

A dense mangrove forest with numerous trees and their complex root systems extending into a body of water. The scene is captured in a natural, slightly overcast light, with the water reflecting the surrounding greenery and brown roots.

CHAPITRE 4

4

**METTRE EN
ŒUVRE LE
PROJET DE
RESTAURATION**

Auteurs : Claudia AGRAZ HERNANDEZ, Julien ANDRIEU et Juliana PROSPERI

1 INTRODUCTION



Sénégal © Awa Rane Ndoye

L'objectif principal est de placer le site dégradé sur une trajectoire de récupération par rapport au système de référence, afin de restaurer la structure et la fonction de l'écosystème à court ou à moyen terme.

La restauration des forêts de mangroves peut prendre différentes formes et comprend de fait différentes phases complémentaires et souvent successives :

- la restauration passive vise à atténuer, voire éliminer si possible, les causes de la dégradation et à protéger les mangroves, en renforçant les politiques de protection, en créant des aires marines protégées et/ou en travaillant avec les acteurs de la dégradation pour réduire, voire éliminer les facteurs de cette dégradation,

- la restauration active, guidée par les éléments du diagnostic, s'appuie sur des interventions d'ingénierie répondant essentiellement à trois tendances fondamentales : la réhabilitation hydrologique pour favoriser la régénération naturelle, le reboisement et/ou, dans la plupart des cas, une combinaison des deux. L'élimination des freins à la circulation de l'eau peut parfois suffire.

Avant toute intervention importante, on vérifiera s'il ne suffit pas de privilégier la régénération naturelle et si besoin, de l'accompagner en facilitant la circulation hydrologique. La régénération naturelle se produit lorsque la mangrove présente des signes de colonisation par l'arrivée des propagules et des graines des espèces de mangrove.

2 APPROCHES PASSIVES : ATTÉNUER LES CAUSES DE DÉGRADATION

Ce guide n'a pas vocation à être exhaustif ni détaillé sur les techniques passives, notamment en ce qui concerne la lutte contre les dégradations qui sont éminemment variables d'un site à l'autre, et d'une source à l'autre de dégradation, mais il a semblé important d'en donner un aperçu.

2.1 | AMÉLIORATION DES POLITIQUES ENVIRONNEMENTALES

Protéger et restaurer ces écosystèmes nécessite une volonté politique et un véritable engagement, soutenus par une recherche et une base de données solides. Seule une approche holistique et multidisciplinaire peut permettre de relever le défi de la conservation et de la restauration des mangroves à l'échelle mondiale.

Le renforcement ou la mise à jour pertinente d'une réglementation environnementale permet d'espérer des effets positifs sur l'environnement et d'engendrer, par exemple, la restauration d'une mangrove. Aujourd'hui, certains pays d'Asie du Sud et du Sud-Est comportent un grand nombre de bassins d'aquaculture. Certains de ces pays ont des politiques assez laxistes en termes de contrôle des rejets des effluents de ces bassins dans les mangroves. Une telle pollution (aux antibiotiques notamment) engendre une dégradation de la biodiversité. Dans un tel cas, la restauration à envisager n'est pas active : il ne s'agit pas de prétendre réimplanter, dans une eau toujours polluée, les organismes marins qui ont été décimés. La restauration à envisager est d'abord passive : œuvrer, avec les décideurs,

vers une réglementation plus stricte des effluents et espérer qu'une fois la nouvelle politique mise en place, la qualité des eaux va s'améliorer et que la biodiversité aura, en elle, la résilience de reconstituer des biocénoses proches de celles perturbées par cette pollution. La politique environnementale s'adresse donc à des acteurs économiques (parfois majeurs) et la sensibilisation (cf. infra) est donc ici à envisager auprès des politiques et des entreprises.



© C. Agraz Hernández

ATTENTION :

il faut s'attaquer au bon problème, ce qui nécessite un diagnostic précis des facteurs contribuant à la dégradation de l'environnement de mangrove. Malheureusement, il est souvent difficile de se battre contre les grandes firmes agro-alimentaires qui bénéficient d'une réglementation laxiste sur la pollution. Et, parfois, le problème vient de loin en amont certaines mangroves drainent des bassins versants immenses (Amazone, Gange-

Brahmapoutre, Niger). Les mangroves sont étroitement dépendantes des apports fluviaux et sédimentaires. Améliorer la politique environnementale à l'échelle d'un bassin versant pour une mangrove peut inclure de repenser, à cette échelle, un système d'irrigation ou un système de barrage à l'amont. Mais cela ouvrira très probablement des questions de conflits d'intérêts. L'approche des contrats de rivière en France est d'intérêt.

2.2 | CRÉATION D'UNE ZONE DE PROTECTION ET/OU DE MESURES DE GESTION



Etude de la mangrove (au Sénégal) © DR

Un cas particulier d'amélioration des politiques environnementales est la création d'une aire protégée. « Aire protégée » est un terme générique regroupant un ensemble d'outils variés dans leurs objectifs et leurs modes de gouvernances. C'est un outil qui a la force et la faiblesse d'être local et territorial. Il est d'une grande efficacité quand il s'agit de protéger localement un milieu contre un facteur de dégradation local que l'on souhaite interdire (donc, souvent un usage). Néanmoins, d'une part, interdire des usages mérite de la pondération, de la négociation voire de la compensation ; d'autre part, interdire par un nouveau statut d'aire protégée des usages de la

forêt par les communautés locales n'est pas le bon outil si le principal problème est la pollution charriée par la rivière. Là encore, le diagnostic des facteurs et acteurs de la dégradation en cause est essentiel.

Si l'outil est le bon, d'autres questions se posent en deuxième phase de diagnostic : où (et pourquoi ici) ? Quelle taille ? Quel zonage ?

- Une très petite aire protégée (même strictement protégée) encerclée d'un environnement dégradé est rarement efficace. Surtout dans les milieux très connectés. Une petite aire marine protégée dans un océan pollué et surpeuplé aura peu d'effets. La création d'une aire protégée doit s'appuyer sur la connectivité (aux autres milieux similaires, aux autres milieux différents). Elle doit aussi s'appuyer sur la notion de solidarité écologique. En d'autres termes, les aires protégées doivent se penser en réseau.
- L'articulation de petites zones de réserve stricte, entourées de zones où les usages sont réglementés (mais possibles si durables) a fait ses preuves (Programme Man and Biosphere).
- Toutes les mesures de gestions désirées, co-construites labellisées qui permettent d'assurer les co-bénéfices de la gestion durable favorables à la nature et à la société sont, elles toujours bienvenues.

2.3 | SENSIBILISATION SUR LES PRATIQUES NON DURABLES

Si une pratique n'est pas durable, il est possible d'envisager d'ouvrir une discussion auprès de la communauté locale dont les usages dégradent ainsi leur environnement. Néanmoins, il faut éviter toute idée préconçue sur la communauté locale qui est parfois bien vite déclarée coupable. Des études scientifiques ont-elles estimé la dégradation ? Ces études ont-elles été en mesure d'estimer les facteurs et les acteurs ou agents de cette dégradation et, par là même, de démontrer qu'un usage local n'est pas durable ? Dans ce cas, la sensibilisation est un outil qui mérite d'être mobilisé.

Avant d'ouvrir la discussion avec la communauté en question, il faut cependant d'abord chercher la rationalité et l'origine de cette pratique (économique, culturelle, politique). Ensuite, une campagne d'information peut être construite pour faire la démonstration que cette pratique dégrade la mangrove mais il vaut mieux construire cette démonstration, avec des membres de la communauté locale pour être sûr de choisir les bons éléments de langage, les bons concepts.

Enfin, il faut laisser le temps aux idées d'infuser, envisager une contradiction, faire du terrain ensemble. Il faut dialoguer, ne pas imposer ses idées aux communautés. Il faut aussi avoir en tête que :

- les campagnes de « sensibilisation » ne peuvent assurer à elles seules des changements de pratiques,
- beaucoup de communautés vont écouter, montrer qu'ils sont respectueux et accueillants en acquiesçant aux messages mais cette attitude ne veut pas dire qu'ils vont changer facilement leur mode de vie.

Pour ces raisons des outils de résolution des conflits, de gestion concertée avec des « jeux sérieux », des scénarios participatifs, des modèles de types Systèmes Multi-Agents etc. sont des outils remarquables pour la co-construction.



Education à la mangrove à Cuajiniquil (Costa Rica) © M.M. Chavarría Díaz

3 APPROCHES ACTIVES : TECHNIQUES DE RESTAURATION



Formation des équipes locales pour la mise en oeuvre de la restauration (gauche : Terraba Sierpe ; droite : Bénin) © C. Agraz Hernández et J Reyes Castellanos

3.1 | DESIGN DE LA RESTAURATION ET CHOIX DES TECHNIQUES DE RESTAURATION EN FONCTION DES CONCLUSIONS DU DIAGNOSTIC

L'analyse comparative de la zone de restauration avec celles de la forêt de référence, lors du diagnostic, permet d'identifier l'ampleur et l'intensité du changement environnemental, de planifier en conséquence les mesures correctives à apporter et la sélection appropriée des espèces à reboiser :

- L'analyse de l'hydropériode aide à comprendre les changements dans le comportement hydrologique et permet de concevoir le tracé pour définir le nombre, la direction et la connexion des canaux, afin de favoriser la dilution des sels dans le sol et l'eau interstitielle, ainsi que l'oxydation de l'eau et la disponibilité des nutriments dans celle-ci.
- L'étude de la distribution topographique soutient la prise de décision sur les techniques correctives du niveau du sol (excavation ou remblaiement).
- Les analyses physico-chimiques comparatives indiquent les valeurs minimales et maximales de chaque paramètre environnemental prédominant dans la zone de référence. Cette comparaison facilite la correction des paramètres dans la zone à restaurer, en sélectionnant les techniques les plus appropriées.

SCÉNARIO DE DÉGRADATION	IMPLICATIONS POUR LA RESTAURATION
Déforestation sans modification du schéma hydrologique	Détermination et correction de la topographie ; Détermination des conditions physiques et chimiques de l'eau interstitielle ; Reboisement ; Protection des zones reboisées.
Déforestation avec modification du régime hydrologique	Construction d'un réseau de canaux artificiels ; Correction du niveau topographique ; Reforestation.
Modification du comportement hydrologique	Construction d'un réseau de canaux artificiels ; Correction du niveau topographique ; Suivi des paramètres physicochimiques de l'eau interstitielle et des variables biologiques dans la reforestation.
Modification de la topographie	Augmentation du niveau topographique due à la subsidence ou à l'érosion ; Diminution du niveau topographique par accrétion.
Salinisation et anoxie	Construction d'un réseau de canaux artificiels ; Correction du niveau topographique.
Eutrophisation due aux rejets d'eaux usées agricoles et urbaines	Atténuation des sources d'intrants (programmes de gestion environnementale et d'éducation) ; Reboisement d'espèces ayant une plus grande capacité de phytoremédiation (par exemple <i>Laguncularia racemosa</i>) ; Correction du comportement hydropériodique (passages d'eau).
Invasion d'espèces	Suppression de la végétation invasive ; Correction du niveau du sol ; Restauration du comportement hydrologique.
Construction de routes et d'autoroutes	Installation de buses permettant le passage de la faune, assurant le libre passage des sédiments et prévenant les freins au passage de l'eau. Autant de buses que nécessaires devront être considérés pour restaurer le comportement hydrologique et la dynamique des sédiments.

Tableau 5. Scénarios de dégradation des sites de mangrove et implications pour la restauration écologique (après diagnostic et suivi des paramètres physicochimiques de l'eau interstitielle et des variables biologiques dans la reforestation dans tous les cas)



© C. Agraz Hernández



Creusement des canaux à Ouidah, Bénin © C. Agraz Hernández

3.2 | RÉHABILITATION HYDROLOGIQUE

La réhabilitation hydrologique nécessite de construire (et parfois de détruire) des canaux artificiels, des ponts, de draguer les canaux, de construire des lagunes artificielles combinées à des canaux artificiels ou une combinaison de toutes ces mesures, pour réhabiliter la dynamique de circulation des eaux. L'objectif est de réduire les conditions anoxiques, ainsi que les concentrations élevées de sels dans les sédiments et le temps de résidence de l'eau. Il s'agit d'un aspect fondamental, car le comportement hydrologique tend à garantir le succès de la restauration de la structure et de la fonction du mangrove, avec des coûts moindres à long terme.

La stratégie de réhabilitation hydrologique s'appuie sur les éléments du diagnostic. Par exemple :

1. Forte salinité, faible potentiel d'oxydo-réduction et temps de résidence élevé de l'eau interstitielle : nécessité d'améliorer la circulation de l'eau en construisant des

RÉGÉNÉRATION NATURELLE (ASSITÉE)

Dans le cas où existe une forêt de mangrove en bon état de santé et une bonne disponibilité de propagules, adjacente à la zone de restauration, on considère qu'il suffit de procéder à la réhabilitation hydrologique pour rétablir la mangrove. Cela induira une colonisation naturelle, sans qu'il soit nécessaire de procéder à un reboisement, sachant que le rétablissement de la couverture naturelle sera plus lent.

canaux ou en mettant en place des systèmes de drainage pour réduire la salinité, améliorer les conditions d'oxygénation et favoriser la disponibilité des nutriments.

2. Présence de sulfures et d'anoxie : mesures pour améliorer l'oxygénation de l'eau, telles que la création de canaux pour augmenter l'échange entre l'eau de mer et l'eau douce, réduire l'anoxie et les composés qui inhibent les processus enzymatiques et photosynthétiques.

3. Temps de résidence élevé de l'eau : Si l'eau reste dans une zone pendant une période prolongée, cela peut contribuer à l'accumulation de sédiments et de nutriments, ainsi qu'à la formation de conditions anoxiques. Dans ce cas, des mesures doivent être prises pour améliorer la circulation de l'eau, telles que la construction de canaux ou la mise en place de systèmes de drainage pour accélérer le flux de l'eau hors de la zone.

A quel moment intervenir : Les interventions doivent de préférence être réalisées pendant les mois les plus secs, lorsque les zones de mangrove sont moins affectées par les marées et les précipitations, ce qui facilite l'excavation des sédiments. De cette manière, pendant la saison des pluies, le rinçage de la zone et la diminution de la salinité et du potentiel d'oxydoréduction, ainsi que le temps de séjour de l'eau, seront favorisés. Les stratégies et techniques de restauration seront mises en œuvre manuellement, par la construction de canaux, de berges, de ponts et d'étangs artificiels, avec l'aide des membres de la communauté locale.

Élimination des freins à la circulation de l'eau

La construction de certaines infrastructures peut empêcher ou freiner la circulation de l'eau et mettre en péril le fonctionnement d'une mangrove. Ces infrastructures sont diverses : les bassins aquacoles, les digues, les barrages anti-sel, les murets, les routes pour en citer quelques-unes. Dans certains cas et selon les dimensions des infrastructures, des brèches peuvent être creusées avec des pelles et des pioches pour éliminer les freins à la circulation d'eau.

Il est important de noter que les ponceaux (buses) ne doivent pas être utilisés comme stratégie de réhabilitation hydrologique, car ils nécessitent un entretien à mesure qu'ils s'ensavent avec le temps et qu'ils limitent la circulation de la faune. En revanche, il est conseillé de construire des petits ponts permettant la circulation d'eau.

D'une manière générale, la priorité est de récupérer le comportement hydrologique.

Drainage des canaux naturels

La réhabilitation des canaux existants (dragage, désensablement) est recommandée car ils indiquent le comportement des courants dans le système hydrologique, en témoigne la forme des canaux qui suivent les estuaires, les méandres ou les canaux naturels, que l'on peut repérer par des analyses photographiques par drones notamment et des vérifications sur le terrain.

Les embouchures des canaux doivent être orientées vers des zones protégées des vents forts et des vagues afin d'éviter qu'elles ne soient obstruées, qu'elles n'inondent ou qu'elles n'ensablent la zone de reboisement.

Le mouvement hydrologique naturel peut être optimisé ou renforcé par de nouveaux canaux artificiels interconnectés afin d'augmenter le taux de récupération des conditions sédimentaires.



Dragage d'un canal © C. Agraz Hernández

Création d'un réseau de canaux

La stratégie de réhabilitation hydrologique consiste à construire un réseau de canaux interconnectés entre eux, avec la mer et la source d'eau douce, soit en ligne droite, soit avec des courbures similaires à celles des estuaires naturels.

Pour établir les stratégies de réhabilitation hydrologique, il est nécessaire de définir un canal principal en fonction de la distribution



Creusement de canaux au Costa Rica © M.M. Chavarría Díaz et C. Agraz Hernández



topographique, du type de sol, de l'emplacement des cours d'eau naturels et du stress environnemental à atténuer.

Afin d'établir une connectivité hydrologique, le canal principal sera relié à plusieurs canaux secondaires et tertiaires, en plus des canaux naturels. Il convient toujours de considérer l'hétérogénéité de la pente de sol, l'apport en eau douce, le comportement de la marée locale et le courant littoral, s'il est présent. Pour prévenir la sédimentation au fil du temps, le nombre et les dimensions des canaux sont déterminés en fonction de l'échelle du site à restaurer, de la concentration de salinité et du degré d'anoxie.

La répartition des canaux doit prendre en compte les pentes de sortie d'eau (simulation de marée basse « reflux », avec une réponse de dilution des sels, plus grande oxygénation des sédiments et de l'eau interstitielle) et d'entrée (marée haute « flux

», volume d'entrée de l'eau de la lagune et eau de mer selon l'influence de la marée). Il est essentiel de tenir compte de la direction et de l'intensité des vents en fonction de la saison.

Forme et dimensions

Elles dépendent de la configuration et de la taille du site. Par exemple, dans les projets de restauration au Costa Rica (7 ha) et au Bénin (30 ha), le canal central, ou canal principal, qui doit être le plus large, mesurait au moins 2 m de large et 1,5 m de profondeur. Les canaux secondaires et tertiaires latéraux avaient des dimensions minimales de 1 m de large et 1,5 m de profondeur. Cependant, dans une restauration beaucoup plus vaste de 517 ha au Mexique, un canal de 5 m de large, 2 m de profondeur et 4 400 m de longueur a été creusé, reliant des canaux principaux de 2 m de large et 1,5 m de profondeur, qui à leur tour se connectaient à des canaux secondaires et tertiaires de 1 m de large et 1,5 m de profondeur.



© J. Reyes Castellanos

C'est la raison pour laquelle il est essentiel de déterminer l'hydropériode avant la réhabilitation afin de bien définir la direction des canaux. L'amplitude et la fréquence de ces masses d'eau (le flux et le reflux) contrôlent l'entrée et la sortie des sédiments en évitant l'engorgement des canaux et des lagunes à long terme. Ceci est recommandé lorsqu'il s'agit principalement de sols karstiques.

Entretien des canaux artificiels

Il est essentiel de nettoyer les canaux artificiels au moins tous les 3 ans ou lors d'un événement hydrométéorologique, afin d'éviter l'engorgement causé par les événements naturels.

La permanence et la santé de la plantation dépendent du maintien de ces conditions.



Réseau de canaux à Cuajiniquil (Costa Rica) © M.M. Chavarría Díaz

3.3 | RÉCUPÉRATION DU NIVEAU MICRO-TOPOGRAPHIQUE

La restauration du niveau topographique adéquat est obtenue en excavant les parties trop hautes ou au, contraire, en remblayant les zones trop basses par rapport au niveau de la zone de référence, avec les rejets sédimentaires de la construction des canaux.

Élimination des espèces opportunistes / envahissantes

Les zones humides sont particulièrement vulnérables aux espèces envahissantes. Celles-ci ont une croissance rapide, formant des colonies denses et accumulant une grande

quantité de matière organique morte. Elles modifient généralement la structure de l'habitat en augmentant le niveau topographique par le développement de leur système racinaire et leur capacité à retenir les sédiments; elles modifient ainsi le comportement de l'hydro-période ainsi que les caractéristiques physico-chimiques de l'eau interstitielle au-delà des intervalles de tolérance des espèces indigènes de mangrove.

Elles modifient le cycle des nutriments et la productivité, et peuvent même modifier les réseaux alimentaires. Les espèces opportunistes et envahissantes, peuvent entrer en concurrence



Élimination manuelle de *Paspalum vaginatum* au Bénin (en haut à gauche) et de *A. aureum* au Costa Rica. © C. Agraz Hernández

avec les jeunes plants de palétuviers, non seulement pour les nutriments et l'espace, mais aussi pour la lumière, réduisant ainsi le nombre d'espèces indigènes.

Dans les scénarios de fortes perturbations environnementales, la productivité élevée des sols, le comportement de l'hydropériode et la dynamique des sédiments, ainsi que la concentration de salinité et les conditions hypoxiques, facilitent les invasions et accélèrent également la croissance des espèces envahissantes en nombre et en biomasse.

Au contraire, le rétablissement de bonnes conditions hydrologiques génère des intervalles physico-chimiques intolérants aux plantes envahissantes, (par exemple *Paspalum vaginatum* en Afrique ou *Acrostichum aureum* au Costa Rica), mais tolérant respectivement à l'espèce *Rhizophora racemosa* en Afrique et *R. racemosa*, *R. mangle* ou *Pelliciera rhizophorae* au Costa Rica.

L'analyse topographique des sites permet d'évaluer l'ampleur des modifications dues aux invasives par rapport à la topographie d'origine. Au fur et à mesure de l'éradication des espèces envahissantes, généralement manuellement, on observe une restauration progressive de l'hydrologie, de la dynamique des sédiments et, par conséquent, du niveau topographique.

Une fois les processus hydrosédimentaires stabilisés, le reboisement est réalisé. Il doit être effectué de manière intensive pour empêcher la recolonisation des espèces envahissantes, permettant aux espèces indigènes de récupérer leur habitat et de rétablir la biodiversité.

4 REFORESTATION

Ce guide établit les principes de mise en place des différents types de reforestation en tenant compte des critères de sélection des espèces de mangrove. L'objectif est d'augmenter la survie du couvert végétal une fois les actions de restauration terminées. Quelques critères basés sur la littérature scientifique sont présentés ci-dessous :

- sélection des espèces en fonction de la salinité,
- taille de la zone,
- type et densité de plantation/reboisement,
- collecte des semences (en fonction de la phénologie et l'état sanitaire des sources),
- création de pépinières,
- surveillance des pépinières.



Le bon moment pour le reboisement est dicté par les conditions physico-chimiques de l'eau interstitielle sur le site de restauration, après la construction des canaux artificiels, qui doivent s'approcher des conditions du site de référence.

Sélection des espèces

Les espèces doivent être sélectionnées en fonction des conditions du site (voir la section « analyses physico-chimiques »). Il faut également tenir compte des espèces prédominantes dans la forêt de référence et des forêts adjacentes. Il est nécessaire de comparer les intervalles de paramètres physiques et chimiques de l'eau interstitielle et la distribution micro topographique entre le site de référence et le site de restauration après la réhabilitation hydrologique. Lorsqu'il y a similitude de ces conditions, on peut définir les espèces appropriées à introduire. Cela permet d'assurer une colonisation naturelle et un flux génétique dans la population restaurée (McKee et al., 2007).

Taille de la zone à reboiser

Il est essentiel de déterminer si la zone est suffisamment grande pour permettre la dispersion des graines et la connectivité écologique entre les habitats (Lewis, 2005).



Fleurs et fruits d'*Avicennia marina*. © J. Prospero

La taille de la zone à reboiser est très variable, dépendante des techniques de restaurations et du rétablissement de la connectivité. Des restaurations pilotes ont été développées au Costa Rica et au Bénin en vue de mettre au point des techniques innovantes et adaptées à différentes situations de dégradation. Dans nos sites pilote, la superficie reboisée au Costa Rica (Terraba Sierpe) a été de 6 hectares, et au Bénin (Ouidah) elle couvrirait 30 hectares. Le passage à grande échelle est ensuite envisageable, comme par exemple les restaurations effectuées au Mexique dans l'état de Campeche, où les superficies peuvent aller de 1800 à 3000 hectares.

4.1 | COLLECTE DES SEMENCES/PROPAGULES/PLANTULES

Sur la base du diagnostic environnemental et sur la phénologie des espèces des forêts de mangroves en bon état adjacentes au site à restaurer, il convient de déterminer la période de l'année pour la collecte et la quantité de propagules disponibles.

Il est essentiel de ne récolter que des propagules matures. Une collecte correcte implique de grimper aux arbres et secouer les branches de manière à ce que seules les propagules matures tombent, prêtes à être plantées.

Cela évite de couper inutilement les propagules vertes. S'il n'est pas possible de grimper à l'arbre et qu'il est nécessaire de les collecter autrement, il est essentiel de choisir des propagules/fruits présentant les caractéristiques suivantes :

- **Couleur** : chez *Rhizophora* la couleur du collier d'abscission (où la plantule se détache du fruit) est un bon indicateur de maturité, rouge chez *R. apiculata*, jaune chez *R. mucronata* et verdâtre chez *R. stylosa* ; fruits écaillés marron qui éclatent à maturité chez *Conocarpus* et fruit vert jaunâtre chez *Avicennia marina* ;
- **Taille** : si la collecte se fait sur les branches, sélectionner les propagules les plus grandes. En particulier, chez les *Rhizophora*, le fruit se détache facilement. Selon Rabinowitz (1978), la taille des propagules détermine leur viabilité, plus elles sont grandes, plus elles sont viables ;
- **Consistance** : une propagule ferme est un signe de maturité et de bonne santé ;
- **Autres facteurs** : Il faut exclure les propagules endommagées par des insectes, des crustacés ou d'autres organismes.

Le stockage des propagules

Les propagules de *Rhizophora* et *Laguncularia* peuvent être conservées dans des conditions humides pendant 20 jours au maximum. Pendant cette période, les propagules conservent leur



Germination d'*Avicennia germinans*.
© J. Prosperi

viabilité. Pour les espèces d'*Avicennia*, il a été démontré qu'elles sont plus enclines à se décomposer sur de courtes périodes en raison de leurs propriétés nutritionnelles, ce qui les rend plus difficiles à conserver, avec des taux de mortalité observés allant de 10 % à 70 %. Il est donc difficile de déterminer une méthode ou une période de stockage efficace qui ne compromette pas la viabilité des propagules.

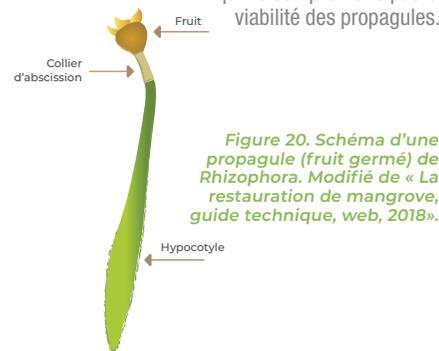


Figure 20. Schéma d'une propagule (fruit germé) de *Rhizophora*. Modifié de « La restauration de mangrove, guide technique, web, 2018 ».

Extraction des jeunes plantules

La méthode utilisée est un facteur crucial pour la survie des transplantations provenant des forêts. Il est suggéré, lors de l'extraction des plantules, de considérer un diamètre d'extraction équivalent à la moitié de la hauteur totale de la plantule et à une profondeur correspondant à la même hauteur de la plantule.

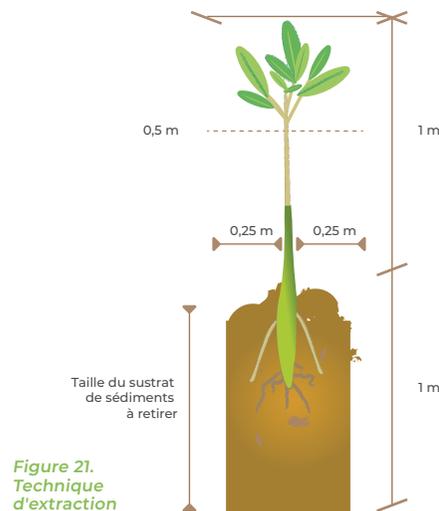


Figure 21. Technique d'extraction

4.2 | TYPES DE REBOISEMENT

Pour tout type de reboisement, consultez le paragraphe « Diagnostic environnemental » pour avoir des informations sur la sélection des espèces, le moment de la collecte des semis et celui du reboisement.

Semis directs (*in situ*) : il peut être réalisé à partir de propagules matures prélevées directement sur l'arbre ou fraîchement tombés. Direct par "voleo" pour *Laguncularia*, *Avicennia* et *Conocarpus*. Chez *Rhizophora*, les propagules sont plantées verticalement jusqu'à une profondeur maximale de ¼ de la longueur totale de la propagule. Ceci est réalisé lorsqu'il y a suffisamment de propagules saines et matures pour réaliser le reboisement.

Plantules des forêts adjacentes : Lorsqu'il n'y a pas suffisamment de propagules saines ou en quantité suffisante, les plantes sont prélevées

dans une forêt de mangroves précédemment diagnostiquée comme un site en bon état, où 50 % des plantules peuvent être prélevées. En général, on estime que entre 10 % et 30 % des plantules de sous-bois survivent pour devenir des arbres adultes dans une forêt mature. De sorte que l'extraction n'altère pas la régénération naturelle de cette forêt.

Transplantation de semis provenant d'une pépinière : Cette option implique l'établissement d'un site de stockage (transitoire ou permanent) des propagules et des semis afin de fournir du matériel végétal pour les travaux de reboisement. Cette option peut avoir un impact positif sur le taux de survie des plantations. Elle peut également être nécessaire lors de reboisements à grande échelle et à long terme.

4.3 | DENSITÉ DE REBOISEMENT



Sénégal © Awa Rane Ndoye

Les critères de définition de la densité de reboisement par hectare dépendront du type physiologique de la forêt de référence. L'objectif sera d'atteindre une densité similaire à celle de la forêt de référence à la maturité des arbres plantés. Il convient de tenir compte du nombre de propagules nécessaires, de la taille de la zone à reboiser, de l'espacement entre les plants, en fonction des caractéristiques environnementales dominantes et du moment où le reboisement doit

être effectué. Ci-dessous, une proposition pour définir le nombre de plants à reboiser sur une surface donnée (1 ha) selon les critères d'Agraz Hernandez et al. (2007).

4.4 | LES PÉPINIÈRES

Création des pépinières

La création de pépinières de mangrove répond à la nécessité de produire des plants présentant des caractéristiques homogènes en termes de vigueur et de santé. Les plants produits dans ces conditions ont tendance à présenter des niveaux de stress faibles, des taux de résistance et des taux de croissance élevés, tout en garantissant la disponibilité du matériel tout au long de l'année et au moindre coût.

Ceci est d'autant plus important que les périodes de reproduction diffèrent d'une espèce de mangrove à l'autre. Par exemple, *Rhizophora mangle* et *Rhizophora harrisonii* sont les seules à se reproduire tout au long de l'année, tandis qu'*Avicennia germinans*, *Avicennia bicolor*, *Laguncularia racemosa* et *Conocarpus erectus* ne se reproduisent que pendant l'été et la saison des pluies (selon la région), lorsque les conditions de salinité de l'eau interstitielle diminuent par suite de la dilution produite par les pluies.



Pépinière à Laguna de Términos, Mexique
© Juan Osti Saenz

Pépinière en Asie
© Julien Andrieu

Un autre aspect non moins important de l'utilisation des pépinières de mangrove est l'apport de bénéfices socio-économiques grâce à la formation et à l'emploi des communautés côtières ("agriculteurs de mangrove"). Ceci est important compte tenu du déclin des pêcheries en raison de multiples impacts anthropogéniques et des événements naturels.

Les paramètres physiques et chimiques considérés comme prioritaires pour l'établissement d'une pépinière de plantules de mangrove sont : la disponibilité d'eau douce et saumâtre (un fleuve ou une rivière, un estuaire ou la mer, des lagunes ou de l'eau potable doivent se trouver à proximité), la topographie du terrain (cela dépendra du type de pépinière à établir, qu'elle soit *in situ*, sur le continent, temporaire ou permanente), la vitesse et la direction du vent au cours de l'année et la distance par rapport aux agents nuisibles externes. Les conditions climatiques du site sont également importantes, pour éviter la mauvaise qualité des propagules.

Technique de plantation (en pépinière ou *in situ*) : la profondeur de plantation varie en fonction de la morphologie et de la taille de chaque espèce. Chez *Rhizophora*, il est recommandé de planter à une profondeur de 5-7 cm, en introduisant la propagule. Chez *Avicennia*, la profondeur appropriée est de 3 à 4 cm et pour *Laguncularia*, à une profondeur de 0,5 cm.



SUBSTRAT POUR LA PRODUCTION DE PLANTS EN PÉPINIÈRE

Les engrais sont des substances d'origine naturelle ou synthétique qui sont ajoutées au substrat ou à la plante pour fournir les nutriments nécessaires à son développement optimal. Les pesticides sont un autre élément important car ils peuvent être organiques (production biologique) ou synthétiques. Les pesticides organiques ne présentent aucun risque pour l'environnement ou leur risque est minimal en raison de leur décomposition, de sorte que leur résidualité est très faible. Ils permettent un contrôle efficace et de faibles concentrations de produit sont nécessaires. Ils sont compatibles avec les systèmes de lutte intégrée contre les ravageurs en raison de leur sélectivité (Fanjul L. et al., 2006). Les pesticides organiques comprennent des régulateurs de croissance des ravageurs et des micro-organismes pathogènes : des produits de fermentation ou des dérivés végétal et microbiens, des phéromones et des produits sémi-chimiques, des microbes vivants tels que des champignons et des bactéries myco-entomopathogènes, des stimulateurs de

croissance des plantes et même des nématodes bénéfiques, des huiles, des savons, du soufre et également des produits synthétiques avec des chimies novatrices. La manière dont un produit est formulé ou appliqué peut également faire entrer un pesticide dans la catégorie des produits organiques Fanjul L. et al. (2006). Il est donc recommandé d'utiliser un mélange de produits organiques comme substrat pour les pépinières transitoires et permanentes.

Il est conseillé d'utiliser des sortes de boîtes en polyéthylène vierge, de couleur noire pour éviter que le système racinaire ne soit endommagé par les rayons du soleil. Les dimensions recommandées pour ces boîtes sont de 50 cm de long sur 30 cm de large et un volume de 230 ml avec des guides internes pour diriger le système racinaire vers le bas. Les plants doivent rester en pépinière pendant quatre mois au maximum. Il est important de réutiliser les sacs, et lorsqu'ils ne sont plus fonctionnels, les remettre aux autorités pour une destination finale appropriée.

Suivi des pépinières et des jeunes plants

Afin d'établir le succès du reboisement, il est nécessaire d'identifier, de quantifier la survie, la croissance, les causes de mortalité, le nombre de feuilles produites. Il convient également d'enregistrer les attaques de ravageurs ou d'herbivores sur les plantules. La surveillance des semis sur le terrain doit se faire mensuellement.

Transplantation de semis provenant des forêts avec séjours temporaires en pépinière : les semis extraits des forêts ont un séjour temporaire en pépinière avant d'être transplantés. Ce séjour permet de restaurer les systèmes racinaires endommagés lors de l'extraction et d'améliorer la santé des semis. Ceci se traduit dans leur survie, réduisant ainsi la phase de stress liée à la transplantation dans les parcelles de reboisement.

Transplantation d'arbres : la transplantation de petits arbres de *R. mangle*, *A. germinans* et *L. racemosa*, âgés de plus d'un an et d'une hauteur de 25 cm à 60 cm, à une distance de 5 m les uns des autres, peut garantir un taux de survie de 65%, en utilisant la technique d'extraction décrite dans cette section. Il est important d'injecter à marée basse (*in situ*) un reconstituant du système racinaire chaque semaine pendant deux mois avant d'être transplantés sur le site de restauration. À cette fin, les produits organiques contenant des nutriments naturels, des protéines, des hydrates de carbone, des acides humiques et des rhizobactéries qui favorisent une croissance vigoureuse et saine des plantes sont généralement efficaces. Agraz Hernández et al. (2004) ont fait état d'avantages importants liés à l'utilisation de ce type de produits en plus d'autres produits de biorestauration tels que certaines espèces de Yucca, les algues marines (*Ascophyllum nodosum*), les composés azotés, l'acide phosphorique disponible, l'oxyde de potassium soluble et les maltodextrines, ainsi que les bactéries du genre *Bacillus* et *Paenibacillus*.



Reboisement à Terraba Sierpe © C. Agraz Hernández

Il est également conseillé de tailler 2/3 de la biomasse foliaire totale avant la transplantation. Cette pratique améliore le rapport racine/feuillage, réduisant ainsi un déséquilibre hydrique pendant la période d'adaptation à la transplantation. La taille des *Rhizophora*, *Avicennia* et *Laguncularia*, doit être effectuée avec précaution, en se limitant aux brindilles, elle ne doit pas être effectuée sur les pousses ou les branches maitresses (avec les plus gros diamètre). Il est important de noter que le coût du reboisement par cette méthode est très élevé et que le taux de réussite est plus faible qu'avec l'utilisation de propagules.



© C. Agraz Hernández

La densité de plantules ou propagules proposée ici est basée sur les résultats obtenus au Mexique sans espèces envahissantes, où la survie est élevée au début de la croissance. Ensuite, la compétition pour l'espace naturel induit une mortalité. Il a été observé qu'à plus faible densité (plantes davantage espacées), la mortalité est plus élevée. D'autre part, lors de l'utilisation de jeunes plants ou de plantes plus grandes, un espacement plus important est conseillé ; plus la plante est grande, plus elle aura besoin de volume de système racinaire, il est donc nécessaire d'espacer davantage les plantes.

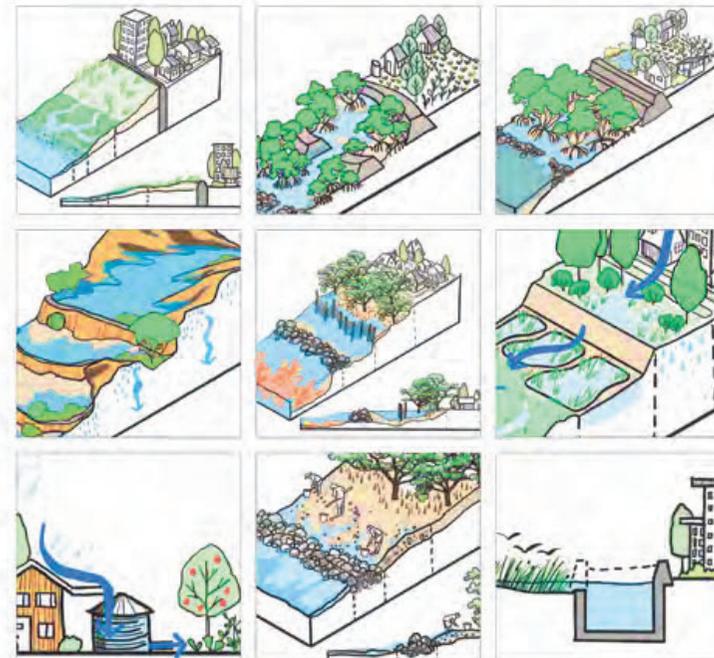
COMBINER INFRASTRUCTURES VERTES ET GRISES

Une approche originale peut aussi associer des infrastructures dites « grises » (classiques, issues de l'ingénierie) et « verte » (solutions basées sur la nature où le bon état de certains écosystèmes contribue à l'effet escompté).

Ce qui offre des avantages en matière de résilience et d'adaptation au changement climatique en combinant les avantages des deux solutions.

L'infrastructure verte et grise associe la conservation et/ou la restauration des écosystèmes à l'utilisation sélective d'approches d'ingénierie conventionnelles telles que des digues, ou des brise-lames, pour atténuer les vagues, contrôler les inondations.

Dans le cadre d'un projet FFEM développé aux Philippines et porté par Conservation International, un guide pratique pour la mise en œuvre des infrastructures vert-gris a été produit (2019) – <https://initiative-mangroves-ffem.com/philippines/>



A Practical Guide to Implementing GREEN-GRAY INFRASTRUCTURE

August 2019

CONSERVATION
INTERNATIONAL

