



HAL
open science

Diagnostic de la végétation implantée sur les ouvrages de protection contre les crues de la Rivière des Pluies

M. Vennetier, C. Zanetti

► **To cite this version:**

M. Vennetier, C. Zanetti. Diagnostic de la végétation implantée sur les ouvrages de protection contre les crues de la Rivière des Pluies. irstea. 2017, pp.38. hal-02606136

HAL Id: hal-02606136

<https://hal.inrae.fr/hal-02606136>

Submitted on 16 May 2020

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.



DIAGNOSTIC DE LA VEGETATION IMPLANTEE SUR LES OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA RIVIERE DES PLUIES



Rapport du 05/01/2017

Version 2



Date	Version	Nature des modifications
16/12/2016	V1	Soumission du document
05/01/2017	V2	Intégration des remarques de La DEAL



Unité de Recherche RECOVER - L'équipe Écosystèmes Méditerranéens et Risques
Iirstea - Centre Régional d'Aix-en-Provence, CS 40061
13182 AIX EN PROVENCE Cedex 5
Contact Expertise Rivière des pluies : michel.vennetier@irstea.fr / 04 42 66 99 22



Solutions de gestion de la végétation implantée sur les ouvrages hydrauliques
Pépinière d'entreprises innovantes, 100 Impasse des Houillères,
ZA le Pontet, CS 50014, 13590 Meyreuil
Contact Expertise Rivière des pluies : c.zanetti@arbeausolutions.fr / 06 82 18 55 43

Sommaire

Contexte	2
Introduction	3
1. Etat des lieux.....	4
1.1. Présentation générale des ouvrages de la Rivière des Pluies.....	4
1.2. Caractéristiques de la végétation présente sur les ouvrages	6
1.2.1. Le Cassie.....	6
1.2.2. Le Faux-Poivrier.....	7
1.2.3. Le Tamarin de l'Inde.....	8
1.2.4. L'Avocat Marron	8
1.2.1. Le Ficus.....	9
1.2.2. Le Bois Malgache	9
1.2.3. Le Tulipier du Gabon	10
1.2.4. Le Lilas de Perse	10
1.2.5. Le Choca vert	11
1.2.6. Le Choca bleu	11
1.2.7. Le Pitahaya.....	12
2. Etude des systèmes racinaires	13
2.1. Méthodologie	13
2.2. Caractéristiques des systèmes racinaires.....	14
2.3. Conclusion vis-à-vis de la sureté des digues	17
3. Désordres observés et risques pour les ouvrages.....	18
3.1. Phénomènes d'érosion, glissements et affaissements	18
3.2. Déstructurations des gabions	20
3.3. Dégradation des murs.....	21
4. Préconisations de gestion de la végétation implantée sur les ouvrages de protection	23
4.1. Gestion de la végétation et surveillance visuelle des ouvrages	23
4.2. Solutions de gestion de la végétation à éradiquer	24
4.2.1. Préconisations de gestion de la végétation implantée sur les talus et crête de digue et épis ...	24
4.2.2. Préconisations de gestion de la végétation implantée sur et autour des murs maçonnés	25
4.2.3. Préconisations de gestion de la végétation implantée sur les gabions	26
4.2.4. Autres Préconisations	26
5. Synthèse.....	27
Annexe 1 : Analyse diachronique de 1961 à nos jours sur l'aménagement de la RD de la Rivière des Pluies....	30
Annexe 2 : Evolution du profil de la digue suite aux remblaiements	36
Annexe 3 : Localisation des zones de digue plus étroite comportant de gros arbres à abattre	37
Annexe 4 : Estimation des couts associés à la gestion de la végétation sur les ouvrages	38

Contexte

Dans le cadre du renforcement réglementaire relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques (décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 modifié par l'arrêté du 16 juin 2009 et par le décret n° 2015-526 du 12 mai 2015) les propriétaires d'ouvrages hydrauliques (OH) sont dans l'obligation d'assurer la surveillance, le suivi technique et l'entretien raisonnable de leurs ouvrages.

La DEAL Réunion a ainsi initié à partir de 2014 les différentes études règlementaires sur les ouvrages de la Rivière des Pluies :

- Le Diagnostic Initial de Sûreté des ouvrages hydrauliques réalisé par Hydrétudes et SAGE, Octobre 2014
- La Visite Technique Approfondie, réalisée par le CEREMA, Août 2015, version finale de Novembre 2016.
- L'Étude de Dangers réalisée par Hydrétudes, juin 2016.
- La définition du suivi environnemental du programme d'entretien du domaine public fluvial - AMO, réalisé par ECODDEN, juin 2016.

Les ouvrages sont localisés au sein d'un Espace Boisé Classé (EBC). Le classement en EBC interdit les changements d'affectation ou les modes d'occupation du sol de nature à compromettre la conservation, la protection ou la création des boisements. Le classement en EBC entraîne le rejet de plein droit des demandes d'autorisation de défrichement prévues par le Code forestier, et entraîne la création d'un régime de déclaration administrative avant toutes coupes et abattages d'arbres. La réduction ou la suppression d'un EBC ne peut être faite que dans le cadre de la procédure de révision du document d'urbanisme ou de sa mise en compatibilité avec un projet.

La gestion des boisements des ouvrages hydrauliques n'est généralement pas compatible avec les dispositions imposées par l'EBC.

Confrontée à la problématique de gestion de la végétation sur cet ouvrage de classe B (surclassé du fait de l'importance des enjeux protégés), situé dans l'emprise du zonage EBC, la DEAL a missionné IRSTEA pour étudier cette problématique spécifique.

La présente étude a été conduite par Michel Vennetier d'IRSTEA - équipe « Écosystèmes méditerranéens et risques » de l'Unité de Recherche RECOVER et par Caroline Zanetti de la Société ARBEAUSolutions, du 17 au 24/11 2016.

Introduction

Les travaux de recherches récents portant sur l'enracinement des arbres dans les ouvrages en remblai ont mis en évidence les différents risques induits par la végétation ligneuse pour la sûreté des digues.

Un guide technique publié en septembre 2015 intitulé « Gestion de la végétation des ouvrages hydrauliques en remblai », dont les 3 co-auteurs sont Michel Vennetier, Patrice Mériaux (IRSTEA) et Caroline Zanetti, présente une synthèse de ces travaux et les recommandations de gestion associées. Cependant, seules les essences rivulaires métropolitaines ont été étudiées.

Or, la flore tropicale implantée sur l'île de La Réunion présente des spécificités qui doivent être étudiées afin de vérifier si les recommandations de gestion applicables en métropole seraient transposables.

Cette mission a donc pour objectifs :

- (1) de caractériser la végétation présente sur les ouvrages de protection de la Rivière des Pluies, d'identifier les espèces végétales présentes, de caractériser leurs parties aériennes et racinaires en lien avec les matériaux et les caractéristiques des ouvrages, ainsi que leur dynamique de croissance et de régénération ;
- (2) de déduire de ces caractéristiques les conséquences, aussi bien positives que négatives, de la présence de cette végétation sur la sûreté des ouvrages ;
- (3) de proposer des modalités d'entretien ou de renouvellement de la végétation qui permettent à la fois d'assurer la surveillance visuelle des différentes parties d'ouvrage, notamment la réalisation des Visites Techniques Approfondies, et d'optimiser la structure et la composition de la végétation en termes de sécurité des ouvrages.

1. Etat des lieux

1.1. Présentation générale des ouvrages de la Rivière des Pluies

La Rivière des Pluies est l'un des cours d'eau majeurs de l'île de La Réunion du fait non seulement de la superficie de son bassin versant (46.03 km²) mais aussi du très fort transport solide qu'elle présente et des fortes crues auxquelles elle est soumise. Elle prend sa source dans le massif de la Roche Ecrite, dont l'espace boisé occupe 75 % du bassin versant. Elle parcourt un linéaire d'environ 18.3 km. Le temps de réponse du bassin versant de la Rivière des Pluies est très court notamment lorsque les sols sont saturés. A titre d'exemple, lors de l'événement du 30 janvier 2011 le débit est passé de 80m³/s à 264 m³/s en 2 heures puis la décrue a été quasi immédiate après l'arrêt de la pluie.

Le territoire de St Denis s'est fortement urbanisé depuis 1950. L'allongement de la piste de l'aéroport, sur 750 m, s'est traduit par une emprise de 25 hectares gagnée en rive droite sur le cône alluvial de la rivière et a nécessité la construction d'ouvrages de protection. Ces aménagements ont ainsi fortement modifié le fonctionnement du lit vif de la rivière.

Les travaux d'endiguement ont commencé après l'étude SOGREAH réalisée en 1966 et se sont achevés en 1973. En 1988 le nouveau Pont Gillot a remplacé le radier de la RN2 et protège depuis lors en rive droite la partie la plus amont des ouvrages.

Les ouvrages de protection de la zone aéroportuaire en rive droite sont composés de 5 épis raccordés à une digue longitudinale de 1150 ml. Les épis sont terminés par des murs déflecteurs de 60 mètres de longueur et fondés entre 13 et 16 mètres de profondeur (d'après les études SOGREAH de 1966) et dont la hauteur décroît sur les 20 derniers mètres. Les talus des épis côté amont sont protégés par des gabions sur 25 mètres de longueur et 3 à 5 m de hauteur, à partir des déflecteurs.

A l'origine, les talus des épis et de la digue étaient nettement visibles ; à partir des années 80, des travaux conséquents de remblaiement des ouvrages ont été menés induisant des difficultés de visualisation des emprises réelles des ouvrages (Annexes 1 et 2).

Ces ouvrages ont été définis pour une crue de 1 350m³/s, ce qui correspond à une occurrence de crue variant de la cinquantennale à la centennale selon les approches.

Le linéaire concerné par la présente étude correspondant au système d'endiguement de la rive droite¹, c'est-à-dire aux 5 épis et à la digue longitudinale, soit un linéaire d'environ 1970 m (Carte 1).

¹ L'étude n'a pas porté sur la rive gauche étant donné que l'ensemble des ouvrages y a été remblayé et n'est plus assimilable à une digue dans son fonctionnement.



Carte 1 : Localisation des ouvrages – la digue longitudinale et ses 5 épis en pointillés jaune (Source : Maps)

1.2. Caractéristiques de la végétation présente sur les ouvrages

La digue longitudinale, au niveau de la zone militaire, est recouverte sur son talus côté « zone protégée » par une végétation herbacée rase, régulièrement fauchée. La crête de la digue est enrobée sur la moitié de sa largeur, côté « zone protégée », et est couverte d'herbacées, arbustes et ronces coté « rivière », mais a été récemment débroussaillée.

Sur le talus côté rivière, la végétation n'a pas fait l'objet d'entretien depuis la création de la digue et une frange ligneuse dense essentiellement composée de Faux-Poivriers (*Schinus terebinthifolius*) et de Cassies (*Leucaena leucocephala*) s'y est développée.

Sur les talus des épis le Cassie est très largement dominant, avec une part importante de Faux-Poivriers à proximité des murs maçonnés et sur les gabions. Le Tamarin de l'Inde et l'Avocat Marron sont également présents sur les ouvrages. Le Ficus est souvent implanté sur les murs maçonnés.

Quelques sujets ponctuels de Bois Malgache, Tulipier du Gabon et Lilas de Perse ont été observés.

Des Chocas verts et bleus (*Furcraea et Agaves*) ainsi que du Pitahaya sont **ponctuellement** implantés sur des portions de la digue ou des épis.

Une synthèse des caractéristiques de chacune de ces essences est présentée ci-après.

1.2.1. Le Cassie

Le Cassie, appelé aussi Cassie blanc, Tamarin cheval, Zacassi et faux mimosa est un petit arbre pouvant atteindre 7 à 10 mètres de hauteur. Son nom scientifique est *Leucaena Leucocephala*. C'est une plante de la famille des légumineuses qui a été introduit avant 1825 à La Réunion comme plante fourragère. Il a des qualités fixatrices du sol et en améliore la composition en fixant l'azote.

Ses branches sont pourvues de longues épines blanches et ses feuilles sont composées de 3 à 7 paires de pennes, elles-mêmes formées de 7 à 17 paires de folioles oblongues asymétriques atteignant 2 cm de long pour 5 mm de large. Les fleurs du Cassie sont globuleuses et denses ; à leur éclosion les étamines longues et blanches donnent aux fleurs un aspect de boule blanche.

Les fruits sont des gousses plates de 8 à 20 cm de long pour 2 cm de large, terminées par une pointe et formant des groupes de 5 à 20 gousses contenant chacune 8 à 18 graines. Les graines sont disséminées mécaniquement par ouverture des gousses.

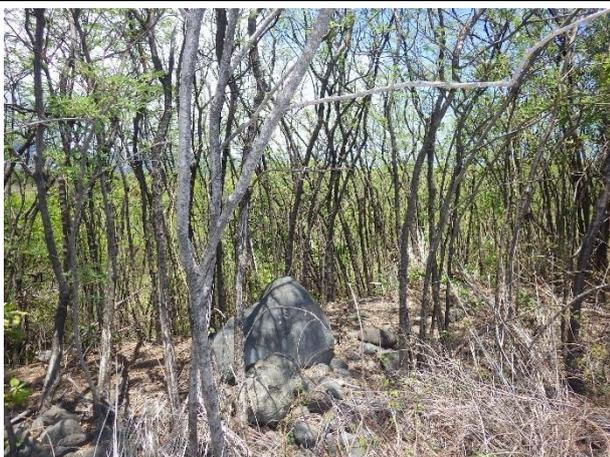


Photo 1 : Forte densité de Cassie sur le talus de la digue côté rivière



Photo 2 : Densité moyenne à forte de Cassie sur les épis, cas de l'épi 2

Le Cassie pousse à basse altitude dans des zones relativement humides sous des températures douces (environ 22°C), mais tolère la sécheresse et s'implante sans difficulté sur des terrains en friche ou rocailloux. Il a une importante capacité de régénération même après le passage d'un incendie.

C'est une plante très envahissante qui peut rendre de grandes surfaces inutilisables et inaccessibles ; elle émet des substances allélopathiques provoquant la disparition de la quasi-totalité de la flore indigène sur sa zone d'implantation.

1.2.2. Le Faux-Poivrier

Cet arbre, appelé aussi Baie rose, à feuillage persistant, dont le nom scientifique est *Schinus terebinthifolius*, est très présent sur les zones de basse et moyenne altitude de La Réunion, dans les cirques au cœur de l'île et sur les côtes. Originaire d'Amérique du Sud et introduit en 1843 sur l'île, cet arbre peut atteindre 10 m de hauteur. Il s'adapte à tous types de sols et supporte l'ombre comme le soleil ; ses graines collantes (de la forme et la couleur d'une lentille) sont disséminées par les oiseaux qui les consomment ; elles sont résistantes aux embruns marins, aux feux aussi bien qu'aux inondations.

L'écorce est brune, légèrement pustuleuse. Ses feuilles sont composées, alternes avec une foliole terminale et une fois coupées sentent le poivre. Il présente une inflorescence en épis au bout des tiges, composée de très nombreuses petites fleurs blanchâtres. Il est mellifère et on en tire un miel très parfumé. Ses baies, utilisées comme épices, mesurent 5 mm de diamètre et sont de couleur rose à rouge, brillantes ; à maturité l'enveloppe est cassante ; chaque baie contient une graine.



Photo 3 : Faux -Poivrier implantés sur la crête et les talus de la digue



Photo 4 : Faux-Poivriers implanté contre les murs des épis, cas de l'épi 3

1.2.3. Le Tamarin de l'Inde

Appelé aussi Campèche ou pois sucré, cet arbre appartient à la famille des Fabaceae et son nom scientifique est *Pithecellobium dulce*.

Il peut atteindre 15 m de hauteur et son bois blanc et dur est un excellent combustible, d'où son surnom « d'arbre à chauffer les fourneaux ». Son écorce est grisâtre avec un intérieur rouge âcre. Des épines stipulaires longues de 0.4 à 1.2 cm se trouvent sur son tronc et ses branches. Ses feuilles, en forme d'ailes sont composées de 3 à 5 paires de folioles ovales. Les fleurs disposées en bouquets vers le sommet des rameaux. Les oiseaux disséminent les graines après avoir consommé la pulpe des fruits. Cet arbre est très tolérant à la sécheresse.



Photo 5 : Tamarin de l'Inde implémenté en crête de digue sur la partie aval de l'ouvrage, proche de l'épi 5



Photo 6 : Jeune Tamarin de l'Inde se développant le long de la clôture en crête de digue

1.2.4. L'Avocat Marron

Originaire d'Asie, cet arbre introduit avant 1825, est naturalisé et très commun sur toute l'île. L'espèce est considérée comme très envahissante à La Réunion. Son nom scientifique est *Litsea glutinosa*, il appartient à la famille des Lauraceae. Il peut atteindre une hauteur de 15 m, son écorce est grise et fine et ses rameaux sont brun-jaunâtres et pubescents. Sur les ouvrages de la Rivière des Pluies il semble dominé par le Cassie et n'a été observé qu'au stade de jeune plant ou jeune arbre.



Photo 7 : Jeunes plants d'Avocat Marron entourant un Faux-Poivrier mort sur le talus de la digue



Photo 8 : Rejets d'un Avocat Marron coupé en 2015 au pied du mur maçonné

1.2.1. Le Ficus

Le *Ficus Religiosa* de la famille des Moraceae, dit aussi Figuier des pagodes ou arbre du Bouddha peut atteindre une hauteur de 30 m et 3 m de diamètre. Ses feuilles en forme de cœur avec une extrémité très allongée sont caractéristiques. Son fruit est une petite figue de 1 à 1.5 cm devenant violette en murissant. De jeunes pousses se développent notamment sur les murs maçonnés.



Photo 9 : Ficus Religiosa implanté sur le talus de l'épi 4



Photo 10 : Ficus Religiosa implanté dans le mur de l'épi 1

1.2.2. Le Bois Malgache

Le Bois Malgache appartient à la famille des Boraginaceae et son nom scientifique est *Ehretia cymosa* Thonn. Il est originaire d'Afrique tropicale, de Madagascar. Il est présent sur les zones du littoral dans la zone semi-sèche de l'île, cette espèce s'est naturalisée localement et est considérée comme potentiellement envahissante. Ses drupes sont consommées par les oiseaux, qui peuvent disséminer les graines. Arbre pouvant atteindre 7 à 10 m il porte une cime étalée. La surface de l'écorce est grise à brun pâle, à lenticelles prononcées.



Photo 11 : Bois Malgache implanté à une dizaine de mètres du pied de digue côté rivière



Photo 12 : Zoom sur les feuilles large du Bois Malgache

1.2.3. Le Tulipier du Gabon

Son nom scientifique est *Spathodea campanulata* et il appartient à la famille des Bignoniaceae. Introduit à La Réunion en 1950, cet arbre d'ornement mesure jusqu'à 25 m de hauteur. Il possède une cime arrondie ; son tronc est droit et son écorce gris clair. Ses racines peuvent provoquer des dégâts considérables aux revêtements urbains et aux canalisations, de ce fait il est proscrit en centre-ville. Il forme de grandes fleurs en forme de tulipe rouge-orangées. Elles sont suivies de capsules marron qui contiennent jusqu'à 500 graines ailées très légères qui dispersées par le vent assurent la reproduction du Tulipier du Gabon. Il est considéré comme une espèce exotique envahissante.

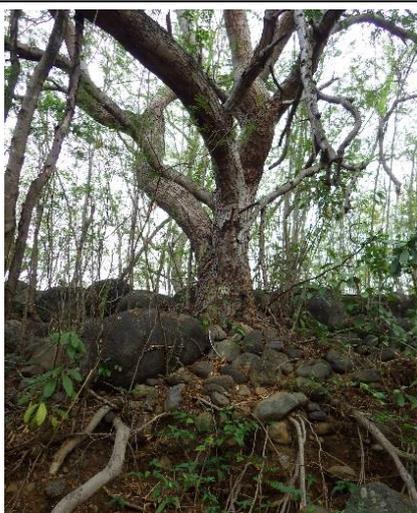


Photo 13 : Tulipier du Gabon implanté sur le talus aval de l'épi 3 – un seul sujet de cette dimension a été observé



Photo 14 : Feuilles, fleurs, et capsules du Tulipier du Gabon

1.2.4. Le Lilas de Perse

Cette espèce introduite à La Réunion en 1761 comme arbre d'ornement, est aujourd'hui naturalisée dans l'île. Son nom scientifique est *Melia azedarach* L., il appartient à la famille des Meliaceae. Cet arbre à croissance rapide, se multipliant par ses graines, résistant au vent (cyclone) est aujourd'hui considéré comme une espèce potentiellement envahissante à La Réunion. Il peut atteindre 20 m de haut. Son feuillage est caduc. Toutes les parties de l'arbre sont toxiques en raison de leur teneur en azadirachtine.



Photo 15 : Un grand Lilas de Perse en pied de talus aval de l'épi 1, sur la zone de l'exutoire.



Photo 16 : Feuillage du Lilas de Perse

1.2.5. Le Choca vert

Furcraea foetida, appelé communément Choca Vert, est une espèce envahissante particulièrement préoccupante à La Réunion. Cette espèce forme des peuplements denses et impénétrables qui excluent la végétation indigène.

Il appartient à la famille des Asparagaceae. Il a été introduit à La Réunion avant 1825, où il était cultivé pour la production d'une fibre textile (pour les cordages) sous le nom de chanvre de Maurice, et pour son chou comestible.

La plante forme une rosette de grande taille et les feuilles, de couleur vert vif, plus ou moins souples peuvent atteindre 250 cm de long et 20 cm de large ; elles sont creusées en gouttière et se terminent par une épine fine, brune et rigide longue de 3 cm. La marge peut être lisse, finement dentée à sa base ou pourvue d'épines triangulaires rouge sombre sur toute la longueur. L'inflorescence est une hampe florale robuste et pouvant atteindre 10m de haut. Les fleurs pendantes de teinte blanche verdâtre ne sont pas pollinisées. Bien que le Choca vert ne fleurisse qu'une seule fois dans sa vie, les centaines de bulbilles issues du bourgeonnement suivant la floraison sont autant de Chocas miniatures, prêts à s'enraciner et lui permettant d'envahir densément certaines zones.



Photo 17 : Chocas verts en crête de l'épi 2



Photo 18 : Chocas verts très denses (en mélange avec quelques chocas bleus, sur le talus de la digue

1.2.6. Le Choca bleu

De la famille des Asparagaceae, le Choca Bleu ou Aloès Bleu, *Agave gr. Americanae* est une espèce envahissante, très résistante à la sécheresse, originaire du Mexique et assez fréquente sur l'île de La Réunion. Elle développe un rhizome très profond qui donne naissance à de nombreux drageons. Cette plante en forme de rosette, aux feuilles rigides de couleur vert bleutée, ne fleurit qu'une fois après de nombreuses années puis meurt. La grande hampe florale de 5 à 8 mètres de haut porte des panicules floraux jaunes et verts, elliptiques de part et d'autre de la tige. Elle produit également des structures végétatives appelées bulbilles qui se développent après la floraison et permettent à la plante de coloniser de grandes étendues. Son chou est comestible et si elle est essentiellement cultivée à La Réunion pour son caractère ornemental, elle menace par son caractère invasif certains milieux naturels notamment sur le littoral.



Photo 19 : Chocas bleus sous les Cassies sur l'épi 2



Photo 20 : Chocas bleus sur le talus de l'épi 4

1.2.7. Le Pitahaya

Le Pitahaya (*Hylocerus undatus*), de la famille des Cactaceae, a été rencontré sur l'épi 3.

Ce cactus est une espèce envahissante dont le nom commun est « Raquette de Tortue ». Elle a été introduite pour l'ornement et pour ses fruits nommés « Fruits du Dragon ». Ses fleurs blanches mesurent jusqu'à 30 cm et s'ouvrent de nuit. Ses besoins en eau sont faibles et la qualité des sols lui est indifférente, il se multiplie par bouturage et devient ainsi très envahissant.



Photo 21 : Pitahaya envahissant talus et crête de l'épi 3



Photo 22 : Branches et du fruit du Pitahaya

L'ensemble des essences présentes sur ou à proximité des ouvrages de la Rivière des Pluies sont potentiellement envahissantes à très envahissantes.

Cependant, comme l'ont indiqué les études antérieures portant sur les ouvrages, cette végétation contribue à la protection contre l'érosion de surface des matériaux très peu cohésifs constituant les talus.

Dans le cadre du diagnostic de la végétation implantée sur les ouvrages, l'étude des systèmes racinaires des arbres et arbustes a été réalisée afin de caractériser les différents types de risques induits vis-à-vis de la sûreté des ouvrages.

2. Etude des systèmes racinaires et de la vitesse de croissance des arbres

2.1. Méthodologie

Les deux espèces principalement étudiées (Cassie et Faux-Poivrier) représentent 99% de la végétation de la digue et des épis. Les autres espèces arrachées sont présentes ponctuellement (quelques pieds dispersés).

Les dessouchages ont été réalisés sur le talus et en pied de digue lors des journées du 22 et du 23/11/2016, au moyen d'une pelle 22 tonnes à chenilles, munie d'un godet à grille de 1 m de largeur.

Les arbres sectionnés ont été tout d'abord détourés afin de dégager les racines superficielles traçantes puis élingués afin d'extraire l'ensemble de la souche. Les caractéristiques des systèmes racinaires ont été décrites. Puis les fosses d'excavation ont été comblées avec remise en place des matériaux et reconstitution d'un parement de gros blocs sur les talus.

Des rondelles de bois ont été découpées à la base des troncs afin de tenter de mesurer leur âge à l'aide des cernes de croissance.

Au total, les enracinement de 9 Faux-Poivriers, une dizaine de Cassies, 2 Bois Malgache et 1 jeune Tamarin de l'Inde ont été étudiés. Les dessouchages ont été réalisés sur la digue entre les épis 1 et 3 (Carte 2).



Photo 23 : Détourage des racines de Faux-Poivrier



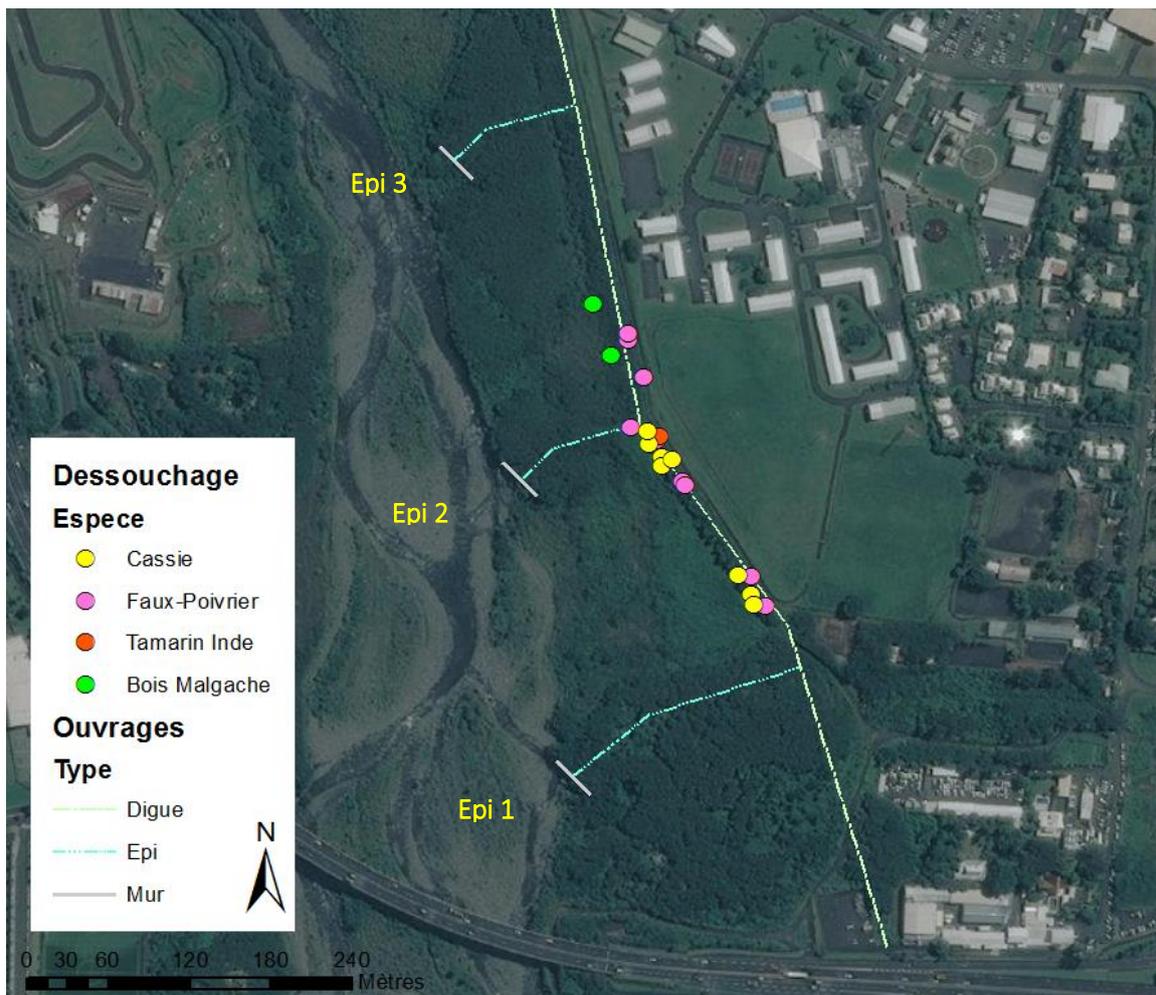
Photo 24 : Elingage de la souche du Faux Poivrier



Photo 25 : Fosse d'extraction de systèmes racinaires – vue des matériaux de la digue extraits de la rivière



Photo 26 : Reconstitution du talus de digue – vue des matériaux de remblais postérieurs à la construction



Carte 2 : Localisation des sujets dessouchés en fonction des espèces étudiées
(Source du fond de carte : Esri 2013)

2.2. Caractéristiques des systèmes racinaires

Les résultats des dessouchages révèlent des enracinements exclusivement superficiels (inférieurs à 80 cm de profondeur), y compris sur des souches de diamètre important, comme celles des Faux-Poivriers. Tandis que les Faux-Poivrier présentent des enracinements essentiellement traçants (système racinaire composé de nombreuses longues racines parallèles à la surface du sol), le Cassie et le Tamarin présentent des systèmes racinaires à structure pivotante composés d'un pivot principal (atteignant jusqu'à 80 cm de profondeur) et de seulement quelques racines traçantes superficielles.

Les systèmes racinaires traçants sont très bénéfiques du point de vue de la stabilisation des sols et blocs en surface, et de la protection contre le ruissellement (pluies intenses) et le courant (en cas de crue). Les pivots des Cassies ont un rôle d'ancrage et de renforcement du sol plus en profondeur, stabilisant les talus.

Ces caractéristiques d'enracinement, toutes espèces confondues, sont particulièrement utiles dans le cas de ces ouvrages, constitués de matériaux non cohésifs, essentiellement de sable et d'éléments grossiers de forme arrondie et de toutes tailles : ils sont donc très sensibles à la fois à l'érosion (élimination des sables et gravier en surface et à travers les blocs), et aux glissements de talus ou affaissements du fait des faibles coefficients de frottement entre éléments.

Les photos ci-après présentent la synthèse des observations réalisées lors de travaux de dessouchage.



Photo 27 : Système racinaire mixte de Cassie. Tous les Cassies observés présentent ce type d'enracinement, atteignant 50 à 80 cm de profondeur, le pivot étant plus ou moins développé suivant les conditions locales



Photo 28 : Système racinaire mixte d'un jeune Tamarin de l'Inde présentant un pivot principal et quelques racines traçantes superficielles



Photo 29 : Système racinaire traçant de Faux-Poirier (souché n°4). Enracinement dissymétrique : pas de racine en direction du corps de digue



Photo 30 : Système traçant du Faux-Poirier n°4 avec nombreuses racines fines superficielles orientées uniquement vers le côté rivière



Photo 31 : Système racinaire traçant superficiel d'un jeune Faux-Poirier implanté à côté de la souche n°7



Photo 32 : Système traçant superficiel de la souche n°7, grosse cépée de Faux-Poirier. Les racines verticales dépassant sous la souche appartiennent aux Cassies imbriqués dans cette souche.



Photo 33 : Système très superficiel de Faux-Poivrier (Souche n°8) composé de très longues racines traçantes et d'une racine verticale atteignant 40 cm de profondeur



Photo 34 : Système mixte présentant une partie racinaire conséquente correspondant à la présence d'un ancien tronc renversé ayant émis des rejets - Souche n°9



Photo 35 : Des cernes de croissance semblent visibles au moment de la coupe dans le bois de Faux Poivrier.

L'observation à la loupe binoculaire montre des cernes intermédiaires moins visibles et des faux cernes. La durée, l'intensité et la saisonnalité des périodes sèches modulent l'anatomie des cernes.



Photo 36 : Système racinaire mixte d'un jeune Bois Malgache (racines traçantes latérales et petit pivot).

Un deuxième arbre de cette essence a été étudié car il avait été renversé par le vent. Son système racinaire était mixte avec également un petit pivot

2.3. Croissance en diamètre des arbres

La reconnaissance et la mesure de largeur des cernes de croissance sur le Faux-Poivrier est difficile : les limites entre cernes ne sont pas toujours nettes et certains cernes sont très pâles sans différence marquée entre bois initial et bois final. De larges plages de bois ne présentent pas de différenciation anatomique marquée bien que la couleur soit variable. De plus, il existe entre les cernes les plus nets de nombreux cernes incomplets, qui peuvent être :

- soit des « faux-cernes », correspondant à des successions de ralentissement puis accélération de la croissance au cours d'une seule année de végétation (périodes plus sèche en saison des pluies, ou plus pluvieuses en saison sèche)
- soit des cernes traumatiques qui pourraient correspondre à de très mauvaises années climatiques (particulièrement sèches) ou aux séquelles de stress intenses (défoliations, année post-cyclone ?).

Nous avons estimé l'âge des brins coupés entre 17 ans (pour les plus petits et jeunes) et 35 ans pour les plus vieux, avec une forte incertitude.

Pour le Cassie, l'anatomie du bois est un peu plus différenciée, permettant de lire à la loupe et sous microscope ce qui semble être des cernes de croissance. Mais la faible largeur de ces cernes sur certaines périodes, la présence de cernes incomplets et l'étroitesse du bois initial, qui est parfois quasi-absent dans le cerne, rendent le comptage incertain.

Nous avons estimé l'âge des brins coupé entre 14 et 17 ans, avec une incertitude de quelques années.

Comme il n'existe pas de référentiel spécifique à ces espèces, seul un suivi sur le terrain de quelques individus durant plusieurs années permettrait de mesurer précisément leur croissance en diamètre et de valider la lecture des cernes.

Si l'estimation que nous avons réalisée n'était pas trop fautive, il ressort une certaine cohérence possible entre l'âge des brins de Cassie et celui des brins les plus jeunes de Faux Poivrier. Cela pourrait correspondre à la date d'un événement climatique ayant provoqué la régénération massive (semis et rejets) de ce peuplement, probablement un cyclone.

2.4. Conclusion vis-à-vis de la sûreté des digues

Sur l'ensemble des souches étudiées, aucune ne présentait de risque vis-à-vis de la sûreté de la digue :

- pas de racines pénétrant le corps de digue en profondeur,
- pas de risque de dégradation des propriétés des matériaux (très perméables par nature - donc pas d'augmentation du risque d'érosion interne en lien avec les racines),
- très faible risque de dégradation des talus en cas de renversement des gros arbres (Faux-Poivriers) étant donné leur enracinement superficiel,
- pas de souche surdimensionnée par rapport à l'ouvrage.

Par ailleurs, le Cassie reste un arbuste ou petit arbre dont le système racinaire réduit ne peut déstabiliser un talus ou une crête en cas (rare) d'arrachement (cf. photo 41). Sa taille réduite, son pivot (cas le plus général) et la densité du peuplement le protègent de l'arrachement par les vents violents. Son couvert est donc stable.

Le faux poivrier peut parfois atteindre des tailles plus importantes (photo 42), notamment à proximité des murs, côté rivière et côté épis, en raison de l'accès à l'eau de la nappe dans le lit de la rivière. Mais il reste sur la plus grande partie de la digue et des épis limité à d'assez faibles diamètres (15-20 cm) en raison : (1) des matériaux très inhospitaliers, pauvres chimiquement et très drainants donc totalement secs en saison sèche, ralentissant la croissance, (2) de la mortalité régulière des troncs par excès de sécheresse ou par renversement (cyclones) qui conduit les souches à rejeter (photo 7 et nombreuses observations de troncs morts ou mourants dans les cépées sur le terrain).

Quelques espèces trouvées ponctuellement pourraient éventuellement atteindre des dimensions supérieures sur la digue et les épis ailleurs qu'à proximité des murs terminaux des épis (tulipier du Gabon, lilas de perse). Il ne s'agit actuellement que de quelques individus isolés dans des situations qui ne sont pas préoccupantes, et qui pourront être surveillés dans le futur s'ils prenaient des dimensions trop importantes.

Ces conclusions sont donc favorables au maintien de la végétation ligneuse actuelle sur le talus côté rivière de la digue de la Rivière des Pluies et sa crête, ainsi que sur les talus et crêtes des épis (hors proximité immédiate des murs et gabions). Les effets favorables sur la stabilisation et fixation des talus, ainsi que sur la protection contre l'érosion, sont en effet très supérieurs à tout effet néfaste envisageable dans ces domaines.

3. Désordres observés et risques pour les ouvrages

Dans le cadre du diagnostic de la végétation, l'ensemble des ouvrages de la Rivière des Pluies a été visité et différents désordres en lien ou non avec la végétation ont été répertoriés.

3.1. Phénomènes d'érosion, glissements et affaissements

Les matériaux constitutifs des ouvrages, extraits directement du lit de la rivière, sont par nature instables, facilement remobilisables et donc sensibles aux phénomènes d'érosion.

Des matériaux de remblai ont été ramenés sur certains épis après leur construction (plusieurs mètres d'épaisseur, de même nature que le corps de digue). Cela a augmenté les pentes des talus et accentué les phénomènes de glissement : c'est le cas notamment des anses d'érosion observées à l'arrière des murs maçonnés. Sur les épis, ces glissements ont obligé par endroits à stabiliser les talus par des murs de gabions ou de blocs en béton.

L'épi 3 présente, à proximité de sa jonction avec la digue, une déstructuration importante et un affaissement de 2 m, avec érosion des talus, dont l'origine a pu être mise en évidence sur les photos aériennes de 1997 (photo 38 et annexe 1).



Photo 37 : Anse d'érosion marquée derrière le mur en aval de l'épi 3



Photo 38 : Affaissement de l'épi 3 lié à la réalisation d'une piste de franchissement dans les années 1990

Une partie de la digue entre l'épi 4 et l'épi 5 présente une zone de glissement importante. Malgré cela la digue reste large sur ce secteur car elle a été décalée vers la rivière par un vaste remblai, lors des travaux réalisés sur la zone aéroportuaire entre 1984 et 1997 (Annexe 1 et profil topographique de la zone de l'épi 5). D'autres désordres d'origine anthropiques ont été observés sur les différents épis. Des trous ont été creusés en crête des épis et dans leur talus, et les matériaux remaniés, conduisant localement à des affaissements et glissements.



Photo 39 : Zone de glissement du talus côté rivière de la digue, en amont entre l'épi 4 et l'épi 5



Photo 40 : Dégradations d'origines anthropiques sur les épis (trous creusés et - parfois- rebouchés par des blocs, nombreux déchets)

Quelques zones d'affaissements sur la digue ont été observées et son probablement dues au renversement d'arbres pendant les cyclones. Mais comme l'a démontré l'étude des systèmes racinaires des Faux-Poivriers, les enracinements ne sont pas de nature à dégrader les ouvrages et n'auraient pas en cas de renversement de grave conséquence en termes de déstabilisation des sols. Certains sujets sont même très bénéfiques du point de vue de la stabilisation du talus, comme le cas du très gros Faux-Poivrier en amont de l'épi 3.



Photo 41 : Renversement d'un Cassie de 25 cm de diamètre présent sur la plate-forme remblayée de l'épi 1. Le pivot ne s'étant pas développé du fait de la présence de gros blocs, ce Cassie mesurant près de 8m de hauteur a été renversé. L'impact de ce renversement sur les matériaux en place est très réduit



Photo 42 : Gros Faux-Poivrier en amont de l'épi 3 assurant la stabilité du talus, comme en témoignent les blocs retenus en amont de la souche et un glissement en aval s'arrêtant à la souche. Cet arbre n'a pas été dessouché par crainte de voir l'ensemble du talus s'écrouler, la pelle mécanique n'ayant pas d'accès pour se positionner en crête de la digue afin d'effectuer la reconstitution.

3.2. Déstructurations des gabions

Les gabions sont disposés en escalier sur le talus amont des épis. Les grillages sont oxydés, souvent déjà cassés, et certains gabions sont éventrés. Des nombreux arbres sont enracinés entre les pierres et ont parfois englobés les grillages. Une autre problématique en lien avec les arbres est la présence de bois mort en quantité abondante, issue de la mortalité naturelle des ligneux (casse de branches pendant les épisodes de vents violents) et du stockage sur place des bois coupés lors des opérations d'entretien de 2014 et 2015.



Photo 43 : Etat de végétalisation des gabions



Photo 44 : Gabions éventrés – épi 1



Photo 45 : Arbres enracinés dans les gabions et bois mort accumulé gênant leur visualisation



Photo 46 : Cas d'un arbre ayant poussé au travers du grillage et risquant le faire céder à terme



Photo 47 : Bois mort accumulé par mortalité naturelle



Photo 48 : Bois mort issu des coupes près des épis

3.3. Dégradation des murs

Les murs maçonnés n'ont pas connu de travaux d'entretien depuis leur construction il y a 50 ans. Les joints altérés et friables sont favorables à la fixation de graines et à la croissance d'essences herbacées et ligneuses.



Photo 49 : Pousses ligneuses vivantes et mortes implantées dans les joints du mur maçonné



Photo 50 : Avocat Marron (épi 1)

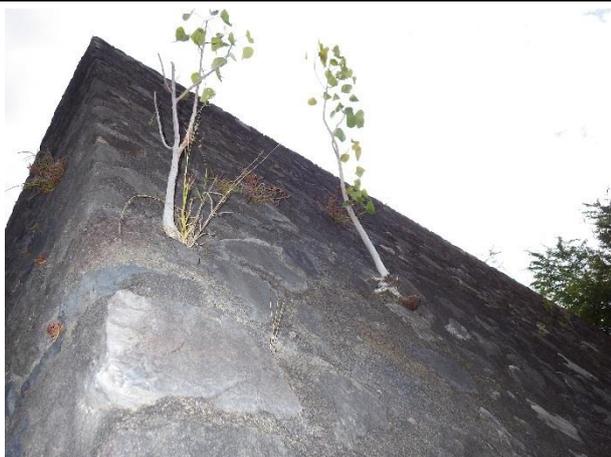


Photo 51 : Jeunes Ficus enracinés dans le mur



Photo 52 : Ficus dans une fissure du mur et végétation dense poussant sur le haut du mur



Photo 53 : Tamarins de l'Inde et Ficus en crête du mur. Densité importante de jeunes pousses sur la face Nord-Est (pente moins forte) du mur



Photo 54 : Vue des dégradations de la crête du mur (épi 1)

De jeunes arbres sont donc en cours de développement sur les murs. Parmi eux, le Ficus et l'Avocat Marron ou encore le Tamarin de l'Inde peuvent atteindre des dimensions considérables comme énoncé au chapitre 1. Les conditions de développement étant particulièrement difficiles du fait de la sécheresse du support, de nombreuses pousses meurent, améliorant ainsi les conditions de développement pour les prochaines générations. Dans ces conditions, les altérations du mur vont s'accélérer.

La face Nord-Est (côté aval) des murs présente une densité de jeunes pousses plus élevée que la face Sud-Ouest, du fait de sa légère inclinaison favorisant la fixation des graines et probablement du fait que de la densité importante de végétation implantée sur les épis, et entre le mur et les gabions, assure un léger ombrage et conserve l'humidité.

Une seconde problématique est le développement des arbres à proximité immédiate de la base du mur. Au stade actuel, en dehors des quelques plus gros arbres, leur enracinement ne présente que peu de risque, étant donnée la largeur importante de la base de ces ouvrages maçonnés. Mais laisser se développer les arbres et leurs souches pourrait générer des dégradations à moyen terme, notamment lorsqu'ils sont implantés directement contre le mur : soit par leurs racines pénétrant dans les fondations, soit en cas de chute sur le haut du mur ou de coups de boutoir des troncs et branches contre le mur par vent fort. Ces arbres induisent, par ailleurs une gêne vis-à-vis de la surveillance visuelle de l'état des murs. C'est à ce titre que de nombreux arbres et arbustes implantés sur une bande de 4 m à partir du mur ont été coupés en 2014 (épis 2 et 4) et 2015 (épis 1, 3 et 5).

Le retour d'expérience de ces opérations s'avère assez négatif ; la coupe a donné naissance à de nombreux rejets vigoureux et favorisé l'explosion de végétation héliophile (ronces, herbacés hautes), rendant l'accès aux murs encore plus difficile et la visibilité encore plus réduite par endroits.

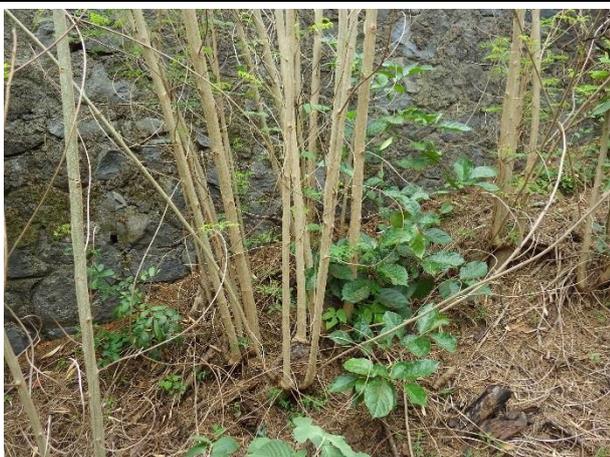


Photo 55 : Rejets très vigoureux suite à la coupe des Cassies implantés au ras du mur en crête d'épi



Photo 56 : Rejets très vigoureux développés suite à la coupe des Faux-Poivriers implantés au pied du mur

L'observation de l'ensemble de ces désordres, ou amorces de prochains désordres, a permis d'amener à une réflexion globale sur les différentes solutions de gestion de la végétation qu'il faudrait envisager dans le cadre de l'entretien sécuritaire et raisonné des ouvrages de la Rivière des Pluies.

4. Préconisations de gestion de la végétation implantée sur les ouvrages de protection

4.1. Gestion de la végétation et surveillance visuelle des ouvrages

La problématique de la surveillance visuelle des ouvrages a été abordée lors des visites sur site. Après avoir parcouru l'ensemble des ouvrages par le haut et par le bas, il s'avère que :

- 90 % du linéaire de la digue longitudinale et des épis permettent une VTA en l'état, en saison sèche, période à laquelle la végétation est la moins dense (d'août à novembre - photos 57, 58 et 60). La rareté des guêpes et des moustiques à cette saison est aussi un atout. Cette visite serait en grande partie possible aussi en saison des pluies malgré une visualisation des talus un peu plus difficile.
- Sur les 10 % de linéaire restant, l'ouverture de layons étroits (1 à 1,5 m de large maxi) respectant au maximum les arbres et arbustes assurant le couvert serait à envisager (Cf. Photo 59) : d'une part longitudinalement en pied de talus au sein des zones envahies par les Chocas verts et bleus, lorsque ces talus ne sont pas visibles du haut (30 mètres en tout au plus), et sous réserve d'une décision d'élimination totale de ces espèces si elles sont trop rapidement envahissantes (cf. ; d'autre part en crête et perpendiculairement à celle-ci, sur une centaine de mètres cumulés au total (5 à 8 points d'accès peuvent être utiles sur l'ensemble du linéaire) : espacés de 10 à 20m, ils permettraient l'accès au bord du talus et une inspection visuelle complète du talus lorsque des arbres en cépée ou une végétation arbustive ou épineuse dense empêche de parcourir le bord de crête en continu, et que le cheminement est difficile en pied de talus. Ces points d'accès devront être repérés et signalés (points GPS, signe de peinture sur les troncs). Ils sont susceptibles d'évoluer avec le temps. En particulier, les zones d'arrachage de souches en crête réalisées en 2016 risquent d'être envahies rapidement par des rejets, des ronces et autres herbacées denses. L'ouverture de layons dans ces zones peut être utile en quelques points et durant quelques années, en respectant des rejets de Cassies et Faux-Poivriers qui assureront le couvert futur.

Il est très important de conserver le couvert dense de Cassies et Faux-Poivriers sur la moitié côté rivière de la digue (ne dégager qu'un layon le long de la clôture) et sur l'ensemble des épis, car il limite le développement d'une strate arbustive et herbacée dense qui serait incompatible avec une bonne visibilité (il faut éviter les ouvertures larges et le broyage à grande échelle). Pour rappel, les Cassies émettent des substances allélopathiques qui, en conjonction avec l'ombre fournie, ralentissent l'installation et le développement d'autres essences végétales en sous-bois, un atout précieux dans le cadre de la surveillance des ouvrages.

Dans le cadre des VTA, un parcours méthodique à pied en crête ou pied de la digue et des épis peut être réalisé. Un cheminement optimisant la visualisation des talus par le haut ou le bas peut être cartographié.

Les secteurs envahis par les Chocas ou le Pitahaya (photos 17 à 22) vont nécessiter des opérations spécifiques. Au stade actuel, seules 3 zones peu étendues de 10 à 25 m de long sont concernées (épi 2 et digue), plus des individus ou tâches isolés (épi 4 notamment). Ces tâches semblent s'étendre, des individus jeunes entourant quelques adultes. Sans opération de contrôle, la situation risque d'empirer rapidement, certains individus arrivant actuellement à maturité. Il est donc recommandé d'éliminer dès que possible ces espèces envahissantes (cf. 4.2.1). Si on ne les élimine pas immédiatement, une surveillance rapprochée est nécessaire : repérage précis des contours des tâches, et suivi annuel de leur expansion. En cas d'expansion rapide avérée, leur élimination sera obligatoire dans les plus brefs délais.



Photo 57 : Secteur ne présentant aucune difficulté pour les inspections visuelles (talus aval épi 1)



Photo 58 : Secteur ne présentant pas de difficulté pour les inspections visuelles (sous-bois clair)



Photo 59 : Implantation (exemple théorique) des layons de 2-3 m de long et 1,5m de large au maximum à réaliser pour la visualisation du talus de digue



Photo 60 : Talus côté rivière pouvant être visualisé par le haut sur un grand linéaire (30 à 40m) après réalisation en crête de layons d'accès à la rupture de pente.

4.2. Solutions pour l'éradication ponctuelle de la végétation lorsqu'elle est nécessaire

4.2.1. Eradication sur les crêtes et talus de la digue et des épis

- Ouverture de layons d'accès en pied ou en crête sur les 10% de linéaire les plus denses qu'on ne voit bien ni du haut ni du bas. Certaines zones où l'arrachage des arbres a été réalisé en 2016 risquent d'entrer dans cette catégorie durant les prochaines années, en raison de la réduction du couvert qui va entraîner la prolifération des herbacées hautes, ronces et rejets de souches des arbres et arbustes endommagés pendant l'opération.
- Eradication des Chocas verts et bleus lorsqu'ils gênent la surveillance visuelle des talus, surtout s'ils s'avèrent invasifs. Dans ce dernier cas, il faudra aussi éliminer préventivement les individus isolés. La méthode d'éradication habituellement préconisée à La Réunion est la taille "en ananas" : conservation de quelques jeunes feuilles de cœur verticales et coupe de toutes les autres feuilles (pas de coupe au ras du sol), en début de saison sèche, afin que leurs réserves d'eau résiduelle et d'éléments nutritifs s'épuisent. Un test est nécessaire immédiatement dans les conditions locales (les chocas sont à l'ombre contrairement aux zones en plein découvert habituellement traitées). Un traitement chimique peut être envisagé, après quelques essais, si on l'utilise sur aussi les murs et gabions.

- Abattage des arbres dont les troncs dépassent 30 cm de diamètre à hauteur de poitrine (1,3m - standard forestier) devrait être réalisé sur les portions de digue étroite afin de limiter les risques de renversement en cas de cyclone (Annexe 3). Cela concerne actuellement très peu d'arbres.
- Poursuite de l'entretien de la partie de crête de digue proche du grillage côté rivière (sur 3 m de large maximum). Il s'agit de conserver l'intégrité du grillage protégeant la zone aéroportuaire et la base militaire, et un accès rapide sur la crête pour un engin en cas de désordre majeur. Ce travail initié à la demande de la base peut se faire par broyage ou recépage régulier des rejets. Actuellement, on observe les symptômes classiques d'un entretien chimique de cette bande, réalisé quelque temps après la coupe : dépérissement massif des rejets pourtant vigoureux, herbacées entièrement sèches, feuilles nanifiées et rejets récents très courts et déformés. On ignore qui a fait ce traitement (efficace !) sans lequel les rejets et les ronces auraient rendu la bande impraticable, comme on l'observe par endroits où le traitement n'a pas été réalisé. Par contre, il faut conserver un couvert dense sur plusieurs mètres de large côté talus, afin de limiter la croissance des ronces et arbustes qui rendraient l'inspection des talus difficile depuis la crête.

4.2.2. Eradication sur les murs maçonnés et leurs alentours

Solution 1 : Entretien mécanique

- Sur les murs (pente et sommet) : arrachage manuel de tout ce qui peut l'être, racines ligneuses comprises (herbacées, arbustes et petits arbres), en curant les joints friables en profondeur.
- En pied de mur, côté épis et côté rivière : Dessouchage minutieux sur 1 mètre de large au pied des murs (2 m pour les plus gros arbres) puis entretien par fauchage biennuel. L'arrachage sera difficile ou même parfois impossible entre le mur et les gabions, où de nombreux arbres se sont installés, sans dégrader ou déplacer les gabions. Avec cette solution, il faut donc prévoir une réfection ou un renouvellement de ceux-ci (voir 4.2.3 ci-après). Certaines souches, les moins importantes, pourraient éventuellement être directement arrachées par élingage sans dégrader trop les gabions, mais il faudrait le tester au préalable.

Solution 2 : Entretien chimique – à valider du point de vue réglementaire²

- Sur les murs (pente et sommet) : coupe ou arrachage manuel de ce qui peut l'être facilement et intégralement sans laisser de racines dans le mur (surtout herbacées), dévitalisation par badigeon ou injection des autres végétaux, puis leur arrachage une fois morts.
- Au pied des murs : dévitalisation par injection des arbres et arbustes implantés jusqu'à 1 mètre du pied du mur. Pour les arbres les plus gros (diamètre > 30 cm à hauteur de poitrine) ou susceptibles d'atteindre rapidement ces dimensions, ou dans le cas de très grosses souches si les arbres ont déjà été coupés, la distance doit être portée à 2 mètres.

La préservation de la végétation arbustive (cassies en priorité et autres petits arbres), en bordure de la bande dévitalisée ou déracinée le long des murs (hors gabions), est recommandée: il faut fermer autant que possible le couvert pour limiter le retour d'une végétation envahissante et assurer la présence de racines en surface dans la zone dégagée. Du côté rivière, il y a en effet un risque que le courant, au cours des crues, se concentre dans la zone dégagée le long des murs en profitant du couloir créé, la rivière venant systématiquement solliciter ces murs (cf. annexe 1). Il est donc recommandé en particulier de ne pas détruire la végétation dense poussant juste en amont des murs, et qui constitue une protection relative contre le courant. Les travaux d'arrachage s'ils sont mécaniques devront donc respecter au maximum cette végétation proche, et aborder les murs par le côté aval.

² Cf. Arrêté Ministériel du 12 septembre 2006 qui définit des ZNT (Zones Non Traitées) de 5 m à 100 m aux abords des cours d'eau.

Les deux solutions nécessitent des travaux de réfection des joints des murs, qui sont vieillissants et de plus en plus friables et fissurés, pour prévenir la réimplantation de jeunes pousses à l'avenir.

4.2.3. Sur les gabions

Solution 1 : Entretien mécanique

Sauf à considérer qu'il faut de toute façon les renouveler rapidement, le démantèlement des gabions pour extraction des enracinements des arbres qui s'y sont installés ne paraît pas envisageable, étant donnée la lourdeur d'une telle intervention. Il reste donc parmi les solutions mécaniques d'attente l'abattage des arbres suivi du broyage systématique et fréquent des rejets jusqu'à épuisement des souches. Ce protocole prend généralement plusieurs années et pourrait être très long et même inefficace sous climat tropical. La problématique de nouvelles pousses s'implantant rapidement est également à intégrer. Cette solution ne tolère pas d'arrêt des entretiens sous peine de voir rejets et souches reprendre rapidement de la vigueur, et les ronces et autres espèces héliophiles envahir et recouvrir les gabions, les rendant invisibles et rendant les visites impossibles jusqu'aux murs (la coupe récente des arbres et arbustes a déjà conduit à cette explosion de végétation indésirable par endroits).

Solution 2 : Entretien chimique - à valider du point de vue réglementaire

Dévitisation des arbres et des cactées par badigeon ou injection. En principe efficace à très court terme, elle ralentira la dégradation des gabions mais ils sont déjà en mauvais état général (corrosion/arbres/bois mort). Leur suivi et réfection au moins partielle s'impose rapidement (cf. ci-dessous).

Les deux solutions nécessitent des travaux de reprise provisoire (zones éventrées) ou de réfection globale (par rechargement) des gabions, avec au préalable l'évacuation des bois morts accumulés.

La durée de vie moyenne de gabions grillagés est de l'ordre de 50 ans. Le niveau de dégradation actuelle des gabions protégeant les murs est donc logique. La réfection des "escaliers" de gabions pourrait être envisagée en posant simplement un nouvel escalier de gabion sur l'ancien, avec un bon ancrage du premier rang au pied de l'ancien, et en remplaçant ou refaçonnant dans les anciennes marches les quelques gabions éventrés ou trop abimés par l'arrachage des arbres.

La nécessité d'entretenir / renouveler les gabions est prouvée par les photos aériennes en annexe 1, qui montrent que la rivière les sollicite régulièrement, ou s'en approche en créant des anses d'érosion derrière les murs du côté amont des épis.

4.2.4. Autres Préconisations

Entretien d'une piste d'accès le long de la digue

Prévoir l'entretien, par le passage d'un engin de broyage ou d'un engin à chenille, de l'ancienne piste parallèle au pied de digue et qui recoupait les épis 2 et 3 près de la digue avec des rampes d'accès (cf. photos aériennes de 1997 et 2003 en annexe 1). Cette piste sera très utile pour des interventions rapides avec des engins lourds en cas de problème après crue ou cyclone. Dans tous les cas, la reconstitution de la rampe d'accès sera nécessaire pour rétablir l'intégrité de l'épi 3 : celui-ci s'est effondré de 2m ou plus en hauteur en crête, et sur toute sa largeur, sur le passage de cette ancienne piste. Il représente donc un point de faiblesse important du dispositif. Si une crue arrivait jusque-là, il y a une forte probabilité pour que l'épi s'affaisse totalement à ce niveau (il y a déjà eu des glissements importants de talus de part et d'autre). La rivière pourrait alors recréer un bras qui viendrait attaquer la digue et la menacerait directement. Le confortement des rampes d'accès de part et d'autre de l'épi 2 serait utile, avec adoucissement de la pente côté aval. Les rampes d'accès constituent en soi une protection de la jonction entre les épis et la digue, du fait du rehaussement du sol et de la sur largeur induite.

Réalisation d'une topographie précise et généralisée des ouvrages (et du lit)

La digue et les épis souffrent de multiples petits désordres localisés (glissements, tassements, trous) d'origines diverses et pour l'instant sans gravité : remblais déposés de façon parfois méthodique, parfois très aléatoire, activités humaines (nombreux squatters), mouvements de sol dans des zones mal stabilisées. Certains de ces désordres pourraient s'aggraver avec le temps et la présence de squatters. Elle souffre aussi de quelques désordres plus sérieux : affaissement de l'épi 3 à proximité de la digue, anses d'érosion à proximité des murs. Un levé LIDAR aéroporté de haute définition permettrait d'avoir une topographie complète et très précise des ouvrages et du lit. Il donne une vision d'ensemble et une localisation de ces désordres structurels malgré la présence de la végétation s'il est mis en œuvre en saison sèche. La méthode permet simultanément de cartographier la végétation (hauteur, densité, structure). Des informations détaillées sur cette technique sont disponibles dans différents articles notamment les suivants :

- *La télédétection LiDAR hélicoptère haute résolution, un outil efficace pour étudier la topographie et contribuer au diagnostic des digues de protection.* P. Mériaux, L. Auriau, J. Maurin, A. Boulay, S. Lacombe, S. Marmu. Actes du colloque "Digues Maritimes et Fluviales de Protection contre les Submersions", 2013

Article disponible à l'adresse suivante :

https://books.google.fr/books?id=YvXAAgAAQBAJ&pg=PA335&lpg=PA335&dq=La+t%C3%A9l%C3%A9d%C3%A9tection+LiDAR+h%C3%A9licopt%C3%A9e+haute+r%C3%A9solution,+un+outil+efficace&source=bl&ots=KSWbY8MJiP&sig=hyZHTZHHP_S-8OCaxQ0ILVwxYIo&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwim09OXm_TQAhVU42MKHUe-BOAQ6AEIHTAB#v=onepage&q=La%20t%C3%A9l%C3%A9d%C3%A9tection%20LiDAR%20h%C3%A9licopt%C3%A9e%20haute%20r%C3%A9solution%2C%20un%20outil%20efficace&f=false

- *Apport de la télédétection LIDAR aéroporté haute définition pour la caractérisation de la végétation des digues.* M. Vennetier, P. Mériaux, F. Busset, H. Félix, S. Lacombe. Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection n°191, p36-40, 2010

Disponible à l'adresse suivante:

http://cemadoc.cemagref.fr/exl-php/cadcgp.php?query=1&MODELE=vues/p_recherche_publication/home.html

L'avantage de cette technique est qu'elle peut être reconduite dans le temps, régulièrement ou après un gros événement, et ainsi permettre la comparaison précise des situations et un suivi de l'évolution des désordres.

5. Synthèse

La végétation présente sur les ouvrages de la Rivière des Pluies ne génère pas à ce jour, ni dans un futur proche, de risque pour les parties en remblai. Ce diagnostic tient compte à la fois du dimensionnement des ouvrages, de leur nature et structure et des matériaux qui les composent, des caractéristiques des espèces présentes (taille, densité) et de leurs systèmes racinaires. Au contraire, en raison de la granulométrie très grossière des matériaux, constitués surtout d'éléments arrondis et donc incompactables et par nature instables, les enracinements en partie superficiels et en partie verticaux des espèces dominantes confortent les pentes des ouvrages contre l'érosion et les glissements. Le maintien d'une végétation dense éliminant les herbacées et les ronces garantit sa pénétrabilité pour les visites de contrôle régulières (VTA ou autre).

Par contre, il est nécessaire de prévoir l'entretien à court terme des murs maçonnés et des gabions, qui présentent des amorces de désordres du point de vue structurel, que la végétation va aggraver rapidement si rien n'est fait. Il faut éliminer toute végétation sur les murs situés au bout des épis, et dans une bande de 1 à 2 m de large à leur pied. La réfection des joints de maçonnerie de ces murs est nécessaire dès l'arrachage ou après la dévitalisation des végétaux qui y poussent et leur curetage. La rénovation des gabions devrait s'imposer rapidement après élimination de la végétation qui y pousse. L'élimination de quelques plantes invasives, susceptibles de nuire à la visibilité des talus est aussi une priorité, mais ne concerne pour l'instant que de très faibles surfaces.

Synthèse des préconisations de gestion de la végétation implantée sur les ouvrages de la Rivière des Pluies

Préconisations de gestion de la végétation implantée sur les talus et crête de digue et épis	<ul style="list-style-type: none"> - Ouvrir des layons d'accès en pied et en crête sur les 10% de linéaire les plus denses – tous les 20 m en moyenne sur ces zones. - Eradication des Cactées qui gênent la surveillance visuelle des talus (taille en ananas ou traitement chimique) - Abattage des arbres dont les troncs dépassent les 30 cm de diamètre à 1.3 mètres du sol (demande préalable du déclassement « EBC » de la digue et des épis) - Poursuite de l'entretien de la moitié de crête de la digue proche du grillage (2 à 3 m de large) par broyage régulier des rejets ou selon la technique chimique actuellement employée.
Préconisations de gestion de la végétation implantée sur et autour des murs maçonnés	<p><u>Solution 1</u> : Entretien mécanique par arrachage manuel sur les murs avec curage des joints et par dessouchage sur 1 mètre de large au pied des murs (2 m pour les plus gros arbres) puis entretien par fauchage biannuel.</p> <p><u>Solution 2</u> : Entretien chimique par dévitalisation (badigeon ou injection) de l'ensemble des végétaux sur les murs et dévitalisation par injection des arbres et arbustes implantés jusqu'à 1 mètre du pied du mur (2 m pour les plus gros arbres).</p> <p>⚠️ préservation de la végétation arbustive (Cassies et autres), en bordure de la bande dévitalisée ou déracinée pour fermer le couvert, limiter le retour d'une végétation envahissante, protéger en partie les murs du courant.</p> <p>⚠️ Curetage et réfection rapide de tous les joints des murs, après élimination de la végétation actuelle, pour prévenir la réimplantation de jeunes pousses.</p>
Préconisations de gestion de la végétation implantée sur les gabions	<p><u>Solution 1</u> : Entretien mécanique par abattage des arbres puis broyage systématique et fréquent des rejets jusqu'à épuisement des souches.</p> <p><u>Solution 2</u> : Entretien chimique par dévitalisation des arbres et des cactées par badigeon ou injection. Cela ralentira la dégradation des gabions mais ils sont déjà en mauvais état général (corrosion/arbres/bois mort). Leur suivi et réfection au moins partielle s'impose à court terme.</p> <p>⚠️ prévoir travaux de confortement / renouvellement des escaliers de gabions</p>
Autres Préconisations	<ul style="list-style-type: none"> - Entretien d'une piste d'accès le long de la digue : prévoir l'entretien de l'ancienne piste parallèle au pied de digue qui sera très utile pour les visites et en cas d'intervention urgente - Prévoir de rétablir l'intégrité de l'épi 3 (effondré suite au passage des engins par l'ancienne piste) - Réalisation d'une topographie précise et généralisée des ouvrages et du lit par levé LIDAR aéroporté afin d'obtenir une topographie complète et très précise des ouvrages et du lit

Cf. Annexe 4 pour les coûts estimatifs des interventions de gestion de la végétation



Annexes

Annexe 1 : Analyse diachronique de 1961 à nos jours sur l'aménagement de la RD de la Rivière des Pluies



Vue aérienne du 15/09/1961 : lit de la Rivière des Pluies avant les aménagements
La piste de l'aéroport s'arrête à l'extrémité rive droite du delta (repères en bleu)



Vue aérienne du 08/11/1973 : la piste de l'aéroport allongée (repères en bleu). Les aménagements sont terminés. La digue RD et ses 5 épis sont nettement visibles. De la végétation est déjà perceptible sur les talus de la digue et des épis (Cf. zoom sur photo suivante).



Vue aérienne du 23/10/1973 : Zoom sur les ouvrages avec les 4 premiers épis en RD.
Les gabions neufs sont bien visibles.



Vue aérienne du 11/05/1978 : Vue des ouvrages 5 ans après la fin des travaux. Les gabions ont joué leur rôle protecteur côté amont de épis.



Vue aérienne du 21/05/1984 : Vue des ouvrages 11 ans après la fin des travaux.

La végétation se développe rapidement sur les talus de la digue et des épis.

Pas de traces de sollicitation récente des épis mais sollicitation de la digue aval protégeant la piste (installation d'un des 2 bras vifs du chenal en pied de cette digue).



Vue aérienne du 14/07/1997 : Vue des ouvrages 24 ans après la fin des travaux.

Création de rampes d'accès sur les épis 2 et 3, pour le passage d'une piste permettant d'accéder à la partie aval du lit, et ayant abouti à la déstructuration de l'épi 3 au niveau du franchissement. Reconfiguration de l'épi 5 par un remblai côté terre

Des pistes et zone de terrassements sont visibles (notamment entre la RN2 et l'épi 1 puis entre l'épi 1 et l'épi 2.

La végétation se densifie sur les talus de digue côté rivière -hors zones touchées par les passages d'engins.

Le talus de la digue longitudinale a été entretenu et semble fauché (ceci correspond peut-être à la période des travaux d'élargissement de la digue côté aéroport et base militaire).



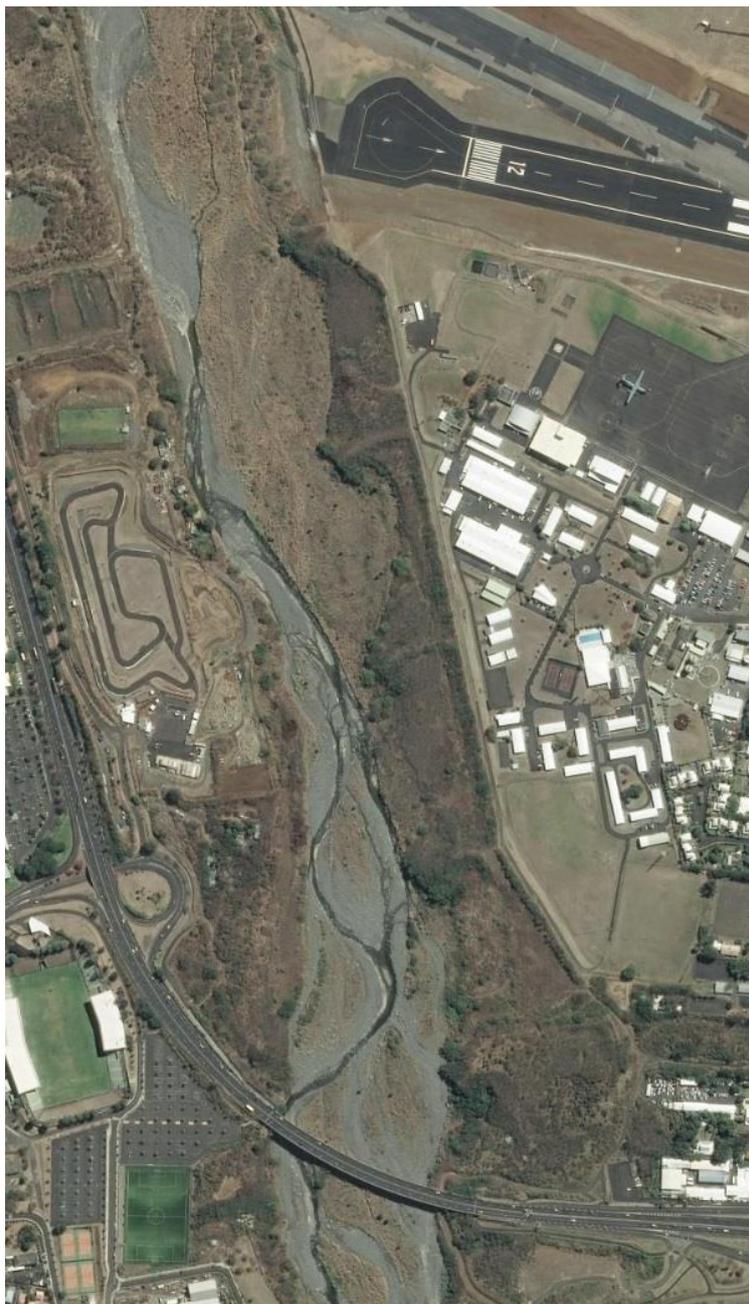
Vue aérienne du 03/07/2003 : ouvrages 30 ans après la fin des travaux.

La végétation sur les talus de la digue côté rivière et sur les épis est dense. Le secteur en amont de l'épi 1 semble avoir été remblayé.

Sollicitation récente de l'épi 4. L'anse d'érosion est bien marquée jusqu'aux gabions. Les murs des épis 2 et 5 ont été sollicités sur toute leur longueur avec sollicitation des gabions probable en amont de l'épi 2 (décapage de toute végétation sur toute leur longueur). Les gabions ont encore une fois bien joué leur rôle protecteur derrière les murs côté amont.

La zone active du lit intercepte le tracé de la piste ayant détruit l'épi 3 en amont.

Attention : Si un phénomène semblable se produisait entre l'épi 2 et l'épi 3, il pourrait suivre l'ancien tracé de la piste, mettre en danger l'épi 3 au niveau de l'effondrement actuel sur le passage de cette piste, et attaquer la digue longitudinale. Un ancien méandre visible sur les photos anciennes (jusqu'en 1978) prenait cette direction.



Vue aérienne du 12/12/2014 : ouvrages 41 ans après la fin des travaux

Situation quasi actuelle. La végétation autour des murs est très dense et reste verdoyante malgré la sécheresse estivale. Au contraire, sur les talus des épis et sur la digue longitudinale côté rivière, la végétation est visiblement desséchée.

Les traces nettes de divagation récente du lit entre les épis (pas de végétation dense), et les photos précédentes, montrent que la rivière tente en permanence de recréer des méandres et risque donc d'attaquer les murs par contournement et potentiellement les épis à chaque crue. Le maintien d'escaliers de gabions opérationnels est donc essentiel.

Annexe 2 : Evolution du profil de la digue suite aux remblaiements

Certaines parties la digue longitudinale ont par endroit gagné plusieurs mètres de largeur en crête suite aux remblaiements réalisés côté base militaire et aéroportuaire.

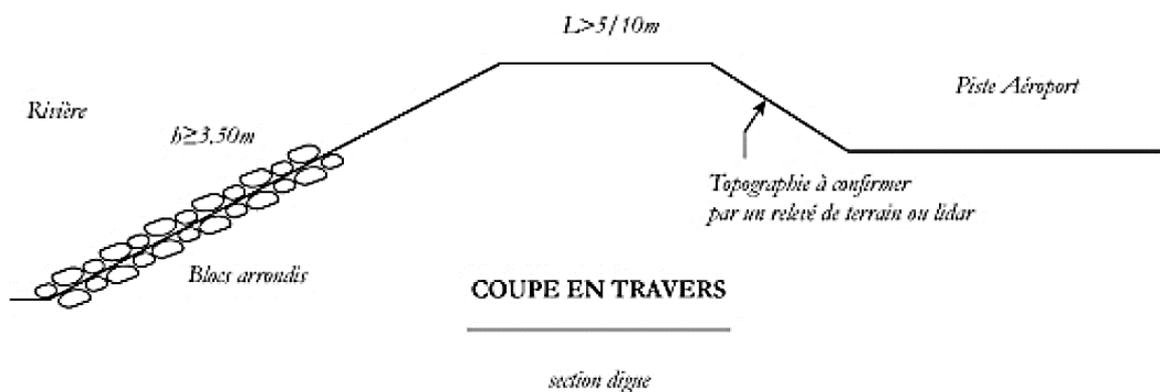
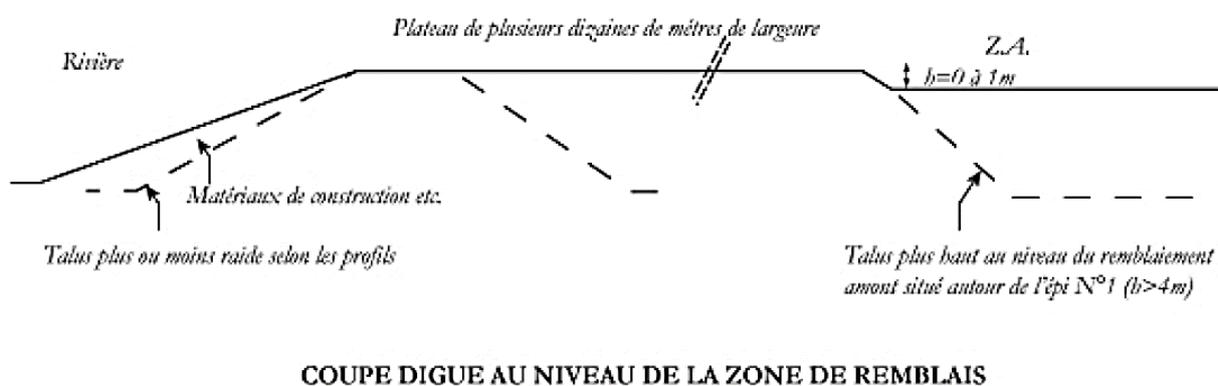


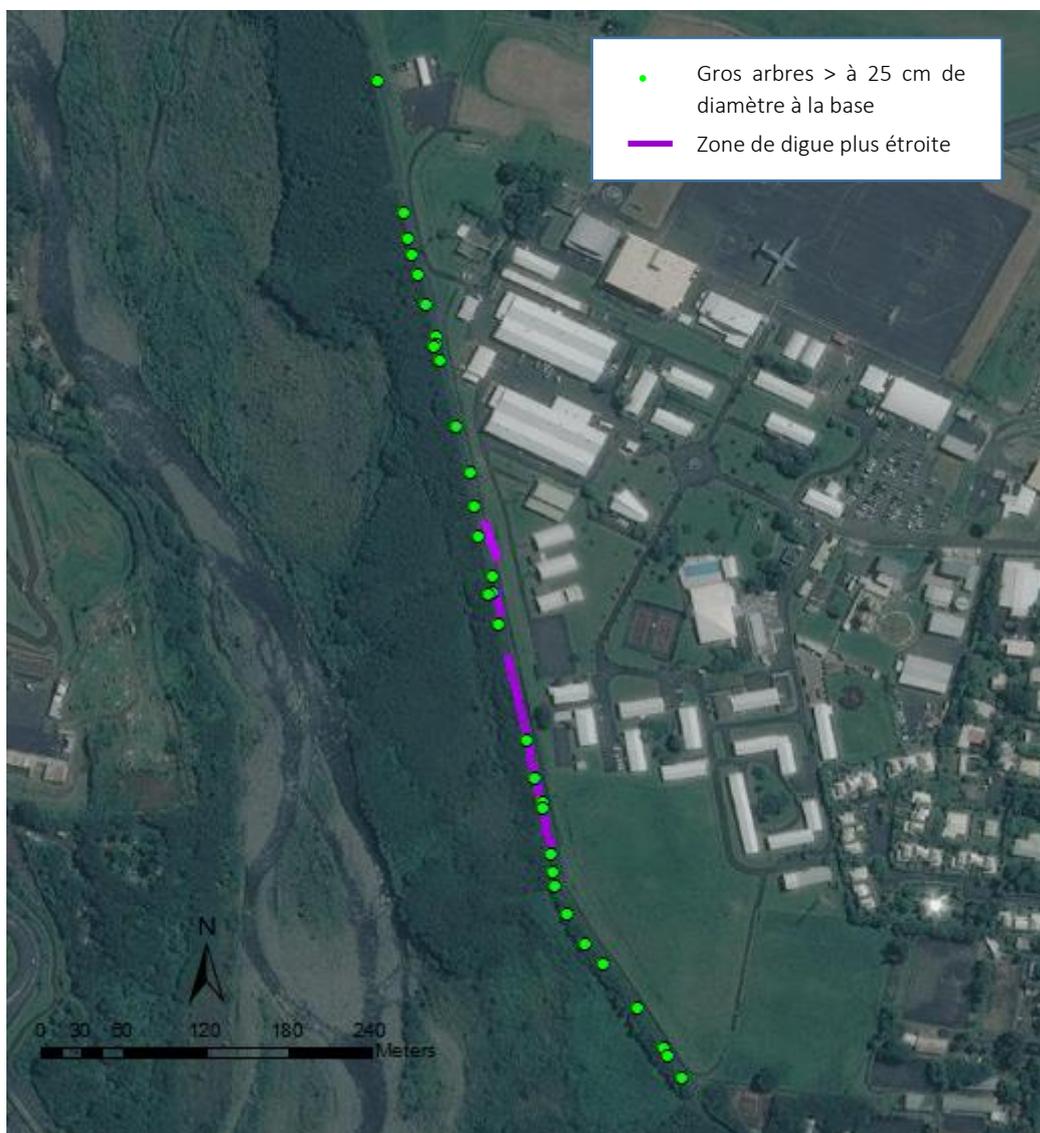
Figure 1 : Profil initial de la digue (Source Sage Géotechnique, 2014)



COUPE DIGUE AU NIVEAU DE LA ZONE DE REMBLAIS

Figure 2 : Vue de la digue remblayée (Source Sage Géotechnique, 2014)

Annexe 3 : Localisation des zones de digue plus étroite comportant de gros arbres à surveiller ou à abattre s'ils dépassent les limites fixées.



Annexe 4 : Estimation des couts associés à la gestion de la végétation sur les ouvrages

Cout estimatif (tarifs HT appliqués en métropole):

Aspersion produit chimique : 1€ du m² (ou coût-homme*jour de 500€)

Débroussaillage : 0,60 du m² (ou coût-homme*jour de 500€)

Abattage d'arbre de diamètre à hauteur d'homme (1,3m) compris entre 25 et 50 cm : 80€

Abattage d'arbre de diamètre à hauteur d'homme (1,3m) compris entre 50 et 80 cm : 120€

Evacuation du bois coupé : 10 €/tonne

Dessouchage - diamètre inférieur à 25 cm : 200 €/souche

Dessouchage - diamètre compris entre 25 et 50 cm : 350 €/souche

Evacuation des souches : 100 à 200 €/souche

Injection produit dévitalisant au sol (avec perçage et bouchage) (voir ONF La Réunion ?)

Injection produit dévitalisant sur mur - en badigeon ou injection ? (voir ONF La Réunion ?)