from the 17th century, 350 m in length and 7 m in height, was built to create a pond formerly devoted to fishing.

The ageing dam was presenting clear marks of erosion on the upstream face in the wake wave area, and wet zones on the downstream face. Furthermore, some of the bottom outlets and weirs were out of condition [3].

Very big poplars were lining the summit of the upstream face of the dam, whereas a dense forest of hazel trees, ash trees and maples hid the downstream face (Fig.1). This situation was against the safety regulations which recommend keeping only herbaceous vegetation on all faces of earth dams and levees as well as on a several-meters wide strip at their toe.

Although this site is protected for environmental reasons, the impact and status of trees on the dam had to be studied.

2.1.2. *Exploratory study*

On the top of upstream face, two of the big poplars were uprooted, after logging, to observe the structure and development of their root system. We aimed at assessing the potential impact of a windthrow on the dam. The volume of these stumps was considerable (Fig.2). Root systems belongs to a mixed type, including (i) many big roots running parallel to soil surface in the first meter, distributed all around the stump but mostly on upward face and (2) vertical taproots reaching the water table in the fill. These investigations were realized in winter, with a low level of water in the pound.

On the downstream face, two small trees were also extracted (a young ash tree and a clump of hazel tree). These root systems had reduced dimensions and did not generate visible risk. However, numerous old tree stumps were present on this face but we were not authorized to uproot them. The analysis of dam materials, sampled from the downstream face, revealed silty areas and a discontinuous grain size distribution, favorable to internal erosion. Decaying roots generate a strong risk of piping in such a case.

2.1.3. *Restoration of the dam*

All the big poplars were finally uprooted along with a total restoration of the top of the upstream face and of the crown. To secure the durability of the dam, an opened spillway was constructed (Fig. 3). Recommendations to manage vegetation on the downstream face are still under consideration as rare and endangered animal species are found nearby the toe. Awaiting for their implementation, a reinforced visual monitoring was recommended, with a regular clearing between trees on at least the two lower third of this side.

2.2. CANAL LEVEE, RHÔNE RIVER

2.2.1. *Site description and issues*

This levee of a hydroelectric canal on the Rhone River, brought into service in 1897, was densely forested with big trees (Fig.4). Some of the living and dead stumps were very old, up to one hundred-year old as archives [4] mention the plantation of locust trees just after the construction. Situated in an urban area, the levee was highly praised for recreational activities and its contribution to a natural landscape.

The levee rises gradually from 0 to 12 m in height downstream, with a wide and regular profile (width 6 to 8 m in crown and up to more than 60 m at its base, facing slopes (1V / 3H). The material, extracted from local alluvium is mainly coarse (sandy-rocky) with silty sand by places. The riverside face is entirely covered with a waterproof clay and lime lining reinforced by a concrete lining in the wake wave zone. On this concrete lining, a 30-cm deep layer of organic soil developed with alluvium deposits. The levee is endowed with a complete piezometry monitoring device (one profile every 250 m), and several stations for the follow-up of seepage or drainage flows.

Numerous disorders were listed on this work since its construction, such as leaks, sinkholes and soil liquefaction phenomena, showing lack of watertightness and abnormal internal flows.

In this context, the assessment of the risk led by the numerous living or decaying big tree stumps undermining the levee from within was necessary.

2.2.2. *Exploratory study*

Around thirty trees (poplar, locust tree, ash tree, oak, maple) were logged and their stump uprooted to study root development and associated risks. These investigations revealed, on one hand, the presence of long and big roots crossing right through the fill (poplars and locust trees - Fig.5) and, on the other hand, the presence of decaying roots which, in silty sand, may create galleries (Fig.6) with a high risk of piping.

2.2.3. *Restoration of the levee*

Six zones were delimited across the profile, according to the risk led by trees. They take into account the position of trees on the levee, their basal diameter and height (Fig.7).

It was recommended to eliminate all the trees being situated:

- In zone 3 (top of the landside face), up to 4 m from the crown;
- In zone 5 (bottom of the landside face), up to 6 meters from the toe, particularly at the end of drainage systems.

The presence of trees between these two zones can be tolerated with a restricted size: basal diameter < 30 cm and the height < 10 m. Furthermore, after two coppicing, tree stumps must be uprooted and the embankment slope restored.

Finally, the levee manager choose a radical solution consisting in the eradication of all ligneous vegetation with the elimination of stumps and sawing of herbaceous species all over the fill to protect the slopes and minimize the cost of future maintenance. Because of social stakes, the manager had first to plan an operation of communication to explain the security issues and the implementation methods.

3. GUIDELINES FOR THE MANAGEMENT OF WOODED DAMS

The goals of the guidelines for the management of ligneous vegetation on dams are to prevent the risks of damage and internal erosion linked to root development and decay, as well as to minimize wind-throw risk, while maintaining trees locally when possible according to safety constraints. Zoning the area and

prioritizing the restoration and maintenance, and even better, a management plan are recommended for long levees [5].

Operations of monitoring and maintenance of earth dams and levees are classified in three categories:

- Common operations: visual monitoring, mowing and clearing, direct and easy auscultation (leak and drainage flows, piezometry);
- Specialized operations: topographic survey, detailed investigations as geotechnical soundings);
- Exceptional operations: replacement of the outdated or failing equipments, restoration of concrete or stone structures (joints, cracks), uprooting of tree stumps and reconstruction of the fill, etc.

To design guidelines for monitoring and maintenance of the wooded earth fills, the following elements must be considered:

- 1) Vegetation must not restrict visual monitoring. Dense vegetation favours the installation of burrowing animals which hole are detrimental to safety.
- 2) Trees must not give to much rise to wind (pruning or coppicing).
- 3) Coppicing trees do not prevent the development of root systems. It is thus necessary to limit the age of stumps and to extract the big or old ones (uprooting and restoration of the fill).
- 4) It is absolutely necessary to avoid the development of tree roots near drainage systems (risk of clogging) and linings (degradation). The late extraction of tree stumps is very expensive when it requires the lowering of water level to decrease preventively the hydraulic gradient and the reconstruction of degraded works.
- 5) Some species are particularly undesirable, particularly poplars, locust trees and willows, due to the characteristics of their root systems (large and long roots).
- 6) An annual clearing of vegetation (in autumn or the beginning of winter) prevents the development of the seedlings of scrubs and trees.

The thorough technical visits imposed by French regulations, which frequency increase with the size of the dam, give the opportunity to qualified experts, often independent of the owner or manager, to asses the state of the dam or levee and its vegetation, to check implementation of recommendations and their relevance and to formulate any useful propositions aiming at improving the follow-up.

AKNOWLEDGMENT

These studies were funded by Cemagref, Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, Conseil Général de l'Isère and EDF.

SUMMARY

Trees developing on earth dams and levees generate problems of safety and limit their life span. Root systems increase the level of external and internal risks of erosion, which can be high when the fill is wooded since a long time. Two case studies are presented, a wooded dam and a section of levee. We describe the state of these works, and the recommendation for their improvement and vegetation management.

The goals of the guidelines for vegetation management are to limit the risks of degradation and internal erosion linked to root development and decay, as well as to minimize the risk of wind-throw, while possibly maintaining trees on some zones, taking into account safety constraints. Logging of big trees has to come along with stump uprooting, with a restoration of the earthfill if necessary with adapted materials, and with a regular follow-up.