

Cartographie des projets soutenus par la FAW en matière de  
restauration de la mangrove : une analyse de l’outil *Restor*.

Océane Garandel

Certificat Complémentaire de Géomatique

2024

Rapport de stage

Sous la supervision de :

Tuteur de stage : M. Ezra Ricci (Fondation Audemars Watkins)

Suivi académique : Prof. Gregory Giuliani (UNIGE)

## Table des matières

Listes des figures .....	4
Liste des abréviations .....	5
Introduction.....	6
L'organisation hôte.....	6
Objectif du stage .....	6
Contexte .....	7
Les écosystèmes de mangrove.....	7
L'utilisation de la télédétection pour une évaluation des zones de mangrove .....	12
Sites étudiés .....	15
Sites d'intervention en Guinée.....	15
Sites d'intervention au Mozambique .....	17
Sites d'intervention à Madagascar .....	18
Méthodologie.....	19
Présentation des données.....	19
Restor .....	20
Présentation de la plateforme .....	20
Marche à suivre .....	21
Google Earth Engine .....	22
Présentation de l'outil.....	22
Marche à suivre .....	23
Résultats.....	23
Restor .....	23
Google Earth Engine .....	27
Discussion.....	29
La plateforme Restor : quel outil pour quelle(s) utilisation(s) .....	29
Déroulement du stage.....	30
Conclusion .....	31
Annexes .....	32
Annexe 1. Contributions de la nature à l'être humain et sa relation avec la qualité de vie en termes de valeurs instrumentales et relationnelles. ....	32
Annexe 2. Statut et répartition mondiale de la mangrove .....	33
Annexe 3. Vulnérabilité de la mangrove dans le monde. ....	34
Annexe 4. Avantages et limites des types de capteurs utilisés en télédétection pour la cartographie des écosystèmes de mangrove.....	35
Annexe 5. Métadonnées des sites d'intervention de restauration de mangrove en Guinée.....	41

Annexe 6. Métadonnées des sites d'intervention de restauration de mangrove au Mozambique. .....	42
Annexe 7. Métadonnées des sites d'intervention de restauration de mangrove à Madagascar.	43
Annexe 8. Caractéristiques des jeux de données géospatiales comme déclarées sur Restor.....	45
Annexe 9. Script GEE de l'évolution du couvert végétal dans le site Bandar_l1 grâce aux images satellite Landsat 7.....	56
Bibliographie.....	57

## Listes des figures

Figure 1. Répartition des zones de mangrove dans le monde. ....	8
Figure 2. Cartographie de l'occupation des sols et des sites d'intervention de restauration de mangrove au Mozambique. ....	17
Figure 3. Cartographie des sites d'intervention de restauration de mangrove au Mozambique....	18
Figure 4. Cartographie des sites d'intervention de restauration de mangrove à Madagascar.....	19
Figure 5. Sites enregistrés sur Restor. ....	21
Figure 6. Etat de la biodiversité dans le site Bandar_I1 d'après les données fournies par Restor. .	24
Figure 7. Analyse carbone dans le site Bandar_I1 d'après les données fournies par Restor.....	25
Figure 8. Analyse de la couverture des sols dans le site Bandar_I1 d'après les données fournies par Restor. ....	26
Figure 9. Analyse des ressources en eau dans le site Bandar_I1 d'après les données fournies par Restor. ....	26
Figure 10. Autres analyses sur l'environnement dans le site Bandar_I1 d'après les données fournies par Restor.....	27
Figure 12. Evolution du couvert végétal (NDVI) entre 1984 et 2020 dans le site Bandar_I1 d'après les données fournies par Restor.....	28

## Liste des abréviations

ASTER : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

FAW : Fondation Audemars Watkins

ESA : l'Agence spatiale européenne

Esri : Environmental Systems Research Institute

GEE : Google Earth Engine

GRID-Geneva : Global Resource Information Database – Geneva

ONG : Organisation Non Gouvernementale

RNA : Régénération Naturelle Assistée

## Introduction

### L'organisation hôte

La Fondation Audemars-Watkins (FAW) est une fondation de droit privé suisse à but non lucratif. Créée en 2017 par Mme. Jasmine Audemars, l'arrière-petite-fille de Jules Louis Audemars, cofondateur de la société horlogère Audemars Piguet, la fondation a pour but de soutenir des projets en Suisse et à l'étranger en faveur de la conservation de l'environnement (*Historique, vision et mission | Fondation Audemars-Watkins, s. d.*).

Les interventions de la FAW s'organisent autour de quatre thèmes que sont la lutte contre la pollution des océans, la protection des forêts, la conservation des zones humides, le soutien à l'éducation et le renforcement des capacités. Le programme Océans vise à « *assurer que les océans remplissent leur rôle de régulateur du climat* ». A cette fin, ce programme comporte des projets portant sur la dépollution des océans, la protection d'aires marines, de la pêche artisanale, l'engagement des communautés dans la gestion des zones côtières, la lutte contre les pratiques de pêche destructrices, etc. Le programme Forêts vise à « *lutter contre la dégradation et la disparition des forêts afin que celles-ci continuent de soutenir les cycles hydrologiques, les économies et de fournir un habitat aux différentes espèces de la planète* ». Ce programme comporte des projets ciblant la protection, la restauration et la gestion durable des forêts, le renforcement des capacités à faire face aux menaces pesant sur les forêts et l'engagement des communautés locales dans la conservation des forêts, etc. Le programme Zones humides vise à protéger ce type d'écosystèmes et la biodiversité qu'ils accueillent. Ce programme comporte des projets sur la protection, la restauration et l'amélioration de la gestion des zones humides, la gestion des déchets affectant les zones humides, l'élimination d'espèces exotiques envahissantes, etc. Le programme Education et renforcement des capacités promeut l'accès à l'éducation pour permettre aux jeunes d'améliorer leurs compétences et leurs capacités. Ce programme comprend des projets sur la production de supports pédagogiques, la mise en place d'ateliers de formation et de renforcement des capacités, un soutien aux écoles, ainsi que l'éducation à l'environnement. (*Thèmes prioritaires | Fondation Audemars-Watkins, s. d.*).

### Objectif du stage

A l'origine, l'objectif principal du stage était de démontrer l'utilité des Systèmes d'Information Géographiques (SIG) pour répertorier, analyser, suivre et communiquer en ligne les projets soutenus par la Fondation. Telles que conçues initialement, les tâches du stage consistaient en :

- La réalisation d'un état de l'art des solutions et technologies (de préférence open source) pour gérer et manipuler des données environnementales et socio-économiques.
- La collecte de jeux de données environnementales pour représenter et analyser l'intérêt écologique des projets soutenus par la Fondation.
- La cartographie des projets soutenus par la Fondation.
- La réalisation d'analyses spatiales pour alimenter la réflexion stratégique de la Fondation et suivre l'impact des projets.

Après concertation avec le superviseur académique et le tuteur du stage il a été convenu que la réalisation du stage porterait sur une analyse de l'outil Restor pour la cartographie et l'évaluation des projets de restauration de la mangrove soutenus par la FAW. Afin de mieux comprendre les enjeux de l'utilisation d'une telle plateforme, l'outil Google Earth Engine (GEE) sera utilisé comme comparatif.

## Contexte

### Les écosystèmes de mangrove

La mangrove est un écosystème de marais côtier caractéristique des régions tropicales et subtropicales, que l'on retrouve principalement entre les latitudes 30°N et 30°S, dans les zones intertidales (zone de balancement des marées) ou estuariennes (Figure 1). La répartition mondiale de la mangrove est délimitée par l'isotherme de 20°C de l'eau de mer en hiver. La région la plus abondante en mangroves se situe en Asie du Sud-Est, où ces écosystèmes sont particulièrement bien établis et offrent une grande diversité d'espèces (Kuenzer et al., 2011). Le terme mangrove, en plus de désigner le milieu, désigne également l'arbre qui le compose :

*« Parfois, le terme "mangrove" est utilisé pour désigner toutes les espèces d'arbres et d'arbustes tolérants ces conditions salées ; d'autres fois, il est utilisé uniquement pour la famille des mangroves (Rhizophoraceae) ou des arbres du genre Rhizophora. Sur environ 110 espèces de mangroves connues, environ 54 espèces réparties dans 20 genres appartenant à 16 familles constituent le groupe des "véritables mangroves" présentes uniquement dans les habitats de mangrove. » (Kuenzer et al., 2011)*

De par sa localisation, la mangrove évolue dans des conditions environnementales extrêmes : salinité élevée, fortes marées, températures élevées, vents forts, sols boueux à forte sédimentation, etc. (Kathiresan & Bingham, 2001). Bien que les écosystèmes de mangroves présentent un haut degré de stabilité écologique en matière de résilience, ils demeurent sensibles aux changements, notamment en matière de conditions hydrologiques (qualité de l'eau), qui

peuvent dépasser leur seuil de tolérance écologique. De par cette caractéristique, les écosystèmes de mangrove agissent comme des indicateurs de changement (Kuenzer et al., 2011).

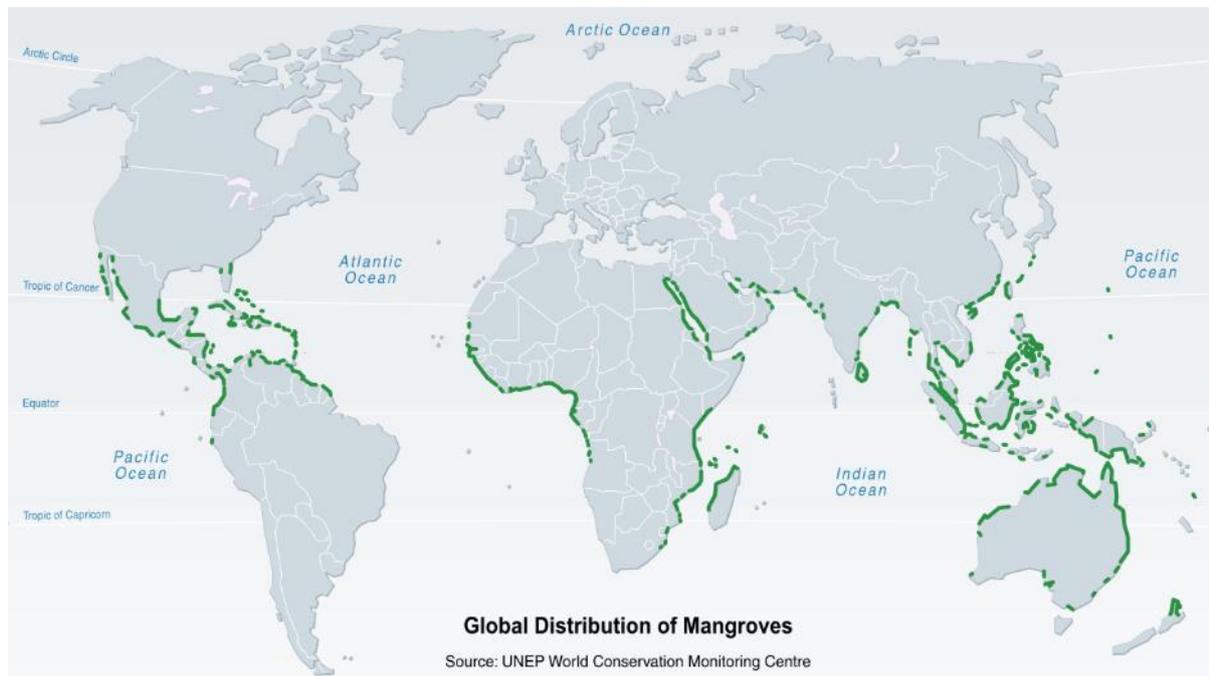


Figure 1. Répartition des zones de mangrove dans le monde (Source : MEA, 2005b).

La mangrove constitue un écosystème riche de biodiversité et un habitat attirant pour de nombreuses espèces : micro-organismes, insectes, plantes et animaux. Il est parmi les écosystèmes les plus productifs au monde et fournit de nombreux services écosystémiques (Badola & Hussain, 2005). Ces services écosystémiques, qui englobent les biens et services directs ou indirects fournis par les fonctions de l'écosystème dont les êtres humains peuvent bénéficier, ont été classés en quatre catégories par le *Millennium ecosystem assessment* en 2005 : les services d'approvisionnement (SA), les services de régulation (SR), les services de soutien (SS) et les services culturels (SC) (MEA, 2005a). Plus récemment, c'est la notion de « contribution de la nature » qui a été mise en avant par la *Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques* (IPBES). Le concept de contribution de la nature aux Hommes (nature's contribution to people) réfère :

*« aux contributions, tant positives (e.g. approvisionnement en nourriture, purification de l'eau, contrôle des crues, inspiration artistique, etc.) que négatives (e.g. transmission de maladie, prédation, etc.), de la nature vivante (e.g. diversité des organismes, les écosystèmes et leur processus évolutifs et écologiques associés) à la qualité de vie des êtres humains ; et qui sont perçues comme des avantages ou des*

*inconvénients selon le contexte culturel, temporel et/ou spatial* » (Figure 1) (Secrétariat de l'IPBES, 2022).

Selon la classification de l'IPBES, les contributions de la nature aux êtres humains se divisent entre les contributions de régulation, les contributions matérielles et les contributions non-matérielles. Ces contributions participent à la qualité de vie des êtres humains (Annexe 1).

Parmi les contributions de la mangrove à l'être humain, on retrouve :

- Les contributions de régulations : la séquestration carbone, la constitution d'un habitat pour la biodiversité qui l'habite et le rôle de nurserie pour les poissons juvéniles, la protection du littoral contre les aléas climatiques (cyclones, inondations, érosion) servant ainsi de zone tampon entre terre et mer, la stabilisation du littoral, la rétention des nutriments, la filtration des sédiments et des polluants, etc. (Lee et al., 2014).
- Les contributions matérielles : la constitution d'une ressource halieutique importante pour l'approvisionnement en nourriture, l'approvisionnement en matière première de bois (pour la construction, la cuisine ou le chauffage, etc.), en produits médicinaux, etc. (Lee et al., 2014).
- Les contributions non matérielles : part de l'identité des communautés locales que ce milieu soutient, source d'éco-tourisme, d'activités récréatives, d'inspiration artistique, valeur spirituelle (Costanza et al., 1997; Ewel & Twilley, 1998).

Au total, certaines études estiment que ces services écosystémiques, ou contributions de la nature aux êtres humains, représentent entre 9900 US\$ - 35 921 US\$ par hectare et par an, selon les caractéristiques spécifiques de localisation de la mangrove et de la méthodologie d'évaluation employée. (Badola & Hussain, 2005 ; Costanza et al., 1997 ; Sathirathai & Barbier, 2001)

En 1997, la mangrove occupait environ 18 100 000 hectares dans le monde. En 2011, cette superficie a été réévaluée à la baisse, estimée à 13 776 000 hectares, puis à 8 349 000 hectares en 2016. Il n'existe aucun consensus sur la superficie originale qu'occupait la mangrove (Giri et al., 2011; Romañach et al., 2018) En 2011, une étude de Giri et al., conclut que plus de 75% de la mangrove se trouvait dans 15 pays du monde et se concentrait principalement entre les latitudes 5°N et 5°S (Annexe 2). On estime que la mangrove perd entre 1% et 2% de sa superficie chaque année, soit un taux de recul égal, voire supérieur, à celui des récifs coralliens et des forêts tropicales des mêmes environs. Plusieurs études estiment qu'entre 1980 et 2005, la superficie des mangroves a diminué de 35 % à 68 % dans le monde (Duke et al., 2007; MEA, 2005b).

D'après une étude conduite par Alongi (2008), les effets du changement climatique (augmentation des concentrations atmosphériques en dioxyde de carbone, méthane et protoxyde d'azote, élévation du niveau de la mer, augmentation des températures moyennes de l'océan, acidification des océans, modifications des régimes pluviométriques, augmentation de la fréquence et de l'intensité des aléas climatiques, etc.) devraient être responsables de 10 à 15% de la perte mondiale de la mangrove d'ici 2100. Les mangroves situées sur des îles à faible relief, où les apports de sédiments sont faibles, où les cours d'eau sont absents, où le relief s'affaisse et/ou situés dans des environnements carbonatés, sont considérées comme les plus vulnérables au changement climatique. En revanche, les mangroves qui se trouvent dans des estuaires à forte amplitude de marée, des zones tropicales humides, le long des fleuves, dans des zones au relief élevé et/ou dans des zones reculées où la migration vers l'intérieur des terres est peu perturbée par l'activité humaine, sont parmi les moins vulnérables (Annexe 3). Toujours d'après l'étude de Alongi (2008), *« l'impact potentiel du changement climatique, qu'il se situe ou non dans la fourchette de 10 à 15 % de perte, doit être relativisé car les mangroves sont actuellement confrontées à une menace plus prévisible et plus insidieuse : la déforestation »*.

En effet, d'autres activités anthropiques comme le changement dans l'utilisation des sols et la couverture végétale, notamment pour le développement de l'aquaculture, l'urbanisation, et le détournement de l'eau douce sont d'importantes causes de perte de la mangrove. À titre d'exemple, plus de la moitié de la disparition des mangroves en Asie est due à l'augmentation de l'aquaculture, environ un quart est dû à la déforestation et 11 % s'explique par le détournement de cours d'eau douce en amont. En Amérique latine, la destruction des mangroves est la conséquence de l'expansion de l'agriculture et de l'élevage, de la coupe de bois de chauffage et de matériaux de construction, et de l'établissement de l'aquaculture de crevettes (MEA, 2005b).

Face à la dégradation et au recul de la mangrove, des initiatives de réhabilitation et de restauration de la mangrove ont vu le jour partout dans le monde, menées par des acteurs aussi variés que les autorités, les universités, les Organisations Non Gouvernementales (ONG), etc. À ce titre, il est important de distinguer la réhabilitation (ou restauration) - qui vise à restaurer un écosystème dégradé à son état initial - de l'afforestation, qui consiste à planter des arbres (des palétuvier dans le cas des mangroves) dans une zone précédemment dépourvue de couvert végétal, et de la conversion d'habitats, qui implique le remplacement d'une forme de végétation par une autre, par le biais de la reforestation (Erftemeijer & Lewis, 1999). Avant de débiter de telles initiatives, il convient d'identifier la source de dégradation de la mangrove, afin d'y apporter une réponse adaptée, de même que d'évaluer certains paramètres du site à réhabiliter, tels que : la stabilité du site, le taux d'envasement, la salinité, le pH, la salinité de l'eau, l'exposition aux vagues et aux

courants, la hauteur de la marée, la profondeur de la nappe phréatique, la disponibilité d'eau douce, etc. Field (1999) souligne l'importance du suivi des zones restaurées, dont la période est souvent fixée dans la pratique à trois ou cinq ans pour les projets à petite échelle, alors que l'auteur recommande d'envisager une période de suivi de dix ans voire trente ans pour les projets de plus grande envergure.

La complexité de restaurer les zones de mangrove ne réside pas tant dans les techniques de replantation, relativement simples, ni dans le taux de survie des mangroves, généralement bon si les conditions environnementales sont évaluées correctement avant de choisir le site de replantation. L'enjeu principal réside plutôt dans la sélection d'une approche de restauration adaptée aux objectifs initialement définis par le projet de restauration, ainsi que dans le contexte socio-économique et politique qui caractérise la zone d'intervention (Ellison, 2000). A titre d'exemple, Feka (2015) identifie plusieurs limites à la gestion durable des mangroves en Afrique parmi lesquelles :

- La fragmentation institutionnelle : la gestion des mangroves implique de nombreuses institutions avec des rôles et des responsabilités différentes, ce qui peut entraîner des problèmes de coordination et de cohérence dans les actions entreprises.
- Le manque de réglementation de la récolte du bois de mangrove : la ratification par les pays de la région de conventions internationales et de mise en place de législations nationales sur les ressources naturelles ne sont pas nécessairement synonyme d'une mise en place de réglementation encadrant les pratiques de récolte du bois de mangrove, qui demeurent une activité encore largement sous encadrée juridiquement, ce qui contribue à une exploitation non durable de cette ressource.
- L'influence des facteurs socio-économiques sur la récolte : des facteurs tels que le genre, la force physique et les forces du marché apparaissent comme étant des variables plus déterminantes dans la récolte du bois de mangrove que les éléments juridiques.
- Partenariats entre gouvernements et ONG : De nombreux gouvernements ont mis en place des partenariats avec des ONG pour mettre en œuvre des projets visant à atténuer les pressions anthropiques sur les forêts de mangroves. Cependant, ces efforts demeurent marginaux puisque limités par des capacités logistiques et financières, un manque d'intérêt politique de la part des gouvernements, des législations et politiques inappropriées en matière de gestion de la mangrove, ainsi qu'un manque de données sur l'état des forêts de mangrove (Feka, 2015).

## L'utilisation de la télédétection pour une évaluation des zones de mangrove

L'utilisation de la télédétection dans le suivi des écosystèmes de mangroves se révèle utile en ce qu'il permet de procéder à :

- L'inventaires des habitats (détermination de l'étendue, des espèces et de la composition, état de santé) ;
- La détection et surveillance des changements (utilisation des terres, couverture terrestre, réussite de la conservation et du reboisement, développement de la sylviculture et de l'aquaculture) ;
- Le soutien à l'évaluation des écosystèmes ;
- L'évaluation de la productivité (estimation de la biomasse) ;
- L'estimation de la capacité de régénération ;
- Les demandes de gestion multiples (pêches, activités aquacoles, gestion de la conservation, lignes directrices et stratégies de gestion) ;
- La planification des enquêtes sur le terrain ;
- L'évaluation de la qualité de l'eau ;
- L'approvisionnement d'informations pour la gestion des catastrophes ;
- L'approvisionnement d'aide pour acquérir une meilleure compréhension des relations et processus écologiques et biologiques, des fonctions et des dynamiques (Kuenzer et al., 2011).

Notons que puisque la mangrove est localisée à l'interface terre-mer, les principaux éléments composant les pixels dits de « mangrove » dans les images de télédétection sont la végétation, le sol, et l'eau, paramètres qui varient avec les effets des marées saisonnières et quotidiennes ainsi qu'avec les effets du régime pluviométrique. Ainsi,

*« les mangroves avec une densité de peuplement plus faible sont considérablement affectées par les effets intertidaux ; plus le couvert végétal est clairsemé, plus l'influence de la surface du sol est grande. [...] Dans l'imagerie à moyenne résolution, la réflexion des vasières en arrière-plan peut donner lieu à un signal spectral qui peut facilement être confondu avec les zones résidentielles urbaines. »* (Kuenzer et al., 2011).

Il existe une grande variété dans les méthodes et les outils employés pour la cartographie des écosystèmes de mangrove en matière de télédétection. Parmi ces outils, on retrouve

différents capteurs avec différents niveaux de résolution spectrale, spatiale et temporelle.

Ces capteurs regroupent :

- La photographie aérienne : elle est caractérisée par une résolution spatiale très élevée (taille de pixel en centimètres à mètres) avec des informations spectrales dans les bandes R, V, B, proche infrarouge, bien qu'uniquelement disponible sur demande, et nécessitant la programmation de campagne de survol parfois coûteuses. Cette technologie est idéale pour la cartographie locale des écosystèmes de mangrove, la paramétrisation, la détection de changements, sur de petites zones localisées mais comporte toutefois l'inconvénient d'un trop grand niveau de détails entravant l'automatisation et donc la transférabilité ou la comparabilité des analyses (Annexe 4.1).
- L'imagerie multispectrale de moyenne résolution : elle est caractérisée par une résolution spatiale idéale pour la cartographie à grande échelle régionale mais trop grossière pour les observations locales (taille de pixel de 10 à 30 mètres), avec l'accès à plusieurs bandes multispectrales, (R, V, B, proche infrarouge et souvent même dans l'infrarouge moyen et bandes thermiques), résolution temporelle permettant une cartographie fréquente mais un taux de répétition trop faible pour enregistrer l'impact des événements extrêmes et très dépendant des conditions météorologiques (nuages). Selon le capteur, ces données sont disponibles gratuitement (e.g. Landsat) avec des données sur trois décennies. Cette technologie est idéale pour les travaux de cartes d'inventaire et de statut, la détection des changements, l'évaluation du succès du reboisement et de la conservation mais pas pour certaines études botaniques axées sur les espèces, nécessitant une résolution plus précise (Annexe 4.2).
- L'imagerie multispectrale de haute résolution : elle est caractérisée par une résolution spatiale haute (taille de pixel dans une plage de mètres souvent comprise entre 0,5 et 4m), avec une résolution spectrale permettant d'obtenir des informations dans le rouge-proche infrarouge, panchromatique permettant la fusion d'images mais relativement peu de bandes spectrales. La résolution temporelle permet une cartographie régulière (sur demande) mais dépend des conditions météorologiques (nuages) et peut se révéler coûteuse si une surveillance répétée est demandée. Cette technologie est idéale pour la cartographie à l'échelle locale,

permettant des études sur la discrimination des espèces de mangrove, la répartition et la variabilité spatiale, l'état sanitaire, etc. (Annexe 4.3)

- L'imagerie hyperspectrale aéroportée ou spatiale : elle est caractérisée par une résolution spatiale élevée (d'une portée du centimètre au mètre), avec résolution spectrale couvrant une large gamme avec des bandes passantes étroites. La résolution temporelle se limite à un maximum mensuel ou sur demande si aéroporté, auquel cas cela peut se révéler coûteux. Technologie idéale pour la cartographie de petites zones et la réalisation de cartes des mangroves au niveau des espèces et d'analyses détaillées de l'état (vigueur, santé, etc.) (Annexe 4.4).
- L'imagerie radar : elle est caractérisée par une résolution spatiale variable mais relativement faible, et ne fournit aucune information spectrale (rayonnement actif à micro-ondes fournissant des informations alternatives sur la structure de la surface avec diverses longueurs d'onde et polarisations sélectionnables). La résolution temporelle est élevée et indépendante des conditions météorologiques. Il existe de nombreux types de données disponibles à faible coût dans le cadre de propositions scientifiques mais l'accès à certaines données peut être restreint dans certaines conditions (non partageables avec certains pays en développement). Cette technologie est adaptée à la cartographie d'étendue des mangroves, leur état, les propriétés de la canopée, la déforestation, l'estimation de la biomasse mais pas d'information dérivée des spectres typiques (la différenciation des espèces n'est pas possible à moins que les espèces varient dans leur aspect structurel) (Annexe 4.5).

L'utilisation de la télédétection pour la cartographie des mangroves présente divers défis. D'une part, il existe une grande variété de capteurs, de méthodes de traitement des données et de systèmes de classification. D'autre part, les mangroves représentent un objet complexe dont le signal est influencé par divers paramètres en termes de données optiques. Par exemple, un pixel "mangrove" contient souvent des fractions de pixels représentant des feuilles, des tiges, des branches, des vasières sous-jacentes, des sols et des plans d'eau, ces variables variant selon les espèces de mangroves, leur santé, leur âge, la saison, le type de sol, la turbidité et la qualité de l'eau, entre autres. De plus, le signal spectral est également influencé par des facteurs variables tels que la géométrie des plantes et des feuilles, la densité du peuplement, les conditions atmosphériques, etc. (Kuenzer et al., 2011). À ce titre, l'Asie abrite une plus grande diversité d'espèces de mangrove que les régions tropicales et subtropicales d'Amérique et d'Afrique, ce qui

rend la discrimination entre ces espèces plus complexe en raison de la variabilité de leur signal spectral distinctif (Ramsey & Jensen, 1996).

Les résultats de Kuenzer et al (2011) coïncident avec ceux du GRID-Geneva. Dans leur rapport sur l'apport de la télédétection pour le suivi de la restauration de la mangrove, les données de télédétection le plus souvent utilisées pour suivre l'évolution des écosystèmes de mangrove sont l'imagerie satellitaire à haute résolution (de 0,45m à 1m de résolution) avec des programmes comme WorldView, Quickbird ou IKONOS, ou à moyenne résolution (de 15m à 30m de résolution) avec des programmes comme Landsat, ASTER, IRS ou SPOT. Bien que l'imagerie satellitaire de 15 à 30m de résolution soit principalement traitée par des techniques de classification basées sur les pixels, notamment pour obtenir des informations sur la superficie totale de la mangrove et sa distribution spatiale dans le monde, certaines difficultés liées à la résolution des pixels, aux pixels nuageux ou bruyants demeurent et nécessitent des images Landsat et ASTER supplémentaires (Giri et al., 2011). L'imagerie à haute résolution est quant à elle, plus appropriée pour l'interprétation visuelle, en utilisant des méthodes de classification par délimitation à l'écran et permet des observations locales autrement plus grossières avec l'imagerie à moyenne résolution (Alexandris et al., 2014).

## Sites étudiés

### Sites d'intervention en Guinée

La première zone d'intérêt se situe en Guinée, dans le delta du fleuve Konkouré, sur l'île de Touguissoury. Sur une superficie de 90 000 ha, le Delta de Konkouré est classé site Ramsar depuis 1992. Il se constitue principalement d'habitats de mangrove et de vasière avec quelques périmètres de rizières partiellement abandonnées. Les zones de mangrove sont principalement constituées des espèces *Rhizophora harrisonii* et *Avicennia africana*. Ces habitats sont des zones de nidification de certaines espèces d'oiseaux comme l'aigle pêcheur, le héron, l'ombrette africaine, la cigogne épiscopale, ou encore le balbuzard pêcheur. Les principales activités anthropiques sont la riziculture, la pêche et la coupe de bois et les menaces principales sont la chasse / braconnage, la perturbation des lieux de nidification et la décharge sauvage de déchets par l'usine de bauxite (roche à forte teneur en alumine, utilisée pour la production d'aluminium et de gallium) de Friguia-Kimbo à proximité du site protégé (rejet de boues rouges) (RAMSAR, 1993).

C'est dans cette zone que la FAW a soutenu le projet de reboisement de l'ONG Guinée Ecologie pour la restauration de la mangrove. En effet, la superficie des mangroves a considérablement diminué entre 1986 et 2017, passant de 7073,04 ha à 6806,36 ha. Le but de l'intervention est d'accroître la superficie de mangrove de 500 ha dont 100 ha par le reboisement, 100 ha par la

régénération naturelle, 50 ha par la restauration des rizières abandonnées, 250 ha grâce aux activités visant à baisser la pression sur le bois de mangrove, notamment par la promotion de la saliculture solaire, des fours et foyers économes. Pour atteindre ces objectifs, les principales activités mises en œuvre sont l'identification des sites de reboisement et l'établissement d'une situation de référence, l'élaboration des conventions locales de mise à disposition des périmètres de reboisement, les campagnes de reboisement, l'identification des périmètres de régénération naturelle et l'établissement d'une situation de référence, la mise en défends des périmètres de régénération naturelle (dans les rizières abandonnées), le développement d'activités pour la régénération naturelle des périmètres dégradés (destruction des digues pour irriguer les périmètres), le suivi cartographique des périmètres restaurés et reboisés, l'identification et l'organisation des groupements féminins de production et l'appui à la production maraîchère, l'ostréiculture, la production et à la commercialisation de sel solaire, la distribution de 50 fours chorchors pour les fumeuses de poissons, la confection et distribution de 100 foyers améliorés dans les ménages et la sensibilisation, l'information et la communication pour la conservation des mangroves (Guinée Ecologie, 2023). Lancé début 2023, le projet comptabilise à ce jour un total de sept sites de restauration de mangrove, d'une superficie totale de 85,97 ha et est toujours en cours (Figure 2).

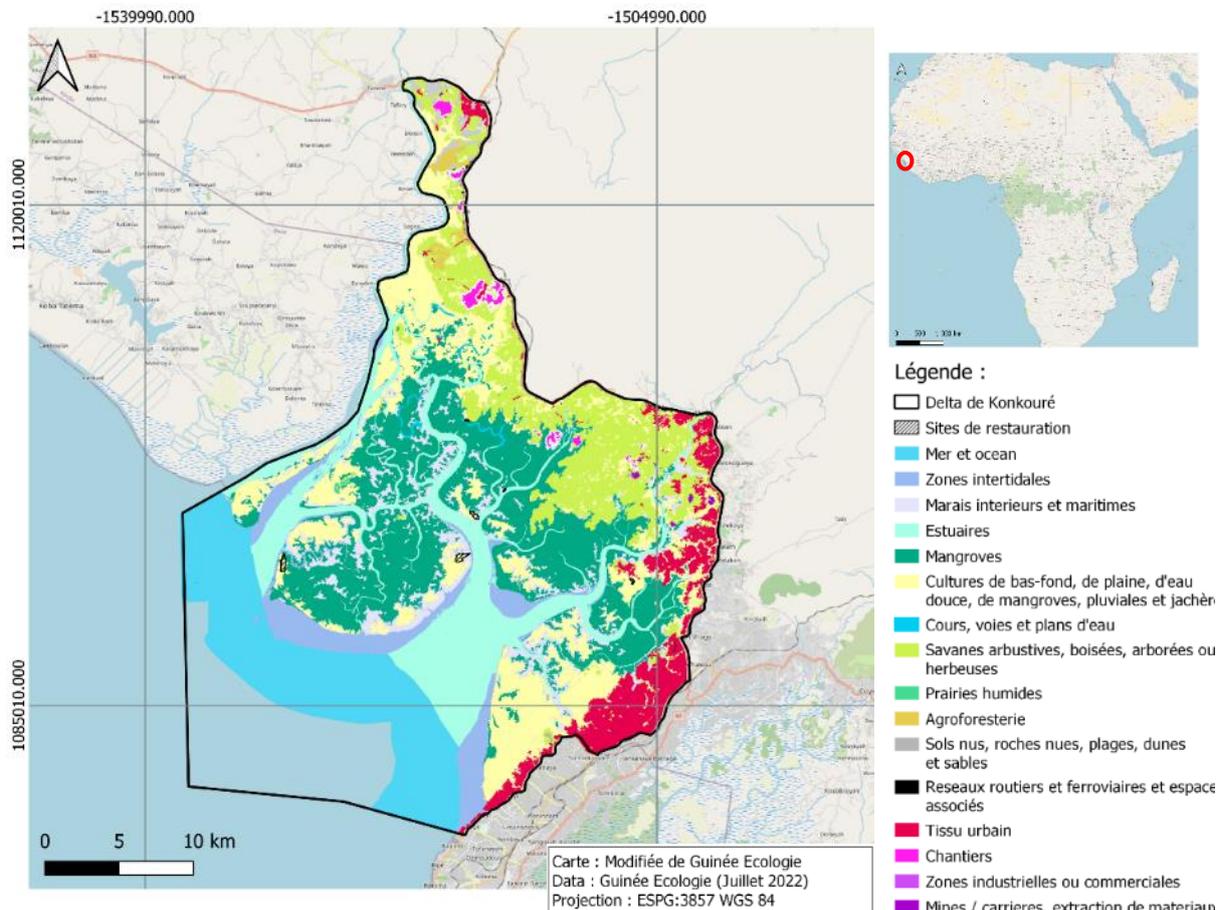


Figure 2. Cartographie de l'occupation des sols et des sites d'intervention de restauration de mangrove au Mozambique.

#### Sites d'intervention au Mozambique

La deuxième zone d'intérêt se situe au Mozambique dans la province de Cabo Delgado, district de Mecúfi et Pemba-Metuge. En 2001, le Mozambique comptabilisait un total de 396 080 ha de zones de mangrove réparties le long de son littoral, contre 290 900 ha en 2008 (Amade et al., 2019). Les principales espèces que l'on retrouve, sont des espèces de la famille des Rhizophoraceae à savoir *Avicennia marina*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Ceriops tagal*, *Rhizophora mucronata*, mais également des espèces d'autres familles comme *Sonneratia alba Smith* et *Pemphis acidula*. Les activités anthropiques conduites dans ces régions et les menaces qui pèsent sur les zones de mangrove sont sensiblement les mêmes qu'en Guinée. En effet, les principales activités anthropiques sont la coupe du bois (de chauffage, de construction, pour la carbonisation, la production de sel ou l'expansion des terres agricoles), la pêche et l'exploitation du sel. Les principales menaces et pressions qui affectent la région sont la pression démographique, la construction de barrages sur les cours d'eau empêchant l'apport en eau douce aux mangroves, la transformation de l'occupation des sols (expansion des terres agricoles au détriment des zones de mangrove) ainsi que la pollution par les métaux lourds et le pétrole brut (Barbosa et al., 2001).

D'après une étude menée par l'Universidade do Lurio en avril 2021, au cours des 20 dernières années, les districts de Mecúfi et Pemba-Metuge ont perdu environ 177 hectares de forêt de mangrove, ce qui correspond à environ 8,85 hectares par an. Environ 36% de ces terres ont été converties en terres agricoles, 55% en prairies et les 9% restants ont été converties en zones urbaines. Dans ce contexte, la FAW a soutenu l'organisation à but non lucratif Instituto Oikos dans un projet de restauration de la mangrove conduit de juillet 2021 à janvier 2024 dans ces deux districts. Les 43 sites de reboisement du projet se situent tous autour de la baie de Pemba et cumulent une superficie totale de 71,58 ha (Figure 3). L'objectif du projet était de d'améliorer l'engagement des communautés locales dans la gestion durable des mangroves dans cette région du Mozambique. Entre autres, à la fin du projet, 700 personnes avaient participé à la plantation de 6 000 propagules sur une superficie de 20 ha. Des travaux de régénération naturelle assistée (RNA) ont également couvert une superficie de 48 ha. Un total de trois cartes participatives sur la gestion des ressources naturelles a été effectué. Avec les évaluations de suivi, le taux de survie des plantations de mangrove a été estimé entre 80% et 98% selon les techniques utilisées (Instituto Oikos, 2024).

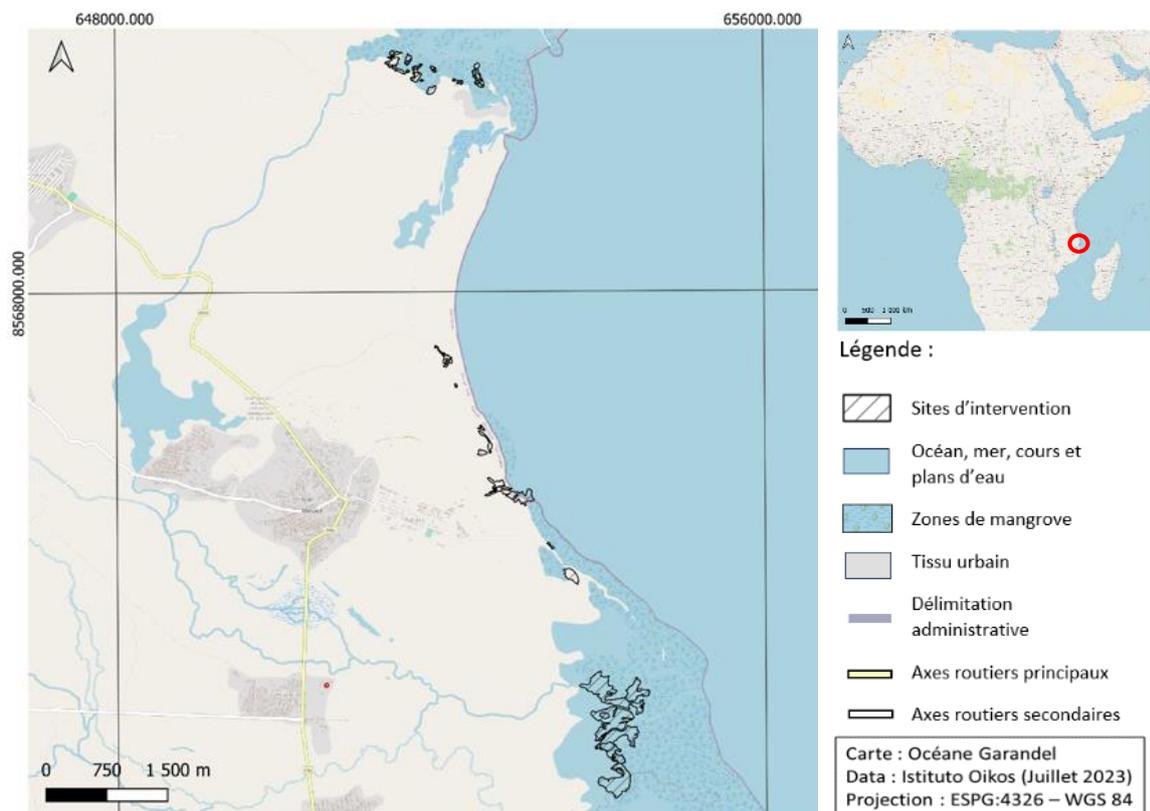


Figure 3. Cartographie des sites d'intervention de restauration de mangrove au Mozambique.

#### Sites d'intervention à Madagascar

La troisième zone d'intérêt se situe à Madagascar, sur la côte ouest de l'île, dans la région du delta de Manambolo-Tsiribihina. L'île de Madagascar comptabilisait près de 280 000 ha lors des dernières évaluations conduites en 2005, ce qui représente environ 2 % des zones de mangrove dans le monde et le quatrième plus grand montant en Afrique (Giri & Muhlhausen, 2008).. Il existe près de 100 écosystèmes de mangroves distincts et non contigus à Madagascar, dont 30 écosystèmes primaires d'une superficie supérieure à 1 000 ha. Parmi ceux-ci, la région du delta de Manambolo-Tsiribihina avait la troisième plus grande étendue (c'est-à-dire 20 242 ha) en 2010 (Jones et al., 2016). On retrouve neuf espèces de palétuviers à Madagascar parmi lesquelles *Avicennia marina*, *Sonneratia alba*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Ceriops tagal*, *Lumnitzera racemosa*, *Rhizophora mucronata*, *Heritiera littoralis* ou *Xylocarpus granatum* (WWF Madagascar, 2022). Toujours d'après Jones et al. (2016), Madagascar aurait connu une perte nette de 21% des mangroves de son territoire entre 1990 et 2010, avec une perte nette de 12 612 ha entre 1990 et 2010 (passant de 32 854 ha à 20 242 ha) dans la région du delta de Manambolo-Tsiribihina, soit une baisse de 38,4%.

C'est dans ce contexte que la FAW a soutenu l'ONG WWF Madagascar de janvier 2019 à octobre 2022 pour un projet de restauration de la mangrove dans la région de Manambolo-Tsiribihina par les communautés locales. L'objectif initial était de restaurer 1 500 ha de mangroves dans la région

avec des techniques de restauration active (replantation de propagules) sur 500 ha et des techniques de restauration passive (RNA) sur 1000 ha, en impliquant et en collaborant avec les communautés locales. À la fin du projet, 2 997 842 propagules ont été plantées sur une superficie totale de 523,17 ha de zones de mangrove dégradées et 976 ha ont été restaurées grâce à la technique de RNA, soit un total de 1499 ha de mangrove restaurée (WWF Madagascar, 2021). Les données fournies par WWF Madagascar comptabilisent 72 sites de restauration pour une superficie totale de 378,45 ha (Figure 4).



Figure 4. Cartographie des sites d'intervention de restauration de mangrove à Madagascar.

## Méthodologie

### Présentation des données

Les données SIG sont des données vectorielles des périmètres des sites restaurés, comportant des informations (métadonnées) sur les essences plantées, les techniques de restauration utilisées, etc. Pour la Guinée, des données vectorielles sur l'occupation des sols ont également été fournies. Ces données ont été récoltées auprès des organisations partenaires Guinée Ecologie (Annexe 5), Istituto Oikos au Mozambique (Annexe 6) et WWF Madagascar (Annexe 7).

## Restor

### Présentation de la plateforme

Restor est une plateforme de partage de données, conçue pour faciliter la mise en réseau du mouvement environnemental à l'échelle mondiale. Elle a pour objectif de favoriser la circulation d'informations vers et depuis la communauté scientifique afin d'évaluer et d'améliorer l'impact des solutions basées sur la nature dans le monde entier. Les principaux utilisateurs de la plateforme sont des opérateurs de terrain menant des actions de conservation, de restauration et de protection de l'environnement et de la biodiversité, telles que des ONG, des communautés, des entreprises locales ou des individus (Crowther et al., 2022). Les données disponibles sur la plateforme Restor sont de deux natures.

D'une part, on retrouve les données fournies par la plateforme Restor à ces utilisateurs. La plateforme met à disposition des données géospatiales modélisées et des données de télédétection. La composante spatiale regroupe des modèles environnementaux incluant des informations sur le climat, la biodiversité, le sol, etc. Ces modèles se basent sur des données environnementales et écologiques fournies par le Crowther Lab de l'ETH Zurich. Comportant à l'origine plus de 400 couches de données géospatiales, celles-ci ont été réduites au nombre de 32 après évaluation et sélection par des utilisateurs, des organisations praticiennes, et les membres du conseil consultatif scientifique externe de Restor (Annexe 8). La composante de télédétection fournit des images visibles issues de l'imagerie à haute résolution (jusqu'à 31 cm) produite par Maxar technologies (sous licence Esri) et de l'imagerie à plus faible résolution spatiale (à partir de 10 m) provenant des satellites Sentinel 2 de l'Agence spatiale européenne (ESA). La composante de télédétection fournit également des informations basées sur des mesures issues d'imageries satellites comme la productivité primaire nette, l'évapotranspiration (toutes les deux dérivées des données du spectroradiomètre imageur à résolution modérée à une résolution de 500 m de pixels, disponible à partir de 2000) ainsi que l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) et une mesure de la perte du couvert forestier (toutes les deux dérivées des archives du programme Landsat à 30 m de résolution) (Crowther et al., 2022; *Restor.eco*, 2024).

D'autre part, les utilisateurs ont la possibilité de renseigner des informations sur Restor. Ces données comprennent les emplacements et les limites des sites de restauration, permettant ainsi d'avoir une perspective sur les actions de restauration menées dans le monde et facilitant la mise en relation des acteurs de la restauration. En 2022, le nombre de sites individuels de restauration était de 77 000. Parmi ceux-ci, on dénombrait environ 9 700 sites publics c'est-à-dire librement consultables sur la plateforme et 67 400 sites privés c'est-à-dire dont les utilisateurs à l'origine de

ces sites ne souhaitent pas rendre accessibles / visibles leurs sites d'intervention sur la plateforme (Figure 5).

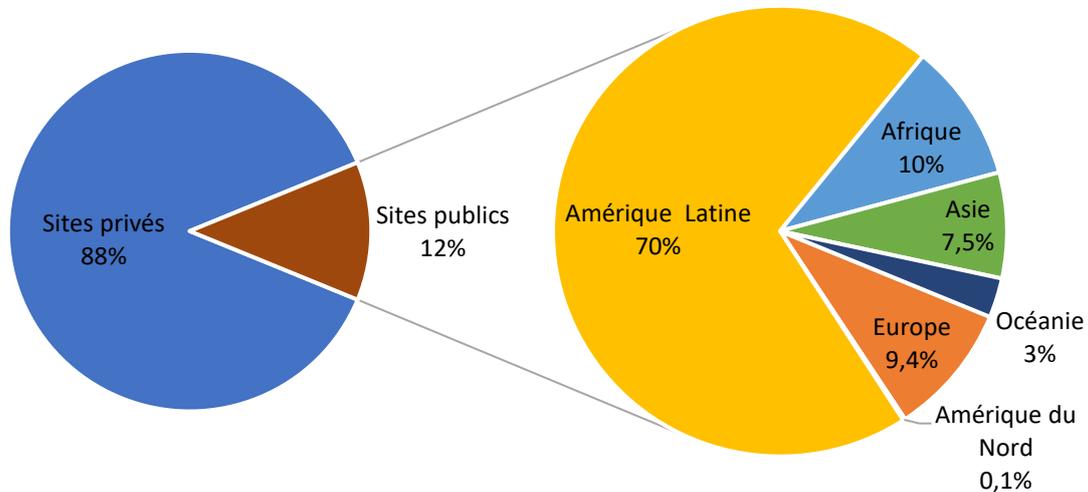


Figure 5. Sites enregistrés sur Restor. (Graphique : Océane Garandel. Données : Crowther et al., 2022)

La taille médiane des sites d'interventions publics est de 0,9 ha ce qui représentent plutôt des projets d'échelle locale. Cette donnée est cependant à nuancer puisque certains parcs naturels nationaux ou internationaux de plus de 200km<sup>2</sup> sont enregistrés sur la plateforme. À noter aussi que 170 sites de plus de 100 km<sup>2</sup> sont enregistrés sur la plateforme (Crowther et al., 2022). Les sites publics permettent également aux utilisateurs de renseigner des informations (de type métadonnées) sur leurs sites d'interventions tels que : la description du projet, l'année de lancement, l'année de clôture, le type de restauration entrepris, les techniques utilisées, l'objectif visé, l'utilisation des sols avant et après intervention, les responsables de gestion du site, les propriétaires du site, etc. (Restor.eco, 2024). Grâce à ces informations, Crowther et al. (2022) ont pu identifier qu'une majorité des sites d'intervention se caractérisait par des activités agroforestières (3 490 sites) et de restauration active (3 266 sites). La plupart de ces sites étaient initialement utilisés pour le pâturage (4 551 sites), et la majorité des interventions avaient pour objectif de transformer les sites en forêts (6 224 sites).

#### Marche à suivre

Après l'acquisition des données auprès des organisations partenaires, Restor offre plusieurs possibilités :

1. Enregistrer des sites d'intervention (plusieurs possibilités) :
  - Enregistrement manuel des sites, un à un, grâce à un outil de dessin sur une carte.

- Importation d'un shapefile (.shp, .shx, .dbf, .prj, .cpg) ou autres (.kmz, .kml, .geojson) d'un site à la fois.
  - Pour plusieurs sites, envoyer les shapefiles (ou autre format) à la plateforme d'assistance.
2. Ajouter des informations aux sites enregistrés :
- Nom, type d'intervention (restauration, conservation, etc.), date de début d'intervention et date de fin (si intervention terminée), couverture du sol pré et post intervention, type de soutien recherché (matériel, financier, ressources humaines, expertise, suivi), objectifs visés (encourager l'emploi, adaptation aux changements climatiques, protection de la biodiversité, etc.), gestion et propriété du site (étatique, privé, communautaire, etc.)
  - Description en 500 mots
  - Ajout de photos
3. Regrouper plusieurs sites au sein d'une collection :
- Permet de regrouper des sites d'une région spécifique ou d'un même type d'intervention en une seule collection.
  - Possibilité d'inclure / de connecter une collection à d'autres organisations si ces interventions ont fait l'objet d'une collaboration.
4. Avoir accès à des informations de type « données scientifiques » fournies par Restor (voir jeux de données en Annexe 8).
5. Naviguer sur une carte interactive afin d'identifier des interventions (sites et organisations à l'origine) ayant lieu dans la région d'intérêt / d'activité conduites.

Un document plus détaillé a été élaboré pour fournir à la structure d'accueil les instructions nécessaires pour les futures manipulations d'enregistrement de sites sur Restor. Ce document est référencé sous le nom de *Marche\_à\_suivre\_Restor*.

## Google Earth Engine

### Présentation de l'outil

GEE est une plateforme pour les données et l'analyse des sciences de la Terre à l'échelle globale, alimentée par l'infrastructure Google :

*« GEE combine un catalogue de plusieurs pétaoctets d'images satellite et d'ensembles de données géospatiales avec des capacités d'analyse à l'échelle planétaire. Les scientifiques, les chercheurs et les développeurs utilisent Earth Engine pour détecter les changements, cartographier les tendances et quantifier les différences à la surface de*

*la Terre. Earth Engine est désormais disponible pour un usage commercial et reste gratuit pour un usage universitaire et de recherche. » (Google Earth Engine).*

Pour évaluer la qualité des analyses fournies par la plateforme Restor concernant les sites de restauration de mangrove, plusieurs ensembles de données issus des analyses scientifiques de Restor ont été sélectionnés pour être reproduits sur GEE. L'objectif est de déterminer si les résultats obtenus sur GEE sont similaires ou présentent des différences significatives par rapport aux analyses de Restor. Parmi les jeux de données, nous avons choisi de comparer le NDVI (Indice de Végétation par Différence Normalisée), car il permet d'évaluer la présence et la densité de végétation verte vivante dans une zone donnée.

#### Marche à suivre

Sur la plateforme GEE (<https://earthengine.google.com/>) un catalogue de données est mis à disposition des utilisateurs. Il s'agit des « *archives de données publiques d'Earth Engine comprenant plus de quarante ans d'imagerie historique et d'ensembles de données scientifiques, mis à jour et enrichis quotidiennement* » (Google Earth Engine). Parmi ces archives, on trouve notamment un jeu de données sur le NDVI effectué à partir des images de Landsat 7. Il est possible d'éditer le code de ce jeu de données, sur GEE Code Editor (<https://code.earthengine.google.com/>) pour adapter les cartes et graphiques à la zone et à la période d'intérêt. Un document détaillé, intitulé "Marche\_à\_suivre\_GEE", a été élaboré pour fournir à la structure d'accueil les instructions nécessaires pour les futures manipulations sur GEE.

## Résultats

### Restor

Pour des raisons d'efficacité et de concision, seuls les résultats d'un site seront inclus dans ce document, tandis que les 121 autres seront disponibles directement sur la plateforme Restor. Initialement, nous avons opté pour la présentation des résultats d'un site situé à Madagascar. Étant donné que le projet de restauration y est achevé depuis 2021, cela nous offre plus de recul sur l'efficacité de l'intervention de restauration de la mangrove. À l'inverse, les sites en Guinée, dont le projet a été lancé en 2023, sont encore au début de leur restauration et ne sont pas encore visibles par télédétection, ni sur Restor qui en plus à une fréquence irrégulière des mises à jour des jeux de données sur la plateforme. Finalement, il s'est avéré que pour les 72 sites à Madagascar, seul l'un d'entre eux disposait des résultats de l'analyse NDVI sur Restor. Les autres affichaient « données indisponibles » sans plus d'informations. Par conséquent, nous nous sommes orientés vers un site au Mozambique pour obtenir des résultats fiables et analysables. Là aussi, nous avons également rencontré des difficultés liées au manque d'informations sur le NDVI, car la majorité des sites de

ces sites ne disposaient pas non plus de cette analyse. Cependant, nous avons identifié un site qui disposait de l'analyse NDVI : le périmètre de restauration Bandar-11, de 0,18 ha de superficie. Les informations obtenues pour ce site sont les suivantes.

Les informations sur la biodiversité (Figure 6) fournies par Restor sur ce site, bien qu'elles offrent une base de connaissance utile pour comprendre la région dans son ensemble, ne sont pas pertinentes pour évaluer la mangrove. De plus, leur résolution spatiale relativement grossière est inadaptée pour des zones de petite taille.



Figure 6. Etat de la biodiversité dans le site Bandar\_11 d'après les données fournies par Restor.

Les analyses de carbone (Figure 7) fournies par Restor peuvent offrir des informations indirectes sur l'état du couvert végétal. Par exemple, une diminution significative de la quantité de carbone séquestré peut indiquer un couvert végétal moins dense ou moins feuillu et donc moins productif. Cependant, cette interprétation est limitée car il est impossible de déterminer la cause exacte de cette baisse, qu'il s'agisse de la déforestation, des conditions météorologiques, etc. Il est également important de noter que la résolution spatiale de cette couche est de 500m x 500m, ce qui signifie que pour notre site de 0,18 ha, les informations obtenues résultent de l'agrégation des pixels adjacents. Enfin, sans connaître les détails de l'algorithme utilisé par Restor pour le calcul de ce paramètre, il reste difficile d'interpréter les résultats avec précision.

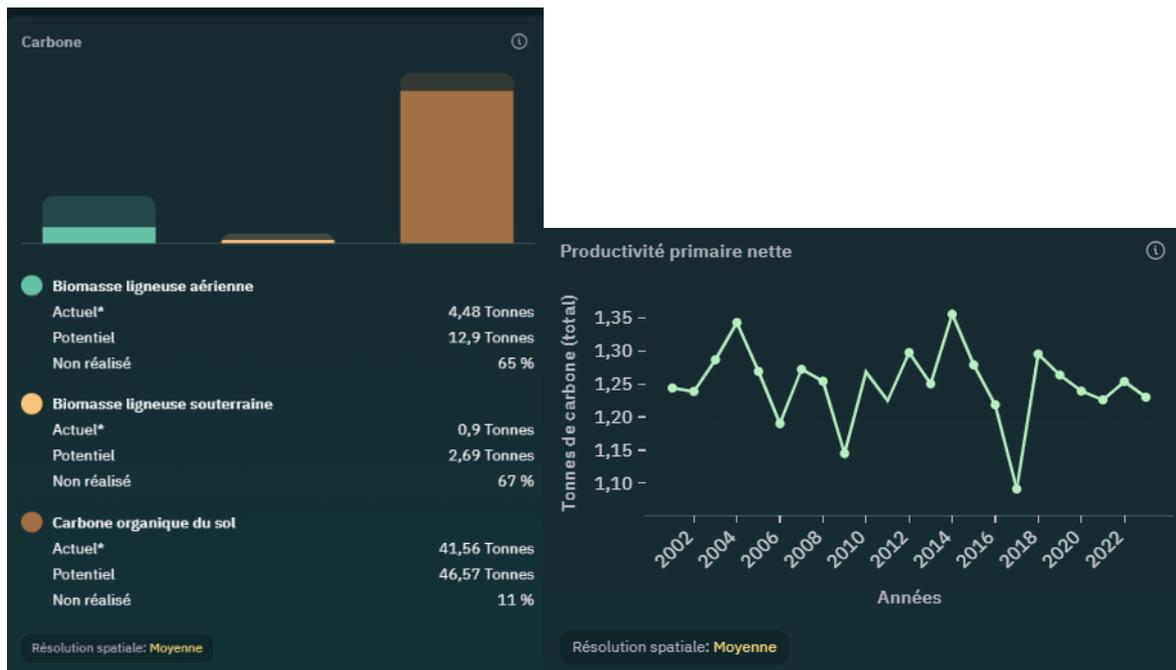


Figure 7. Analyse carbone dans le site Bandar\_I1 d'après les données fournies par Restor.

L'analyse de la couverture des sols fournie par Restor (Figure 8) s'appuie sur les jeux de données les plus pertinents pour l'étude des zones de mangrove. Premièrement, le jeu de données sur le type de couverture du sol révèle que près des trois quarts du site sont couverts de broussailles et d'arbustes, tandis que le quart restant est couvert d'arbres. Ainsi, Restor n'a détecté aucune « végétation inondée », catégorie qui inclue les écosystèmes de mangrove. Deuxièmement, les données sur la perte de couverture arborée indiquent qu'aucune perte n'a été constatée entre 2001 et 2020. L'analyse de la couverture arborée en 2000 et 2010 montre une augmentation de 0,03 ha au cours de cette période. Le jeu de données sur la couverture arborée potentielle identifie un potentiel de 0,057 ha. Enfin, le NDVI indique une tendance autour de 0,45, avec cependant des baisses brusques en 1993 à 0,13 et en 2007 à 0,20. L'interprétation de ces baisses est cependant limitée car il est impossible de déterminer leur cause exacte, qu'il s'agisse de la déforestation anthropique ou des conditions météorologiques défavorables (e.g. fortes sécheresses). Notons toutefois que le NDVI s'arrête en 2020 sur Restor, ce qui ne permet pas de rendre compte de l'état de la mangrove entre 2021 et 2024, période d'intervention sur la zone. Il n'est donc pas possible d'évaluer l'efficacité de la restauration de la mangrove durant cette période. De plus, il semblerait que quand le type de couverture des sols indique la présence de « végétation inondée » (label incluant les zones de mangrove) Restor est programmé par défaut pour ne pas effectuer d'analyse NDVI, une hypothèse également soulevée par les techniciens de la plateforme Restor par mail, rendant ainsi impossible l'évaluation des zones de mangrove.



Figure 8. Analyse de la couverture des sols dans le site Bandar\_I1 d'après les données fournies par Restor.

Les analyses de la ressource en eau fournies par Restor pour ce site (Figure 9) offrent une base de connaissance utile pour comprendre la région dans son ensemble. Bien que les paramètres relatifs à la disponibilité de l'eau demeurent déterminants pour la mangrove, ils ne sont pas pertinents en l'état pour pouvoir évaluer la restauration de la mangrove dans ce périmètre. De plus, la résolution spatiale relativement grossière de ces données n'est pas adaptée aux sites de petite taille.



Figure 9. Analyse des ressources en eau dans le site Bandar\_I1 d'après les données fournies par Restor.

Finalement, les autres analyses sur l'environnement effectuées par Restor pour le site Bandar\_I1 ne comportent aucun jeu de données directement pertinent pour l'évaluation de la restauration de la mangrove (Figure 10).

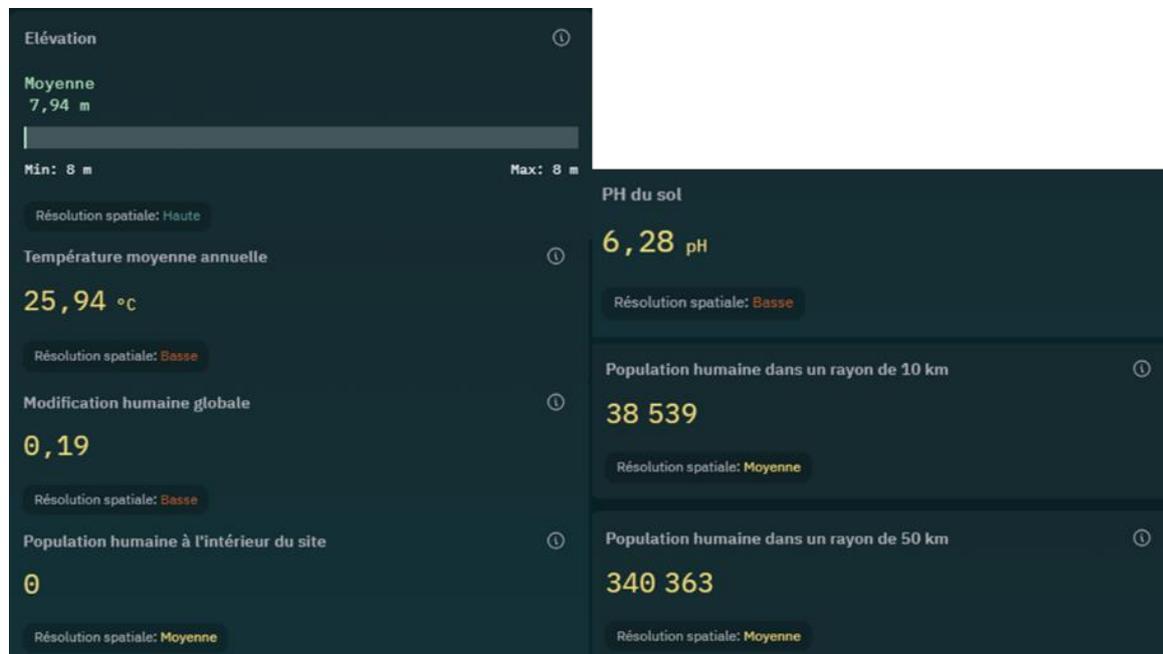


Figure 10. Autres analyses sur l'environnement dans le site Bandar\_I1 d'après les données fournies par Restor.

## Google Earth Engine

Sur GEE, nous avons reproduit le NDVI en utilisant les images satellites de Landsat 7 (voir script et lien vers le projet en Annexe 9). La résolution spatiale des images Landsat 7 est de 30m, comme pour le jeu de données utilisé pour calculer le NDVI sur Restor, ce qui rend les résultats comparables. La couverture temporelle de Landsat 7 s'étend de mars 2013 à mai 2024, nous permettant ainsi de remonter sur 10 ans pour comparer l'historique de ce NDVI avec celui de Restor (qui couvre la période 1984-2020).

Le graphique fait à partir des images Landsat 7 sur GEE montre une tendance légèrement décroissante, avec une régression linéaire indiquée par la ligne rouge (Figure 11). La pente de cette régression est très faible ( $\text{NDVI} = -4.907\text{E-}6 * \text{time} + 0.524$ ), indiquant une diminution minimale du NDVI au fil du temps. Le coefficient de détermination ( $r^2$ ) de 0.03 indique que la tendance linéaire explique seulement 3% de la variabilité des données. La série montre une variabilité interannuelle avec des fluctuations détaillées. A ce titre, deux chutes sont particulièrement marquées, en 2006 et 2014. Les valeurs du NDVI sur 2000-2023 semblent se situées en moyenne entre 0,3 et 0,4.

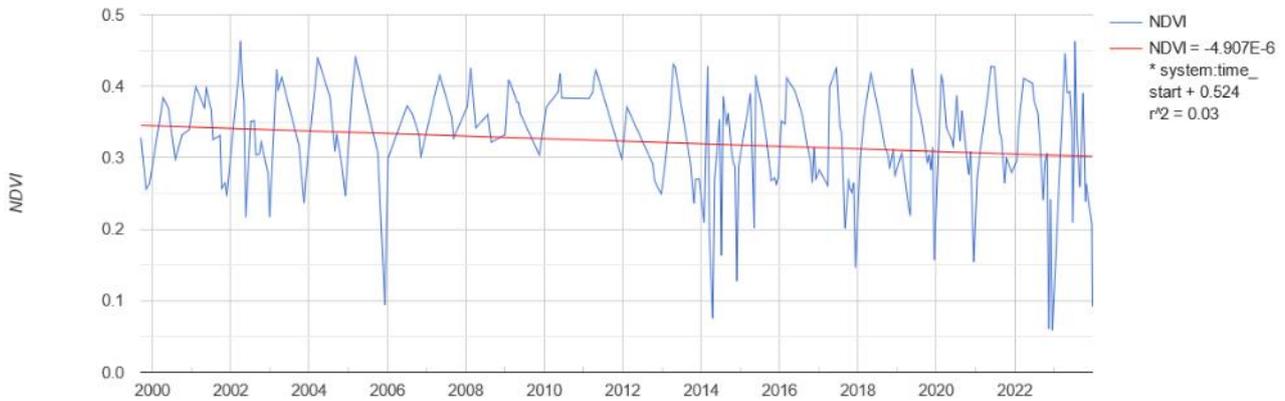


Figure 11. Evolution du couvert végétal (NDVI) entre 1999 et 2023 dans le site Bandar\_I1 avec les images satellites Landsat 7 (en bleu courbe NDVI et en rouge courbe de tendance).

Le graphique de l'évolution du NDVI établi par Restor montre une certaine variabilité interannuelle du NDVI sur la période 1984-2020, mais avec des fluctuations moins prononcées comparées au graphique de GEE (Figure 12). Contrairement à ce dernier, il n'y a pas de régression linéaire indiquée, mais visuellement, la tendance générale semble être plus stable avec une chute marquée, observée en 2006. A l'exception du creux de 2006, les valeurs semblent rester dans une moyenne plus élevée (0,4-0,5) que celle indiquée sur GEE (0,3-0,4).

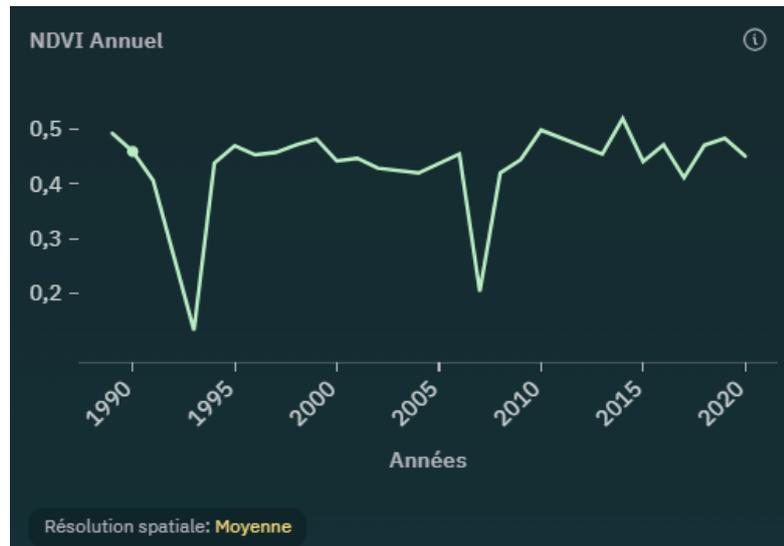


Figure 11. Evolution du couvert végétal (NDVI) entre 1984 et 2020 dans le site Bandar\_I1 d'après les données fournies par Restor.

En résumé, les deux graphiques représentent le NDVI sur des périodes similaires à partir de 2000, et montrent des dynamiques légèrement différentes. Le graphique de GEE présente une plus grande variabilité avec une tendance légèrement décroissante, tandis que le graphique de Restor montre une variabilité plus modérée avec une tendance globalement stable. Ces différences

peuvent être dues aux méthodes de collecte des données, aux résolutions spatiales, ou aux spécificités locales des zones étudiées.

Notons que GEE permet une plus grande liberté dans la manipulation des données que Restor, notamment dans la sélection des jeux de données, la mise en page graphique. Restor présente cependant l'avantage d'être plus simple d'utilisation que GEE qui s'adresse à un public d'initiés.

## Discussion

### La plateforme Restor : quel outil pour quelle(s) utilisation(s)

Restor présente l'avantage à la fois de mettre en relation les acteurs de l'environnement et constitue une vitrine des activités des ONG, associations et structures intervenant dans le domaine de l'environnement. Elle permet de rendre visibles les interventions sur le terrain et de les référencer. Ainsi, elle agit comme une plateforme de regroupement des données des projets conduits partout dans le monde et facilite la mise en réseau avec d'autres acteurs opérants dans la même zone ou sur le même type d'intervention. Cependant, en tant que plateforme participative à l'échelle globale, elle présente certaines limites. Les principales limites de Restor résident, d'une part, dans la résolution spatiale limitée des informations et des modèles qu'elle propose, lesquels ne sont que peu adaptés aux interventions locales, bien qu'une grande majorité des projets enregistrés sur Restor (sites publics) soient de nature locale, entraînant ainsi un degré élevé d'incertitude. D'autre part, la fiabilité des informations fournies par les utilisateurs peut poser question puisque la qualité et le succès des projets antérieurs ne sont pris en compte pour l'accès à la plateforme, et aucune vérification ni contrôle n'est effectué au cours de l'enregistrement d'informations sur Restor (Crowther et al., 2022). En outre, en cas de collaboration de plusieurs acteurs, des doublons des périmètres d'intervention peuvent apparaître si chacun des collaborateurs enregistre les sites, multipliant ainsi les interventions référencées sur Restor.

Notons également que la nature des informations demandées par la plateforme lors de l'enregistrement des sites laisse penser que l'utilisation de Restor est davantage destinée aux opérateurs d'interventions qu'aux autres acteurs tels que les bailleurs de fonds. Dans notre cas, rappelons que la FAW est le bailleur de fonds et non l'opérateur des projets sur le terrain. Or, certaines données de terrain sont exclusivement récoltées par ces derniers, et peuvent contribuer à affiner les analyses sur Restor. Par exemple, lors de l'enregistrement des sites, la plateforme demande des informations spécifiques (techniques utilisées, propriété du site, état des sols avant intervention, photos de la zone d'intervention) que le bailleur de fonds ne possède pas toujours. Dans notre cas, la FAW ne disposait que des fichiers des périmètres des interventions, sans les détails pratiques de ce qui avait été réalisé sur place (techniques utilisées, ressources mobilisées)

et qui ont dû être récoltées auprès des ONG partenaires locaux qui ont opéré sur le terrain. Ce manque d'information pratique et technique peut involontairement nuire à la qualité des données enregistrées sur Restor et/ou représenter une charge de travail supplémentaire plus chronophage qu'utile dans le cas où les bailleurs de fonds seraient amenés à devoir se procurer les informations auprès des opérateurs - autant d'intermédiaires qui peuvent en plus être une source d'erreur.

Enfin, il a été compliqué de sélectionner un site pour présenter les résultats car les données proposées par Restor n'étaient pas toujours disponibles pour nos périmètres d'intervention. En effet, il manquait des informations relatives au NDVI, à la perte totale du couvert forestier sur la période 2001-2020, ainsi que sur la perte annuelle de la couverture arborée sur la même période, pour lesquels Restor indiquait « information indisponible », notamment pour une majorité de sites à Madagascar et au Mozambique.

## Déroulement du stage

L'intégralité du stage s'est déroulée à distance. Cette modalité s'est avérée chronophage et peu pratique pour le déroulement du stage. Dès le début, l'indisponibilité des données a constitué un obstacle majeur, retardant significativement le démarrage effectif de mes missions (les informations nécessaires - fichiers shapefiles des sites d'intervention - n'ont été accessibles que le 8 décembre pour un stage initialement prévu du 15/09/2023 au 31/12/2023). Il aurait été bénéfique que ces données soient disponibles préalablement ou que la mission de collecte de données soit spécifiée dès le départ comme une mission à part entière du stage.

Par ailleurs, l'utilisation de la plateforme Restor s'est avérée limitée, notamment dans l'enregistrement de couches vectorielles contenant plusieurs polygones, nécessitant des manipulations sur Qgis (création d'une couche vectorielle par polygone dont le nombre total s'élevait à 122) ou un recours aux techniciens de la plateforme, avec des délais d'attente pouvant atteindre jusqu'à trois mois pour l'enregistrement des sites. Cette contrainte s'est ajoutée aux défis liés à la taille réduite de l'organisation, ne disposant que d'un seul opérateur, ce qui a restreint les échanges et les ressources disponibles. Malgré ces difficultés, je reste reconnaissante de l'opportunité qui m'a été offerte de participer à ce stage.

Plusieurs propositions d'amélioration pourraient enrichir l'expérience utilisateur de Restor :

- Tout d'abord, il serait pertinent que Restor permette de télécharger un fichier .pdf des analyses effectuées pour un site, offrant ainsi un « rapport » détaillé du périmètre d'intervention.
- Ensuite, puisque Restor offre déjà la possibilité de regrouper plusieurs sites au sein d'une collection, il serait avantageux de pouvoir obtenir des analyses communes à l'ensemble de

la collection, à condition qu'il s'agisse du même type d'environnement et d'intervention. Cette fonctionnalité fournirait une vue d'ensemble et faciliterait la gestion des projets regroupés.

- Enfin, il serait bénéfique de pouvoir télécharger les périmètres des sites sous forme de fichier shapefile directement depuis l'interface de Restor. Cette option permettrait aux utilisateurs de manipuler facilement les données géospatiales dans divers logiciels SIG.

## Conclusion

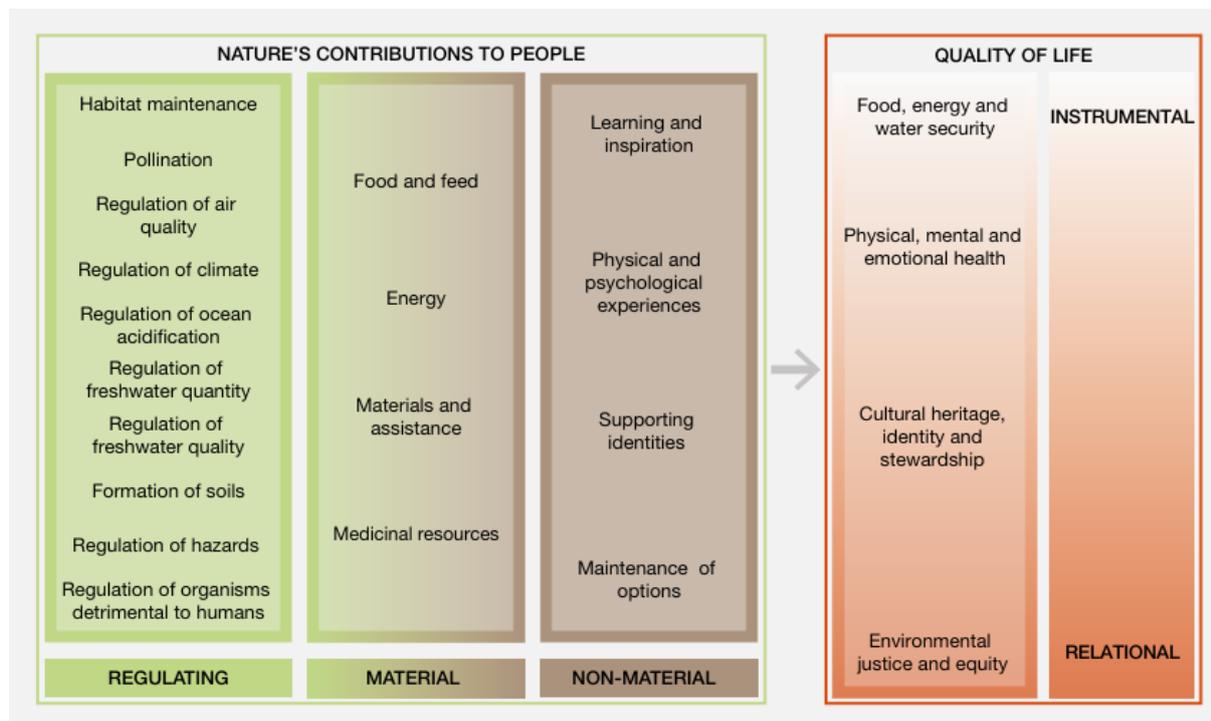
Nous pouvons conclure que Restor ne dispose pas des ressources nécessaires pour une évaluation fiable des interventions visant la restauration des mangroves, en raison de plusieurs limitations :

- Jeux de données et indicateurs fournis par Restor inadaptés pour l'évaluation des mangroves.
- Résolution spatiale insuffisamment haute pour les sites de petite taille.
- Manque de données pratiques et techniques du terrain pour les acteurs à distance.

Restor peut répondre à certains besoins des structures qui l'utilisent, notamment en matière de mise en réseau et de connectivité des acteurs de la restauration. Elle pourrait s'avérer particulièrement utile pour les opérateurs de terrain, leur permettant d'enregistrer les données récoltées sur place. D'autant plus qu'elle dispose d'une interface intuitive et facile à utiliser. En revanche, pour les acteurs ne travaillant pas directement sur le terrain et souhaitant évaluer une intervention de restauration à distance, surtout sur un site de petite taille et sans données complémentaires récoltées sur le terrain, Restor s'avère inadaptée. Il serait donc plus pertinent de confier l'enregistrement des sites d'intervention directement aux opérateurs locaux, de manière à ce que la FAW puisse suivre à distance la progression du projet tout en acceptant que ce suivi sera limité quand il s'agit des projets de restauration de mangrove.

## Annexes

Annexe 1. Contributions de la nature à l'être humain et sa relation avec la qualité de vie en termes de valeurs instrumentales et relationnelles (Secrétariat de l'IPBES, 2022).

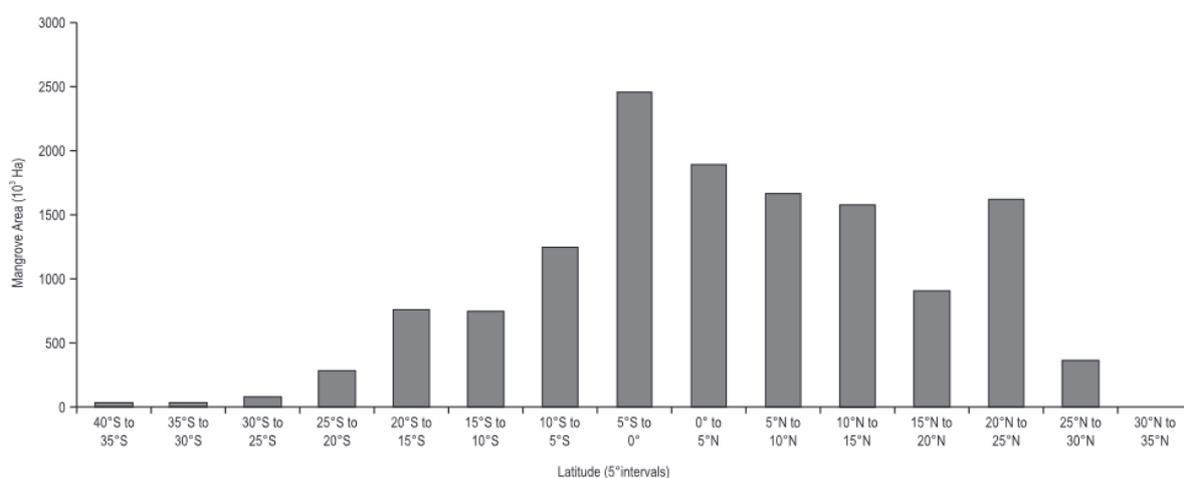


*Légende : Le classement des contributions de la nature à l'être humain couleurs du vert (contributions associées à des systèmes naturels) au brun (contributions associées à des système culturels). La bonne qualité de vie s'évalue selon deux types de valeurs anthropocentriques : les valeurs instrumentales, se référant à la valeur attribuée au moyen d'atteindre une fin particulière, et les valeurs relationnelles référant aux valeurs positives attribuées aux relations (personnes-personnes et personnes-nature) souhaitables. (Secrétariat de l'IPBES, 2022).*

## Annexe 2. Statut et répartition mondiale de la mangrove par Giri et al. (2011)

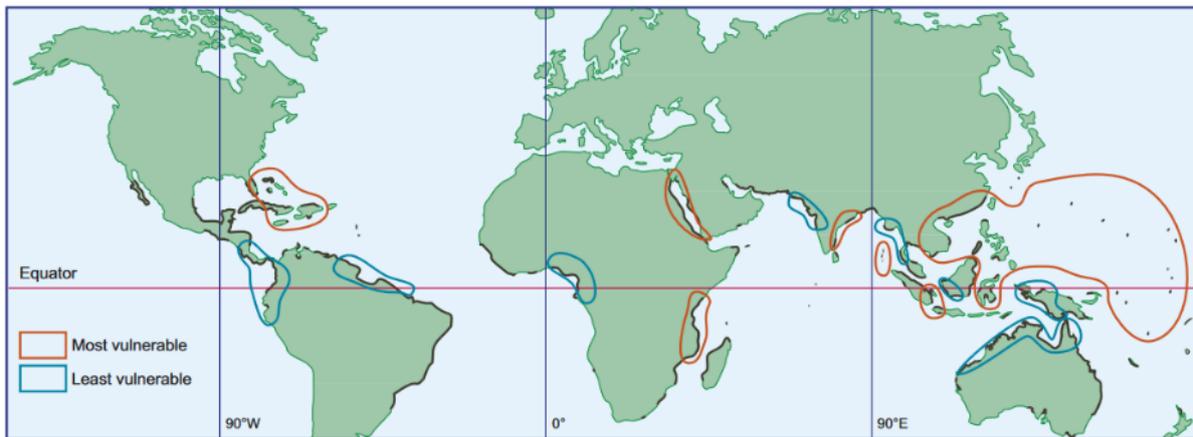
SN	Country	Area (ha)	% of global total	Cumulative %	Region
1	Indonesia	3,112,989	22.6	22.6	Asia
2	Australia	977,975	7.1	29.7	Oceania
3	Brazil	962,683	7.0	36.7	South America
4	Mexico	741,917	5.4	42.1	North and Central America
5	Nigeria	653,669	4.7	46.8	Africa
6	Malaysia	505,386	3.7	50.5	Asia
7	Myanmar (Burma)	494,584	3.6	54.1	Asia
8	Papua New Guinea	480,121	3.5	57.6	Oceania
9	Bangladesh	436,570	3.2	60.8	Asia
10	Cuba	421,538	3.1	63.9	North and Central America
11	India	368,276	2.7	66.6	Asia
12	Guinea Bissau	338,652	2.5	69.1	Africa
13	Mozambique	318,851	2.3	71.4	Africa
14	Madagascar	278,078	2.0	73.4	Africa
15	Philippines	263,137	1.9	75.3	Asia

Légende : Les 15 pays les plus riches en mangroves et leurs pourcentages cumulés.



Légende : Distribution latitudinale de la forêt de mangrove dans le monde.

Annexe 3. Vulnérabilité de la mangrove dans le monde selon Alongi (2008).



Légende : Identification des régions de mangrove les moins et les plus vulnérables au changement climatique dans le monde.

## Annexe 4. Avantages et limites des types de capteurs utilisés en télédétection pour la cartographie des écosystèmes de mangrove

### Annexe 4.1. Avantages et limites de la photographie aérienne pour la cartographie des mangroves.

	Avantages	Limites
1. Résolution spectrale	Informations spectrales rouge-proche infrarouge avec pente de bord rouge.	Aucun ou très faible (R, V, B ; proche infrarouge).
2. Résolution spatiale	Très élevé (plage du centimètre au mètre).	Seule une petite zone est couverte.
3. Résolution temporelle	Toujours disponible sur demande.	Une acquisition complexe d'équipements et une planification de campagnes de vols sont nécessaires.
4. Coûts	Faibles coûts pour les petites surfaces.	Des coûts croissants avec une couverture spatiale croissante ; coûts élevés si planification de campagne de vol professionnelle et caméra multispectrale.
5. Surveillance à long terme	Données disponibles depuis plus de 50 ans	
6. Objectifs	Cartes locales des écosystèmes de mangrove, paramétrisation, détection de changements.	Uniquement des études à l'échelle locale.
7. Niveau de discrimination	Communautés d'espèces, paramètres de densité.	Parfois trop de détails (entravant le traitement impartial des images).
8. Méthodes	Interprétation visuelle avec numérisation sur écran et approches orientées objet.	L'automatisation n'est généralement pas possible ; biais considérable des analystes et, par conséquent, a entravé la transférabilité ou la comparabilité.
9. Autre	Source d'informations supplémentaires précieuses pour prendre en charge les enquêtes sur le terrain, l'interprétation des images ou les évaluations de précision. Si des images superposées sont acquises (paires stéréo), il est possible de dériver un modèle d'élévation du couvert forestier.	

Annexe 4.2. Avantages et limites de l'imagerie à moyenne résolution pour la cartographie des mangroves.

	Avantages	Limites
1. Résolution spectrale	Plusieurs bandes multispectrales, incluant toujours R, V, B ; proche infrarouge ; et souvent même dans l'infrarouge moyen ; et bandes thermiques.	Un personnel qualifié et formé est nécessaire pour exploiter au mieux le contenu informationnel des multiples bandes (en tenant compte des transformations, etc.).
2. Résolution spatiale	Idéal pour la cartographie à grande échelle régionale.	Trop grossier pour les observations locales nécessitant une différenciation et un paramétrage approfondis des espèces.
3. Résolution temporelle	Une cartographie fréquente (par exemple, saison des pluies et saison sèche sur une période d'un an ; ou cartographie annuelle répétée) est possible.	Le taux de répétition peut être trop faible pour enregistrer l'impact des événements extrêmes (par exemple, cyclones, inondations, tsunamis) ; de plus, très dépendant des conditions météorologiques (nuages) = critique dans les régions subtropicales et tropicales.
4. Coûts	Selon le capteur, disponible gratuitement (par exemple Landsat), très rentable (ASTER) ou coûteux (par exemple SPOT) ; mais tous sont rentables par rapport aux enquêtes sur le terrain et aux campagnes aéroportées.	Logiciel de traitement d'image nécessaire (les logiciels courants, tels que Erdas, ENVI et ArcGIS, ont des frais de licence élevés), mais ne constituent généralement pas une réelle limitation.
5. Surveillance à long terme	Disponibilité des données sur trois décennies.	En fonction de la durée future des systèmes et des capteurs comparables ultérieurs.
6. Objectifs	Cartes d'inventaire et de statut ; détection des changements, comme l'évaluation des dommages causés par l'impact ; évaluation du succès du reboisement et de la conservation.	Pour certaines études botaniques axées sur les espèces, la résolution peut déjà être trop grossière.
7. Niveau de discrimination	Mangrove-non-mangrove, variations de densité, état de conservation, zonation des mangroves, dans de rares cas également discrimination des espèces	Fortes différences régionales ; Le résultat de la classification dépend fortement des conditions de l'écosystème, telles que la biodiversité, l'hétérogénéité des forêts, les cibles adjacentes ; l'identification des espèces est rarement possible

8. Méthodes	Interprétation visuelle avec des approches de numérisation à l'écran, de classification basée sur les pixels, sur les objets et hybride ; transformation et analyses d'images (indices PCA, TCT, IHS, etc.).	Pour exploiter tout le potentiel des analystes qualifiés en données nécessaires.
9. Autre	Données faciles d'accès ou de commande ; type de données le mieux exploré et, par conséquent, la plupart de la littérature disponible ; surveillance à long terme accordée.	

*Annexe 4.3. Avantages et limites de l'imagerie à haute résolution pour la cartographie des mangroves.*

	<b>Avantages</b>	<b>Limites</b>
1. Résolution spectrale	Informations spectrales rouge-proche infrarouge avec pente de bord rouge ; bande généralement panchromatique permettant la fusion d'images (pan-sharpening).	Relativement peu de bandes spectrales.
2. Résolution spatiale	Haute résolution (portée de 0,5 à 4 m) pour la cartographie à l'échelle locale.	Seule une petite zone est couverte.
3. Résolution temporelle	Une cartographie régulière est possible sur demande.	Dépend des conditions météorologiques (nuages) ; coûteux si une surveillance répétée est demandée.
4. Coûts	Coûts modérés pour les acquisitions uniques (généralement 2 000 à 10 000 euros, selon la zone).	Coûts très élevés si une surveillance répétée est demandée. En outre, les coûts élevés des logiciels de traitement d'images orientés objet (par exemple, Ecognition).
5. Surveillance à long terme	Théoriquement possible, mais généralement non utilisé en raison du coût. Capteurs, tels que IKONOS, QuickBird, etc., disponibles depuis la fin des années 1990/2000.	En fonction de la durée future des systèmes et des capteurs comparables ultérieurs. Seulement à la fin des années 1990.

6. Objectifs	Discrimination des espèces de mangrove, répartition spatiale et variabilité, état sanitaire, paramétrage.	La discrimination des espèces d'arbres individuels n'est généralement pas possible.
7. Niveau de discrimination	Jusqu'aux communautés d'espèces ; paramétrage détaillé.	Différences régionales ; le résultat de la classification dépend fortement des conditions de l'écosystème, telles que la biodiversité, l'hétérogénéité des forêts, les cibles adjacentes.
8. Méthodes	Interprétation visuelle avec des approches de numérisation à l'écran, basées sur les pixels, basées sur les objets et de classification hybride.	Des analystes qualifiés sont nécessaires pour exploiter tout le potentiel des données.
9. Autre	Source d'informations précieuse pour faciliter les enquêtes sur le terrain et l'évaluation de l'exactitude. Il est facile de combler l'écart d'échelle par rapport aux enquêtes <i>in situ</i> .	Dans certains pays (en développement/émergents), les données des capteurs concernés sont très difficiles à acquérir ; peu d'études publiées sur la base du type de données.

*Annexe 4.4. Avantages et limites de l'imagerie hyperspectrale pour la cartographie des mangroves.*

	<b>Avantages</b>	<b>Limites</b>
1. Résolution spectrale	Très élevé, couvrant une large gamme avec des bandes passantes étroites.	Volume de données élevé, bandes avec informations redondantes.
2. Résolution spatiale	Généralement très élevé (plage du centimètre au mètre).	Très petite zone couverte.
3. Résolution temporelle	Spaceborne : en raison du peu de capteurs sans acquisition à long terme, maximum mensuellement ; aéroporté : sur demande si les coûts ne jouent pas de rôle.	Dépend des conditions météorologiques (nuages) ; une acquisition complexe d'équipements est nécessaire ; très coûteux.
4. Coûts	Aucun	Coûts très élevés pour les campagnes aéroportées et le fonctionnement des capteurs ; des coûts très élevés pour le personnel travaillant sur des données aéroportées ou spatiales.

5. Surveillance à long terme	Théoriquement possible ; pratiquement impossible.	Inadapté en raison des petites surfaces couvertes et des coûts très élevés ; ne sera possible qu'avec un capteur spatial opérationnel fiable.
6. Objectifs	Cartes des mangroves au niveau des espèces ; paramétrage très détaillé ; analyses détaillées de l'état (vigueur, santé, <i>etc.</i> ).	Aucune limitation majeure.
7. Niveau de discrimination	Communautés d'espèces.	Aucune limitation majeure.
8. Méthodes	Méthodes typiques d'analyse de données hyperspectrales (démixage spectral, SAM, MTMF, <i>etc.</i> ) ; partiellement également associé à des analyses orientées objet.	Des connaissances spécialisées sont nécessaires pour l'analyse des données ; expérience dans le traitement des données hyperspectrales sonores, souvent indisponible ; les analyses hyperspectrales conduisent souvent à des résultats apparemment quantitatifs (par exemple, des images de fractions de membres terminaux).
9. Autre	Une cartographie détaillée des constituants autres que les mangroves est également probablement bénéfique (par exemple, différentes classes d'eau, en fonction de la charge en sédiments, des algues, <i>etc.</i> ; ou des types de sol).	Relativement peu d'études ont été menées ; toujours en phase de test ; très peu de capteurs spatiaux disponibles (Hyperion avec SNR douteux, Sebas, <i>etc.</i> ). Voir le tableau 3 pour connaître les limites des capteurs aéroportés.

*Annexe 4.5. Avantages et limites de l'imagerie radar pour la cartographie des mangroves.*

	<b>Avantages</b>	<b>Limites</b>
1. Résolution spectrale	Rayonnement actif à micro-ondes ; fournit des informations alternatives sur la structure de la surface ; diverses longueurs d'onde et polarisations sont sélectionnables.	Aucune information spectrale
2. Résolution spatiale	Varie	Généralement faible, sauf TerraSAR-X

3. Résolution temporelle	Haute ; indépendant de la météo	Aucun
4. Coûts	De nombreux types de données disponibles à faible coût dans le cadre de propositions scientifiques (ESA, JAXA, DLR, <i>etc.</i> ).	Accès restreint aux données (un certain nombre de scènes ; également certaines données non partageables avec certains pays en développement (par exemple, TSX).
5. Surveillance à long terme	Bonne ; systèmes de longue durée.	Aucun
6. Objectifs	Étendue des mangroves, état, propriétés de la canopée, déforestation, estimation de la biomasse.	Aucune information dérivée des spectres typiques (la différenciation des espèces n'est pas possible à moins que les espèces varient dans leur aspect structurel).
7. Niveau de discrimination	Structure par âge, paramètres forestiers, estimation de la biomasse.	Pas de discrimination entre les mangroves et les autres formes de végétation sans connaissance <i>a priori</i> ; pas de séparation entre les espèces.
8. Méthodes	Analyses des signaux de rétrodiffusion à l'aide de techniques avancées de traitement d'images ; méthode d'analyse d'image très quantitative basée sur la physique.	Analystes extrêmement qualifiés ayant une expérience dans le traitement des images radar nécessaires (disponibilité, coûts).
9. Autre	Résultats les plus prometteurs lorsque les données SAR sont combinées à l'imagerie optique.	Relativement peu d'études ont été menées ; des logiciels ou modules spéciaux sont nécessaires pour le traitement des images radar.

## Annexe 5. Métadonnées des sites d'intervention de restauration de mangrove en Guinée.

Sites d'intervention	Périmètre (ha)
Khèmkhiyah Kaki	2,27
Khanforifakhè	30,35
Solonyiré	15,86
Garankounbayah	3,00
Kansè	29,57
Tatema 1	1,80
Tatema 2	3,20

## Annexe 6. Métadonnées des sites d'intervention de restauration de mangrove au Mozambique.

Numéro	Sites	Technique de restauration	Espèce replantée	Nombre de plants	Superficie du site (ha)	Superficie restaurée (ha)	Nombre de participants
1	Nangua A3	Repiquage de semis	A. marina	0	1,41	0	0
2	Nangua A2	Repiquage de semis	A. marina	0	1,28	0	0
3	Nangua A1	Reboisement mixte	Mix	0	0,57	0	0
4	Nangua A	RNA	Mix	180000	18	0	0
5	Nangua B	RNA	Mix	113000	11,3	0	0
6	Nangua D	RNA	Mix	99000	9,9	0	0
7	Nangua E	Plantation de propagules	A. marina	0	3,96	3,96	17
8	Nangua B1	Reboisement mixte	Mix	0	0,94	0,94	16
9	Nangua C	Plantation de propagules	A. marina	0	1,39	1,39	11
10	Bandar I1	Plantation de propagules	A. marina	0	1,28	0	0
11	Bandar J	Plantation de propagules	Mix	0	0,21	0	0
12	Bandar H	Plantation de propagules	A. marina	0	0,1	0	0
13	Bandar G	Plantation de propagules	A. marina	0	0,21	0,21	20
14	Bandar B	Reboisement mixte	R. mucronata	0	0,2	0	0
15	Bandar E	Reboisement mixte	Mix	0	0,57	0,57	20
16	Bandar D	Repiquage de semis	Mix	0	1,15	1,08	20
17	Mueve L	Repiquage de semis	A. marina	0	0,1	0,1	20
18	Mueve K	Plantation de propagules	Mix	0	0,2	0,2	14
19	Bandar F	Plantation de propagules	A. marina	0	0,81	0,74	20
20	Mueve A2	Plantation de propagules	C. tagal	0	0,1	0,06	14
21	Mueve A1	Plantation de propagules	C. tagal	0	0,1	0,06	20
22	Bandar A	Plantation de propagules	R. mucronata	0	2,1	0	0
23	Mueve A3	Repiquage de semis	Mix	0	0,48	0,02	8
24	Mueve A4	Plantation de propagules	A. marina	0	0,3	0,3	14
25	Mueve C1	Plantation de propagules	Mix	0	0,17	0	0
26	Mueve F1	Plantation de propagules	A. marina	0	0,1	0,1	12
27	Mueve E2	Plantation de propagules	A. marina	0	0,22	0,22	9
28	Mueve H1	Plantation de propagules	A. marina	0	0,19	0,19	16
29	Mueve G	Plantation de propagules	A. marina	0	0,1	0,1	14
30	Mueve E1	Reboisement mixte	Mix	0	0,94	0	0
31	Mueve D	Reboisement mixte	A. marina	0	0,1	0	0
32	Mueve I1	Repiquage de semis	A. marina	0	1,12	0,27	17
33	Bandar I	RNA	Mix	11200	1,12	0	0
34	Mueve E	RNA	Mix	13500	1,35	0	0
35	Mueve H	RNA	Mix	6800	0,68	0	0
36	Bandar C	Reboisement mixte	Mix	0	4,87	2,25	20
37	Mueve F	Repiquage de semis	C. tagal	0	0,1	0	0
38	Mueve C	RNA	Mix	3200	0,32	0	0
39	Mueve I	RNA	Mix	20000	2	0	0
40	Mueve A	RNA	Mix	20000	2	0	0
41	Mueve J	Plantation de propagules	Mix	3200	0,32	0	0
42	Nangua B2	Repiquage de semis	R. mucronata	0	1,28	0,29	20
43	Mueve B	RNA	Mix	7700	0,77	0	0

## Annexe 7. Métadonnées des sites d'intervention de restauration de mangrove à Madagascar.

Numéro	Sites d'intervention	Date de plantation	Nombre de propagules plantées	Superficie (ha)
1	Andolonaomby	30/07/2019	28 500	1,959
2	Antsasavy 1	31/07/19	17 000	1,170
3	Antsasavy 2	17/09/19	60 800	6,428
4	Miloba	30/11/19	77 500	6,847
5	Anosy Mahavintsy	19/03/21	60 000	3,961
6	Bedo 2	19/03/21	X	39,303
7	Dadarenga	28/03/21	X	3,101
8	Bedo 3	28/02/21	X	2,051
9	Bedo 1	27/01/21	XX	5,761
10	Antoroky	20/04/19	35 663	4,907
11	Ambikibe	21/05/19	X	3,163
12	Antoroky 2a	X	X	1,501
13	Antoroky 2b	18/07/19	X	3,320
14	Antanambao a	XX		2,613
15	Antanambao b	17/08/19	45 000	2,590
16	Andobon'i Pangony b	X	X	0,656
17	Andobon'iPangony 2	12/02/20	30 000	2,038
18	Antalibe	16/03/21	40 000	2,244
19	Antaly	13/2/20	42 000	3,034
20	Ankoapasy 2	14/03/20	64 000	3,130
21	Belalanda	23/03/20	58 000	2,960
22	Bemokosa 1	14/11/20	70 000	3,955
23	Ambebohombeso	05/12/20	51 000	6,885
24	Anato	15/03/21	33 000	4,066
25	Passive Bedo 2	26/04/21	Aucune (restauration passive)	2,468
26	Passive Ampatifaty3	16/04/21	Aucune (restauration passive)	50,467
27	Passive Ambonara	X	X	3,330
28	Passive Nosimifaritsy	X	X	1,993
29	Passive Miloba	07/03/21	Aucune (restauration passive)	0,281
30	Passive Ambakivao	08/03/21	Aucune (restauration passive)	2,196
31	Passive Nosivalikira	20/11/20	Aucune (restauration passive)	6,700
32	Passive Andobo	21/11/20	Aucune (restauration passive)	15,797
33	Passive Nosimaletsy	23/01/20	Aucune (restauration passive)	8,481
34	Analamaletsy	26/04/21	60 500	2,079
35	Anosimaletsy bis	X	Aucune (restauration passive)	1,116
36	Passive Ambonion'i Sovy	X	Aucune (restauration passive)	4,020
37	Passive Andobon'i Kameloky	28/09/20	Aucune (restauration passive)	1,682
38	Passive Ambatokely	08/11/20	Aucune (restauration passive)	1,194
39	Passive Ankiliroa	09/11/20	Aucune (restauration passive)	8,918
40	Passive Begodogodo	13/11/20	Aucune (restauration passive)	10,822
41	Passive Ambozontany	25/09/20	Aucune (restauration passive)	2,088
42	Passive Antsatrabo	26/09/20	Aucune (restauration passive)	0,620
43	Passive Antsaragnan'i Poly	X	Aucune (restauration passive)	1,244
44	Passive Antsiho	14/07/20	Aucune (restauration passive)	18,093
45	Passive Ankabaro	27/09/20	Aucune (restauration passive)	10,972
46	Passive Anosy Ampatiky 02	11/07/20	Aucune (restauration passive)	4,454
47	Passive Anosy Ampatiky 01	11/07/20	Aucune (restauration passive)	3,223
48	Passive Ambondromaito	21/07/20	Aucune (restauration passive)	10,321

49	Passive Nosimamamba	22/07/20	Aucune (restauration passive)	10,043
50	Passive Belalanda	23/07/20	Aucune (restauration passive)	4,063
51	Passive Ankiaky	25/08/19	Aucune (restauration passive)	13,820
52	Andohanambiky	27/01/21	94 000	2,064
53	Andobomaty 01	20/01/21	66 000	4,547
54	Andobomaty	28/02/21	110 000	2,650
55	Andobomaty bis	X	X	0,477
56	Andohanambiky bis	X	X	0,968
57	Andohanambiky bis 2	27/01/21	X	3,114
58	Passive Tanambao	25/03/21	Aucune (restauration passive)	1,135
59	Passive Anjiha	26/03/21	Aucune (restauration passive)	4,231
60	Passive Andobon'i Tangony	X	Aucune (restauration passive)	2,578
61	Passive Ampasibe	11/07/20	Aucune (restauration passive)	3,592
62	Passive Ambato	13/07/20	Aucune (restauration passive)	4,083
63	Passive Demoky	24/07/20	Aucune (restauration passive)	1,513
64	Passive Miloba1	X	Aucune (restauration passive)	0,295
65	Passive Miloba 02	X	Aucune (restauration passive)	1,077
66	Ankoapasy 1	17/11/19	Aucune (restauration passive)	3,906
67	Andobon'i Pangony a	X	X	1,476
68	Manombo	X	1 135	0,135
69	Soanafindra	18/11/19	36 500	0,535
70	Bemokosa 2	18/01/21	30 000	2,074
71	Amboanio	X	X	15,762
72	Benoabo	X	X	6,160

## Annexe 8. Caractéristiques des jeux de données géospatiales comme déclarées sur Restor.

### Biomes (1) et écorégions (2) :

- Description : Cet ensemble de données fournit des informations sur les biomes (1) et écorégions (2) terrestres auxquels appartient un emplacement donné, permettant de comprendre l'écologie de base typique d'une zone d'intérêt.
- Unité : Catégorie parmi une liste de 14 biomes terrestres et 846 écorégions.
- Résolution spatiale : Non applicable
- Couverture temporelle : Non applicable
- Couverture géographique : Mondiale
- Fréquence des mises à jour : Pas à jour
- Fonctionnement : Cet ensemble de données divise la surface terrestre du monde en 14 biomes (des communautés distinctes de flore et de faune occupant un habitat majeur caractérisé par un type de végétation prédominant) et 846 écorégions (considérée comme un écosystème d'étendue régionale et représente un assemblage distinct de biodiversité).
- Limites : Il est important de noter que même si les biomes / écorégions répertoriés peuvent décrire avec précision l'environnement écologique général d'une zone plus vaste, une hétérogénéité spatiale à plus petite échelle existe au sein de tous les biomes (par exemple, le biome de la forêt boréale au sens large contiendra toujours des habitats naturels distincts tels que des prairies, des zones de roche nue, eaux intérieures, etc.).

### Espèces de plantes ligneuses potentielles (3) et de plantes herbacées potentielles (4) :

- Description : Cet ensemble de données fournit des informations sur environ 10 000 espèces d'arbres et d'arbustes (3) et 17 000 espèces de plantes herbacées (4) susceptibles de pousser dans la région plus large contenant ce site, fournissant des suggestions spatialement explicites. Cela peut potentiellement aider à choisir les espèces pour les travaux de restauration.
- Unité : Présence / absence (1/0)
- Résolution spatiale : 30 secondes d'arc (~ 1 km à l'équateur ; la résolution exacte varie globalement en raison de la projection cartographique, la taille des pixels diminuant vers les pôles).
- Couverture temporelle : Pas applicable
- Couverture géographique : Mondiale (sauf Antarctique)
- Fréquence des mises à jour : Périodique, basé sur les commentaires des utilisateurs
- Fonctionnement : Afin de couvrir plusieurs milliers d'espèces, une approche d'apprentissage automatique a été adoptée pour modéliser les distributions approximatives. Ici, des observations sur le terrain d'experts locaux dans des millions d'endroits à travers le monde ont été combinées avec des données pédologiques et climatiques, ainsi que des informations sur la nativité de l'espèce dans chaque pays du monde (fournies par Botanic Gardens Conservation International). Les modèles résultants ont ensuite été utilisés pour estimer où une espèce pourrait survivre dans les pays où elle est considérée comme indigène (sans toutefois prendre en compte certains facteurs écologiques importants tels que le rôle des interactions biotiques, la capacité de dispersion des espèces ou la nativité locale).

- Limites : Etant donné que les listes d'espèces fournies sont fondées sur des déductions statistiques, elles sont intrinsèquement soumises à certaines réserves. Premièrement, la nature de l'approche de modélisation basée sur l'apprentissage automatique utilisée, associée au fait que les espèces se trouvent souvent en dehors de leur répartition naturelle en raison de l'influence humaine, signifient que les répartitions modélisées peuvent être plus grandes que celles observées dans le monde réel (en particulier pour espèces avec de petites répartitions endémiques). Une autre considération est le fait que les distributions modélisées sont limitées à une résolution d'environ 1 km et peuvent donc ne pas prendre en compte l'hétérogénéité locale à petite échelle ; Ce n'est pas parce qu'une espèce peut se développer dans un pixel donné qu'elle a autant de chances de survivre au sommet d'une montagne exposée que dans une vallée fluviale adjacente. Il convient donc d'être prudent lors de l'utilisation de cet outil pour planifier des projets de restauration, et nous suggérons de coupler les listes d'espèces fournies avec les connaissances locales et de mener des recherches plus approfondies pour aider à la sélection des espèces afin de s'aligner sur les objectifs de restauration prévus. Enfin, nous notons que les listes d'espèces fournies ne doivent pas être considérées comme exhaustives, car elles se limitent aux espèces disposant de données d'observation suffisantes pour permettre la modélisation. Pour des listes plus complètes d'espèces d'arbres considérées comme indigènes au site de votre projet, veuillez consulter les autorités locales et régionales.
- Mention spéciale : Ce jeu de données comprend également des informations sur les caractéristiques des plantes, tirées de quatre bases de données externes : Trefle, qui fournit des images et des noms communs en anglais pour les espèces végétales ; Food Plants, qui indique si une plante produit des produits adaptés à la consommation humaine ; la liste rouge de l'UICN, qui évalue l'état de conservation de chaque espèce répertoriée dans les sites Restor ; et le registre mondial de l'UICN des espèces introduites et envahissantes, qui fournit des informations sur le statut envahissant des espèces présentées dans les listes de plantes de Restor. Il est important de noter que Restor ne vérifie pas les informations fournies par ces bases de données externes et décline toute responsabilité en cas d'erreurs ou d'omissions. De plus, puisque le projet Trefle original a été archivé début 2021, aucune nouvelle imagerie d'espèce ou nom commun ne sera ajoutée ou corrigée. Restor s'engage néanmoins à mettre à jour chaque année les catégories éclairées conformément aux évaluations actualisées de l'UICN pour refléter les changements. Il convient de souligner que certaines espèces répertoriées ne sont pas évaluées en raison du manque de données disponibles, tandis que d'autres ne sont pas du tout répertoriées. Enfin, notons que Restor a choisi une approche très conservatrice en matière de plantes envahissantes, puisque les espèces connues pour être envahissantes partout dans le monde ont été classées dans la section « envahissante » de l'interface de la plateforme. En tant que tel, l'affectation d'une espèce donnée à cette section n'implique pas nécessairement qu'elle ne convient pas à une zone donnée, bien que Restor recommande fortement qu'une telle espèce ne soit pas activement restaurée sans l'apport d'experts importants.

#### Richesse en plantes vasculaires (5) :

- Description : Cet ensemble de données fournit des informations sur la richesse en espèces végétales pour des zones géographiques plus larges.
- Unité : Nombre total d'espèces
- Résolution spatiale : 12 100 km<sup>2</sup> (cartographié sous forme de grille de superficie égale équivalente à ~1° de latitude x ~1° de longitude à l'équateur)
- Couverture temporelle : Début du 21<sup>ème</sup> siècle

- Couverture géographique : Mondiale (sauf Antarctique)
- Fréquence des mises à jour : Pas à jour
- Fonctionnement : Seuls les sites les plus grands (c'est-à-dire ceux couvrant des centaines, voire des milliers de kilomètres carrés) pourraient héberger l'ensemble des espèces prédites par l'outil d'analyse Restor, et le nombre total d'espèces estimé devrait plutôt être considéré comme une information contextuelle pour aider les utilisateurs à restaurer.
- Limites : Estimations grossières et inadaptées pour l'échelle locale et régionale.

#### Richesse en espèces d'amphibiens (6), de mammifères (7) et d'oiseaux (8) :

- Description : Cet ensemble de données permet d'estimer la diversité typique des amphibiens (6), des mammifères (7) et des oiseaux (8), attendue dans la zone locale.
- Unité : Nombre total d'espèces
- Résolution spatiale : 10 km
- Couverture temporelle : Dernière mise à jour basée sur des données de 2017 pour les espèces d'amphibiens et de mammifères et 2018 pour les espèces d'oiseaux.
- Couverture géographique : Mondiale
- Fréquence des mises à jour : Pas à jour
- Fonctionnement : L'ensemble de données sous-jacent estime la diversité pour 100 km<sup>2</sup> de pixels à l'échelle mondiale. Les cartes représentent uniquement les espèces indigènes existantes. Les cartes sont périodiquement mises à jour sur la base des données récentes fournies par l'UICN (pour les espèces d'amphibiens et de mammifères) et BirdLife International (pour les espèces d'oiseaux).
- Limites : En raison de la résolution spatiale, ces estimations sont trop grossières / inadaptées pour l'échelle locale et régionale.

#### Altitude (9) :

- Description : Cet ensemble de données fournit des informations sur l'élévation et sa variation pour une zone d'intérêt donnée.
- Unité : Mètres
- Résolution spatiale : 3 secondes d'arc (~ 90 m à l'équateur ; la résolution exacte varie globalement en raison de la projection cartographique, la taille des pixels diminuant vers les pôles).
- Couverture temporelle : Pas applicable
- Couverture géographique : >80 % de la surface terrestre entre 60° de latitude nord et 56° de latitude sud.
- Fréquence des mises à jour : Pas à jour
- Fonctionnement : Cet ensemble de données représente le modèle d'élévation global de télédétection à la plus haute résolution (90 m). Les estimations de cette ressource sont dérivées directement d'observations satellitaires, ce qui se traduit par une précision globale accrue par rapport aux ressources dérivées d'autres méthodologies.
- Limites : Cet ensemble de données ne fournit aucune information au-dessus de ~60° nord (englobant ainsi tout ou partie de l'Alaska, du Canada, du Groenland, de la Fennoscandie, de la Russie et des îles périphériques) en raison de la couverture limitée d'observation par satellite à cette latitude.

#### Température moyenne annuelle (10) :

- Description : Cet ensemble de données fournit des informations sur la température annuelle moyenne à un endroit donné. Cela peut faciliter la sélection et la gestion du site.

Si des données sont disponibles sur les tolérances thermiques des espèces végétales indigènes, elles peuvent également être utilisées pour sélectionner les taxons appropriés à utiliser dans les programmes de restauration active.

- Unité : Degré Celsius
- Résolution spatiale : 30 secondes d'arc (~ 1 km à l'équateur ; la résolution exacte varie globalement en raison de la projection cartographique, la taille des pixels diminuant vers les pôles).
- Couverture temporelle : Moyenne à partir des données collectées sur la période 1979 – 2013.
- Couverture géographique : Mondial (sauf l'Antarctique)
- Fréquence des mises à jour : Peu fréquentes et périodiques.
- Fonctionnement : Les estimations sont basées sur une réduction d'échelle statistique des températures atmosphériques associée à des informations sur l'altitude locale.
- Limites : Comme pour tous les ensembles de données mondiaux dérivés de l'inférence statistique, un certain degré d'erreur dans ces estimations est donc attendu, et les estimations dérivées de cette ressource s'avéreront probablement moins précises que les observations directes au sol dans de nombreux cas. De plus, il est important de noter que les totaux annuels ne sont pas nécessairement représentatifs des variations quotidiennes, saisonnières ou annuelles, qui peuvent être essentielles pour déterminer l'écologie locale et la survie des espèces végétales. Enfin, il convient de faire preuve de prudence lors de l'utilisation de cette ressource dans la planification de projets de restauration à plus petite échelle (c'est-à-dire ceux à une échelle inférieure à 1 km), car la survie des plantes peut être fortement influencée par la variabilité microclimatique locale.

Evapotranspiration annuelle totale (11) :

- Description : Cette ressource permet aux utilisateurs d'évaluer à distance les aspects du cycle hydrologique dans leur zone d'intérêt. Plus précisément, l'évapotranspiration indique la quantité d'eau se déplaçant d'un site vers l'atmosphère ; des valeurs croissantes sont probables si le site présente un excès d'eau croissant, tandis que des valeurs décroissantes indiquent que le site devient probablement plus sec avec le temps.
- Unité : Kg d'eau/m<sup>2</sup>
- Résolution spatiale : 500 mètres
- Couverture temporelle : 2001-2020
- Couverture géographique : Mondial
- Fréquence des mises à jour : Agrégée annuellement comme moyenne des composites sur 8 jours.
- Fonctionnement : Cet ensemble de données estime la quantité d'eau qui s'évapore d'une zone d'intérêt, combinée à la quantité qui transpire par les plantes. Les estimations sont dérivées de données de réflectance dérivées de satellites et sont estimées de manière algorithmique plutôt que mesurées directement.
- Limites : La résolution spatiale de cet ensemble de données est relativement faible, chaque mesure représentant une valeur moyenne (moyenne) à 500 m x 500 m (25 hectares). Les sites plus petits que cette taille intégreront donc des données provenant du paysage plus large, ce qui affectera les estimations de l'évapotranspiration si l'utilisation des terres adjacentes et l'hydrologie diffèrent considérablement de celles de la zone d'intérêt. Cet ensemble de données quantifie uniquement les pertes directes d'eau dans l'atmosphère et ne prend pas en compte les autres sources de perte (e.g. ruissellement direct de l'eau,

l'infiltration dans le sol), ni les sources de gain d'eau. (e.g. précipitations, remontées d'eaux souterraines).

#### Profondeur jusqu'à la nappe (12) :

- Description : Cette ressource fournit des estimations de la profondeur annuelle moyenne de la nappe phréatique à la surface terrestre. La profondeur de la nappe phréatique peut être un facteur majeur déterminant la survie de différentes espèces végétales.
- Unité : Mètres sous la surface du sol
- Résolution spatiale : 30 secondes d'arc (~ 1 km à l'équateur ; la résolution exacte varie globalement en raison de la projection cartographique, la taille des pixels diminuant vers les pôles).
- Couverture temporelle : Basé sur les données observées de 1927 à 2009.
- Couverture géographique : Mondiale (sauf Antarctique)
- Fréquence des mises à jour : Pas à jour
- Fonctionnement : aucune information
- Limites : aucune information

#### Précipitations annuelles (13) :

- Description : Cet ensemble de données fournit des informations sur les précipitations annuelles totales à un endroit donné. Cela peut faciliter la sélection et la gestion du site. Si des données sont disponibles sur les tolérances à l'humidité des espèces végétales indigènes, elles peuvent également être utilisées pour sélectionner les taxons appropriés à utiliser dans les programmes de restauration active.
- Unité : Millimètres
- Résolution spatiale : 30 secondes d'arc (~ 1 km à l'équateur ; la résolution exacte varie globalement en raison de la projection cartographique, la taille des pixels diminuant vers les pôles).
- Couverture temporelle : Moyenne à partir des données collectées sur la période 1979-2013.
- Couverture géographique : Mondiale (sauf Antarctique)
- Fréquence des mises à jour : Peu fréquentes et périodiques.
- Fonctionnement : Les estimations sont basées sur une réduction d'échelle statistique des températures atmosphériques associée à des informations sur l'altitude locale.
- Limites : Comme pour tous les ensembles de données mondiaux dérivés de l'inférence statistique, un certain degré d'erreur dans ces estimations sont donc attendues, et les estimations dérivées de cette ressource s'avéreront probablement moins précises que les observations directes au sol dans de nombreux cas. De plus, il est important de noter que les totaux annuels ne sont pas nécessairement indicatifs de variations quotidiennes, saisonnières ou annuelles, ce qui peut être critique dans la détermination de l'écologie locale. Enfin, il convient de faire preuve de prudence lors de l'utilisation de cette ressource dans la planification de projets de restauration à plus petite échelle (c'est-à-dire ceux à l'échelle inférieure à 1 km), car la survie des plantes peut être fortement influencée par la variabilité microclimatique locale.

#### Ph du sol (14) :

- Description : Cet ensemble de données fournit des informations sur le pH des cinq premiers centimètres du sol. Cela peut faciliter la sélection et la gestion du site. Si des données sont disponibles sur les tolérances de pH des espèces végétales indigènes, elles peuvent

également être utilisées pour aider à sélectionner les taxons appropriés à utiliser dans les programmes de restauration active.

- Unité : pH
- Résolution spatiale : 30 secondes d'arc (~ 1 km à l'équateur ; la résolution exacte varie globalement en raison de la projection cartographique, la taille des pixels diminuant vers les pôles).
- Couverture temporelle : Non applicable
- Couverture géographique : Mondiale (sauf Antarctique)
- Fréquence des mises à jour : Peu fréquentes et périodiques.
- Fonctionnement : Dans le cadre de la série d'ensembles de données SoilGrids, toutes les valeurs rapportées sont le résultat d'une approche d'apprentissage automatique, dans laquelle les observations directes du pH du sol sont corrélées aux données environnementales pour fournir des modèles généralisés à l'échelle mondiale.
- Limites : Comme pour tous les ensembles de données mondiaux issus de l'inférence statistique, cette ressource s'avérera donc généralement plus précise à des échelles spatiales plus grandes, mais moins précise pour des analyses plus localisées, notamment à l'échelle du sous-pixel (ici ~ 1 km). Il convient donc d'être prudent lors de l'utilisation de cet outil pour planifier des projets de restauration à plus grande échelle locale et, en cas de doute, le pH du sol doit être mesuré directement sur place avant le début des activités de restauration.

#### Index d'aridité (15) :

- Description : Cet ensemble de données fournit des informations sur l'aridité (sécheresse) à un emplacement donné. Cela peut faciliter la sélection et la gestion du site. Si des données sont disponibles sur la tolérance à la sécheresse des espèces végétales indigènes, elles peuvent également être utilisées pour sélectionner les taxons appropriés à utiliser dans les programmes de restauration active.
- Unité : Unités de valeur d'index d'aridité (Précipitations annuelles moyennes / Evapotranspiration annuelle moyenne), où les valeurs <0,2 indiquent des conditions arides à hyper arides, tandis que les valeurs >0,65 indiquent des conditions humides.
- Résolution spatiale : 30 secondes d'arc (~ 1 km à l'équateur ; la résolution exacte varie globalement en raison de la projection cartographique, la taille des pixels diminuant vers les pôles.
- Couverture temporelle : Agrégé à partir des moyennes mensuelles des précipitations pour les années 1960-1990.
- Couverture géographique : Mondiale (sauf l'Antarctique)
- Fréquence des mises à jour : Peu fréquentes et périodiques.
- Fonctionnement : Les données sont présentées sous la forme d'un déficit approximatif de précipitations – calculé à partir de la quantité d'eau entrant dans une zone d'intérêt (c'est-à-dire les précipitations annuelles moyennes) par rapport à la quantité d'eau qui en sort (c'est-à-dire l'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne).
- Limites : Les valeurs d'aridité ont été calculées sur la base des moyennes mensuelles des précipitations pour les années 1960 à 1990, ce qui signifie qu'elles peuvent différer légèrement des observations actuelles au sol. De plus, il est important de noter que ces estimations brutes de l'aridité à long terme ne sont pas nécessairement indicatives d'une variation quotidienne, saisonnière ou annuelle, qui peut être essentielle pour déterminer l'écologie locale et la survie des espèces végétales. Enfin, il convient de faire preuve de prudence lors de l'utilisation de cette ressource dans la planification de projets de

restauration à plus petite échelle (c'est-à-dire ceux à une échelle inférieure à 1 km), car la survie des plantes peut être fortement influencée par la variabilité microclimatique locale.

#### Couverture du sol (16) :

- Description : Cet ensemble de données fournit des informations sur la couverture terrestre prévue par satellite à très haute résolution spatiale (10 m).
- Unité : Classe de couverture terrestre dominante sur 10 classes (eau, arbres, herbe, végétation inondée, cultures, gommage/arbuste, zone bâtie, terrain nu, neige/glace, nuages).
- Résolution spatiale : 10 mètres
- Couverture temporelle : Basée sur des images satellites capturées en 2020.
- Couverture géographique : Mondiale
- Fréquence des mises à jour : Périodique
- Fonctionnement : Les estimations sont basées sur l'interprétation d'un modèle d'apprentissage profond de six bandes de données de réflectance de surface Sentinel-2 (bleu visible, vert, rouge, proche infrarouge et deux bandes infrarouges à ondes courtes). La carte finale est le résultat d'un ensemble d'images collectées tout au long de l'année 2020. Cet ensemble de données est basé sur l'ensemble de données produit pour le *Dynamic World Project* par la *National Geographic Society* en partenariat avec *Google* et le *World Resources Institute*.
- Limites : Aucune indication

#### NDVI Annuel (17) :

- Description : Le NDVI est un indicateur évaluant si et dans quelle mesure une zone donnée contient de la végétation verte vivante.
- Unité : Unité NDVI. Les valeurs négatives (valeurs proches de - 1) correspondent à l'eau. Les valeurs proches de zéro (-0,1 à 0,1) correspondent généralement à des zones arides de roches, de sable ou de neige. Enfin, les valeurs faibles et positives représentent les arbustes et les prairies (environ 0,2 à 0,4), tandis que les valeurs élevées indiquent les forêts tropicales humides tempérées (valeurs se rapprochant de 1).
- Résolution spatiale : 30 mètres
- Couverture temporelle : 1984-2020
- Couverture géographique : Mondiale
- Fréquence des mises à jour : Annuelle
- Fonctionnement : Le NDVI est calculé comme suit : Proche infrarouge - Rouge/Proche infrarouge + Rouge
- Limites : Aucune indication

#### Couverture arborée en 2000 (18) et en 2010 (19) :

- Description : Cet ensemble de données fournit des informations sur le pourcentage de couverture du couvert forestier en 2000 (18) et en 2010 (19), sur la base d'informations provenant de données satellite à relativement haute résolution.
- Unité : Couverture arborée (%)
- Résolution spatiale : 30 mètres
- Couverture temporelle : 2000 couvert forestier en 2000 (18) et 2010 couvert forestier en 2010 (19)
- Couverture géographique : Mondiale (sauf l'Antarctique)
- Fréquence des mises à jour : Non mis à jour

- Fonctionnement : Cet ensemble de données montre l'étendue estimée de la couverture forestière mondiale (rapportée comme couverture estimée de la canopée – allant de 0 à 100 % – pour toute la végétation mesurant plus de 5 m de hauteur) à partir de l'an 2000 pour le couvert forestier en 2000 (18) et à partir de 2010 pour le couvert forestier en 2010 (19). La présence de la couverture arborée est basée sur les données satellitaires Landsat, à une résolution spatiale de 30 mètres, qui est utilisée pour estimer le pourcentage de prévalence de la couverture arborée sur la base de l'inférence de plusieurs bandes de réflectance. Les valeurs de la couverture arborée pour chaque pixel sont donc directement basées sur des observations de télédétection pour chaque pixel, améliorant ainsi la confiance par rapport aux estimations dérivées de la seule extrapolation statistique.
- Limites : Il convient de faire preuve de prudence lors de l'utilisation des informations de cette couche de données si l'on utilise cet ensemble de données pour quantifier la présence actuelle du couvert forestier, étant donné que la période d'observation est limitée à l'année 2000 (18) et 2010 (19).

#### Perte totale 2001-2020 (20) :

- Description : Cet ensemble de données révèle une perte brute totale de forêts qui aurait eu lieu à tout moment au cours de la période 2001-2020 (inclus).
- Unité : Couvert arboré potentiel (%)
- Résolution spatiale : 30 mètres
- Couverture temporelle : 2001-2020
- Couverture géographique : Mondiale (sauf l'Antarctique)
- Fréquence des mises à jour : Annuel (mis à jour périodiquement, pas en temps réel).
- Fonctionnement : Cet ensemble de données rend compte de la perte forestière brute totale (définie comme une perturbation due au remplacement d'un peuplement ou un passage d'un état forestier à un état non forestier) au cours de la période 2001-2020. Cette métrique représente la somme des informations de résultat d'une série de couches géospatiales dérivées des données mondiales de réflectance Landsat. La perte de forêt est évaluée en comparant les valeurs différentielles de réflectance au fil du temps pour quantifier les zones qui ont connu une déforestation par rapport à la référence de 2000, permettant ainsi de surveiller les changements récents de la couverture forestière à l'échelle mondiale.
- Limites : Cet ensemble de données est qu'il rend compte de la perte forestière brute plutôt que de la perte forestière nette (les gains forestiers associés ne sont donc pas pris en compte et ne figure donc pas sur la plateforme Restor).

#### Perte de couverture arborée par année (21) :

- Description : Cet ensemble de données rend compte de la perte forestière brute annuelle (définie comme une perturbation due au remplacement d'un peuplement ou un passage d'un état forestier à un état non forestier) au cours de la période 2001-2022.
- Unité : Hectare par année
- Résolution spatiale : 30 mètres
- Couverture temporelle : 2001-2022
- Couverture géographique : Mondiale (sauf Antarctique)
- Fréquence des mises à jour : Aucune indication
- Fonctionnement : Aucune information.
- Limites : Cet ensemble de données est qu'il rend compte de la perte forestière brute plutôt que de la perte forestière nette (les gains forestiers associés ne sont donc pas pris en compte et ne figure donc pas sur la plateforme Restor).

#### Couverture arborée potentielle (22) :

- Description : Cet ensemble de données fournit des informations sur la quantité de couvert arboré qu'une zone d'intérêt pourrait théoriquement supporter, en fonction des conditions environnementales dominantes.
- Unité : Couvert arboré potentiel (%)
- Résolution spatiale : 30 secondes d'arc (~ 1 km à l'équateur ; la résolution exacte varie globalement en raison de la projection cartographique, la taille des pixels diminuant vers les pôles).
- Couverture temporelle : Pas applicable
- Couverture géographique : Mondiale (sauf l'Antarctique)
- Fréquence des mises à jour : Pas à jour
- Fonctionnement : Cette ressource contient des informations sur les zones de la planète qui pourraient théoriquement abriter un couvert arboré, en fonction de facteurs tels que le climat local, le sol et la topographie. La carte résultante révèle la capacité totale de la couverture arborée de la Terre à une résolution spatiale d'environ 1 km.
- Limites : Comme pour tous les ensembles de données mondiaux dérivés de l'inférence statistique, cette ressource sera plus précise à des échelles spatiales plus grandes, mais moins précise pour des analyses plus localisées. Il convient donc d'être prudent lors de l'utilisation de cet outil pour planifier des projets de restauration à plus grande échelle locale. En outre, il est important de noter que cette ressource fournit des informations sur le potentiel biophysique du couvert forestier (c'est-à-dire qu'elle indique qu'une zone présente des conditions environnementales appropriées pour soutenir la croissance des arbres) – elle n'indique pas qu'une zone doit être reboisée, et Restor ne préconise pas la conversion des écosystèmes naturels existants vers d'autres états de couverture terrestre. À ce titre, l'expertise locale doit être consultée pendant la phase de planification de toute intervention active, lorsque cela est possible.

#### Carbone organique actuel (23) et potentiel (24) dans le sol :

- Description : Cet ensemble de données permet d'estimer la densité moyenne actuelle (vers 2010, sol ; vers 2016, ligneux) et potentiel de carbone dans la biomasse ligneuse aérienne et souterraine, ainsi que le carbone organique contenu dans les deux premiers mètres du sol.
- Unité : Tonnes de carbone par hectare
- Résolution spatiale : 500 m pour le carbone ligneux aérien et souterrain ; 10 km pour le carbone organique du sol.
- Couverture temporelle : 2016 pour le carbone ligneux aérien et souterrain ; 2010 pour le carbone organique du sol.
- Couverture géographique : Mondiale (sauf Antarctique)
- Fréquence des mises à jour : Pas à jour.
- Fonctionnement : Estimation du carbone ligneux dérivées d'une combinaison de données de réflectance satellitaire et de co-variables environnementales et anthropiques, avec une approche de modélisation de régression basée sur les arbres ensuite adoptée pour déduire des modèles de stockage à l'échelle mondiale. Estimation du carbone organique dans les deux premiers mètres du sol dérivées d'une combinaison de mesures directes sur le terrain et de co-variables environnementales et anthropiques, avec une approche d'apprentissage automatique ensuite adoptée pour déduire des modèles de stockage à l'échelle mondiale.

- Limites : Les valeurs de carbone ligneux et organique dans le sol déclarées ne sont que des approximations et seront moins précises que celles obtenues à partir de mesures directes sur le terrain et ne doivent pas être utilisées à des fins de comptabilisation du carbone. Résolution spatiale du carbone organique dans les sols relativement grossière (~ 10 km), ce qui signifie qu'il ne parviendra pas à capturer l'hétérogénéité à l'échelle locale, en particulier entre les types d'habitats contrastés et les zones adjacentes ayant des historiques d'utilisation des terres différents.

#### Productivité primaire nette (25) :

- Description : Cet ensemble de données fournit des informations sur la productivité d'une zone d'intérêt et est directement mesuré comme la vitesse à laquelle le carbone s'accumule actuellement dans les plantes vivantes, sur la base d'estimations dérivées de l'observation par satellite.
- Unité : Kg/an
- Résolution spatiale : 500 mètres
- Couverture temporelle : 2000-2020
- Couverture géographique : Mondiale (sauf Antarctique)
- Fréquence des mises à jour : Agrégée annuellement comme le total des composites de 8 jours.
- Fonctionnement : Les valeurs déclarées sont des estimations de la productivité primaire brute basées sur des données de réflectance dérivées des satellites, moins les estimations de la respiration d'entretien. Ainsi, toutes les valeurs déclarées sont estimées de manière algorithmique plutôt que mesurées directement.
- Limites : Les valeurs déclarées peuvent différer des mesures prises directement sur le terrain. Les valeurs déclarées ne doivent pas être considérées comme l'absorption nette de carbone pour l'ensemble de l'écosystème sur un site donné, car cet ensemble de données ne prend pas en compte les émissions naturelles qui peuvent dans certains cas dépasser la productivité primaire nette. La résolution spatiale de cet ensemble de données est relativement faible, chaque mesure représentant une valeur moyenne de 500 m x 500 m (soit 25 hectares), les sites plus petits que cette taille intégreront donc des données provenant du paysage plus large, ce qui affectera les estimations de productivité primaire nette si l'utilisation des terres adjacentes et la couverture végétale diffèrent considérablement de celles de la zone d'intérêt.
- Fonctionnement : Aucune information communiquée.
- Limites : Aucune information communiquée.

#### Modification humaine globale (26) :

- Description : L'ensemble de données mondial sur les modifications humaines fournit une mesure cumulative de la modification humaine des terres terrestres à l'échelle mondiale.
- Unité : Unités globales de modification humaine allant de 0 à 1. Valeurs calculées en estimant la proportion d'un pixel donné qui est modifié (où 0,0 = aucune modification ; 1,0 = modification totale).
- Résolution spatiale : 1 km
- Couverture temporelle : Basé sur des données sur les facteurs de stress collectées vers 2016.
- Couverture géographique : Mondiale
- Fréquence des mises à jour : Pas à jour

- Fonctionnement : Cet ensemble de données Global Human Modification fournit une mesure cumulative de la modification humaine des terres terrestres à l'échelle mondiale à une résolution de 1 kilomètre carré. La modification est basée sur les informations provenant de 13 ensembles de données individuels décrivant la présence relative de cinq principaux facteurs de stress anthropiques : les établissements humains, l'agriculture, les transports, l'exploitation minière et la production d'énergie et les infrastructures électriques.
- Limites : Aucune indication.

Population humaine à l'intérieur du site (27), dans un rayon de 10 km (28) et dans un rayon de 50 km (29) :

- Description : Cet ensemble de données vous permet de discerner la densité estimée de la population humaine dans votre zone d'intérêt (27), dans un rayon de 10 km (28) et de 50 km (29).
- Unité : Nombre de personnes par cellule
- Résolution spatiale : 9 secondes d'arc (~ 250 m à l'équateur ; la résolution exacte varie globalement en raison de la projection cartographique, la taille des pixels diminuant vers les pôles).
- Couverture temporelle : 2015
- Couverture géographique : Mondiale
- Fréquence des mises à jour : Périodique
- Fonctionnement : Ces estimations sont dérivées d'informations provenant de recensements ou d'unités administratives qui ont ensuite été désagrégées en fonction de la répartition relative et de la densité des zones bâties, telles que déduites des images satellite.
- Limites : Aucune indication

## Annexe 9. Script GEE de l'évolution du couvert végétal dans le site Bandar\_I1 grâce aux images satellite Landsat 7

```
Imports (1 entry)   
▶ var table: Table projects/ee-oceanegarandel/assets/mozambique  
// Define study area  
var Bandar = table  
Map.centerObject(Bandar);  
  
// Import dataset and filter images for cloud / period / date of interest  
var imagesWithoutCloud = ee.ImageCollection('LANDSAT/LE07/C02/T1_TOA')  
  .filterDate('1999-06-01', '2024-01-01')  
  .filterBounds(Bandar)  
  .map(function(image) {  
    var cloud = ee.Algorithms.Landsat.simpleCloudScore(image).select('cloud');  
    var mask = cloud.lt(20); // Filter pixels with less than 20% cloud coverage  
    return image.updateMask(mask);  
  });  
print(imagesWithoutCloud)  
  
// Calculate the NDVI on cloud-free images  
var ndviCollection = imagesWithoutCloud.map(function(image) {  
  var ndvi = image.normalizedDifference(['B4', 'B3']).rename('NDVI');  
  return ndvi.copyProperties(image, ['system:time_start']);  
});  
  
// CLIP NDVI to study area  
Map.addLayer(ndviCollection.mean().clip(Bandar), {min: -1, max: 1,  
palette: ['ff2800', 'ffa900', 'ffe300', 'f7ff04', 'bfff0a', '8dff00', '30ff00']},  
"NDVI");  
  
// Chart time series of NDVI for Bandar  
var tsNDVI = ui.Chart.image.series({  
  imageCollection: ndviCollection.select(['NDVI']),  
  region: Bandar,  
  reducer: ee.Reducer.median(),  
  scale: 30, //Landsat 08 has a resolution of ~30m  
  xProperty: 'system:time_start'})  
  .setOptions({  
    lineWidth: 1,  
    title: 'Bandar NDVI Time Series 1999-2023 (Landsat_07)',  
    interpolateNulls: true,  
    vAxis: {title: 'NDVI',minValue: 0, maxValue: 0.5},  
    hAxis: {title: '', format: 'YYYY'},  
    trendlines: { 0: {type:'linear', showR2: true, visibleInLegend: true, color: 'red'} }  
  });  
print(tsNDVI);
```

Script disponible à l'adresse :

<https://code.earthengine.google.com/b6f3f450f1390d539b0f11bfc26e18b5>

## Bibliographie

Alexandris, N., Chatenoux, B., Lopez Torres, L., & Peduzzi, P. (2014). *Monitoring the restoration of mangrove ecosystems from space* (p. 48). UNIEP/GRID-Geneva.

[https://unepgrid.ch/storage/app/media/legacy/50/Monitoring\\_the\\_Restoration\\_of\\_Mangroves.pdf](https://unepgrid.ch/storage/app/media/legacy/50/Monitoring_the_Restoration_of_Mangroves.pdf)

Alongi, D. M. (2008). Mangrove forests : Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76(11), 13.

Amade, F. M. C., Chirwa, P. W., Falcão, M. P., & Oosthuizen, C. J. (2019). Structural characterization, reproductive phenology and anthropogenic disturbance of mangroves in Costa do Sol, Bons Sinais Estuary and Pemba-Metuge from Mozambique. *Journal of Sustainable Forestry*, 38(4), 381-395. <https://doi.org/10.1080/10549811.2018.1549501>

Badola, R., & Hussain, S. A. (2005). Valuing ecosystem functions : An empirical study on the storm protection function of Bhitarkanika mangrove ecosystem, India. *Environmental Conservation*, 32(1), 85-92. <https://doi.org/10.1017/S0376892905001967>

Barbosa, F. M. A., Cuambe, C. C., & Bandeira, S. O. (2001). Status and distribution of mangroves in Mozambique. *South African Journal of Botany*, 67(3), 393-398. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)31155-8](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)31155-8)

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>

Crowther, T. W., Thomas, S. M., Hoogen, J. van den, Robmann, N., Chavarría, A., Cottam, A., Cole, R., Elliott, T., Clark, E., Max, S., Danylo, O., & Rowe, C. (2022). Restor : Transparency and connectivity for the global environmental movement. *One Earth*, 5(5), 476-481. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.04.003>

Duke, N. C., Meynecke, J.-O., Dittmann, S., Ellison, A. M., Anger, K., Berger, U., Cannicci, S., Diele, K., Ewel, K. C., Field, C. D., Koedam, N., Lee, S. Y., Marchand, C., Nordhaus, I., & Dahdouh-Guebas, F. (2007). A World Without Mangroves? *Science*, 317(5834), 41-42. <https://doi.org/10.1126/science.317.5834.41b>

Ellison, A. M. (2000). Mangrove Restoration : Do We Know Enough? *Restoration Ecology*, 8(3), 219-229. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100x.2000.80033.x>

Erftemeijer, P. L. . A., & Lewis, R. R. (1999). *Planting mangroves on intertidal mudflats : Habitat restoration or habitat conversion*. 23-28.

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/30223754/unnamed-libre.pdf?1390881058=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPlanting\\_mangroves\\_on\\_intertidal\\_mudflat.pdf&Expires=1713284128&Signature=clrkoC3idYHE5WfflTy5M-Y2vvcCLJu3fAuGU6I7RUtacB~HHtseM5hmQKN7mu5LJufkgBAP5Gqnnj89CePK1NTujtUzO8mXMMgpOi2-GjQxFE44glacBt5~9uapVSQmZuynmCouFLXtr1G~ud8JBGXcg6Dy-O9B8jNcZxZKCxbL7ilc-d1~d6AgQFvxI8q8DRnacEVn~MEk61gxD92yePe1MMP-zxkJ0D~sq-M4azolkcDGNPgg2ZSpwTb9QJk6px3szWaXzOkWGR51RWCuYl~8gZFhbrc~3QB8GUG0~BCLah4I~O2AtkSzoK0albx~xbLV15ZQkC7wquY7QNixIMw\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/30223754/unnamed-libre.pdf?1390881058=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPlanting_mangroves_on_intertidal_mudflat.pdf&Expires=1713284128&Signature=clrkoC3idYHE5WfflTy5M-Y2vvcCLJu3fAuGU6I7RUtacB~HHtseM5hmQKN7mu5LJufkgBAP5Gqnnj89CePK1NTujtUzO8mXMMgpOi2-GjQxFE44glacBt5~9uapVSQmZuynmCouFLXtr1G~ud8JBGXcg6Dy-O9B8jNcZxZKCxbL7ilc-d1~d6AgQFvxI8q8DRnacEVn~MEk61gxD92yePe1MMP-zxkJ0D~sq-M4azolkcDGNPgg2ZSpwTb9QJk6px3szWaXzOkWGR51RWCuYl~8gZFhbrc~3QB8GUG0~BCLah4I~O2AtkSzoK0albx~xbLV15ZQkC7wquY7QNixIMw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

Ewel, K. C., & Twilley, R. R. (1998). Different kinds of mangrove forests provide different goods and services—EWEL - 1998—- Wiley Online Library. *Global Ecology & Biogeography Letters*, 7(1), 3-94. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.1998.00275.x>

Feka, Z. N. (2015). Sustainable management of mangrove forests in West Africa : A new policy perspective? *Ocean & Coastal Management*, 116, 341-352. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.08.006>

Field, C. D. (1999). Rehabilitation of Mangrove Ecosystems : An Overview. *Marine Pollution Bulletin*, 37(8), 383-392. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00106-X](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00106-X)

Giri, C., & Muhlhausen, J. (2008). Mangrove Forest Distributions and Dynamics in Madagascar (1975–2005). *Sensors*, 8(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/s8042104>

Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J., & Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 207. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>

*Google Earth Engine*. (s. d.). Consulté 20 mai 2024, à l'adresse <https://earthengine.google.com>

Guinée Ecologie. (2023). *Formulaire de soutien Guinée Ecologie* (p. 12) [Formulaire de demande de fonds]. FAW.

*Historique, vision et mission | Fondation Audemars-Watkins*. (s. d.). Consulté 15 août 2023, à l'adresse <https://audemars-watkins.foundation/fr/about-us/>

Istituto Oikos. (2024). *Final Report 2024*.

Jones, T. G., Glass, L., Gandhi, S., Ravaoarinorotsihoarana, L., Carro, A., Benson, L., Ratsimba, H. R., Giri, C., Randriamanatena, D., & Cripps, G. (2016). Madagascar's Mangroves : Quantifying Nation-Wide and Ecosystem Specific Dynamics, and Detailed Contemporary Mapping of Distinct Ecosystems. *Remote Sensing*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/rs8020106>

Kathiresan, K., & Bingham, B. L. (2001). Biology of mangroves and mangrove Ecosystems. In *Advances in Marine Biology* (Vol. 40, p. 81-251). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(01\)40003-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(01)40003-4)

Kuenzer, C., Bluemel, A., Gebhardt, S., Quoc, T. V., & Dech, S. (2011). Remote Sensing of Mangrove Ecosystems : A Review. *Remote Sensing*, 3(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/rs3050878>

Lee, S. Y., Primavera, J. H., Dahdouh-Guebas, F., McKee, K., Bosire, J. O., Cannicci, S., Diele, K., Fromard, F., Koedam, N., Marchand, C., Mendelssohn, I., Mukherjee, N., & Record, S. (2014). Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems : A reassessment. *Global Ecology and Biogeography*, 23(7), 726-743. <https://doi.org/10.1111/geb.12155>

MEA. (2005a). *Ecosystems and human well-being : Health synthesis* (C. Corvalán, S. Hales, A. J. McMichael, & World Health Organization, Édés.). World Health Organization.

*Millennium Ecosystem Assessment : Ecosystems and human well-being wetlands and waterSynthesi.pdf* (p. 80). (2005b). World Resources Institute. <https://biblioteca.cehum.org/bitstream/123456789/143/1/Millennium%20Ecosystem%20Assessment.%20ECOSYSTEMS%20AND%20HUMAN%20WELL-BEING%20WETLANDS%20AND%20WATER%20Synthesi.pdf>

RAMSAR. (1993). *Konkouré | Service d'information sur les Sites Ramsar*. <https://rsis.ramsar.org/fr/ris/575?language=fr>

Ramsey, E. W., & Jensen, J. R. (1996). *Remote Sensing of Mangrove Wetlands : Relating Canopy Spectra to Site-Specific Data*.

*Restor.eco*. (2024). Restor. <https://restor.eco/>

Romañach, S. S., DeAngelis, D. L., Koh, H. L., Li, Y., Teh, S. Y., Raja Barizan, R. S., & Zhai, L. (2018). Conservation and restoration of mangroves : Global status, perspectives, and prognosis. *Ocean & Coastal Management*, 154, 72-82. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.01.009>

Sathirathai, S., & Barbier, E. (2001). Valuing Mangrove Conservation in Southern Thailand. *Contemporary Economic Policy*, 19(2), 109-122. <https://doi.org/10.1111/j.1465-7287.2001.tb00054.x>

Secrétariat de l'IPBES. (2022, octobre 27). *Contributions de la nature aux hommes (ncp)*. IPBES. <https://www.ipbes.net/node/41543>

*Thèmes prioritaires | Fondation Audemars-Watkins*. (s. d.). Consulté 15 août 2023, à l'adresse <https://audemars-watkins.foundation/fr/priority-themes/>

WWF Madagascar. (2021). *Final Report 2021*.

WWF Madagascar. (2022, juillet 6). *Les mangroves de Madagascar*. <https://www.wwf.mg/?7032841/Les-mangroves-de-Madagascar>