



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0). La citation comme l'utilisation de tout ou partie du contenu de cet article doit obligatoirement mentionner les auteurs, l'année de publication, le titre, le nom de la revue, le volume, le numéro de l'article et le DOI.

Comment utiliser les espèces indigènes en génie végétal aux Antilles ?

Eléonore Mira¹, André Evette², Marie Robert³, Alain Rousteau⁴, Régis Tournebize⁵, Maïtena Jean³

¹ Phyttech Antilles, Bon Air, Bonfils, 97128 Goyave

² Univ. Grenoble Alpes, INRAE, LESSEM, 38402 St-Martin-d'Hères, France.

³ Parc national de la Guadeloupe, Habitation Beausoleil, Montéran, 97120 Saint-Claude Guadeloupe, France.

⁴ UA, UMR EcoFoG, CNRS, Cirad, INRA, Université des Antilles, Université de Guyane, Université des Antilles, 97159 Pointe-à-Pître, France.

⁵ INRAE, UR ASTRO, 97170 Petit-Bourg, Guadeloupe, France.

Correspondance : Eléonore Mira, phytech-antilles@hotmail.com

Face à l'érosion des berges et à la multiplication des aléas, le génie végétal apparaît comme une piste concrète pour des protections plus durables aux Antilles. Pourtant, les rares ouvrages réalisés mobilisent encore peu la flore indigène, alors même que sa richesse constitue un atout majeur pour les territoires. S'appuyant sur le projet « Protéger », cet article présente une série d'expérimentations menées sur vingt-six espèces ripicoles locales et une analyse multicritère permettant d'identifier celles les mieux adaptées aux principales techniques de génie végétal, afin de guider les futurs aménagements.

Le génie végétal dans les Antilles

Comme ailleurs dans les espaces dominés par l'Homme, les écosystèmes ripicoles antillais sont fortement impactés par l'aménagement du territoire, les invasions biologiques et la gestion des cours d'eau. Dans les secteurs où les infrastructures humaines doivent être protégées contre l'érosion, les techniques conventionnelles pour améliorer la stabilité des berges et contrôler l'érosion reposent principalement sur des ouvrages de génie civil, basés sur l'emploi de blocs rocheux et de béton. Bien que ces techniques soient mécaniquement efficaces, elles modifient profondément les conditions naturelles préexistantes de la berge, diminuent la diversité des espèces ripicoles et altèrent les fonctions écologiques associées, perturbent la succession naturelle des écosystèmes rivulaires et provoquent la dégradation du milieu aquatique (Cavallé *et al.*, 2015) et des lieux de prélèvement de ces matériaux quand ils sont naturels (carrières, gravières, etc.).

Le génie végétal constitue une solution complémentaire au génie civil, voire une alternative, qui vise à imiter la nature et utilise des plantes et/ou des parties de plantes (par exemple, des racines, des tiges, des graines) comme

matériaux de construction vivants, seuls ou en combinaison avec des composants structurels inertes tels que des pierres, des rondins ou des géotextiles biodégradables (Schiechl et Stern, 1996). Il a déjà été démontré que le génie végétal initie les trajectoires écologiques, facilite l'établissement de communautés végétales et animales indigènes (Tisserant *et al.*, 2021) et peut contribuer à la conservation des espèces (Popoff *et al.*, 2021) tout en limitant la propagation des espèces exotiques envahissantes. C'est une solution fondée sur la nature censée répondre aux défis environnementaux tout en promouvant une économie plus équitable notamment *via* la création d'emplois locaux, la croissance et l'innovation (Cohen-Shacham *et al.*, 2016). Cette approche interdisciplinaire s'appuie sur des techniques rentables, respectueuses de la nature, résilientes et durables pour gérer les problèmes d'érosion et améliorer la stabilité des berges. Récemment, les techniques de génie végétal ont été largement appliquées à la restauration des berges, associant avec succès, la reconstruction de la végétation et l'amélioration des fonctions de la ripisylve. Elles se déploient dans la région néotropicale, avec plusieurs expérimentations menées au cours de la dernière décen-

nie en Amérique tropicale continentale (Maxwald *et al.*, 2020). Cependant, dans les Antilles, les projets mis en œuvre restent anecdotiques, et le manque de connaissance concernant les espèces indigènes constitue une entrave majeure à leur développement et à leur transfert. Ainsi, les préconisations émises dans la bibliographie disponible recommandent principalement l'utilisation d'espèces exotiques (e.g. Clark et Hellin 1996 ; Ramos Santana, 2003). Pourtant, la richesse de la flore indigène antillaise est remarquable et prometteuse. En Guadeloupe, 1 706 espèces indigènes de plantes vasculaires se répartissent sur trente-quatre écosystèmes

différents (Rousteau *et al.*, 1996 ; Union internationale pour la conservation de la nature, 2019). Le long des cours d'eau qui traversent ces écosystèmes, une grande diversité d'espèces végétales se retrouve dans des assemblages ripicoles complexes qui comprennent aussi de nombreuses espèces issues des communautés voisines. Une typologie a pu récemment proposer douze types de ripisylve¹, définis par l'altitude, la salinité et la pente. Ces différents types intègrent des cortèges distincts d'espèces associées, parmi lesquelles quatre-vingt espèces ont été identifiées comme présentant *a priori* un intérêt potentiel pour le génie végétal (Robert *et al.*, 2022).

Tableau 1 – Liste des espèces sélectionnées pour l'étude par type biologique et écologie (Fournet, 2002 ; Rollet, 2010).

Espèces	Macrophyte	Zone humide	Forêt du littoral	Forêt xérophile	Forêt mésophile	Forêt-hygrophile
LIGNEUX						
<i>Cedrela odorata</i> L.			x	x	x	
<i>Chimarrhis cymosa</i> Jacq.					x	x
<i>Citharexylum spinosum</i> L.			x	x	x	
<i>Cordia sulcata</i> DC.					x	
<i>Ficus citrifolia</i> Mill.				x	x	
<i>Homalium racemosum</i> Jacq.				x	x	
<i>Tabebuia heterophylla</i> (DC.) Britton			x	x	x	
SEMI LIGNEUX						
<i>Phyllanthus mimosoides</i> Sw.					x	x
<i>Piper dilatatum</i> Rich.				x	x	x
<i>Piper dussii</i> C. DC.					x	x
LÉGUMINEUSES LIGNEUSES						
<i>Inga ingoides</i> (Rich.) Willd.				x	x	
<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.				x	x	
<i>Lonchocarpus heptaphyllus</i> (Poir.) DC.				x		
<i>Lonchocarpus roseus</i> (Mill.) DC.				x		
<i>Pterocarpus officinalis</i> Jacq.	x	x				
ARBRISSEAUX						
<i>Clidemia hirta</i> (L.) D. Don					x	x
<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) P.H. Raven	x				x	
ANGIOSPERMES HERBACÉES						
<i>Commelina diffusa</i> Burm.f.			x	x	x	x
<i>Dieffenbachia seguine</i> (Jacq.) Schott	x		x	x	x	
<i>Gynerium sagittatum</i> (Aubl.) P.Beauv.	x				x	
<i>Hymenachne amplexicaulis</i> (Rudge) Nees	x				x	
<i>Sphagneticola trilobata</i> (L.) Pruski				x	x	
PTÉRIDOPHYTES						
<i>Acrostichum danaeifolium</i> Langsd. & Fisch.	x	x				
<i>Adiantum latifolium</i> Lam.					x	
<i>Lycopodium cernuum</i> L.					x	x
<i>Thelypteris reticulata</i> (L.) Proctor					x	x

1. Ensemble de la végétation des berges d'un cours d'eau

Le succès d'un ouvrage de génie végétal repose sur la sélection d'espèces présentant les caractéristiques écologiques et biotechniques les mieux adaptées aux conditions locales. Des plantes indigènes et déjà présentes sur le site, bien adaptées aux conditions écologiques locales sont recommandées pour garantir le développement du couvert végétal, tout en limitant les transports et en évitant l'introduction d'espèces exotiques. Les espèces présentant des croissances rapides et des forts taux de survie sont à privilégier, mais d'autres caractéristiques végétales sont aussi souhaitables : la résistance aux perturbations et la résilience des populations après perturbation, la rapidité du développement du système racinaire et sa densité, ou encore la flexibilité des tiges. Elles doivent être faciles à multiplier et doivent disposer d'une propagation efficace, que celle-ci soit végétative (bulbille, stolon, marcotte, bouture) ou sexuée (nombre élevé de graines et aptitude à l'établissement). Il faut enfin que les espèces soient acceptées par les habitants (Clark et Hellin, 1996 ; Suarez-Diaz, 2001 ; Norris *et al.*, 2008).

Il est important d'utiliser une combinaison diversifiée d'espèces, car une plus grande richesse en espèces améliore la résilience de l'ouvrage soumis aux perturbations telles que la sécheresse, l'herbivorie, les inondations (Stokes *et al.*, 2009). Il a également été suggéré que la combinaison de systèmes racinaires de formes différentes était plus efficace et améliorerait la stabilité des agrégats du sol (Pohl *et al.*, 2009).

On ne dispose actuellement que de peu d'informations sur les performances et les caractéristiques biotechniques des espèces indigènes antillaises. L'objectif de cette recherche a alors été de sélectionner les espèces les plus appropriées au génie végétal, sur la base de leurs caractéristiques biotechniques, et de préciser à quelles conditions et à quelles techniques chaque espèce était la mieux adaptée. La survie, la croissance et la structure du système racinaire ont été mesurées dans des expérimentations *ex situ* impliquant des boutures de sept espèces ligneuses, trois espèces semi ligneuses (dont la croissance en diamètre est limitée), deux espèces d'arbrisseaux, cinq espèces herbacées et quatre espèces de ptéridophytes (tableau 1, encadré 1). Des expérimentations complémentaires concernant la germination et le développement de plantules ont été conduites sur cinq espèces de légumineuses ligneuses dont le bouturage n'a pu être maîtrisé lors des tests préalables de bouturage. Une nouvelle approche analytique pour le génie végétal a ensuite été menée sous DEXi (Bohanec, 2008), un outil pour l'analyse multicritère qui aide à la prise de décision en situation complexe. DEXi a ainsi été utilisé pour évaluer la compatibilité des espèces aux principales techniques (encadré 2).

Encadré 1 – Un dispositif expérimental pour définir les espèces antillaises compatibles.**Sélection des espèces**

Dans les îles Antillaises, des conditions pédoclimatiques très diverses sur de petites zones soutiennent des assemblages floristiques complexes. Les espèces sélectionnées doivent donc couvrir un large spectre écologique, offrant aux praticiens une gamme d'options adaptées à différentes conditions, de l'estuaire saumâtre à la forêt tropicale. La sélection d'espèces ciblant toutes les strates de la ripisylve est intervenue à partir d'inventaires, de données issues de la littérature et de dire d'experts (tableau 1).

Conditions expérimentales

Les expérimentations ont été menées à la station expérimentale INRAE de Duclos, Guadeloupe (16°12'11.02"N; 61°39'33.78"W). Les dix mois de l'expérimentation (août 2020-mai 2021) ont débuté pendant la saison humide et ont inclus des périodes plus sèches. Pour chaque espèce, indépendamment de leur type biologique, dix à trente-trois individus matures et sains ont été sélectionnés dans trois à onze populations naturelles localisées à proximité du site expérimental et ont fait l'objet de prélèvement de boutures ou de graines.

Concernant les ligneux et semi ligneux, sur chaque individu, des branches d'un diamètre minimum de 1,5 cm pour les semi ligneux et de 3 cm pour les ligneux ont été prélevées, soit un nombre total de 253 boutures. Les branches ont été effeuillées et conservées à l'ombre et à température ambiante, puis divisées en boutures de 60 cm de long. Avant plantation, leur base a été trempée pendant dix secondes dans une solution d'hormone d'enracinement de 1000 ppm d'acide indole 3 butyrique. Dans les vingt-quatre heures suivant la collecte, chaque bouture a été insérée verticalement aux deux tiers de sa longueur à l'intérieur de trous pilotes, préalablement réalisés dans le substrat expérimental, à l'aide d'une tige d'acier (pour préserver les boutures de l'abrasion). Une bouture par conteneur de 1 m³ a été plantée, avec une disposition aléatoire des espèces. Le substrat expérimental se composait d'un mélange de pouzzolane et de couche supérieure de ferralsols agricoles (v:v 3/4:1/4) pour simuler un sol alluvial pauvre. L'utilisation *in situ* de ce substrat constitué de ressources non renouvelable, n'est néanmoins pas recommandée. Un traitement fertilisant (10 g d'ammonitrate à 33,5 %) a été ajouté à la surface de chaque conteneur quatre mois après la plantation. L'irrigation jusqu'à capacité du champ à l'aide d'un système au goutte-à-goutte, activé quotidiennement, a permis de maintenir un équilibre hydrique favorable tout au long de l'expérience. Les herbacées indésirables ont été enlevées mécaniquement une fois par mois pendant toute la durée de l'expérience. Les boutures, ont été protégées du stress lumineux sous une ombrière avec un ombrage de 60 %. Les conditions expérimentales appliquées aux plantules et herbacées ont été comparables en termes de substrat et d'irrigation. La durée d'expérimentation a cependant différé. Les boutures ligneuses et semi ligneuses ont été excavées à six mois, tandis que les plantules et herbacées l'ont été à trois et quatre mois, respectivement. Par ailleurs, les herbacées héliophiles n'ont pas été ombragées et seules les boutures ligneuses et semi ligneuses ont fait l'objet d'un traitement hormonal et d'adjonction de fertilisant.

Mesures de caractéristiques biotechniques

Les boutures ligneuses, semi ligneuses, herbacées et plantules ont été excavées afin d'évaluer leur survie et de mesurer différentes caractéristiques biotechniques pertinentes pour le génie végétal : la biomasse des compartiments racinaires et aériens, la longueur maximum et le diamètre moyen des racines, le rapport biomasse racines/tiges. Dans le cas des boutures ligneuses et semi ligneuses, la résistance racinaire et la capacité à émettre des racines sur toute la longueur enterrée de la bouture ont aussi été relevées. La germination des graines, dans le cas des plantules de légumineuses, a aussi fait l'objet de mesures.

Ces expérimentations ont donc visé un large échantillon d'espèces, appartenant à différents types biologiques et ont mimé les conditions susceptibles d'intervenir *in situ* dans un contexte de mise en place d'ouvrage de génie végétal.



Photo 1 – Dispositif expérimental. Station expérimentale INRAE de Duclos, Guadeloupe.

A : boutures de ligneux et semi ligneux en conteneur à l'arrière-plan.

Au premier plan, boutures d'herbacées et d'arbrisseaux héliophiles.

B : plantules de légumineuses.

Photos : Eléonore Mira (novembre 2020).

Encadré 2 – Définition d'un indice de compatibilité des espèces avec les techniques de génie végétal.

Un indice de compatibilité des espèces ligneuses et semi ligneuses avec les principales techniques de génie végétal a été élaboré à l'aide du programme DEXi. Ce logiciel de modélisation multi attribut d'aide à la décision présente l'avantage d'inclure plusieurs types d'informations, telles que des mesures de terrain ou des connaissances empiriques formulées directement en valeurs qualitatives (Bohanec *et al.*, 2004). DEXi permet d'agrèger l'information de données quantitatives ou qualitatives ayant des unités différentes afin d'obtenir un indice semi-quantitatif.

Les données de base du modèle DEXi sélectionnées ici correspondaient à neuf caractéristiques biotechniques, mesurées ou extraites de la littérature (figure 1). Pour chaque caractéristique biotechnique, nous avons délimité des classes, par exemple « faible », « moyen », « élevé ».

Pour chaque espèce, nous avons sélectionné une combinaison différente, sur dires d'experts, des caractéristiques biotechniques en fonction de la technique de génie végétal ciblée. Nous avons considéré six techniques de génie végétal : les pieux vivants, les boutures vivantes, les fascines, les matelas de branches, les couches de branches et les enrochements végétalisés.

Pour chaque combinaison de caractéristiques biotechniques, nous avons défini une matrice de règles de décision utilisée par DEXi pour calculer la valeur de l'indice de compatibilité (excellente, bonne, faible, médiocre). Ce calcul a suivi un raisonnement qualitatif du type « si-alors ». Par exemple : SI caractéristique biotechnique 1 favorable, ET caractéristique biotechnique 2 défavorable, ALORS l'indice (correspondant à l'agrégation des caractéristiques biotechniques 1 et 2) est « faible compatibilité » de l'espèce à la technique.

Nous avons exécuté l'algorithme pour générer les indices de compatibilité par espèce pour chaque technique.

Le programme DEXi est disponible gratuitement, simple à utiliser, et les règles de décision ainsi que les données d'entrée peuvent être facilement modifiées, ce qui le rend adaptable au fil du temps. DEXi, qui permet d'obtenir un indice synthétique, l'indice de compatibilité d'une espèce pour une technique, semble donc être un outil approprié pour la sélection d'espèces en fonction des techniques à utiliser.

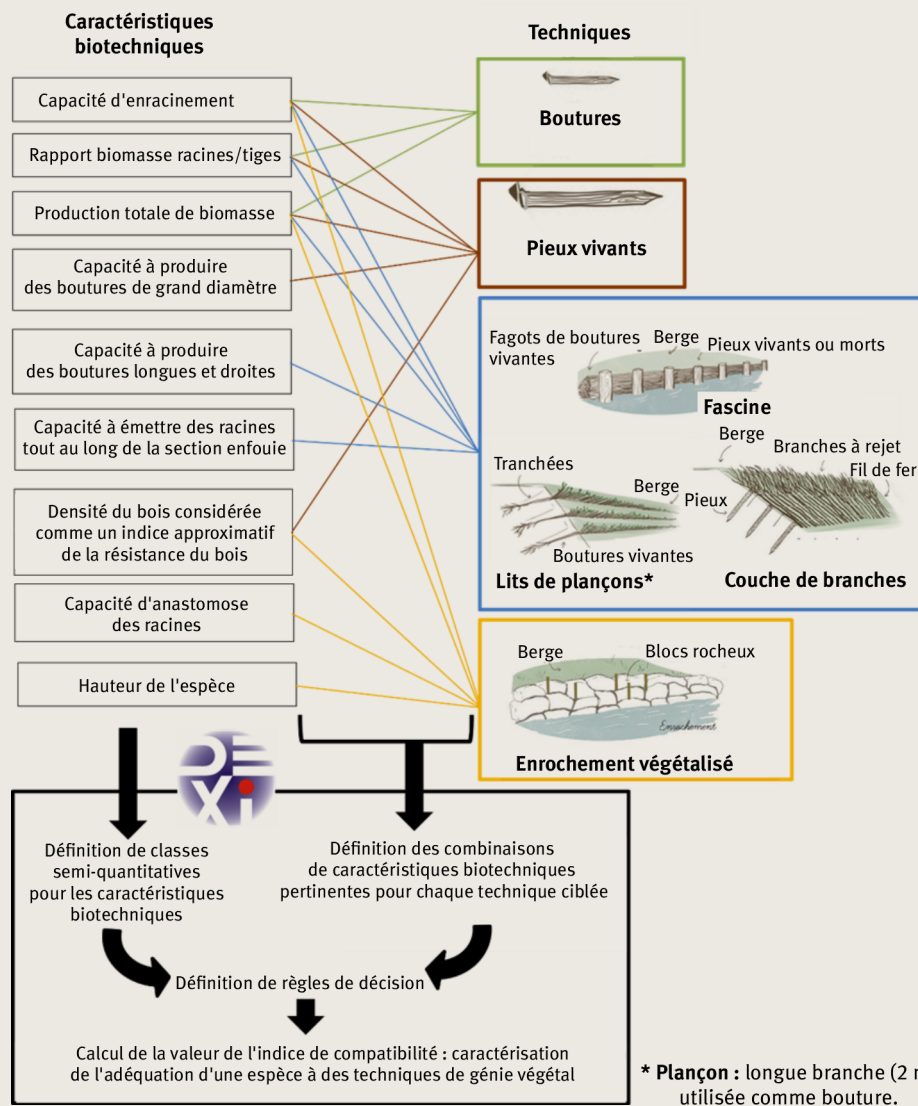


Figure 1 – Méthode de définition de l'adéquation d'une espèce avec les techniques de génie végétal. Caractéristiques biotechniques sélectionnées pour évaluer l'adéquation d'une espèce à différentes techniques et grandes étapes de calcul de l'indice de compatibilité avec DEXi.

Les boutures d'espèces ligneuses et semi ligneuses antillaises

Les boutures représentent un moyen économique et efficace permettant de mobiliser rapidement une grande quantité de matériel végétal ligneux. Elles constituent le type de matériel végétal le plus employé dans les techniques de génie végétal, dont la plupart reposent sur la combinaison de pieux vivants et de boutures plus ou moins longues (Suarez-Diaz, 2001). La capacité de bouturage des espèces ligneuses et semi ligneuses antillaises étant mal connue (Mira, 2019), une large sélection de trente espèces ripicoles a d'abord fait l'objet de tests de bouturage sur un petit nombre de répétitions afin d'identifier les espèces capables de bouturer facilement. Parmi ces espèces, dix ont présenté une capacité de multiplication végétative compatible avec les conditions de chantier de génie végétal. Ces espèces cibles ont donc fait l'objet d'une caractérisation fine de leurs performances et de leurs caractéristiques biotechniques sur un plus grand nombre de répétitions.

Les espèces ligneuses et semi ligneuses cibles présentent des taux de survie au bouturage qui varient entre 25 % et 100 % (figure 2). Leurs caractéristiques biotechniques propres les rendent plus ou moins compatibles avec un ensemble de techniques couramment mises en œuvre (pieux vivants, matelas de branches, enrochements végétalisés, fascines et couches de branches).

Parmi les dix espèces cibles, huit ont présenté une forte compatibilité avec au moins deux techniques de génie végétal, et chaque technique de génie végétal peut être mise en œuvre avec au moins quatre espèces (tableau 2).

L'espèce la plus performante, *Citharexylum spinosum*, combine de nombreuses caractéristiques souhaitables pour le génie végétal. Sa forte capacité d'enracinement, sa croissance et la rapidité de son développement racinaire expliquent qu'elle peut être utilisée dans grand nombre de techniques. *Cedrela odorata* et *Ficus citrifolia*, malgré des performances inférieures à celles de *Citharexylum spinosum* en termes de taux de survie et de croissance racinaire, disposent aussi d'un potentiel intéressant pour une stabilisation rapide des berges. Leurs longues racines épaisses permettent l'exploration d'une zone plus profonde ainsi qu'un solide ancrage. *Piper dilatatum* est une espèce semi ligneuse à croissance rapide, dont les capacités pour le génie végétal sont proches de celle des espèces ligneuses les plus performantes. En plus de son taux élevé de survie au bouturage, cette espèce constitue un autre bon candidat pour diverses techniques. *Chimarrhis cymosa*, *Homalium racemosum* et *Piper dussii* présentent une croissance plus lente, mais leur importante allocation de biomasse racinaire permet d'envisager leur utilisation dans une large gamme de techniques. *Phyllanthus mimosoides* a

Figure 2 – Morphologie, survie et caractéristiques biotechniques des boutures de dix espèces ligneuses et semi ligneuses. Photographies de boutures excavées à six mois. Les espèces sont classées en fonction de leur production de biomasse. a. *Citharexylum spinosum*, b. *Cedrela odorata*, c. *Ficus citrifolia*, d. *Piper dilatatum*, e. *Homalium racemosum*, f. *Cordia sulcata*, g. *Chimarrhis cymosa*, h. *Piper dussii*, i. *Tabebuia heterophylla*, j. *Phyllanthus mimosoides*. En rouge les espèces présentant un taux de survie inférieur à 30 %, en jaune, les espèces présentant un taux de survie compris entre 30 % et 50 %, en vert, les espèces présentant un taux de survie supérieur à 50 %. L'analyse en composante principale a été conduite sur six caractéristiques biotechniques d'intérêt pour le génie végétal sur 79 boutures des 10 espèces cibles.

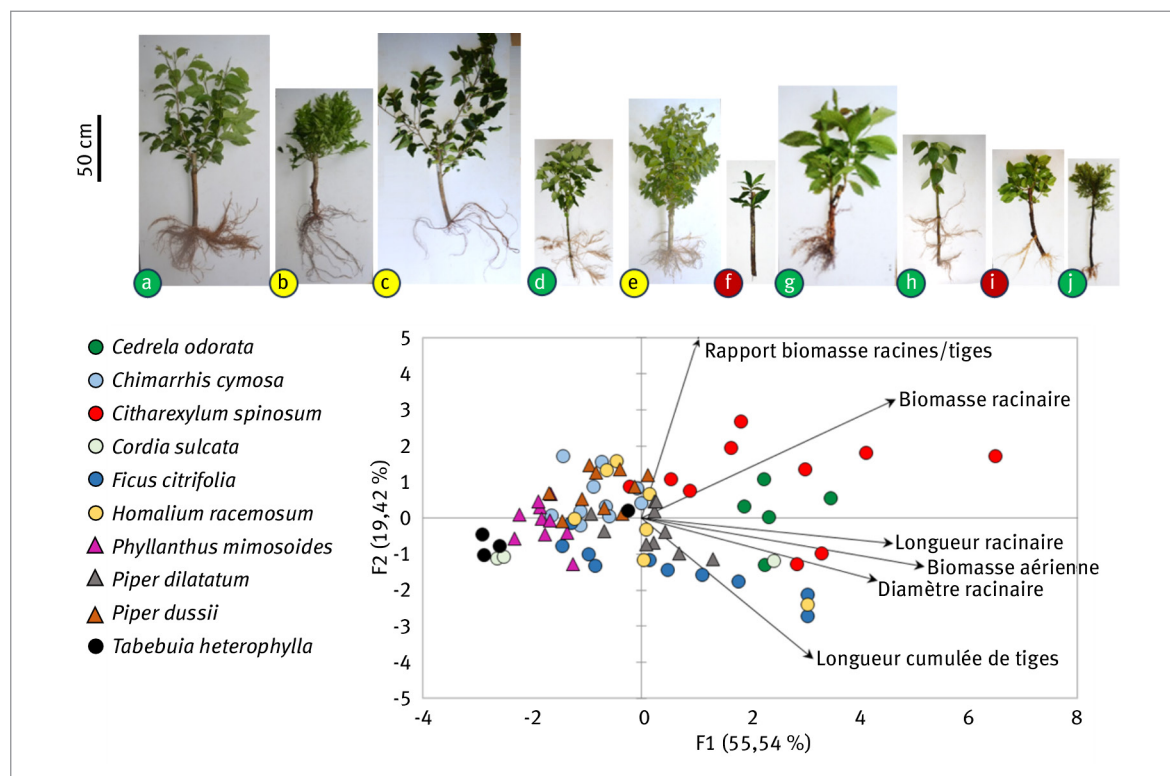


Tableau 2 – Compatibilité des espèces sélectionnées avec les techniques de génie végétal.

Espèces par type biologique, matériel végétal et effectif considérés dans les expérimentations, taux de reprise et compatibilité des espèces avec les principales techniques de génie végétal. En gras sont identifiées les espèces macrophytes. Entre parenthèses sont indiquées les espèces ligneuses ayant fait l'objet d'un test de bouturage préalable sur un petit nombre de répétitions, mais n'ayant montré aucun signe de survie des boutures.

	Matériel végétal	N	Taux de survie en condition expérimentales (%)	Lit de plants et plançons	Fascine morte ensemençée	Bouture	Pieu vivant	Fascine	Couche de branches	Matelas de branches	Enrochement végétalisé	Caisson végétalisé
LIGNEUX												
<i>(Andira inermis</i> (Wright) DC.)	Bouture de tige	4	40									
<i>(Annona glabra</i> L.)	Bouture de tige	4	0									
<i>(Calophyllum antillanum</i> Britton)	Bouture de tige	4	0									
<i>Cedrela odorata</i> L.	Bouture de tige	20	30	x		x	x					
<i>(Ceiba pentadra</i> (L.) Gaertn.)	Bouture de tige	4	0									
<i>Chimarrhis cymosa</i> Jacq.	Bouture de tige	20	85	x		x	x	x	x	x	x	
<i>(Chrysobalanus icaco</i> L.)	Bouture de tige	4	0									
<i>Citharexylum spinosum</i> L.	Bouture de tige	20	70	x		x	x				x	
<i>(Cordia colocoocca</i> L.)	Bouture de tige	4	0									
<i>Cordia sulcata</i> DC.	Bouture de tige	30	17									
<i>Ficus citrifolia</i> Mill.	Bouture de tige	20	50	x		x	x				x	
<i>(Garcinia humilis</i> (Vahl) C.D.Adams)	Bouture de tige	4	0									
<i>Homalium racemosum</i> Jacq.	Bouture de tige	20	35	x		x	x	x	x	x		
<i>(Hymenaea courbaril</i> L.)	Bouture de tige	4	0									
<i>(Inga ingoides</i> (Rich.) Willd.)	Bouture de tige	4	0									
<i>(Inga laurina</i> (Sw.) Willd.)	Bouture de tige	4	0									
<i>(Laguncularia racemosa</i> (L.) C.F.Gaertn.)	Bouture de tige	4	0									
<i>(Lonchocarpus heptaphyllus</i> (Poir.) DC.)	Bouture de tige	4	0									
<i>(Lonchocarpus punctatus</i> Kunth)	Bouture de tige	4	0									
<i>(Lonchocarpus roseus</i> (Mill.) DC.)	Bouture de tige	4	0									
<i>(Margaritaria nobilis</i> L.f.)	Bouture de tige	4	0									
<i>(Pterocarpus officinalis</i> Jacq.)	Bouture de tige	4	0									
<i>(Rhizophora mangle</i> L.)	Bouture de tige	4	0									
<i>(Sloanea dentata</i> L.)	Bouture de tige	4	0									
<i>(Sterculia caribaea</i> R. Br.)	Bouture de tige	4	0									
<i>Tabebuia heterophylla</i> (DC.) Britton	Bouture de tige	20	25									
SEMI LIGNEUX												
<i>Phyllanthus mimosoides</i> Sw.	Bouture de tige	15	93	x		x					x	
<i>Piper dilatatum</i> Rich.	Bouture de tige	30	77	x		x		x	x	x	x	
<i>Piper dussii</i> C. DC.	Bouture de tige	25	52	x		x		x	x	x		
LÉGUMINEUSES LIGNEUSES												
<i>Inga ingoides</i> (Rich.) Willd.	Graine et plantule	33	97	x	x							
<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	Graine et plantule	32	97	x	x							
<i>Lonchocarpus heptaphyllus</i> (Poir.) DC.	Graine et plantule	41	88	x	x							
<i>Lonchocarpus roseus</i> (Mill.) DC.	Graine et plantule	19	95	x	x							
<i>Pterocarpus officinalis</i> Jacq.	Graine et plantule	27	92	x	x							

Tableau 2 (suite) – Compatibilité des espèces sélectionnées avec les techniques de génie végétal.

Espèces par type biologique, matériel végétal et effectif considérés dans les expérimentations, taux de reprise et compatibilité des espèces avec les principales techniques de génie végétal. En gras sont identifiées les espèces macrophytes. Entre parenthèses sont indiquées les espèces ligneuses ayant fait l'objet d'un test de bouturage préalable sur un petit nombre de répétitions, mais n'ayant montré aucun signe de survie des boutures.

	Matériel végétal	N	Taux de survie en condition expérimentales (%)	Lit de plants et plançons	Fascine morte ensemencée	Bouture	Pieu vivant	Fascine	Couche de branches	Matelas de branches	Enrochement végétalisé	Caisson végétalisé
ARBRISSEAUX												
<i>Clidemia hirta</i> (L.) D. Don	Bouture de tige	15	40	x		x						
<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) P.H.Raven	Bouture de tige	15	67			x		x				
HERBACÉES ANGIOSPERMES												
<i>Dieffenbachia seguine</i> (Jacq.) Schott	Bouture de tige	15	100	x		x		x				
<i>Commelina diffusa</i> Burm.f.	Bouture de tige	15	100								x	x
<i>Gynerium sagittatum</i> (Aubl.) P.Beauv.	Bouture de tige	15	33					x				
<i>Hymenachne amplexicaulis</i> (Rudge) Nees	Bouture de tige	15	87					x				
<i>Sphagneticola trilobata</i> (L.) Pruski	Bouture de tige	10	100								x	x
PTÉRIDOPHYTES												
<i>Acrostichum danaeifolium</i> Langsd. & Fisch.	Jeune sporophyte	13	92									
<i>Adiantum latifolium</i> Lam.	Bouture de rhizome	15	67									
<i>Lycopodium cernuum</i> L.	Bouture de tige	15	20									
<i>Thelypteris reticulata</i> (L.) Proctor	Bulbilles végétatives	16	50									

affiché le taux de survie le plus élevé, mais de faible capacités de croissance et investissement racinaire. Cette espèce se développe directement sur les bancs de graviers et possède des parties aériennes très souples qui répondent aux inondations fréquentes en se pliant sans se rompre. *Tabebuia heterophylla* et *Cordia sulcata* sont les espèces les moins performantes, et apparaissent donc peu compatibles avec la majeure partie des techniques. Une utilisation en plants enracinés serait alors à recommander pour ces espèces.

Les légumineuses ligneuses antillaises utilisables en semis

Certaines espèces de légumineuses de la famille des Fabaceae, peuvent être très pertinentes, notamment là où les sols perturbés et saturés d'eau ont tendance à être pauvres. Ces espèces sont en effet capables de fixer l'azote atmosphérique par symbiose bactérienne, complétant ainsi leur alimentation minérale. Elles pourraient alors améliorer la teneur en azote du sol et augmenter la production d'espèces voisines (Saur *et al.*, 2000).

Des tests préalables de bouturage conduits sur les légumineuses de ripisylves antillaises se sont révélés infructueux (Mira *et al.*, 2021) et leurs capacités de germination et d'établissement des plantules demeuraient méconnues. Compte tenu des fonctions écologiques assurées par ces espèces et de leur forte représentation

dans les cortèges de ripisylves, des tests de germination et l'étude de la croissance et du développement ainsi que de la sensibilité à l'herbivorie de leurs plantules, lors de leur phase d'installation, ont été menés au cours d'une expérimentation *ex situ* de trois mois (encadré 1). Toutes les espèces ciblées, *Inga ingoides*, *Inga laurina*, *Lonchocarpus heptaphyllus*, *Lonchocarpus roseus* et *Pterocarpus officinalis*, produisent des semences en grande quantité, facilement collectables sur une longue période de l'année. Leur taux de germination est supérieur à 88 % et le taux de survie des plantules à trois mois est de 100 %. Ces caractéristiques rendent aisée la production de plants en pépinière ainsi que la possibilité d'intégrer directement des semences dans des ouvrages de génie végétal (ex. : fascines mortes ensemencées). Des différences de croissance, d'investissement racinaire et de sensibilité à l'herbivorie sont néanmoins observées entre les espèces (figure 3). *Pterocarpus officinalis* montre la croissance la plus rapide, avec un investissement aussi important dans sa biomasse aérienne que dans sa biomasse racinaire. *Inga laurina* montre une croissance rapide et un investissement plus important dans sa biomasse racinaire que dans sa biomasse aérienne. Ces deux espèces présentent les performances les plus prometteuses pour le génie végétal. *Lonchocarpus roseus* montre une croissance moins rapide, avec un plus faible investissement dans son système racinaire que dans ses parties aériennes. Cette espèce strictement ripicole est

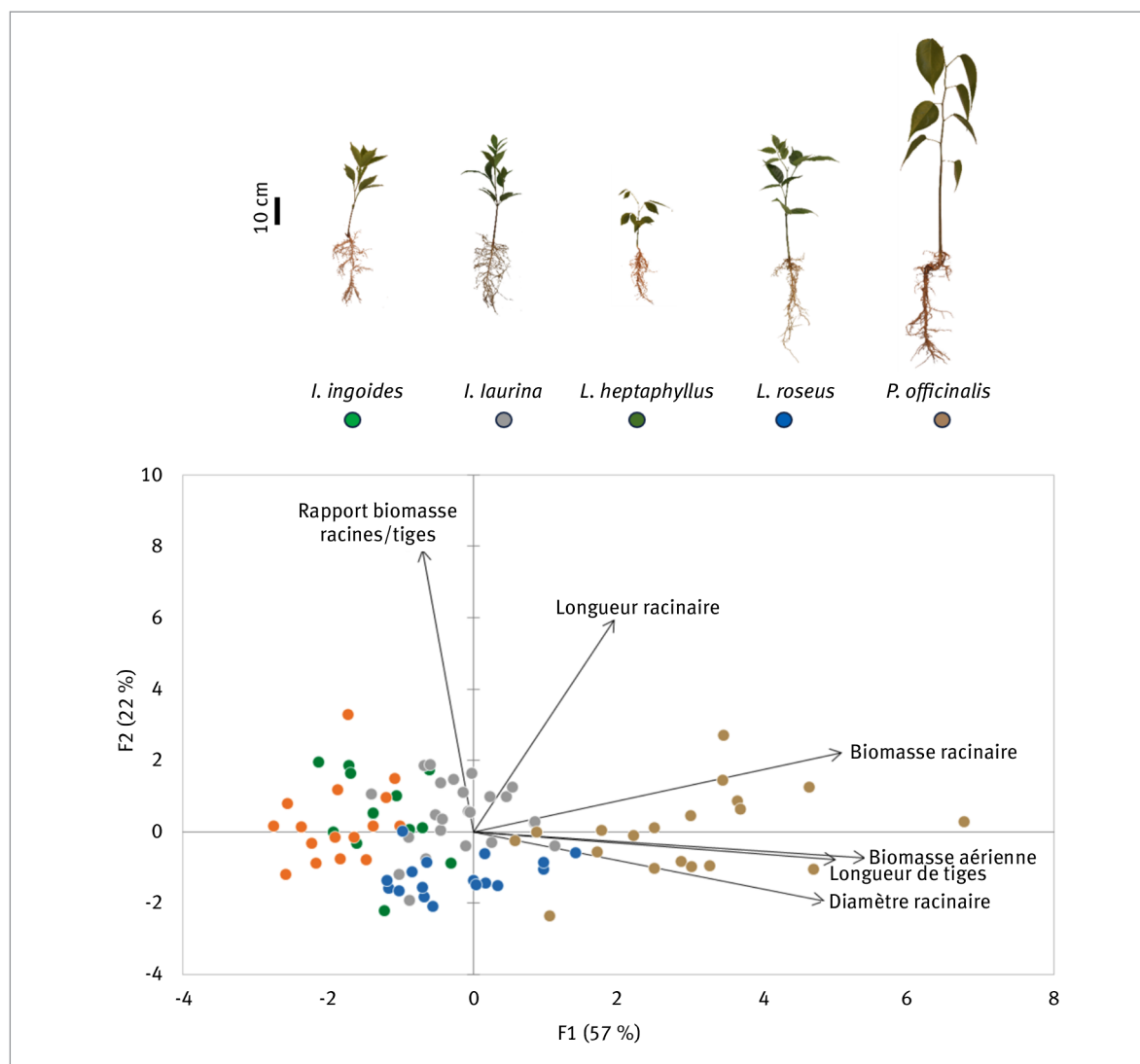
cependant en danger critique d'extinction en Guadeloupe et ne persiste que dans deux stations naturelles fortement dégradées. Elle pourrait donc voir ses populations sauvegardées et étendues à travers une utilisation dans les ouvrages de génie végétal. *Inga ingoides* et *Lonchocarpus heptaphyllus* présentent la croissance la moins rapide avec un investissement dans le système racinaire plus limité et *Lonchocarpus heptaphyllus* apparaît plus sensible à l'herbivorie que les autres espèces. Ces deux espèces restent néanmoins compatibles avec une utilisation en génie végétal et permettraient d'accroître la diversité sur les ouvrages.

Malgré ces différences interspécifiques permettant d'identifier les précautions à prendre concernant la production de plants de certaines espèces, l'utilisation de ces cinq espèces de légumineuses ciblées en génie végétal paraît pertinente.

Les herbacées, arbrisseaux et Ptéridophytes

Toutes les espèces d'herbacées sélectionnées devraient s'avérer utiles dans les projets de génie végétal en raison de leurs capacités de multiplication végétative, de leur croissance et développement racinaire rapides. Elles sont adaptées à un large éventail de conditions écologiques. Les espèces herbacées les plus performantes, les plantes couvre-sol (*Commelina diffusa* et *Sphagneticola trilobata*) ainsi que *Clidemia hirta* présentent un grand potentiel pour un établissement rapide, nécessaire à la stabilisation des pentes, à la végétalisation de gabions et d'enrochements ou pour contrôler les invasions d'espèces exotiques pendant l'installation de la végétation ligneuse. Les macrophytes (espèces à racines peu profondes qui poussent à la limite du niveau moyen de l'eau telles que *Hymenachne amplexicaulis*, *Ludwigia octovalvis*, *Gynerium sagittatum* et *Dieffenbachia seguine*)

Figure 6 – Morphologie et caractéristiques biotechniques des plantules de cinq espèces ligneuses légumineuses. Photographies de plantules excavées à trois mois. L'analyse en composante principale a été conduite sur six caractéristiques biotechniques d'intérêt pour le génie végétal sur quatre-vingt-treize plantules des cinq espèces cibles.



combinent un certain nombre de caractéristiques souhaitables pour les fascines et les banquettes de macrophytes. En revanche, les ptéridophytes, hormis *Acrostichum aureum* dont l'amplitude écologique naturelle se limite aux zones saumâtres, ont présenté un moindre survie et un développement lent. Ces espèces, composantes importantes des ripisylves antillaises, nécessitent davantage de soins (phase de multiplication préalable en pépinière) et demanderaient des expérimentations complémentaires pour leur intégration dans les ouvrages. Les ptéridophytes demandent en effet une attention particulière en Guadeloupe de par leur large présence et leur grande diversité sur le territoire.

Conclusion

Peu d'expériences sont recensées dans le domaine du génie végétal en Amérique tropicale, et encore moins dans les Antilles. De même, peu de connaissances sur les potentialités d'utilisation d'espèces indigènes en génie végétal sont disponibles. Les premiers résultats présentés ici concernant les espèces indigènes antillaises, montrent leur important potentiel pour une utilisation en génie végétal. Une méthode adéquate permet de fournir des indices pour composer les mélanges les plus performants d'espèces adaptées au génie végétal. Ces indices ont été obtenus à partir d'expérimentations menées *ex situ* et

nécessitent donc d'être complétés par des expérimentations menées *in situ* avec de réelles conditions de terrain et un suivi effectué sur une période plus longue. Les espèces étudiées sont, ou vont être, utilisées en Guadeloupe, dans le cadre de projets déjà mis en œuvre ou planifiés. Ces projets incluent, un suivi sur deux à cinq ans de la survie et du développement des plantes. ■

Encadré ③ – En savoir plus...

Mira, E., Rousteau, A., Tournebize, R., Robert, M., & Evette, A. (2023). Pteridophytes, angiosperms herbs and shrubs: what cocktail for rapid ground cover for soil and water bioengineering in the Caribbean?. *Ecological Engineering*, vol. 196, 107106.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107106>

Mira, E., Rousteau, A., Tournebize, R., Robert, M., & Evette, A. (2022). Evaluating the suitability of Neotropical trees and shrubs for soil and water bioengineering: survival and growth of cuttings from ten Caribbean species. *Ecological Engineering*, 185, 106808.

Mira, E., Rousteau, A., Tournebize, R., Labbouz, L., Robert, M., & Evette, A. (2022). Using legume trees for soil bioengineering on Caribbean riverbanks for the conservation and restoration of riparian forests. *Sustainability*, 14(7), 3709.

Site internet du projet « Protéger » :

<https://genie-vegetal-caraibe.org/>

RÉFÉRENCES

- Bohanec, M., Džeroski, S., Žnidaršič, M., Messéan, A., Scatista, S., & Wesseler, J. (2004). Multi-attribute modelling of economic and ecological impacts of cropping systems. *Informatica* 28, 387-392.
- Bohanec, M. (2008). *DEXi: Program for multi-attribute decision making User's manual*. Ljubljana, Slovenia: Institut Jozef Stefan.
- Cavallé, P., Ducasse, L., Breton, V., Dommangeat, F., Tabacchi, E., & Evette, A. (2015). Functional and taxonomic plant diversity for riverbank protection works: bioengineering techniques close to natural banks and beyond hard engineering. *Journal Of Environmental Management*, 151, 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.09.028>
- Clark, J., & Hellin, J. (1996). *Bio-engineering of effective road maintenance in the Caribbean*. Natural Resources Institute, Chatham, UK.
- Cohen-Shacham, E., Waters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (Eds.) (2016). *Nature Based Solutions to Address Global Societal Challenges*. IUCN.
- Fournet, J. (2002). *Flore illustrée des phanérogames de Guadeloupe et de Martinique*. Cirad.
- Maxwald, M., Crocetti, C., Ferrari, R., Petrone, A., Rauch, H. P., & Preti, F. (2020). Soil and water bioengineering applications in Central and South America: A transferability analysis. *Sustainability*, 12(24), 10505. <https://doi.org/10.3390/su122410505>
- Mira, E. (2019). *Protéger : bouturage des espèces cibles : synthèse bibliographique*. INRAE, PNG, UA.
- Mira, E., Evette, A., Tournebize, R., Labbouz, L., Robert, M., & Rousteau, A. (2021). Quelles espèces utiliser pour le génie végétal aux Antilles ? *Sciences Eaux & Territoires*, (Articles hors-série 2021), 1-9. <https://doi.org/10.14758/set-revue.2021.HS.04>
- Norris, J. E., Stokes, A., Mickovski, S. B., Cammeraat, E., Van Beek, R., Nicoll, B. C., & Achim, A. (Eds.). (2008). *Slope stability and erosion control: ecotechnological solutions*. Springer Science & Business Media.
- Popoff, N., Jaunatre, R., Le Bouteiller, C., Paillet, Y., Favier, G., Buisson, M., Meyer, C., Dedonder, E., Evette, A., (2021). Optimization of restoration techniques: In-situ transplantation experiment of an endangered clonal plant species (*Typha minima* Hoppe). *Ecological engineering*, 160, 106130. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106130>
- Pohl, M., Alig, D., Körner, C., & Rixen, C. (2009). Higher plant diversity enhances soil stability in disturbed alpine ecosystems. *Plant and Soil*, 324, 91-102.
- Robert, M., Evette, A., Gayot, M., Procopio, L., Bernus, J., Rousteau, A., Imbert, D., & Labbouz, L. (2022). Typologie des ripisylves des rivières de Guadeloupe, un premier pas vers le développement de techniques de génie végétal avec des espèces locales. *Sciences Eaux & Territoires*, (39), 7-14. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2022.39.7060>
- Rollet, B. (2010). Description des espèces. Dans *Arbres des Petites Antilles*, tome 2. ONF.
- Ramos Santana, R., (2003). Potential of Trees, Grasses, and Turf Legumes for Restoring Eroded Soils?. *Soil Science and Plant Analysis*, 34(15-16), 2149-2162.
- Rousteau, A., Portecop, J., & Rollet, B. (1996). *Carte Écologique de la Guadeloupe*. ONF, UAG, PNG, CGG.
- Saur, E., Carcelle, S., Guezennec, S., & Rousteau, A. (2000). Nodulation of legume species in wetlands of Guadeloupe (Lesser Antilles). *Wetlands*, 20(4), 730-734.
- Schichtle, H. M., & Stern, R. (1996). *Water Bioengineering Techniques for Watercourse, Bank and Shoreline Protection*. Blackwell Science.
- Stokes, A., Atger, C., Bengough, A. G., Fourcaud, T., & Sidle, R. C. (2009). Desirable plant root traits for protecting natural and engineered slopes against landslides. *Plant and soil*, 324, 1-30.
- Suarez-Diaz, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Univerisdad Industrial de Santander, Libreria UIS.
- Tisserant, M., Bourgeois, B., González, E., Evette, A., & Poulin, M. (2021). Controlling erosion while fostering plant biodiversity: A comparison of riverbank stabilization techniques. *Ecological Engineering*, 172, 106387.
- Union internationale pour la conservation de la nature. (2019). *Liste Rouge de la Flore Vasculaire de Guadeloupe*. IUCN.