

MISSIONS D'ASSISTANCE A MAITRISE D'OUVRAGE VISANT AU LANCEMENT ET AU SUIVI D'ETUDES FAISABILITE ET A LA REALISATION D'UN PROGRAMME TECHNIQUE POUR LA GESTION DES BERGES SUR CERTAINS SECTEURS DE LA COMMUNE DE PAPAICHTON (LOT 2)

PHASE 3 : ELABORATION D'UN PROGRAMME PARTIE 2 : GENIE VEGETAL



MAÎTRE(S) D'OUVRAGE	
	AGENCE FRANÇAISE DE DEVELOPPEMENT ✉ 5 Rue Roland Barthes – 75 598 PARIS Cedex 12
AUTEUR(S)	
PIERRE-BRIEUC DESTOMBES – LOUISE CHOUVET – CORENTIN SONNERAT	
REFERENCE DU RAPPORT	NBRE DE PAGES
13225 BERGES PAPAICHTON PHASE III PARTIE 2 V6 – 07/05/2024	58
COORDONNEES	
	INGETEC ✉ 67 Rue Damesme - 75013 PARIS ✉ ingetec@ingetec.fr ☎ 02.35.07.94.20

TABLE DES MATIERES

1. CHANTIERS EXPERIMENTAUX POUR LA STABILISATION DES BERGES EN GENIE VEGETAL – SCENARIO 4	6
1.1. Etudes complémentaires	6
1.1.1. Structure de ripisylve et inventaire floristique	6
1.1.2. Etudes bibliographiques	7
1.2. Chantier expérimental – Généralités	7
1.2.1. Définition	7
1.2.2. Contractualisation d'un chantier expérimental	7
1.3. Définition et objectifs du génie végétal dans le cadre du projet	8
1.3.1. Implantation d'espèces remarquables – Complément aux travaux de génie végétal	8
1.4. Chantiers expérimentaux sur la commune de Papaïchton	9
1.4.1. Etape 1 : Choix des site	9
1.4.2. Etape 2 : Liste des techniques de génie végétal applicable en milieu tropical	14
1.4.3. Etape 3 : Synthèse des techniques de génie végétales à expérimenter sur les sites choisies par la commune	22
1.5. Estimations	33
1.5.1. Chantier expérimental de la Crique à Papaïchton	33
1.5.2. Chantier expérimental à Boniville	34
2. INTEGRATION DU BOIS MORT DANS LES TECHNIQUES DE CONFORTEMENT DE BERGE EN GUYANE	35
2.1. Production de bois mort charrié par le cours d'eau	36
2.2. Mouvement du bois mort dans le cours d'eau	37
2.3. Rôle du bois mort dans la lutte contre l'érosion	38
2.4. Impact du bois mort sur la morphologie du fleuve	39
2.5. Intérêt écologique du bois mort	40
2.6. Vieillissement et évolution de la structure du bois mort en rivière	41
2.7. Ingénierie du bois mort	42
2.8. Approvisionnement en bois	43
2.9. Techniques de confortement de berges utilisant le bois mort comme matériau de construction.	44
2.9.1. Planification des opérations de collecte et de mise en œuvre et précisions opérationnelles.	54
2.9.2. Planification des travaux et sécurisation	54
2.9.3. Liste des engins utiles pour la réalisation des travaux utilisant le bois mort comme matériau de conception d'un projet d'ingénierie de confortement de berges.	55
2.10. Evolution du climat et influence sur les interactions cours d'eau - bois mort	57

2.11. Conclusions sur les sites d'études

58

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURE 1 : SITES ETUDIES SUR LA COMMUNE DE PAPAÏCHTON (A DROITE) @PIERRE SILLAND ET CORALIE DALBAN-PILON >	6
FIGURE 2 : ESPECES REMARQUABLES, RARES OU DETERMINANTES ZNIEFF SUR LES SITES D'ETUDES @ PIERRE SILLAND ET CORALIE DALBAN-PILON	8
FIGURE 3 : LOCALISATION DES SITE BO-1 ET BO-3 @ INGETEC	10
FIGURE 4 : PHOTOS DU SITE BO-1 @ PIERRE SILLAND ET CORALIE DALBAN-PILON	11
FIGURE 5 : PHOTOS DU SITE BO-3 @ PIERRE SILLAND ET CORALIE DALBAN-PILON	11
FIGURE 6 : SCHEMA D'UNE TERRASSE HAUTE ANTHROPISEE AVEC FORTE EROSION @ PIERRE SILLAND ET CORALIE DALBAN-PILON	11
FIGURE 7 : LOCALISATION DU SITE CR-1 @ INGETEC	12
FIGURE 8 : PHOTOS DU SITE VISE POUR LE CHANTIER EXPERIMENTAL SUR LE FLEUVE MARONI @ PIERRE SILLAND ET CORALIE DALBAN-PILON	13
FIGURE 9 : SCHEMA D'UNE TERRASSE HAUTE ANTHROPISEE AVEC FORTE EROSION @ PIERRE SILLAND ET CORALIE DALBAN-PILON	13
FIGURE 10 : UTILISATION DE BOIS MORT POUR LA RESTAURATION ECOLOGIQUE DE LA RIVIERE ELWHA DANS L'ETAT DE WASHINGTON (EXTRAIT DU NATIONAL LARGE WOOD MANUAL)	35
FIGURE 11 : ILLUSTRATION TIREE DU NATIONAL LARGE WOOD MANUAL ILLUSTRANT LES APPORTS EN BOIS MORT DANS LE COURS D'EAU SUIVANT LA POSITION SUR LE BASSIN VERSANT. (EXTRAIT DU NATIONAL LARGE WOOD MANUAL)	36
FIGURE 12 : STOCKAGE DE BOIS MORT DANS LE LIT, BLOQUE PAR DES GROS BLOCS ROCHEUX. LES FLECHES JAUNES SYMBOLISENT LA DIRECTION DU COURANT. (EXTRAIT DU NATIONAL LARGE WOOD MANUAL)	37
FIGURE 13 : LE BOIS MORT PRESENT NATURELLEMENT PARTICIPE A LA PROTECTION DE L'EROSION DE LA BERGE. (EXTRAIT DU NATIONAL LARGE WOOD MANUAL)	38
FIGURE 14 : SCHEMA CONCEPTUEL DE L'INFLUENCE DU BOIS MORT SUR LA MORPHOLOGIE DU LIT(EXTRAIT DU NATIONAL LARGE WOOD MANUAL)	39
FIGURE 15 : EVOLUTION DE LA DEGRADATION DU BOIS AU FIL DU TEMPS SELON LES ESSENCES CONSIDEREES. (EXTRAIT DU NATIONAL LARGE WOOD MANUAL)	41
FIGURE 16 : TABLEAU RECAPITULATIF DES TECHNIQUES D'ANCRAGE ET DE SECURISATION DU BOIS MORT ET DE LEURS AVANTAGES/INCONVENIENTS	44
FIGURE 17 : TABLEAU RECAPITULATIF DES TECHNIQUES D'ASSEMBLAGE DU BOIS MORT ET DE LEURS AVANTAGES : INCONVENIENTS	45
FIGURE 18 : SCHEMAS DE PRINCIPE D'UTILISATION DE BOIS MORT POUR LE CONFORTEMENT DE BERGE EN GUYANE	46
FIGURE 19 : TRANSPORT DE MATERIEL ET DE BOIS MORT SUR DES PIROGUES SUR LE MARONI.	55
FIGURE 20 : TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE DU BOIS MORT BASE SUR LA FORCE HUMAINE ADAPTE AUX CONTEXTES DIFFICILES	56

TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : CARACTERISTIQUES DES TRONÇONS BO-1 ET BO-3.....	9
TABLEAU 2 : 7 ESPECES PARTICULIEREMENT INTERESSANTES EN GENIE VEGETAL ET PRESENTES SUR LE SITE BO-1.....	11
TABLEAU 3 : CARACTERISTIQUES DU TRONÇON CR-1.....	12
TABLEAU 4 : 15 ESPECES PARTICULIEREMENT INTERESSANTES EN GENIE VEGETAL ET PRESENTES SUR LE SITE CR-1.....	14
TABLEAU 5 : COMPARAISON DES TECHNIQUES DE GENIE VEGETAL POUR UNE MISE EN ŒUVRE SUR LE SITE BO-1 @ INGETEC.....	22
TABLEAU 6 : COMPARAISON DES TECHNIQUES DE GENIE VEGETAL POUR UNE MISE EN ŒUVRE SUR LE SITE BO-3 @ INGETEC.....	24
TABLEAU 7 : COMPARAISON DES TECHNIQUES DE GENIE VEGETAL POUR UNE MISE EN ŒUVRE SUR LE SITE CR-1 (PENTE DOUCE : 3 POUR 1) @ INGETEC.....	27
TABLEAU 8 : COMPARAISON DES TECHNIQUES DE GENIE VEGETAL POUR UNE MISE EN ŒUVRE SUR LE SITE CR-1 (PENTE FORTE : >1 POUR 1) @ INGETEC.....	28
TABLEAU 9 : RESUME DES TECHNIQUES DE GENIE VEGETAL APPLICABLE PAR SITE @ INGETEC.....	31

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 2 – MISSION RIPISYLVE SILLAND – DALBAN PILON
ANNEXE 3 – MISSION E MIRA
ANNEXE 4 – PASSER UN MARCHE DE CONCEPTION REALISATION
ANNEXE 5 – AIDE AU CHOIX – SITE CHANTIER EXPERIMENTAL PPI

1. CHANTIERS EXPERIMENTAUX POUR LA STABILISATION DES BERGES EN GENIE VEGETAL – SCENARIO 4

1.1. ETUDES COMPLEMENTAIRES

En parallèle des études réalisées par Ingetec, deux études complémentaires ont été commandées.

Ces études permettent de :

- Nourrir les études environnementales dans le cadre de la réalisation des dossiers environnementaux (notamment DLE) dans les prochaines phases d'études ;
- Connaître la structure des ripisylves au droit des villages objets de la présente étude ;
- Connaître la structure des ripisylves sur des sites naturels ou redevenus naturels après abandon des villages ;
- Réaliser un travail bibliographique sur les pratiques en termes de génie végétal en milieu tropical.

1.1.1. STRUCTURE DE RIPISYLVE ET INVENTAIRE FLORISTIQUE

La première étude consiste en une étude des structures de ripisylves et en un inventaire floristique sur les communes de Camopi et de Papaïchton. Elle a été réalisée par Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON.

Cette étude comprend une analyse de la structure de la ripisylve et des espèces la composant sur des sites "témoins", ainsi que sur les zones visées par un aménagement de confortement de berges par technique de génie végétal sur les communes de Camopi et Papaïchton.

L'étude comprend aussi différentes recommandations, notamment sur les espèces végétales à utiliser dans les techniques de génie végétal. Les espèces proposées sont issues de l'inventaire floristique, objet de l'étude. Les propositions s'appuient sur la bibliographie et sur les observations des sites "témoins".



Figure 1 : Sites étudiés sur la commune de Papaïchton (à droite) ©Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON >

L'étude susmentionnée est présente en annexe.

Annexe 1 – Mission ripisylve SILLAND - DALBAN PILON

1.1.2. ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES

Deux études bibliographiques, menées par Eleonore MIRA, ont été commandées dans le cadre du projet :

- **Etude bibliographique sur les techniques de génie végétal applicables en milieu tropical :**

« L'objectif de cette étude a été de compiler un ensemble, le plus exhaustif possible, de matériel bibliographique mentionnant la mise en place effective de techniques de génie végétal en milieu tropical à l'échelle du globe.

[...] Les résultats ont permis de mettre en évidence l'intérêt croissant porté par une communauté de chercheurs, gestionnaires et praticiens concernant les techniques de génie végétal en zone tropicale.

[...] La mise en place d'ouvrages a principalement ciblé la stabilisation et la protection des pentes et talus avec une moindre considération pour les berges de cours d'eau. »

- **Etude bibliographique sur la multiplication végétative et traits racinaires d'espèces rapicoles guyanaises :**

« La présente étude vise à mener une synthèse des informations disponibles dans la littérature concernant ces espèces rapicoles. Elle se focalise sur leurs caractéristiques racinaires et leurs potentialités de multiplication végétative, qui constituent des traits d'intérêt majeur pour le génie végétal. »

Ces deux études bibliographiques se trouvent en annexe.

Annexe 2 – Mission E MIRA

1.2. CHANTIER EXPERIMENTAL – GENERALITES

1.2.1. DEFINITION

Un chantier expérimental consiste en la mise en œuvre de méthodes novatrices et de nouvelles techniques visant à expérimenter et à évaluer leur efficacité dans des conditions réelles.

C'est aussi l'occasion de sensibiliser et faire participer les populations locales à la mise en œuvre de solutions issues du génie végétal.

Le chantier expérimental laisse place à un "droit à l'erreur" du fait de son aspect expérimental. Dans le cadre du projet, ça sera l'occasion d'expérimenter différentes techniques de stabilisation des berges, mais aussi de collecte, culture et plantation d'espèces locales pour lesquelles les ressources bibliographiques nécessaires ne sont pas toujours disponibles.

Le site identifié pour être le lieu du chantier expérimental pourra être découpé en plusieurs tronçons afin d'expérimenter différentes techniques et différents ensembles d'espèces végétales.

1.2.2. CONTRACTUALISATION D'UN CHANTIER EXPERIMENTAL

Le marché public qui semble être le plus adapté à un chantier expérimental est le marché de « Conception – Réalisation ». Ce type de marché est défini une première fois par l'article 37 de l'ancien Code de la Commande Publique et repris dans l'Article L2171-2 du Code de la Commande Publique.

Ce marché particulier permet au maître d'ouvrage de confier simultanément la conception (études) et la réalisation (exécution des travaux) d'un ouvrage à un groupement d'opérateurs économiques ou un seul opérateur pour les ouvrages d'infrastructures. Le marché de conception-réalisation est un marché de travaux, car il a pour objet principal la réalisation d'un ouvrage.

La procédure de passation de marché est décrite dans l'annexe « Passer un marché de conception réalisation », fiche éditée par achatpublic.info.

Annexe 3 – Passer un marché de conception réalisation

1.3. DEFINITION ET OBJECTIFS DU GENIE VEGETAL DANS LE CADRE DU PROJET

Conformément au rapport « *Structure de ripisylve et inventaire floristique* » de Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON, réalisé dans le cadre d'une mission complémentaire :

« Le principe de base d'un aménagement antiérosif sans artificialisation est [...] de végétaliser le sol nu. Cependant, certaines espèces sont plus performantes à retenir le sol, de par des avantages mécaniques ou des dynamiques de peuplement efficaces. »

Pour rappel les caractéristiques recherchées dans les espèces pouvant faire l'objet d'une expérimentation sont les suivants :

- **Capacité d'implantation sur les berges** : présence sur les berges en zone de marnage, tolérance à la submersion et/ou à l'anthropisation, comportement pionnier (premières plantes à s'implanter sur un sol nu) ;
- Multiplication et/ou régénération végétative ;
- **Lutte mécanique contre l'érosion** : système racinaire dense, profond et/ou étendu ;
- **Facilité technique d'intégration aux aménagements** : modalités de culture connues et faciles, faibles contraintes d'entretien ;
- Autres atouts : intérêt ornemental, patrimonial ou autre, conservation de la biodiversité, fixation biologique de l'azote.

Les facteurs prioritaires à limiter grâce aux techniques de génie végétale sont, entre autres, les pentes verticales et le sol à nu.

1.3.1. IMPLANTATION D'ESPECES REMARQUABLES – COMPLEMENT AUX TRAVAUX DE GENIE VEGETAL

Les espèces remarquables, rares ou déterminantes ZNIEFF ont été répertoriées par Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON sur les secteurs investigués.

Figure 2 : Espèces remarquables, rares ou déterminantes ZNIEFF sur les sites d'études © Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON

Famille	Espèce	Particularité	Commune		Niveau d'enjeu
			Camopi	Papaïchton	
Acanthaceae	<i>Hygrophila costata</i>	Déterminante ZNIEFF, autochtone, peu commune	•		1
Convolvulaceae	<i>Ipomoea asarifolia</i>	Rare	•		2
Cyperaceae	<i>Eleocharis retroflexa</i>	Déterminante ZNIEFF, autochtone, peu commune	•		1
Euphorbiaceae	<i>Alchornea fluvialis</i>	Déterminante ZNIEFF, autochtone	•	•	1
Fabaceae	<i>Cynometra marginata</i>	Déterminante ZNIEFF, autochtone		•	0
Fabaceae	<i>Pentaclethra macroloba</i>	Déterminante ZNIEFF, autochtone	•		0
Fabaceae	<i>Swartzia hostmannii</i>	Déterminante ZNIEFF		•	0
Marantaceae	<i>Calathea comosa</i>	Déterminante ZNIEFF, rare		•	3
Myrtaceae	<i>Psidium acutangulum</i>	Déterminante ZNIEFF, autochtone	•	•	2

Les espèces entourées en vert sont celles ayant été fléchées comme étant utilisable en génie végétal.

En fonction de l'ambition des chantiers de génie végétal, il peut être envisageable d'inclure des espèces remarquables, rares ou déterminantes ZNIEFF sur les sites, que ces espèces soient ou non utilisables en génie végétal et qu'elles soient ou non d'ores et déjà présents sur site.

Concernant les chantiers expérimentaux, c'est-à-dire les chantiers "tests", il peut de même être envisagés d'inclure des espèces remarquables, rares ou déterminantes ZNIEFF dans les cortèges végétaux. Le choix des espèces à inclure dépendra de plusieurs facteurs comme, entre autres, l'environnement d'implantation et du type d'aménagement choisi.

1.4. CHANTIERS EXPERIMENTAUX SUR LA COMMUNE DE PAPAÏCHTON

1.4.1. ETAPE 1 : CHOIX DES SITE

1.4.1.1. AIDE AU CHOIX DU OU DES SITES

Dans le cadre de sa mission, INGETEC a réalisé une analyse visant à aider la commune de Papaïchton à choisir le site qui accueillera le chantier expérimental de protection des berges à l'aide du génie végétal parmi les sites identifiés comme étant à protéger par ce type de technique.

Cette analyse se base sur des critères jugés par INGETEC comme significatifs dans la mise en œuvre de techniques issues du génie végétal. L'objectif, en attribuant une note par site selon des critères bien définis, est de déterminer le ou les sites les plus adaptés à ce type d'expérimentation.

L'analyse a permis de faire ressortir les sites qui présentaient les critères suivants :

- Le contexte naturel permettrait d'expérimenter la ou les techniques de génie végétal identifiées dans les conditions "du pire" (berge haute et abrupte, contrainte tractrice forte) et donc de s'assurer de la répliquabilité des techniques dans des situations moins contraintes en termes de contexte naturel.
- Il n'y a peu ou pas d'enjeux menacés à proximité. Etant donné que le chantier expérimental comporte un "droit à l'erreur", cela permet d'être dans les meilleures conditions.
- L'investissement reste moins importants comparé aux autres tronçons, ce qui est notamment lié au fait que ce soient des tronçons moins long (30 à 60 ml environ).

A noter que 3 tronçons ont été écartés car considérés comme non représentatif de la situation générale de l'érosion des berges sur le secteur Papaïchton : hauteur de berges très importante (> 11m), force tractrice importante.

L'analyse a été transmise à la commune pour que celle-ci puisse prendre sa décision.

Annexe 4 – Aide au choix – site chantier expérimental PPI

1.4.1.2. CHOIX DE LA COMMUNE

Le choix de la commune s'est porté sur le secteur Boniville – tronçons 1 et 3 et le secteur Crique 1 – tronçon 1.

1.4.1.3. LOCALISATION ET CARACTERISTIQUES DES SITES CHOISIS

1.4.1.3.1. SITES BO-1 ET BO-3

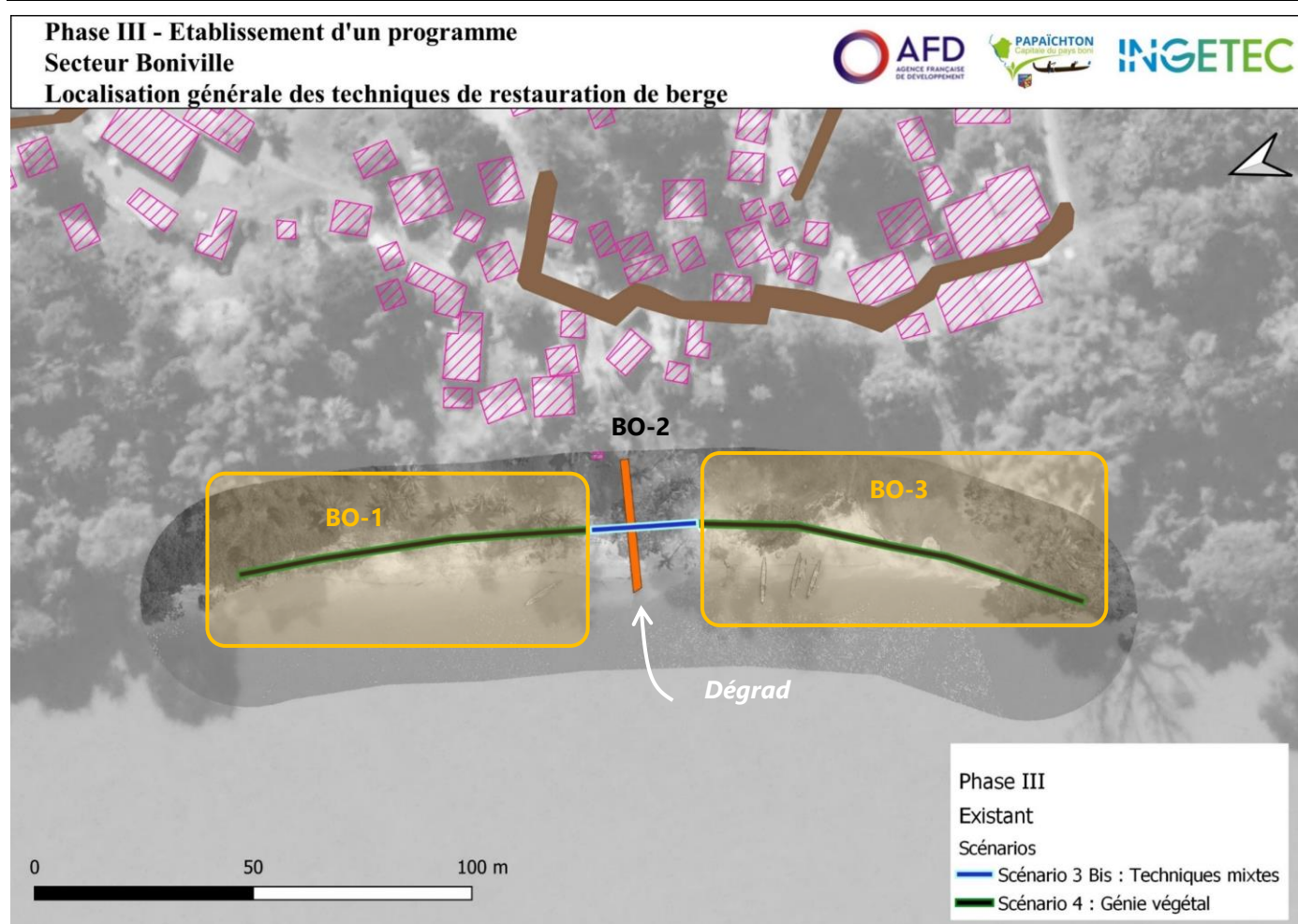
Le village de Boniville est situé à l'aval de Papaïchton bourg, en bordure du fleuve Maroni côté Guyane. Les caractéristiques des 2 sites sont les suivantes :

Tableau 1 : Caractéristiques des tronçons BO-1 et BO-3

	BO-1	BO-3
<i>Longueur du tronçon</i>	85 ml	90 ml
<i>Nombre de dégrads</i>	0	0
<i>Vitesse d'érosion</i>	2.26 m/an (1 ^{er} bâtiment touché dans 40 ans)	2.26 m/an (1 ^{er} bâtiment touché dans 37 ans)
<i>Pente de berge</i>	5 pour 1	2 pour 1
<i>Hauteur de berge</i>	6.5 m	2 m
<i>Distance au littoral</i>	290 km	
<i>Distance à Papaïchton</i>	10 km	

Les deux tronçons sont séparés par le tronçon BO-2 qui correspond à l'emplacement d'un dégrad et ses abords.

Figure 3 : Localisation des site BO-1 et BO-3 © INGETEC



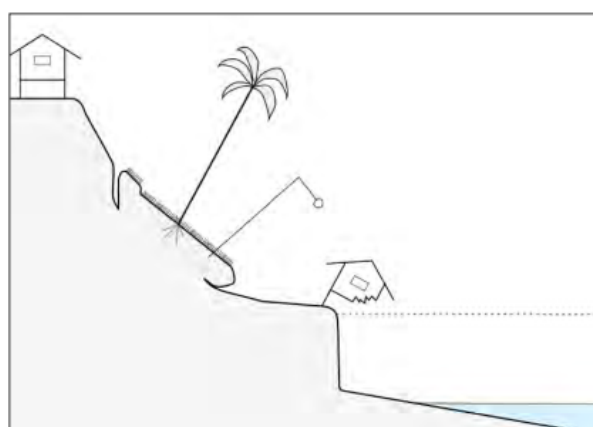
Selon les études de terrain effectuées par Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON, les caractéristiques des sites visés sont les suivantes :

« La berge de Boniville est **particulièrement haute**, avec une petite marche verticale peu végétalisée au niveau de l'eau, puis une grande pente végétalisée par une couverture herbacée et quelques arbres et palmiers. Malgré sa pente douce, la berge est sensible aux chutes d'arbres, car un phénomène de **glissement de terrain** entraîne le sol, les arbres, et les aménagements. [...] Une couche de 20 à 30 cm de terre arable recouvre un substrat argileux pauvre en nutriments, **où les racines ne s'implantent pas**. Lors de pluie, la première couche s'imbibe d'eau, et comme aucune racine ne la traverse pour aller l'ancrer dans la couche argileuse, elle glisse sous l'effet de son poids. »

L'érosion prend parfois la forme de terrasses (cf. Figure 5). Des traces de ruissellement sont aussi visibles. La végétation rivulaire est réduite à une strate basse maintenue rase par le débroussaillage répété de la terrasse basse.

Figure 4 : Photos du site BO-1 © Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON**Figure 5 : Photos du site BO-3 © Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON**

Selon le classement de typologie des berges effectués lors de cette même étude, les sites seraient aujourd'hui dans la configuration suivante :

Figure 6 : Schéma d'une terrasse haute anthropisée avec forte érosion © Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON

Glissement de terrain avec sol argileux

La berge pentue présente ici un sol particulier. Une couche de 20 à 30 cm de terre arable recouvre un substrat argileux pauvre en nutriments, où les racines ne s'implantent pas. Lors de pluies, la première couche s'imbibe d'eau, et comme aucune racine ne la traverse pour aller l'ancrer dans la couche argileuse, elle glisse sous l'effet de son poids. Cette conformation rend obligatoire des pivots profonds (arbres ou piquets). La berge ayant de plus été défrichée un phénomène d'érosion classique est observable au niveau de l'eau, et les constructions du niveau bas finissent par s'effondrer au fur et à mesure que le sol est sapé sous leur fondations.

25 espèces ont été répertoriées sur le secteur visé dont 15 utilisables en génie végétal, incluant 7 espèces particulièrement intéressantes :

Tableau 2 : 7 espèces particulièrement intéressantes en génie végétal et présentes sur le site BO-1

Famille	Taxon	Type biologique
Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i>	arbre
Arecaceae	<i>Cocos nucifera</i>	palmier
Arecaceae	<i>Euterpe oleracea</i>	palmier
Cyperaceae	<i>Rhynchospora cephalotes</i>	herbacée

Famille	Taxon	Type biologique
Fabaceae	<i>Zygia cataractae</i>	arbuste
Poaceae	<i>Axonopus purpusii</i>	herbacée
Vitaceae	<i>Cissus erosa</i>	liane

1.4.1.3.2. SITE CR-1

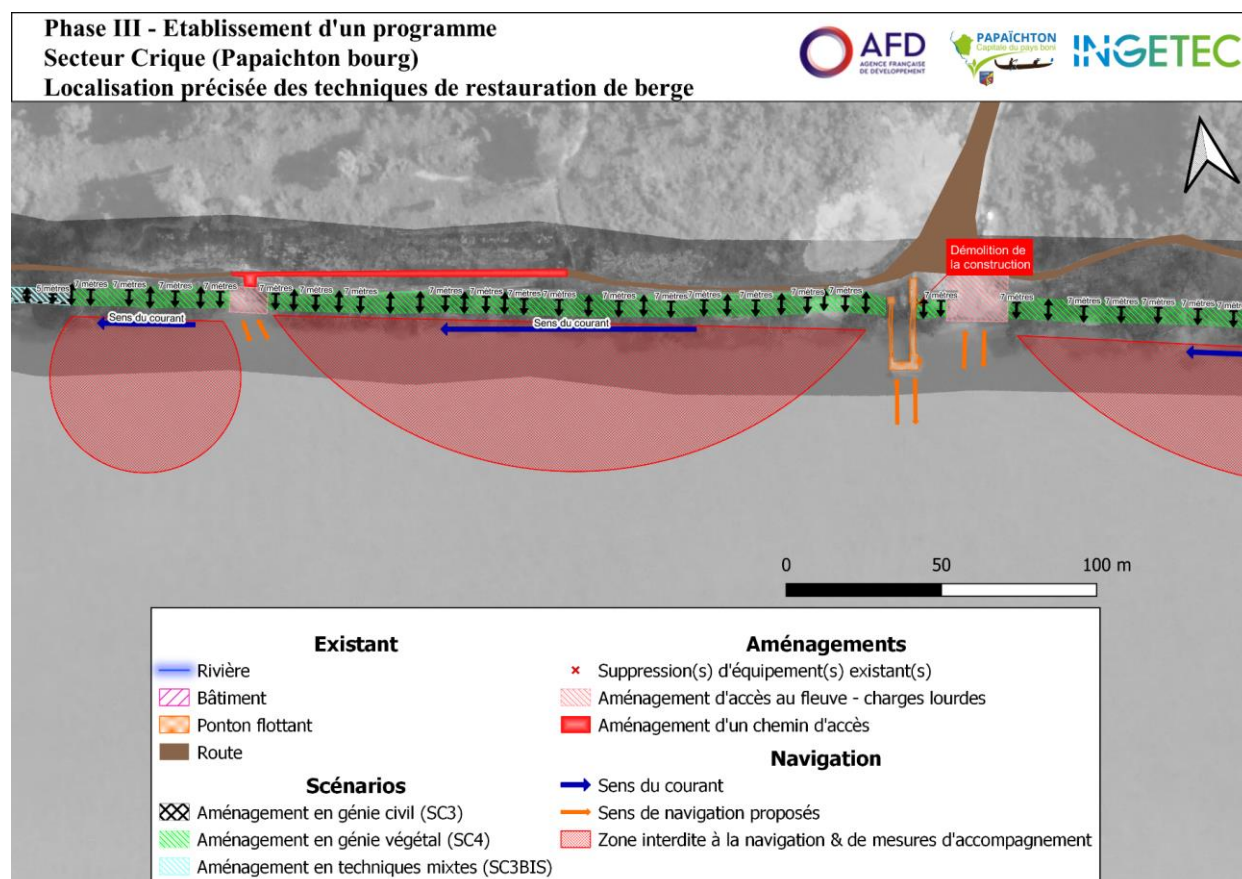
Le secteur Crique est situé au droit de Papaïchton, en bordure du fleuve Maroni côté Guyane. Ses caractéristiques sont les suivantes :

Tableau 3 : Caractéristiques du tronçon CR-1

	CR-1
Longueur du tronçon	480 ml
Nombre de dégrads	1
Vitesse d'érosion	0.85 m/an (1 ^{er} bâtiment touché dans 135 ans)
Pente de berge	3 pour 1
Hauteur de berge	3 m
Distance au littoral	300 km
Distance à Papaïchton	0 km

Ce site comporte 2 zones d'accès au fleuve. Les techniques de génie végétal mis en place lors du chantier expérimental devront prendre en compte les contraintes d'usages que ces zones impliquent (visibilité, circulation, etc.).

Figure 7 : Localisation du site CR-1 © INGETEC



Selon les études de terrain effectuées par Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON, les caractéristiques des sites visés sont les suivantes :

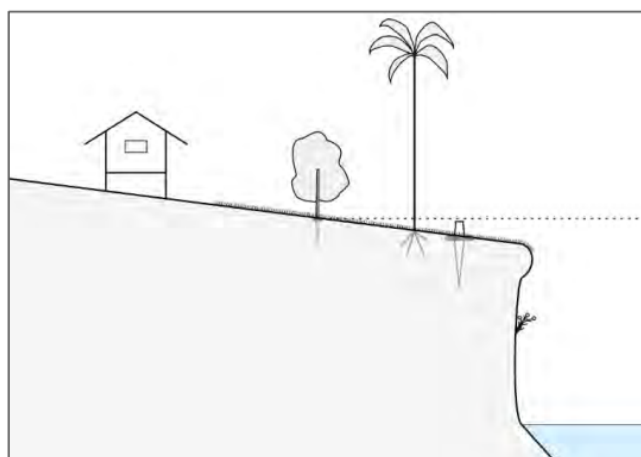
« L'extrémité est de la zone étudiée est une **berge haute verticale**, avec un **peuplement arboré en haut de berge**, longé par un chemin qui rejoint le village amérindien. Les arbres maintiennent le haut de berge, mais le pan vertical étant trop haut pour que les racines stabilisent toute la profondeur, l'eau creuse sous les racines, et la berge s'effondre par blocs en entraînant les arbres dans sa chute. »

La végétation rivulaire se limite à un rideau épars en haut de berge et le système racinaire des sujets présents est apparent, signe d'une érosion prononcée.

Figure 8 : Photos du site visé pour le chantier expérimental sur le fleuve Maroni © Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON



Figure 9 : Schéma d'une terrasse haute anthropisée avec forte érosion © Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON



Terrasse haute anthropisée avec forte érosion

La berge haute a été défrichée, ce qui l'a rendue sensible à l'érosion et à la verticalisation du sol, qui commence le cercle vicieux de l'accélération érosive. La zone d'accostage de Zidock est représentative de ce type de berge.

25 espèces ont été répertoriées sur le secteur visé dont 15 utilisables en génie végétal, incluant 7 espèces particulièrement intéressantes :

Tableau 4 : 15 espèces particulièrement intéressantes en génie végétal et présentes sur le site CR-1

Famille	Taxon	Type biologique
Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i>	Arbre
Apocynaceae	<i>Tabernaemontana siphilitica</i>	Arbuste
Apocynaceae	Espèce indéterminée	Liane
Arecaceae	<i>Cocos nucifera</i>	Palmier
Arecaceae	<i>Euterpe oleracea</i>	Palmier
Cyperaceae	<i>Rhynchospora cephalotes</i>	Herbacée
Fabaceae	<i>Eperua rubiginosa</i>	Arbre
Fabaceae	<i>Inga spp</i>	Arbre ou arbuste
Fabaceae	<i>Macrolobium acaciifolium</i>	Arbre
Fabaceae	<i>Senna reticulata</i>	Arbuste
Fabaceae	<i>Zygia cataractae</i>	Arbuste
Poaceae	<i>Axonopus purpusii</i>	Herbacée
Poaceae	<i>Chrysopogon zizanioides</i>	Herbacée
Polygonaceae	<i>Triplaris weigeltiana</i>	Arbre
Vitaceae	<i>Cissus erosa</i>	Liane

1.4.2.ÉTAPE 2 : LISTE DES TECHNIQUES DE GENIE VEGETAL APPLICABLE EN MILIEU TROPICAL

Il existe une multitude de techniques de génie végétal. Le choix de la technique dépend :

- De la localisation du site fléché pour le chantier expérimental ;
- Des caractéristiques de berges (hauteur, pente, nature du sol) ;
- De la contrainte tractrice du cours d'eau ;
- Des usages ;
- Etc.

A noter qu'à la vue des forces tractrices calculées, celles-ci ne sont pas dimensionnantes pour le choix de la technique de génie végétal.

En fonction du site choisi pour être le site accueillant le chantier végétal, il est possible d'expérimenter différentes techniques en divisant le site en plusieurs tronçons. Le fait d'expérimenter plusieurs techniques permet d'identifier les points forts et points faibles de ces techniques dans le contexte local, s'assurant ainsi une réussite plus probable lors des phases de réplification des techniques de chantier végétal sur les autres sites à protéger par ce type de technique.

En s'appuyant sur le travail bibliographique réalisé par Eleonore Mira sur les techniques de génie végétal applicable en milieu tropical, le tableau ci-dessous résume les techniques de génie végétal les plus répandues et donc souvent les plus simples à mettre en place. Pour chacune des techniques, il est précisé la méthode de réalisation, le type d'espèces à privilégier, les conditions favorables à la mise en place de cette technique (nature du sol, pente et hauteur des berges). Cette liste exclue les techniques incluant des espèces exotiques invasives comme le vétiver ou le bambou, ainsi que les techniques mixte (enrochements végétalisés).

1.4.2.1. RENATURATION D'UNE RIPISYLVE FONCTIONNELLE : PLANTATION D'ARBRES ET ARBUSTES

Principe :

Technique de génie végétal la plus basique. Les racines ont pour rôle de relier les couches instables du sous-sol aux couches stables. Cette technique est utilisée pour stabiliser les sols de surface.

Méthodologie :

Plantation d'essences autochtones et typiques des bords de cours d'eau effectuée par ensemencement conventionnel ou par plantation vivante (bouture/plant), après reprofilage ou non en fonction de l'état actuel de la berge.

Concernant la répartition des plantations et des espèces sur la berge à stabiliser :

- Il est important de répartir équitablement dans l'espace les différentes espèces pour ne pas créer des zones d'instabilité.
- Il est particulièrement intéressant d'utiliser des arbres et arbustes en bas de pente, au bois plutôt léger.
- Pour le haut de la pente, la littérature disponible suggère d'envisager une végétalisation avec des graminées, des plantes à fleurs ou des arbustes légers avec une taille adéquate, de sorte que les racines puissent contribuer à la résistance, sans que la plante ne représente un poids important pour la pente.



Recommandation sur les espèces à utiliser :

- Privilégier des espèces avec un système racinaire profond (radial ou pivotante) et pouvant pousser sur des terrains en pente, même faible.
- Il est bien de prévoir un cortège avec des strates de différentes hauteurs, et d'essences diverses pour une meilleure stabilisation, notamment sur les premières années.
- Privilégier des espèces locales car d'ores et déjà adaptées au contexte local.

Préconisation par rapport à l'environnement d'implantation :

- **Nature du sol :** Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique
- **Pente des berges :** Pente douce, peu marquée
- **Hauteur des berges :** S'applique sur toute la hauteur de la berge, sans limite

1.4.2.2. PLANTATION DE BOUTURES

Principe :

Identique à la technique "plantation d'arbres et arbustes" mais spécifique à la plantation de boutures.

Méthodologie :

Les boutures sont généralement obtenues d'individus âgés de 2 à 5 ans et sont plantés à l'aide d'une coupe en biais. Elles peuvent être plantées perpendiculairement ou avec un angle par rapport à la pente. Les 2/3 de la bouture doit être enfoncés dans le sol. La densité recommandée est de 3 à 5 piquets/m². C'est une procédure simple, rapide et peu coûteuse. Elle est facilement combinable à d'autres techniques pour servir d'ancrage à des éléments de structure (palissade vivantes, fascines, etc.). L'effet "anti-érosion" n'est pas immédiat. Il peut être nécessaire de semer ou mettre en place un géotextile biodégradable le temps que la végétation (et notamment les racines) se développent.

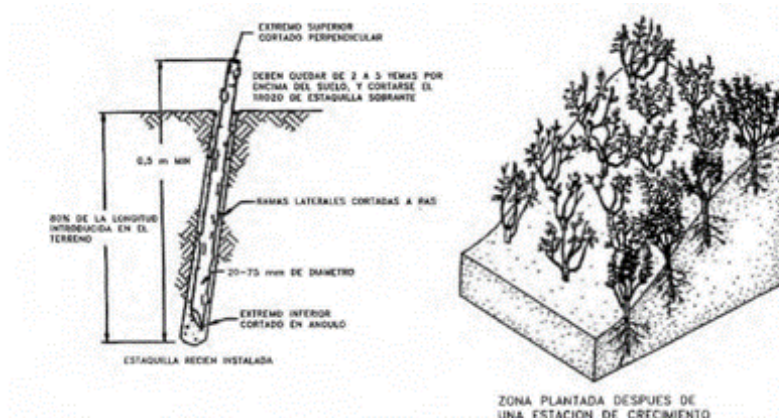


Figura 4.2. Detalle del uso de la técnica de estaquillado
Fuente: López y Matab, 1999

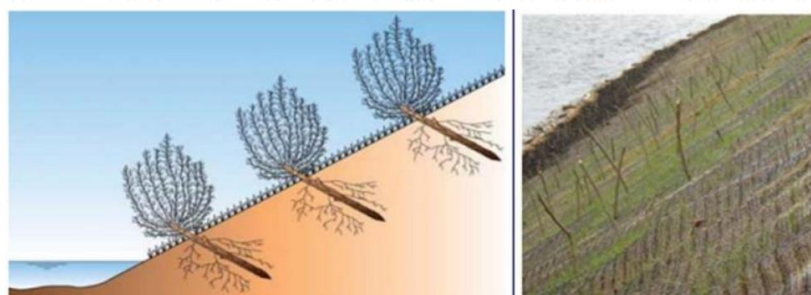


Figura 22. Esquema de estaquillado (izquierda) y estaquillado en el río Nalón a su paso por Asturias (derecha). Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011).

Recommandation sur les espèces à utiliser :

Toutes les espèces ne peuvent se reproduire par bouturage. Si le talus est dénudé, utiliser des espèces ayant un enracinement rapide.

Choisir des espèces pour laquelle la taille adulte pas trop grande (environ 10 à 20m) pour que la berge ne soit pas déstabilisée par le poids des végétaux. Privilégier des espèces locales car d'ores et déjà adaptées au contexte local.

Préconisation par rapport à l'environnement d'implantation :

- **Nature des sols :** Technique à utiliser dans des situations de petits glissements de terrain, ou dans le cas d'une nécessité de drainage de sols humides.
- **Pentes des berges :** Peu convenir à des pentes fortes (1 pour 1).
- **Hauteur des berges :** Pas de limite

1.4.2.3. LITS DE PLANTS ET PLANÇONS

Principe :

Reconstitution d'un talus en pente raide par remblai de plusieurs hauteurs de moellons terreux entre lesquels sont juxtaposés des plants et boutures qui viendront consolider les édifices par leur système racinaire

Méthodologie :

Creuser des petites tranchées du pied de berge vers le haut de berge, en suivant les courbes de niveau. Les tranchées doivent être légèrement inclinées (de 10 à 45° par rapport à la pente).

Les branches sont placées dans ces tranchées, les tiges vers l'extérieur jusque 3/4 de leur longueur.

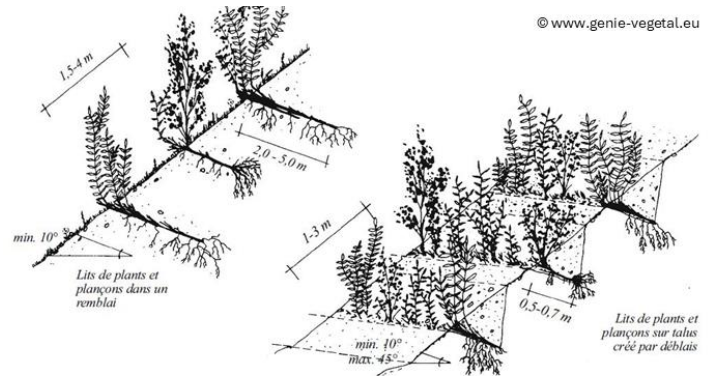
Dans les sols compacts on utilise des branches plutôt courtes (env. 60 cm) alors que dans les sols meubles et remblayés, des branches plutôt longues (2-4 m) sont privilégiées.

Les tranchées sont ensuite remplies de terre de la tranchée supérieure et compactées.

Lorsque les boutures germent, la capacité de renforcement est accrue par l'action des racines et le feuillage favorise le contrôle de l'érosion.

Il est conseillé d'avoir entre 1 à 3 mètres entre chaque lit. Cet écart dépend de la pente des berges.

Cette technique doit être combinée avec l'implantation d'un géotextile ensemencé entre les lits. La végétation herbacée et le géotextile tiendront la berge le temps que les plants et plançons soient bien installés



Recommandation sur les espèces à utiliser :

- Les espèces choisies doivent pouvoir marcotter et émettre des racines.
- Privilégier des espèces locales car d'ores et déjà adaptées au contexte local.

Préconisation par rapport à l'environnement d'implantation :

- Nature du sol : Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique.
- Pentes des berges : Peu convenir à des pentes fortes (1 pour 1).
- Hauteur des berges : Pas de limite.

1.4.2.4. TERRASSES ET PALISSADES VIVANTES

Principe :

Reprofilage de la berge en terrasses plus ou moins hautes, plus ou moins profondes et stabilisation des pans verticaux par des palissades constituées de boutures, favorisant la végétalisation des terrasses ainsi créées.

Mise en œuvre :

La mise en place de l'ouvrage se fait du pied de berge au haut de berge.

Des pieux en bois dur (vivants ou non) sont placés tous les mètres, sur toute la largeur de la pente à traiter en suivant les courbes de niveau. Ces pieux sont enfoncés de moitié. Le matériau autour de chaque pieux est compacté.

Des branches vivantes sont fixées horizontalement aux piquets avec du fil de fer ou de la corde.

Les paliers sont espacés de 2 à 3 mètres environ et de hauteur compris entre 50cm et 1 mètre.

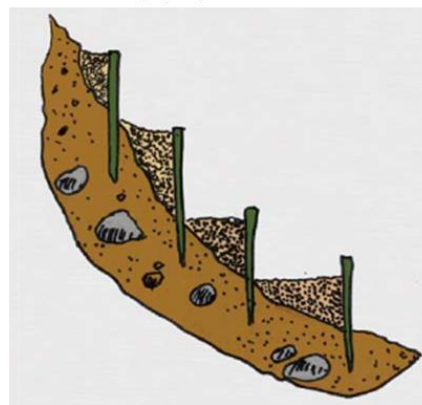
La zone en amont de la palissade est remplie de matériau terreux. Il est important de bien compacter ce matériau afin de pas avoir trop d'infiltration d'eau pluviale et donc un effondrement de l'ouvrage.

Suite à cela, deux possibilités :

- Attendre que de la végétation spontanée colonise les terrasses. La stabilisation des berges permet d'initier l'établissement de plantes autosuffisantes.
- Semer et/ou planter des herbes locales.

Il est possible de mettre en œuvre des terrasses sans mises en place de palissades vivantes. Selon la bibliographie disponible, de meilleurs résultats sont obtenus avec des profondeurs de 20 à 60 cm de profondeur. Cependant, dans la plupart des cas, les terrasses sont accompagnées par des palissades vivantes pour avoir des hauteurs et profondeurs plus importantes.

Downs, M. and Zilbert, L., 2013. Manual de bioingeniería: Reduciendo riesgos y adaptándonos al cambio climático.



Corregimiento de Los Andes. Cali. Fuente: Rivera, (2006).



Recommandation sur les espèces à utiliser :

- Privilégier des espèces avec un système racinaire profond (radial ou pivotante).
- Choisir des espèces pour laquelle la taille adulte pas trop grande (environ 10 à 20m) pour que la berge ne soit pas déstabilisée par le poids des végétaux.
- Privilégier des espèces locales car d'ores et déjà adaptées au contexte local.

Préconisation par rapport à l'environnement d'implantation :

- **Nature du sol :** Il existe des exemples de projet sur des sols limono-argileuse. A noter que selon la bibliographie disponible, les mini-terrasses (sans soutient de palissades vivantes) sont peu stables sur des sols sablonneux. Cette technique est particulièrement efficace lorsque le ruissellement est la cause de l'érosion.
- **Pente des berges :** Technique utilisable sur des pentes allant de 5 pour 1 à 1 pour 1.
- **Hauteur des berges :** Pas de limite.

1.4.2.5. FASCINES

Principe :

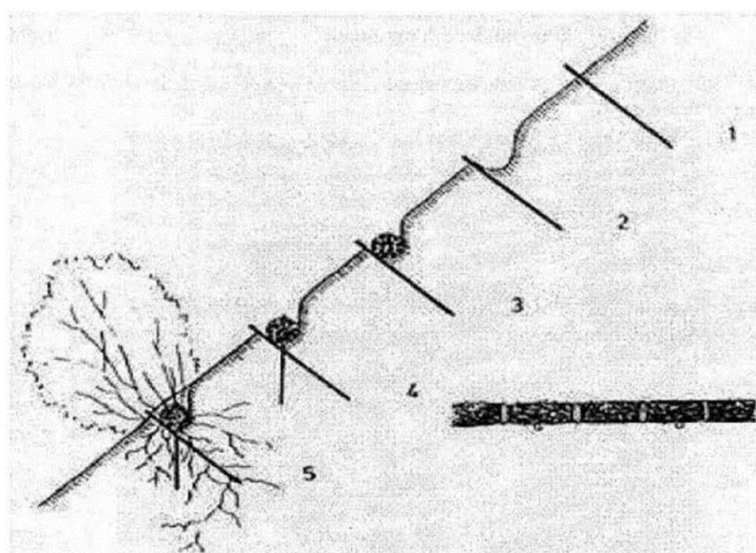
Fagots de branches placés perpendiculairement à la pente. Ils permettent de retenir les sédiments et ralentir les ruissellements et dans de nombreux cas, de protéger le pied de berge.

Méthodologie :

Des branches vivantes sont attachées en fagots. Celles-ci sont placées en fond de tranchées, d'une profondeur de 20 cm environ. Ces tranchées sont creusées perpendiculairement à la pente et en suivant le contour de la pente et partiellement recouvert de terre. Les fagots sont d'un diamètre de 0,2 à 0,4m et d'une longueur comprise entre 2 à 9m. Des pieux de 0,5 à 1,0m permettent de maintenir les fagots dans la pente. Ces pieux peuvent être vivants ou non. Les fagots en bas de talus peuvent être fixé par des enrochements pour éviter qu'ils soient emportés par le cours d'eau. Un semi est semé pour végétaliser le tout.

Il est possible d'utiliser cette méthode en plaçant les fascines parallèlement à la pente.

Ces fascines peuvent être utilisées pour stabiliser le pieux de berges entre deux rangées de pieux battus verticalement.



Fascines horizontales

Figura 27. Fajinas en terreno. Fuente: Sevantes Natur Eskola (2018)



Fascines verticales

Figura 5. Entretejidos de taludes.
Fuente: Manual de Bioingeniería (2013)

Recommandation sur les espèces à utiliser :

- Les espèces choisies doivent pouvoir marcotter et émettre des racines.
- Privilégier des espèces locales car d'ores et déjà adaptées au contexte local.

Préconisation par rapport à l'environnement d'implantation :

- Nature des sols : cette technique est généralement utilisée pour traiter les petits glissements de terrain et protéger le pied de berge.
- Pente et hauteur des berges : cf. tableau. Pour une pente de 1 pour 1 : hauteur maximale = 3,5m

Pendiente (°)	Distancia entre fajinas (m)	Longitud máxima de la pendiente (m)
45-33	0,8-1,25	5
33-25	1,25-1,5	6
25-20	1,5-2	9
20-18	2-2,5	12
18-14	2,5-2,75	15
14-11	2,75-3	18

Fuente: López y Mataix, 1999

1.4.2.6. GRILLE DE TALUS/ DE PENTE

Principe :

Structure en bois réalisée avec des poteaux verticaux et des poutres horizontales perpendiculaires formant une grille avec des mailles rectangulaires. La structure est remplie de matériau terreux. Des branches sont vivantes sont introduites dans la structure.

Méthodologie :

Des poutres sont placées dans le sens de la pente, espacées de 1 à 1,5 m. Les poutres peuvent être fixées au terrain existant avec des barres de fer (longueur 1-1,5 m).

Des poutres sont ensuite fixées horizontalement sur les poutres verticales.

La structure est ensuite remplie de matériau terreux et y inclure des pieux vivants et/ou de semi.

L'espacement des poutres horizontales dépend de la pente du talus et des caractéristiques géomécaniques du matériau terrestre de remplissage. Des cales peuvent être utilisées pour soutenir les poutres avant de les clouer.

A noter que ce n'est pas une structure de retenue, donc elle n'est pas utilisée pour les talus exerçant une force de poussée ou un glissement de terrain.

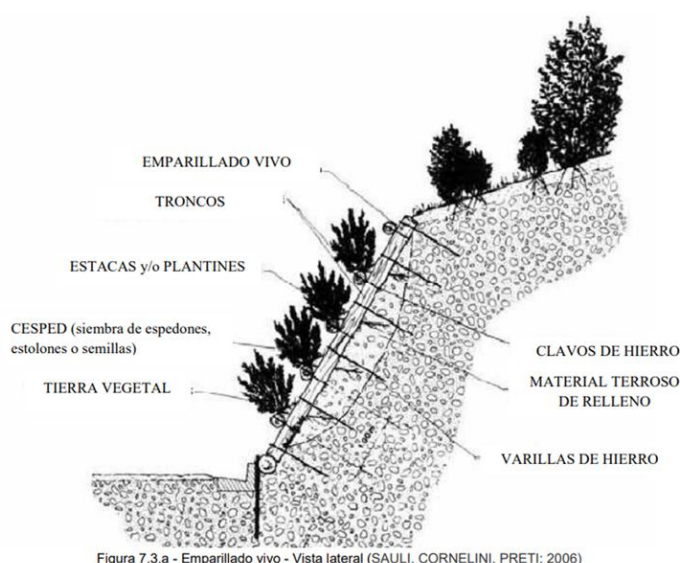


Figura 7.3.a - Emparillado vivo - Vista lateral (SAULI, CORNELINI, PRETI; 2006)



Fotos 7.3.a – Emparillado vivo: ante de la obra, durante y pasado un año (C. Crocetti)

Recommandation sur les espèces à utiliser :

- Les espèces choisies doivent pouvoir marcotter et émettre des racines.
- Privilégier des espèces locales car d'ores et déjà adaptées au contexte local.

Préconisation par rapport à l'environnement d'implantation :

- **Nature du sol :** Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique
- **Pente des berges :** Cette technique est utilisée pour stabiliser les talus présentant une érosion avec une pente entre 45° (1 pour 1) à 55°, donc pour des pentes fortes à très fortes.
- **Hauteur des berges :** Pas de limite.

1.4.2.7. LIT DE BRANCHES

Principe :

Cette technique s'utilise pour protéger des talus de berges en déblai. Les branches sont positionnées longitudinalement et recouvertes par du substrat pour que le marcottage puisse émettre des racines sur toute la longueur de la branche.

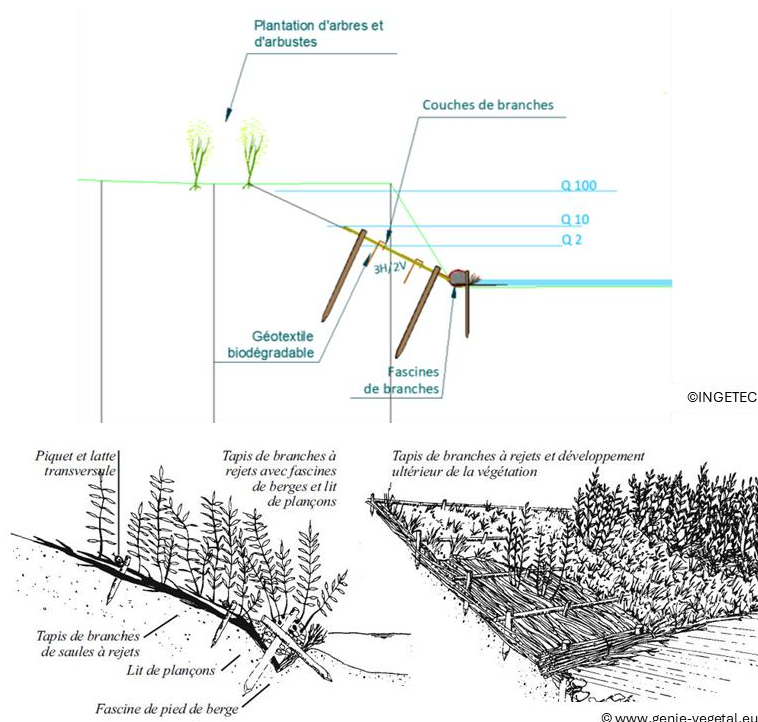
Méthodologie :

Réaliser le façonnage de la berge en déblai jusqu'à obtenir le profil fini, positionner les branches les unes collées aux autres avec le gros diamètre vers le bas. Battre des pieux verticalement et enfin ligaturer pour plaquer les branches au sol. Il est recommandé de rebattre légèrement les pieux pour optimiser le plaquage des branches au sol.

Une fois les travaux terminés, recouvrir le tout d'une fine couche de terre qui laisse apparaître les branches. Par la suite les branches et les rameaux prendront racine dans le sol.

Il est possible de semer et/ou planter des herbacées sur cette structure pour un meilleur maintien de la structure.

Pour que le tapis de branches à rejets ne soit pas emporté par le courant, le maintenir à l'aide de pierres ou avec une fascine (protection de pied).



Recommandation sur les espèces à utiliser :

Les espèces choisies pour constituer le lit de branches doivent pouvoir marcotter et émettre des racines.

Concernant les espèces plantées/semées sur la structure, choisir des espèces pour laquelle la taille adulte pas trop grande pour que la berge ne soit pas déstabilisée par le poids des végétaux.

Privilégier des espèces locales car d'ores et déjà adaptées au contexte local.

Préconisation par rapport à l'environnement d'implantation :

- **Nature du sol :** Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique
- **Pente des berges :** Pente maximum de 2 pour 1.
- **Hauteur des berges :** Max hauteur de berges de 1 à 5 mètres.

1.4.3.ÉTAPE 3 : SYNTHÈSE DES TECHNIQUES DE GENIE VEGETALES A EXPERIMENTER SUR LES SITES CHOISIES PAR LA COMMUNE

1.4.3.1.SITE BO-1

1.4.3.1.1. RAPPEL DES CARACTERISTIQUES DES BERGES AU DROIT DU SITE BO-1

Les berges érodées au droit du tronçon sont **hautes (hauteur maximale de 6.5m)** et ont une **pente douce de 5 pour 1**. Ce phénomène est accentué par la faible végétalisation des berges, la végétation permettant de lier les différentes couches de sol par leur système racinaire. Il est probable qu'un glissement de terrains lié à la **nature argileuse des sols** et à l'infiltration de l'eau provenant de la terrasse haute accentue le phénomène. Selon les conclusions de l'étude géotechnique préconisée (G5 et G2 AVP) la faisabilité de ce chantier expérimental pourrait être remise en question.

1.4.3.1.2. COMPATIBILITE DES TECHNIQUES DE GENIE VEGETAL SUR LE SITE BO-1

Tableau 5 : Comparaison des techniques de génie végétal pour une mise en œuvre sur le site BO-1 © INGETEC

Technique	Préconisations / environnement d'implantation			Conclusion
	Nature du sol	Pente des berges max	Hauteur des berges max	
Critères recherchés >	<i>Argilo-sableux, avec des glissements de terrain important et du ruissellement</i>	<i>Pente douce (5 pour 1)</i>	<i>Pente avec une hauteur max de 6,5m</i>	
Renaturation d'une ripisylve fonctionnelle : plantation d'arbres et arbustes	Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique	Pente douce, peu marquée	Pas de limite.	✓
Plantation de boutures	Traitement de petits glissements de terrain, ou dans le cas d'une nécessité de drainage de sols humides.	Pour des pentes allant jusqu'à 1 pour 1 (pente forte).	Pas de limite.	✗
Lit de plants et plançons	Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique.	Pour des pentes allant jusqu'à 1 pour 1 (pente forte).	Pas de limite.	✓
Terrasses et palissades vivantes	Il existe des exemples de projet sur des sols limono-argileux. Cette technique est particulièrement efficace lorsque le ruissellement est la cause de l'érosion.	Pour des pentes allant de 5 pour 1 à 1 pour 1.	Pas de limite.	✓
Fascines	Traitement des petits glissements de terrain Protection des pieds de berge.	Pour une pente de 5 pour 1 : hauteur maximale = 3,5m		✗
Grille de talus/de pente	Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique	Pour des pentes entre 45° (1 pour 1) à 55°, donc pour des pentes fortes à très fortes.	Pas de limite.	✗
Lit de branches	Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique	Pour des pentes allant jusqu'à 2 pour 1.	Max hauteur de berges : 5 mètres.	✓

Au vu du tableau ci-dessous, plusieurs techniques peuvent être expérimentées lors du chantier expérimental sur le site BO-1.

Les techniques ayant le plus de chance de réussite sont :

- **La renaturation d'une ripisylve fonctionnelle : plantation d'arbres et arbustes (cf. chapitre 1.4.2.1) ;**
- **Le lit de plants et plançons (cf. chapitre 1.4.2.3).**

Sur les zones des berges présentant une hauteur moins importante (inférieure à 5 mètres), la technique de génie végétal « lit de branches » (cf. chapitre 1.4.2.7) peut aussi être expérimentée dans le cadre de ce chantier expérimental.

La technique de génie végétal « terrasses et palissades vivantes » (cf. chapitre 1.4.2.4) peut aussi être testée lors du chantier expérimental : la hauteur et la pente des berges sur ce site sont compatibles avec cette technique.

1.4.3.1.3. PROPOSITION DE CORTEGES VEGETAUX POUR LES TECHNIQUES PRECONISEES

Les propositions des espèces par cortège s'appuient sur les travaux de Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON, que ce soit l'inventaire par secteur ou la liste espèces végétales proposées comme candidates à l'utilisation en génie végétal.

Les propositions recoupent les deux listes afin de proposer pour chacune des techniques préconisées les espèces locales les mieux adaptées à chacune des techniques en fonction de leurs caractéristiques comprises les travaux de Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON.

1.4.3.1.3.1. RENATURATION D'UNE RIPISYLVE FONCTIONNELLE : PLANTATION D'ARBRES ET ARBUSTES

Les caractéristiques des espèces à utiliser sont identiques dans le cas des deux techniques. Pour rappel :

- Privilégier des espèces avec un système racinaire profond (radial ou pivotante) et pouvant pousser sur des terrains en pente, même faible.
- Il est bien de prévoir un cortège avec des strates de différentes hauteurs, et d'essences diverses pour une meilleure stabilisation, notamment sur les premières années.
- Privilégier des espèces locales car d'ores et déjà adaptées au contexte local.

Les espèces présentes sur site correspondant à ces critères sont les suivantes :



Spondias mombin



Cocos nucifera



Euterpe oleracea



Zygia cataractae

1.4.3.1.3.2. LIT DE PLANTS ET PLANÇONS

Les caractéristiques des espèces à utiliser sont identiques dans le cas des deux techniques. Pour rappel :

- Les espèces choisies doivent pouvoir marcotter et émettre des racines.
- Privilégier des espèces locales car d'ores et déjà adaptées au contexte local.

Selon les informations relevées dans les travaux de Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON, aucune espèce ne possède les caractéristiques recherchées sur le site de Bonville.

1.4.3.2. SITE BO-3

1.4.3.2.1. RAPPEL DES CARACTERISTIQUES DES BERGES AU DROIT DU SITE BO-3

Les berges au droit du tronçon sont **de faible hauteur (hauteur maximale de 2 m)** et ont une **pente moyennement douce de 2 pour 1**. Le phénomène de glissement de terrain pourrait également impacter ce site et remettre en question la faisabilité de ce chantier expérimental.

1.4.3.2.2. COMPATIBILITE DES TECHNIQUES DE GENIE VEGETAL SUR LE SITE BO-3

Tableau 6 : Comparaison des techniques de génie végétal pour une mise en œuvre sur le site BO-3 © INGETEC

Technique	Préconisations / environnement d'implantation			Conclusion
	Nature du sol	Pente des berges max	Hauteur des berges max	
Critères recherchés >	<i>Argilo-sableux, avec des glissements de terrain important et du ruissellement</i>	<i>Pente moyennement douce (2 pour 1)</i>	<i>Pente avec une hauteur max de 2.0m</i>	
Renaturation d'une ripisylve fonctionnelle : plantation d'arbres et arbustes	Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique	Pente douce, peu marquée	Pas de limite.	✓
Plantation de boutures	Traitement de petits glissements de terrain, ou dans le cas d'une nécessité de drainage de sols humides.	Pour des pentes allant jusqu'à 1 pour 1 (pente forte).	Pas de limite.	✗
Lit de plants et plançons	Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique.	Pour des pentes allant jusqu'à 1 pour 1 (pente forte).	Pas de limite.	✓
Terrasses et palissades vivantes	Il existe des exemples de projet sur des sols limono-argileux. Cette technique est particulièrement efficace lorsque le ruissellement est la cause de l'érosion.	Pour des pentes allant de 5 pour 1 à 1 pour 1.	Pas de limite.	✓
Fascines	Traitement des petits glissements de terrain Protection des pieds de berge.	Pour une pente de 2 pour 1 : hauteur maximale = 5.4m		✗
Grille de talus/de pente	Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique	Pour des pentes entre 45° (1 pour 1) à 55°, donc pour des pentes fortes à très fortes.	Pas de limite.	✗

Technique	Préconisations / environnement d'implantation			Conclusion
	Nature du sol	Pente des berges max	Hauteur des berges max	
Critères recherchés >	<i>Argilo-sableux, avec des glissements de terrain important et du ruissellement</i>	<i>Pente moyennement douce (2 pour 1)</i>	<i>Pente avec une hauteur max de 2.0m</i>	
Lit de branches	Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique	Pour des pentes allant jusqu'à 2 pour 1.	Max hauteur de berges : 5 mètres.	✓

Au vu du tableau ci-dessous, plusieurs techniques peuvent être expérimentées lors du chantier expérimental sur le site BO-3.

Les techniques ayant le plus de chance de réussite sont :

- **Le lit de plants et plançons (cf. chapitre 1.4.2.3) ;**
- **Le lit de branches (cf. chapitre 1.4.2.7).**

Tout comme sur le site BO-1, la technique de génie végétal « terrasses et palissades vivantes » (cf. chapitre 1.4.2.4) peut aussi être expérimentée lors du chantier expérimental dans les mêmes conditions.

La technique « renaturation d'une ripisylve fonctionnelle : plantation d'arbres et arbustes » (cf. chapitre 1.4.2.1) peut aussi être expérimentée sur certaines parties du site, au droit des berges admettant une pente plus douce (au minimum 3 pour 1).

1.4.3.2.3. PROPOSITION DE CORTEGES VEGETAUX POUR LES TECHNIQUES PRECONISEES

Les propositions des espèces par cortège s'appuient sur les travaux de Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON, que ce soit l'inventaire par secteur ou la liste espèces végétales proposées comme candidates à l'utilisation en génie végétal.

Les propositions recoupent les deux listes afin de proposer pour chacune des techniques préconisées les espèces locales les mieux adaptées à chacune des techniques en fonction de leurs caractéristiques comprises les travaux de Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON.

1.4.3.2.3.1. LIT DE PLANTS ET PLANÇONS

Tout comme pour le site BO-1, aucune espèce ne possède les caractéristiques recherchées sur le site de Boniville.

1.4.3.2.3.2. LIT DE BRANCHES

Les caractéristiques des espèces à utiliser sont identiques dans le cas des deux techniques. Pour rappel :

- Les espèces choisies pour constituer le lit de branches doivent pouvoir marcotter et émettre des racines.
- Concernant les espèces plantées/semées sur la structure, choisir des espèces pour laquelle la taille adulte pas trop grande pour que la berge ne soit pas déstabilisée par le poids des végétaux.
- Privilégier des espèces locales car d'ores et déjà adaptées au contexte local.

Concernant les espèces constituant le lit de branches, aucune espèce présente d'ores et déjà sur le site ne correspondent aux critères recherchés.

Concernant les espèces plantées/semées pour maintenir le lit de branches, plusieurs espèces correspondent aux caractéristiques recherchées :



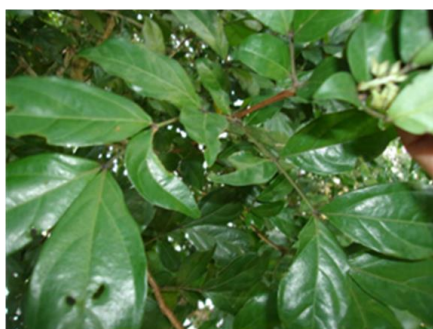
Cocos nucifera



Euterpe oleracea



Rhynchospora cephalotes



Zygia cataractae



Axonopus purpusii

1.4.3.1. SITE CR-1

1.4.3.1.1. RAPPEL DES CARACTERISTIQUES DES BERGES AU DROIT DU SITE CR-1

Les berges au droit du tronçon sont **de hauteur moyenne (hauteur maximale de 3 m)** et ont une **pente douce de 3 pour 1**. Certains tronçons admettent cependant des **berges presque verticales**. Le haut des berges est arboré.

Les berges sont soumises à un phénomène d'érosion dû à un manque de stabilité du sol par la végétation et à l'action du fleuve (l'eau s'infiltré sous les racines et creuse la berge).

Ce site s'étend sur un long linéaire : les berges ont donc un profil variable.

1.4.3.1.2. COMPATIBILITE DES TECHNIQUES DE GENIE VEGETAL SUR LE SITE CR-1

○ **Techniques de génie végétale dans le cas d'une pente douce (3 pour 1) :****Tableau 7 : Comparaison des techniques de génie végétal pour une mise en œuvre sur le site CR-1 (pente douce : 3 pour 1) © INGETEC**

Technique	Préconisations / environnement d'implantation			Conclusion
	Nature du sol	Pente des berges max	Hauteur des berges max	
Critères recherchés >	<i>Argilo-sableux/sableux</i>	<i>Pente douce (3 pour 1)</i>	<i>Pente avec une hauteur max de 3.0m</i>	
Renaturation d'une ripisylve fonctionnelle : plantation d'arbres et arbustes	Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique	Pente douce, peu marquée	Pas de limite.	✓
Plantation de boutures	Traitement de petits glissements de terrain, ou dans le cas d'une nécessité de drainage de sols humides.	Pour des pentes allant jusqu'à 1 pour 1 (pente forte).	Pas de limite.	✗
Lit de plants et plançons	Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique.	Pour des pentes allant jusqu'à 1 pour 1 (pente forte).	Pas de limite.	✓
Terrasses et palissades vivantes	Il existe des exemples de projet sur des sols limono-argileux. Cette technique est particulièrement efficace lorsque le ruissellement est la cause de l'érosion.	Pour des pentes allant de 5 pour 1 à 1 pour 1.	Pas de limite.	✗
Fascines	Traitement des petits glissements de terrain Protection des pieds de berge.	Pour une pente de 3 pour 1 : hauteur maximale = 4.75m		✗
Grille de talus/de pente	Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique	Pour des pentes entre 45° (1 pour 1) à 55°, donc pour des pentes fortes à très fortes.	Pas de limite.	✗
Lit de branches	Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique	Pour des pentes allant jusqu'à 2 pour 1.	Max hauteur de berges : 5 mètres.	✓

Au vu du tableau ci-dessous, plusieurs techniques peuvent être expérimentées lors du chantier expérimental sur le site CR-1.

Les techniques ayant le plus de chance de réussite sont :

- **La renaturation d'une ripisylve fonctionnelle : plantation d'arbres et arbustes (cf. chapitre 1.4.2.1) ;**
- **Le lit de plants et plançons (cf. chapitre 1.4.2.3) ;**
- **Le lit de branches (cf. chapitre 1.4.2.7).**

○ **Techniques de génie végétale dans le cas d'une pente verticale (> 1 pour 1) :**

Tableau 8 : Comparaison des techniques de génie végétal pour une mise en œuvre sur le site CR-1 (pente forte : >1 pour 1) © INGETEC

Technique	Préconisations / environnement d'implantation			Conclusion
	Nature du sol	Pente des berges max	Hauteur des berges max	
Critères recherchés >	<i>Argilo-sableux/sableux et soumis à une érosion forte</i>	<i>Pente forte (> 1 pour 1)</i>	<i>Pente avec une hauteur max de 3.0m</i>	
Renaturation d'une ripisylve fonctionnelle : plantation d'arbres et arbustes	Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique	Pente douce, peu marquée	Pas de limite.	✗
Plantation de boutures	Traitement de petits glissements de terrain, ou dans le cas d'une nécessité de drainage de sols humides.	Pour des pentes allant jusqu'à 1 pour 1 (pente forte).	Pas de limite.	✓
Lit de plants et plançons	Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique.	Pour des pentes allant jusqu'à 1 pour 1 (pente forte).	Pas de limite.	✓
Terrasses et palissades vivantes	Il existe des exemples de projet sur des sols limono-argileux. Cette technique est particulièrement efficace lorsque le ruissellement est la cause de l'érosion.	Pour des pentes allant de 5 pour 1 à 1 pour 1.	Pas de limite.	✗
Fascines	Traitement des petits glissements de terrain Protection des pieds de berge.	Pour une pente de 1 pour 1 : hauteur maximale = 3.5m (max pente à 1 pour 1)		✓
Grille de talus/de pente	Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique	Pour des pentes entre 45° (1 pour 1) à 55°, donc pour des pentes fortes à très fortes.	Pas de limite.	✓
Lit de branches	Sur tout type de sol avec un minimum de matière organique	Pour des pentes allant jusqu'à 2 pour 1.	Max hauteur de berges : 5 mètres.	✗

La technique ayant le plus de chance de réussite est la « grille de talus/ de pente » (cf. chapitre 1.4.2.6).

Dans le cas où la pente des berges n'excède pas 1 pour 1, il est possible d'expérimenter les techniques suivantes :

- Plantation de boutures (cf. chapitre 0) ;
- Lits de plants et plançons (cf. chapitre 1.4.2.3) ;
- Fascines, uniquement en pied de berge ou sur la totalité de la hauteur des berges (cf. chapitre 1.4.2.5).

1.4.3.1.3. PROPOSITION DE CORTÈGES VEGETAUX POUR LES TECHNIQUES PRECONISEES

Les propositions des espèces par cortège s'appuient sur les travaux de Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON, que ce soit l'inventaire par secteur ou la liste espèces végétales proposées comme candidates à l'utilisation en génie végétal.

Les propositions recoupent les deux listes afin de proposer pour chacune des techniques préconisées les espèces locales les mieux adaptées à chacune des techniques en fonction de leurs caractéristiques comprises les travaux de Pierre SILLAND et Coralie DALBAN-PILON.

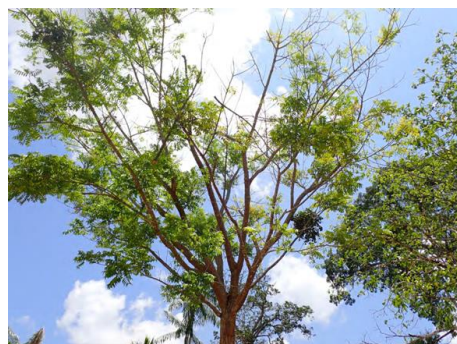
○ Techniques de génie végétale dans le cas d'une pente douce (3 pour 1) :

1.4.3.1.3.1. RENATURATION D'UNE RIPISYLVE FONCTIONNELLE : PLANTATION D'ARBRES ET ARBUSTES

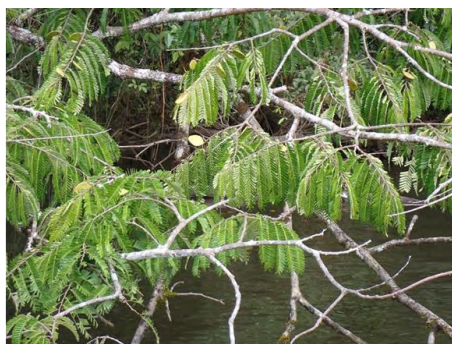
Les caractéristiques des espèces à utiliser sont identiques dans le cas des deux techniques. Pour rappel :

- Privilégier des espèces avec un système racinaire profond (radial ou pivotante) et pouvant pousser sur des terrains en pente, même faible.
- Il est bien de prévoir un cortège avec des strates de différentes hauteurs, et d'essences diverses pour une meilleure stabilisation, notamment sur les premières années.
- Privilégier des espèces locales car d'ores et déjà adaptées au contexte local.

Les espèces présentant sur site correspondant à ces critères sont les suivantes :



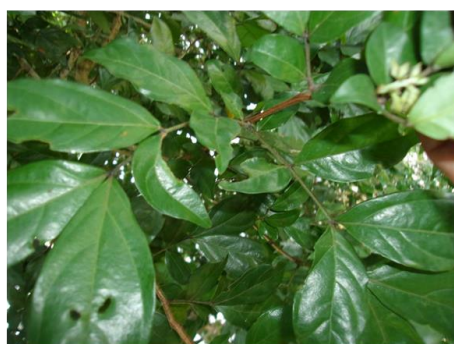
Spondias mombin



Macrolobium acaciifolium



Senna reticulata



Zygia cataractae



Triplaris weigeltiana

1.4.3.1.3.2. LIT DE PLANTS ET PLANÇONS

Les caractéristiques des espèces à utiliser sont identiques dans le cas des deux techniques. Pour rappel :

- Les espèces choisies doivent pouvoir marcotter et émettre des racines.
- Privilégier des espèces locales car d'ores et déjà adaptées au contexte local.

Les espèces présentant sur site correspondant à ces critères sont les suivantes :

*Euterpe oleracea**Triplaris weigeltiana*

1.4.3.1.3.3. LIT DE BRANCHES

Les caractéristiques des espèces à utiliser sont identiques dans le cas des deux techniques. Pour rappel :

- Les espèces choisies pour constituer le lit de branches doivent pouvoir marcotter et émettre des racines.
- Concernant les espèces plantées/semées sur la structure, choisir des espèces pour laquelle la taille adulte pas trop grande pour que la berge ne soit pas déstabilisée par le poids des végétaux.
- Privilégier des espèces locales car d'ores et déjà adaptées au contexte local.

Concernant les espèces constituant le lit de branches, les espèces ayant les caractéristiques recherchées sont les mêmes que les espèces recommandées pour la technique de génie végétal « Lit de plants et plançons » sur le site Crique (cf. chapitre 1.4.3.1.3.2 ci-dessus).

Concernant les espèces plantées/semées pour maintenir le lit de branches, plusieurs espèces correspondent aux caractéristiques recherchées :

*Cocos nucifera**Euterpe oleracea**Rhynchospora cephalotes**Senna reticulata**Zygia cataractae**Axonopus purpusii*

○ **Techniques de génie végétale dans le cas d'une pente verticale (> 1 pour 1) :**

1.4.3.1.3.4. GRILLE DE TALUS/ DE PENTE

Les caractéristiques des espèces à utiliser sont identiques dans le cas des deux techniques. Pour rappel :

- Les espèces choisies doivent pouvoir marcotter et émettre des racines.
- Privilégier des espèces locales car d'ores et déjà adaptées au contexte local.

Les espèces ayant les caractéristiques recherchées sont les mêmes que les espèces recommandées pour la technique de génie végétal « Lit de plants et plançons » sur le site Crique dans le cas d'une pente douce (cf. chapitre 2.4.3.1.3.2 ci-dessus).

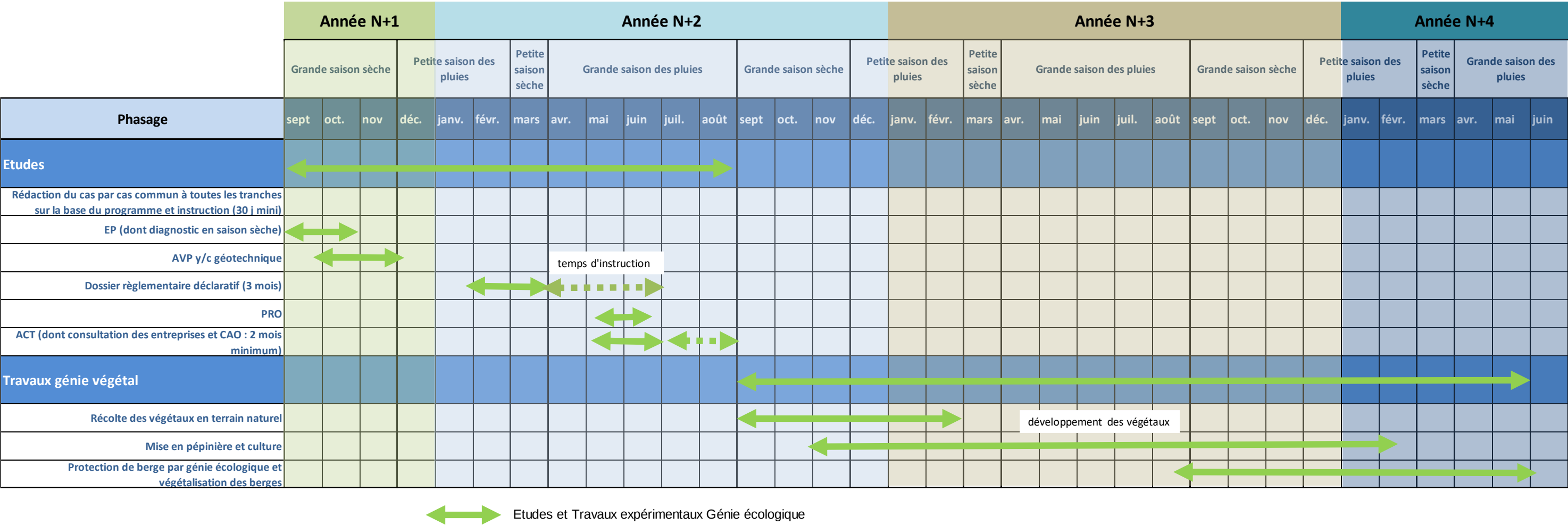
1.4.3.2. RESUME : TECHNIQUES DE GENIE VEGETAL APPLICABLE SUR CHAQUE SITE

Pour résumé, les différents sites identifiés pour le chantier expérimental en génie végétal permettront, après approfondissement de la question par la MOE désignée pour ces chantiers, d'expérimenter les techniques suivantes :

Tableau 9 : Résumé des techniques de génie végétal applicable par site © INGETEC

Techniques	Sites			
	BO-1	BO-2	CR-1 (pente douce)	CR-1 (pente forte)
Renaturation d'une ripisylve fonctionnelle : plantation d'arbres et arbustes	✓	✓	✓	✗
Plantation de boutures	✗	✗	✗	✓
Lit de plants et plançons	✓	✓	✓	✓
Terrasses et palissades vivantes	✓	✓	✗	✗
Fascines	✗	✗	✗	✓
Grille de talus/de pente	✗	✗	✗	✓
Lit de branches	✓	✓	✓	✗

1.5.PLANNING DU CHANTIER EXPERIMENTAL EN GENIE VEGETAL



A noter que les mêmes étapes devront être répétées après validation des techniques de génie végétal à mettre en œuvre suite aux résultats du chantier expérimental.

1.6. ESTIMATIONS

1.6.1. CHANTIER EXPERIMENTAL DE LA CRIQUE A PAPAÏCHTON

N° Prix	Libellé	Unité	Quantités Prévues	Prix Unitaire/ Forfait H.T.	Montant H.T.
1 - Généralités					
Comprend :	- Installation de chantier	F	1,000	20,000%	155 540,00
	- Transport des engins				
	- Transport des matériaux				
	- Repli de l'ensemble du chantier				
1 - Généralités				TOTAL	155 540,00
2 - Coût des travaux de protection de berge					
Fourniture & mise en œuvre des techniques	- Génie civil	ml		5 000,000	
	- Techniques mixtes	ml		3 000,000	
	- Génie végétal	ml	480,000	1 000,000	480 000,00
	- Matérialisation de la zone d'exclusion des pirogues	ml	400,000	200,000	80 000,00
	- Radeaux végétalisés	ml	250,000	500,000	125 000,00
	- Bâtiments à détruire	u		10 000,000	
	- Bâtiments à déplacer	u		40 000,000	
	- Pose de ponton bois	u		10 000,000	
	- Démolition ponton bois	u		1 000,000	
	- Mesures d'accompagnement des degrads	u		5 000,000	
	- Confortement des usages (Chemins & Zones d'usages)	f	1,000	2 000,000	2 000,00
	- Accès charges lourdes	u	1,000	20 000,000	20 000,00
	Réseaux	- Déplacement de réseaux d'eau potable, EU EP et ELEC	ml		300,000
- Réalisation de tranchées		ml		300,000	
Entretien et maintenance	- Coût d'entretien et de maintenance	f	1,000	70 700,000	70 700,000
2 - Coût des travaux de protection de berge				TOTAL	777 700,00
3 - Coûts annexes					
	Compensations financières ou foncières	m²		60,000	
	Etudes règlementaires	f	0,500	20 000,000	10 000,00
	Géotechnique	f	1,000	20 000,000	20 000,00
	Compléments topographiques (polygonale de chantier...)	f	1,000	5 000,000	5 000,00
	Plan de gestion	f	1,000	5 000,000	5 000,00
3 - Coûts annexes				TOTAL	40 000,00
4 - Assistance à maîtrise d'ouvrage					
		f	1,000	3,000%	23 331,00
4 - Assistance à maîtrise d'ouvrage				TOTAL	23 331,00
5 - Etudes de maîtrise d'œuvre					
	EP	f		2,500%	19 442,50
	AVP	f		3,000%	23 331,00
	PRO	f		2,400%	18 664,80
	ACT	f		0,500%	3 888,50
	VISA/EXE	f		0,500%	3 888,50
	DET	f		8,000%	62 216,00
	AOR	f		0,500%	3 888,50
5 - Etudes de maîtrise d'œuvre				TOTAL	135 319,80
6 - CSPS					
				1,000%	7 777,00
6 - CSPS				TOTAL	7 777,00
7 - Contrôleur technique					
				1,00%	7 777,00
7 - Contrôleur technique				TOTAL	7 777,00
C U M U L S					
Montant T.T.C.					1 147 444,80
Montant T.T.C. + Aléa					1 376 933,76

1.6.2.CHANTIER EXPERIMENTAL A BONIVILLE

N° Prix	Libellé	Unité	Quantités Prévues	Prix Unitaire/ Forfait H.T.	Montant H.T.
1 - Généralités					
Comprend :	- Installation de chantier	f	1,000	20,000%	59 400,00
	- Transport des engins				
	- Transport des matériaux				
	- Repli de l'ensemble du chantier				
1 - Généralités				TOTAL	59 400,00
2 - Coût des travaux de protection de berge					
Fourniture & mise en œuvre des techniques	- Génie civil	ml		5 000,000	
	- Techniques mixtes	ml	30,000	3 000,000	90 000,00
	- Génie végétal	ml	175,000	1 000,000	175 000,00
	- Zone d'exclusion des pirogues	ml		200,000	
	- Radeaux végétalisés	ml		500,000	
	- Bâtiments à détruire	u		10 000,000	
	- Bâtiments à déplacer	u		40 000,000	
	- Pose de ponton bois	u		10 000,000	
	- Démolition ponton bois	u		1 000,000	
	- Mesures d'accompagnement des degrads	u	1,000	5 000,000	5 000,00
	- Confortement des usages (Chemins & Zones d'usages)	f		2 000,000	
	- Accès charges lourdes	u		20 000,000	
Réseaux	- Déplacement de réseaux d'eau potable, EU EP et ELEC	ml		300,000	
	- Réalisation de tranchées	ml		300,000	
Entretien et maintenance	- Coût d'entretien et de maintenance	f	1,000	27 000,000	27 000,000
				TOTAL	297 000,00
3 - Coûts annexes					
Compensations financières ou foncières		m²		60,000	
Etudes règlementaires		f	0,500	20 000,000	10 000,00
Géotechnique		f	1,000	20 000,000	20 000,00
Compléments topographiques (polygonale de chantier)		f	1,000	5 000,000	5 000,00
Plan de gestion		f	1,000	2 000,000	2 000,00
				TOTAL	37 000,00
4 - Assistance à maitrise d'ouvrage					
		f	1,000		
4 - Assistance à maitrise d'ouvrage				TOTAL	8 910,00
5 - Etudes de maitrise d'œuvre					
	EP	f	1,000	2,500%	7 425,00
	AVP	f	1,000	3,000%	8 910,00
	PRO	f	1,000	2,400%	7 128,00
	ACT	f	1,000	0,500%	1 485,00
	VISA/EXE	f	1,000	0,500%	1 485,00
	DET	f	1,000	8,000%	23 760,00
	AOR	f	1,000	0,500%	1 485,00
5 - Etudes de maitrise d'œuvre				TOTAL	51 678,00
5 - CSPS					
		f	1,000	1,000%	
5 - CSPS				TOTAL	2 970,00
6 -Controleur technique					
		f	1,000	1,00%	
6 -Controleur technique				TOTAL	2 970,00
C U M U L S					
Montant T.T.C.					459 928,00
Montant T.T.C. + aléa					551 913,60

2. INTEGRATION DU BOIS MORT DANS LES TECHNIQUES DE CONFORTEMENT DE BERGE EN GUYANE

Cette notice concernant l'usage du bois mort en Guyane s'appuie en partie sur le document « **NATIONAL LARGE WOOD MANUAL** », réalisé par le « Bureau of Reclamation » et le « U.S. Army Engineer Research and Development Center » en 2016. C'est un document de 628 pages.

Le bois mort est régulièrement utilisé pour des projets de restauration de milieux aquatiques et de confortement de berges, en Amérique du Nord. Les techniques qui utilisent du bois mort sur des cours d'eau ont largement faits leurs preuves et sont documentées dans la bibliographie.

Figure 10 : Utilisation de bois mort pour la restauration écologique de la rivière Elwha dans l'Etat de Washington (Extrait du National Large Wood Manual)



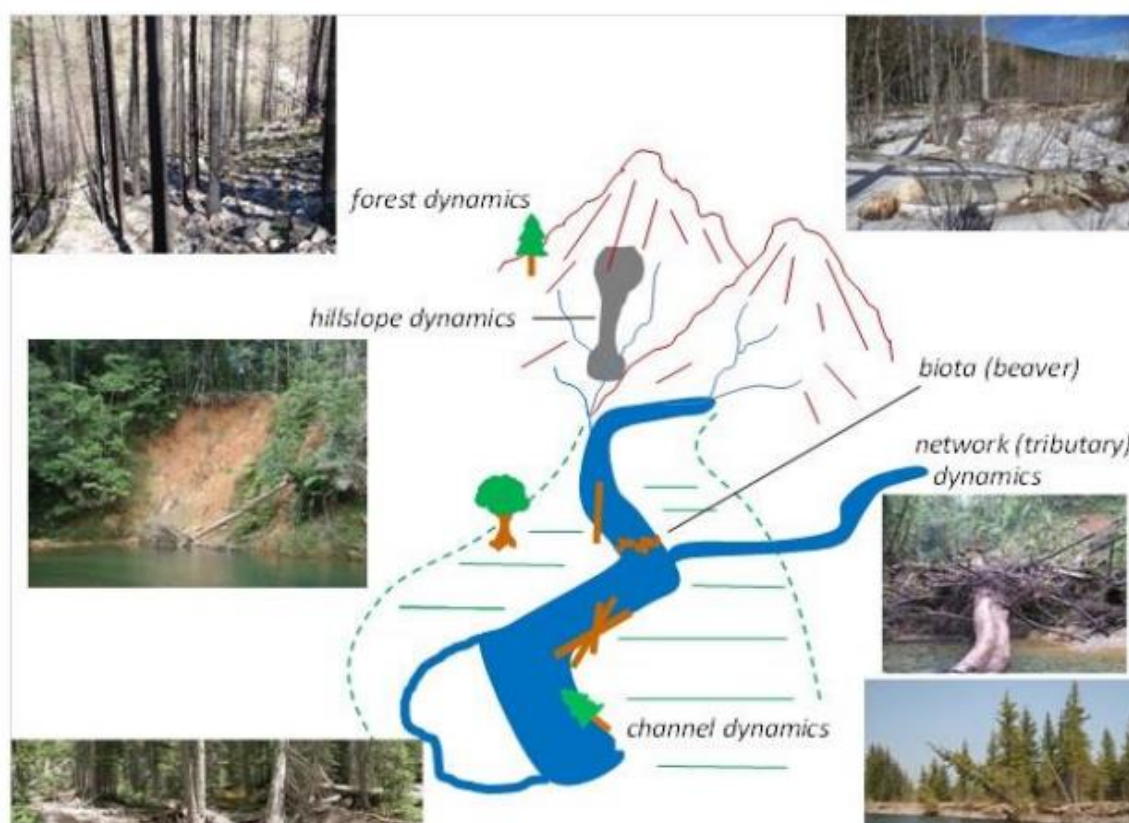
2.1. PRODUCTION DE BOIS MORT CHARRIÉ PAR LE COURS D'EAU

En Guyane, le fleuve garde le même faciès, très large, moyennement profond et avec une pente hydraulique faible sur de longs linéaires, bordés par la forêt amazonienne. Les évènements qui produisent le plus de bois mort charrié ou bloqué dans le lit du fleuve sont les épisodes de crues, qui se produisent plutôt pendant la saison humide. Les arbres riverains du fleuve sont alors la principale source de bois dans le cours d'eau. D'autres évènements peuvent être source de bois mort, comme des feux de forêts ou des glissements de terrain. Ces évènements sont beaucoup plus rares, compte tenu de l'humidité de l'air et du faible relief en Guyane.

Le bois tombe dans les cours d'eau sous forme d'arbres entiers ou de fragments, où il devient une partie de la matière physique ou des sédiments composant le lit du cours d'eau. Les morceaux de bois les plus gros ou les plus importants peuvent former des obstructions stables près de l'endroit où ils sont entrés dans le cours d'eau ou après s'être enfoncés dans le chenal plus loin en aval. Les petits morceaux se déplacent vers l'aval, certains s'accumulant sur les obstructions pour former des embâcles, d'autres se déposant sur les plaines d'inondation avec les débits élevés, et d'autres encore sortant du système. Le fonctionnement hydromorphologique du bois mort est proche de celui des sédiments.

Les évènements qui participent le plus à la collecte de bois mort charrié par le fleuve sont les évènements de débordement de ce dernier dans son lit majeur. Le bois mort ainsi charrié est transporté plus ou moins loin selon ses caractéristiques physiques et les conditions environnementales.

Figure 11 : Illustration tirée du National Large Wood Manual illustrant les apports en bois mort dans le cours d'eau suivant la position sur le bassin versant. (Extrait du National Large Wood Manual)



2.2. MOUVEMENT DU BOIS MORT DANS LE COURS D'EAU

Les morceaux de bois peuvent rester en place, se déplacer, se diffuser à d'autres cours d'eau avoisinants. Cela dépend de la géométrie du lit, de la pente, de la position sur le cours d'eau des embâcles. Ce qui aide à fixer les embâcles en bois, ce sont les gros blocs, comme les rochers à la perpendiculaire de la direction d'écoulement. Sur les fleuves de Guyane, la largeur du lit est très importante en comparaison de la taille des arbres. Ceux-ci ne peuvent donc pas se fixer en travers du fleuve. Les accumulations de bois mort se trouvent dans toutes les parties du réseau hydrographique, même si la densité d'accumulation de bois mort a tendance à diminuer quand le cours d'eau s'élargit.

En Guyane, les fleuves sont assez profonds, le débit est très élevé, les obstacles comme les affleurements rocheux sont nombreux. Ces conditions sont propices au stockage de bois mort dans le lit du fleuve.

Figure 12 : STOCKAGE DE BOIS MORT DANS LE LIT, BLOQUE PAR DES GROS BLOCS ROCHEUX. LES FLECHES JAUNES SYMBOLISENT LA DIRECTION DU COURANT. (EXTRAIT DU NATIONAL LARGE WOOD MANUAL)



2.3. RÔLE DU BOIS MORT DANS LA LUTTE CONTRE L'ÉROSION

Le bois mort tombé dans le lit joue un rôle clé dans la protection naturelle de l'érosion des berges et de l'incision du lit, et dans le maintien des sédiments. Le bois mort sédimente et s'enfonce par engravement et incision dans le lit. Une fois qu'il a atteint un état de stabilité, il réduit mécaniquement les contraintes de cisaillement en berge, en créant des turbulences, des déviations des lignes de courant, en réduisant localement la vitesse du courant et en augmentant la rugosité locale.

Le bois mort peut permettre, s'il est utilisé convenablement, de protéger efficacement les berges de l'érosion par le fleuve.

Figure 13 : LE BOIS MORT PRÉSENT NATURELLEMENT PARTICIPE À LA PROTECTION DE L'ÉROSION DE LA BERGE. (EXTRAIT DU NATIONAL LARGE WOOD MANUAL)



2.4. IMPACT DU BOIS MORT SUR LA MORPHOLOGIE DU FLEUVE

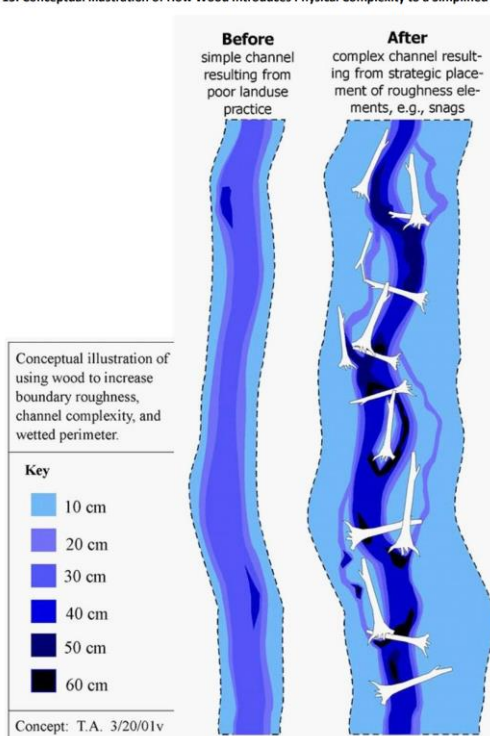
Le matériau bois à un comportement rhéologique très différent de la pierre, du sable, des sédiments, il n'a pas les mêmes caractéristiques et se comporte différemment. En cela, l'apport de bois mort dans le lit a un réel impact sur la morphologie du cours d'eau

La perte de bois fonctionnel dans les cours d'eau peut déclencher une incision du lit qui peut être difficile à inverser. Ce processus déconnecte les cours d'eau de leurs plaines d'inondation, ce qui peut gravement affecter l'écologie du cours d'eau et augmenter les inondations en aval.

Le bois mort naturellement présent dans le cours d'eau ajoute une complexité physique, créant une plus grande variation dans la géométrie du lit. Le bois mort divise la contrainte de cisaillement et réduit l'énergie du cours d'eau. Il piège et stocke les sédiments en modifiant les contraintes tractrices appliquées au fond du lit et en formant des bassines. La longueur du linéaire peut également être augmentée par l'accumulation de bois mort, par création d'îles et de configurations anabranchées ou anastomées, ou par augmentation de la sinuosité. Ces mêmes accumulations peuvent aussi influencer la hauteur d'eau. Le bois stabilisé dans les cours d'eau peut participer à la réduction de la taille médiane du sédiment du cours d'eau en réduisant la contrainte de cisaillement. Il peut augmenter le temps de séjour des sédiments alluviaux dans le lit et ralentir leur érosion vers l'aval.

Figure 14 : Schéma conceptuel de l'influence du bois mort sur la morphologie du lit (Extrait du National Large Wood Manual)

Figure 4-15. Conceptual Illustration of How Wood Introduces Physical Complexity to a Simplified Channel



Le bois mort est naturellement présent dans le lit du cours d'eau et le façonne. Il entretient des interactions fortes avec les éléments constitutifs du cours d'eau, que sont les sédiments, le substratum, la biodiversité. Selon les accumulations de bois mort, le cours d'eau est remodelé, change de position, de pente, de qualité.

2.5. INTERET ECOLOGIQUE DU BOIS MORT

Le bois mort est un élément essentiel des écosystèmes aquatiques et crée des caractéristiques d'habitat essentielles pour de nombreuses espèces de poissons et d'invertébrés. L'importance du bois dans l'écosystème est plus grande dans les cours d'eau de faibles dimensions (en tête de bassin versant) et diminue à mesure que ses proportions augmentent (grandes rivières).

Le bois mort naturellement présent dans le lit contribue à donner au cours d'eau sa morphologie. Son enlèvement peut modifier et altérer les qualités morphologiques du cours d'eau, en particulier si ce dernier a un faciès en tresses. Les techniques de restauration de milieux aquatiques utilisant le bois mort comme élément principal de conception doivent donc prêter attention aux zones de prélèvement de bois mort, et veiller à ne pas déséquilibrer les relations entre le bois et le lit du cours d'eau. Pour atteindre cet objectif, il faudra donc que les prélèvements soient diffus, et n'épuisent pas en un endroit le stock de bois mort, ne créent pas de discontinuités concernant la charge en bois le long du fleuve.

Les prélèvements en bois mort devront être diffus et devront veiller à ne pas créer de zones de carence en bois mort, sous peine d'aggraver l'érosion en d'autres points du fleuve.

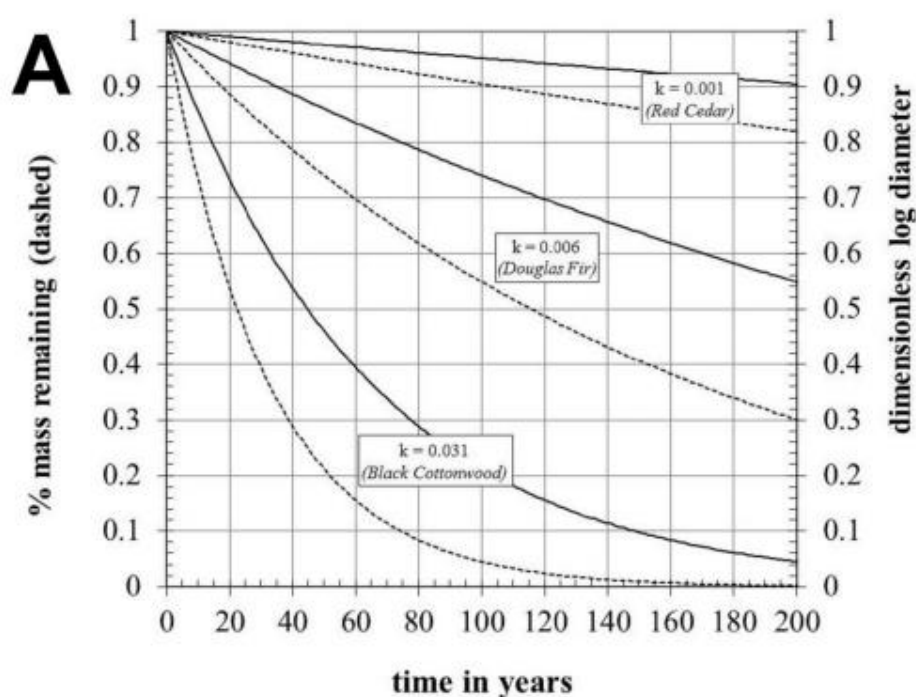
2.6. VIEILLISSEMENT ET EVOLUTION DE LA STRUCTURE DU BOIS MORT EN RIVIERE

Le bois est un élément dynamique de l'habitat qui évolue dans le temps, et qui se décompose. S'il ne se désagrège pas, il forme alors une entité cohérente de taille radicalement différentes des sédiments qui l'entoure. Il a alors un impact net sur les autres sédiments.

Dans les techniques de restauration de milieux aquatiques utilisant le bois mort, l'alternance bois mort immergé – bois mort émergé va conduire à sa désintégration. En effet, la longévité et la conservation du bois dans les cours d'eau varient considérablement en fonction du milieu de dépôt. Les conditions anaérobies (comme le fait de rester saturé) augmentent la préservation, de sorte que le bois qui reste saturé peut rester cohérent des milliers d'années. Le bois soumis à un séchage périodique sera beaucoup plus sensible à la décomposition (c'est-à-dire aux champignons ou aux insectes) et disparaîtra au bout de plusieurs années.

Il faudra donc régulièrement remplacer ce matériau. Les techniques de restauration de grande envergure utilisant le bois mort ne sont donc pas viables sur de longues durées, à moins d'être régulièrement entretenues. Une autre solution consiste à s'assurer de la pérennité de l'aménagement en s'assurant que le bois mort soit submergé de façon continue. Cela signifie une prise en compte de l'évolution du dérèglement climatique et l'augmentation de la fréquence des étiages forts lors de la phase de conception.

Figure 15 : EVOLUTION DE LA DEGRADATION DU BOIS AU FIL DU TEMPS SELON LES ESSENCES CONSIDEREES. (EXTRAIT DU NATIONAL LARGE WOOD MANUAL)



Le bois mort devra nécessairement être renouvelé régulièrement, à la fréquence d'un renouvellement total de la quantité de matériaux utilisés au mieux tous les 2 ans, et à minima tous les 10 ans. Si les phases de conception montrent que le bois mort sera submergé en permanence, cet entretien ne sera plus nécessaire.

2.7. INGENIERIE DU BOIS MORT

L'utilisation de bois mort dans les systèmes fluviaux n'est pas une pratique nouvelle, mais elle devient de plus en plus courante, car l'accent est mis sur la restauration de la complexité physique et temporelle. Le bois mort est généralement utilisé dans le but d'aider à la récupération d'un système dégradé. Le bois mort n'est pas destiné à être statique comme la plupart des structures d'ingénierie placées dans les canaux. Il se décompose, se déplace, accumule des sédiments et d'autres matières ligneuses et organiques, et peut être colonisé par des plantes. Ce n'est pas considéré comme un échec s'il produit des sédiments et des matières organiques. Le bois d'ingénierie est couramment utilisé en Amérique du Nord, notamment dans le nord-ouest, côté océan Pacifique. Le bois est une composante majeure des écosystèmes à l'échelle nationale, mais les taux de décomposition du bois plus élevés, des variations hydrologiques plus extrêmes, l'absence de blocs et de galets, ou les empiètements humains sur les corridors fluviaux peuvent rendre l'ingénierie du bois beaucoup plus complexe dans d'autres régions. L'applicabilité des techniques d'ingénierie utilisant le bois mort comme matériau de construction est fortement limitée par la géomorphologie du site, la disponibilité du bois et les infrastructures adjacentes. Le projet doit être réalisé en tenant compte de l'état actuel du chenal et du chenal après la construction de la structure en bois.

La gestion et la restauration des cours d'eau doivent se concentrer sur la fonction du bois dans le système fluvial hydraulique, la rétention des sédiments, la forme et la dynamique du chenal et n'utiliser que des données/modèles empiriques pour le contexte des placements. Les accumulations de bois le long des berges des cours d'eau peuvent être efficaces pour réduire les taux d'érosion des berges. Les taux d'érosion dans les berges boisées sont largement inférieurs à ceux observés le long des berges dépourvues d'arbres ou seulement de petits arbres.

Les éléments de conception devront inclure les points clés suivants ;

- L'impact environnemental de l'exploitation du bois mort doit être pris en compte.
- Une évaluation de la constructibilité qui traite des questions d'accès, de disponibilité des matériaux, des techniques et des équipements de construction, des problèmes de sécurité, et des restrictions environnementales.
- Les considérations hydrologiques qui comprennent la sélection d'un événement de conception qui produira les forces les plus importantes sur la structure du bois et l'évaluation des influences du bois sur l'habitat aquatique et des exigences saisonnières pour les espèces et les stades de vie concernés.
- Une analyse hydraulique qui devra comprendre l'évaluation du débit, de la capacité de transport des sédiments, de la vitesse et de la contrainte de cisaillement au débit de conception pour le cours d'eau existant et pour le cours d'eau après la construction d'une grande structure en bois.
- Des plans sur la disposition des plantations de végétaux qui fournissent une stabilité supplémentaire et accélère le rétablissement écologique.
- La spécification de la taille, de l'essence et des autres caractéristiques des matériaux en bois. En général, les bois de grande taille sont rares. Les essences résistantes à la pourriture sont préférables mais non nécessaires.
- La durée de vie du bois mort, qui devra être estimée avant son utilisation dans des projets de restauration de milieux aquatique. D'autres matériaux peuvent être utilisés en complément du bois, comme la roche qui garantit mieux les exigences requises et les facteurs de sécurité requis pour certains projets.

2.8. APPROVISIONNEMENT EN BOIS

Les techniques de restauration utilisant du bois mort dans les cours d'eau nécessitent de prêter attention aux facteurs systémiques qui déterminent l'approvisionnement et le mouvement du bois mort dans l'ensemble du bassin.

La perte de bois fonctionnel dans les cours d'eau peut déclencher une incision du lit qui peut être difficile à inverser. Ce processus déconnecte les cours d'eau de leurs plaines d'inondation, ce qui peut gravement affecter l'écologie du cours d'eau et augmenter les inondations en aval. En revanche, cet approvisionnement en bois mort peut se faire en des endroits stratégiques où la circulation des pirogues est entravée.

L'approvisionnement en Guyane pourra se faire par pirogue, en utilisant les machines spécialisées pour le transport des morceaux de bois mort (détaillées plus bas), en remontant le fleuve vers l'amont et vers l'aval depuis la zone de chantier. Pour les zones de chantier proches, il faudra que la collecte soit concertée afin de ne pas épuiser la ressource en certains points du fleuve. Entre les périodes de chantier, la ressource en bois mort aura le temps de se régénérer partiellement.

Par suite du chantier, l'approvisionnement en bois mort se fera de la même manière, en veillant à ce que la ressource ne soit pas épuisée.

Compte tenu de l'abondance de cette ressource, l'identification se fera au même moment que la collecte.

Une attention particulière devra être prêtée à la collecte du bois mort qui ne devra se faire que du côté français du fleuve si celui-ci est à la frontière entre 2 pays.

L'approvisionnement en bois mort pour les projets de restauration de berges devra assurer un maintien des fonctions écologiques à l'aval

2.9. TECHNIQUES DE CONFORTEMENT DE BERGES UTILISANT LE BOIS MORT COMME MATERIAU DE CONSTRUCTION.

Figure 16 : Tableau récapitulatif des techniques d'ancrage et de sécurisation du bois mort et de leurs avantages/inconvénients

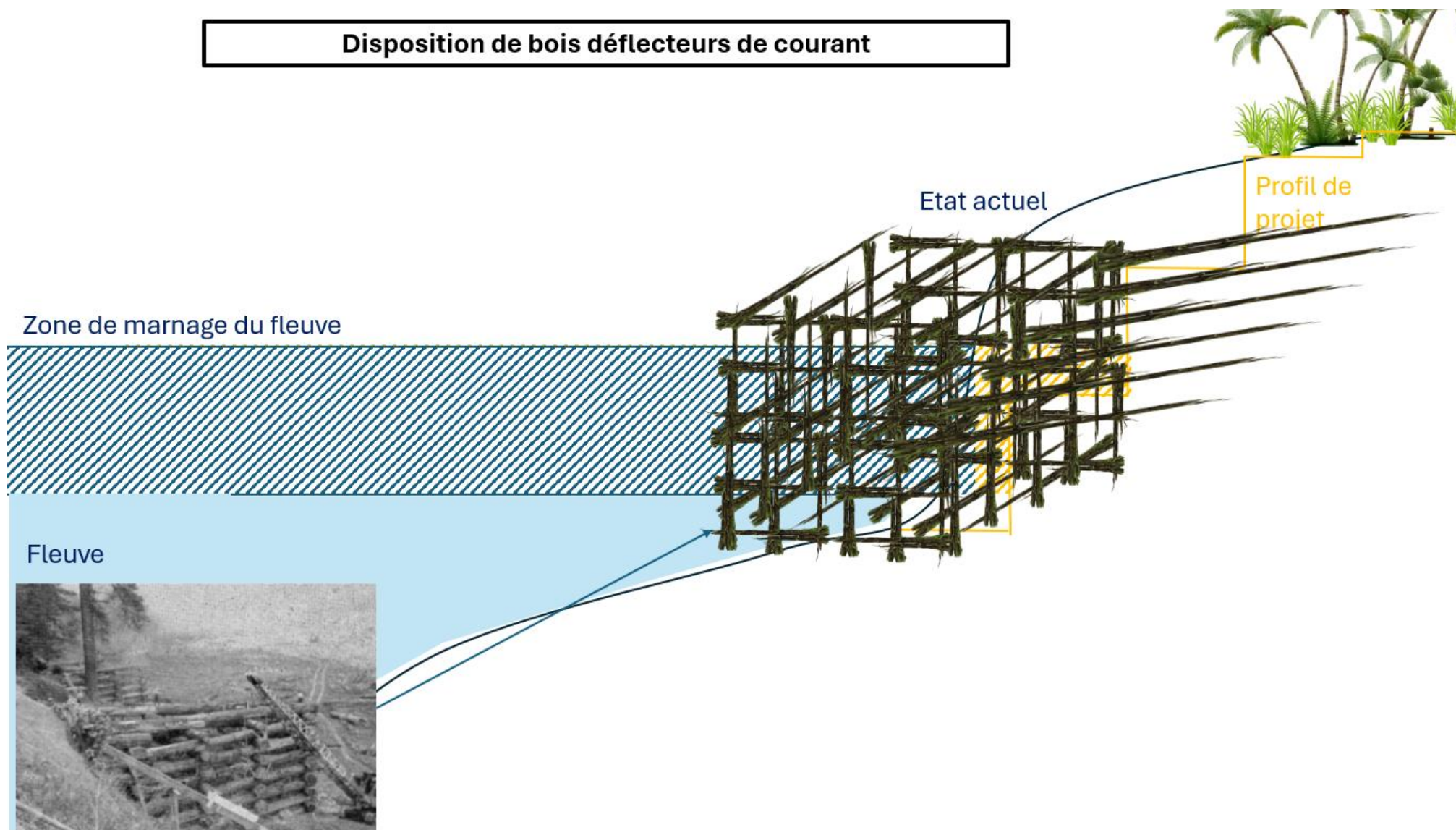
Méthode	Description	Avantages	Inconvénients	Photo
Enfouissement	Utilisation de remblais pour stabiliser la structure bois	Emplacement précis, cohésion du bois	Coûts élevés, difficultés des conditions de travail lors de la mise en œuvre	
Epinglage	Renforcement de la structure bois par perçage, insertion de barres de métal, travail d'assemblage du bois mort	Peu cher, réemploi des petits morceaux de bois	Points faibles dans la structure	
Lien	Attache des troncs à la rive par chaînes ou câbles ou cordes	Simple et peu cher	N'offre pas d'habitats, risques sur la sécurité lors des hautes eaux.	
Ancrage mécanique	Attaches individuelles en acier pour les troncs au fond du lit	Force de maintien élevée	Difficulté d'ancrage dans les sols meubles de la Guyane, temps et coût de mise en œuvre	
Structure supportée par des poutres verticales	Les poutres fixées verticalement dans le lit peuvent être des morceaux de bois mort collectés le long du fleuve, si leurs dimensions et leurs structures le permettent. Elles font office de culée et stabilisent le bois mort déposé en arrière	Installation rapide, Coûts réduits, Stabilité	Difficulté d'ancrage dans les sols meubles de la Guyane	
Ancrage gravitaire	La disposition du bois mort et sa masse permet tent d'assurer l'ancrage et la sécurisation	Apparence naturelle & Pas d'ancrage	Faisabilité, Hauteur élevée.	
Tissage	Maillage horizontal et vertical de bois mort, dont l'organisation permet une compensation des forces. Des remblais sont utilisés pour renforcer la structure	Apparence naturelle & Pas d'ancrage	Faisabilité, Hauteur élevée.	

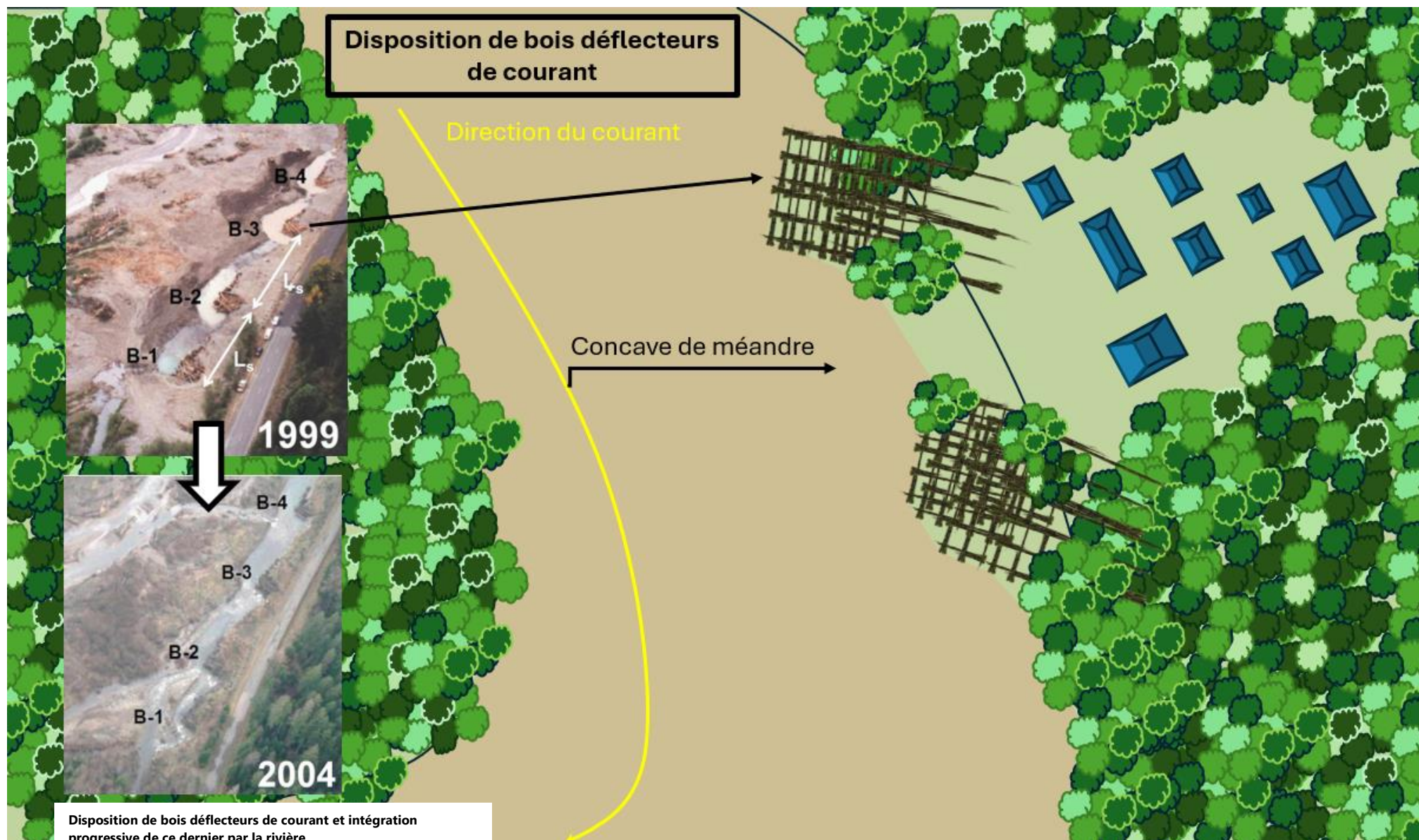
Figure 17 : Tableau récapitulatif des techniques d'assemblage du bois mort et de leurs avantages : inconvénients

Nom de la technique de restauration	Description de la technique	Rôle fonctionnel & forces et faiblesses
Disposition de bois déflecteurs du courant	Structures intermittentes construites dans des berges en érosion en empilant des arbres entiers avec les souches en arrangement entrecroisés. Souvent ces structures sont remplies avec des remblais type graviers, sables ou pierres fines. De faibles quantités de chutes de bois peuvent être additionnés à la face exposée au courant	Simule des formations naturelles si leurs dimensions et leurs espacements varient convenablement. Ils ont l'avantage de diversifier les conditions d'écoulement, et de favoriser la qualité de l'eau, des habitats. Ils conviennent aux berges affectées par l'érosion
Accumulation de troncs avec souches	Le tronc est enfoui et fixé dans la berge, les souches dépassent et forment des obstacles au courant. Souvent placé en concave de méandre	Protège les berges basses en réduisant les contraintes de cisaillement et les forces tractrices appliquées en pied de berge. Accumule les débris ligneux transportés par le fleuve au cours du temps.
Revêtement de la berge en bois	L'ensemble de l'arbre mort est placé parallèlement à la berge. Les arbres se chevauchent et sont ancrés solidement en utilisant des éléments durs comme des affleurements rocheux, des grosses pierres ou tout autre élément inamovible.	Permet de dévier le courant fort, et de réduire les contraintes hydrauliques appliquées sur la berge. Peut induire un dépôt de sédiments. Les branches les plus faibles ont une faible durée de vie et doivent être remplacées particulièrement régulièrement.
Accumulation de branches en pied de talus	Une ou deux rangées de branches ou d'arbres entiers morts sont placées parallèlement à la berge afin de sécuriser le pied du talus. Un remblai de pierres fines doit être placé en arrière de ces couches de branches	Protection temporaire du pied de berge. Généralement uniquement utilisé sur les berges les plus basses. En effet, le haut de berge est toujours exposé au courant.

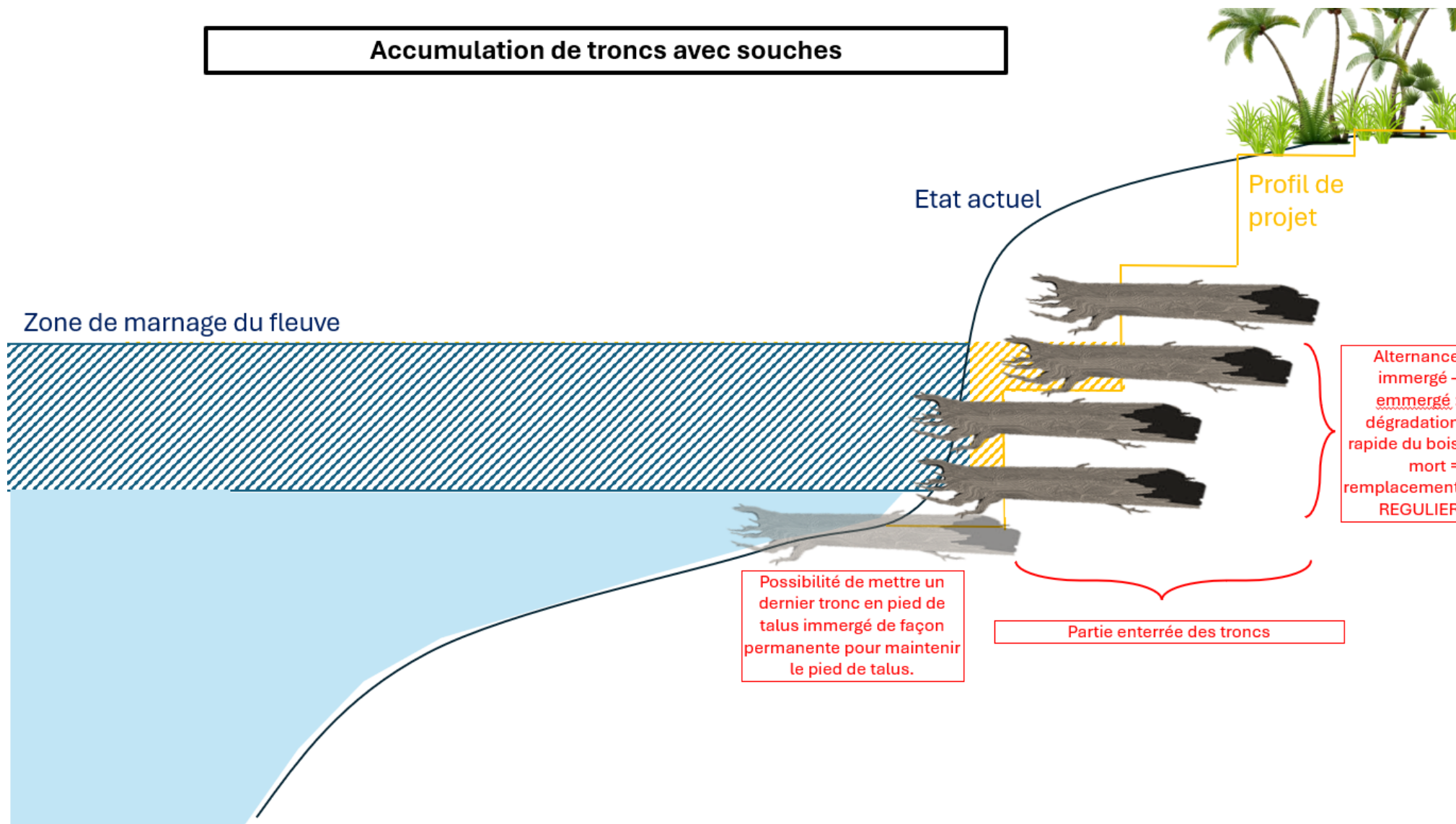
Ces techniques ne seront pas mises en œuvre au niveau des zones d'usages domestiques. Ces zones ont été identifiées sur les cartes et des aménagements spécifiques de confortement d'accès à la berge, de stabilisation de celle-ci et de sécurisation devront y être installés. Ailleurs, des aménagements paysagers (arbustes, gardes corps ...) pourront limiter l'accès à la berge, aux techniques impliquant le bois mort afin de limiter les risques de blessures.

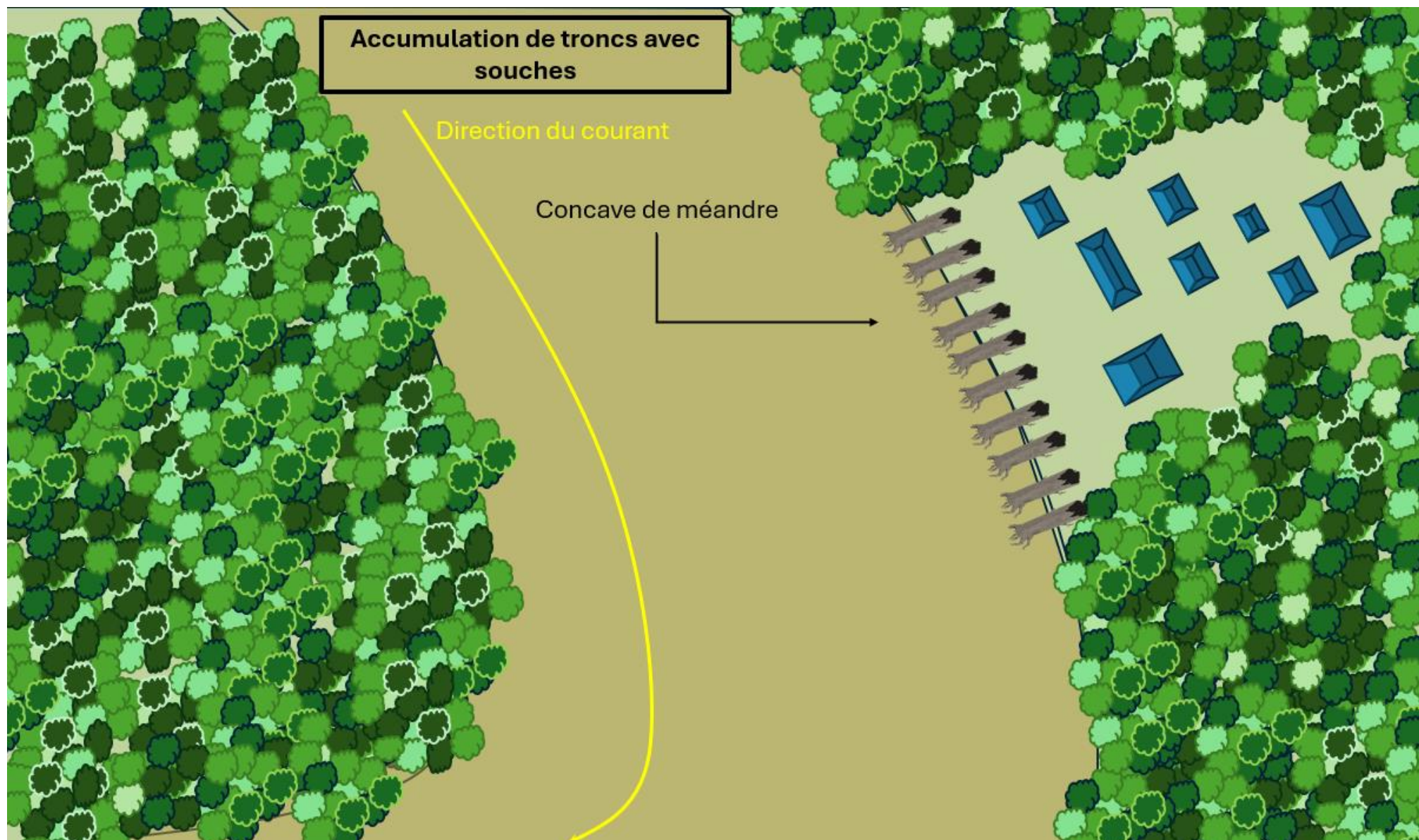
Figure 18 : Schémas de principe d'utilisation de bois mort pour le confortement de berge en Guyane

Disposition de bois déflecteurs de courant

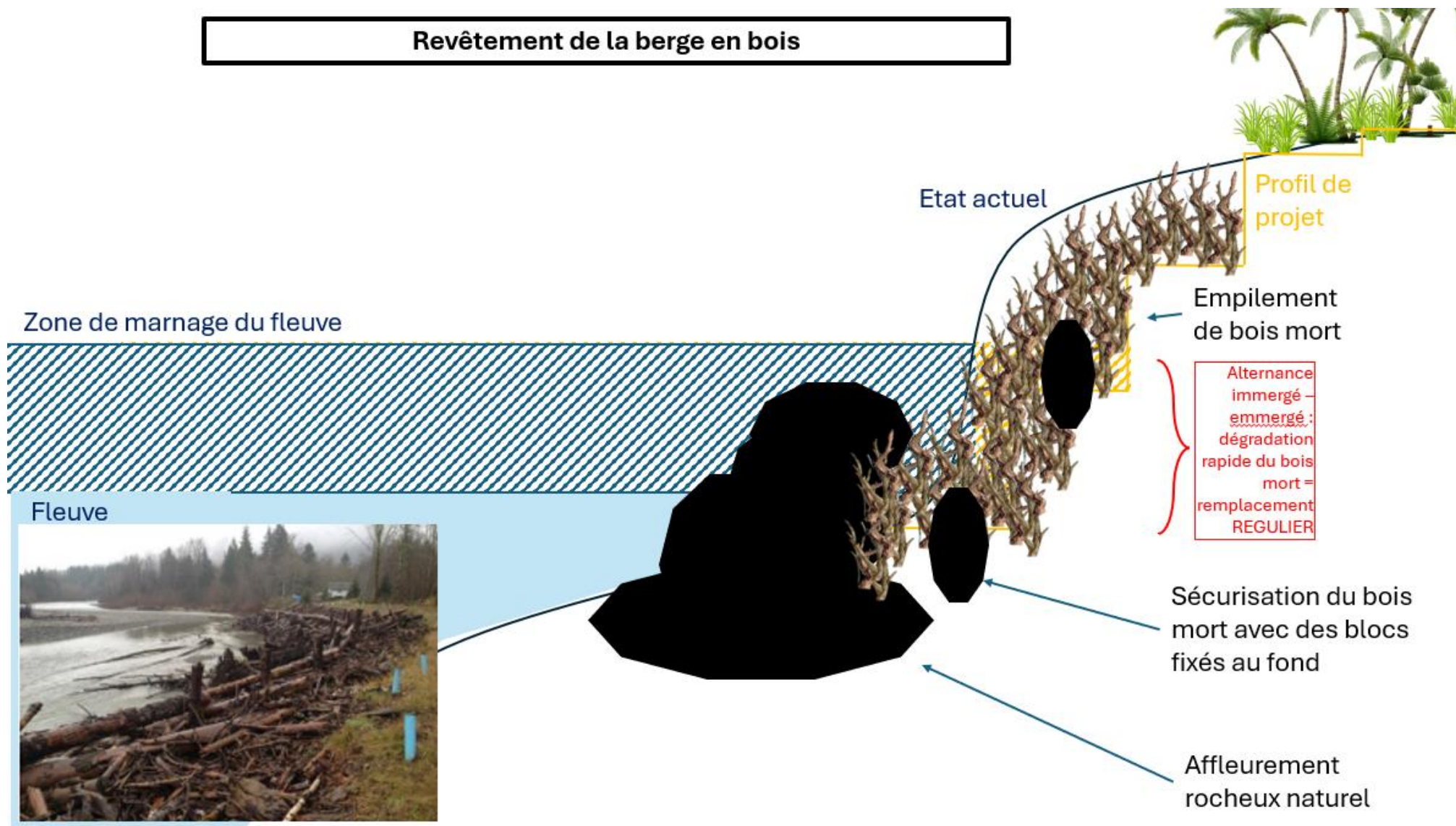


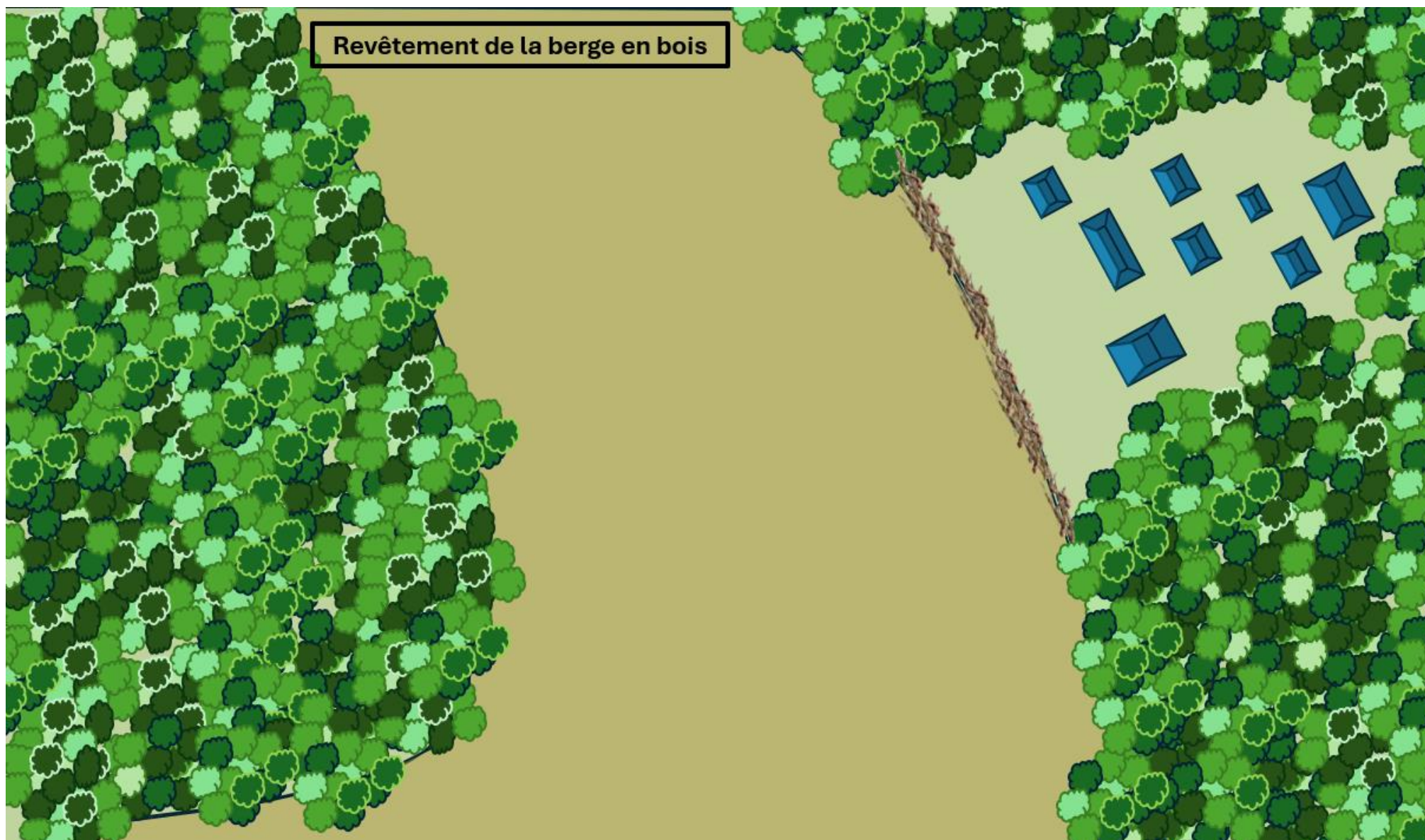
Accumulation de troncs avec souches



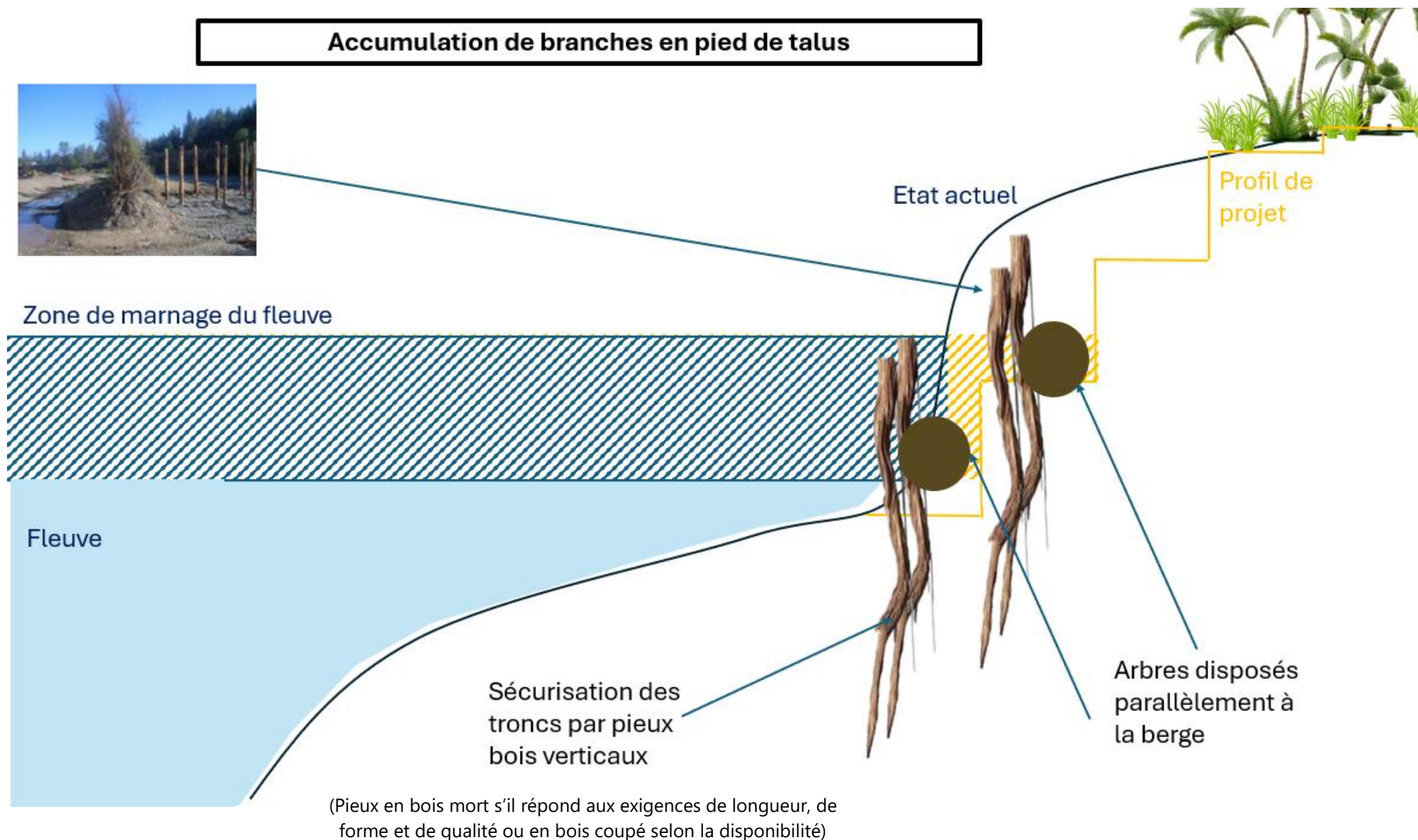


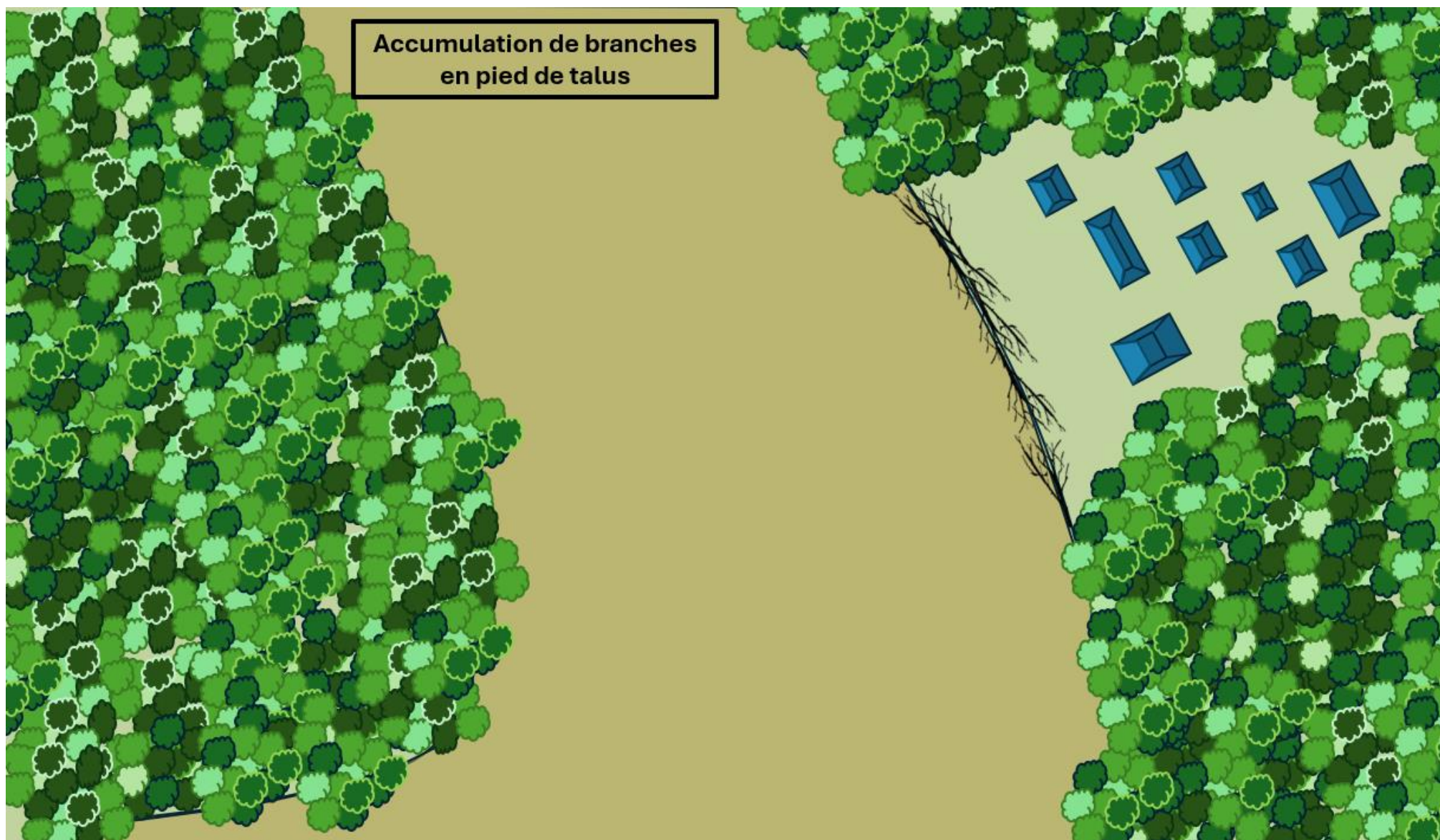
Revêtement de la berge en bois





Accumulation de branches en pied de talus





2.9.1. PLANIFICATION DES OPERATIONS DE COLLECTE ET DE MISE EN ŒUVRE ET PRECISIONS OPERATIONNELLES.

Même avec la meilleure planification et la meilleure conception il n'y a pas de certitude que les résultats soient concluants, notamment si les travaux de construction sont de mauvaise qualité. Les effets d'un grand projet de restauration de milieux aquatiques utilisant le bois mort seront souvent temporaires sans un certain niveau d'ajustement, de gestion adaptative et d'entretien. Pour que ces effets deviennent pérennes, il faut qu'une main d'œuvre qualifiée entretienne régulièrement ces aménagements. Le recrutement de cette main d'œuvre expérimentée, qui saura utiliser la ressource bois mort en ne copiant pas uniquement le fonctionnement d'un chantier de génie civil, sera une étape clé du processus.

L'entretien des aménagements en bois mort est une étape clé de la réussite des aménagements, de même que la réalisation de travaux de restauration des milieux aquatiques de qualité.

2.9.2. PLANIFICATION DES TRAVAUX ET SECURISATION

Un plan d'approvisionnement en bois doit être élaboré lors de la conception du projet afin d'identifier les zones de collecte et de prévoir les délais de collecte. La gestion de l'eau est un élément clé lors de la mise en œuvre. Les approches disponibles peuvent être classées comme suit : travail en conditions sèches, travail en conditions humides mais contrôlées, et travail en conditions humides non contrôlées. Le travail en conditions sèches nécessite l'assèchement ou le détournement des eaux. Les exigences relatives à l'atténuation des incidences des projets sur la qualité de l'eau (turbidité), sur l'habitat aquatique et sur l'environnement doivent être tenues. En période de travaux, des filtres à particules, des zones d'exclusion piscicoles devront être installés et des mesures liées à la réduction du bruit devront être prises. Les principales étapes de la construction comprennent l'extraction, la mise en place du bois et sa fixation. Les risques peuvent être limités en choisissant soigneusement l'équipement et les méthodes appropriés pour chaque étape, comme ceux définis au chapitre 2.10. Les grands projets de restauration de milieux aquatiques utilisant le bois mort sont complexes du point de vue de la gestion de la sécurité parce qu'ils combinent des risques liés à l'exploitation forestière, à la construction, aux opérations amphibies et à des conditions météorologiques défavorables. Il est conseillé d'exiger des analyses des risques professionnels pour chaque phase de travail et un plan de sécurité spécifique au site.

La réalisation des travaux devra être conforme aux exigences en matière de sécurité des ouvriers, de contrôle de la qualité des eaux, de gestion des délais.

2.9.3. LISTE DES ENGINS UTILES POUR LA REALISATION DES TRAVAUX UTILISANT LE BOIS MORT COMME MATERIAU DE CONCEPTION D'UN PROJET D'INGENIERIE DE CONFORTEMENT DE BERGES.

Voici une liste non exhaustive des machines motorisées utilisables en Guyane pour les travaux de manutention du bois mort précédemment cités. Il s'agit essentiellement de mini pelles (montées avec différents accessoires, comme des godets, des grappin rotatifs, des marteaux hydrauliques ou des vibreurs) ; de petits chargeurs ; de petits bulldozers ; de petites grues ; de camions notamment de type grumiers ; de débusqueurs légers ; éventuellement de pelles araignées.

Figure 44 : Machines motorisées nécessaires à la collecte et à la mise en œuvre de la ressource bois mort



Figure 19 : Transport de matériel et de bois mort sur des pirogues sur le Maroni.



Les machines précédemment mentionnées permettent principalement la collecte, la mise en œuvre du bois, et son chargement. Le transport du bois mort sera essentiellement assuré par les pirogues. Plusieurs méthodes pourront être utilisées. Le bois pourra être chargé au fond de la pirogue. Les troncs de bonne qualité et cohésifs pourront aussi être attachés et trainés en arrière de la pirogue. Les troncs devront mesurer entre 6 et 10 mètres de longueur.

Localement, si peu de machines sont disponibles sur le terrain, ou si les conditions environnementales ne permettent pas de les utiliser (berge non adaptée, sol instable, conditions climatiques), des méthodes utilisant la force humaine pourront être mises en œuvre, en respectant scrupuleusement les consignes de sécurité.

Figure 20 : Techniques de mise en œuvre du bois mort basé sur la force humaine adapté aux contextes difficiles



Placement du bois mort par la force humaine

- Précision
- Poids limité



Traction animale

- Ressource animale locale mobilisable



Transport du bois par câbles

- Adapté aux pentes fortes

2.10. EVOLUTION DU CLIMAT ET INFLUENCE SUR LES INTERACTIONS COURS D'EAU – BOIS MORT

Les modèles et les tendances du changement climatique restent imprévisibles à des échelles quantifiables et locales, de même que les réponses hydrologiques et écologiques associées (par ex. les effets de l'altération des débits de base).

Pour des cours d'eau pour lesquels l'état des connaissances actuelles est limité, que ce soit en termes d'évolution du climat ou de retours d'expériences, les recommandations concernant les expérimentations végétales sont les suivantes :

- Adopter une méthode de suivi scientifique, basée sur le comptage des individus, et sur des statistiques fiables.
- Utiliser une méthodologie répétable
- Utiliser des sites témoins
- Utiliser des marqueurs spatiaux et temporels
- Tenir compte des incertitudes

Figure 28 : Diagramme des risques liés à l'utilisation de bois mort dans des projets de restauration de milieux aquatiques. Les enjeux sont limités, mais les échelles spatiales sont très larges pour les secteurs identifiés sur les fleuves de Guyane, ce qui place les projets de restauration utilisant le bois mort avec un risque moyen-élevé.

Spatial Scale				Relative Risk		
	Channel Width (meters)	Watershed Size (km ²)	Bankfull Discharge (m ³ /s)	Low	Medium	High
Small	1	10	1			
Medium						
Large	10 ³	10 ⁶	10 ⁵			

L'anticipation des changements climatiques relatifs au projet devra prendre en compte la hausse des températures, la sévérité des étiages, compte tenu de l'étalement temporel des travaux. Des dispositions générales sur l'évolution des pratiques liées à l'utilisation du bois mort en Guyane (plan de collecte du bois mort, quotas) devront être prises lors de la planification des travaux

2.11. CONCLUSIONS SUR LES SITES D'ÉTUDES

Le bois mort est une ressource abondante sur les fleuves de Guyane. La proximité de la forêt Guyanaise et de ses nombreux arbres de haut jet avec le fleuve permet l'approvisionnement en bois régulier, naturel, et en abondance. Cette ressource naturelle peut être valorisée sans être dégradée, par le biais d'une collecte diffuse et réfléchie, mise en œuvre avec un plan de collecte à la suite d'une identification sur le terrain par les concepteurs des projets. Les sauts forment des barrages naturels au charriage du bois mort par le fleuve et contribuent ainsi à l'accumulation de bois mort dans le fleuve.

Le bois mort pourra être collecté entre les sauts, à proximité des villages identifiés en phase II pour bénéficier d'un confortement de berge par des techniques mixtes ou des techniques de génie végétal. Entre les sauts, il sera collecté sur les zones identifiées par le plan de collecte à l'aide des machines adaptées décrites plus haut dans ce document, puis chargé dans les pirogues, ou bien attaché à celles-ci et trainé. Cette phase de collecte et de transport devra répondre aux normes de sécurité du personnel et de qualité définie dans le futur CCTP avant la préparation du chantier. La mobilisation des machines déjà présentes sur place et l'utilisation et le transport de machines supplémentaires nécessaires à la bonne exécution des travaux seront définis lors de la conception du chantier en tenant compte du dimensionnement des aménagements en bois mort, de la taille des troncs, des volumes impliqués.

Cette présente étude montre l'intérêt écologique du bois mort, sa provenance sur les secteurs étudiés, et montre ainsi l'abondance du bois mort sur l'ensemble des secteurs d'études, avec l'appui des observations de terrain. Par ailleurs, la bibliographie référence l'utilisation fréquente du bois mort dans des projets de confortement de berge et de restauration de milieux aquatiques autour du monde, y compris dans des zones tropicales. Des exemples d'utilisation de bois mort accompagnés de schémas explicatifs fournissent un catalogue des solutions potentielles. La nature du fleuve sur les secteurs concernés, c'est-à-dire large, à fort débit, contraint les techniques utilisant le bois mort, et il faudra veiller à ce que l'ancrage de celui-ci soit adapté lors du dimensionnement.