

LES ÉCOSYSTÈMES MARINS

GUIDE MÉTHODOLOGIQUE POUR
LA **RESTAURATION DES MANGROVES**



FONDS
FRANÇAIS POUR
L'ENVIRONNEMENT
MONDIAL

INITIATIVE
MANGROVES
DU  FONDS
FRANÇAIS POUR
L'ENVIRONNEMENT
MONDIAL



AUTEURS

Chapitre 1 : Catherine GABRIÉ (consultante) et Julien ANDRIEU (1)
Chapitre 2 : Claudia AGRAZ HERNANDEZ (2), Julien ANDRIEU et Juliana PROSPERI (3)
Chapitre 3 : Lisa MACERA (4)
Chapitre 4 : Claudia AGRAZ HERNANDEZ, Julien ANDRIEU et Juliana PROSPERI
Chapitre 5 : Marie-Christine CORMIER-SALEM (5)
Chapitre 6 : Claudia AGRAZ HERNANDEZ, Julien ANDRIEU et Marie-Christine CORMIER-SALEM
Chapitre 7 : Claudia AGRAZ HERÁNDEZ, Ebenezer HOUNDJINOÛ et Maria Martha CHAVARRÍA DÍAZ (6)

Avec la collaboration d'Issa SAKHO (7), d'Awa RANE NDOYE (8), de Jordan REYES CASTELLANOS, de Julio CHÁVEZ BARRERA et d'Adriana GREGORIO CORTES

- (1) Département de géomatique (GEOSpatial Monitoring & Information Technology) Institut français de Pondichéry (Inde)
(2) Institut EPOMEX- Université autonome de Campeche (Mexique)
(3) UMR AMAP – CIRAD, Botanique et bioinformatique de l'Architecture des Plantes – Montpellier (France)
(4) Université Côte d'Azur, Nice ; Créocéan (France)
(5) UMR PALOC "Patrimoines locaux, environnement et globalisation", IRD, MNHN Paris
(6) ONG CORDE (Bénin)
(7) UFR Sciences et Technologies de l'Université de Thiès (Dakar, Sénégal)

COORDINATION ÉDITORIALE

Catherine GABRIÉ (consultante) et Janique ETIENNE (Secrétariat du FFEM)

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ensemble des personnes interrogées pour le partage d'information et leur disponibilité.

Référence pour citation

Agraz Hernandez C., Andrieu J., Cormier-Salem MC., Gabrié C., Macera L., Prospero J., 2024. Guide méthodologique pour la restauration des mangroves. Coord. Gabrié C., Etienne J. Editions du FFEM.

Illustrations

Un remerciement spécifique à Céline Bricard pour ses aquarelles, illustrant les chapitres de ce document.

Conception graphique

Graphisme et mise en page : piknetart.fr

LES ÉCOSYSTÈMES MARINS

GUIDE MÉTHODOLOGIQUE POUR LA RESTAURATION DES MANGROVES

SOMMAIRE

PRÉAMBULE 7

Chapitre 1. POURQUOI RESTAURER LES MANGROVES ? 9

1. Les mangroves 10
2. Écologie 12
3. Diversités biologiques et culturelles, services rendus 14
4. Situation des mangroves dans le monde 17
5. La restauration des mangroves 19
6. Cadre des politiques environnementales et de restauration 21
7. Pourquoi un nouveau guide sur la restauration des mangroves? 24

Chapitre 2. COMMENT PLANIFIER UN PROJET DE RESTAURATION ? 27

1. D'une vision globale des mangroves à l'échelle du site à restaurer 28
2. Prise en considération des savoirs locaux et des attentes des communautés 30
3. Apport de la télédétection 33
4. Diagnostic écologique de terrain 38

Chapitre 3. UNE MÉTHODE D'ÉVALUATION RAPIDE DE L'ÉTAT DES MANGROVES 55

1. La méthode RAM Mangroves 57
2. Champs d'application de la méthode 62
3. Limites de la méthode 63

Chapitre 4. METTRE EN ŒUVRE LE PROJET DE RESTAURATION 65

1. Introduction 66
2. Approches passives : atténuer les causes de dégradation 67
3. Approches actives : techniques de restauration 70
4. Reforestation 77

Chapitre 5. VALORISER LA MANGROVE 85

1. Introduction 86
2. Valorisation des produits issus de la mangrove 88
3. Valorisation du patrimoine de la mangrove 94

Chapitre 6. SUIVRE ET ÉVALUER L'EFFICACITÉ DE LA RESTAURATION 101

1. Suivi du processus de restauration et évaluation de l'efficacité de la restauration 102
2. Évaluation des impacts socio-économiques 107
3. Évaluation des activités de valorisation 108

Chapitre 7. EXEMPLES DE PROJETS DE RESTAURATION 111

1. La restauration au Costa Rica 113
2. La restauration au Bénin 118

ANNEXES 121

- Annexe 1 : Principales contributions des mangroves 122
- Annexe 2 : Attributs, indicateurs et notes de la méthode RAM-Mangroves 124
- Annexe 3 : Valorisation des produits de la mangrove : quelques usages 128
- Annexe 4 : Exemples d'indicateurs d'évaluation dans le cadre de la valorisation des produits 132
- Annexe 5 : Références 135

PRÉAMBULE



Le grand nombre d'initiatives de conservation ou de restauration de mangroves, à l'heure actuelle, traduit un véritable engouement pour cet écosystème emblématique des zones côtières intertropicales.

S'il est justifié par les multiples fonctions assurées par ces forêts spécialisées des eaux saumâtres au niveau global (séquestration du carbone) et local (réduction des impacts du changement climatique, soutien à l'économie locale, etc.), cet engouement n'est pas toujours en rapport avec l'importance de leur dégradation qui s'est en moyenne nettement améliorée ces 20 dernières années (avec des contrastes importants selon les pays).

De plus, ces nombreux projets ont eu des résultats parfois limités, rendant compte de la faiblesse des diagnostics initiaux et de l'inadéquation des méthodologies mises en œuvre.

Le Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM), à l'instar des autres bailleurs de fonds, a soutenu de multiples projets dans le monde, dans le cadre de sa stratégie sur la résilience des écosystèmes aquatiques, dédiés à la protection, la gestion et la restauration des mangroves. Pour améliorer

leur efficacité et tirer des enseignements de ces différents programmes, le FFEM a également soutenu une initiative transversale de capitalisation, l'Initiative mangrove du FFEM (<https://initiative-mangroves-ffem.com/>) qui a réuni praticiens, experts et chercheurs autour des expériences de ces projets sur la restauration.

Le présent guide a été développé dans le cadre de cette plateforme, riche de la multitude d'expériences partagées à la fois sur le plan géographique et de la diversité des profils de ses membres, géographes, sociologues, ingénieurs, écologues, botanistes, etc.

Il a pour vocation d'accompagner les porteurs de projets et autres praticiens, pour une plus grande efficacité des restaurations.

Janique Etienne
Cheffe de projets
« gestion du littoral et haute mer »
au FFEM



CHAPITRE 1

1 POURQUOI RESTAURER LES MANGROVES ?

Auteurs : Catherine GABRIÉ et Julien ANDRIEU



© A. Rosenfeld

.1 LES MANGROVES

Les mangroves sont des forêts sempervirentes, présentes dans les environnements sédimentaires intertidaux, à l'interface terre-mer. Elles sont localisées sur les latitudes tropicales et subtropicales. Présentes sur le littoral de 123 pays, les mangroves se développent le long des côtes abritées, dans les lagunes peu profondes, les estuaires ou les deltas. On nomme « mangrove » à la fois l'écosystème et les espèces végétales qui le composent, les palétuviers. Deux grands domaines biogéographiques se distinguent par le nombre et le type d'espèces de palétuviers : les mangroves occidentales (littoral atlantique des continents américain et africain) et les mangroves orientales (littoraux indopacifiques), les plus diversifiées.

Au-delà de la forêt de mangrove *sensu stricto*, on considère aujourd'hui plus largement le système socio-écologique de mangrove qui compte

différents milieux formant un continuum depuis la terre ferme jusqu'à la mer. Elle comprend les prairies et sols sur-salés et nus (localement appelés « tannes » au Sénégal), les forêts de palétuviers, les vasières, les chenaux de marée, les bancs de sable et la zone d'embouchure jusqu'au front de mer. À cela s'ajoutent les éléments du paysage de mangrove construits et gérés par les populations humaines (rizières, bassins aquacoles, etc.) et tous les acteurs impliqués dans la gouvernance, aux différents niveaux d'organisation de la société.

Le dernier rapport de la FAO (FAO, 2023 et <http://www.globalmangrovetwatch.org/>) estime à 14,8 millions d'hectares (147 359 km²) la superficie totale des mangroves dans le monde en 2020, dont près de 44 % (6,48 millions d'hectares) située en Asie du Sud et du Sud-Est.

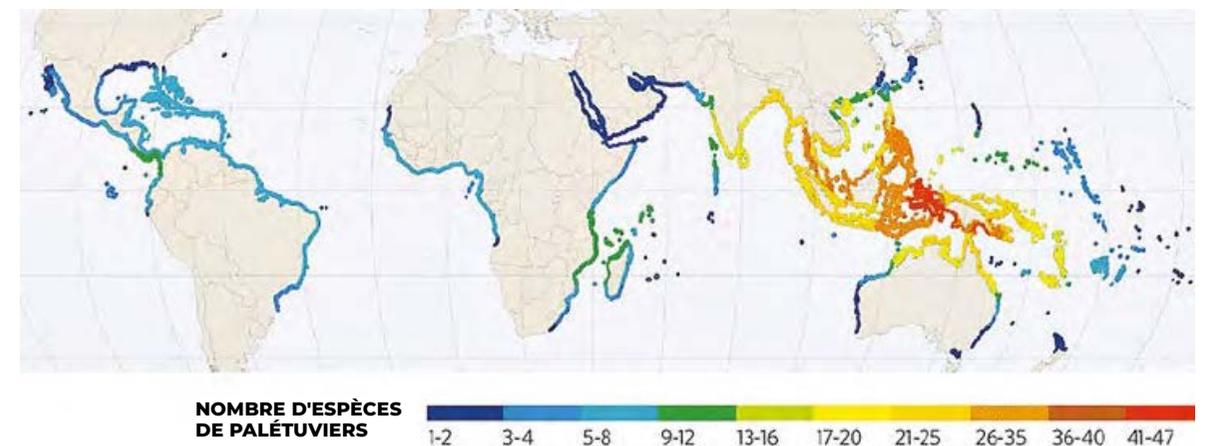


Figure 1. Carte des mangroves dans le monde et nombre d'espèces selon les régions (source : Deltares 2014)

2 ÉCOLOGIE

Les estimations du nombre de « véritables » espèces de palétuviers varient entre 50 et plus de 70. Les espèces se distinguent par des adaptations morphologiques et physiologiques uniques, qui leur permettent de croître dans des environnements salins et anoxiques telles leurs racines ou leurs feuilles qui éliminent l'excès de sel par excrétion. Les mangroves sont remarquables par la richesse de leurs systèmes racinaires. Les genres *Laguncularia*, *Avicennia*, *Sonneratia* et *Conocarpus* possèdent des pneumatophores* ; les espèces de *Rhizophora* ont des racines adventives et aériennes. Le système racinaire sert non seulement à l'ancrage et la nutrition, mais également à la respiration du système et il diffère selon les conditions environnementales (Tomlinson, 2016 ; Agraz Hernández et al, 2006).

La distribution des différents types physiologiques de mangrove et des différentes espèces qui les composent est principalement conditionnée par (i) la salinité de l'eau, surtout interstitielle et (ii) l'hydro-périodicité dans les zones intertidales, contrôlée par les cycles de marée, ainsi que par la micro-topographie. Les mangroves, qui se situent dans la zone de balancement des marées, s'adaptent au cycle des marées, à la périodicité des inondations et à leur exposition à l'air. Cet aspect est crucial pour leur distribution, leur zonation et leur succession écologique (Hogarth, 2015 ; Agraz Hernández et al, 2011)

La zonation des mangroves se manifeste comme une mosaïque qui varie suivant les interactions physiques, biologiques et chimiques qui s'établissent entre plante, substrat et eau dans une zone donnée. Chaque espèce de palétuvier tolère une certaine gamme de salinité. La distribution des espèces s'établit donc selon un gradient de salinité et de fréquence d'immersion par les marées, de la mer vers l'intérieur des terres. Par ailleurs, quelques centimètres de différence topographique détermineront la fréquence de chaque espèce et, en changeant d'échelle, leur distribution sur un espace donné (estuaire, delta, etc.).

*Pneumatophores : excroissance racinaire aérienne permettant la respiration de l'arbre

© A. Rosenfeld



La plupart des propagules de palétuviers sont de grandes voyageuses : pendant des semaines, voire plusieurs mois, elles flottent et se dispersent, entraînées par les courants de marée, et ont la capacité de coloniser des littoraux distants propices à leur installation, parfois à plusieurs centaines de kilomètres de leur lieu d'origine.

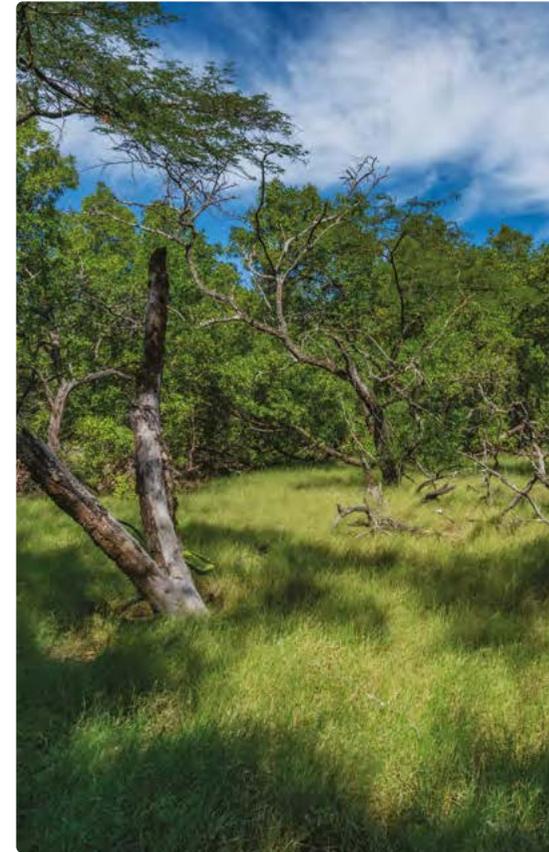
Ecosystèmes très dynamiques, les mangroves colonisent les zones sédimentaires nouvelles ou reculent rapidement à la suite d'événements naturels (déplacement des sédiments, typhons, tsunamis) ou d'activités anthropiques qui conduisent directement ou indirectement à leur dégradation. Elles sont également résilientes et capables de se régénérer après de telles perturbations mais perdent parfois leur structure et leur fonction..

Si l'on tient compte des grandes régions biogéographiques, de la diversité des hydrosystèmes (deltas, estuaires, baies, lagunes), de la diversité des marnages et de la diversité des modes de gouvernance, on se rend compte alors que chaque mangrove est unique.

POUR EN SAVOIR PLUS

Mangrove : une forêt dans la mer. Sous la direction de François Fromard, Emma Michaud, Martine Hossaert-McKey, Institut écologie et environnement (INEE) du CNRS.

Les mangroves : dossier pédagogique. Océanopolis (<https://initiative-mangroves-ffem.com/wp-content/uploads/2020/03/DOSSIER-MANGROVES-CALAMEO.pdf>)



© A. Rosenfeld

Figure 2. Des liens étroits entre les écosystèmes (source : Ifreco 2020)

LES TYPES DE MANGROVES (d'après Lugo & Snedaker, 1974)

Mangrove fluviale (riparienne), se situe sur les rives des rivières, ainsi que dans les canaux deltaïques. C'est la plus développée en raison de sa situation dans des conditions environnementales optimales. La salinité est estuarienne et les nutriments sont abondants.

Mangrove littorale, située sur les rives des lagunes, estuaires et baies. L'étendue de la forêt varie selon la géomorphologie et l'hydrologie.

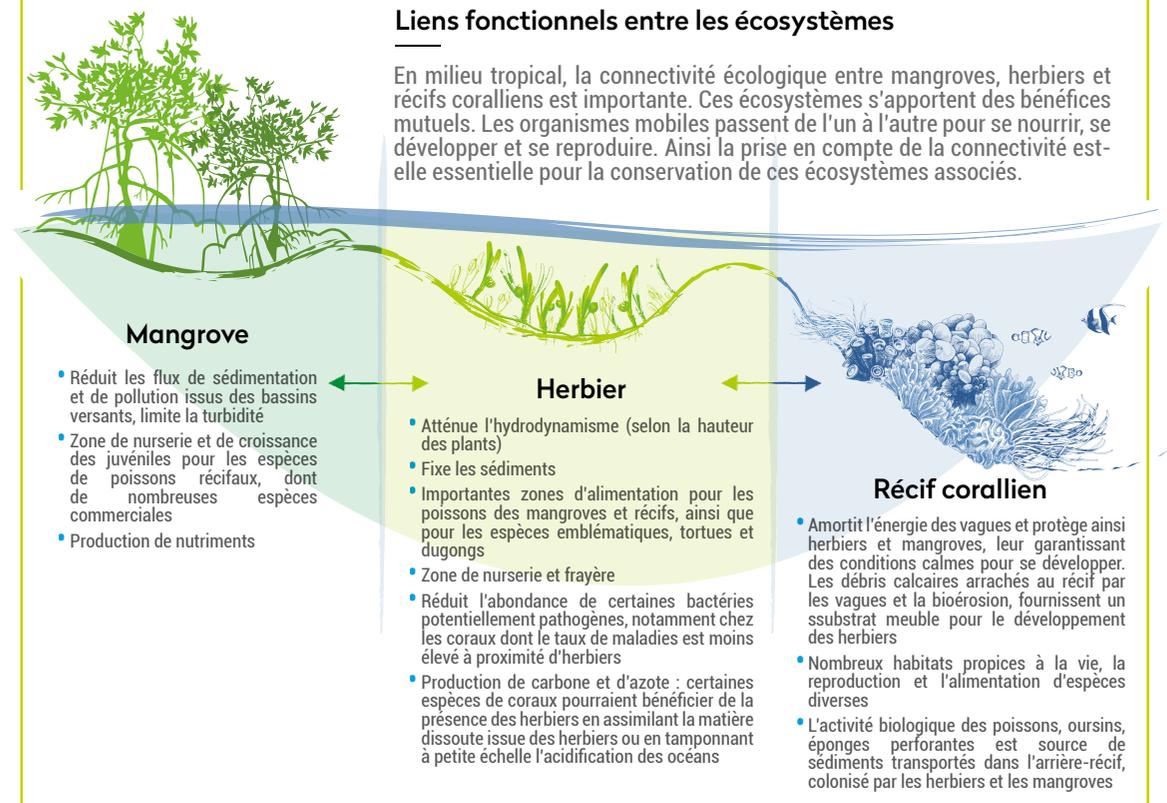
Mangrove de bassin, située en arrière des mangroves littorales ou fluviales, elle est périodiquement inondé avec moins de fréquence.

Mangrove submergée, en général monospécifique du genre *Rhizophora sp.*, elle est constamment affectée par le flux et le reflux des marées. Elle correspond à des îlots dans les canaux de marée (estuaires) et les lagunes côtières.

La mangrove arbustive, caractérisée par un faible développement structurel, conséquence de sa localisation dans des zones d'évaporation intense dans des conditions d'hypersalinité des sédiments.

Liens fonctionnels entre les écosystèmes

En milieu tropical, la connectivité écologique entre mangroves, herbiers et récifs coralliens est importante. Ces écosystèmes s'apportent des bénéfices mutuels. Les organismes mobiles passent de l'un à l'autre pour se nourrir, se développer et se reproduire. Ainsi la prise en compte de la connectivité est-elle essentielle pour la conservation de ces écosystèmes associés.



3 DIVERSITÉS BIOLOGIQUES ET CULTURELLES, SERVICES RENDUS



© V. Fakir

Les forêts de mangroves comptent parmi les écosystèmes les plus productifs du monde et renferment une diversité biologique exceptionnelle. Vitales pour des millions de personnes et pour la planète, elles fournissent des moyens de subsistance aux communautés côtières. Dans une certaine mesure, elles protègent les littoraux contre les catastrophes naturelles, et stockent le carbone, atténuant ainsi les impacts du changement climatique.

Outre leur diversité floristique, les mangroves et leurs milieux associés constituent de nombreux habitats. Ils abritent, nourrissent et protègent de nombreuses espèces : crustacés, mollusques, poissons, oiseaux, pour les plus fréquents mais aussi, mammifères (tigres, singes, ...), serpents, tortues, crocodiles... Elles sont des zones de

nurseries et de croissance pour les juvéniles de nombreuses espèces, notamment des espèces de récifs coralliens et d'herbiers souvent proches.

Elles sont également un lieu de vie essentiel pour plus de 120 millions d'humains, qui y habitent de façon permanente ou temporaire, y vivent au rythme des marées et dépendent de leurs ressources (bois, poissons et coquillages, sel, miel, ...) pour leur existence. La multiplicité des valeurs et usages associés aux mangroves est au fondement de leur adaptation aux changements environnementaux et sociaux.

La dimension socio-culturelle est également essentielle : elles sont habitées, utilisées et contrôlées au moyen de règles coutumières par les populations locales et ont souvent une dimension

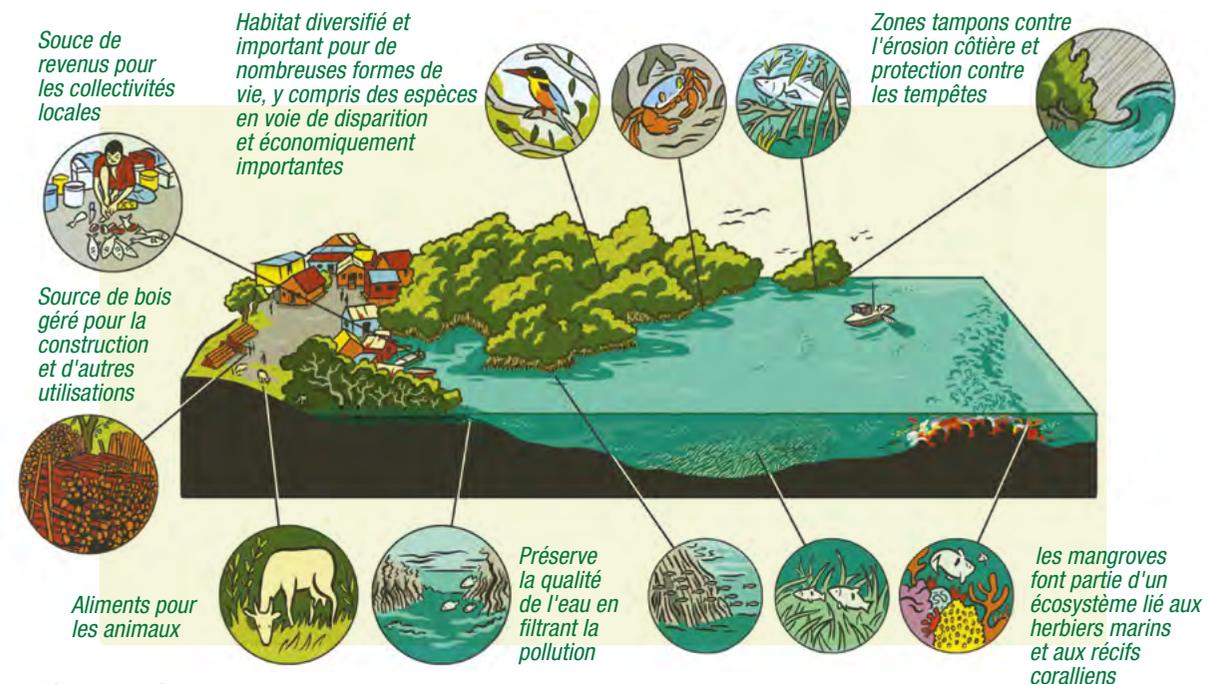


Figure 3. L'importance des mangroves pour l'homme et la nature (source Scriberia in Del Ben, 2022)

sacrée. (Annexes et voir également chapitre 4 sur la valorisation de la mangrove). Elles jouent aussi un rôle particulièrement important pour les populations les plus vulnérables qui, bien souvent, n'ont pas accès au foncier et dépendent donc totalement des mangroves, comme les femmes.

Des travaux ont montré à Mayotte que dans les secteurs végétalisés, l'atténuation de l'énergie des vagues atteint plus de 90 % contre 35 % dans les secteurs dénués de palétuviers (Jeanson et al, 2018).

IMPORTANCE DES MANGROVES POUR L'ATTÉNUATION DES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

RESTAURATION DE MANGROVE ET CARBONE BLEU (COMTE ET AL, 2023)

« De nombreuses organisations publiques et privées du Nord investissent dans des projets de carbone bleu, principalement dans le Sud, afin de compenser leurs émissions de gaz à effet de serre. Ces projets sont conçus par des "développeurs de projets", conformément aux normes internationales. Ces projets peuvent délivrer des crédits carbone après une évaluation de la quantité de carbone stockée ou des émissions évitées. Cependant, cette évaluation est souvent basée sur des méthodes et des inventaires qui manquent de rigueur et de fiabilité. La valorisation de ces crédits sur le marché volontaire du carbone est opaque et très variable : de 6 à 30 dollars par tonne de CO2eq. Ces crédits sont ensuite vendus sur les marchés internationaux et certifiés par

des tiers. En résumé, les marchés du carbone bleu impliquent une diversité d'intermédiaires du Nord global - investisseurs, développeurs de projets, auditeurs, certificateurs - avec une vision financière et parfois à court terme. Ces parties prenantes peuvent être très éloignées des besoins, de la complexité et de la résilience à long terme des écosystèmes de carbone bleu et des peuples autochtones et communautés locales qui y sont associés ».

Ces investissements conduisent à financer des projets de restauration qui, trop souvent, ne s'appuient pas sur diagnostics socio-écologiques approfondis et ne sont pas co-construits avec les communautés locales, conduisant souvent à des échecs.

Près de la moitié des émissions humaines de dioxyde de carbone sont capturées par les milieux naturels, atténuant significativement le réchauffement climatique.

Les zones humides côtières, mangroves, marais salants et herbiers marins, sont les écosystèmes qui stockent le plus de carbone (carbone bleu). Alors qu'elles ne couvrent que 0,1 % de la surface de notre planète, les mangroves stockent en effet jusqu'à 10 fois plus de carbone par hectare que les forêts terrestres, ce qui les rend essentielles à la lutte contre le changement climatique.

Car, si les palétuviers fabriquent de la matière végétale qui fixe le carbone, comme les forêts, la différence — énorme — est qu'ensuite les bactéries ne décomposent les litières que très lentement, à cause de la présence d'eau salée et du manque d'oxygène. Les sols deviennent progressivement d'immenses empilements de fragments végétaux, très riches en carbone.

La destruction de ces écosystèmes conduit donc non seulement à arrêter le stockage de carbone, mais également à restituer à l'atmosphère celui qui était incorporé dans le sol.

FAO, 2023

Les mangroves comptent parmi les écosystèmes les plus riches en carbone de la planète. Elles stockent environ 6,23 gigatonnes de carbone dans le monde entier dans leur biomasse et leurs sols, où il restera pendant des siècles si ces sols ne sont pas perturbés (Leal et Spalding, eds., 2022).

IFREMER (POLSENAERE P., 2020)

On sait que les marais salés, les mangroves ou les herbiers stockent le carbone 10 à 20 fois plus que les forêts tempérées ou boréales. Lorsque les forêts séquestrent moins de 10 g de CO₂ par mètre carré et par an, les écosystèmes côtiers en retiennent 100 à 200 g. D'après les chiffres de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), on sait par exemple que chaque année, près de 2 % des mangroves disparaissent et contribuent au relâchement de 120 millions de tonnes de CO₂ dans l'atmosphère.

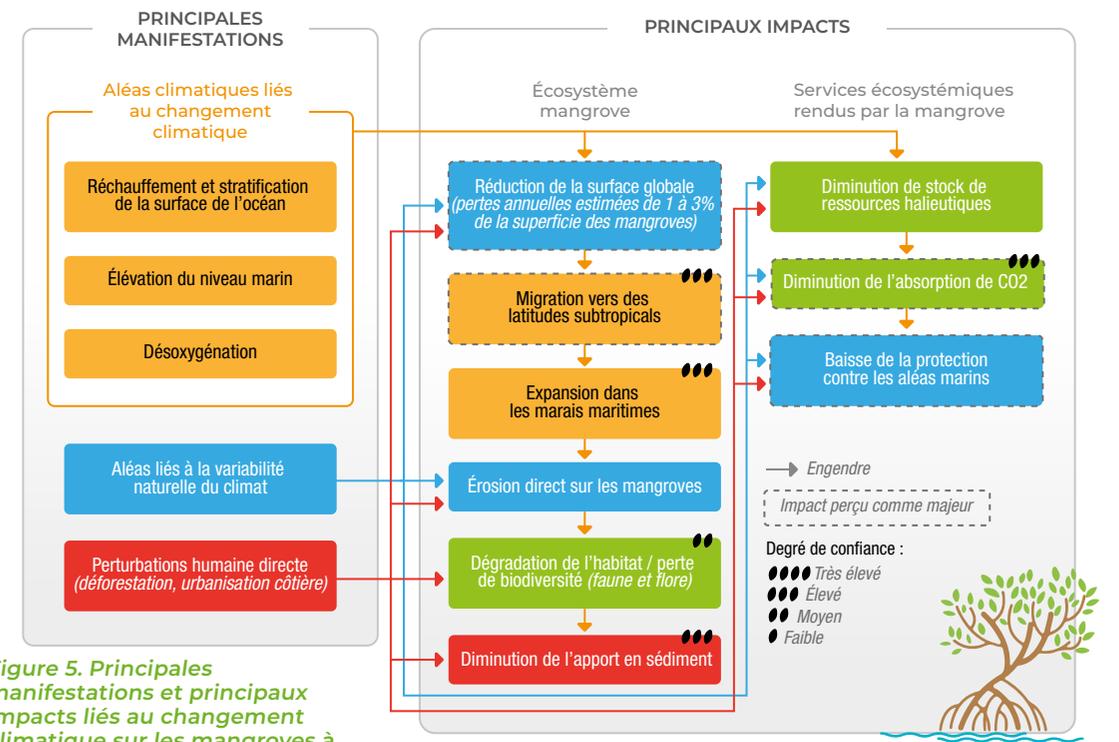
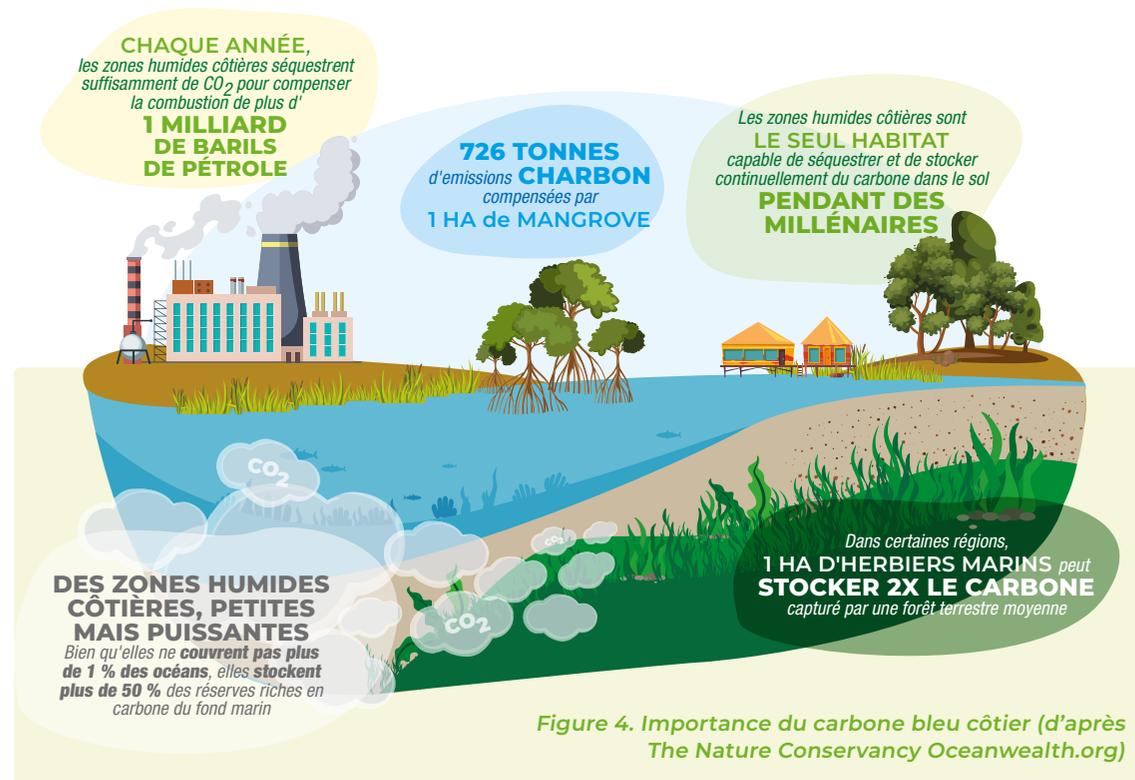
<https://www.fondationbiodiversite.fr/sciencedurable-les-ecosystemes-cotiers-puits-de-carbone-bleu/>

4 SITUATION DES MANGROVES DANS LE MONDE

La surface de mangroves dans le monde est passée de 19 millions d'hectares en 1980 (FAO, 2007) à 14,8 millions d'ha en 2020 (FAO, 2023) soit une perte de plus de 20 %, et même si les chiffres sont souvent incertains et que la situation est variable selon les régions, le recul global de la mangrove est patent. Si l'on distingue les périodes, le taux de perte nette s'est beaucoup ralenti (FAO, 2007 et 2023) : environ 185 000 ha étaient perdus chaque année dans les années 1980, 118 500 dans les années 1990-2000 ; ce chiffre est passé à 18 200 ha/an en 2000-2010 et à 10 200 ha/an en 2010-2020. Les pertes nettes ont en effet diminué et celles-ci sont de plus en plus compensées par l'expansion naturelle ou liée aux restaurations (393 000 ha de gain entre 2000 et 2020 selon la FAO, dont 82 % d'expansion naturelle et 18 % attribuables à la restauration, pour une perte de

« La nature dynamique des mangroves est également évoquée par des recherches indépendantes sur l'évolution mondiale des zones humides à marée, qui ont examiné les changements survenus au fil du temps dans les mangroves, les vasières et les marais à marée. Dans de nombreux cas, les pertes apparentes d'un écosystème particulier sont en réalité des transitions vers un autre écosystème. » Global Mangrove Alliance (GMA), 2023.

677 000 ha sur la même période, soit une perte nette de 284 000 ha). Les sources de ce recul des mangroves dans le monde sont « le développement de l'aquaculture (26,7 % de la perte totale) et le recul naturel, souvent lié aux aléas climatiques (25,9 %). La conversion à la culture du palmier à huile et du riz représentait 16,6 % de la perte de mangroves et la conversion à d'autres formes d'agriculture et à des utilisations non définies » (FAO, 2023).



STOCK DE CARBONE DANS LES FORÊTS DE MANGROVES D'OUIDAH (BÉNIN), DE CUAJINIQUIL ET DE TERRABA SIERPE (COSTA RICA)

Chavez Barrera, 2024 et Chavez Barrera et al., sous presse

Le stock de carbone varie de manière significative selon l'état de la forêt avec, dans les zones étudiées du Costa Rica et du Bénin, une moyenne de 312,096 Mg C/ha dans les forêts en bon état et 32,178 Mg C/ha dans les forêts dégradées (en cours de restauration).

dégradée en raison de changements dans l'utilisation des terres, de l'élévation topographique et de la haute salinité due à la production de sel, activité qui a cessé il y a 60 ans.

- Au Bénin, un stock de carbone significativement plus élevé a été observé dans les forêts en bon état (118.088 ± 22.314 Mg C/ha), par rapport au site dégradé, avec une différence de 72.551%. Cette disparité est attribuée à l'invasion de *Paspalum vaginatum* dans certaines zones, qui souffrent d'une faible qualité de l'eau et de fragmentation. Dans les deux sites, le stock de carbone du sol est considérablement plus élevé (entre 85.606 % et 99.303 %) que le carbone fixé dans la biomasse végétale.
- Dans la zone de humide de Terraba Sierpe de la Province de Puntarenas, la forêt mature a montré le stock de carbone le plus important (312.096 Mg C/ha). La biomasse des arbres présentait la plus grande part du carbone stocké, avec 67.036 %, par rapport au carbone organique du sol. En comparaison, les zones de mangrove colonisées par *Acrostichum aureum* présentaient une diminution de 31,44 % de la réserve de carbone.
- À Cuajiniquil, au Costa Rica, la mangrove de référence présentait un stock de carbone de 192,96 Mg C/ha, supérieur de 84,146 % à celui de la mangrove



Mesures de carbone dans le sol au Costa Rica

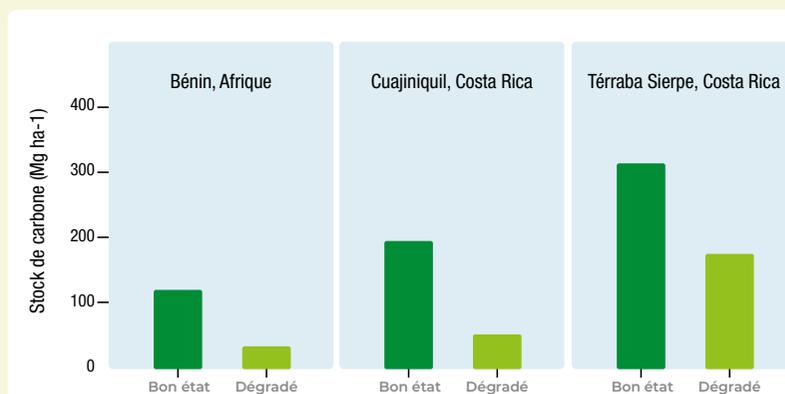
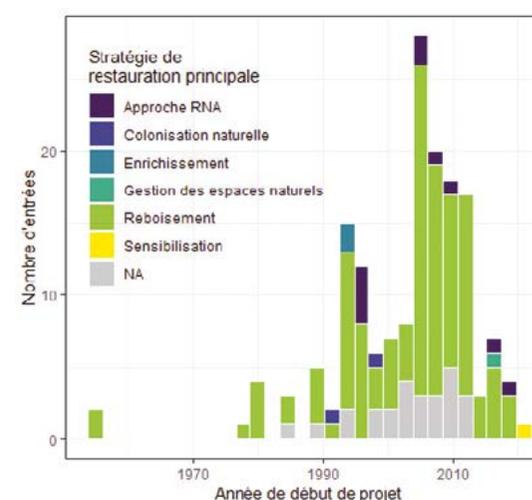


Figure 6. Moyenne des stocks de carbone dans les mangroves en bon état comparée à celle des zones dégradées au Bénin, en Afrique, et à Cuajiniquil et Terraba Sierpe, Costa Rica. Le calcul est basé sur la somme du carbone de la biomasse aérienne et souterraine, ainsi que du carbone organique du sol mesuré dans des carottes de sol de 50 cm de profondeur. Édité de Chavez Barrera (2024) et Chavez Barrera et al. (sous presse).

5 LA RESTAURATION DES MANGROVES

Devant ce constat, et pour limiter les pertes, la pratique de la restauration des mangroves s'est largement répandue, conduisant à une variété de projets qui se sont multipliés depuis quelques dizaines d'années : projets de restauration et/ou projets dédiés à limiter les pressions via la création d'aires marines protégées, les interdictions d'usages et la « sensibilisation » des populations à l'importance de conserver la mangrove pour les nombreux bénéfices qu'elle apporte. Ces projets ont connu plus ou moins de succès, tant du point de vue de la biodiversité que du bien-être des communautés locales et ce, malgré les nombreux guides existants dont la mise en œuvre sur le terrain est difficile, voire impossible, faute de prise en compte de la spécificité des contextes locaux et d'implication réelle des acteurs locaux.

En matière de restauration active, le travail bibliographique de Macera (2024) portant sur les succès des projets de restauration (étude sur 198 sites de restauration répartis dans le monde) montre que deux types de méthodes sont essentiellement utilisées : la replantation, qui représente 87 % de la bibliographie étudiée et la réhabilitation, qui vise à accompagner la régénération naturelle, représentant 13 % des travaux étudiés.



DES ÉCOSYSTÈMES RÉSILIENTS

Si les écosystèmes de mangrove connaissent actuellement une perte à l'échelle mondiale (0.04% par an), il n'en est pas toujours de même à l'échelle locale. Ainsi, la mangrove sénégalaise connaît depuis les années 1990 une augmentation significative. Une étude (Andrieu et al, 2020), basée sur l'analyse spatiale des gains de mangrove (3600 ha entre 2000 et 2015) à partir de données de télédétection et sur les données botaniques de terrain (47 sites), a montré que, à la suite de la mortalité naturelle des années 1980 et 1990, la régénération spontanée a représenté 96 % de l'expansion les 4% restant étant le résultat des reboisements. Cette étude révèle ainsi que l'écosystème de mangrove a fait preuve de résilience face aux variations des précipitations et de la salinité, permettant de mieux comprendre les impacts potentiels du changement climatique sur les mangroves et leur capacité à se remettre d'une mortalité induite par la sécheresse.

Ce travail, comme celui de Del Ben (2022), montre que, même si de rares projets sont couronnés de succès, la replantation est le plus souvent vouée à l'échec : plus d'un quart des projets renseignés indiquent des taux de survie des propagules compris entre 0 et 10% seulement. Outre les événements naturels (typhons et autres tempêtes) et les perturbations anthropiques, les mauvais choix relatifs aux protocoles de restauration, sont souvent en cause : mauvaise localisation du site de replantation, mauvais choix des espèces replantées, âge inadéquat des propagules, site inadéquat par rapport

Figure 7. Principales stratégies de restauration d'après l'analyse de la bibliographie (Del Ben, 2022)

aux conditions d'immersion par la marée. Les connaissances et informations insuffisantes sur la fonctionnalité des mangroves peuvent conduire à l'incapacité d'éliminer les facteurs de stress des sites à réhabiliter. Les suivis des plantations sont inadéquats, rares ou inexistant. L'implication des communautés et autres parties prenantes est insuffisante.

En ce qui concerne les projets, souvent plus récents, la réhabilitation vise à favoriser la recolonisation naturelle en restaurant l'hydrologie et la topographie de la mangrove. Cette réhabilitation est souvent accompagnée d'une replantation pour favoriser une reprise plus rapide. Il faut environ 3 à 5 ans pour observer des effets positifs d'une

réhabilitation sur l'écosystème ; or les projets durent généralement moins de 5 ans et n'assurent pas de suivis à long terme après la fin du projet. Les informations sur le succès des réhabilitations sont donc peu nombreuses et les résultats moins bien documentés, mais quelques expériences au Mexique, au Costa Rica (Agraz Hernández), en Inde (Gosh et al., 2020) ou en Thaïlande (Macera et al., 2023) par exemple sont concluantes (voir encadré page 18).



DÉFINITIONS ET CONCEPTS (MACERA, 2024)

Restauration : action de ramener un écosystème à son état d'origine, dans la mesure du possible, ou à sa trajectoire d'évolution historique ou naturelle (si celle-ci est connue).

Réhabilitation : Rétablissement des conditions et des processus écologiques dans un écosystème dégradé ou son habitat afin d'initier une trajectoire vers le rétablissement d'un état proche de l'état antérieur (en reconnaissant qu'une restauration complète peut être impossible à court ou moyen terme). La réhabilitation peut prendre diverses formes : moduler les paramètres physico-chimiques du milieu, réduire, voire stopper les pressions anthropiques par divers moyens : sensibiliser les communautés locales et autres acteurs à une utilisation durable du milieu ou encore prendre des mesures de gestion du milieu (aire marine protégée).

Reboisement : renouvellement du couvert forestier à la suite de la perte de zones forestières, que ce soit en raison de la dégradation de l'habitat par l'homme (par exemple, extraction forestière, changement d'utilisation des terres) ou par des processus naturels.

Afforestation : plantation d'arbres dans le but de repeupler une surface longtemps restée déboisée, ou n'ayant jamais appartenu à l'aire forestière (greenfacts.org).

Replantation : planter des propagules ou des semis provenant d'une autre zone afin d'augmenter artificiellement la couverture végétale qui peut être une ancienne mangrove ou non (boisement).

Rétablissement naturel : processus de rétablissement de l'état antérieur d'un écosystème sans intervention humaine.



Photos de restauration à Cuajiniquíl (Costa Rica) © Google Earth

6 CADRE DES POLITIQUES ENVIRONNEMENTALES ET DE RESTAURATION

Depuis la 1^{ère} convention internationale sur l'environnement, signée à Ramsar en 1971 et dédiée à la reconnaissance des zones humides d'importance internationale, les mangroves ont fait l'objet de nombreux accords et dispositifs visant à les conserver, au nombre desquels : Ramsar, Convention sur la diversité biologique (CDB), CITES, CIMES, Unesco, Mers régionales...

CADRE INTERNATIONAL

La diversité des cadres internationaux et la diversité des modèles de gouvernance conduisent à une diversité des modalités de restauration.

- **La Convention sur la diversité biologique (CDB)** est un traité international juridiquement contraignant qui a trois principaux objectifs :
 - la conservation de la diversité biologique,
 - l'utilisation durable de la diversité biologique,
 - et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'utilisation des ressources génétiques.
- **La convention de Ramsar** a pour mission « La conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides par des actions locales, régionales et nationales et par la coopération internationale, en tant que contribution à la réalisation du

développement durable dans le monde entier ». Plusieurs résolutions relatives aux mangroves ont été adoptées par la Convention sur les zones humides tel que : en 2018 « Promouvoir la conservation, la restauration et la gestion durable des écosystèmes côtiers de carbone bleu » ou en 2022 « Proposition de création d'un Centre international des mangroves (une Initiative régionale Ramsar) ».

- **La Décennie des Nations unies pour la restauration des écosystèmes 2021-2030** est axée sur l'équilibre entre les priorités écologiques, sociales et de développement dans les paysages où différentes formes d'utilisation des terres interagissent, dans le but de favoriser la résilience à long terme.

CADRE NATIONAL

Les différents pays gouvernent de manière très variée leurs mangroves. D'une part, tous les pays n'ont pas les mêmes niveaux d'engagements vers la protection des milieux naturels ni les mêmes stratégies pour y arriver. En outre, les mangroves, par leur position d'interface terre-mer sont mises sous tutelles d'entités très variables (ministères des mers, des pêches, des forêts, de la vie sauvage) et trop rarement l'objet d'instances transversales dédiées, mettant en place une gestion intégrée des zones côtières (GIZC). A cela s'ajoute des jeux

de pouvoir variables entre les acteurs publics et privés, entre les instances nationales et les ONG, etc.

Ainsi, envisager un projet de restauration dans un pays avec une gestion étatique top-down par une instance unique (autorité forestière par exemple) diffère très nettement de l'envisager dans un pays avec une galaxie influente d'ONG et un Etat qui a mis en place une GIZC.

À noter néanmoins, la mise en œuvre de programmes sous-régionaux comme, en Afrique de l'ouest, le PRCM et le réseau RAMPAO qui couvrent les régions à mangroves de sept pays

(Mauritanie, Sénégal, Gambie, Guinée Bissau, Rep de Guinée, Sierra Léone et Cap Vert), ce qui permet de coordonner des actions de conservation à des échelles *ad hoc*.

L'EXEMPLE DU KENYA : VERS UNE GESTION FORESTIÈRE PARTICIPATIVE

La gestion forestière au Kenya a évolué depuis plus de 130 ans.

A la fin du 19^{ème} siècle, l'utilisation des forêts et des ressources naturelles était contrôlée par un conseil d'anciens en appliquant un système de règles traditionnelles sans politique formelle (Mbuvi 2021).

Puis, autour de 1900, la gestion et le contrôle de l'exploitation des ressources passe aux mains du gouvernement colonial britannique.

Après 1950, le gouvernement colonial introduit les premiers travaux de gestion pour les mangroves de l'archipel de Lamu, les plus importantes du pays (66% des mangroves du Kenya). L'exploitation des mangroves était basée sur un système de quotas (Okello, 2021) Il a fallu attendre l'indépendance, la constitution d'un Service Forestier Kenyan et l'abrogation de différents lois depuis les années 2000 sur la conservation et la gestion des forêts qui soutient la décentralisation et transfert de la

gestion forestière, pour garantir la participation des communautés et bénéficier des ressources naturelles. Au Kenya, la participation des communautés et d'autres parties prenantes à la gestion forestière est mise en œuvre par le biais de la Gestion Forestière Participative (Participatory Forest Management). Cette nouvelle étape pourrait conduire à une meilleure gestion des ressources car elle favorise la participation locale, l'appropriation des règles de gestion et promeut l'organisation des communautés en Community Forest Association (CFA) (Mbuvi 2021).

Aujourd'hui le Kenya compte plus de 250 CFA. Leur rôle comprend la protection, la conservation et la gestion des forêts publiques, dont les forêts de mangroves. Cependant des fossés existent actuellement dans l'implication de la communauté dans la création et la mise en œuvre de plans de gestion des mangroves, les politiques pour la restauration et la protection de ces forêts (Ahmed et al 2023).



Figure 8. Évolution de la gestion forestière au Kenya. Adapté de Mbuvi 2021.



L'EXEMPLE DU MEXIQUE

Au Mexique, les programmes de restauration sont régis par un cadre juridique complet qui comprend à la fois des dispositions générales et des instruments spécifiques pour la restauration des écosystèmes. La protection des mangroves, en particulier, est soutenue par divers normes et lois :

La NOM-022 est une norme officielle mexicaine qui établit des critères techniques pour protéger, préserver et restaurer les mangroves au Mexique, dans le but de préserver leur biodiversité et leur équilibre écologique. Elle définit des mesures pour prévenir leur dégradation et destruction, ainsi que pour promouvoir leur restauration en cas d'impacts négatifs. Elle comprend également des évaluations, un suivi et des actions de participation communautaire et d'éducation environnementale.

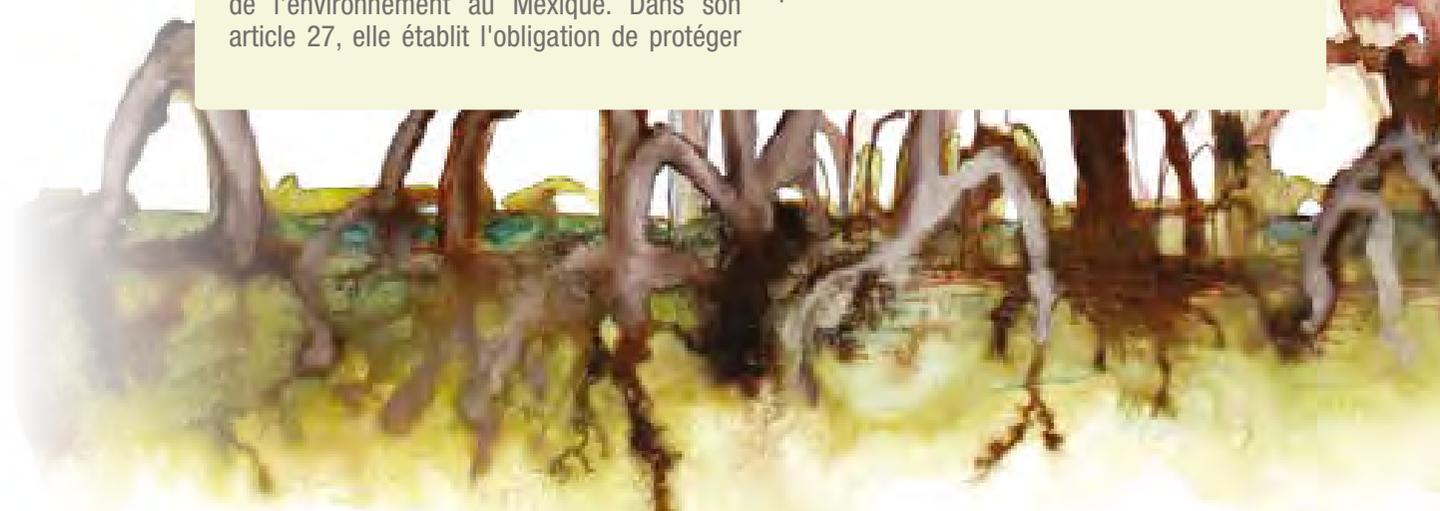
La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) : cette loi, l'un des principaux textes législatifs, établit les lignes directrices générales pour la protection de l'environnement au Mexique. Dans son article 27, elle établit l'obligation de protéger

et de restaurer les mangroves, ainsi que de préserver la biodiversité et les écosystèmes.

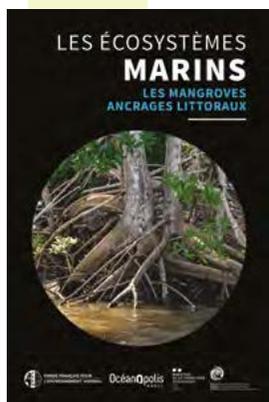
Loi générale sur le développement durable des forêts : cette loi régit les activités forestières et contient des dispositions spécifiques pour la protection et la gestion durable des ressources forestières et des écosystèmes associés, tels que les mangroves.

Loi générale sur les espèces sauvages : elle vise à protéger et à conserver les espèces sauvages et leurs habitats, y compris les mangroves. Elle établit des mesures pour la restauration et la conservation des écosystèmes terrestres et aquatiques, ainsi que pour la gestion des espèces menacées qui dépendent des mangroves.

Loi nationale sur l'eau : cette loi régit l'utilisation et la conservation de l'eau au Mexique, y compris les dispositions relatives à la protection des masses d'eau telles que les lagunes et les estuaires associés aux mangroves, ainsi qu'à leur restauration en cas de dégradation ou de pollution.



POURQUOI UN NOUVEAU GUIDE SUR LA RESTAURATION DES MANGROVES?



Les nombreux échecs des restaurations dans le monde s'expliquent par des lacunes de connaissances globales de cet écosystème complexe, par l'absence de diagnostic initial correctement posé sur les sites ciblés et par les choix de méthodes de restauration mal adaptés au contexte.

Pourtant de nombreux guides existent. Les principaux guides récents existants sont recensés en annexe (Références), en précisant les sujets qu'ils traitent (voir également site de l'initiative mangrove <https://initiative-mangroves-ffem.com/veille-publications/>).

À l'exception du guide du pôle-relais zone humides tropicales, dédié aux gestionnaires des outre-mer français, tous les autres documents sont soit en anglais soit en espagnol. Tous, de façon plus ou moins détaillée, présentent les différentes étapes nécessaires à un bon projet de restauration et quasiment tous insistent sur le travail en collaboration avec les communautés locales. Le rapport de la Mangrove Alliance (2023) consacre un chapitre aux questions de carbone bleu qui émergent de plus en plus, compte tenu de l'importance de cet écosystème dans le stockage du carbone pour atténuer le changement climatique, compenser les gaz à effet de serre (GES) et dans le cadre du marché des quotas carbone. Enfin, le dernier rapport de la Mangrove Alliance s'intéresse à la prise en compte des savoirs locaux dans la conservation et la gestion des mangroves (GMA, 2023).

Le présent guide s'adresse aux praticiens des pays francophones (Afrique de l'ouest, Océan indien notamment). Il s'appuie sur les expériences des projets de restauration de mangroves financés par le FFEM entre 2017 et 2024 au Costa Rica, au Bénin, en Afrique de l'ouest et aux Philippines (tableau 2).

Au-delà des aspects techniques relatifs à la réhabilitation des mangroves, ce guide met l'accent sur l'importance de valoriser les mangroves au bénéfice des populations locales, qu'il s'agisse de valoriser les ressources naturelles (bois, mollusques, crustacés, miel, ...), ou le patrimoine immatériel, naturel et culturel, afin d'assurer l'appropriation des communautés et leur engagement pour la réhabilitation et la protection.

Comme le recommande la méthode Community Based Ecological Mangrove Restoration (CBEMR), il insiste également sur l'importance de co-construire toutes les étapes du processus (objectifs, diagnostic, mise en œuvre, évaluation) avec les acteurs de la mangrove pour des restaurations réussies, c'est-à-dire assurant des co-bénéfices entre les différents objectifs du développement durable (atténuation du changement climatique, préservation de la diversité biologique, réduction des inégalités, réduction de la pauvreté, etc.).

DES VALEURS FLUCTUANTES

Surfaces des mangroves, nombre d'espèces de palétuviers vrais ou associés, stockage de CO₂ et carbone bleu : la variabilité des données dans la littérature est grande et l'imprécision est souvent de mise. Les chiffres se reportent de rapport en rapport. Dans ce document nous avons utilisé les données issues du dernier rapport de la FAO (2023) mais ils sont à prendre avec prudence.

Si cartographier une mangrove à une date, à une échelle, est désormais un exercice maîtrisé par de nombreux producteurs de données, le faire de manière à pouvoir comparer deux dates est plus compliqué et le faire de la même manière pour le monde entier est encore plus compliqué. D'importants efforts ont été fait pour produire de grands jeux de données à l'échelle mondiale mais si un tel jeu de donnée est valable dans les grands traits, il est souvent faux pour ce qui concerne les cas exceptionnels. Ainsi, les estuaires

inverses du Sénégal sont hydrologiquement et écologiquement atypiques ; la Casamance (ainsi que les régions plus au sud) sont également atypiques, avec une mosaïque paysagère de forêts de mangrove et de rizières de mangrove. Le Global Mangrove Watch utilisé pour produire l'essentiel des statistiques du dernier rapport de la FAO est ainsi particulièrement erroné pour ces deux deltas atypiques à l'échelle mondiale, et les erreurs de ces données sur la Casamance influent probablement fortement sur les statistiques à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest et centrale.

Aussi est-il prudent de rechercher à consulter à la fois ces rapports et des publications (revues par les pairs) réalisant une cartographie dédiée à la zone visée, de confronter ces données et de prendre le temps de faire produire une analyse par une équipe scientifique si ces chiffres divergent trop.

PROJET	OBJECTIFS	GÉOGRAPHIE	DATES PRÉVISIONNELLES DÉBUT/FIN	SURFACE CONCERNÉE
Costa-Rica/ Bénin	Restaurer conserver et gérer durablement les mangroves pour faire face au réchauffement climatique	Costa Rica et Bénin	01/08/2017 31/08/2024	CR : 58 ha sur 3 sites Bénin : 30 ha
Philippines	Renforcer la résilience côtière pour la réduction des risques de catastrophe et l'adaptation au changement climatique dans les petits territoires insulaires en intégrant des infrastructures vertes et grises	Municipalité de Concepción	2015-2019	20 ha sur 5 sites
Afrique de l'ouest	Suivi des risques côtiers et solutions douces au Bénin, Sénégal et Togo	Bénin embouchure du fleuve Mono	01/11/2018 31/12/2022	

Tableau 1. Les projets de restauration de mangroves du FFEM



2

CHAPITRE 2

COMMENT ETABLIR UN PROJET DE RESTAURATION ?

Auteurs : Claudia AGRAZ HERNANDEZ, Julien ANDRIEU et Juliana PROSPERI

1 D'UNE VISION GLOBALE DES MANGROVES À L'ÉCHELLE DU SITE À RESTAURER

La question de l'intérêt et de la faisabilité de la restauration des mangroves se pose à différentes échelles, les échelles spatiales et temporelles auxquelles on observe les phénomènes étant d'une importance majeure.

À l'échelle d'un pays ou d'une région, il est intéressant pour les décideurs et les bailleurs d'avoir une vision globale du statut des mangroves et des zones dégradées qui nécessitent des restaurations, et éviter ainsi des projets qui n'auraient pas de sens. Dans des pays où la mangrove est bien conservée à l'échelle nationale, des zones dégradées peuvent exister localement. Dans des pays où la mangrove disparaît par la conversion en fermes à crevettes, la collecte du bois de chauffe ou autre, il est toujours possible d'observer une aire protégée efficace qui maintient ses mangroves, voire les restaure. Il est donc intéressant d'examiner la question des sites à plusieurs échelles.

À l'échelle nationale, on s'intéressera aux grands traits des mangroves du pays : quelle est la distribution et la surface des forêts de mangroves, quels types de mangroves existent (mangroves de bord de mer, d'estuaire, de rivière ...), quelles sont leurs caractéristiques structurelles, en combien de zones sont-elles réparties ? Quel est l'état de ces mangroves dans le pays ? Les superficies sont-elles en augmentation ou en diminution ces

dernières décennies ? Quel est le statut légal de ces mangroves, qu'en est-il du foncier ? Sont-elles protégées ? En partie ? Pas du tout ? Une revue bibliographique et cartographique des zones côtières permettra de répondre en partie à ces questions ; le Global Mangrove Watch offre également un outil intéressant pour les analyses à l'échelle des pays. L'analyse de l'ensemble des projets de restauration passés et en cours est utile à cette échelle.

Sur la base de cette vision globale, on pourra alors identifier un ensemble de sites potentiels à examiner à une échelle encore plus fine, en fonction des enjeux écologiques, de la dynamique hydro-sédimentaire, des facteurs de dégradation et des enjeux socio-économiques, notamment des besoins et attentes des communautés locales et de l'historique des restaurations passées. Ces sites potentiels pourront alors faire l'objet d'investigations plus précises : ont-ils déjà bénéficié de diagnostic, ont-ils connu des changements récents, quelles sont les causes et les facteurs de ces changements ? quelles communautés sont demandeuses ?

Une fois la zone d'intervention retenue, la restauration doit s'appuyer sur une bonne connaissance du milieu environnemental et socioéconomique. La séquence d'activités à prévoir est la suivante :

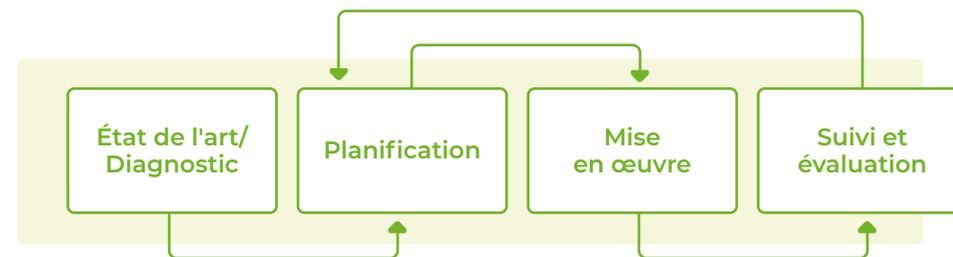


Figure 9.
Séquence
d'activités pour la
restauration d'une mangrove

Diagnostic environnemental et social

- **Comprendre le rapport des communautés à la mangrove** (activités, usages, valeurs), leurs attentes et leurs besoins, de façon à fixer les objectifs et co-construire un programme de restauration qui soit compris et accepté par la population ; leur participation est indispensable pour mener à bien toute initiative de restauration ;
- **Développer une analyse spatio-temporelle des changements dans les conditions environnementales** qui ont pu affecter la structure et la fonction de l'écosystème, en raison d'événements naturels (par exemple, les ouragans, les typhons) et/ou des impacts anthropiques (coupe de bois, aquaculture,...), ou encore les invasions, telle celle de la chenille défoliatrice (*Hyblaea pueria*) à Madagascar. La télédétection sera un outil très précieux à ce stade et au-delà ; on s'appuiera également sur les connaissances des communautés ;
- **Etudier, en fonction des objectifs fixés, la faisabilité de la restauration**, en développant une analyse des conditions environnementales actuelles de l'écosystème à restaurer, évaluées et comparées à celles d'une forêt de référence afin de définir l'ampleur et l'intensité des changements du comportement hydrologique et des paramètres physico-chimiques du sol et de l'eau ; ce diagnostic écologique permet de comprendre l'état de la mangrove, les causes de dégradation et de planifier une restauration adaptée.

Planifier la restauration

Le diagnostic permet la définition de techniques et de méthodes de restauration adaptées à la situation particulière de chaque site à restaurer. La formation des communautés locales leur permet de participer activement à la restauration.

Mettre en œuvre la restauration

Application des techniques et méthodes de restauration en impliquant les populations locales.

Assurer le suivi et l'évaluation

En continu et bien au-delà du temps du projet, les suivis permettent d'évaluer le succès de la restauration, le niveau de récupération et adapter la stratégie : surveillance en continu des paramètres physico-chimiques du sol et de l'eau interstitielle sur le site restauré et de référence, afin de définir le niveau de récupération des conditions environnementales, et suivi des variables morphophysiques de la végétation récupérée grâce aux actions de reboisement et/ou de régénération naturelle.

ET À LA FIN DU DIAGNOSTIC, PARFOIS, IL FAUT SAVOIR DIRE NON !

Les résultats du diagnostic permettent de déterminer la faisabilité de la restauration, et de décider s'il y a lieu de poursuivre ou non les activités de restauration. Si la faisabilité est faible, il est encore temps de choisir un autre site, de changer de méthode ou de changer d'objectif.

Au moment où l'on envisage un projet de restauration, de nombreuses questions se posent. On ne connaît pas forcément bien les conditions locales, les autres projets, les désirs de la communauté locale sur leur environnement. Si trop de signaux virent à l'orange dans le diagnostic et notamment si les causes de dégradation ne peuvent pas être éliminées, il faut accepter l'idée de renoncer. Il existe d'autres méthodes et d'autres lieux qui s'y prêtent !

2

PRISE EN CONSIDÉRATION DES SAVOIRS LOCAUX ET DES ATTENTES DES COMMUNAUTÉS

Si le choix des sites à restaurer est souvent le fait d'ONG, financées par des bailleurs, ou des services administratifs locaux ou nationaux, un aspect crucial souvent négligé est l'implication des communautés locales. Tout effort de conservation ou de restauration dans une zone donnée sera plus fructueux s'il répond à un besoin des communautés locales et s'il bénéficie du soutien et de la compréhension des personnes vivant dans ou à proximité de cet écosystème. Le choix du site de restauration devra donc s'appuyer sur les besoins et les attentes exprimées par les communautés.

2.1 | PRISE EN CONSIDÉRATION DES SAVOIRS LOCAUX

Le savoir scientifique occidental n'est pas le seul savoir mobilisable pour diagnostiquer un environnement (par exemple diagnostiquer le potentiel de restauration d'une mangrove). Les communautés locales et les populations indigènes sont détentrices de savoirs locaux précieux pour mener à bien une intervention dans le milieu avec lequel elles interagissent. Pour aller plus loin, une part importante des restaurations de mangroves sont des interventions venant de l'extérieur (bailleurs internationaux, intermédiaires gouvernementaux et régionaux potentiellement détachés de la réalité des communautés locales, bureaux d'études étrangers ou urbains) qui manipulent des concepts différents de ceux manipulés par les communautés locales (et pas seulement pour des raisons linguistiques).



Sortie pêche dans les mangroves du delta du Saloum, Sénégal © Cormier-Salem, IRD

Sans renier aucunement tout ce que la science occidentale apportera au diagnostic permettant le choix et l'analyse des sites nous proposons, en vue d'une succession réussie d'intégrer au moins ces 5 conseils.

- **Interroger la communauté locale sans a priori** sur leurs connaissances de la mangrove, sur l'histoire du site et son évolution, sur leurs pratiques. Si de nombreux milieux ont été dégradés par les activités humaines ces dernières décennies, cela ne signifie pas que le site diagnostiqué a nécessairement suivi cette trajectoire. Or, dans le temps imparti par un diagnostic, vous aurez peu d'outils pour remonter loin dans le temps et connaître les états précédents de la mangrove ainsi que les facteurs de ces changements. Interroger les communautés locales pourrait être porteur d'informations cruciales.

Attention, le réflexe de beaucoup de personnes interrogées est de dire ce qu'ils pensent que nous espérons entendre. Si on vous associe à la protection de l'environnement vous risquez de générer un discours faussé qui va noircir le tableau passé et embellir les intentions à venir. Prenez-le temps d'aller au-delà de ce premier discours.

- Accorder un moment de **débat** à chaque fois que **les points de vue** des acteurs scientifiques externes et ceux des communautés locales divergent et ne vous précipitez pas dans votre souhait de convaincre. En effet, quand bien même les outils scientifiques sont parfois plus robustes que le savoir local, cette divergence risquera de se répercuter dans tout le projet si ce point n'a pas été débattu. Faites-le avec tact et montrez du respect quand vous contredisez des personnes sur leur savoir. Et, qui sait, vous pourriez aussi modifier votre compréhension du site.
- Confier aux communautés locales tous les éléments d'expertise qui peuvent leur être délégués. Un **continuum de répartition des tâches** est un objectif idéal. Si certaines tâches

très techniques sont menées uniquement par les intervenants scientifiques externes, d'autres peuvent être réalisées conjointement et certaines opérations pourront être complètement déléguées.

- Penser les choix que vous faites (ou ceux qui résulteront de votre diagnostic) en termes de **justice environnementale pour toutes les catégories**, en particulier les plus marginalisées qui seront celles qui risquent de moins s'exprimer et donc d'être exclues par les choix pris avec les catégories plus influentes. Interrogez-vous sur les rapports de force homme/femme, générationnels, l'existence de castes, de discriminations sur les origines (autochtones VS migrants), les ethnies, les couleurs de peau, etc. Si la communauté locale est dominée par une catégorie, cherchez une manière d'interroger les autres catégories pour ne pas résulter sur des choix injustes. C'est souvent cette catégorie qui dépend des mangroves.
- Délivrer un **accès complet de toutes les données** aux communautés locales, dès les premières étapes du diagnostic. Respectez le protocole de Nagoya. Ils sont détenteurs d'un savoir important et méritent aussi d'avoir accès à votre savoir.

2.2 | PRISE EN CONSIDÉRATION DES ATTENTES ET BESOINS DES COMMUNAUTÉS

Les mangroves que l'on cherche à restaurer sont des systèmes socio-écologiques. La société qui vit autour de ses mangroves (qui vit de ses mangroves) et les écosystèmes (la forêt de palétuviers, les chenaux, les vasières) sont étroitement reliées par un faisceau d'interactions complexes.

L'état de ce système, au moment où est envisagé une restauration, est le résultat de ces interactions (rarement de quelques événements complètement extérieurs au système socio-écologique). Ainsi, si la restauration est envisagée, cela signifie que l'on intervient sur au moins l'une de ces interactions société-mangroves, et donc que la restauration impactera aussi la société locale.

La gouvernance environnementale est mondialisée. Les objectifs que se donnent les principaux acteurs de l'environnement sont issus de cette gouvernance. Les projets de restauration les remobilisent localement. Si la prise en compte des attentes des communautés locales sur cette précise interaction société-mangrove arrive

trop tard, ou qu'elle n'est même pas envisagée (les décideurs peuvent par exemple mener une politique centrée sur des objectifs écologiques uniquement), la communauté locale n'adhérera très probablement pas au projet.

Deux options s'offrent alors au projet, assumer une gouvernance coercitive qui modifie les pratiques au nom d'une gouvernance écologique ou revoir cette gouvernance au regard des attentes des communautés locales.

Attention ici à ne pas confondre « sensibiliser sur les bénéfices attendus de la restauration envisagée » et « dialoguer avec les communautés locales sur leurs attentes ». Si la première est régulièrement et correctement menée, la seconde ne l'est que rarement et, plus gênant pour la réussite de la restauration, on croit parfois que la première suffit à remplacer la seconde (« inutile de leur demander quelle relation ils veulent avec la mangrove, autant leur expliquer pourquoi ils ne doivent pas y toucher »).

UNE NÉCESSAIRE PRISE EN CONSIDÉRATION DU CONTEXTE LOCAL : L'EXEMPLE D'UN PROJET AUX PHILIPPINES

Le Fond Français pour l'Environnement Mondial a financé un projet de renforcement de la résilience des populations côtières d'une région des Philippines fréquemment touchée par des aléas météorologiques (municipalité de Concepción, province de Iloilo). Pour cela, un projet exploratoire visait à tester une combinaison d'infrastructures "grises" (brises lames, pièges à sédiments) et "vertes" (reboisement de mangrove) associée à des projets offrant des sources de revenu supplémentaires. Les populations de pêcheurs habitent souvent en front de mer et garent leurs embarcations en face de leur domicile après la pêche. Si une zone de mangrove doit protéger les habitations elle doit alors occuper le front de plage en face des maisons. Or, d'une part, un bon diagnostic écologique, hydrologique et sédimentaire aurait rappelé que cet habitat n'est pas optimal (vagues et substrat sableux). D'autre part, un diagnostic social, auprès des populations locales, aurait permis de comprendre que, si le désir des infrastructures grises, compatibles avec le parking des bateaux était grand, la plantation des mangroves en face des maisons de pêcheurs, elle, n'était pas désirée, ni même souhaitée. De nombreux riverains ont donc continué à passer sur les reboisements et à garer leur bateau en face de chez eux, dès la fin du projet.



© J. Andrieu

Nous conseillons, très tôt dans le projet de faire mener par des spécialistes de sciences sociales, une enquête sur les attentes de la communauté en termes de gouvernance des mangroves pour concevoir dès les premiers stades du projet un projet inclusif permettant à la fois de restaurer les mangroves mais aussi de laisser aux populations la décision sur ce qui les lie aux mangroves.

Une restauration non désirée par les habitants ne doit pas être programmée. Faire des réunions publiques pour rappeler l'importance des mangroves ne suffit généralement pas à faire changer les désirs d'une communauté sur ses pratiques et ses usages. D'autant que l'on se situe dans un contexte d'intérêts divers, « la communauté locale » au singulier étant composée de catégories différentes aux opinions, en fait, et intérêts différents. Il est donc souvent pertinent de chercher des compromis entre les désirs et la réalité, entre ce qui est nécessaire, faisable et acceptable.

- Puisque la restauration envisagée est considérée comme nécessaire par plusieurs parties prenantes, il devient primordial de co-construire un diagnostic entre ces différentes parties prenantes.
- Puisque le projet doit être faisable faute d'échouer, il est important de bien lister les conditions objectives d'intervention.
- Puisqu'un projet se doit d'être acceptable, il doit d'une part répondre aux besoins et désirs des communautés et d'autre part ne buter sur aucun point de blocage (atteinte à un enjeu économique, contradiction avec une croyance religieuse, etc.)

Cette phase d'études des communautés permettra également d'informer les membres du rôle qu'ils pourront jouer dans la participation au diagnostic et dans la mise en œuvre de la restauration.

2.3 | ENGAGEMENT DE LA PARTICIPATION DES COMMUNAUTÉS

Au-delà de l'acceptabilité par les communautés de la restauration et de leur participation à la connaissance du milieu, la restauration ne peut se faire sans la participation des communautés locales : le creusement des canaux, la création des pépinières nécessitent une importante main d'œuvre et peut constituer pour les participants et leur famille, dans le cadre des projets, un revenu non négligeable.

3 APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION

L'imagerie satellitaire apporte aux diagnostics d'une mangrove pour laquelle on envisage une restauration divers éléments :

- Une vision de la zonation des espèces ;
- Des éléments sur les causes de dégradation, sur la pollution, la dynamique sédimentaire
- Une cartographie de l'extension actuelle de la mangrove et de ses évolutions dans le temps ;

PETIT RAPPEL SUR LES TYPES D'IMAGES ET LEURS CARACTÉRISTIQUES

On peut prendre des images depuis un drone, un avion, un satellite. Ces images peuvent être de simples photographies ou des mesures dites multispectrales (on mesure le rayonnement dans d'autres longueurs d'ondes que les couleurs visibles pour en apprendre plus). Beaucoup d'utilisateurs accordent une importance majeure à la résolution (un appareil avec beaucoup de capteurs produit une image avec beaucoup de pixels). Plus le vecteur vole haut plus ce pixel correspond à une grande surface.

Un bon appareil photographique monté sur un drone qui vole bas photographiera une feuille de palétuvier avec plusieurs milliers de pixels (peu utile, à moins de compter les insectes),

un satellite de moyenne résolution possède un pixel de 30m de côté (donc impossible de compter des jeunes pieds de palétuviers un a un pour savoir combien ont été plantés ou combien sont encore verts 1 an après).

Néanmoins, seul ce dernier type de satellite permet de savoir quel était l'état de la couverture végétale au milieu des années 1980. Les images pour faire une cartographie des dynamiques passées ne sont pas les mêmes que celles pour compter les plantules. Certaines sont gratuites, d'autres payantes (on n'en parlera pas ici). Certaines sont faciles à interpréter visuellement, d'autres demandent une formation, un logiciel spécialisé. Pas facile de s'y retrouver !



© C. Agraz Hernández

3.1 | UNE CARTOGRAPHIE DE L'EXTENSION DES MANGROVES AUJOURD'HUI

Connaître la répartition exacte des mangroves aujourd'hui est une première étape importante du diagnostic. C'est une opération relativement simple dans la majeure partie des sites. Deux options (gratuite) s'offrent à l'opérateur du diagnostic :

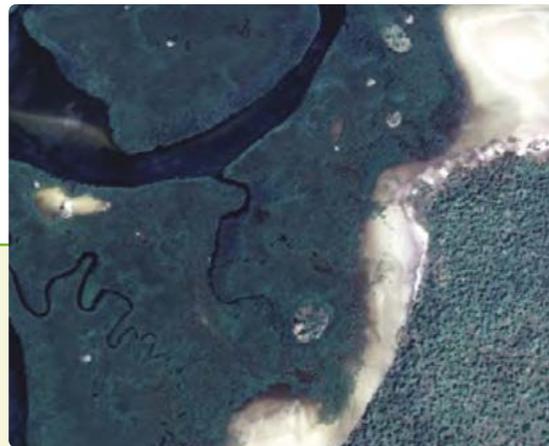
- Une interprétation visuelle sur Google Earth et une digitalisation manuelle dans un système d'information géographique. Il faut faire attention à distinguer les mangroves d'autres végétations humides et forestières de terre ferme adjacentes dans les climats humides (plus facile dans les climats secs). Plus rarement il y a des risques de confusion entre des mangroves basses et ouvertes et d'autres milieux infratidaux (herbiers) si l'image est de mauvaise qualité (et à marée basse).



UN CONSEIL

Utiliser conjointement deux ou trois images proches dans le temps dont la météo et les marées (ou la saison) varient pour s'assurer d'une interprétation robuste.

- L'autre option est l'analyse d'une image satellitaire multispectrale. Les images LANDSAT (30m) et Sentinel-2 (10m) sont gratuites et faire une carte de mangrove prend quelques heures à un télédéacteur compétent (voir une méthode assez facilement applicable : Andrieu et Mering, 2009).



En haut, à gauche, une mangrove très ouverte et très basse en milieu aride et hyperhalin (Delta de l'Indus, Inde). La mangrove se distingue des vasières par une couleur plus sombre et une texture granuleuse.

En haut, à droite, une mangrove climat assez sec. (delta de Saloum, Sénégal). La mangrove (au nord-ouest) se distingue par une couleur à peine plus sombre que la savane (au sud-est). La texture ici diffère avec des arbres espacés de la savane.

En bas, à gauche, une mangrove de climat équatorial très humide (Malaisie), où la mangrove (au nord-ouest) est difficile à distinguer de la forêt de terre ferme (au sud-est).

Illustration de la distinction d'une mangrove sur Google Earth dans 3 ou 4 climats différents

Des questions importantes sont à se poser, au regard du projet de restauration :

- à quelle échelle ai-je besoin de connaître l'extension des mangroves aujourd'hui ?
- Une cartographie fine et très locale du site envisagé suffit-elle ?
- A-t-on besoin de connaître l'extension des mangroves dans les alentours ?

Connaître l'état régional de la mangrove est intéressant (cf. paragraphe 1), connaître les sites de référence aussi, tout comme les sites où des propagules peuvent être récoltées. Un bon diagnostic cumulera donc ces deux échelles !



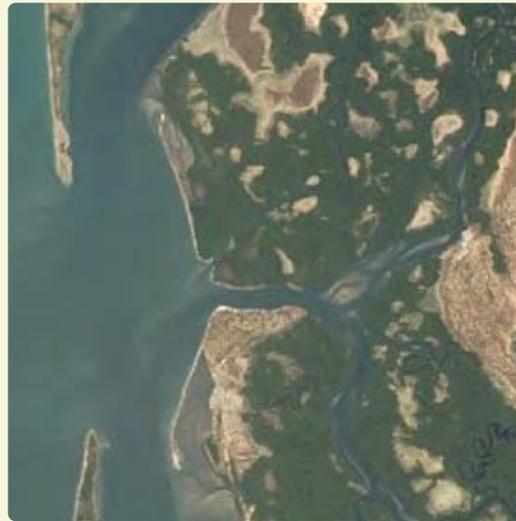
3.2 | UNE CARTOGRAPHIE DES CHANGEMENTS DE LA MANGROVE REMONTANT, DANS LE MEILLEUR DES CAS, À PLUSIEURS DÉCENNIES

Plusieurs questions doivent guider le projet de restauration et la télédétection peut y répondre : Pourquoi faut-il restaurer ? Qu'est-ce qui est dégradé ? Est-ce local ou régional ? Depuis quand est-ce dégradé ? Peut-on essayer de deviner les facteurs de cette dégradation ?

Une cartographie diachronique de la mangrove sur les 3 ou 4 dernières décennies avec une imagerie LANDSAT sur une petite région (une zone de plusieurs kilomètres de côté) permettra de dire si la mangrove à cette échelle a diminué ou augmenté en surface, est restée stable avec des changements qui se compensent (plus ou moins autant de zones de gain que de zones de pertes) ou a été réellement stable (très peu de changements détectables).

En allant plus loin cette cartographie peut indiquer où ont eu lieu les changements, ce qui aide grandement à en comprendre les facteurs. Il est

généralement possible d'identifier ce que sont devenues les surfaces où la mangrove a disparu (des zones en eau libre pour l'érosion), des zones inondées fermées pour les bassins à crevettes, des étendues de vase pour les déboisements (naturels et les coupes forestières), des zones bâties... Les dynamiques progressives doivent aussi être examinées ; elles sont plus nombreuses que ce qu'il y paraît : il est possible de voir si la sédimentation permet l'extension des mangroves, si les fermes marines abandonnées se régénèrent ; si d'autres projets de restauration sont des succès et si des dynamiques naturelles sont à l'œuvre, comme des fluctuations de la pluviosité pouvant générer des changements naturels de la mangrove. Tout cela sera à considérer dans un bon diagnostic.



Des années 1950 à la fin des années 1960, le Sénégal a connu une période très humide. Suivi dès 1969 d'une longue phase dramatiquement sèche. La mangrove de l'image de droite est peu étendue en cette année 1986, qui a suivi deux années particulièrement sèche. En revanche, la mangrove reste protégée des effets de houle par la flèche sableuse de Sangomar.

L'année suivante, celle-ci a cédé et face à la brèche, les mangroves ont été soumises à une houle qui leur est défavorable. Une partie

des sédiments fins ont été érodés et d'autres sédiments déposés ailleurs. En comparant avec l'image de droite en 2020, on explique mieux une partie des changements au centre de cette image. En revanche on peut aussi voir, entre 1986 et 2020, à quel point la végétation s'est densifiée et verdie. En effet, la période de sécheresse s'est terminée en 1998 et le retour à des conditions assez pluvieuses a été très favorable à la mangrove, qui possède la capacité de se régénérer quand son milieu s'améliore.

Illustration des dynamiques de la mangrove du Saloum et leur interprétation pour un diagnostic de restauration ©Google Earth

3.3 | UNE VISION DE LA ZONATION DES ESPÈCES

L'imagerie satellitaire offre un aperçu généralement simplifié de la zonation des espèces qui peut renforcer le diagnostic. L'analyse des images est plus délicate et il n'est pas nécessaire d'en réaliser une cartographie détaillée pour tous les projets de

restauration mais cela peut permettre de valider par exemple que l'on a choisi la bonne espèce au regard de la zonation telle qu'on la comprend en l'examinant à une échelle plus petite que celle offerte par les observations botaniques de terrain.



© M.M. Chavarría Díaz

3.4 | QUE VOIT-ON D'AUTRE GRÂCE À L'IMAGERIE ?

Un aperçu des dynamiques sédimentaires

Il est intéressant d'utiliser les images satellites pour une bonne compréhension des dynamiques sédimentaires. C'est tout particulièrement le cas des mangroves protégées de la houle par des flèches sableuses dynamiques. Il est important pour un bon diagnostic de voir si des embouchures s'ouvrent et se ferment, si c'est régulier (saisons) ou irrégulier (cyclone). Cette information peut permettre d'expliquer des changements d'état de la mangrove diagnostiquée.



Une idée des sources de pollution

©Google Earth



Dans le même esprit, un examen attentif des environs de la mangrove diagnostiquée, tout particulièrement à l'amont est important : est-il possible de repérer des sources de pollution à l'amont de la mangrove ? (Fermes marines, usines, grandes villes) ; Est-ce que des barrages sont présents et pourraient provoquer une fragmentation hydro-écologique ? (Séparer l'eau douce à l'amont et l'eau de mer à l'aval est néfaste pour les écosystèmes de mangrove).

LE NDVI UN OUTIL INTÉRESSANT MAIS DÉLICAT À UTILISER



Les palétuviers, comme toutes les plantes chlorophylliennes sont bien vertes et pratiquent une intense photosynthèse dans les meilleures conditions et sont moins vertes et ralentissent leur photosynthèse en cas de stress écologique. L'imagerie satellitaire multispectrale permet de mesurer, pour un même pixel en simultanée parfaite, le signal dans la couleur rouge et dans une longueur d'onde appelée « proche infrarouge » qui est réfléchi par les plantes qui pratiquent la photosynthèse. On combine ces deux mesures dans un indice (Indice normalisé de végétation NDVI en anglais) qui peut renseigner sur la santé du couvert végétal. On peut donc (en

théorie) comparer ce NDVI entre deux zones de la mangrove diagnostiquée ou entre deux périodes. Mais attention, toutes les fluctuations de cet indice ne sont pas significatives et il faut de nombreuses données (donc beaucoup d'images) pour une interprétation robuste qui guidera réellement le diagnostic.



Figure 10. Source schéma : Bikesh Bade, tutoriel All you need to know about NDVI

4 DIAGNOSTIC ÉCOLOGIQUE DE TERRAIN

La zonation des espèces de mangrove dépend d'une combinaison de facteurs chimiques et physiques, résultant des conditions spécifiques générées par la fréquence, l'amplitude et la période de la marée, les précipitations, l'apport d'eau douce, le taux d'évaporation, la température. Ces facteurs déterminent la salinité, le pH, le potentiel d'oxydoréduction (potentiel redox) et les nutriments de l'eau interstitielle du sédiment forestier, déterminants de la distribution des espèces de mangrove. La survie des espèces est limitée par leur tolérance à ces paramètres.

S'il est difficile de ramener la structure et la fonction de l'écosystème à son état d'origine, il est possible de préparer le terrain afin d'accélérer la régénération d'une forêt de mangroves dégradée.

La mise en œuvre d'un diagnostic environnemental aussi détaillé que possible à l'échelle du site, avant restauration, est essentiel pour comprendre les causes de dégradation et concevoir des stratégies de restauration et de conservation mieux adaptées aux besoins spécifiques de chaque localité. Ces stratégies sont diverses, elles peuvent passer par de simples mises en protections pour réduire les activités sources de dégradation, mais elles conduisent le plus souvent à restaurer l'hydrologie du site. Le diagnostic permet de définir les techniques les plus appropriés pour restaurer l'hydrologie en recréant les conditions propices au développement des communautés végétales, accompagner la recolonisation naturelle ou reboiser si nécessaire (reforestation).

Le diagnostic permet de comparer et d'ajuster les paramètres physico-chimiques dans les zones à restaurer par rapport à des zones de référence où la mangrove est en bon état ; une fois les intervalles souhaités atteints pour les différents paramètres, le plan de reboisement peut être envisagé.

La distribution des différents types physiologiques de mangrove et des différentes espèces qui les composent est principalement conditionnée par l'hydrologie, notamment l'hydropériode, la distribution microtopographique et la salinité interstitielle (Flores Verdugo et al., 2007).

Un diagnostic complet doit considérer :

- le comportement de l'**hydropériode** (cycle du niveau d'eau dans la mangrove),
- la **distribution microtopographique**, tant la microtopographie que l'hydropériode établissent les conditions physiques et chimiques uniques qui influencent le type d'écosystème, sa structure et sa fonction,
- de nombreux **paramètres physico-chimiques** tels que la salinité, les nutriments dans l'eau interstitielle, le potentiel d'oxydoréduction et les valeurs de pH, car tous ces facteurs régulent l'habitat de la mangrove.

En outre, la structure de la forêt, les caractéristiques de la végétation, la dominance et la présence d'espèces, l'identification de bio-indicateurs doivent également être considérées.

Ces paramètres sont mesurés régulièrement sur le site de référence et sur le site à restaurer, qui seront étudiés avant, pendant et après la restauration.

Enfin, il est important d'identifier les activités et les usages de la forêt ainsi que l'ensemble des pressions qui, de loin (bassins versants) ou de près, sont sources de dégradation de l'écosystème. Car si la zone à restaurer est soumise à un stress ou à une contrainte quelconque, il est essentiel, pour garantir le succès de la restauration, d'identifier et, dans la mesure du possible, d'éliminer ou réduire les causes de ce stress.

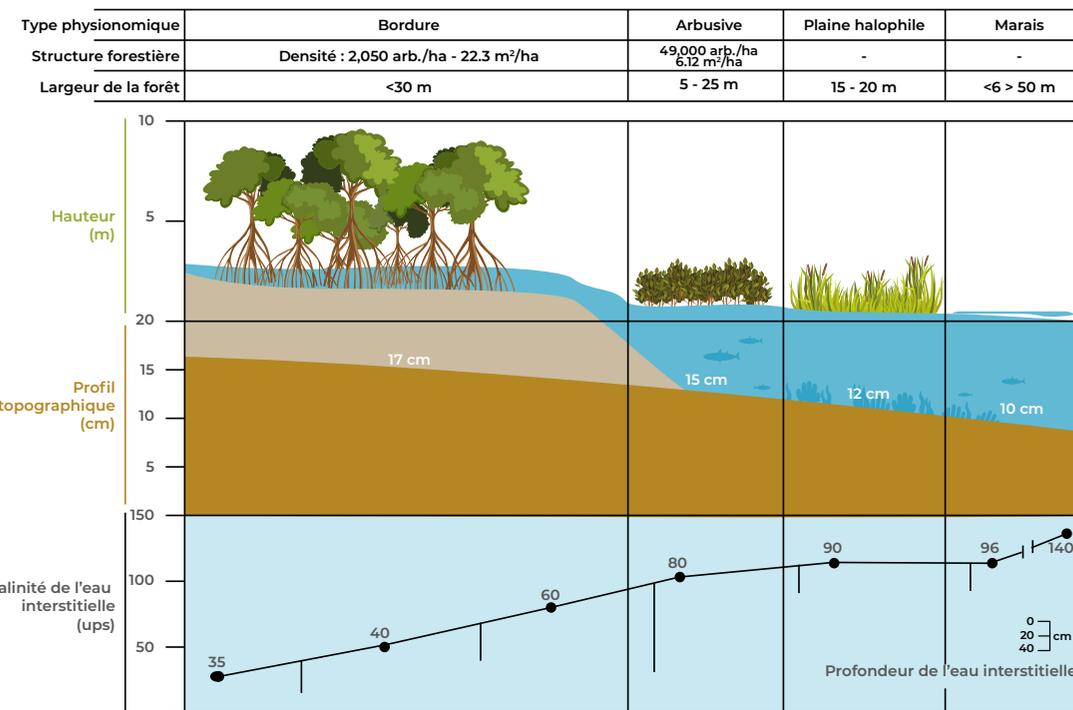


Figure 11. Profil de végétation dans une forêt de mangrove du système Boca Cegada, Nayarit, Mexique. (Agraz Hernández, 1999)

1- Choix d'un site de référence

Pour revenir à la structure de la forêt de référence

Site de référence



Site à restaurer

2- Étude de la physiologie de la forêt (zonation)

Densité, hauteur, fréquence des espèces de palétuviers...



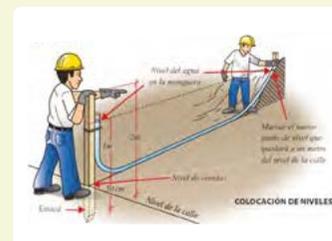
3- Étude de l'hydropériode

(Fréquence, hauteur et durée de l'inondation) Régule de nombreux paramètres et conditionne l'installation des différentes espèces



4- Analyse de la microtopographie

Détermine la distribution des types physiologiques



5- Analyse physico-chimique des eaux interstitielles

(Salinité, pH, nutriments, potentiel Redox) Régule l'habitat de la mangrove

Figure 12. Principales étapes du diagnostic environnemental

4.1 | ÉTAT DE L'ART

Le diagnostic démarrera par un état de l'art sur la base d'une analyse de la documentation et des cartographies existantes : analyse historique, couverture végétale (analyse spatiale des cartes existantes), faune et flore y compris les espèces

envahissantes, climat (pluie et température), hydrologie, évolution des activités anthropiques (usages historiques et actuels), gouvernance et mode de gestion.

4.2 | LE CHOIX DES SITES

Une visite prospective sera réalisée afin de faire une première reconnaissance du terrain, d'identifier la distribution et l'étendue des forêts, leurs caractéristiques structurales, ainsi que repérer les zones dégradées et la présence d'arbres morts, afin d'évaluer les sites potentiels de restauration et de définir la (les) forêt(s) de référence.

Le choix d'un (des) site(s) de référence

Il est essentiel de sélectionner une forêt de mangrove, en bon état écologique, avec des propagules des espèces de mangrove indigènes de la région afin :

1. de pouvoir comparer ses conditions environnementales avec celles du site de restauration : ces éléments serviront de référence pour déterminer les espèces à réintroduire, pour définir les intervalles de tolérance (minimum et maximum) des différents paramètres à atteindre après les actions de réhabilitation hydrologique, le moment optimal pour la collecte de propagules et la période la plus propice au reboisement, si nécessaire,
2. et collecter le matériel (propagules d'espèces indigènes) pour la restauration.

La comparaison des paramètres physico-chimiques des eaux interstitielles entre les sites



Image aérienne montrant le site de référence et le site à restaurer Cuajiniquil, Costa Rica. Crédits Google Earth année 2013: M. en C. Felipe Chavarria Díaz y M. en C. María Marta Chavarria Díaz (Latitude : 10o55 '15.22"N; Longitude : 85o42 '55.99"O).

de référence et de restauration sont nécessaires pour définir le type de restauration écologique à effectuer et permettent de définir le « design » de la restauration.

L'objectif de la restauration est ainsi de récupérer, dans le site à restaurer, les paramètres environnementaux au plus près du site de référence et dans la gamme de tolérance des espèces à reboiser, afin d'assurer la récupération du comportement hydrologique et la survie de la végétation reboisée et/ou établie par régénération naturelle.

Dans cette forêt de référence ou dans cette zone sélectionnée uniquement pour la collecte de propagules, il convient d'établir des profils de végétation et de surveiller les paramètres physiques, chimiques et biologiques (conformément à la méthodologie décrite pour le diagnostic environnemental).

4.3 | TYPES PHYSIONOMIQUES DE LA MANGROVE (FACIES)



Mesure du diamètre du tronc pour l'étude de la surface terrière © C. Agraz Hernández

Les variations physico-chimiques de l'eau et du sol et les différences d'inondation, de la mer vers la terre, induisent une zonation de la mangrove, avec une succession de formations végétales en "bandes" distinctes (types physionomiques ou faciès).

Les types physionomiques des forêts de mangrove sont déterminés par l'analyse de la structure forestière à partir du calcul des attributs forestiers (densité, hauteur, diamètre du tronc). Ces attributs présentent une variabilité en raison de la grande hétérogénéité spatiale des paramètres environnementaux qui se manifestent dans les mangroves.

Il est courant que les types physionomiques changent le long des gradients topographiques, de la mer vers la terre, en raison des variations dans le niveau d'inondation, du temps de résidence

de l'eau (hydro période), de la concentration en salinité et de la disponibilité en oxygène dans l'eau interstitielle (eau qui s'écoule entre les espaces des particules composant le sol).

La physionomie des forêts de mangrove le long du profil végétal depuis le bord de l'eau jusqu'à l'intérieur de la forêt, est étudiée lors d'un parcours prospectif afin de définir l'organisation de ces attributs et la dominance des espèces. Dans chaque type physionomique, au minimum deux quadrats de 100 m² (10x10) ou 50 m² sont établis, parallèles ou perpendiculaires à la côte, selon la largeur de la forêt. Chaque quadrat est délimité avec un ruban, et les quatre points cardinaux de chaque quadrat sont géoréférencés.



Claudia Agraz Hernández ©DR

Les premiers quadrats sont d'abord installés à la transition entre la mer et la terre (ligne de côte, estuaire, baie, etc.). La deuxième installation est établie dans la zone suivante, où la hauteur et la densité de la forêt changent, en excluant la zone de transition entre les forêts, et ainsi de suite.

Pour chaque quadrat, toutes les espèces d'arbres sont comptées et identifiées, et la hauteur est déterminée à l'aide d'une règle télescopique graduée, tandis que le diamètre est mesuré à 1,30 m du sol avec un ruban dendrométrique. Dans le cas des espèces présentant des racines aériennes, le diamètre est mesuré à 30 cm au-dessus de la dernière racine aérienne.

Lorsque la densité d'individus est très élevée, il est recommandé de réduire la taille du quadrat, par exemple dans les forêts de type arbustive.



Le calcul des attributs forestiers est effectué pour chaque quadrat, et la moyenne est établie à partir des deux quadrats par communauté, comme indiqué ci-dessous :

- **Densité absolue** : nombre moyen d'individus d'une espèce par zone d'échantillonnage ;
- **Densité relative** : densité absolue de l'espèce par rapport au total des densités absolues de toutes les espèces ;
- **Fréquence** : pourcentage d'unités d'échantillonnage dans lesquelles l'espèce est présente par rapport au nombre total d'unités utilisées ;
- **Hauteur** : hauteur moyenne des individus de l'espèce ;
- **Surface terrière (basal area)** : On divise le diamètre (en cm) par deux pour obtenir le rayon (r). Ensuite, on calcule la surface ($\pi (3,1416) \times r^2$ en cm^2). Le calcul de la moyenne des surfaces basales de chaque espèce de palétuvier fournit l'aire basale moyenne de chaque espèce en cm^2 (ABP). La surface terrière moyenne de chaque espèce (ABP) est multipliée par la densité absolue de chaque espèce, indiquant ainsi la surface par hectare de chaque espèce en particulier. Ensuite, la valeur est divisée par 10 000 pour obtenir la surface terrière par hectare de chaque espèce en $\text{m}^2/\text{hectare}$. La somme des surfaces terrières par hectare des différentes espèces donne la surface terrière totale ;
- **Dominance** : surface terrière totale de l'espèce sur la surface terrière totale de toutes les espèces du peuplement ;
- **Indice de valeur d'importance (IVI)** : caractérise l'importance d'une espèce par rapport à l'ensemble des autres espèces (= densité relative + dominance relative + fréquence relative).

© C. Agraz Hernández



© C. Agraz Hernández

4.4 | IDENTIFICATION DES ESPÈCES BIO INDICATRICES

Plusieurs bioindicateurs, animal ou végétal, et observables à l'œil nu, peuvent donner des informations sur l'état de la mangrove. Nous en citerons quelques-uns ci-dessous :

- **Pneumatophores** : leurs extrémités desséchées indiqueraient des changements du comportement de l'hydropériode ;
- **Changements de la dominance d'une espèce**, ou feuillage dégarni chez d'autres : pourrait être la conséquence d'une modification des paramètres physico-chimiques de l'eau interstitielle ;
- **Augmentation des halophytes** associées aux espèces de mangrove (*Sesuvium*, *Salicornia*, etc) peut indiquer :
 - des changements dans les conditions environnementales favorisant la croissance des plantes halophytes, tels que des variations de la salinité de l'eau ou du sol. Dans certains cas, cette situation peut refléter une dégradation de l'écosystème de mangrove, une approche importante dans l'étude de la dégradation de l'écosystème,
 - un processus naturel de succession écologique ou une plus grande diversité végétale dans l'écosystème, ce qui pourrait être le résultat de la récupération des conditions environnementales grâce à la mise en œuvre d'actions de restauration.
- **L'augmentation de la présence de champignons et d'insectes** est attribuée aux changements environnementaux qui provoquent la dégradation de l'écosystème. L'augmentation de la présence de certains insectes xylophages et de champignons saprophytes dans la zone est due à la présence d'arbres stressés et en processus de sénescence (Macías et al., 2023).

- **Diminution ou absence de crabes**, leur densité peut varier par déficit de l'oxygène dissout dans l'eau interstitielle



A



B

Site colonisé par (A) *Salicornia* et (B) *Sesuvium portulacastrum*. (A) © J. Prospero, (B) © M. Chavarria

4.5 | REPÉRAGE DES ESPÈCES INVASIVES

L'impact des plantes envahissantes sur les écosystèmes côtiers et marins est significatif, car elles peuvent altérer les cycles biogéochimiques, modifier les habitats et affecter des zones clés pour la reproduction et l'alimentation des oiseaux et des tortues aquatiques/côtières (Alonso & Castro-Díez, 2015).

Il existe de nombreux documents mentionnant des événements d'invasion et des espèces envahissantes dans les mangroves du monde entier, comprenant à la fois des espèces exotiques introduites accidentellement et des espèces indigènes devenues invasives en raison de modifications de l'habitat (Biswas et al., 2018). Par exemple, la fougère *Acrostichum aureum* est devenue envahissante dans plusieurs pays, notamment en Malaisie, en Australie, en Inde et dans plusieurs pays d'Amérique centrale et du sud tels que Porto Rico, le Brésil, le Panama, le Mexique et le Costa Rica, mettant en évidence la nécessité de traiter ce problème pour protéger l'intégrité des mangroves et des écosystèmes côtiers.

En Afrique, les activités humaines, la production de sel, la coupe de bois pour la construction, le combustible, ou l'aquaculture, et les apports d'eaux usées ont détérioré l'habitat des mangroves. En conséquence, l'espèce d'herbe envahissante *Paspalum vaginatum*, initialement

introduite pour nourrir le bétail et utilisée dans les terrains de golf, a envahi ces écosystèmes. Cette invasion fragmente et dégrade davantage les mangroves, affectant leur composition, leur structure et leur fonctionnement. Il est essentiel de traiter ces menaces pour préserver la biodiversité et les services écosystémiques fournis par les mangroves.



Colonisation par *Paspalum vaginatum* Ouidah, en Afrique ©DR



Colonisation des berges par la fougère *Acrostichum aureum* (en premier plan). © A. Rosenfeld

MIKOKO, LE PORTAIL D'ÉCHANGE DES SAVOIRS SUR LA MANGROVE <https://portal.mikoko.co.ke/>

Le projet Mikoko, initiative intégrée pour le renforcement des capacités pour la restauration et la conservation des mangroves au Kenya, s'articule autour d'un outil transversal et stratégique : le Portail d'échange des savoirs sur la mangrove (Portail Mikoko). Ce portail numérique rassemble et échange, en libre accès, des données et des connaissances pertinentes sur l'environnement des mangroves, avec un accent particulier sur la biodiversité (biodiversité animale et végétale géoréférencée, données cartographiques, observations, outil d'identification des plantes, entre autres) fournissant un outil de gestion des mangroves fiable et durable au Kenya. Le Portail Mikoko est constitué de divers modules



dont un outil pédagogique pour l'identification des plantes dédié aux non-spécialistes (pas besoin d'avoir des connaissances botaniques), avec un accès multi-entrées. L'utilisateur pourra se familiariser avec plus de 50 espèces de mangroves des littoraux indopacifiques, les plus diversifiés au monde! Si ce portail concerne le Kenya, ces modules, et notamment celui-ci, constituent des outils mobilisables par tous.

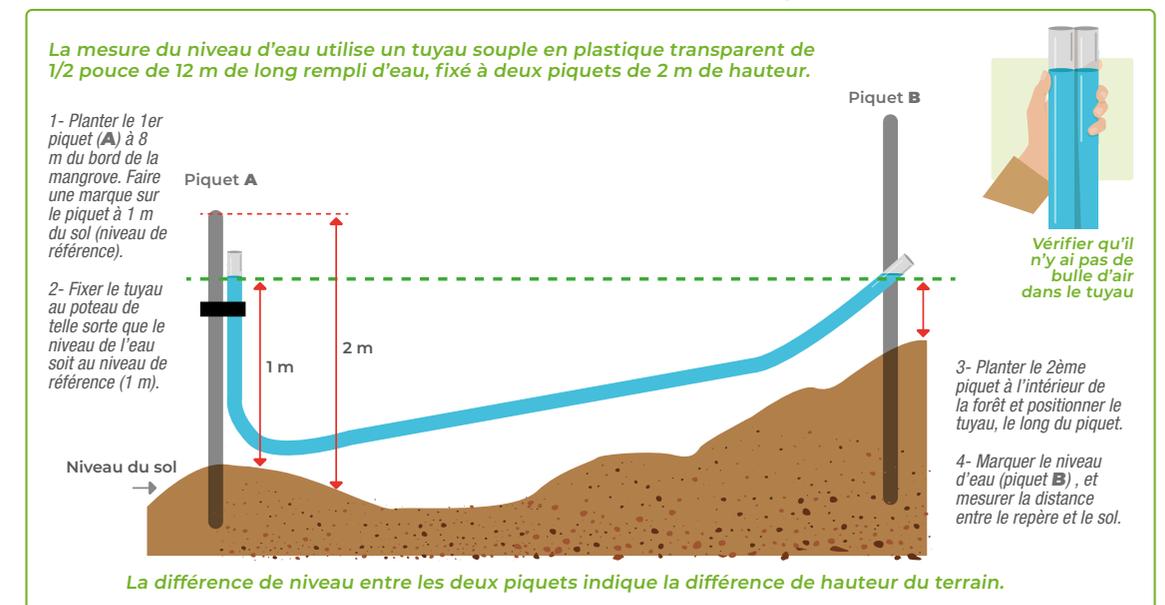
4.6 | ANALYSES DE LA TOPOGRAPHIE DU SITE

Les variations microtopographiques déterminent la distribution des types physiologiques de la mangrove, ainsi que la présence ou l'absence d'espèces pouvant se développer dans des zones potentiellement susceptibles de reboisement ou de reforestation. Elles permettent d'identifier le besoin d'excaver ou, au contraire, de combler le terrain afin de restaurer le niveau topographique adéquat. Dans les mangroves, une différence de seulement 3 cm dans le microrelief du sol et de 60 à 80 ups

de salinité par rapport à l'eau interstitielle distingue une forêt de mangrove en bordure d'un fourré monospécifique d'*Avicennia germinans* (Agraz Hernández, 1999).

Pour déterminer la distribution microtopographique, deux méthodes peuvent être utilisées en fonction de la taille de la zone à restaurer (supérieure ou inférieure à 20 ha) :

Figure 13. Méthode du niveau d'eau



ups : unité pratique de salinité (équivalent approximativement à 1mg/g de sels)

Site de restauration < 20 ha

La méthode traditionnelle avec une bouteille de niveau est une technique topographique pour déterminer les différences de hauteur sur le terrain. On utilise un tuyau transparent de 12 mètres, rempli d'eau et connecté à deux points du terrain séparés de 8 m environ (figure 13).

Cette procédure est répétée le long du profil de végétation, en enregistrant le début et la fin de chaque type physiologique, ainsi que la présence d'espèces adultes et de plantules.

La topographie sera déterminée à la fois dans la zone de référence et dans la zone de restauration afin de définir, par comparaison, les zones de reboisement et les espèces à planter.

En cas de détection :

- de subsidences, lorsque le niveau du sol est inférieur à celui de la distribution des espèces de mangrove, les sédiments extraits lors du creusement des canaux artificiels seront déposés pour le combler et le niveler,
- d'accrétions, lorsque le niveau du sol est trop élevé, des excavations seront réalisées pour permettre le passage des flux d'eau.

© J. Reyes Castellanos



Figure 19. Détermination du niveau topographique avec la méthodologie RTK au Bénin (photo ci-dessus) et distribution microtopographique d'une forêt de mangrove dégradée sur un site de Cuajiniquil, Costa Rica, 2018 (photo page p47).

Site de restauration > 20 ha

La méthode RTK (Real-Time Kinematic) est une technique avancée de positionnement utilisée pour obtenir les différences de niveau du sol de la zone d'intérêt avec précision et en temps réel. Elle repose sur des récepteurs GPS de haute précision et des stations de base, qui transmettent des corrections différentielles au récepteur RTK sur le terrain.

Le processus commence par l'installation d'une station de base en un point connu et stable dans la zone. Ensuite, un récepteur RTK (antenne) est déployé dans la zone à cartographier. Ce récepteur permet de calculer la position du sol avec une précision centimétrique en temps réel, sur la base des corrections différentielles reçues, via satellites, par la station de base. Le récepteur RTK mesure également la hauteur à l'aide de signaux GNSS, fournissant une représentation tridimensionnelle du terrain.

Au fur et à mesure que le récepteur RTK se déplace dans la zone d'intérêt, il enregistre continuellement des données de position et de hauteur, stockées dans une unité de stockage ou transmises en temps réel à un dispositif de traitement des données.

Une fois l'arpentage terminé, les données sont traitées à l'aide de logiciels spécialisés pour créer un modèle numérique du terrain, qui comprend des détails sur l'élévation, la pente et d'autres aspects topographiques de la zone cartographiée. Lors de l'application de la méthode RTK dans les écosystèmes de mangrove, les données sont corrigées par rapport au niveau moyen de la mer.

RTK (REAL TIME KINEMATIC)

Est une technique de topographie qui utilise des mesures de phase de navigateurs GPS, GLONASS et/ou Galileo. Avec une seule station de référence, elle fournit des corrections en temps réel pour atteindre une précision submétrique.



© A. Rosenfeld

Figure 14. Carte de la microtopographie de la zone à restaurer par la méthode RTK (Cuajiniquil)

4.7 | ANALYSE DE L'HYDROPÉRIODE

L'hydropériode correspond à la fréquence, la hauteur et la durée de l'inondation dans les différentes zones de la mangrove. Cette inondation est le résultat d'une combinaison de facteurs, tels que les effets de la marée, les apports fluviaux, le ruissellement et les fluctuations de la nappe phréatique. Le comportement de ce paramètre physique est également influencé par la microtopographie.

L'hydropériode détermine les conditions physico-chimiques de l'eau interstitielle et du sol, qui conditionne la structure de la mangrove et l'installation des espèces dans les zones ; elle permet de déterminer également les zones adaptées au projet de reboisement (Flores Verdugo et al., 2007). Ainsi, si le régime hydrologique du site a été modifié, il est essentiel d'établir les paramètres nécessaires pour définir les techniques de réhabilitation les plus favorables.

Quantification rapide des niveaux d'inondation

Les modèles hydrodynamiques et de marée sont des outils indispensables pour prévoir les changements dans l'amplitude de l'inondation dans les écosystèmes de mangrove.

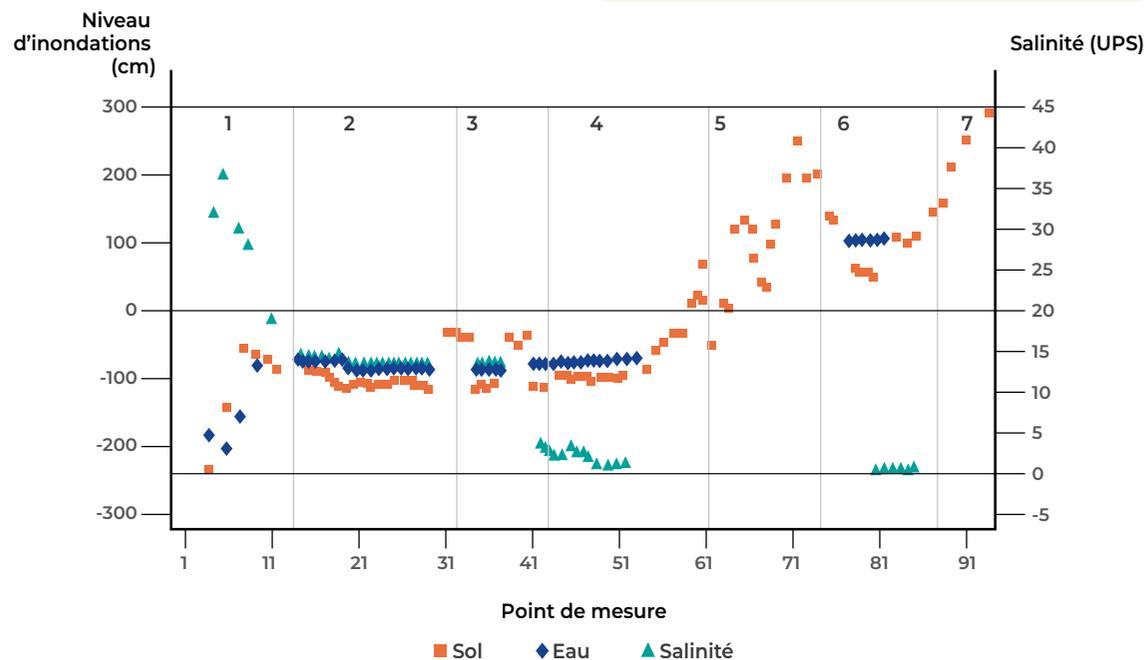
Les zones d'inondation nictémérale sont délimitées pendant les marées basses, les marées hautes et pendant la période des marées les plus hautes dans les différentes formations végétales (ou types physiologiques) de la mangrove, tel que déterminé dans l'analyse de la structure forestière. Ceci est réalisé en se basant sur les tables de marées spécifiques au site et en tenant compte de l'heure. Cette détermination sera effectuée lors de l'évaluation de la microtopographie (voir méthode d'étude de la topographie).

La méthode est la suivante : plusieurs jalons sont installés le long du profil de végétation, du bord de mer vers la terre ; le premier est placé en dehors de la mangrove, dans l'eau, et un autre au début de la forêt, à 10 mètres après la limite inférieure. Le troisième jalon est situé à 10 mètres du deuxième, et ainsi de suite jusqu'à couvrir les différents types physiologiques.

Une fois les jalons installés, l'amplitude d'inondation est mesurée simultanément sur chacun d'eux, à l'aide d'un mètre ruban, en mesurant la distance entre le sol et le niveau maximum de l'eau (amplitude de marée) au moment des marées les plus hautes et les plus basses.

QUALITÉ DU SOL ET DES SÉDIMENTS (I. SAKHO)

La teneur en eau du sol et la qualité physico-chimique des eaux interstitielles sont contrôlés par la texture du substrat. L'étude granulométrique sur les trois fractions suivantes (sable, silts et argile, sur des échantillons de sol prélevés à différentes profondeurs au niveau des 20 à 30 premiers centimètres) est donc capitale pour l'analyse des facteurs d'échecs ou de succès dans un projet de restauration de mangrove. Ces prélèvements *in situ* et les analyses texturales en laboratoire peuvent être associés à des observations macroscopiques sur le terrain notamment à partir de la couleur du sol. A Joal (Sénégal) un taux de mortalité important a été observé sur un site où le sol présentait un aspect rouge brun caractéristique d'un sol riche en oxyde de fer et d'alumine.



	(1) Forêt de <i>Rhizophora</i> sp.	(2) Forêt de <i>Avicennia</i> sp. <i>Laguncularia</i> sp.	(3) Zone humide Tular	(4) Zone humide Popal	(5) Zone inondable	(6) Lac interdunaire	(7) Végétation inondable
Végétation	<i>Rhizophora mangle</i>	<i>Avicennia geminans</i> , <i>laguncularia racemosa</i>	<i>Typhnia domingensis</i>	<i>Sagittaria lancifolia</i> , <i>Pontederia sagittata</i>	<i>Echinochloa pyramidalls</i>	<i>Pistia stratiotes</i>	<i>Annona globra</i> , <i>Pachira aquatica</i> , <i>Ginoria nudiflora</i>
Potentiel redox pendant la saison sèche (mV)	116.8 ± 13.8	425.7 ± 4.3	311.7 ± 31.7	238.0 ± 21.7	456.6 ± 8.6	430.3 ± 24.9	483.7 ± 13.4

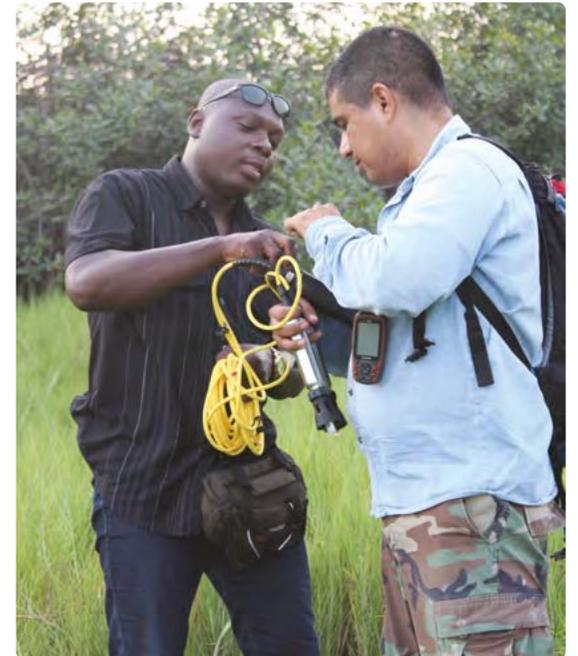
Figure 15. Profil topographique et végétal le long d'une zone humide au nord de la lagune de La Mancha, Veracruz, Mexique. Le niveau de l'eau, du sol et la salinité sont présentés le long des différentes communautés du transect. Le potentiel redox a été mesuré à une époque où la lagune interdunaire était complètement à sec (Flores Verdugo et al., 2007).

4.8 | ANALYSE DE LA QUALITÉ DE L'EAU INTERSTITIELLE

Salinité, pH, potentiel d'oxydoréduction et température

Les études *in situ* des paramètres physico-chimiques de l'eau interstitielle, la température, le pH, la salinité et le potentiel d'oxydoréduction, sont effectuées tout au long de l'année, à une fréquence minimale de deux fois par saison. Ces mesures sont faites à partir de piézomètres, deux par type physiologique.

Les piézomètres sont constitués d'un tuyau en PVC (chlorure de polyvinyle) de 10 cm de diamètre et de 1,5 mètre de long. Des trous de 1 cm de diamètre sont percés dans chaque tube sur les 30 derniers centimètres de chaque tube, correspondant à la zone où se trouve la plus grande quantité de biomasse de racines d'arbres, ce qui permet à l'eau interstitielle de pénétrer à l'intérieur du tube (Flores-Verdugo et al., 2007).



© C. Agraz Hernández

Tuyau en PVC percés sur les 30 derniers centimètres



Installation du tuyau à une profondeur où la biomasse racinaire est maximale

Figure 16. Installation de tuyaux en PVC dans les sous-parcelles de reboisement pour la collecte d'échantillons d'eau et la mesure des paramètres physico-chimiques *in situ*, conformément à Agraz Hernández et al. (2007). © C. Agraz Hernández

Dans le site de référence

Dans la forêt de référence, le piézomètre doit être placé à la profondeur où la biomasse racinaire maximale est détectée, sur les profils de végétation. Ce processus est crucial pour enregistrer les intervalles des paramètres physico-chimiques de l'eau interstitielle dans la mangrove en bon état, car ces données seront comparées avec les intervalles enregistrés dans la zone à restaurer afin d'établir les stratégies de restauration.

Dans le site de restauration

Le site de restauration doit être divisé en parcelles de 100 m x 100 m qui seront délimitées. Si les gammes de paramètres environnementaux s'avèrent très larges, il est conseillé de réduire les dimensions de la parcelle à 60 m x 60 m, afin d'établir des unités de mesure plus précises.

Installation des piézomètres

Les piézomètres doivent être enterrés jusqu'à une profondeur où le système racinaire est le plus développé (environ 50 cm depuis la surface des sédiments) et l'emplacement de chaque tube doit être géoréférencé (Agraz Hernández et al., 2011 ; Agraz Hernández et al., 2022). Ces tubes sont disposés en fonction du niveau topographique, en prenant en compte les caractéristiques du sol, le niveau d'inondation et les indicateurs biologiques les plus pertinents pour retracer l'histoire du

site. Dans chaque parcelle, il faut placer au moins 8 tubes par hectare, bien que ce nombre puisse varier en fonction de l'hétérogénéité de la topographie, de la variabilité des paramètres chimiques et de la présence de canaux naturels.

Chaque piézomètre est drainé et l'eau interstitielle est prélevée afin de déterminer les paramètres physico-chimiques (pH, potentiel redox, salinité, température et nutriments) à l'aide d'une sonde multiparamétrique ; ces analyses seront faites mensuellement à la fois dans la forêt de référence et sur le site de restauration.

Les concentrations de salinité et les valeurs du potentiel d'oxydoréduction de l'eau seront classées sur la base de Cronk et Siobhan Fennessy (2001), Agraz Hernández et al. (2007a), Chan Keb (2007).

L'analyse de ces paramètres permet de définir les conditions de stress environnemental pour les mangroves sur le site de restauration et ainsi ajuster la conception du modèle de réhabilitation hydrologique proposée.



Analyse de l'eau interstitielle (Cuajiniquil, Costa Rica) @ A. Rosenfeld

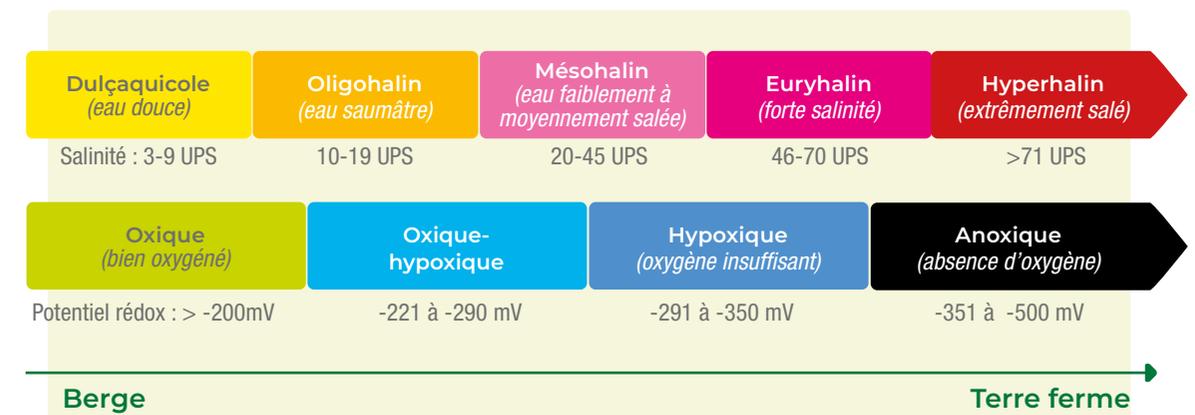


Figure 17. Evolution de la salinité et du potentiel redox le long d'un profil de végétation

Nutriments

L'analyse des nutriments dans l'eau interstitielle est considérée comme un indicateur critique de la santé de l'écosystème, en raison de son influence sur la croissance des plantes, la productivité biologique et la qualité de l'eau.

De plus, elle révèle les effets négatifs à long terme de l'eutrophisation, causée par l'apport constant des eaux usées sur les plantes, une information prioritaire à prendre en compte dans les programmes de récupération de la qualité de l'habitat.

Dans le domaine de la restauration, cette analyse permet d'identifier la disponibilité des nutriments pour les propagules provenant de la régénération naturelle et les espèces plantées, ainsi que pour d'autres organismes de la mangrove.

La collecte des échantillons se fera dans chaque piézomètre. Deux échantillons seront recueillis dans des flacons en polypropylène de 50 ml, préalablement lavés selon les critères de Gasshoff et Johansen (1973), et Koroleff (1983). Une goutte de phénol sera ajoutée à l'un des flacons pour réduire l'activité bactérienne. Les échantillons seront transportés sur de la glace pendant le travail sur le terrain et conservés à -4°C au laboratoire jusqu'à leur traitement. Il est recommandé d'analyser les composés azotés oxydés (nitrates et nitrites), ainsi que les phosphates, des nutriments liés à la nutrition des plantes. De plus, il est important d'analyser les composés azotés réduits (ammonium) car ils sont liés aux conditions réduites de l'eau interstitielle, les phosphates à la qualité de l'eau et les sulfates à l'entrée de l'eau de mer.



Détermination de la salinité, du potentiel redox, du pH et de la température de l'eau interstitielle dans une forêt d'*Avicennia germinans* sur un site en Amérique Centrale.
© C. Agraz Hernández



Vidange du piézomètre



Collecte d'eau interstitielle



Conservation des échantillons à -4°C



Prétraitement-filtrage par détermination



Préparation par facteur de dilution



Intégration de chromatogrammes pour obtenir les concentrations d'ions, d'anions et de cations

Figure 18. Procédure sur le terrain et en laboratoire pour l'analyse des nutriments dans l'eau interstitielle des mangroves © C. Agraz Hernández



3

CHAPITRE 3

UNE MÉTHODE D'ÉVALUATION RAPIDE DE L'ÉTAT DES MANGROVES

Autrice : Lisa MACERA



© E. Delord

.1 LA MÉTHODE RAM MANGROVES

La méthode RAM-Mangroves permet d'estimer l'état des écosystèmes de mangroves de manière rapide, peu coûteuse et à la portée des compétences de gestionnaires. Cette méthode permet d'obtenir une note globale de l'état de l'écosystème à l'aide d'indicateurs à la fois écologiques mais également socio-économiques. Dérivée de la méthode MERCI-Cor, élaborée spécifiquement pour les récifs coralliens par l'IFRECOR depuis 2016 (Pinault, Pioch et Pascal, 2017), les méthodes MANRAM (Mangrove Rapid Assessment Method), développée depuis 2019 (Pinault, rapport interne de l'ifrecor) et la méthode RAM-Mangroves (Macera et al., 2024) sont dédiées aux écosystèmes de mangroves. Cette section présente son contenu et son mode de fonctionnement, puis les champs d'application de la méthode. Enfin, les limites inhérentes à ce type d'approche sont présentées.

Face à des contraintes de temps, de budget et de compétences, les gestionnaires requièrent des outils à la fois efficaces et simples d'utilisation (Mechin et al., 2023). Néanmoins, il est impératif que ces instruments parviennent à capturer une complexité adéquate du système socio-écologique concerné. Les méthodes couramment employées pour évaluer l'état des mangroves, souvent basées sur un indicateur unique ou un nombre restreint d'indicateurs, s'avèrent insuffisantes pour appréhender la complexité inhérente à un système socio-écologique aussi riche que celui des mangroves. D'où l'importance d'une démarche intégrée et multicritère, conçue pour embrasser au mieux cette complexité, conformément aux recommandations de nombreux auteurs (Borja et al., 2009; Faridah-Hanum et al., 2019). La caractérisation globale de la structure de l'écosystème, l'appréciation de son état et

l'identification des pressions environnementales constituent des composantes fondamentales de toute démarche de gestion environnementale.

Face à ce manque d'outils adaptés, des méthodes d'évaluation rapide des écosystèmes ont vu le jour aux États-Unis dans les années 90 (Pioch et al., 2015). Elles sont appelées RAM pour « Rapid Assessment Method » car elles sont peu coûteuses, rapides et demandent une expertise scientifique accessible. Aujourd'hui, ces méthodes sont largement éprouvées, et de nombreux guides ont été publiés afin d'encadrer leur développement (Dorney et al., 2018; Sutula et al., 2006).



RAM

Les RAM (rapid assessment method ou méthodes d'évaluation rapide) sont des méthodes employées dans de nombreux domaines

telles que la médecine, la géologie ou encore l'agroécologie, elles ont aujourd'hui une grande notoriété dans la communauté scientifique.

La méthode RAM-Mangroves s'inspire plus précisément de la méthode UMAM créée par le gouvernement de l'Etat de Floride, destinée à évaluer l'état des zones humides et côtières de Floride dans le cadre de projet d'aménagement (plus d'informations disponibles ici : <https://www.flrules.org/gateway/ChapterHome.asp?Chapter=62-345>).

1.1 | LES INDICATEURS ET LE SYSTÈME DE NOTATION

Afin de pouvoir évaluer l'état des mangroves, un système de notation reposant sur des indicateurs environnementaux a été développé. Ce système permet de calculer une note globale qui reflète l'état général de l'écosystème. Cette note globale est obtenue en moyennant les notes de 15 indicateurs écologiques et socio-économiques.

Ces 15 indicateurs sont regroupés en cinq catégories représentant les principaux aspects de l'écosystème : le contexte paysager, les palétuviers, le sol, la biodiversité associée et la relation société-mangroves. Les indicateurs sont présentés sur le tableau suivant.

CATÉGORIE	INDICATEUR
1 Le contexte paysager	1. Connectivité
2 Les palétuviers	2. Richesse spécifique
	3. Taux de recouvrement
	4. Dynamique de population
	5. Hauteur de la canopée
	6. Taux de mortalité
	7. Vitalité
	3 Le sol
9. Salinité de l'eau interstitielle	
10. Dynamique sédimentaire	
5 La biodiversité associée	11. Abondance en crabes
	12. Faune et flore associées
6 La relations société-mangrove	13. Variété des usages par les communautés locales
	14. Niveau de protection de la zone
	15. Pollution aux macrodéchets

Tableau 2. indicateurs des principaux aspects socio-écologiques



© A. Rosenfeld

Chaque indicateur reçoit une note de 0 à 3, basée sur une description précise de chaque classe de note (0, 1, 2 et 3). À titre d'exemple, considérons la catégorie n° 2 "Les palétuviers" qui inclut l'indicateur N°7 "vitalité".

Cet indicateur permet d'évaluer la présence de maladies, de parasites ou d'autres facteurs pouvant entraîner des dommages aux palétuviers et à terme à l'écosystème. Les descriptions des 4 niveaux de notes sont présentés sur la figure 19. Les détails des notes de l'ensemble des indicateurs sont disponibles en annexe de cet ouvrage.



0. Les palétuviers n'ont presque pas de feuillage ou seulement des feuilles jaunes ou brunes et/ou toutes les feuilles présentent des signes de maladie.

1. Les mangroves ont peu de feuillage, il y a beaucoup de feuilles jaunes ou brunes et/ou la majorité des feuilles présentent des signes de maladie.

2. Les mangroves ont un feuillage dense, vert, mais certaines parties ont un feuillage moins dense avec quelques feuilles jaunes ou brunes et/ou présentent des signes de maladie.

3. Les mangroves ont un feuillage très dense, très vert, avec très peu de feuilles jaunes ou brunes et aucun signe de maladie.

Figure 19. Détail des notes du indicateur « vitalité »

1.2 | MODALITÉS OPÉRATOIRES POUR LA NOTATION

Selon l'indicateur considéré, les données peuvent être obtenues soit par un échantillonnage sur le terrain, soit par une analyse bibliographique, soit grâce à des méthodes d'analyse d'images spatiales (Andrieu, 2018). À titre d'exemple, si un inventaire faunistique et floristique a récemment eu lieu dans la zone, l'indicateur de la faune et de la flore associée peut être facilement renseigné. Le taux de recouvrement peut, quant à lui, être aisément déterminé grâce à des méthodes d'analyse spatiale, telles que la télédétection à haute résolution. Cependant, pour la majorité des indicateurs, un échantillonnage sur le terrain est absolument nécessaire. Afin de minimiser au maximum les biais liés à l'effort d'échantillonnage, nous avons élaboré un protocole d'échantillonnage standardisé.

Le dispositif spatial élémentaire du protocole de terrain consiste en un transect linéaire terre-mer. Dans l'idéal, lorsque cela est possible, il est préférable au traditionnel quadrat. Cela s'explique par le fait que les mangroves présentent une forte zonation de certains paramètres le long de la zone de balancement des marées. L'échantillonnage en transect linéaire permet de mieux prendre en compte cette réalité écologique. La longueur de ce transect peut être adaptée en fonction de la difficulté d'accès à la zone, idéalement l'intégralité de la canopée devrait être traversé, si ce n'est pas possible, nous recommandons une longueur de 50 mètres environ minimum, sous la forme d'une série de petits transects régulièrement répartis sur chenal à la terre ferme. Il est important de noter que l'échantillonnage sur le terrain se réalise toujours à marée basse.



Le protocole d'échantillonnage détaillé ci-dessous a été spécifiquement réalisé pour les mangroves du Sénégal (delta du Saloum). La méthode nécessite un recalibrage du protocole pour s'adapter aux spécificités de chaque nouveau territoire.

En ce qui concerne l'effort d'échantillonnage, celui-ci varie en fonction de la taille de la zone d'intérêt. Pour les zones de moins de 100 mètres de linéaire côtier, nous considérons que ces zones sont homogènes pour l'ensemble de nos indicateurs et un seul transect est donc suffisant pour les décrire.

Pour les zones dont la taille dépasse les 100 mètres de linéaire côtier, nous préconisons un effort d'échantillonnage de 5 transects, répartis de manière régulière, pour chaque tranche de 2 km de linéaire côtier (figure 3).

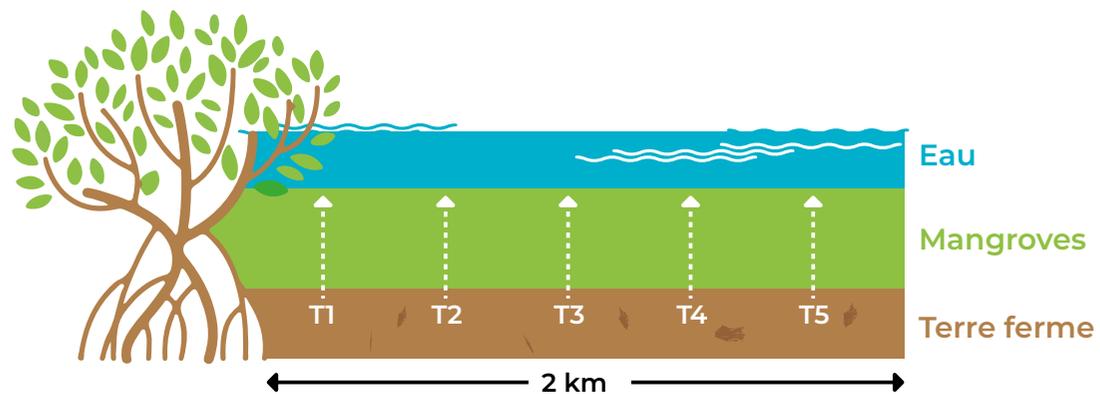


Figure 20. Protocole d'échantillonnage de la méthode RAM Mangroves pour une zone de 2km de linéaire côtier.

1.3 | MODALITÉS OPÉRATOIRES POUR LA NOTATION

En moyennant l'ensemble des notes, on obtient une note globale qui est un indicateur de l'état de l'environnement. Mais comment interpréter cet indicateur ? Pour répondre à cette question

prenons un exemple, l'évaluation d'une zone de mangrove au delta du Saloum, au Sénégal menée en 2023, dont les notes obtenues sont présentées ci-après (cf. Tableau 3).

CATÉGORIE	INDICATEUR	MOYENNE DES NOTES DE TOUS LES TRANSECTS
1 Le contexte paysager	1. Connectivité	2.4
	2. Richesse spécifique	2.1
2 Les palétuviers	3. Taux de recouvrement	2.6
	4. Dynamique de population	2.8
	5. Hauteur de la canopée	1.4
	6. Taux de mortalité	2.8
	7. Vitalité	2.6
3 Le sol	8. Texture du substrat	2.9
	9. Salinité de l'eau interstitielle	3
	10. Dynamique sédimentaire	2.8
5 La biodiversité associée	11. Abondance en crabes	2.5
	12. Faune et flore associées	2
6 La relations société-mangrove	13. Variété des usages par les communautés locales	2.7
	14. Niveau de protection de la zone	2
	15. Pollution aux macrodéchets	2
NOTE MOYENNE		2.44

Tableau 3. Notation de la zone de palétuvier d'étude du Saloum au Sénégal



Restauration de la mangrove au Sénégal © © E. Delord

La note globale de la zone d'intérêt est de 2.44/3. Cela correspond à un très bon état du système socio-écologique, très peu altéré et qui peut assurer la majorité de ses fonctions écologique et/ou socioéconomique. Cette note est confirmée par les suivis réalisés par l'université du Sénégal (Awa Rane Ndoye, Issa Sakho Université Cheikh

Anta Diop de Dakar, com. pers.), sur le secteur, qui confirme la très bonne qualité environnementale de ce site considéré comme site de référence.

Afin de guider au mieux l'utilisateur dans l'interprétation des résultats de l'indicateur global, il pourra se référer au tableau ci-dessous :

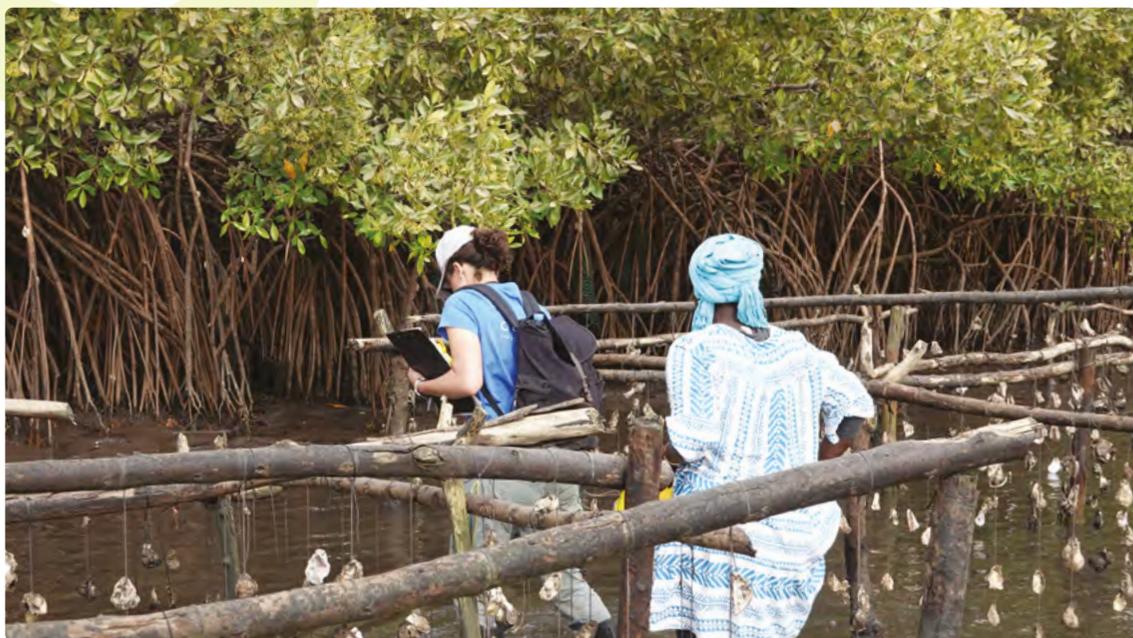
NOTE	DESCRIPTION
0-0,75	Un état complètement altéré due aux activités humaines et/ou aux événements naturels, les changements sont si importants qu'il y a une conversion presque totale de l'écosystème. L'écosystème ne peut plus remplir ses fonctions écologiques et socio-économiques.
0,75-1,5	Un état altéré dû à des activités humaines et/ou à des événements naturels. Une conversion partielle de l'écosystème a lieu. L'écosystème ne peut plus assurer la majorité de ses fonctions écologiques et socio-économiques, mais certaines fonctions sont maintenues.
1,5-2,25	Un bon état mais légèrement altéré dû aux activités humaines et/ou aux événements naturels. L'écosystème peut assurer la plupart de ses fonctions écologiques et socio-économiques, mais certaines fonctions ont été perdues ou le seront certainement dans un futur proche.
2,25-3	Très bon état et inaltéré. L'écosystème peut remplir toutes ses fonctions écologiques et socio-économiques de manière durable et peut présenter des caractéristiques exceptionnelles faisant du site une zone de fort intérêt écologique et/ou socioéconomique.

Tableau 4. Interprétation des résultats selon chaque classe de note

Cette note permet aux aménageurs ou aux gestionnaires de mieux appréhender l'état environnemental des sites et les enjeux forts ou faibles y afférant.

2 CHAMPS D'APPLICATION DE LA MÉTHODE

© E. Delord



Cette méthode a une multitude d'applications dans divers types de projets :

- **Projets de restauration des mangroves** : elle permet de réaliser un diagnostic initial de la zone ciblée pour la restauration. Cela offre une compréhension globale de l'écosystème et identifie les principaux facteurs de dégradation. Dans le cas de plusieurs sites potentiels, elle aide à identifier les zones présentant les enjeux les plus importants et à choisir le site le plus approprié, en complément d'autres sources d'informations. Après la mise en œuvre des mesures de restauration, cette méthode peut également être utilisée pour surveiller l'état de l'environnement et évaluer l'impact des mesures de restauration. L'outil n'a de sens que s'il est utilisé de la même façon comme outil d'état initial (t-1 vs. t+1) avant projet et ensuite après la restauration comme outil d'évaluation
- **Projets d'aménagement côtier** : Un diagnostic initial dans la zone visée par le projet sert de référence au questionnaire pour l'étude d'impact associée. Ce diagnostic constitue également la base pour déterminer les éventuelles mesures de compensation nécessaires. Cette approche, déjà utilisée dans la méthode MERCI-COR, peut être également transposée pour la méthode RAM-Mangroves. Après le projet d'aménagement la méthode doit être utilisée pour surveiller l'état des mangroves et estimer les pertes écologiques du au projet.
- **Projets de recherche** : En appliquant cette méthode sur un même site sur le long terme, il est possible de comprendre l'évolution temporelle du site et les réponses de l'écosystème aux pressions subies. Cela offre des informations précieuses pour les projets de recherche en écologie et en conservation de l'environnement.

3 LIMITES DE LA MÉTHODE

Pour bien utiliser cet outil, il est crucial d'être conscient de ses éventuels biais et limitations. Tout d'abord, la méthode repose sur un système de notation semi quantitatif, qui introduit un biais potentiel et une variabilité dans le processus d'évaluation en fonction de la personne qui réalise la méthode, pour pallier cela, le système de notation présente un haut niveau de détails afin d'orienter l'utilisateur au maximum. Deuxièmement, la méthode fournit une évaluation instantanée de l'état des mangroves, pour les aspects écologiques et sociaux, à un moment précis. Elle ne permet pas de saisir pleinement la variabilité temporelle et la dynamique écologique à long terme des écosystèmes de mangrove, en particulier dans un contexte de changement climatique rapide. Enfin, cette méthode est très récente et comme tous les outils d'aide à la décision, celle-ci gagnera en robustesse grâce au partage d'expérience et des utilisations répétées.

En dehors de ces remarques intrinsèques à l'outil, rappelons également qu'en général l'évaluation de l'état écologique des mangroves avec des indicateurs sur le terrain sont difficiles à renseigner par des problèmes liés à :

- **L'accessibilité** : Les mangroves se trouvent généralement dans des régions côtières aux écosystèmes complexes et dynamiques. Elles présentent souvent des environnements boueux, marécageux ou intertidaux, ce qui rend difficile la traversée du terrain à pied ou avec des véhicules conventionnels ;
- **L'influence des marées** : Les fluctuations du niveau de l'eau dues à la marée empêche l'accès aux sites de manière temporaire ;
- **La végétation dense** : Les mangroves sont caractérisées par une végétation dense, comprenant des racines échasses, des

pneumatophores et des sous-bois enchevêtrés. Ces caractéristiques peuvent rendre difficile la pénétration dans la forêt et l'accès à des sites d'étude spécifiques.

- **Les lieux éloignés** : De nombreuses mangroves sont situées dans des régions éloignées ou isolées, souvent loin des centres urbains ou des installations de recherche. Des infrastructures limitées, des moyens de transport inadéquats et de longues distances à parcourir peuvent poser des problèmes logistiques et augmenter le coût et le temps nécessaire au travail sur le terrain.

Pour surmonter ces difficultés, les chercheurs ont souvent recours à des techniques spécialisées telles que la télédétection (couplées aux SIG). En outre, la collaboration avec les acteurs locaux, y compris les agences gouvernementales, les institutions de recherche ou les organisations communautaires qui connaissent bien la région, peut aider à surmonter les obstacles logistiques pour accéder aux écosystèmes de mangrove.

Pour conclure, cette approche représente la première méthode d'évaluation rapide de l'état des mangroves, accessible aux gestionnaires. Elle permet une évaluation intégrée du système socio-écologique, tout en tenant compte des contraintes des gestionnaires en termes de temps, de budget et de compétences.



CHAPITRE 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 gestion 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'envasement 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'envasement 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 *Pelluciera 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 propagules (en fonction de la phénologie et de 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. Prosperi

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 Benin (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 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 écailleux 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.

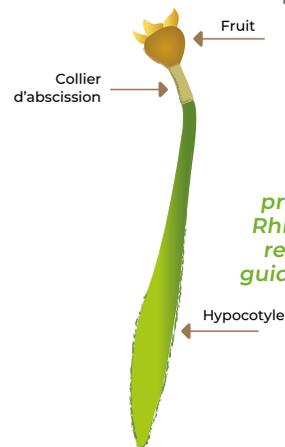


Figure 20. Schéma d'une propagule (fruit germé) de *Rhizophora*. Modifié de « La restauration de mangrove, guide technique, web, 2018 ».

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.

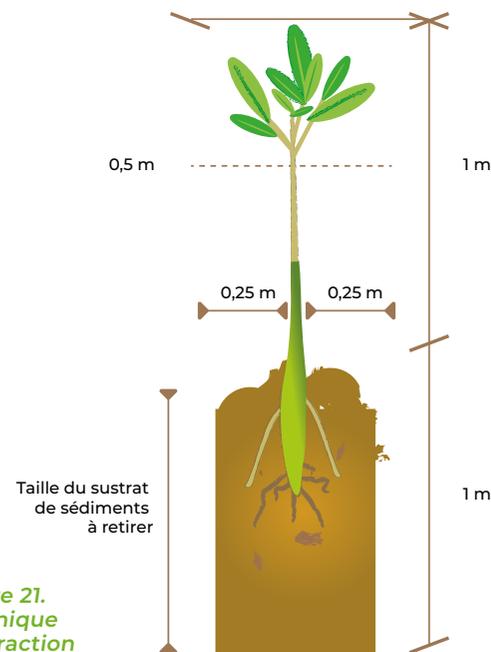


Figure 21. Technique d'extraction

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

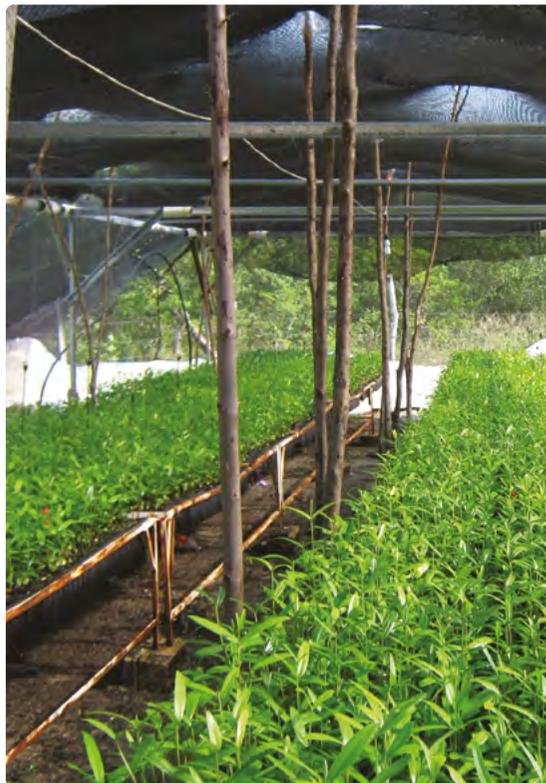
La création de pépinières de mangrove répond à la nécessité de produire des plants présentant des caractéristiques homogènes en termes de vigueur et de santé. Les plants produits dans ces conditions ont tendance à présenter des niveaux de stress faibles, des taux de résistance et des taux de croissance 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.

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.



Pépinière à Laguna de Términos, Mexique
© Juan Osti Saenz



Pépinière en Asie
@ Julien Andrieu

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 (*Ascophylum 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.

Le reboisement : il est conseillé d'établir une densité de plantation avec des distances comprises entre 1,5 m et 2,0 m. En suivant ce schéma de plantation, on obtient une densité allant de 4 400 à 2 500 plants par hectare. Il n'est recommandé d'augmenter la densité que lorsqu'il s'agit d'un site où l'on veut éliminer les invasives. On tiendra compte d'un taux de mortalité de 50 % dû à des facteurs tels que la transplantation, la concurrence entre les semis, les parasites, entre autres.



© 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.

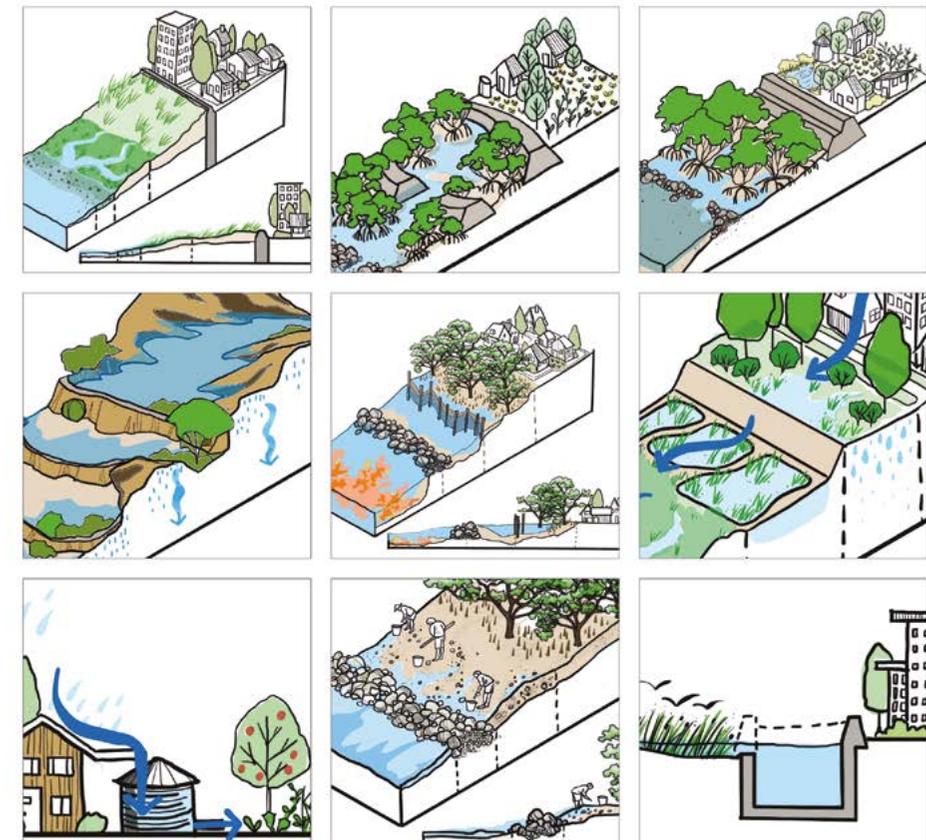
COMBINER INFRASTRUCTURES VERTES ET GRIS

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



5

CHAPITRE 5

VALORISER LA MANGROVE

Autrice : Marie-Christine CORMIER-SALEM

1 INTRODUCTION

Pour répondre aux trois piliers de la convention sur la diversité biologique (conservation, usage durable et équité) et aux objectifs du développement durable (adaptation au changement climatique, maintien de la vie sur terre et en mer, lutte contre la pauvreté et la faim, équité, etc.), les politiques internationales de conservation de la mangrove (cf. introduction générale) incitent à mettre en œuvre des actions de valorisation sur le terrain, au bénéfice des communautés locales. Le développement d'activités génératrices de revenus pour les communautés est ainsi proposé dans la plupart des projets de restauration des mangroves, notamment pour compenser la limitation des accès et usages des ressources qui découlent de ces projets et favoriser l'appropriation des règles par les usagers. Or, augmenter les revenus des habitants de la mangrove est loin d'être la seule forme de valorisation de la mangrove.

Cette section vise à expliquer la diversité des formes de valorisation de la mangrove et à décrire les outils (économiques, juridiques, institutionnels) qui contribuent à conserver ces systèmes socio-écologiques, dans leurs diverses composantes.

VALORISER ?

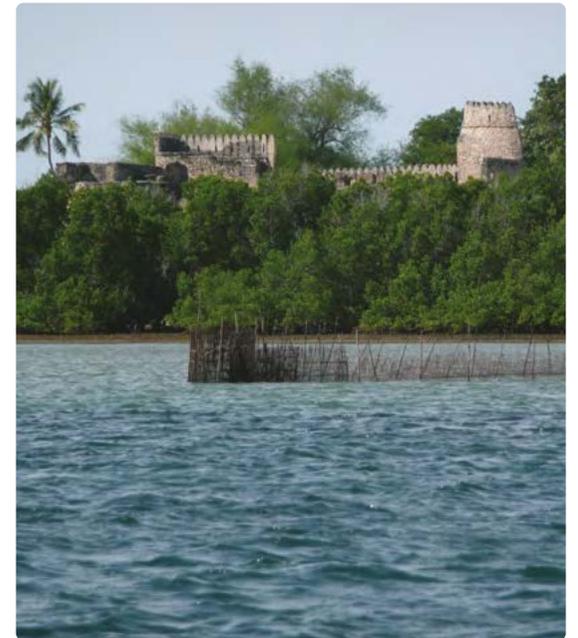
Valoriser signifie assurer le maintien ou la restauration du bon état de santé des écosystèmes mais aussi le bien-être des habitants et usagers locaux. Les démarches de valorisation constituent des opportunités d'abord économiques, qui permettent de concilier conservation et partage équitable des bénéfices. En outre, ce sont des opportunités pour repenser le développement local et concevoir le développement territorial sur de nouvelles bases, en constituant des espaces de négociation entre toutes les parties prenantes, du local à l'international.

1.1 | QUELLES VALEURS ?

Les valeurs peuvent être instrumentales, liées aux usages directs et indirects des ressources naturelles et des paysages de la mangrove (cf. Annexe 1). Elles se mesurent alors en terme monétaire, via la mise sur le marché des produits issus de diverses pratiques extractives (pêche, coupe du bois, collecte du sel, etc.). Mais ces valeurs peuvent aussi être relationnelles (valeur patrimoniale, valeur d'existence, rituelle, etc.). En effet, la mangrove n'est pas un simple bien marchand. Elle fournit aussi des services, qui peuvent faire l'objet de valorisation, tels les paysages remarquables valorisés en tant que sites touristiques, réserves ornithologiques, aires marines protégées. La mangrove dans ses diverses composantes peut ainsi être reconnue comme un patrimoine, un espace hérité des ancêtres que la communauté veut transmettre, en l'état ou enrichi, aux générations suivantes. La charge symbolique, identitaire, sacrée des mangroves ne doit pas être sous-estimée. La reconnaissance des liens qui unissent une communauté à « sa » mangrove est un moyen de garantir la résilience du système socio-écologique.

Pour s'assurer du succès des démarches de valorisation, tout opérateur.trice du développement se doit de suivre deux impératifs :

- partir des catégories locales, des pratiques, savoirs et règles des habitants et usagers locaux et analyser leurs articulations (ou non) avec les autres savoirs (académiques) et normes, le plus souvent édictées à l'international et réglementations (droit positif ou officiel). Les instruments de valorisation étudiés (instruments de « reconnaissance » formalisés de type « indication géographique » (IG19), label, signe de qualité, marques de parc, écocertification, etc.) doivent être pensés en fonction de la singularité des contextes locaux ;
- co-construire les démarches avec les parties intéressées, les accompagner et mesurer leur plus-value avec des indicateurs de suivi pertinents, définis dès le démarrage du processus : en quoi ces démarches permettent-elles d'accroître les revenus économiques des communautés et de reconnaître les usagers de la mangrove avec leurs droits, savoirs et liens à la mangrove.



Les îles Kilwa, au large de la Tanzanie, un patrimoine remarquable © Cormier-Salem, IRD

Ce présent guide n'est pas prescriptif ; il propose un cadre qui « guide » ou oriente tout acteur de terrain (opérateur.trice, gestionnaire, ONG, association etc.) pour qu'il.elle se pose les bonnes questions, appréhende les opportunités, anticipe les risques.

Ce chapitre comprend deux volets :

1. les démarches de valorisation des produits de la mangrove, désignés comme des « productions localisées ».
2. La mise en patrimoine de la mangrove via l'écotourisme, les musées et écomusées.

Dans un cas comme dans l'autre de ces projets de valorisation et de patrimonialisation, les questions à se poser sont : Qui ? Quoi ? Comment ? Des illustrations sont fournies, notamment à partir des travaux réalisés sur le terrain en Afrique de l'Ouest.

La fabrication de la mangrove comme patrimoine local relève d'un processus de revendication collective, liant passé (mémoire ou tradition), présent (territoire, identité) et futur (transmission intergénérationnelle).

Figure 22. Système de valeurs associées à la mangrove. Lire : (dans le sens des aiguilles d'une montre, à partir du haut.) Bien-être et santé ; Langue ; Art, artisanat et musique ; Animaux et plantes en tant que famille, totems et esprits ; Institutions communautaires et gouvernance ; Moyens de subsistance et économie ; Vêtements, combustible, fourrage et abri ; Alimentation ; Médecine traditionnelle ; Apprentissage et transmission des connaissances (IPBES, 2022, <https://zenodo.org/records/6810036>)



2 VALORISATION DES PRODUITS ISSUS DE LA MANGROVE

Les produits issus de la mangrove ne doivent jamais être sélectionnés a priori par l'opérateur. trice mais toujours identifiés avec les groupes concernés. Il s'agit de comprendre ce qui fait sens pour eux, qui appartient à leur patrimoine, qui a une histoire, une tradition, un lien avec leur territoire.

2.1 | ETAPE 1 : IDENTIFIER LES ACTEURS CONCERNÉS ET LES CIBLES

Les démarches de valorisation doivent répondre à une demande des acteurs de la chaîne de valeur, c'est-à-dire des producteurs, distributeurs, transformateurs, commerçants et enfin les consommateurs ou utilisateurs finaux. Bien souvent, elles sont initiées par des acteurs extérieurs au milieu, pour compenser par exemple la mise en place d'une AMP ou d'une restriction d'usage. Dans un cas (démarche dite ascendante ou endogène : down-top) comme dans l'autre (démarche descendante ou exogène : top-down), les acteurs cibles doivent être identifiés ; ce sont eux qui sont concernés en priorité par le processus ; dans notre cas, il s'agit des habitants usagers de la mangrove.

L'opérateur.trice doit donc identifier ces acteurs en ayant une approche inclusive, c'est-à-dire en s'efforçant de prendre en compte tous ces acteurs (quels que soient le genre, l'âge, la race, le statut, etc.) ou groupes d'acteurs, ce qui conduit bien souvent à mobiliser diverses techniques de collectes d'information, classiques en sciences sociales (interviews individuels auprès d'un échantillon représentatif du site concerné, enquêtes semi-ouvertes, groupes de discussion,

La première étape consiste donc à répondre à la question « qui » : identifier et reconnaître les acteurs puis, seconde étape, « quoi » : quels sont les produits et les pratiques associées ; enfin, troisième étape, « comment », mesurer, évaluer, donner de la valeur monétaire, élaborer les signes de reconnaissance et promouvoir le produit.

etc.). Selon le contexte, il pourra s'avérer important d'organiser plusieurs groupes selon le genre, la classe d'âge, la caste etc. pour leur permettre de s'exprimer plus ouvertement.

L'objectif est d'appréhender leurs savoirs et leurs pratiques ainsi que leurs besoins et aspirations en matière de valorisation des produits de la mangrove.

LA CHAÎNE DE VALEUR, dans le cas des mangroves, désigne l'ensemble des acteurs et des activités qui font passer un produit issu de la mangrove du stade de la production (extraction de la ressource : pêche, cueillette, chasse, agriculture) dans les divers espaces (des zones sursalées ou tannes d'arrière-mangrove au front de mer), au processus de transformation du produit, puis à distribution et mise sur le marché, jusqu'à sa consommation finale, processus dont chaque stade voit de la valeur être ajoutée au produit.

2.2 | ETAPE 2 : IDENTIFIER LES PRODUITS ET LEURS MARCHÉS POSSIBLES



Saline exploitée par les femmes de Niodior, île du Gandoul, Sénégal © Cormier-Salem, IRD

Il existe un grand nombre de produits issus de la mangrove susceptibles d'être mieux connus et reconnus. Plusieurs exemples sont listés en annexe 1, ainsi que les usages associés. Cette diversité des produits mérite d'être connue et reconnue (tracée, labellisée) dans le cadre d'un document plus ou moins formalisé, ou cahier des charges, qui spécifie les espèces ciblées, le périmètre ou lieu de la production, les procédés de production et de transformation.

Des choix sont donc à opérer par l'opérateur. trice mais sur quelle base ? Les attentes des communautés, la faisabilité d'écouler les produits sur les différents marchés sont centrales.

Car s'il faut partir des contextes locaux, il ne faut surtout pas perdre de vue les débouchés ou le marché visé, selon chaque produit, qui déterminera en grande partie les types d'instruments mobilisés pour qualifier et promouvoir le produit. Ainsi :

- la mise sur un marché hebdomadaire local ne justifie pas de lourdes et coûteuses démarches de certification, les relations de proximité, de confiance et les transactions directes entre le producteur et le consommateur étant les plus sûrs garants de la traçabilité ;
- En revanche, les démarches de certification valent le coût pour un marché de niche, d'exportation, d'un produit à haute valeur ajoutée.

Les marchés seront donc étudiés à diverses échelles local, national, sous-régional et international selon le produit.

DES NOTIONS À PRÉCISER :

- Le terme de « **production localisée** » est préféré à celui de « produit de terroir ». Il désigne un système de production caractérisé par une implantation locale et un produit dont la spécificité tient en partie à sa provenance. Le lien au lieu est exprimé le plus souvent explicitement dans la désignation du produit. *Ainsi, les huîtres dites de Casamance sont nettement différenciées des huîtres du delta du Saloum sur les marchés dakarois.*

- **Qualité** : la qualité du produit est intrinsèque : elle relève du produit lui-même du point de vue nutritionnel, organoleptique, sanitaire ; et extrinsèque : elle relève de son environnement et des conditions de sa production (usage respectueux de l'écosystème, respect du bien-être animal, interdiction du travail des enfants). La qualité d'un produit est liée à son lieu d'origine et/ou aux savoirs et savoir-faire du groupe de producteurs local, gage de sa réputation et de sa valeur dans les réseaux d'échange. Un miel de mangrove, produit par les mêmes espèces d'abeille (*Apis mellifera*), a une qualité différenciée selon les espèces végétales butinées mais aussi selon les modes de collecte et donc le savoir-faire de l'apiculteur.



Miel de mangrove, Niodior, delta du Saloum © Cormier-Salem, IRD

Plus un marché est éloigné du site de production, plus les opportunités de valoriser le produit sont grandes mais aussi les risques, avec l'entrée d'acteurs, tels des intermédiaires qui peuvent détourner une partie des bénéfices au détriment des acteurs locaux.

2.3 | ETAPE 3 : BIEN CHOISIR LA DÉMARCHE, L'INSTRUMENT OU LE DISPOSITIF DE VALORISATION

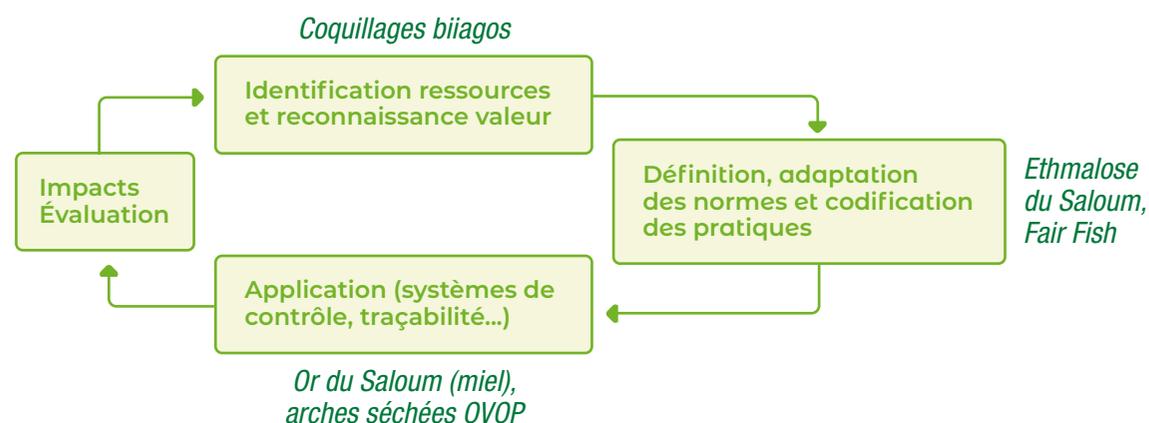


Figure 23. Etapes du processus de qualification des productions localisées : exemples en Afrique de l'Ouest, montrant que les démarches sont loin d'être abouties.

Ces démarches comptent divers stades plus ou moins sophistiqués selon les produits et les contextes, le stade le plus simple étant la confiance entre producteur et consommateur, qui reconnaît la qualité du produit, les positifs les plus élaborés étant les produits de terroir labellisés, par exemple sous le label européen IGP indication géographique protégée²³ :

- Le premier stade de valorisation est donc celui qui apporte une plus-value économique mais aussi en termes d'identité, de savoirs etc. (d'où l'importance de définir ce que sont les valeurs et la valorisation) ; il s'agit d'une simple identification et reconnaissance, sans label, sans démarche « aboutie » de labellisation.
- Les démarches de qualification plus abouties, pour des productions localisées, sont intéressantes pour les produits un peu exceptionnels (cf. ci-dessus : marché de niche, d'exportation, d'un produit à haute valeur ajoutée). Il existe, pour les valoriser, une grande diversité de labels. Ce sont des démarches volontaires et plus ou moins contraignantes.

Une grande diversité de labels : Les signes de reconnaissance ou instruments de labellisation des produits sont très divers, au nombre desquels (ou parmi les plus connus) : les Indications géographiques protégées (AOP et IGP dans l'UE),

les marques de parc, le commerce équitable (Fair Trade, Origin, Slow Fish), les labels bio, rouges, l'écocertification (ex Marine Stewardship Council). D'après les travaux conduits en Afrique de l'Ouest, ces démarches sont coûteuses et contraignantes, surtout pour les produits halieutiques très périssables qui ne répondent pas au diktat des normes sanitaires internationales, sinon au détriment de la typicité du produit : que serait un « yet », Cymbium spp. fermenté et séché, qui répondrait aux normes sanitaires internationales²⁴? S'il faut renoncer à qualifier ces produits pour l'exportation sur le marché européen, d'autres débouchés sont envisageables (cf. Box 3). Ce point est essentiel. L'opérateur.trice doit donc faire une étude de marché en bonne et due forme et envisager divers segments de marché, local, national, sous-régional et international.



Ces démarches de valorisation sont innovantes, et comme toute innovation (technique économique institutionnelle), il est important de bien identifier les opportunités (plus-value, valeur reconnue, bénéfices matériel et immatériel, dont la

préservation de la diversité biologique et culturelle) et les risques (marchandisation, diktat de la qualité sanitaire et normalisation ou standardisation... au détriment des spécificités et typicités).

Figure 24. CE QUE L'OPÉRATEUR.TRICE DOIT DÉFINIR AVEC LES ACTEURS LOCAUX :



La localisation,
L'établissement de **normes** ("cahier des charges")
et la **traçabilité** (l'origine ou la provenance du produit)

LE CHOIX DE LA DÉMARCHE ET DES OUTILS LES PLUS PERTINENTS

Selon les objectifs, le contexte, les moyens :

- Normalisation : ISO ;
- Labellisation, signe officiel de qualité, certifié ou non : commerce, équitable, AB, label rouge...
- Droit de propriété intellectuelle :
 - marques individuelles,
 - marques collectives (parc, etc.),
 - appellations d'origine (AOC/AOP, IGP)

LES PARTENAIRES

Bien souvent, les outils et les démarches sont exogène venant d'acteur extérieur, mais ils peuvent aussi être endogène.

L'opérateur-trice doit être attentif-ive à cet aspect, privilégier les logiques locales, sans exclure les potentiels, soutien exogène.

Trouver les bons compromis entre les diverses logiques et les fructueuse "hybridation".

Cimetière de Fadiouth, l'île aux coquillages, Sénégal © Cormier-Salem, IRD



PRODUCTIONS LOCALISÉES ISSUES DE LA MANGROVE AU SÉNÉGAL ET EN GUINÉE BISSAU

Les produits de la mangrove valorisés par les communautés locales sont les coquillages (*Arca spp*, *Murex*, *Pugilina*, *Cutilena*) et le miel dans la Réserve de Biosphère de l'Archipel Boloma-Bijagos, les coquillages (*Arca spp*, *Murex*, *Cymbium*, *Crassostrea gazar*), le miel et le sel dans la Réserve de Biosphère du delta du Saloum. La plupart de ces productions localisées sont réputées, avec un lieu d'origine bien identifié qui renvoie à tout un système de production-transformation-commercialisation et de savoir-faire de certains acteurs. Leur typicité leur confère une qualité recherchée et ainsi un prix plus élevé sur le marché. Destinées au marché domestique, basées sur des relations de confiance et de proximité entre actrices de la filière, elles ne nécessitent pas de mettre en œuvre de lourdes démarches de certification telles les AOP, label européen (cf. ci-dessous).

Parmi les démarches de labellisation adaptées au contexte local, le label OVOP « One Village, One Product », soutenu par la coopération japonaise (JICA) vise à revaloriser des zones rurales en situation de dépeuplement et à promouvoir des initiatives communautaires génératrices de revenus à travers la reconnaissance de spécialités locales. Ce label est original car il met en avant, moins la qualité des produits, que la capacité des acteurs de la filière à s'organiser, à s'autonomiser et à maîtriser la chaîne de valeur. Lancé en 2011 au Sénégal, ce label a été accordé à divers GIE (Groupement d'Intérêt Economique) qui valorisent des produits de la mangrove : Murex (ou tuffé) par le GIE de Ngodane, miel de la GIE Mboga Yiff, produits halieutiques de la GIE Gnassemane.

Ainsi, le GIE des îles du Saloum regroupe les femmes des communautés villageoises de Falia, Dionewar et Niodior, qui maîtrisent la chaîne de valeur des coquillages. Ce GIE s'est vu attribuer en 2012 le label OVOP, ce qui lui a permis d'améliorer les techniques de séchage (claires et règles d'hygiène), d'acquérir du matériel de collecte (couteaux pour détacher les huîtres, bottes et gants), de séchage (claires solaires), d'emballage sous vide et d'étiquetage, et de palier à trois goulets d'étranglement, à savoir l'accès au crédit, à l'information et à la formation et enfin, au marché, afin de ne plus dépendre des bana-bana, commerçants intermédiaires.

La valorisation des productions localisées est un moyen d'autonomisation économique et sociale des **femmes** et une **alternative à la déprise rurale** (notamment au départ massif des jeunes), comme à la surexploitation. Sur ce dernier point, d'après les enquêtes conduites dans le delta du Saloum (Sarr et al, 2009), l'augmentation des prix de vente des coquillages permet une meilleure rémunération du travail des femmes. On pourrait craindre que les femmes soient tentées non de diminuer leur pression sur les ressources mais de l'augmenter pour gagner plus d'argent. Néanmoins, outre le respect des règles d'usage et d'accès à la mangrove, elles sont contraintes 1) par le cycle des marées (elles ne pêchent qu'avec la marée descendante, 2) par les autres activités, domestiques et productives.

Cet exemple montre l'importance des dispositifs de régulation et de valorisation établis en concertation par les usagers pour la pérennisation de la chaîne de valeur.



GIE de Niodior, île du Gandoul, Sénégal © Cormier-Salem, IRD

LA SOIE SAUVAGE DE PALÉTUVIERS À MADAGASCAR

La production de la soie sauvage (*Borocera cajani/madagascariensis*) actuelle des mangroves à Madagascar, se pratique dans la Région de Boeny.

Des groupes de femmes ont été créés pour collecter les cocons, filer et tisser cette soie sauvage. Les cocons et les fils de soie sont les deux principaux produits destinés à l'exportation. Ils se démarquent sur le marché international compte tenu du fait de leurs caractéristiques très spécifiques.

Des coopératives de cette filière soie ont été créées par « Femmes entrepreneures environnement Mahajanga » (FEEM), impliquées depuis plus de 20 ans dans la filière de soie sauvage de palétuviers jusqu'au produit final tissé. Des colorants naturels issus de plantes sont utilisés pour la teinture des tissages et la réalisation des ouvrages en soie. L'organisme génère des emplois auprès des femmes (environ 200), notamment dans la Commune de Boanamaray.

2.4 | CONCLUSIONS

Les systèmes de certification des produits issus de la biodiversité, comme la mangrove sont complexes, contraignants, voire excluants. Car derrière la protection d'un nom, d'un mode d'obtention et d'une origine géographique, dans la logique de libre circulation des produits, les dispositifs de labellisation sont accompagnés de procédures complexes de contrôle de la qualité (intrinsèque et extrinsèque), dont l'hygiène. L'opérateur.trice doit donc se demander en quoi ces instruments de valorisation peuvent être adaptés et répondre aux attentes des populations locales, leur apporter un meilleur bien être, tout en satisfaisant les objectifs de conservation de la diversité biologique et culturelle, et sans dévoyer le produit, sans lui enlever sa typicité, sans exclure des acteurs.



Marché Boucotte à Ziguinchor, Casamance, Sénégal © Cormier-Salem, IRD

Tableau 6. Les points d'attention de l'opérateur.trice

ANTICIPER LES POINTS DE TENSION	METTRE EN AVANT LES OPPORTUNITÉS
Lien entre le produit et sa provenance (lieux d'extraction, obtention, transformation)	Segmentation et élargissement du marché
Uniformisation des procédures	Valorisation des services écologiques
Marginalisation de certains acteurs	Mise en place de dispositifs locaux originaux
Impact potentiel de ces démarches sur la biodiversité	Lutte contre l'usurpation du patrimoine

3 VALORISATION DU PATRIMOINE DE LA MANGROVE

Compte tenu de la singularité des contextes locaux, il s'agit, dans cette section, d'orienter l'opérateur.trice pour accompagner de façon pertinente (durable et équitable) les démarches qui visent à valoriser la mangrove en tant que patrimoine, qu'il soit matériel (diverses composantes et niveaux : les gènes et espèces, les populations et communautés - animale, végétale et minérale -, les paysages) ou immatériel (savoirs et savoir-faire, traditions orales, contes et mythes, danses, rites, etc.).

Comme dans les démarches de valorisation des ressources naturelles, l'opérateur.trice doit se poser les questions suivantes :

- Quels sont objets patrimoniaux à donner à voir, qui font sens pour les acteurs locaux, qui sont susceptibles d'être mis en scène ?
- Pour qui sont-ils donnés à voir ? Quels sont les cibles ?
- Quels sont les instruments susceptibles d'être mobilisés et pour répondre à quelles attentes ?
- Comment évaluer le succès et les limites de ces démarches ?

Diverses activités peuvent être envisagées,

- d'une part les activités relativement classiques, tels les circuits de découverte, sentiers ornithologique, parcours terrestres ou sous-marins,
- d'autre part, les expositions, festivals, foires, centre de ressources, maisons du patrimoine, etc. Ces manifestations peuvent être temporaires, éphémères ou permanentes, saisonnières.

LE PATRIMOINE NATUREL DES MANGROVES

Ensemble du vivant (naturel et culturel) ou des éléments de la biodiversité qu'un groupe considère comme suffisamment essentiel pour son identité et sa mémoire collective et qu'il souhaite préserver afin de les transmettre aux générations futures. Trois principaux caractères semblent en constituer l'apanage (Cormier-Salem et Roussel, 2000) : ces éléments sont supposés être hérités des ancêtres, suffisamment appréciés et valorisés pour être transmis aux générations futures et servir de référents identitaires à une collectivité. Il peut s'agir des espèces végétales et animales (palétuviers, tigre, crocodile, tortue, oiseaux), des écosystèmes et paysages (exemple des amas coquilliers du delta du Saloum classés paysages culturels) et des savoirs naturalistes locaux.



Circuit écotouristique dans les îles du Gandoul, delta du Saloum © Cormier-Salem, IRD

3.1 | CIRCUITS DE DÉCOUVERTE ET AUTRES PROMENADES TOURISTIQUES EN MANGROVE

Les promenades en bateau pour observer la faune et la flore sont sans doute la forme la plus répandue de valorisation touristique de la mangrove. L'opérateur.trice veillera à identifier les retombées, sur les populations locales ; de telles excursions bien souvent offertes dans le cadre de

tour-opérateurs, ne partageant guère les bénéfices économiques avec les communautés, sauf via la rémunération de quelques individus issus des villages riverains, employés comme conducteurs de pirogue et guides (cf. Encart : Valorisation touristique des îles du Gandoul)



Amas coquilliers à Niodior, île du Gandoul © Cormier-Salem, IRD

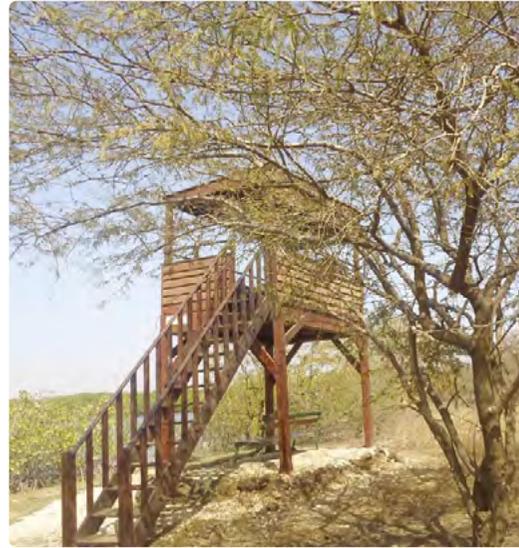
VALORISATION TOURISTIQUE DES ÎLES DU GANDOUL, SÉNÉGAL

Le delta du Saloum au Sénégal a de nombreuses potentialités touristiques du fait de la richesse de son patrimoine naturel (mangrove, oiseaux, dauphins, tortues, etc.), inscrit Parc national dès 1976, puis érigé en réserve de biosphère de l'Unesco en 1981, et enfin site Ramsar en 1984. Son attractivité touristique tient aussi à son patrimoine culturel, à savoir les milliers d'amas coquilliers, à la fois vestiges archéologiques ayant servi de tombes à des notables, sites sacrés et constructions modernes liés à l'exploitation toujours actuelle des coquillages. En 2011, le delta du Saloum est ainsi inscrit sur la liste du Patrimoine mondial de l'humanité de l'Unesco pour ses paysages culturels.

Ces attractivités donnent lieu à plusieurs formes de valorisation touristiques, dont des excursions en pirogue dans les chenaux de marée, des sentiers de découverte de la faune et de la flore, des pique-niques et baignades sur les rives des fleuves. Néanmoins, cette manne verte est le plus souvent accaparée par des opérateurs.trices privés, extérieurs au milieu. Les habitants de la mangrove dénoncent les faibles retombées économiques de ces activités et les désagréments occasionnés par ces visites de masse, tels l'entretien coûteux des sites et la difficile gestion des déchets dans des milieux insulaires, sans parler du piétinement des sites, la perturbation de la faune, la pollution sonore des moteurs, etc.



Sentier écologique de la Somone
© Awa Ndoye



SENTIER ÉCOLOGIQUE DE L'AMP DE LA SOMONE, SÉNÉGAL

La Réserve Naturelle d'Intérêt Communautaire de la Somone, créée en 1999, érigée en AMP en 2020, couvre une superficie de sept cent (700) ha. Elle constitue un patrimoine historique, culturel et naturel avec la présence de sites comme : le puits de El Hadj Omar Foutiyou Tall, le génie protecteur (Keur Sangu), le baobab nain.

L'AMP abrite également un sentier écologique de 1,2 km, qui est une bande de terre entourée par la mangrove et la lagune de la Somone. Aménagé en 2011 par un couple de bénévoles français, ce parcours est riche en découvertes: plus de 57 espèces d'oiseaux (Pélicans, Héron, Aigrette, Flamant rose, Balbuzard), des crustacés (crabe violoniste, crevettes) des mollusques (*Senilia senilis*, *Crassostrea tulipa*), 27 espèces de poissons, le chacal (*Canis mesomela*), le singe vert (*Cercopithecus aethiops*), la mangouste à queue blanche (*Ichneumia albicauda*), le varan du Nil (*Varanus niloticus*) et la tortue verte (*Chelonia mydas*) etc. Plusieurs circuits sont proposés : balade en pirogue sur la

lagune pour voir les bolongs, la mangrove et les oiseaux, parcours à pied du sentier écologique en passant par le restaurant des femmes ostréicoles, excursion en calèche pour observer des chacals au niveau des tannes, visite du village artisanal.

Le comité de gestion de l'AMP a mis en place des tarifs différenciés selon l'origine des visiteurs et leurs statuts : les élèves ne paient pas, ni les chercheurs ; le prix payé par un Sénégalais est différent de celui payé par les touristes étrangers.

Une partie des recettes est versée aux quatre villages qui entourent l'AMP et gérée par les associations des femmes, investies dès l'origine dans la conservation du site et la valorisation des huîtres. Une autre partie des recettes revient à l'entretien et l'aménagement du site écologique.

Les populations riveraines souhaiteraient que ce sentier soit mieux connu et valorisé, alors qu'il se trouve au cœur d'une des principales régions touristiques balnéaires du Sénégal.

3.2 | VALORISATION MUSÉALE

Devant la carence des initiatives muséales valorisant la mangrove, cette section vise à informer l'opérateur.trice sur de telles initiatives et l'orienter. Ce dernier, accompagné si possible par des muséologues et des muséographes, doit explorer diverses formes de valorisation du patrimoine matériel et immatériel pour favoriser leurs complémentarités ; il aura tout intérêt à les organiser en réseau, comme par exemple :

- un musée communautaire à l'échelle du village qui est le lieu de la collection des objets, authentifiés, documentés, inventoriés et présentés lors d'exposition,

- un musée vivant qui célèbre un rite avec les objets qui entrent et sortent du musée d'où la notion d'objets culturels « vivants »,
- un centre de formation culturelle pour sauver le patrimoine, développer des activités traditionnelles et culturelles.

LA MAISON DES PRODUITS DE LA MER, PROJET DE MBOUR AU SÉNÉGAL

À la demande des professionnels artisans de la pêche et suite à plusieurs mois de concertation avec les acteurs locaux de la Petite Côte et des îles du Saloum au Sénégal, il a été décidé de concevoir un **musée régional**, dans une des villas du centre de Mbour, centré sur les produits de la mer et de la mangrove, comprenant :

- des **salles d'exposition** donnant à voir les espèces, les savoirs, les techniques de transformation, les engins de pêche, le milieu géographique avec une salle consacrée à la mangrove et la pêche des invertébrés marins mais aussi le sel et le miel de mangrove), et une autre sur le littoral, la pêche maritime, les autres produits halieutiques ;

- une **boutique de vente** des productions localisées issues de de la mer et de la mangrove ;
- un **espace de dégustation** des spécialités culinaires à base de ces mêmes produits.

Cette maison, localisée à Mbour sur la Petite Côte, devait être mise en **réseau avec d'autres sites, gérés directement par les acteurs locaux**, dans les îles du Gandoul (centre d'interprétation de Niodior, centre de ressource de Toubakouta), un musée vivant au quai de pêche de Mbour, un autre à Mballing, secteur de transformation des produits halieutiques.

Objets d'un musée en plein air, Sénégal
© Cormier-Salem, IRD



3.3 | VADEMECUM DE LA MISE EN PLACE D'UN ÉCOMUSÉE OU MUSÉE COMMUNAUTAIRE

Les principales questions qui doivent guider l'opérateur.trice sont les suivantes :

Quels objets présenter ? Quels patrimoines mettre en scène ?

- Sur les collections ou la collecte des objets dits patrimoniaux, à la fois naturels et culturels, matériels et immatériels, comment les enrichir et les valoriser ? Qui choisit ? Selon quels critères ?
- Qui a les connaissances ? des experts en systématique, des taxidermistes aux guides et amateurs ornithologues. Une attention particulière doit être accordée aux savoirs locaux et pratiques traditionnelles.
- Comment s'effectuent la collecte des objets, le stockage, la manipulation, la conservation ?

Quel public est visé ou qui sont les cibles ?

- Plusieurs parcours peuvent être conçus selon les visiteurs ciblés : jeunes des villages, qui ne connaissent plus leur patrimoine, scolaires accompagnés par leurs enseignants touristes nationaux ou internationaux, adultes ou enfants (nécessitant une visée pédagogique, plus ludique et des objets à hauteur du jeune public) ;
- Si les visiteurs étrangers sont ciblés, il faut s'interroger sur les conditions et les capacités d'accueil du site, voire envisager des quotas pour ne pas détériorer le site.

Avec quels moyens ?

- Si le public visé est d'abord local ou national, la gratuité des musées semble incontournable mais alors, quelles aides et subventions pour ces musées ?
- Si le public est étranger, des revenus peuvent être assurés par la valorisation des produits locaux, spécialités culinaires ou objets artisanaux : sans proposer ceux que l'on retrouve sur tous les marchés, il faut offrir des produits « haut de gamme » « contemporains » qui valorisent la créativité des artisans, mettent en valeur les matériaux locaux et les savoir-faire locaux adaptés au monde moderne

Quelle gouvernance ? Quels acteurs ? Pour qui ? Qui en bénéficie ? Quelles retombées pour les populations locales ?

- Un des points sensibles que doit aborder l'opérateur.trice est celui de la contribution de la société civile, acteurs ou spectateurs de la mise en scène. A ce point est lié le statut juridique du projet de valorisation muséale avec divers niveaux d'implication des acteurs locaux dans la gouvernance de cette structure : « simples » informateurs ou fournisseurs d'objets pour un centre de ressources, guides pour définir et accompagner les parcours d'un sentier écologique, consultants pour réaliser les dioramas et panneaux d'une exposition ou encore membres de droit du comité de gestion d'un écomusée. La participation de la société civile est ainsi très inégale d'un projet à l'autre et ce point doit être clairement explicité dès l'élaboration du Projet Scientifique et Culturel (PSC).
- L'opérateur.trice aura à cœur d'être inclusif et de mettre en œuvre des processus permettant une effective concertation et coordination entre les parties-prenantes à une échelle ad hoc et ce, pour diversifier les offres de mise en scène, éviter la compétition, faire en sorte que les actions se complètent et valorisent les spécificités à l'échelle des villages, répondent à la diversité des attentes et des demandes à diverses échelles et selon les acteurs.

VALORISATION MUSÉALE LOCALE VIVANTE : LE MUSÉE DE SANGAWATT À DIEMBERING, SÉNÉGAL

A l'initiative d'un jeune (Ousmane D) revenu s'installer dans sa communauté d'origine, après plusieurs années passées à Dakar et à l'étranger, le musée vivant de Sangawatt est un parcours de découverte de la culture animiste joola, dans toutes ses composantes, dont la mangrove. La forêt sacrée est mise en scène par Ousmane D. qui accueille le visiteur en costume traditionnel et avec des chants rituels. Ce musée vise à être une vitrine du patrimoine rituel du terroir joola et un espace d'accueil, d'échange et de réinsertion professionnelle de nombreux jeunes adultes.

- Un autre point également sensible est le risque de représentation folklorique ou d'une mise en scène romantique et fixiste des modes de vie et de gestion des ressources par les communautés locales. Il y a des traditions à mettre en valeur, certes, mais les traditions ne cessent d'être ré-inventées et doivent s'adapter aux changements globaux, ce qui incite à innover (cf. Encart "Des objets à collecter ou à créer : exemples des engins de pêche")

DES OBJETS À COLLECTER OU À CRÉER : EXEMPLES DES ENGIN DE PÊCHE

Dans le delta du Saloum au Sénégal, les filets autrefois en coton sont désormais en nylon, les haveneaux et nasses de fibres végétales en plastique. Tous ces objets, anciens comme modernes, ont leur place dans un musée.

3.4 | RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES POUR MIEUX VALORISER LE PATRIMOINE CULTUREL DES MANGROVES

Les offres de valorisation patrimoniale de la mangrove, réellement conçues avec les acteurs de terrain, donnant à voir sa diversité et sa singularité, sont encore très limitées en nombre et pauvres en termes d'objets présentés, souvent répétitives et peu pensées par rapport au contexte local.

Or ces formes de valorisation sont des opportunités à divers titres : moyen de reconnaissance symbolique et économique des savoirs locaux, dispositif d'autonomisation des usagers locaux ; vitrines, permettant d'élargir et attirer un nouveau public ; structure d'éducation et de transmission du patrimoine.

L'opérateur.trice veillera à anticiper les contradictions internes de ces démarches innovantes, dans la mesure où il faut opérer des choix, qui bien souvent se soldent par une perte des objets non sélectionnés ; la trame narrative risque de fixer la tradition ; les objets exposés voient leurs sens dévoyés. La marchandisation du vivant peut se traduire par des dissymétries entre acteurs. Il est recommandé de :

Diversifier

- Diversifier les instruments, en les testant sur le terrain (opérationnalisation), explorer des modes de valorisation plus artistiques (ex. chorégraphie sur les mangroves) ou ludiques ou conviviales (atelier culinaire, dégustation, livre de recettes, etc.) ;
- Diversifier l'offre, muséale comme touristique ou socioculturelle, en fonction de la demande des visiteurs et de l'attente des populations locales ;
- Rendre visibles la singularité créative des populations et leurs modes d'attachement à la mangrove :

1. Pour valoriser les collections, outre les expositions permanentes, il faut aussi concevoir des musées virtuels, éphémères, ou encore des sites internet plus pédagogiques, offerts notamment aux lycéens ;

2. la contextualisation est indispensable car il faut donner à voir les très fortes spécificités locales, qui sont une richesse ;

3. Le « caractère » de chaque site (comme le caractère de chaque aire protégée ou parc national) est à valoriser pour une meilleure attractivité des visiteurs : il faut jouer sur la complémentarité entre sites, proposer des circuits ou réseaux de sites.

Former, Informer et échanger

Il est recommandé de se faire accompagner par des muséographes et des muséologues pour :

- L'information des opérateur.trices et des médiateurs sur les diverses potentialités et sur les dispositifs les plus adaptés au contexte local ; également pour les aider à l'élaboration d'un cahier des charges pour un signe de reconnaissance d'une production localisée, d'une charte écotouristique ou écomuséale ;
- La formation des guides, des écoc guides et des conservateurs :
 1. sur les techniques muséologiques,
 2. sur les informations scientifiques à communiquer aux visiteurs.
- La co-construction ou le co-partage des savoirs ;
- La mise à l'échelle par des échanges d'expériences.



6

CHAPITRE 6

SUIVRE ET ÉVALUER L'EFFICACITÉ DE LA RESTAURATION

Auteurs : Claudia AGRAZ HERNANDEZ, Julien ANDRIEU et Marie-Christine CORMIER-SALEM

1 SUIVI DU PROCESSUS DE RESTAURATION ÉCOLOGIQUE ET ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ DE LA RESTAURATION

Le suivi de la restauration est une activité de longue haleine, depuis l'état de référence (T0) du diagnostic, puis tout au long du processus de restauration et enfin après la restauration afin d'évaluer le succès et son évolution à long terme, jusqu'à de nombreuses années après. Le temps des projets ne permet toutefois pas toujours de poursuivre les suivis après projets, et ce suivi doit alors être relayé par une instance locale ou nationale. Si plusieurs de ces suivis nécessitent des connaissances scientifiques, différents niveaux de suivis peuvent être toutefois envisagés :

1.1 | ANALYSE SPATIALE PAR TÉLÉDÉTECTION

Les questions d'échelles et de résolutions discutées plus haut pour l'usage de la télédétection dans le diagnostic de faisabilité sont similaires pour la réalisation d'un suivi. Néanmoins s'y rajoutent plusieurs complexités.

- Les suivis sont généralement réalisés au moment de l'évaluation post-ex (donc peu après la restauration) cela rend délicat le suivi par télédétection si les plantes sont basses et espacées. Attendre que la végétation soit haute et dense avant d'en faire le suivi ne correspond

Une action de restauration est considérée comme réussie lorsqu'un taux de survie des espèces végétales d'au moins 85 % est atteint. A ce niveau, les mangroves peuvent retrouver une fonctionnalité similaire à celle des peuplements naturels et continuer à se développer (Komu, 2021).

évaluation par les gestionnaires formés à cet effet, évaluation rapide par les communautés. La méthode Merci-Mangrove (Chapitre 3) peut dans ce cas être utilisées pendant et après la restauration.

pas à la temporalité attendue par les acteurs du projet.

- Comme le diagnostic, de tels suivi doivent s'enrichir d'une analyse à une échelle plus petite (les environs proches).

Si Google Earth offre des images à haute résolution peu avant le projet comparables (saison, marée) à une image récente, une simple interprétation visuelle diachronique est possible :

- digitaliser les zones restaurées sans mangrove avant le projet,
- digitaliser les zones couvertes de mangrove après le projet,
- extraire des surfaces, publier la carte.

Si la zone est assez grande et que la mangrove est assez dense, mobiliser des images satellitaires multispectrales (Sentinelle-2) sera intéressant car cela permettra plus facilement de produire de manière reproductible, une cartographie des dynamiques de la mangrove du site restauré et de son environnement. Ainsi on pourra comparer les effets de la restauration avec d'autres dynamiques environnementales qui ont influé sur la mangrove durant ce même pas de temps.

PREMIER EXEMPLE : LE FLEUVE SÉNÉGAL

La cartographie par télédétection des dynamiques du delta du fleuve Sénégal fait apparaître, dans un premier temps que la mangrove a augmenté dans la zone du projet (Projet WACA embouchure du fleuve Sénégal près de Saint Louis). En revanche, ce constat doit être nuancé par le simple fait que dans son ensemble (comme l'ensemble des mangroves du Sénégal), les mangroves du delta du fleuve sont naturellement en phase de régénération spontanée en réaction à la reprise des pluies depuis le milieu des années 1990 ; une restauration réussie aurait donc dû générer des progressions supérieures aux évolutions naturelles (si elles avaient accompagné cette dynamique) or, ici elles sont moindres que celles quantifiées à l'échelle du Delta.

1.2 | ANALYSE DES ACTIVITÉS PASSIVES MISES EN PLACE

L'évaluation visera à mesurer les progrès en termes de prise en compte des mangroves dans les politiques publiques, d'évolution des surfaces de mangroves incluses dans un périmètre protégé,

d'amélioration de la gestion des mangroves et l'évolution des perceptions des communautés au regard de leurs pratiques en mangroves vers des pratiques plus durables.

1.3 | ANALYSE EN CONTINU DES PARAMÈTRES BIOPHYSIQUES

Pendant la phase de restauration (suivi temporel et spatial) : tous les paramètres relatifs à la structure de la mangrove, la distribution des espèces de mangrove, l'hydropériode, la topographie, et les paramètres physico-chimiques de l'eau et des sédiments étudiés dans le diagnostic, déterminants de la distribution des espèces de mangrove, devront être contrôlés mensuellement, ou au moins quatre fois par an et comparés à ceux du site de référence, durant toute la phase de restauration.

La comparaison régulière avec le T0 (diagnostic) du site restauré et avec le site de référence permettront de s'assurer que les paramètres de la zone restaurées se maintiennent dans les intervalles souhaités par rapport aux zones de

référence, permettant ainsi de vérifier la qualité et l'efficacité de la réhabilitation hydrologique et, le cas échéant, de revoir la stratégie.

Si les circonstances le permettent, un suivi saisonnier est souhaitable. L'expérience a montré que de nombreux programmes de réhabilitation hydrologique et de reboisement, menés de manière empirique sans tenir compte des variations saisonnières de ces paramètres, n'aboutissent qu'à un succès limité du reboisement, avec des taux de survie inférieurs à 40 %. Cette situation peut être due à plusieurs raisons, par exemple le fait que les semis n'ont pas été soumis à des conditions d'inondation adéquates pendant une certaine période de leur développement.

ÉLÉMENTS À SUIVRE	PARAMÈTRES À RELEVER	MODE D'ÉCHANTILLONNAGE
Structure forestière	Densité, fréquence, hauteur, surface terrière, dominance, IVI	Deux quadrats de 100 m ² (10x10) dans chaque type physiologique (faciès)
Hydropériode	Fréquence, hauteur et durée de l'inondation	Jalons installés tous les 10 mètres le long du profil de végétation pour mesurer la hauteur de l'inondation, de la mer vers la terre, couvrant les différents types physiologiques (faciès).
Topographie du sol	Hauteurs du terrain	Site de restauration < 20 ha : méthode de la bouteille de niveau le long du profil de végétation Site de restauration > 20 ha : Méthode RTK (Real-Time Kinematic) : différents points dans la zone à étudier
Paramètres de salinité, pH, potentiel d'oxydo-réduction, nutriments de l'eau interstitielle	Salinité, pH, potentiel d'oxydo-réduction, Nitrites, nitrates, ammonium, sulfates et phosphates	Site de restauration divisé en parcelles de 100 m x 100 m ; au moins 8 piézomètres par ha enfouis jusqu'à une profondeur où le système racinaire est le plus développé (environ 50 cm depuis la surface des sédiments)
Tourbe de mangrove* (Sédiment)	Etude granulométrique sur les trois fractions (sable, silts et argile), et carbone organique total**	Échantillons de sol prélevés à différentes profondeurs au niveau des 20 à 30 premiers cm
Espèces invasives	Caractérisation et impact écologique, biodiversité, paramètres physico-chimiques, altérations du cycle des nutriments, décomposition et dynamique hydrique.	Identification, détermination de la présence, de la distribution et de la densité. Il est nécessaire de délimiter des parcelles de suivi comparatives. Définir les mécanismes de propagation.
Suivi des paramètres environnementaux et des variables biologiques relatives au processus de récupération à 2, 5, 10 et 15 ans	Densité des individus reboisés et des espèces invasives	Divisé en parcelles de 10 m x 10 m ; au moins 4 par hectare en comptabilisant le total des individus vivants dans le temps.
	Taux de croissance verticale	Dans les parcelles de 10 m x 10 m, étiqueter 30 % des individus et mesurer la hauteur totale des plantules et juvéniles (< 2 m) avec un ruban métrique, de la base à l'apex, et celle des arbres (> 2 m) à l'aide d'un clinomètre. Fréquence de mesure : tous les 6 à 12 mois.
	Survie	Dans les parcelles d'échantillonnage, comptabiliser le nombre d'individus vivants et, à partir de 100 %, établir le pourcentage de survie au fil du temps.
	Couverture de la canopée	Analyse en SIG avec des images satellitaires ou des drones pour comparer les changements dans la canopée.
Régénération naturelle	Richesse et diversité spécifique	Indice de Shannon-Wiener (H') : évalue la diversité spécifique en fonction de l'abondance relative.
	Indice de Valeur d'Importance (IVI)	Indice de Simpson (D) : mesure la dominance de certaines espèces dans l'écosystème.
	Densité des plantules et des juvéniles.	En comptabilisant le total des individus vivants au fil du temps.
Récupération de la connectivité écologique	Couverture et continuité de l'habitat	Utilisation d'images satellitaires, de SIG et de drones pour mesurer la connectivité du paysage.
	Densité et distribution des corridors écologiques	Nombre et emplacement des îlots d'habitat facilitant la mobilité des espèces.
	Fréquence d'observation	À l'aide de pièges photographiques et d'observations directes
	Bioindicateurs	Mesure des herbivores, détritivores et disperseurs de propagules, ainsi que des crabes, mollusques, poissons herbivores et carnivores

Tableau 7. Éléments à suivre sur le long terme pour évaluer le processus de récupération

* sédiment organique riche en matière végétale décomposée

** Évaluer la qualité fertilité du sédiment et sa capacité de stockage du carbone.

Les informations du tableau ci-contre seront appliquées de manière identique sur le site de référence. Une comparaison entre les résultats obtenus sur le site de restauration et le site de

référence permettra d'affiner les stratégies, méthodes et techniques de restauration, afin de rétablir la structure et la fonctionnalité de l'écosystème de manière optimale.



Restauration des mangroves de Cuajiniquil et Terraba Sierpe : le retour de la faune © Chavarría Díaz et E. Delord.



Après la phase de restauration : Pour l'évaluation du succès de la restauration écologique, le T0 (début de la restauration) est comparé aux années T3, T5, T10 (selon les espèces installées par régénération naturelle ou reboisées), selon la même méthodologie que celle du diagnostic environnemental (tableau 7).

Suivi avec la méthode RAM-Mangroves

En complément des outils de suivi ci-dessus, la méthode RAM Mangroves, présentée au chapitre 3 (et annexe 2), est un outil complémentaire utile aux gestionnaires. Cette méthode ne s'avère pertinente pour le suivi, que dans les cas où elle a été déployée en amont du projet pour caractériser l'état initial. Elle permet ainsi d'estimer les gains socio-écologiques potentiels induits par les actions de restauration. Cependant, il est crucial de souligner que cette méthode ne saurait se substituer à l'intégralité du dispositif de suivi. En effet, les efforts de suivi doivent être soigneusement adaptés aux objectifs spécifiques de restauration de chaque projet, en tenant compte des particularités écologiques et socio-économiques de la zone concernée. Cette approche personnalisée assure que le suivi reflète fidèlement l'efficacité des interventions de restauration.

S'y ajoutent les paramètres relatifs au processus de récupération :

- taux de recrutement naturel,
- taux de survie des plantations,
- taux de croissance,
- structure forestière et diversité des peuplements (richesse et diversité spécifiques),
- récupération de la capacité de stockage et de séquestration du carbone.

L'évaluation de la qualité de l'habitat, en termes de faune venant réinvestir le site (oiseaux, poissons, crustacés, mammifères) est également un très bon indicateur ; parmi les indicateurs de rétablissement de la faune, on analysera tout particulièrement la richesse et la diversité spécifiques, la taille des individus.



© E. Delord

MODÈLE D'ÉVALUATION DE LA SOCIÉTÉ ÉCOLOGIQUE DE RESTAURATION

Pour l'évaluation des restaurations écologiques et socioéconomiques, il est recommandé d'utiliser le modèle d'évaluation de projet - Wheel of Recovery - de la Society for Ecological Restoration (SER – McDonald et al, 2016).

Ce système sert à évaluer la progression d'un écosystème sur une trajectoire de rétablissement écologique par rapport au modèle de référence. Ce modèle se base sur une série de paramètres écologiques (ci-dessous) et de paramètres socio-économiques (paragraphe correspondant).

1. Composition spécifique

- Plantes souhaitées
- Animaux souhaités
- Absence d'espèces indésirables

2. Diversité structurelle

- Récupération des strates de végétation
- Et des niveaux trophiques
- Diversité spatiale des habitats

3. Fonctionnalité de l'écosystème

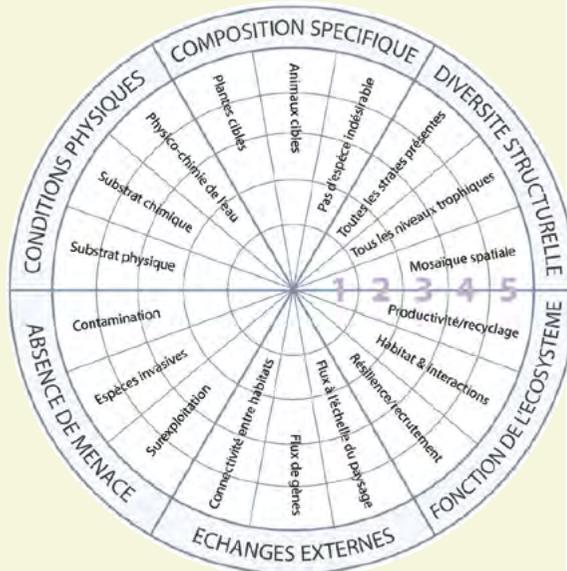
- Productivité/Cycle des nutriments
- Habitat et interactions plantes-animaux
- Résilience, recrutement

4. Échanges externes

- Flux à l'échelle du paysage
- Flux de gènes
- Connectivité entre habitats

5. Absence de menaces

- Surexploitation
- Espèces envahissantes
- Contamination

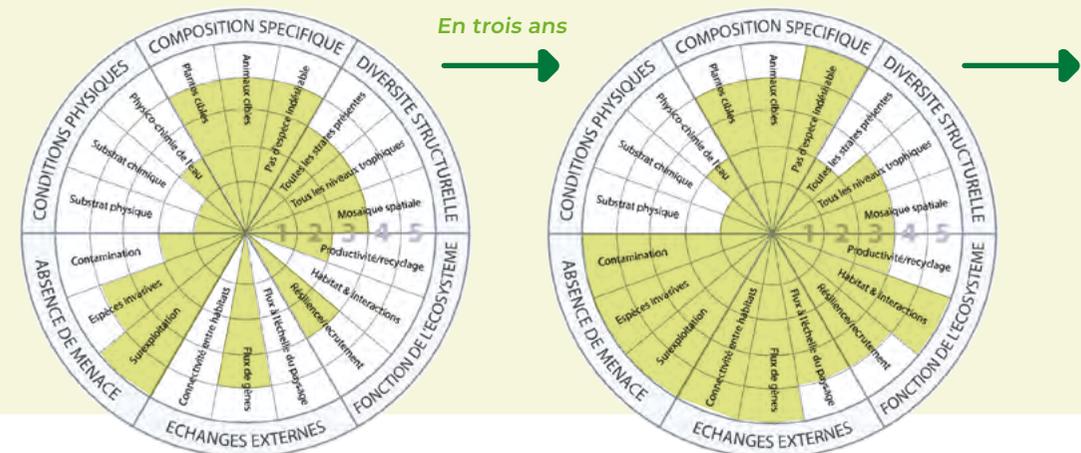


6. Conditions physiques

- Physique du substrat
- Chimie du substrat
- Chimie de l'eau

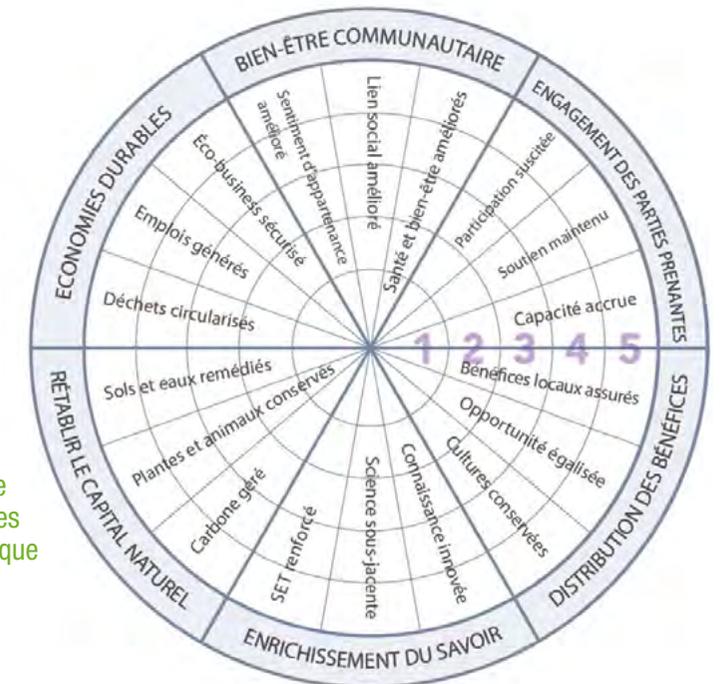
Chaque paramètre est noté de 1 à 5 de la moins bonne (1) à la meilleure performance/qualité (5).

L'évaluation régulière des paramètres permet de voir visuellement sur la roue l'évolution de la restauration (ci-dessous).



2 ÉVALUATION DES IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES

De la même façon que pour l'évaluation écologique, nous recommandons, pour évaluer l'impact de la restauration sur les communautés locales l'utilisation de la roue des impacts sociaux développées par la Société de restauration écologique (McDonald et al, 2016).



Les indicateurs s'organisent en 6 grands thèmes :

1. Bien-être communautaire

- Sentiment d'appartenance
- Lien social
- Santé et bien-être

2. Engagement des parties prenantes

- Niveau de participation
- Soutien continu
- Niveau des capacités

3. Distribution des bénéfices

- Bénéfice locaux
- Opportunité / Equité
- Culture conservée

4. Enrichissement du savoir

- Sciences et techniques renforcées
- Hybridation des savoirs (scientifiques et locaux)
- Connaissance partagée

5. Rétablir le capital naturel

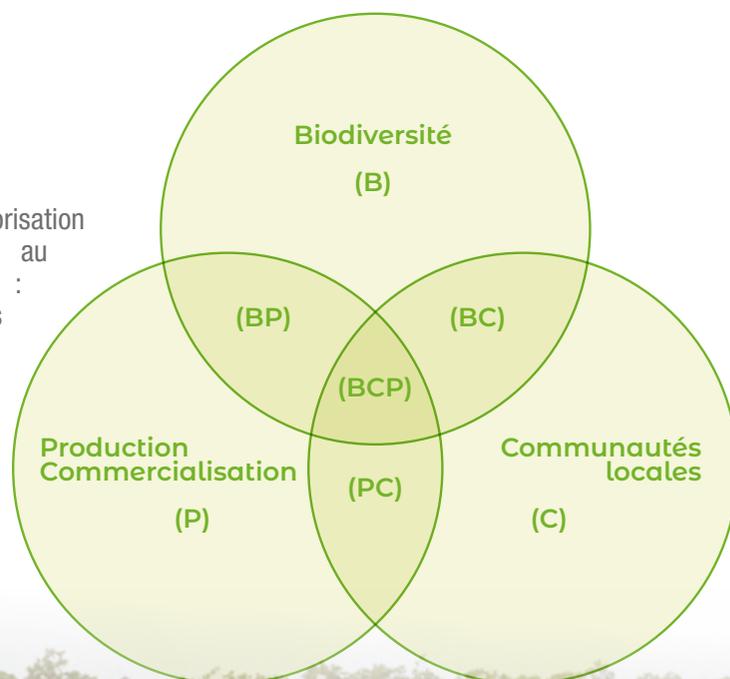
- Sol et eau : qualité restaurée
- Plante et animaux conservés
- Carbone géré

6. Economie durable

- Déchets recyclés
- Emplois générés
- Eco-business sécurisé

.3 ÉVALUATION DES ACTIVITÉS DE VALORISATION

Les indicateurs de la valorisation des produits s'inscrivent au croisement de trois dimensions : Biodiversité (B), Communautés Locales (C) et Production-Commercialisation (P), ce qui se traduit par sept secteurs : B, C, P, BC, BP, CP et BCP (cf. schéma) et par la construction des indicateurs y afférents (tableau 8 et annexe 4).



© IRD



Jeunes pêcheuses de coquillages, delta du Saloum, Sénégal © Cormier-Salem, IRD

IMPACT	GRILLE DE LECTURE DES EFFETS	INDICATEUR D'IMPACT
Le dispositif a-t-il permis une valorisation des produits	<ul style="list-style-type: none"> Evolution : du prix de la demande, de l'offre Diversification des filières, nouveaux métiers Notoriété du produit 	<ul style="list-style-type: none"> Taux de croissance : demande, offre, prix, revenu, exportation Segmentation du marché Multiplication des sites de production, de transformation et de distribution Nombre de labels et marques Existence de contrefaçon
Le dispositif a-t-il permis une valorisation et conservation de la diversité biologique	<ul style="list-style-type: none"> Changement d'état des ressources exploitées et de leurs écosystèmes associés Santé des écosystèmes et qualités des paysages 	<ul style="list-style-type: none"> Niveau de prélèvement Evolution de la taille et/ou du poids des individus prélevés Evolution du nombre d'espèces exploitées et associées. Indicateur des états de santé des écosystèmes et qualité des paysages
Le dispositif a-t-il permis une valorisation et conservation de la diversité (socio) culturelle	<ul style="list-style-type: none"> Relecture et changement des représentations, usages et règles d'accès Transmission des savoirs Changement technique Reformulation identitaire Réorganisation spatiale Réseaux d'échange Conscience patrimoniale Patrimoine culinaire 	<ul style="list-style-type: none"> Amendes Existence de contrefaçon Age moyen des producteurs Pourcentage de producteurs sur la population active totale Nombre de manifestations autour de ces produits Étiquettes et images produites Spécification de la demande et de l'offre Chansons, mythes, contes, histoires Nombre d'institutions impliquées dans le dispositif

Tableau 8. Tableau de valorisation de la mangrove



CHAPITRE 7

7 EXEMPLES DE PROJETS DE RESTAURATION

Auteurs : Claudia AGRAZ HERÁNDEZ, Ebenezer HOUNDJINOÛ et María Martha CHAVARRÍA DÍAZ



© A. Rosenfeld

.1 LA RESTAURATION AU COSTA RICA

Le projet Costa-Rica-Bénin développé par le FFEM de 2016 à 2024 visait à accroître l'atténuation et l'adaptation au changement climatique des zones humides côtières du Costa Rica et du Bénin, en restaurant des mangroves, en assurant leur gestion durable et en favorisant les échanges de coopération sud-sud.

La restauration écologique portait sur une superficie d'environ 31 hectares sur trois sites au Costa Rica et 30 hectares au Bénin, en Afrique. La restauration dans les différents sites s'est appuyée sur le transfert de technologies

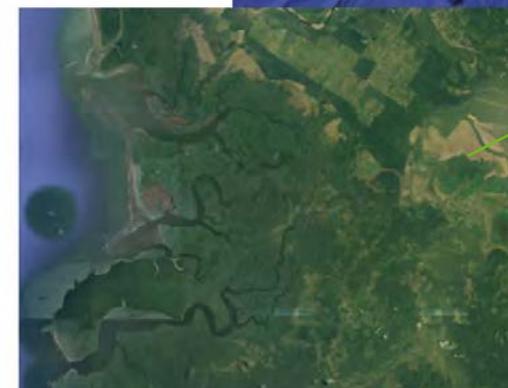
appliquées dans les programmes de restauration écologique au Mexique. Elle est réalisée par une gestion de la dynamique hydrologique du site qui s'appuie sur des modèles hydrodynamiques et des analyses physico-chimiques de la qualité de l'eau interstitielle, puis par la récupération de la couverture végétale à partir de propagules palétuviers.

Au Costa Rica, deux sites de mangroves ont été restaurés : le site de Cuajiniquil et le site de Terraba Sierpe.

Cuajiniquil



Terraba Sierpe



1.1 | RESTAURATION DU SITE DE CUAJINIQUIL



Photo : Ancienne Saline, site de Cuajiniquil (BRLi, sept 2016)

Les mangroves de la Bahía de Tomas, Costa Rica ont subi une perte de 7 ha, il y a 60 ans en raison de la coupe pour la production de bois, de charbon et de tanins, ainsi que de la production de sel. Une restauration pilote a été appliquée afin de tester les techniques dans les climats secs et à fort impact, à partir du développement technologique réalisé au Mexique. Le projet avait pour but de rétablir les intervalles minimum et maximum de tolérance des conditions physiques (hydropériode et distribution microtopographique) et chimiques (salinité et potentiel redox) d'*Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* et *Laguncularia racemosa* du site.

La dégradation était principalement due à l'hypersalinité du sol et de l'eau, aux changements dans le comportement hydrologique et la dynamique des sédiments, à la fragmentation de la zone humide en raison de la construction de marais salants et de routes rustiques construites pour faciliter la pêche côtière. Ces modifications ont généré des conditions anoxiques et hypoxiques dans l'eau interstitielle et le sol.

Sur une superficie de 7 hectares, diverses activités de restauration ont été menées pour réhabiliter et améliorer la structure et la fonction



© A. Rosenfeld

de l'écosystème. Tout d'abord, une évaluation exhaustive des paramètres physico-chimiques de l'eau interstitielle et du sol a été réalisée, fournissant des informations cruciales sur l'état actuel de l'environnement. Ensuite, des actions de réhabilitation hydrologique ont été entreprises pour rétablir le comportement du cycle hydrologique et améliorer la qualité de l'eau. Des activités de reboisement ont ensuite été réalisées en utilisant des plantules de sous-bois, et la régénération naturelle a été encouragée par l'introduction de propagules de *L. racemosa* et *A. germinans*.

Cinq ans plus tard, il a été possible de récupérer et de simuler le comportement naturel de l'hydropériode, ce qui a conduit à des différences significatives dans les conditions chimiques de l'eau interstitielle (comparaison avant et après la restauration). Principalement en diminuant de 22,8 g/Kg la salinité ($F1, 324 = 3,38, P < 0,035, p \leq 0,05$) et en augmentant les conditions oxygénées ($F1, 321 = 6,50, P < 0,002, p \leq 0,05$). On enregistre des taux de survie des plantules reboisées et régénérées d'*A. germinans* de 72,7% et de *L. racemosa* régénérée naturellement de 97% ; contribuant ainsi de manière significative à la restauration de l'habitat des poissons, crustacés, oiseaux, mammifères, entre autres.



Comparaison des photo google earth de 2013 et 2023

Figure 25. Restauration écologique appliquée pour récupérer la surface de mangrove : Aire de conservation de Guanacaste, Costa Rica



1.2 | RESTAURATION DE TERRABA SIERPE

Contexte

La zone humide nationale Terraba-Sierpe est localisée à l'embouchure des rivières Terraba et Sierpe sur la côte pacifique sud du Costa Rica. Cette zone humide, la plus importante zone de mangroves du Costa Rica, s'étend sur 30 654 hectares et constitue une réserve unique de biodiversité. Elle est sujette à une pression importante causée par le développement agricole, en particulier la culture de palmier à huile, en forte croissance dans la région, la riziculture, par la pollution des bassins versants et par l'envahissement d'une fougère *Acrosticum aureum* (Negra Forra) par suite de la dégradation de la mangrove et enregistrant une perte de 20,4 % des palétuviers en 64 ans.



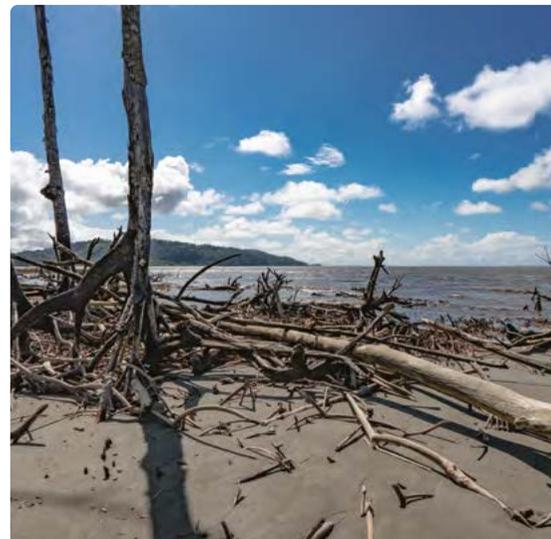
Terraba Sierpe © Pucci

Compte tenu de cette situation, 6 ha de zone humide envahis par la *A. aureum* ont été sélectionnés. L'objectif était d'éliminer le *A. aureum* en appliquant les techniques de restauration écologique, avec élimination manuelle de la fougère.

Diverses activités de restauration écologique ont été menées afin de développer les techniques visant à réhabiliter et à améliorer la structure et la fonction de l'écosystème. Tout d'abord, une évaluation détaillée des paramètres physico-chimiques de l'eau interstitielle et du sol a été réalisée, fournissant des informations clés sur l'état actuel de l'environnement.

Ensuite, la Negra Forra a été éliminée et recouverte de plastique entraînant une diminution du niveau du sol. Des actions de restauration hydrologique ont été mises en place pour rétablir le comportement du cycle hydrologique et améliorer la qualité de l'eau par l'excavation d'un canal périphérique et le dragage de deux canaux naturels divisant la zone en trois unités de 2 ha. Puis, des activités de reboisement ont été menées avec des propagules de *Rhizophora racemosa*, *Rhizophora mangle* et *Pelliciera rhizophorae*, et la régénération naturelle a été encouragée par l'introduction de propagules de *Laguncularia racemosa*, *R. racemosa* et *R. mangle*. La reforestation a été réalisée avec un total de 11 110 propagules sur les 2 ha. Les résultats montrent qu'en éliminant l'*A. aureum*, la topographie a diminué de $-36,4$ cm, en corrigeant l'hydroperiode, la salinité a diminué de $3,2 \pm 4,6$ g/Kg, la température ($28,8 \pm 0,3$ °C) et l'acidité du sédiment ($6,7 \pm 0,02$) sont restées stables, et les sulfates ont augmenté ($F_{1,46} = 4,8$, $p \leq 0,033$).

Une disparition de l'*A. aureum* de 93% a été observée de 2019 à 2023, ainsi qu'une hauteur des propagules reboisées de $+ 5,5 \pm 0,8$ m. Grâce à la restauration, la couverture de mangrove a été rétablie et le comportement du cycle hydrologique a été restauré, avec un taux de survie des reboisements de 97,3 % sur une période de 6 ans, contribuant ainsi de manière significative à la restauration de l'habitat des poissons, crustacés, oiseaux, mammifères, entre autres.



© A. Rosenfeld



1 LA RESTAURATION AU BÉNIN



Contexte

Au Bénin, les mangroves bordent les lagunes côtières, car le Bénin n'a pas de deltas actifs et ses côtes sont exposées à l'action des vagues. On y trouve six espèces différentes de mangrove (PNUE, 2007), principalement *Rhizophora racemosa* et *Avicennia germinans*. Les peuplements de *Laguncularia racemosa* et *Conocarpus erectus* sont rares. Des efforts sont en cours pour identifier leurs aires de distribution.

Les principales menaces qui pèsent sur la mangrove dans la zone sont liées à la destruction des habitats et notamment à l'importante déforestation car le bois de la mangrove est utilisé pour l'extraction du sel. Des changements drastiques des conditions environnementales depuis plus de 30 ans, dus à ces activités, ont généré des conditions propices à l'invasion de *Paspalum vaginatum* (espèce invasive, résistante aux inondations, aux températures élevées et à la salinité), en augmentant la topographie du sol, par la rétention de sédiments par le système racinaire, provoquant moins d'inondations, d'anoxie, une température et une salinité plus élevées dans l'eau interstitielle, et donc le déplacement des espèces de mangrove.

Plusieurs activités de restauration écologique ont été menées sur un terrain de 30 hectares pour récupérer et améliorer la structure et la fonction de l'écosystème. Tout d'abord, l'analyse des paramètres physiques et chimiques de l'eau interstitielle et du sol, a fourni des informations sur l'état de l'environnement. Ensuite, le *Paspalum vaginatum* a été éliminée, corrigeant ainsi le niveau du sol. Des actions de réhabilitation hydrologique ont été mises en œuvre pour rétablir le comportement hydrologique et améliorer la qualité de l'eau. De plus, des activités de reboisement ont été menées en utilisant la propagation de *Rhizophora racemosa* et en favorisant la régénération naturelle de cette espèce. Ces actions ont conduit à la récupération de la mangrove et de la dynamique hydrologique, avec un impact significatif sur la récupération de l'habitat des espèces d'importance commerciale et écologique.

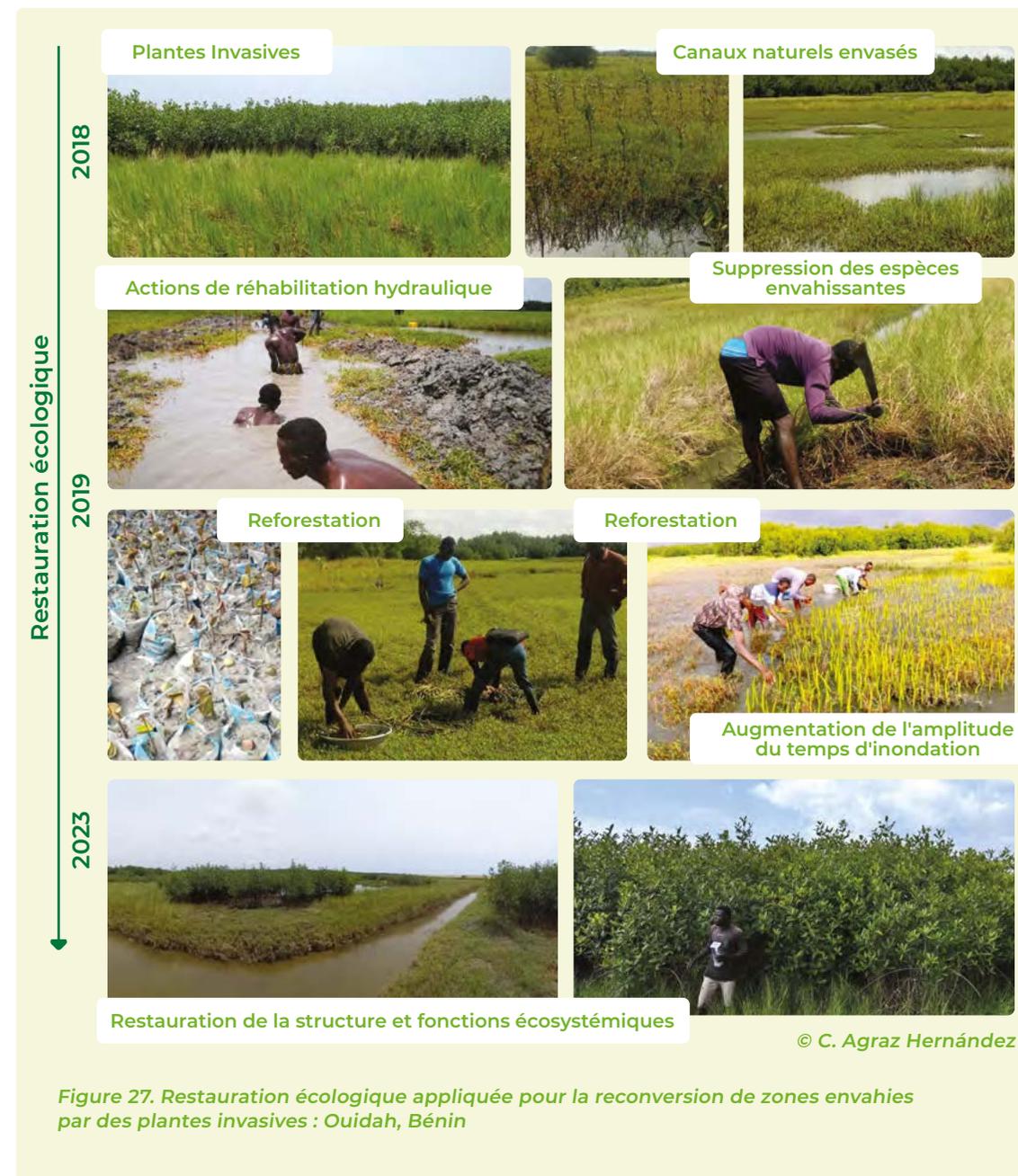


Figure 27. Restauration écologique appliquée pour la reconversion de zones envahies par des plantes invasives : Ouidah, Bénin

Les actions de réhabilitation hydrologique ont débuté en 2019, avec le dragage de 19 canaux préexistants ensablés et la construction de 26 canaux artificiels reliés entre eux, sur une superficie de 30 ha, avec le soutien de 258 personnes de la communauté de Ouidah. Cette restauration hydrologique a permis d'augmenter la fréquence des inondations et la disponibilité de l'oxygène dissous, avec en parallèle une diminution de la salinité et de la température de l'eau interstitielle. L'établissement de ces barrières physiques et chimiques a empêché la régénération de *P. vaginatum*.

Ensuite, en parallèle de la régénération naturelle et pour l'accompagner, des reboisements ont été faits : 367,140 hypocotyles de *Rhizophora racemosa* ont été reboisés sur 30 hectares, avec des densités de 7,156 hypocotyles/ha. Des taux de survie de 79,4 % ont été atteints sur une période de 2,5 ans, avec une régénération naturelle sur les berges du canal de *R. racemosa* et *Sesuvium portulacastrum* sur les 30 ha, tous deux à 10 %. Sur toute la zone de restauration, la mortalité de *P. vaginatum* a atteint 95%. Le site montre des signes de rétablissement de l'habitat pour les crabes, les poissons et les oiseaux.



8

ANNEXES

ANNEXE 1

PRINCIPALES CONTRIBUTIONS DES MANGROVES

Principales contributions des mangroves
Source : Cormier-Salem, 2013

TYPE DE SERVICE	SERVICES ISSUS DES MANGROVES	PRINCIPALES FONCTIONS (EXEMPLES)
Régulation	Contrôle de l'érosion	Stabilisation des lignes de côtes, piégeage et stabilisation des sédiments par les racines des palétuviers
	Protection contre les tempêtes	Barrage constitué par les forêts de palétuviers contre les tempêtes, cyclones et raz de marée ; la canopée atténue la puissance du vent et la structure complexe des mangroves, l'enchevêtrement des racines, des troncs et des branches basses des palétuviers, cassent la puissance de la houle et amortissent les vagues
	Régulation des flux	Circulation et échanges d'eaux grâce au balancement des marées, aux réseaux hydrographiques, aux courants littoraux
	Filtre entre terre et mer	Les mangroves sont des tampons entre la terre et la mer : en arrêtant les sédiments qui dévalent des bassins versants et étouffent les écosystèmes marins, en filtrant les pollutions, elles protègent les récifs coralliens et les herbiers de phanérogames en aval.
	Traitement des déchets	Assimilation des déchets par la végétation épuration des eaux

Autoproduction	Purification de l'air	<ul style="list-style-type: none"> • Exportation ou séquestration du carbone par les palétuviers • Transformation et stockage d'énergie via la biomasse
	Purification de l'eau	Piégeage des polluants métalliques par les sols
	Constitution du sol	Poldérisation et colonisation du substrat meuble et pauvre en oxygène par système racinaire
	Cycle nutritif	Transformation et stockage d'énergie et de matières
	Enrichissement des eaux côtières	Transfert direct de la productivité des forêts de palétuviers aux eaux côtières via chenaux de marée et crues ; décomposition et minéralisation de la matière organique détritique ; mélange eau continentale - eau océanique
	Biodiversité	<ul style="list-style-type: none"> • Habitat refuge pour les oiseaux ; • Zone de reproduction, nurserie pour l'ichtyofaune (zone de rétention, d'alimentation et de croissance pour la faune aquatique) ; • Frayère de nombreuses espèces (poissons, crustacées ??) ; • Refuge vis-à-vis des prédateurs grâce à l'ombrage des arbres, l'enchevêtrement des racines de palétuvier, la turbidité des eaux ; • Habitat de gastéropodes brouteurs des genres Littorina, Pachymelania et Terebralia, et des bivalves filtreurs, comme les huîtres, arches et cardiums.
Approvisionnement	Nourriture	Forêts de palétuviers, chenaux de marée et écosystèmes associés, support de ressources agrosylvopastorales et halieutiques et de produits alimentaires (riz ; sel ; miel ; poissons, huîtres, crevettes, etc.)
	Boissons et alcool	Bois, fleur, feuille et fruit pour boissons fermentés, alcool, vinaigre, tisane
	Combustible	Bois de feu et charbon de bois (fumage des poissons, chauffage de la saumure pour fabrication du sel)
	Santé	Feuilles et fruits à usages médicinaux et cosmétiques
	Matériau	Bois de construction et bois d'œuvre : poutres, perches, bûches pour maison (pilotis), bateau ; outils agricoles (manche, soc de charrue, digue) ; engins de pêche (barrage-palissade, nasse et haveneaux) ; ustensiles de cuisine (mortier, pilon) ; tanin et teinture (écorce) ; chaux des coquilles ; colle...
	Commerce	Pêche commerciale, estuarienne et littorale (poissons - mullet, capitaine, carpe - et crevettes) ; ramassage des crabes, coques, huîtres ; aquaculture
Culturels	Alimentation bétail	Fourrage et pâturage pour troupeaux de bovins, caprins et autres ; cure salée
	Spirituel	Sites sacrés, espèces totémiques ;
	Loisir	Espace de vie ; tourisme et écotourisme (promenade en pirogue, observation des animaux ; pêche sportive, etc.)
	Esthétique	Traditions orales (mythes, chants et poèmes) ; mise en scène de la mangrove

ANNEXE 2

ATTRIBUTS, INDICATEURS ET NOTES DE LA MÉTHODE RAM-MANGROVES

Source : Macera, 2024

ATTRIBUTS	INDICATEURS	NOTES
Contexte paysager	Connectivité La zone adjacente est-elle exempte de structures humaines qui entravent la progression de la mangrove ?	0. La zone est entravée par des infrastructures humaines situées à moins de 50 mètres de la forêt de mangrove, ce qui empêche l'extension spatiale potentielle de la mangrove.
		1. La zone présente une ou plusieurs infrastructures humaines empêchant la progression des mangroves, mais ces infrastructures sont assez éloignées ou sur un côté uniquement (>50 m).
		2. La zone présente des infrastructures humaines qui n'entravent pas la connectivité entre les zones et n'empêchent pas la mangrove de progresser (par exemple, des infrastructures sur pilotis permettant la circulation de l'eau).
		3. Il n'y a pas d'infrastructure humaine dans la zone adjacente aux mangroves. Les mangroves sont libres de progresser sur la totalité de la zone de balancement des marées.
Évaluation des palétuviers	Richesse spécifique Nombre d'espèces de palétuviers présentes dans la zone d'étude par rapport au nombre total d'espèces présentes dans la région	0. Il n'y a pas de palétuviers dans la zone.
		1. La zone compte moins de 50% du nombre total d'espèces.
		2. La zone compte au moins 50% du nombre total d'espèces.
		3. La zone compte le nombre maximum d'espèces.
	Taux de recouvrement en palétuviers	0. Entre 0% et 25%.
		1. Entre 25% et 50%.
		2. Entre 50% et 75%.
		3. Entre 75% et 100%.

ATTRIBUTS	INDICATEURS	NOTES
Évaluation des palétuviers	Dynamique de population Nombre de jeunes pousses de palétuviers (hauteur > 30 cm)	0. Pas de jeunes pousses ou mangroves très jeunes composées uniquement de jeunes pousses.
		1. Quelques jeunes pousses sont observées le long du transect, mais en très petite quantité (environ égale ou inférieure à 5 jeunes pousses).
		2. Des jeunes pousses sont observées le long du transect. Plus de 3 jeunes pousses sont observées et leur nombre est aisément dénombrable, se situant à environ 20 ou moins.
		3. Un très grand nombre de jeunes pousses sont observées, leur nombre est supérieur à 20.
	Hauteur de la canopée Toutes espèces confondues	0. Entre 0 mètre et 1 mètre.
		1. Entre 1 mètre et 3 mètres.
		2. Entre 3 mètres et 5 mètres.
		3. Supérieur à 5 mètres.
	Taux de mortalité des palétuviers	0. La zone présente 100% de palétuviers morts.
		1. La zone présente plus de 50% de palétuviers morts.
		2. La zone présente moins de 50% de palétuviers morts.
		3. La zone présente < 5% de palétuviers morts.
Vitalité des palétuviers Les signes de maladies les plus courants sont des trous ou des taches sur les feuilles <i>N. B. : Les palétuviers utilisant le système d'excrétion du sel par mortalité des feuilles possèdent davantage de feuilles jaunes/brunes sans que cela ne soit un signe de dégradation.</i>	0. Les palétuviers n'ont presque pas de feuillage ou seulement des feuilles jaunes ou brunes et/ou toutes les feuilles présentent des signes de maladie/parasites.	
	1. Les mangroves ont peu de feuillage, il y a beaucoup de feuilles jaunes ou brunes et/ou la majorité des feuilles présentent des signes de maladie/parasites.	
	2. Les mangroves ont un feuillage dense, vert, mais certaines parties ont un feuillage moins dense avec quelques feuilles jaunes ou brunes et/ou présentent des signes de maladie/parasites.	
	3. Les mangroves ont un feuillage très dense, très vert, avec très peu de feuilles jaunes ou brunes et aucun signe de maladie/parasites.	
Évaluation du sol	Texture du substrat	0. Le sol est composé à 100% de sable.
		1. Le sol présente moins de 50% de vase et plus de 50% de sable.
		2. Le sol présente plus de 50% de vase et plus de 50% de sable.
		3. Le sol présente au moins 90% de vase.
	Salinité de l'eau interstitielle	0. Le sol est constamment sec, sans trace d'eau interstitielle.
		1. Conditions hypo/hyper salines extrêmes : salinité <20 g/L ou >60 g/L pour la zone à Rhizophora sp. ; salinité <40 g/L ou >90 g/L pour la zone à Avicennia sp.
		2. Conditions hypo/hyper salines : salinité comprise entre 20 et 35 ou 45 et 60 g/L pour la zone à Rhizophora sp. ; salinité comprise entre 40 et 55 ou 65 et 90 pour la zone à Avicennia sp.
		3. Conditions idéales : salinité entre 35 et 45 g/L pour la zone à Rhizophora sp. et 55 et 65 g/L pour la zone à Avicennia sp.

ATTRIBUTS	INDICATEURS	NOTES
Évaluation du sol	Sédimentation	0. Forte érosion : La pente formée par le substrat à l'avant de la mangrove a une forme très incurvée ressemblant à un petit fossé. Les sédiments présents sont très compacts. Le site est très exposé à l'énergie des vagues et à la houle.
		1. La zone de mangrove subit une légère érosion : pente courbée, sédiments compacts, exposition modérée à l'énergie des vagues et de la houle.
		2. La dynamique sédimentaire dans la zone de mangrove est stable : pente plate ou légèrement concave, sédiments meubles, protection contre l'énergie des vagues et la houle.
		3. Sédimentation positive : La pente formée par le substrat à l'avant de la mangrove a une forme concave. Les sédiments présents sont meubles et très fins. Le site est protégé de l'énergie des vagues et de la houle.
Biodiversité associée	Abondance des crabes L'abondance des crabes constitue un bioindicateur de l'adéquation du sol pour le développement de la mangrove	0. La zone ne présente aucune trace de crabes, de terriers ou de forages récents.
		1. La zone présente quelques traces de crabes, de terriers ou de forages récents.
		2. La zone présente des traces de crabes, de terriers ou de forages récents, mais ceux-ci sont largement dénombrables.
		3. La zone présente un très grand nombre de traces de crabes, de terriers ou de forages récents, ce nombre est si important qu'il serait difficile de les dénombrer.
	Faune et flore associées Par espèces remarquables on entend des espèces ingénieuses ou clé de voûte de l'écosystème	0. La zone contient peu ou pas d'espèces associées aux mangroves.
		1. La zone présente une faible richesse spécifique, ces espèces sont pour la plupart communes, la zone n'abrite pas d'espèces remarquables ou protégées.
		2. La zone présente une grande richesse spécifique, ces espèces sont pour la plupart communes, la zone n'abrite pas d'espèces remarquables et/ou protégées.
		3. La zone présente une grande richesse spécifique et/ou des espèces remarquables et/ou protégées.
Relation société-mangroves	Variété des usages par les communautés locales Les usages durables de la mangrove sont inclus, tandis que les usages nuisibles sont exclus	0. La mangrove ne fait l'objet d'aucun usage.
		1. La mangrove ne fait l'objet que d'un seul usage.
		2. La mangrove fait l'objet de plus d'un usage.
		3. La mangrove fait l'objet de plusieurs usages, dont l'un au moins est indispensable aux communautés.

ATTRIBUTS	INDICATEURS	NOTES
Relation société-mangroves	Niveau de protection de la zone Catégories de protection de l'UICN <i>N. B. : Les notes 3 de ce descripteur et du précédent sont tension. Une zone Réserve intégrale obtient 3 en « protection » et 0 en « usages ». Cette faible moyenne entre ces deux descripteurs est conforme à cette approche en système socio-écologique ou les gouvernances participatives sont considérées comme un meilleur état que les réserves intégrales.</i>	0. Zone sous aucun statut de protection. 1. Le site est situé dans une zone de conservation des espèces à vocation récréative. Il n'y a pas de restrictions sur les utilisations dans la zone, et le développement urbain est autorisé. 2. Le site est situé dans une zone de protection des espaces et des espèces sans vocation récréative. Les utilisations sont contrôlées, mais non restreintes. L'urbanisation est interdite. 3. Le site est situé dans une réserve intégrale gérée scientifiquement et n'a pas de vocation récréative. Les utilisations sont contrôlées et peuvent être restreintes.
	Pollution aux macrodéchets Inclus les particules de plus d'un cm en plastique, en tissu ou en métal	0. Présence de très grandes quantités de macrodéchets recouvrant complètement le sol. 1. Des macrodéchets sont observés, recouvrant une partie du sol. 2. Certains macrodéchets sont observés en petites quantités. 3. Aucun macrodéchet observé.

ANNEXE 3

VALORISATION DES PRODUITS DE LA MANGROVE : QUELQUES USAGES

Source : Cormier-Salem, 2022

RESSOURCES	USAGES	ESPECES	QUELQUES EXEMPLE D'USAGES ET/OU VALORISATION
------------	--------	---------	----------------------------------------------

PRODUITS FORESTIERS			
Bois	Combustible : bois de chauffage, charbon de bois (cuisson domestique, fumage du poisson et des huîtres, chauffage de la saumure pour la fabrication du sel, brûlage des coquilles d'huîtres pour chaulage des rizières), alcool	Tous les palétuviers avec diverses qualités, mais surtout <i>Rhizophora spp.</i>	Fumage des huîtres
	Bois de construction et bois d'œuvre pour la maison : poteaux, piliers, charpente, pour la cuisine (mortier et pilon)	<i>Rhizophora spp.</i>	Au Bénin : charpente pour les habitats ; À Madagascar : maison sur pilotis avec charpente et pilotis en <i>Rhizophora</i> (résistants aux termites)
	Objets d'art	<i>Rhizophora spp.</i>	Village artisanal de Fadhiouth (Joal) : objets d'art à partir de bois de palétuviers (<i>Rhizophora spp.</i>)
	Outils aratoires et agricoles : houe, charrue, tapade ; Barrages anti-sel pour la riziculture		En Basse Casamance les agriculteurs plantent l' <i>Avicennia</i> devant leurs champs (localisés en arrière de la mangrove) pour bloquer la progression de la salinité dans la terre ferme
	Matériel de pêche : clôture de barrage, pièges, panniens, haveneaux et filets;		Pêche artisanale en Basse Casamance

PRODUITS FORESTIERS			
Feuilles	Artefact et ustensiles domestiques : palissade, toiture, matelas, abri, papier et papier cigarette, colle	Toutes les espèces de palétuvier, mais surtout <i>Nypa fruticans</i>	
	Alimentation humaine : boissons fermentées, alcool, vinaigre, tisanes, condiments, légumes-feuilles, salades	Tous les palétuviers	
	Alimentation animale : fourrage, pâturage	<i>Avicennia</i> , <i>Sonneratia</i>	
	Usages médicaux : externes (emplâtre, encens) et internes (décoction pour paludisme, gonorrhée, digestion, rougeole, fébrifuge)	<i>Avicennia germinans</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> <i>Conocarpus erectus</i>	A Madagascar, traitement de maladie (fièvre et maux de ventre) Au Bénin, utilisation de <i>Conocarpus erectus</i> comme antibiotique, bain corporel contre la gale La décoction des feuilles sénescences d' <i>Avicennia germinans</i> est conseillée aux femmes comme boisson après la délivrance pour venir à bout des pertes de sang (hémorragie)
Fleurs et fruits	Usages rituels	<i>Avicennia spp.</i> <i>Nypa fruticans</i>	Dans le Saloum, verset du coran écrit sur des feuilles d' <i>Avicennia germinans</i> En Indonésie (et toute l'Asie), inscription de manuscrit en sanskrit sur des feuilles de <i>Nypa fruticans</i>
	Miel, hydromel et cire des abeilles (<i>Apis mellifera</i>)	<i>Ceriops</i> , <i>A. marina</i> , <i>Rhizophora sp.</i> , <i>Rhizophora mucronata</i> , <i>Ceriops tagal</i> , <i>Bruguiera gymnorhiza</i>	À Madagascar, nectar (fleurs) pour les abeilles (miel de mangrove et cire) Miel de mangrove au Kenya
	Alimentation humaine : alcool ; graine des fruits comme farine, pulpe comme huile	<i>Avicennia germinans</i>	Valorisation surtout en période de pénurie ou famine ; le fruit est souvent consommé par le bétail
	Flotteur et bouchon pour les filets de pêche		
	Usages médicaux et cosmétiques (masque de beauté et de protection) ; encens et fubrifuge	<i>Xylocarpus granatum</i>	À Madagascar (et le long de la côte est -africaine), fruit utilisé pour un masque de visage contre le soleil pour les femmes

RESSOURCES	USAGES	ESPECES	QUELQUES EXEMPLE D'USAGES ET/OU VALORISATION
Écorce	Artefact et usage domestique : tannin et teinture,	<i>Rhizophora spp.</i> , <i>Bruguiera spp.</i> et <i>Ceriops tagal</i>	L'un des premiers produits commercialisés sur de longues distances aux XVI-XVIIIe. notamment entre Madagascar et pays du Machrek pour tanner les cuirs / réseau swahili
	Ingrédient de tisane et boisson, usage médicinal (traitements externes d'hémorragies ; internes de maux de ventre, paludisme, maux de dent	<i>Rhizophora spp.</i>	Usages médicaux de 3 espèces de palétuviers au Ghana
Branches	Tuteurs, pièges pour poisson ou giblier	<i>Acrostichum aureum</i>	
	Usages rituels	Spp.	A Mayotte, guirlandes de vieux coran accrochés sur les branches

PRODUITS HALIEUTIQUES VIVANTS

Crustacés	Pêche de crabes à l'aide de pièges appâtés ou de crochets	<i>Scylla serrata</i> , <i>Ucides spp.</i> , <i>Sesarma mederi</i> , <i>Goniopsis peli</i>	Madagascar : Exportation et autoconsommation Vietnam (plus de 10 variétés)
	Pêche et élevage de crevette	<i>Penaeus spp.</i> , <i>Macrobrachium rosenbergii</i> ,	
Mollusques	Pêche des coquillages et autres mollusques à marée basse dans la vase ou sur les hauts-fonds pour : alimentation ; décoration et collection ; encens	<i>Anadara senilis</i> , <i>Galatea paradoxa</i> , <i>Murex hoplites</i> , <i>Murex cornutus</i> , <i>Pugilina morio</i> , <i>Orbicularia orbiculata</i> , <i>Donax spp.</i> , <i>Cymbium spp.</i> , <i>Cultelus tenuis</i> , <i>Arca granosa</i> , <i>Terebralia palustris</i>	Madagascar : Pêche à pieds pendant la marée basse, généralement pratiquée par les femmes Dans le Saloum, à partir opercule des Murex à destination Maghreb-Machreb
	Pêche et élevage des huîtres	<i>Crassostrea gazar</i> , <i>Crassostrea rivularis</i>	Au Bénin, les coquilles sont transformées en poudre dans le moulin pour servir de complément alimentaire (calcium) pour les animaux.
Poissons	Pêche de poissons (mulet, capitaine, carpe, ethmalose, etc.) au moyen de filets, de barrages, de nasses et de trous, etc.	<i>Epinephelus spp.</i> , <i>Lates spp.</i> , <i>Ethmalosa fimbriata</i> , etc.	
	Bassins d'élevage extensif de poisson, piégeage dans digues de retenue	<i>Tilapia</i> , <i>Chano chano</i> , <i>Arius spp</i> ; <i>Macrobrachium rosenbergii</i> , <i>Epinephelus spp.</i> , <i>Lates spp</i> ,	

Vers	Ramassage des vers de vase (polychaete)	polychaete	A Pichavaram, les membres de la communauté Irula ramassent les vers pour approvisionner fermes à crevette
------	-----------------------------------------	------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------

PRODUITS INERTES

Coquilles de mollusques	Coquilles pour fabriquer la chaux (engrais),	Coquilles d'huîtres (<i>Crassostrea gazar</i>) et de coquillages	Amas coquilliers, sanctuaires pour notables dans le Saloum
	Matériel de construction ou renforcement des pistes, ponts, maisons	Coquilles des Anadara, huîtres, vasière et argiles etc.	Maisons et pistes des îles du Gandoul, En Basse Casamance dans l'île Eloubaline les maisons sont construites à partir de la vase et de l'argile prises au niveau de la mangrove Au Bénin, les coquilles d'huître sont valorisées pour solidifier les pistes sous la couche de sable jaune, surtout en zones humides
Sel	Collecte du sel dans les zones d'arrière-mangrove (cuvette surcreusée dans les tannes) ; fabrication par ébullition ou évaporation		A Madagascar, bassin salicultures par évaporation Bénin Sénégal

ANNEXE 4

EXEMPLES D'INDICATEURS D'ÉVALUATION DANS LE CADRE DE LA VALORISATION DES PRODUITS

Source : Cormier-Salem, Biodivalloc, ANR05-2005

THÈME	SOUS-THÈME	INDICATEUR
Communauté Locale	C1 Equité	Nombre d'emplois directs locaux
		Nombre d'emplois indirects locaux
		Niveau des revenus directs
		Niveau des revenus indirects
		Rapport prix d'achat aux producteurs/prix de vente sur le marché
		Rapport prix d'achat aux producteurs/prix minimum garanti par le Commerce Equitable ou autre label
		Labellisable Commerce équitable: oui/non
	C2 Discrimination sociale	Nombre de producteurs/ population totale
		Age moyen des producteurs
		Autochtonie
		Part homme/femme dans la filière
	C3 Savoirs et représentations	Nombre événements fondateurs incluant présence du produit
		Nombre de recettes culinaires incluant présence du produit
		Occurrences dans les contes, mythes, chansons et récits
		Outillages culinaires et dots

Production Commercialisation	P1 Succès Commercial	Chiffre d'affaires		
		Nombre de sites de production, de transformation et de distribution.		
		Part de l'agriculture commerciale par rapport à l'agriculture vivrière		
	P2 Notoriété	Nombre de marchés locaux, régionaux, nationaux et internationaux		
		Enquête d'opinions		
		Existence de contrefaçons		
Lien Biodiversité Communauté locale	BC1 services écosystemiques	Nombre de kilomètres parcourus par le produit		
		Surface de forêt		
		Qualité de l'eau		
		Santé des populations vivant à partir de ressources dépendant de la biodiversité		
	BC2 accès à la ressource	Fréquentation touristique		
		Existence de droit d'accès		
		Existence de droit d'usage		
		Mise en place d'une protection, d'un contrôle de la ressource		
		Lien Communauté locale Production commercialisation	CP1 Conserva-tion des sa-voir-faire et des pratiques	Standardisation
				Normes sanitaires
Inscription de certaines pratiques dans le patrimoine culturel local				
CP2 Dynamique sociale	Nombre de manifestations autour du produit			
	Nombre de coopératives			
	Nombre d'associations de paysans			
	Nombre d'ONG présentes			
CP3 Dépendance économique	Part des actifs concernés			
	Nombre d'activités alternatives rémunératives			
	Part du PIB local dégagé par la production			
	Part de l'agriculture commerciale / vivrière			

ANNEXE 5

RÉFÉRENCES

THÈME	SOUS-THÈME	INDICATEUR
Lien Biodiversité Production commercialisation	BP1 Intensité de l'impact de la production sur l'écosystème	Diversité des espèces cultivées/ espèces pêchées
		Surface cultivée/exploitée
		Surface de forêt / de l'écosystème considéré
		Rendement
		Indice agrégé type Management Index
		Labellisable Agriculture Biologique ou autre ecolabel adéquat (shade coffee pour le café...)
	BP2 pression sur la ressource	(Mer) Stock disponible
		(Mer) Niveau de prélèvement
		(Mer) Taille des individus pêchés
	BP3 services rendus à l'écosystème	Protection, contrôle des prélèvements ou de zones fragiles
Lien Biodiversité Communauté locale Production commercialisation	BCP1 Typicité des produits	Reconnaissance d'une typicité gustative: indice de typicité. Enquête d'opinion.
		Nombre de produits similaires ou comparables
		Maintien /Evolution des itinéraires techniques: pérennisation des pratiques de production
		Maintien /Evolution des itinéraires techniques: pérennisation des pratiques de transformation
		Evolution du nombre des espèces exploitées et prélevées
		Evolution du nombre des espèces associées prélevées
	BCP2 Discrimination spatiale	Nombre et distribution de sites de production/ transformation/distribution
		Cartographie des parcours de cueillette, des zones de culture, des zones de pêche
	BCP3 Dépendance alimentaire	Espèce cultivée "clef de voûte culturelle"
		Importance du produit dans l'alimentation des populations locales (quantité et qualité)
Indice de spécialisation		

Agraz Hernández, C.M.1999. Reforestación experimental de manglares en ecosistemas lagunares estuarinos de la costa Noroccidental de México. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. 132 p.

Agraz-Hernández, C.M., F.J. Flores-Verdugo, J. Osti-Saenz, A.P. Isaac-Márquez, R. Arana-Lezama (2006). Importancia de la conservación en los ecosistemas de mangle para la permanencia de los arrecifes coralinos. Gaceta de la UAC. Octubre del 2006. Numero 91. 3-7 p.

Agraz-Hernández, C. M., Noriega-Trejo, R., López-Portillo, J., Flores-Verdugo, F. J., & Jiménez-Zacarías, J. J. (2006). Identification of mangroves in Mexico. Field Guide, Universidad Autónoma de Campeche, Mexico.

Agraz-Hernández, C. M., Osti-Sáenz, J., Jiménez-Zacarías, C., García Zaragoza, C. C. E., González Durán, L., & Palomo Rodríguez, A. (2007). Restauración con manglar: criterios y técnicas hidrológicas de reforestación y forestación. Universidad Autónoma de Campeche, Comisión Federal de Electricidad, Comisión Nacional Forestal.

Agraz Hernández, C. M., García Zaragoza, C., Iriarte-Vivar, S., Flores-Verdugo, F. J., & Moreno Casasola, P. (2011). Forest structure, productivity and species phenology of mangroves in the La Mancha lagoon in the Atlantic coast of Mexico. Wetlands Ecology and Management, 19, 273-293.

Ahmed, J., Kathambi, B., & Kibugi, R. (2023). Barriers to Community Participation in Governance Standards Setting for Sustainable Mangrove Management in Lamu County. Open Journal of Forestry, 13, 353-367. <https://doi.org/10.4236/ojf.2023.134021>.

Alonso, Á., & Castro-Díez, P. (2015). Las invasiones biológicas y su impacto en los ecosistemas: Ecosistemas, 24(1), Article 1. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-1.01>.

Andrieu J., 2018. Land cover changes on the West-African coastline from the Saloum Delta (Senegal)

to Rio Geba (Guinea-Bissau) between 1979 and 2015. European Journal of Remote Sensing, 51 (1): 314-325.

Andrieu J., Lombard F., Fall A., Thior M., Ba B. D., Dieme B. E. A., 2020. Botanical field-study and remote sensing to describe mangrove resilience in the Saloum Delta (Senegal) after 30 years of degradation narrative. Forest Ecology and Management, 461: 117963.

Biswas, S. R., Choudhury, J. K., Nishat, A., & Rahman, Md. M. (2007). Do invasive plants threaten the Sundarbans mangrove forest of Bangladesh? Forest Ecology and Management, 245(1-3), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.02.011>

Borja, A., Bricker, S. B., Dauer, D. M., Demetriades, N. T., Ferreira, J. G., Forbes, A. T., Hutchings, P., Jia, X., Kenchington, R., & Marques, J. C. (2009). Ecological integrity assessment, ecosystem-based approach, and integrative methodologies: Are these concepts equivalent? Marine Pollution Bulletin, 58(3), 457-458.

Brasile M. (2020). Les facteurs de réussite de la réhabilitation de mangroves à Trat dans les années 1990. Master 2 Sciences pour l'environnement, parcours Géographie appliquée à la gestion des littoraux. CIRAD, Université de la Rochelle, ResCue. 101p.

Cormier-Salem, M.-C. (2008). Les produits de terroir dans les Sud : des liens incontournables entre qualité et durabilité ? In J. P. Amat, A. Da Lage, A. M. Frérot, S. Guichard-Anquis, B. Julien-Laferrière, & S. Wicherek (Eds.), L'après-développement durable : espaces, nature, culture et qualité (pp. 157-166). Paris: Ellipses Marketing.

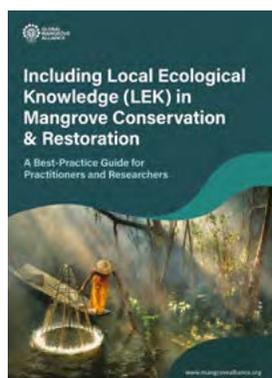
Cormier-Salem, M.-C., & Roussel, B. (2009). Des produits de terroir pour conserver la diversité biologique et culturelle au Sud. Enjeux, acteurs, instruments. Autrepart, 50, 214. <http://hal.ird.fr/ird-00485036>

Cormier -Salem, M.-C. (2013). Redonner une valeur aux patrimoines naturels et culturels. Point de vue d'experts. In L. Barnéoud (Ed.), La Biodiversité ? Comprendre vite et mieux (pp. 58-59). Paris: Belin.

- Cormier-Salem, M.-C. (2022) in Balachander, et al. Chapter 4: The drivers of the sustainable use of wild species. In *The Assessment Report on the Sustainable Use of Wild Species of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*.
- Del Ben Pauline, 2022. Restauration des mangroves d'Asie et d'Afrique : évaluation des paramètres influençant l'issue d'un projet et ébauche de conseils de gestion. Rapport de stage Creocéan.
- Deltares. 2014. Habitat requirements for mangroves. <https://publicwiki.deltares.nl/display/BWN/Building+Block+-+Habitat+requirements+for+mangroves>
- Dorney, J., Savage, R., Tiner, R. W., & Adamus, P. (2018). *Wetland and stream rapid assessments: Development, validation, and application*. Academic Press.
- Dupont L. (2022). Étude des savoirs locaux et usages, passés et présents, exercés sur le gastéropode des mangroves *Terebralia palustris* à Mayotte (Master 2).
- FAO. 2023. *The world's mangroves 2000–2020*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc7044en>.
- FAO. 2007. *The world's mangroves 1980–2005*. Rome.
- Fanjul, L. (2000). Uso de productos bioracionales en México. Obtenido de *Plant Health Care. Información Técnica México*: <http://www.phcmexico.mx/phcarticulos.html>.
- Faridah-Hanum, I., Yusoff, F. M., Fitrianto, A., Ainuddin, N. A., Gandaseca, S., Zaiton, S., Norizah, K., Nurhidayu, S., Roslan, M. K., Hakeem, K. R., Shamsuddin, I., Adnan, I., Awang Noor, A. G., Balqis, A. R. S., Rhyma, P. P., Siti Aminah, I., Hilaluddin, F., Fatin, R., & Harun, N. Z. N. (2019). Development of a comprehensive mangrove quality index (MQI) in Matang Mangrove : Assessing mangrove ecosystem health. *Ecological Indicators*, 102, 103-117. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.030>.
- Flores-Verdugo, F., González-Farías, F., Zamorano, D. S., & Ramírez-García, P. (1992). Mangrove ecosystems of the Pacific coast of Mexico: distribution, structure, litterfall, and detritus dynamics. In *Coastal plant communities of Latin America* (pp. 269-288). Academic Press.
- Flores-Verdugo, F.J., P. Moreno Casasola; C.M. Agraz Hernández; H. López Rosas; D. Benítez Prado; A.C. Travieso Bello. 2007. Topografía y el hidropériodo: dos factores que condicionan la restauración de los humedales. *Número 80. Sociedad Botánica Mexicana*. 33-48 p.
- Gosh et al., 2020. Multiscale Diagnosis of Mangrove Status in Data-Poor Context Using Very High Spatial Resolution Satellite Images: A Case Study in Pichavaram Mangrove Forest, Tamil Nadu, India. *Remote Sens.* 2022, 14(10), 2317. <https://doi.org/10.3390/rs14102317>.
- Grasshof, K. & Johannsen, H. 1973. A new sensitive and direct method for the automatic determination of ammonia in sea water. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*. 24: 516-521.
- Hogarth Peter J. (2015). *The Biology of Mangroves and Seagrasses*. - ISBN: 9780198716549.
- Ifrecor 2020. Etat de santé des récifs coralliens, herbiers marins et mangroves des outre-mer français. <http://ifrecor-doc.fr/items/show/1894>
- IPBES (2022). Summary for Policymakers of the Thematic Assessment Report on the Sustainable Use of Wild Species of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Fromentin, J.M., Emery, M.R., Donaldson, J., Danner, M.C., Hallosserie, A., Kieling, D., Balachander, G., Barron, E.S., Chaudhary, R.P., Gasalla, M., Halmy, M., Hicks, C., Park, M.S., Parlee, B., Rice, J., Ticktin, T., and Tittensor, D. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6425599>
- Jeanson, M., Dolique, F. & Anthony, E. J. (2018). Processus morphodynamiques et sédimentaires dans les mangroves en érosion de Mayotte, océan Indien. *VertigO*, 18(2).
- Komu Henry M. 2021. Mangrove restoration interventions. In: *Mangrove ecosystem conservation manual - A focus on Kenya*. Prosperi J. (ed.), Musili P. (ed.), Lang'at K.S. (ed.), Komu H.M. (ed.), Williamson D. (ed.). Mombasa : Mikoko Project, 89-95.
- Koroleff, F. 1983. Determination of ammonia. In: Grasshoff, K., Ehrhardt, M. y Kremling, K. (editors), *Methods of Seawater Analysis*, Verlag chemie, weinheim. Pp. 150- 157.
- Lewis, 2005. Ecological engineering for successful management and restoration of man-grove forests. *Ecol. Eng.* 24: 403–418.
- Leal, Maricé and Spalding, Mark D (editors), 2022 *The State of the World's Mangroves 2022*. Global Mangrove Alliance.
- Lugo, A. E. & S. C. Snedaker (1974) *The Ecology of Mangroves*. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5, 39-64.
- Macera, L. (2020). Restauration des écosystèmes de mangroves : évaluation et amélioration des pratiques à travers une étude comparative de projets à l'échelle mondiale. Thèse en cours, Université Côte d'Azur, École doctorale Sociétés, Humanités, Arts et Lettres (SHAL), Laboratoire ESPACE - Étude des Structures, des Processus d'Adaptation et des Changements des Espaces. Direction de thèse : Julien Andrieu. Discipline : Géographie. Inscription en doctorat le 02 novembre 2020.
- Macera L., Andrieu J., Crook Oliver-James, Muthusankar Gowrappan, Del Ben Pauline, 2023. Restauration d'un système socio-écologique de mangroves, analyse critique d'une étude de cas aux Philippines. *Coasts2023* (soumis).
- Macías Sámano J.E., Agraz Hernández C.M., y Niño Domínguez A. 2023. Declinación de manglares en el estado de Campeche: Una aproximación para evaluar su salud forestal. XIX Simposio Nacional de Parasitología Forestal, 24-27 Octubre, Instituto de Biología-UNAM, Ciudad Universitaria, Ciudad de México.
- Mbuvi. M. T. E. 2021. Participatory Forest Management Process: Experiences. In: *Mangrove ecosystem conservation manual - A focus on Kenya*. Prosperi Juliana (ed.), Musili P. (ed.), Lang'at K.S. (ed.), Komu H.M. (ed.), Williamson D. (ed.). Mombasa: Mikoko Project, 89-95.
- McDonald T, Gann GD, Jonson J, and Dixon KW (2016) *International standards for the practice of ecological restoration – including principles and key concepts*. Society for Ecological Restoration, Washington, D.C.
- McKee KL, Cahoon DR, Feller IC. 2007. Caribbean mangroves adjust to rising sea level through biotic controls on change in soil elevation. *Global Ecology and Biogeography* 16: 545–556.
- Mechin, A., Pioch, S., & Cluchier, A. (2023). Offset sizing tools : A review of practices used in the field and their operationality. *Journal of Environmental Management*, 346, 118990.
- Pinault, M., Pioch, S., Pascal, N., & coralliens, I. française pour les récifs. (2017). Guide pour la mise en oeuvre des mesures compensatoires et la méthode de dimensionnement MERCI-COR. : Livret 2. IFRECOR.
- Pioch, S., Levrel, H., Hay, J., Frascaria-Lacoste, N., & Martin, G. (2015). Restaurer la nature pour atténuer les impacts du développement : Analyse des mesures compensatoires pour la biodiversité. *Quae*.
- Polsenaere P., 2020. Les écosystèmes côtiers, puits de carbone bleu. <https://www.fondationbiodiversite.fr/sciencedurable-les-ecosystemes-cotiers-puits-de-carbone-bleu/>
- Rabinowitz D. (1978) *Dispersal properties of mangrove propagules* *Biotropica*, 1978 - JSTOR
- Rico-Gray, V., & Palacios-Rios, M. (1996). Leaf area variation in *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae) along a latitudinal gradient in Mexico. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 30-35.
- Sutula, M. A., Stein, E. D., Collins, J. N., Fetscher, A. Elizabeth., & Clark, R. (2006). A PRACTICAL GUIDE FOR THE DEVELOPMENT OF A WETLAND ASSESSMENT METHOD: THE CALIFORNIA EXPERIENCE. *Journal of the American Water Resources Association*, 42(1), 157-175. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2006.tb03831>.
- Teutli-Hernández C., Jorge A. Herrera-Silveira, Diana J. Cisneros-de la Cruz, Daniel Arceo-Carranza, Andrés Canul-Cabrera, Pedro Javier Robles-Toral, Oscar J. Pérez-Martínez, Daniela Sierra-Oramas, Karla Zenteno, Heimi G. Us-Balam, Eunice Pech-Poot, Xavier Chiappa-Carrara, Francisco A. Comín. 2021. Manual para la restauración ecológica de manglares del Sistema Arrecifal Mesoamericano y el Gran Caribe. Proyecto Manejo integrado de la cuenca al arrecife de la ecorregión del Arrecife Mesoamericano - MAR2R, UNEP-Convención de Cartagena, Mesoamerican Reef Fund. Guatemala City, Guatemala.
- Tomlinson P. B. (2016). *The botany of mangroves*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139946575>

LES PRINCIPAUX GUIDES SUR LA RESTAURATION DES MANGROVES

Il existe de très nombreux guides sur la restauration des mangroves (<https://initiative-mangroves-ffem.com/veille-publications/>), nous en indiquons quelques uns ci-dessous.



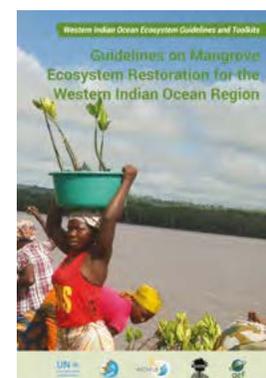
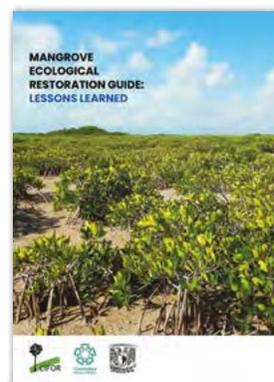
Référence : Kerry Grimm, Mark Spalding**, Marice Leal et al., 2023. Including Local Ecological Knowledge (LEK) in Mangrove Conservation & Restoration www.mangrovealliance.org A Best-Practice Guide for Practitioners and Researchers. Global mangrove alliance.
Date : 2023
Langue : anglais
Géographie : global

Référence : Beeston, M., Cameron, C., Hagger, V., Howard, J., Lovelock, C., Sippo, J., Tonneijk, F., van Bijsterveldt, C. and van Eijk, P. (Editors) 2023. Best practice guidelines for mangrove restoration. Rapport Global Mangrove Alliance. 278 p.
Date : 2023
Langue : Anglais
Géographie : non spécifique



Référence : Claudia Teutli-Hernández et alii, 2021. Manual para la restauración ecológica de manglares del Sistema Arrecifal Mesoamericano y el Gran Caribe. UNEP-Convención de Cartagena, Mesoamerican Reef Fund.
Date : 2021
Langue : Espagnol
Géographie : Amérique centrale, du sud et Caraïbes

Référence : Teutli-Hernández C., J.A. Herrera-Silveira, D.J. Cisneros-de la Cruz., R. Román-Cuesta. 2020. Mangrove ecological restoration guide : Lessons learned. Mainstreaming Wetlands into the Climate Agenda: A multilevel approach (SWAMP). CIFOR/CINVESTAV-IPN/UNAM-Sisal/PMC, 42 p.
Date : 2020
Langue : Anglais
Géographie : Amérique centrale, du sud et Caraïbes



Références : UNEP-Nairobi Convention/USAID/WIOMSA (2020). Guidelines on Mangrove Ecosystem Restoration for the Western Indian Ocean Region. UNEP, Nairobi, 71 pp.
Date : 2020
Langue : Anglais
Géographie : Océan Indien

Référence : Pole-relais zones humides tropicales, 2018. La restauration de mangrove : synthèse des éléments clés à considérer pour tout chantier de restauration. 32 p.
Date : 2018
Langue : Français
Géographie : non spécifique mais à destination de l'Outre-mer





**FONDS
FRANÇAIS POUR
L'ENVIRONNEMENT
MONDIAL**

Secrétariat du FFEM

Agence Française de Développement
5, rue Roland Barthes
75598 Paris Cedex 12
Tél. +33 1 53 44 42 42
ffem.fr - ffem@afd.fr