

Master 2 Sciences pour l'environnement, parcours Géographie appliquée à la gestion des littoraux

Mémoire

Les facteurs de réussite de la réhabilitation de mangroves à Trat dans les années 1990

En quoi la télédétection fournit-elle une aide à la compréhension des changements dans la mangrove à long terme ? Quels sont les facteurs ayant contribué à la réussite du projet de réhabilitation de mangroves à Trat ?



Image drone sur le sentier de la forêt de mangrove dans la province de Trat, Thaïlande (Pimple, 2017)

Soutenu le 16 juin 2020

Jury : Frédéric Rousseaux et Frédéric Pouget

Tuteur de stage : Frédéric Rousseaux

Maitre de stage et co-encadrante : Valéry Gond et Hélène Dessard

Sommaire

Introduction

Présentation de la structure et objectifs du stage

Etat de l'art

1. Fonctionnement et rôles des écosystèmes de mangroves

- 1.1 Le fonctionnement des mangroves et des palétuviers
- 1.2 La diversité des fonctions et les services écosystémiques

2. Pressions et principales menaces exercées sur la mangrove

- 2.1 Les menaces « naturelles » responsables en partie de la perte de surface de mangroves
- 2.2 Les menaces anthropiques

3. Les mangroves de Thaïlande

- 3.1 Généralités et état des surfaces
- 3.2 Les principales activités économiques liées aux mangroves
- 3.3 Maintenir et protéger les mangroves et leurs fonctions en Thaïlande

4. Zone d'étude : Trat

- 4.1 Localisation et caractéristiques de peuplement de mangroves
- 4.2 De l'ère de la crevetticulture vers la protection des mangroves ?
- 4.3 Mesurer l'évolution des surfaces de mangroves à Trat : l'apport de la télédétection

Matériel et Méthode

1. Analyse des trajectoires
2. Délimitation des polygones
3. Analyse des facteurs de réussite de la réhabilitation des mangroves

Résultats

1. Les composantes paysagères à Trat
2. Evaluation des séries chronologiques annuelle composite NDII de Landsat
3. Les facteurs de réussite du projet de réhabilitation de mangroves à Trat

Discussion

1. Evolution des peuplements de mangroves naturelles entre 1987 et 2019
2. Evolution des peuplements de mangroves réhabilitées
3. La télédétection : un outil d'aide à la compréhension des changements au sein des mangroves
4. Les facteurs de réussite en corroboration des trajectoires NDII
5. Critique et recommandations

Conclusion

Annexes

Table des matières

Remerciements

Mes premiers remerciements s'adressent à Valéry Gond, et Hélène Dessard pour leur encadrement robuste tout au long du stage. Merci à toi Valéry pour ta disponibilité, ton aide précieuse, ton écoute et ta positivité. Merci à toi Hélène pour tes corrections, tes conseils avisés et ton soutien en analyse statistique.

Je tiens aussi à remercier Uday Pimple que je n'ai pas pu rencontrer mais qui s'était occupé de toute l'organisation pour notre arrivée en Thaïlande. Merci pour les informations sur Trat que tu as fourni, pour les différentes manipulations sur Google Earth Engine et ce malgré la distance et ton emploi du temps très chargé.

Un grand merci à Loïc Dutrieux qui m'a beaucoup guidé sur le logiciel R et a été très présent pour répondre à mes questions.

Je souhaite aussi remercier Etienne Duperron pour ses avis constructifs sur les différentes figures et cartographies réalisées.

Je remercie également les membres du jury qui m'ont fait l'honneur de bien vouloir évaluer ce travail.

Enfin, pour leur sympathie, un merci à tous les membres de l'unité « Forêts et Sociétés » que j'ai pu rencontrer au début de mon stage, avant le confinement.

Cette recherche a été soutenue par les activités du programme de financement conjoint pour la recherche et l'innovation en Asie du Sud-Est et en Europe (SEA-EU-NET), 2018-2021, dans le cadre du projet intitulé "Suivi et optimisation de la qualité de conception de la restauration des mangroves en vue d'une gestion durable des écosystèmes côtiers en Thaïlande et dans le delta du Mékong au Vietnam" [Thaïlande (NSTDA)] : Code du projet P-18-51184, France (ANR) : NO ANR- 17-ASIE-0003-01, Allemagne (BMBF) : 01DQ18004].

Liste des acronymes

ARMA : Algorithme de surveillance automatique de la repousse

CBEMR : Restauration écologique communautaire des mangroves

CBMM : Gestion communautaire des mangroves

DMCR : Département des Ressources Côtières et Marines

DNP : Département des Parcs Nationaux, de la conservation de la faune et de la flore

DOF : Département des pêcheries

ETMa : Ecart-type médian maximum

ETMi : Ecart-type médian minimum

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

GCRN : Gestion Communautaire des Ressources Naturelles

GEE : Google Earth Engine

GIEC : Groupe d'experts sur l'évolution du climat

MAP : Mangrove Action Project

MCRM : loi sur la promotion de la gestion des ressources marines et côtières

MCZ : Zone de Conservation des Mangroves

MMU : Unité de gestion des mangroves

MONRE : Ministères thaïlandais des ressources naturelles et de l'environnement

NDII : Indice Infrarouge à Différence Normalisée

NESP : Plan National de Développement Economique et Social

NIR : Bande infrarouge proche

NOAA : Administration nationale océanique et atmosphérique

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economiques

ONF : Office National des Forêts

ONG : Organisation Non-Gouvernementale

PIB : Produit Intérieur Brut

PNCFG : Groupe Forestier Communautaire de Pred Nai

RCP : Profils représentatifs d'évolution de concentration

RECOFTC : Centre régional de formation à la foresterie communautaire pour l'Asie et le Pacifique

RESCuE : Restauration des écosystèmes côtiers durables

RFD : Département Royal des Forêts

RSE : Responsabilité Sociale des Entreprises

SROCC : Rapport spécial sur l'océan et la cryosphère dans un climat en évolution

SWIR : Infrarouge à ondes courtes

TOA : « Top Of Atmosphere »

ZEE : Zone Economique Exclusive

Introduction

La perte généralisée des mangroves est devenue une préoccupation scientifique à partir de la fin du XX^{ème} siècle (Walsh et al., 1975 ; Bosire et al., 2008). Dès les années 80, plusieurs projets nationaux (Asie et Pacifique par l'Unesco et le PNUD) s'intéressant à la valeur des mangroves ont été élaborés et ont conduit à une appréciation accrue de leur valeur. En conséquence, les premières tentatives de reboisement se sont développées avec pour objectifs : la production de bois pour le bois d'œuvre, les poteaux et le bois de chauffage ; la productivité des pêches ; la protection côtière contre les tempêtes et le respect de la législation (Saenger, 2002).

En Thaïlande, les initiatives de restauration de mangroves dégradées datent de 1960, mais cette tendance s'est davantage répandue dans les années 80. Dans ce rapport, nous définirons le terme de réhabilitation de mangroves comme étant « *le remplacement partiel ou total des caractéristiques structurelles et fonctionnelles de l'écosystème* » et la restauration totale d'un écosystème « *comme l'acte de ramener un écosystème à son état initial* ». Dans cette logique, la restauration constitue un des résultats possibles d'un effort de réhabilitation réussi (Field, 1998).

Ainsi, en 1991, le Conseil des ministres de la Thaïlande approuve un programme de restauration et de replantation de mangrove à grande échelle avec un financement global de 30 millions US\$ visant à planter 40,000 ha de mangroves entre 1991 et 1996. Cependant, les résultats obtenus se sont avérés être peu fructueux, avec un taux de survie des palétuviers plantés inférieur à 40% (Memon et Chandio, 2011). Malgré le fort engagement, les efforts de restauration et de conservation des mangroves en Thaïlande restent mitigés. En réalité, le pays est confronté à divers problèmes et défis, tant sur le plan politique qu'opérationnel, qui constituent des obstacles majeurs à une restauration réussie.

Un des principaux enjeux est le changement d'usage du sol qui engendre un défrichage des palétuviers. Jusqu'en 1991, l'élevage de crevettes a été maintenu dans les zones de mangroves, du fait du soutien par divers types de subventions directes et indirectes, ainsi que par une réglementation dérisoire sur l'établissement des bassins de crevetticulture (Huitric et al., 2002). Aujourd'hui, ils sont interdits dans les mangroves naturelles mais un autre type d'activité s'implante et menace les zones de mangroves : la culture de palmier à huile et les pollutions engendrées par la production d'huile. Combiné au développement des activités, de graves lacunes politiques et un manque de coordination entre les organismes gouvernementaux ont également, dans de nombreux cas, réduit à néant tous les efforts et tentatives déployés précédemment pour la restauration et la conservation des mangroves. Un des principaux exemples est la vingtaine de déclarations politiques faites en faveur de la protection des mangroves avec, dans un même temps, la création de politiques pour le soutien de l'expansion des bassins de crevettes dans les années 2000 (Huitric et al., 2002).

De plus, durant plusieurs années, le gouvernement a montré une hésitation quant à la délégation de son pouvoir centralisé au profit de la collectivité locale tandis que Suwannodon et al., en 1998 explicitaient au même moment, dans leurs études le succès de la réhabilitation dans des zones où une approche basée sur la communauté villageoise était privilégiée.

Plusieurs projets de réhabilitation de mangroves ont été pilotés par des forestiers à l'aide de principes d'ingénierie écologique faisant abstraction de la différence entre plantation de

palétuviers et restauration écologique de mangroves. Cette observation interroge sur la nature de l'objectif de réhabilitation : beaucoup de projets effectués consistaient à la plantation d'une ou deux espèces importantes sur le plan commerciale mais inadéquates sur le plan écologique (santé et résilience de l'écosystème et fourniture de services écosystémiques) (Ellison, 2000 ; UICN, 2017).

Enfin, le suivi et la surveillance ont été des étapes souvent négligés lors des projets de réhabilitation, les résultats sur le long terme étaient en conséquence méconnus. Les premières méthodes de surveillance proposées par images satellites ont été entravées par la couverture nuageuse persistante et la contamination atmosphérique. Les progrès techniques récents ont permis le développement des plates-formes de *cloud computing*, des algorithmes avancés de détection des nuages et des ombres, et des analyses de séries chronologiques et fournissent davantage d'informations sur l'état des mangroves au fil du temps (Pimple et al., 2018). De ce fait, la compréhension de la dynamique spatio-temporelle de réussite et d'échec des projets de réhabilitation, ou des forêts naturellement perturbées et de leur rétablissement, a été améliorée. Ainsi, l'acquisition de données issues d'images satellites, de relevés de terrain, combiné aux leçons tirées des efforts de réhabilitation ont contribué à la réussite de plusieurs projets de mangrove en Thaïlande. C'est notamment le cas du village de Pred Nai, (subdistrict de Huang Nam Khao, district de Mueang, province de Trat) qui est devenu un point de référence dans le domaine de la réhabilitation réussie. Cet exemple servira de base pour analyser la réhabilitation effectuée à Trat dans les années 1990.

Quatre hypothèses guideront notre étude. L'hypothèse nulle (H0) est la suivante : « la trajectoire temporelle d'un indice de contenu en eau du feuillage (indiquant la bonne santé physiologique des végétaux) de la mangrove naturelle est stable en l'absence de perturbations ». Nous nous attendons alors à observer une trajectoire temporelle avec une pente nulle. La valeur du NDII de 0,58 est considérée comme optimale pour une végétation en bonne santé physiologique (Pimple et al., 2020). Dans notre étude, la mangrove naturelle constitue l'état de référence.

Dans le cas d'une perturbation d'origine anthropique dans la mangrove naturelle, nous émettons l'hypothèse alternative (H1a) qui suit : « la mangrove est perturbée par des coupes forestières, la trajectoire présente d'abord une pente nulle puis une rupture de pente négative. Si la biomasse se reconstitue, la courbe présente une pente positive ». La déforestation entraîne une perte de biomasse et en conséquence, un contenu en eau des feuilles plus faible. Nous nous attendons donc à des valeurs NDII similaires à celles du sol nu (entre 0,2 et 0,3) lors des ruptures négatives, et à une pente tendant vers la valeur 0,58 si la biomasse se développe par la suite. Nous pensons aussi que « la trajectoire temporelle de l'indice NDII de la mangrove naturelle est stable en l'absence de perturbations mais qu'elle peut présenter des écarts avec le NDII réputé stable en relation avec la localisation des différents peuplements de palétuviers le long d'un gradient horizontal allant de la mer vers la terre » (H1b). Dans ce cas, l'enveloppe de tolérance des NDII pour une trajectoire de pente nulle, seraient entre 0,5 et 0,6.

Enfin, nous supposons que « les mangroves réhabilitées ont des trajectoires temporelles post-réhabilitation similaires à celle des mangroves naturelles non perturbées » (H1c). Cette dernière hypothèse constitue un critère de validation d'une réhabilitation réussie.

Nous apporterons donc des éléments de réponse à la question suivante :

En quoi la télédétection fournit-elle une aide à la compréhension des changements dans la mangrove à long terme ? Quels sont les facteurs ayant contribué à la réussite du projet de réhabilitation de mangroves à Trat ?

La première partie de ce mémoire sera accordée à un état de l'art sur le sujet, puis, la seconde expliquera la méthodologie employée. Elle abordera à la fois, des aspects techniques de télédétection, mais aussi, un travail de synthèse bibliographique sur les facteurs de réussite de la réhabilitation de mangroves. Enfin, une analyse quantitative et qualitative des résultats obtenus sera effectuée, et apportera des éléments de réponse qui seront ensuite discuter dans une dernière partie.

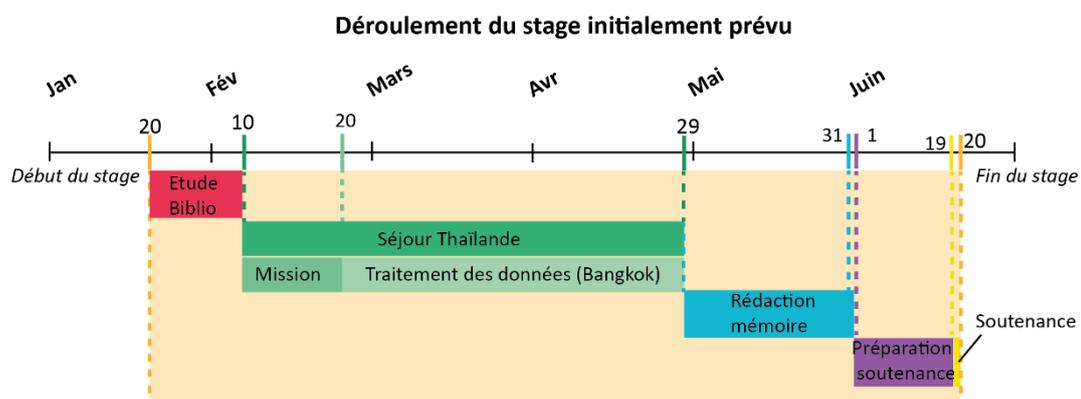
Présentation de la structure et objectifs du stage

Le stage, d'une durée de cinq mois s'est effectué au sein du Cirad. Cet Epic correspond à l'organisme français de recherche agronomique et de coopération internationale pour le développement durable des régions tropicales et méditerranéennes. A la rencontre de différentes sphères scientifiques, le Cirad poursuit des activités en lien avec le changement climatique, la gestion des ressources naturelles, la sécurité alimentaire, la réduction des inégalités et la lutte contre la pauvreté. Sa principale mission consiste d'une part, à combiner l'expertise scientifique et institutionnelle pour préconiser des politiques publiques dans les pays du Sud, et d'autre part, à mener des débats internationaux sur les grands enjeux de l'agriculture. Pour ce faire, de multiples partenariats sont développés avec une centaine de pays répartis sur le continent africain, asiatique et sud-américain.

La principale base du Cirad en France métropolitaine, se trouve à Montpellier et se répartit en quatre sites, dont le campus Baillarguet, où le stage s'est déroulé. J'étais alors rattachée au département scientifique « Environnement et société » et plus précisément à l'unité propre de recherche « Forêts et sociétés ». Cette dernière œuvre pour la conservation, la valorisation et la restauration des forêts tropicales en mettant en place, et en effectuant la promotion de pratiques de gestion durable des ressources au profit des populations rurales et de la société en général.

De ce fait, le projet RESCuE, (REStoration for Sustainable Coastal Ecosystems) débuté en mars 2018, et mené par Valéry Gond et Uday Pimple s'insère dans cette même logique puisqu'il vise à la restauration durable des écosystèmes côtiers : ici, l'écosystème de mangrove. Deux sites pilotes ont été choisis : l'un en Thaïlande (province de Trat), l'autre au Vietnam (dans le delta du Mékong), et ceci dans un but d'amélioration de la surveillance, pour optimiser la qualité de la conception de la restauration des mangroves dans les zones affectées par diverses variables (anthropiques ou environnementales). Dans le cadre de ce stage, le terrain d'étude correspondant est la Thaïlande. De ce fait, un séjour là-bas aurait dû avoir lieu entre le 10 février et le 29 avril 2020 comprenant une mission de terrain à Trat au début du séjour, puis le traitement des données récoltées aurait été fait à Bangkok au sein de l'Université de technologie de King Mongkut dans un but de cartographier les mangroves de la province de Trat par télédétection spatiale (Fig 1).

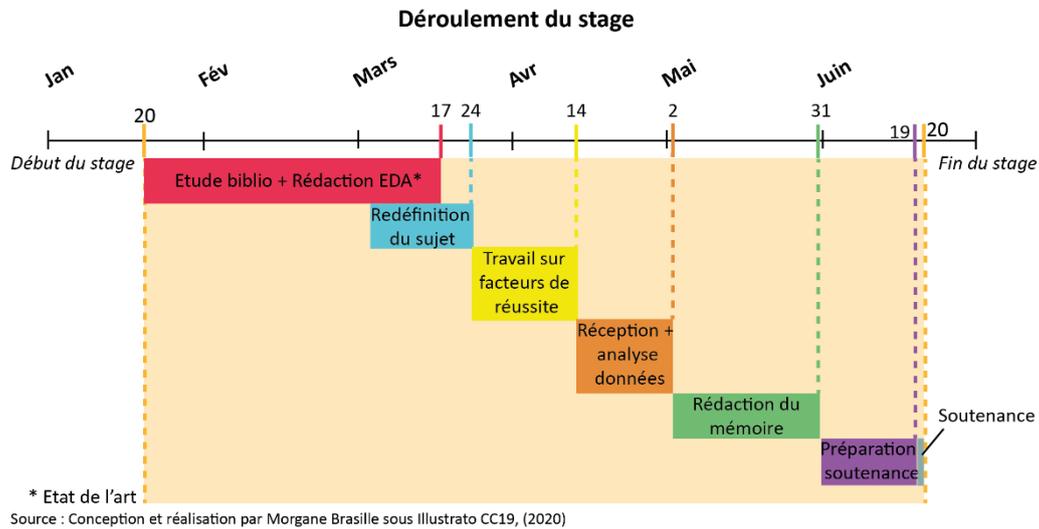
Figure 1: Déroulement du stage initialement prévu



Source : Conception et réalisation par Morgane Brasille sous Illustrato CC19, (2020)

Or, du fait de l'évolution du COVID-19 en Asie puis en France, le planning prévu a été modifié avec des dates de départ de mission décalées dans un premier temps, puis finalement, l'annulation de la mission. Des changements en lien avec notamment le sujet de stage, le recueil des données de terrain, ont eu lieu et le planning a été adapté et revu (Fig.2).

Figure 2: Déroulement du stage



Le sujet s'est donc redessiné autour de la question de la réhabilitation des mangroves effectuée à Trat en 1991. Le but premier de cette étude est donc d'analyser les différents facteurs de réussite généraux d'un projet de réhabilitation et de les comparer avec ceux spécifiques à Trat. A l'échelle du projet RESCuE, cette étude permet d'établir le lien entre le WP1 (Baseline and field survey) et le WP3 (Socio-economic modelling and PARDI). RESCuE tend à s'étendre à différentes zones telles que la Birmanie et le Cambodge et deviendra RESCuE II. Les résultats obtenus à l'issue du stage contribueront à l'amélioration de la restauration durable des forêts de mangrove de ces pays par le biais des leçons tirées du succès de réhabilitation à Trat.

Etat de l'art

1.Fonctionnement et rôles des écosystèmes de mangroves

1.1 Le fonctionnement des mangroves et des palétuviers

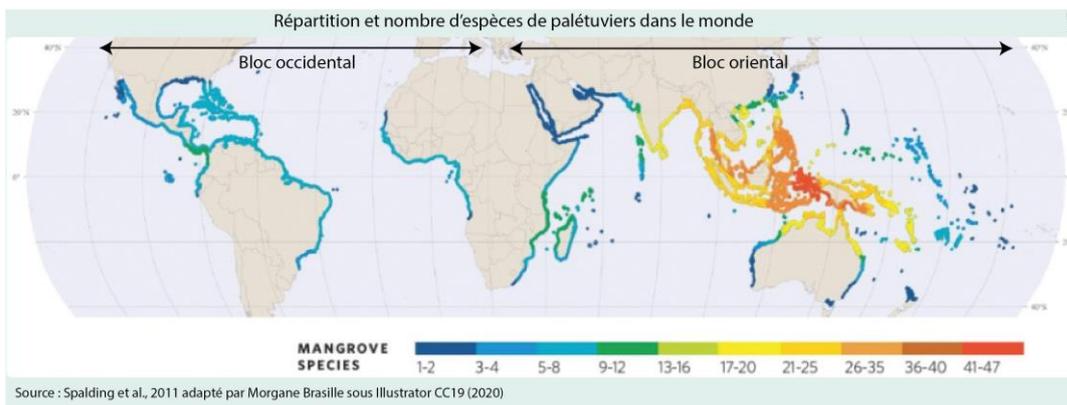
1.1.1 La structure et l'organisation des mangroves

La mangrove est une formation végétale, composée d'espèces principalement ligneuses, qui se développe dans la zone de balancement des marées, en régions intertropicales à l'interface entre la terre et la mer (Thévand, 2007). De ce fait, le terme « mangrove » décrit à la fois l'écosystème, et les familles de plantes qui ont développé des adaptations spécialisées pour vivre dans un environnement influencé par les marées (Duke, 1992 ; Blankespoor, 2016). L'écosystème de la mangrove représente une zone intermédiaire entre les communautés terrestres et marines et est de ce fait, qualifié d'écotone. Ainsi, chaque jour, il reçoit un apport en eau salée (marées), en eaux douces, en sédiments, en éléments nutritifs mais aussi en dépôts de limon provenant des rivières des hautes terres. Les mangroves peuvent avoir des tailles variables, allant des arbustes aux arbres en fonction du climat, de la salinité, de l'eau, de la topographie et des caractéristiques édaphiques de la zone dans laquelle elles se trouvent (Duke, 1992 ; Blankespoor, 2016).

Leur aire de répartition à l'échelle mondiale dépend de plusieurs facteurs. Ainsi, les deux principaux facteurs sont la température de l'air (écart saisonnier de températures inférieur à 10°C), et la température de l'eau. D'une manière générale, on constate que la limite Nord et Sud de la répartition mondiale des mangroves est assez bien corrélée avec l'isotherme de 20°C en surface de l'eau de mer, pour le mois le plus froid (Chapman 1977) (Fig.3). L'Indonésie, l'Australie, le Brésil et le Nigeria abritent environ 43 % des mangroves du monde, qui représentent une superficie globale totale d'environ près de 150 000 km² à l'échelle mondiale (Spalding et al., 2011).

Deux aires de répartition sont distinguables dans le monde. Premièrement, la mangrove orientale localisée dans la zone Indo-Pacifique, s'étalant de l'Est de l'Afrique, en passant par l'Asie du Sud-Est, l'Indonésie, l'Australie, jusqu'aux îles Polynésiennes. Elle est la plus diversifiée et accueille autour d'une quarantaine d'espèces de palétuviers différents (Spalding et al., 2010 ; Taureau, 2017). Deuxièmement, les mangroves du bloc occidental situées sur le littoral Atlantique des continents américain et africain.

Figure 3: Répartition et nombre d'espèces de palétuviers dans le monde



Des facteurs locaux tels que les courants marins, les microclimats et les précipitations déterminent la structure, la composition, et l'aire de répartition des mangroves à des échelles locales et régionales (Taureau, 2017). Ainsi, les auteurs estiment qu'il y a 50 à 70 espèces recensées dans le monde (FAO, 2007).

Un des éléments influençant la répartition des mangroves est la nature du sol. En effet, le substrat des mangroves peut être constitué de sable, des débris de coraux ou de roche, mais elle s'implante avant tout sur les côtes et le long de cours d'eau au substrat vaseux. Une partie du sol est de type aérobie, elle correspond à la surface composée de vieilles racines et de débris de bois où le processus de minéralisation s'effectue, permettant ainsi le recyclage des éléments nutritifs. L'autre partie, située en profondeur est de type anaérobie et se constitue essentiellement de racines (Portecop, Petit le Brun, 2018).

La salinité constitue donc aussi un facteur de distribution des espèces selon un gradient s'établissant de la mer vers l'intérieur des terres. Ce paramètre est influencé par la nappe phréatique, alimentée par des écoulements souterrains ou de surfaces, et par la pluie. Ces eaux polyhalines connaissent des teneurs en sel variables pendant l'année en quantité inverse de l'apport en eau douce.

La distribution des palétuviers est fortement liée aux balancements des marées qui se produisent dans les zones d'estuaires, de deltas et de lagunes. Là encore, l'inondation périodique ne serait pas une nécessité absolue pour le développement des palétuviers (Thévand, 2007). Plusieurs peuplements naturels se sont développés dans des zones ne subissant pas l'influence de la marée, en eau douce : c'est le cas dans les Caraïbes (Vegas Vilarrubia, 2000) par exemple. Cependant, une inondation régulière permettrait de « laver » le substrat, et ainsi de réguler la salinité pour permettre le développement des palétuviers (Saenger, 2002).

De plus, les eaux terrestres et marines fournissent un apport en oxygène et en éléments nutritifs (Portecop, Petit le Brun, 2018). Les sédiments chargés en minéraux, amenés par les fleuves enrichissent le marécage et servent d'ancrage aux palétuviers (Hogarth, 2015). Ainsi, des influences aussi bien marines que terrestres conditionnent le type d'espèces de palétuviers présent dans la zone (Roussel et al, 2010).

Cette diversité de facteurs va entraîner une répartition des espèces à l'échelle locale, en fonction des préférences de chaque espèce végétale (Annexe 1). Par exemple, dans le cas de la Nouvelle Calédonie, plusieurs genres d'espèces s'établissent en fonction des marées, de la salinité et de la topographie. *Rhizophora* se situe principalement dans la zone d'influence des marées biquotidiennes tandis qu'*Avicennia* dans les zones moins fréquemment inondées (Annexe 1). Certaines espèces ont un optimum de salinité bas (5 à 15 g.l-1 : *Brugiera*) ; d'autres se développent bien entre 20 et 30 g.l-1 (la plupart des *Rhizophoraceae*) ; enfin, d'autres supportent des salinités élevées (40 à 50 g. l-1 et plus : *Avicennia*) (Blasco et al., 2000). Globalement, les espèces se développent sur une pente relativement faible (pente de 1% dans le cas de l'annexe 1).

1.1.2 Les stratégies d'adaptation face à la salinité et au niveau d'eau fluctuant

Les mangroves parviennent à s'implanter sur des sols salés en raison de leurs nombreux attributs morphologiques, reproductifs et physiologiques. Ces spécialisations comprennent les racines aériennes, la germination des graines sur l'arbre mère (viviparité) et la dispersion des propagules par les marées (Alongi, 2016).

Pour croître dans des conditions où la salinité est élevée (dépend de l'apport de l'eau douce : rivière à proximité, sources souterraines, et précipitations), les palétuviers ont mis en place des stratégies consistant à exclure le sel, à le sécréter, ou à l'accumuler. La tolérance au sel varie considérablement d'une espèce à l'autre.

L'aération des racines constitue un autre type de stratégie d'adaptation pour pallier cette fois-ci aux variations du niveau d'eau liées aux marées et au problème du manque d'oxygène. Un des types de racine existant est les racines échasses qui se ramifient à partir du tronc inférieur et descendent dans le substrat. Celles-ci aident à l'oxygénation des systèmes racinaires et à la compensation de l'augmentation de pression osmotique. On compte aussi les pneumatophores des *Avicennia* qui correspondent à une longue racine disposée sur le sol où des excroissances verticales se développent facilitant aussi l'acquisition en oxygène par les tissus spongieux. Ils ont finalement une double fonction, la fonction d'absorption et la fonction respiratoire (Portecop, Petit le Brun, 2018). La respiration va s'effectuer par le biais des lenticelles présentes sur les racines du palétuvier. Ces cellules, durant la période d'exondation vont aspirer l'oxygène. Pendant la période de submersion, l'arbre va pomper l'oxygène présent dans l'eau et le stocker dans les cellules afin de laisser place à une nouvelle absorption d'oxygène pendant l'exondation (Walcker, 2015).

Les racines jouent aussi un autre rôle, celui de stabilisation de l'arbre. C'est notamment le cas des racines échasses qui répartissent le poids de l'arbre sur un sol instable (*Rhizophora*). Les racines « aériennes » qui proviennent du tronc ou des branches inférieures mais n'atteignent généralement pas le sol, renforcent ce dispositif tout au long de la croissance de l'arbre (Alongi, 2016). Existente aussi les racines de genou (*Brugiera*) qui brisent la surface mais se courbent vers le sol pour apporter au palétuvier un meilleur ancrage dans le sol. Les racines de soutien ou contreforts sont présentes chez *Xylocarpus* et *Heritiera*. Ces dernières se ramifient également à partir du tronc mais le font sous forme de structures triangulaires

aplaties, dans un but se stabiliser ces arbres pouvant atteindre une hauteur de 45 m (Alongi, 2016).

Les palétuviers ont aussi adapté leur reproduction pour en maximiser le succès dans un environnement hostile. La pollinisation se fait soit par le vent, soit par des animaux, mais toutes les mangroves dispersent leurs semis par les marées : c'est la dissémination par voie d'eau des plantules. En effet, chez les *Rhizophora*, le fruit germe sous le péricarpe, une fois la germination terminée, il tombe et la racine s'ancre dans la vase durant la marée basse (développement de l'hypocotyle) ou est entraînée à marée haute par flottaison. Le palétuvier peut être qualifié de « plante vivipare » étant donné que le processus de germination est entamé par la graine lorsqu'elle est encore dans l'arbre mère. Les vivipares présentent certains avantages tel qu'un enracinement rapide, une absorption prolongée de nutriments et un développement permettant de maximiser les chances de succès de la reproduction, et le développement de la flottabilité (Alongi, 2016).

1.2 La diversité des fonctions et les services écosystémiques

Dans cette partie, nous évoquerons les fonctions écologiques comme étant les processus biologiques de fonctionnement et de maintien des écosystèmes, et les services écosystémiques comme les bénéfices retirés par la population des processus biologiques. De ce fait, un service peut être assumé par plusieurs fonctions écologiques, et inversement, une fonction écologique peut porter à la réalisation de plusieurs services écosystémiques (Blanchart et De Tourdonnet, 2014).

1.2.1 Les fonctions écologiques

Les mangroves ont une fonction écologique qui agit à plusieurs niveaux. Au niveau physique, elles ont un rôle de barrière (« brise-lame naturel ») contre les aléas météo-marins, et protègent les côtes de l'érosion et de la houle grâce, en particulier, à leur système racinaire. L'énergie et la hauteur des vagues seraient réduites de 31% (13 à 66 % sur 100 m) (Ferrario et al, 2014 ; Narayan et al. 2016).

De plus, les racines des palétuviers, du fait de leur forte densité contribuent au piégeage des sédiments alluviaux, engendrant de ce fait une accumulation de sédiments, permettant aux jeunes plantules de s'implanter. Ce phénomène a des conséquences au niveau physique et notamment pour les écosystèmes localisés en aval de la mangrove. En effet, la sédimentation à l'intérieur de la mangrove limite la turbidité de l'eau et favorise un maintien de la clarté de l'eau, permettant ainsi le développement des coraux (lumière). Le piégeage des particules a également des implications au niveau chimique qui se répercutent sur l'ensemble de l'écosystème. Les palétuviers peuvent absorber du phosphore organique et inorganique (Thollot, 1992) ainsi que des sels nutritifs provenant des dépôts charriés par la mer et les rivières. La qualité de l'eau est donc améliorée et d'autant plus, en raison de la capacité dont elle dispose pour fixer la quantité excessive de polluants dans ses sédiments (Francoeur, 2009 ; Roussel et al., 2010).

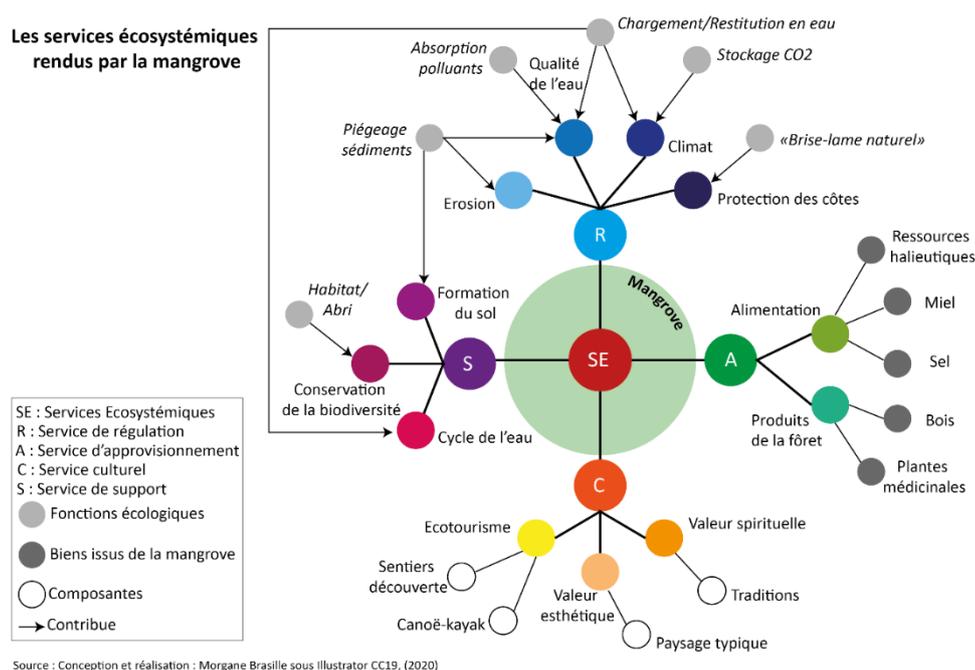
Au niveau biologique, la mangrove constitue un maillon essentiel de la chaîne alimentaire pour les organismes vivant en son sein. Ils se nourrissent de la litière constituée de matière organique provenant directement des palétuviers (les feuilles, les graines et les

branches). De ce fait, elle a une fonction d'habitat et d'abri pour la faune qui la peuple (Fig.4). Certaines espèces s'y nourrissent et s'y abritent lorsqu'elles sont au stade juvénile (crevettes, crabes et poissons). D'autres utilisent le système racinaire développé des palétuviers pour s'y fixer (algues, huîtres, et éponges). Enfin, elle offre un refuge pour les amphibiens, les reptiles, ainsi que certains mammifères terrestres et aquatiques (NOAA, 2002 ; Francoeur, 2009). Dans un contexte de changement climatique, cet écosystème apparaît comme un biome particulièrement important car il permet la réduction de l'effet de serre via la photosynthèse. En effet, les mangroves fixent le dioxyde de carbone plus efficacement que le phytoplancton (Kathiresan, Bingham, 2001). Elles capturent donc le carbone de l'atmosphère et le restitue en biomasse. En prenant en compte la réserve souterraine et aérienne stockée par les palétuviers et leur substrat, cet écosystème serait celui le plus riche en carbone au monde (Walcker, 2015). Les mangroves sont responsables de 15% du carbone séquestré dans les sédiments marins (Alongi, 2012).

Enfin, au niveau hydrologique, la mangrove contribue au rechargement en eau. Cette fonction est fondamentale, surtout dans les climats tropicaux et équatoriaux dans lesquels elles évoluent. Cet écosystème est en réalité une véritable « éponge naturelle » qui régule les crues. Pendant la saison des pluies, la mangrove se charge en eau et la restitue peu à peu pendant la saison sèche. Finalement, elle permet d'atténuer les crues et d'apporter de l'eau aux nappes phréatiques en les rechargeant pendant la période sèche

Ainsi, ces fonctions écologiques participent aux processus biologiques de fonctionnement et de maintien des écosystèmes (Fig. 4). Replacer cet écosystème à une échelle plus large permet de comprendre les différentes interactions avec les écosystèmes avoisinants. En effet, la mangrove est en réalité à la croisée de plusieurs écosystèmes dont la connexion est indispensable pour le bon fonctionnement de chacune des composantes. Situés en mer, les récifs coralliens protègent la mangrove de la houle marine (favorisent la croissance des palétuviers, dissipation de l'énergie des vagues de 97% en moyenne à distance de la côte, Ferrario et al, 2014 ; Narayan et al. 2016) qui, en échange, protège les coraux de l'apport de sédiments provenant des terres. Entre la mangrove et le récif corallien, les herbiers (composés de phanérogames) jouent un rôle d'« épurateur » d'eau avec leurs racines épaisses qui emmagasinent les substances utiles à leur croissance, ainsi qu'un rôle d'oxygénation de l'eau grâce à la photosynthèse (Fig.4). De plus, les sédiments des hautes terres non retenus par les mangroves sont piégés par les herbiers : la clarté de l'eau est donc maintenue, permettant ainsi le développement des coraux (lumière). Une relation de complémentarité existe alors entre ces trois écosystèmes : en conséquence, si l'un des trois est altéré, les deux autres seront à leur tour impactés (Office National des Forêts, 2015).

Figure 4: Fonctions de l'écosystème de mangrove



1.2.2 Les services écosystémiques rendus par les mangroves

Dans une perspective économique, les mangroves fournissent des biens et des services aux populations rurales qui vivent à proximité de ces écosystèmes. Certaines communautés en dépendent directement du fait des ressources financières qu'elles procurent (Barbier, 2001 ; Barbier 2016). Bien qu'il soit compliqué d'estimer la valeur économique annuelle d'un écosystème, celle des mangroves varie entre 200 000 et 900 000 \$ /ha par an, en fonction des biens et services qu'elles produisent. Pour comparaison, le coût de la restauration des mangroves varie de 216 à 225 000 \$ /ha (UNEP, 2007 ; Roussel, 2010).

La mangrove offre plusieurs types de services écosystémiques. Parmi ces derniers, le service de régulation englobe la protection des côtes et des populations face aux différents aléas météo-marins, la protection face à l'érosion, la protection des intrusions de sel et le maintien de la qualité de l'eau (Fig 4).

Un service d'approvisionnement, avec notamment la fourniture en ressources halieutiques, mais aussi en bois, en miel, et en plantes médicinales est rendu par les mangroves aux communautés.

Cette forêt sert de support pour plusieurs activités en lien avec le tourisme, l'éducation et la recherche. En conséquence, elle rend un service dit culturel (ex : les secteurs de l'hébergement et de la restauration bénéficient de l'attractivité des mangroves).

Enfin, l'ensemble des services nécessaires à la production des autres services sont regroupés dans les services de support. Ils créent les conditions de base au développement de la vie sur Terre. Ainsi, plusieurs fonctions écologiques assurées par les mangroves contribuent à la formation du sol, au cycle de l'eau mais aussi à la conservation de la biodiversité (Fig.4). Cependant, il est à noter que les effets de ces services sont indirects ou apparaissent sur le long terme (Blanchart et De Tourdonnet, 2014).

La mangrove, à travers les différentes fonctions et services écosystémiques variés qu'elle rend, est d'une importance cruciale notamment dans un contexte de changement climatique. Les sociétés humaines autant que les écosystèmes environnants tirent de nombreux bénéfices de sa présence. Cependant de nombreuses pressions et particulièrement d'origine anthropiques s'exercent sur cette forêt littorale et ce, partout dans le monde.

2. Pressions et principales menaces exercées sur la mangrove

Véritable interface entre terre et mer, la mangrove est considérée comme l'un des 17 biomes de la planète. Pourtant, la surface de mangroves dans le monde est passée de 19 millions d'hectares en 1980 à 15 millions d'ha en 2005, soit une perte 3,7 millions d'hectares de mangroves (FAO, 2007). Cette régression continue aujourd'hui avec une perte de surface de 1% par an (de Almeida et al., 2016). Ainsi, plusieurs types de pressions s'exercent sur les mangroves : dans un premier temps nous pourrions discerner celle de type naturel et dans un second temps celle de type anthropique.

2.1 Les menaces « naturelles » responsables en partie de la perte de surface de mangroves

Le milieu littoral dans lequel se développent les mangroves implique une exposition de ces dernières à différents aléas. Les cyclones, les tsunamis, les tempêtes, et les incendies font partie des perturbations naturelles ayant différents impacts sur l'écosystème de mangrove. Les impacts observés correspondent souvent au déracinement et à la destruction de la ceinture des palétuviers pionniers situés sur le front. Mais plusieurs facteurs rendent l'analyse des impacts plus complexes. En effet, les dommages dépendent des caractéristiques de peuplement et de l'état de santé de la forêt mais aussi de l'intensité et de la fréquence des cyclones dans la zone en question : chaque situation a sa particularité. Par exemple, la Martinique a été touchée par le cyclone Hugo, en 1989, la conséquence majeure est la perte jusqu'à 86% de biomasse des peuplements de *Rhizophora mangle* tandis que les peuplements d'*Avicennia germinans* ont subi moins de dégâts malgré une assez forte mortalité différée (Imbert, 2002).

Dans d'autres cas, l'impact peut porter sur les sédiments. La dynamique sédimentaire post-tempêtes tropicales est souvent modifiée. En résulte souvent, une sédimentation excessive (Tilmant et al., 1994). Par exemple, l'observation des impacts de l'Ouragan Irma de 2017 dans les Lower Keys en Floride, montre que les débris et les dépôts empêchent la repousse du fait d'une quantité excessive de sédiments. Les palétuviers ne disposant plus d'oxygène arrêtent leur croissance, entraînant dans certains cas leur dépérissement (Spurrier et al., 2019). Ce processus peut aussi se révéler être positif pour les mangroves en raison de l'apport de nutriments pouvant engendrer la pédogénèse (Ellison, 1998).

Parmi les spécificités régionales existantes dans le monde, on compte les mangroves de Guyane qui sont soumises à une dynamique côtière très spécifique à la zone. En effet, elle est influencée par le plus grand fleuve du monde : l'Amazone. Ce fleuve transporte une quantité importante de particules en suspension dans l'eau et connaît des variations interannuelles de débit liquide et solide. Les sédiments sont donc déchargés dans l'estuaire,

puis migrent vers les côtes du continent du fait des courants de surfaces, des courants marins, des courants de marées et des alizés d'Est. Des bancs de vase rencontrés en Guyane à la suite de leur migration ont pour origine 20% de l'apport de l'Amazone. Ils peuvent être très étendus (dizaine de kilomètres de large et de long) et se composent de zones d'accumulation (profil convexe) et de zone d'érosion (inter-bancs à profil concave). En fonction de leur orientation à la houle, certaines zones seront stables et agiront en tant que barrière de protection de la houle, favorisant ainsi la colonisation d'espèces pionnières de mangrove. Ainsi, le facteur climatique et océanique associé à l'apport en sédiments de la part de l'Amazone forme un système sédimentaire côtier dynamique. Il conditionne alors le fonctionnement et le développement des mangroves (Walcker, 2015). Le résultat de ce processus de migration des bancs de vases correspond à un étagement marqué de l'âge des palétuviers, créant ainsi une dynamique de peuplement localisé (Paskoff, 2004).

2.2 Les menaces anthropiques

2.2.1 L'aménagement et l'urbanisation du territoire

L'aménagement et l'urbanisation non-durables des territoires sont une des principales causes de dégradation des mangroves (routes, zones commerciales et industrielles, résidences) car près de 50% des mangroves sont situées à moins de 25 kilomètres des villes de 100 000 personnes ou plus (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

La pression démographique croissante se traduit par l'accroissement du besoin foncier. Toutefois, le développement rapide, est souvent peu contrôlé et géré, et les fonctions et services écosystémiques rendues par les mangroves peu considérées. De ce fait, une pression sur les espaces naturels s'exerce car ils sont souvent les moins onéreux à reblayer. Ainsi, de nombreuses opérations de remblaiement engendrent en conséquence une rupture dans la dynamique de la mangrove (continuité hydrologique, sédimentaire). C'est le cas à Jarry, (Guadeloupe), où une zone commerciale et industrielle de 900 ha s'est développée dans une zone de mangrove (Tuffnell, Bignon, 2019). De plus, la construction et les aménagements engendrent l'imperméabilisation des sols, ce qui augmente le ruissellement et les risques d'inondations.

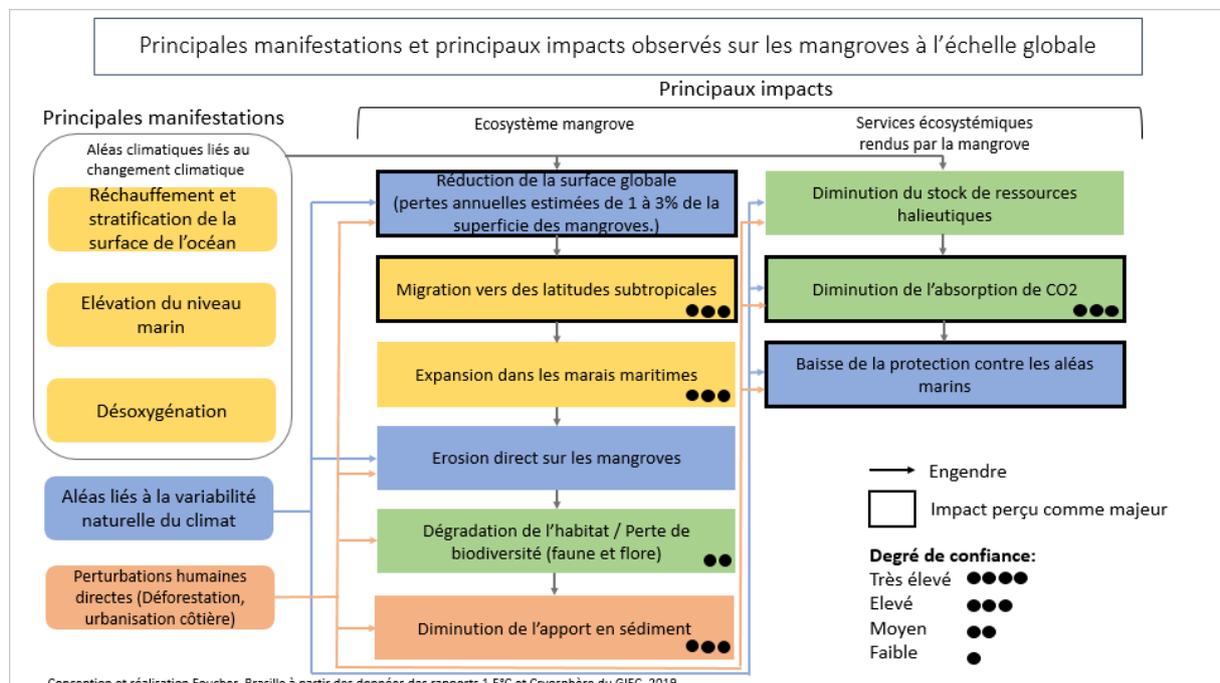
Enfin, le dragage (extraction de sable) a un fort impact sur les mangroves lors de la construction et l'entretien des ports. Les rejets composés de sédiments cohésifs entraînent une hyper sédimentation et perturbent le système racinaire essentiel à la respiration des palétuviers en bouchant les lenticelles (Roussel et al., 2010). La qualité des eaux est modifiée : la turbidité augmente, la lumière est donc réduite ce qui vient perturber la croissance des coraux, maillon essentiel dans le bon fonctionnement de l'écosystème de mangroves (Adekunbi et al., 2018).

2.2.2 Le changement climatique

Il est maintenant admis que le changement climatique mondial est causé principalement par les activités anthropiques (Roussel et al., 2010).

Il se manifeste pour les mangroves de plusieurs façons : augmentation de la température de l'eau de surface, élévation du niveau marin, désoxygénation, modification du régime des précipitations et de la salinité, intensification des tempêtes. Pour comprendre les impacts du changement climatique sur les mangroves, il faut s'intéresser aux rapports produits par le groupe d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) : le rapport spécial sur « Les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1.5°C » (Rapport Spécial 1,5°C) de 2018 et celui sur « L'océan et la cryosphère dans un climat en évolution » (SROCC) de 2019.

Figure 5: Principales manifestations et principaux impacts observés liés au changement climatique sur les mangroves à l'échelle globale



La figure ci-contre reprend les éléments mentionnés dans les deux rapports spéciaux évoqués précédemment. Les aléas liés au changement climatique altèrent l'écosystème. L'impact majeur sur les mangroves est la réduction de leur surface globale et leur migration vers des latitudes subtropicales. Le degré de confiance accordé par le GIEC quant à cet impact est élevé. Celui-ci est établi en fonction d'une grille prenant en compte d'une part, les « preuves » et d'autre part les « accords » (Annexe 2). Ainsi, un degré de confiance élevé correspond à une preuve dite robuste, et à un accord « élevé ». D'autres types d'impacts sont aussi engendrés avec notamment leur expansion vers l'intérieur des terres (lorsque ceci est possible) mais aussi l'érosion engendrant une dégradation de l'habitat et enfin la diminution de l'apport sédimentaire pourtant nécessaire à l'enracinement des palétuviers (Fig. 5). Par ailleurs, les fonctions et les services écosystémiques sont altérés en raison des manifestations en lien avec le changement climatique mais aussi en lien avec la variabilité naturelle du climat

et les actions anthropiques directes. Les principaux impacts concernent, la diminution des capacités d'absorption du CO₂ des mangroves (dans un contexte d'augmentation de rejets de gaz à effet de serre) mais aussi, la baisse de la protection contre les aléas météo-marins lorsque les prévisions indiquent une intensification des tempêtes tropicales (Rapport Spécial 1,5°C, 2018 ; SROCC, 2019).

Les membres du GIEC ont émis des prévisions sur le climat selon deux scénarios. En fonction de ces derniers, les risques projetés sur les mangroves diffèrent. Selon le RCP 2.6 (0,3-1,7°C), un réchauffement planétaire moyen supérieur à 1,3 ° C engendre un risque modéré pour les mangroves, le degré de confiance accordé est moyen. Cependant, un degré de confiance élevé est donné quant à une capacité plus élevée des organismes et des écosystèmes à s'adapter dans des scénarios de réduction des émissions. Toutefois, selon cette étude, les mangroves devraient survivre jusqu'en 2100 suite à l'augmentation de l'intensité des tempêtes et du niveau de la mer (degré de confiance moyen). Selon le RCP 8.5 (2,6-4,8°C), les mangroves courent un risque élevé de perte locale totale d'ici 2100. Enfin, un degré de confiance moyen est donné quant à la survie des mangroves jusqu'en 2050 suite à l'augmentation de l'intensité des tempêtes et du niveau de la mer (SROCC, 2019). Ces prévisions sont faites à l'échelle globale, mais les mangroves ont des comportements différents à une échelle plus locale (dépend de la vulnérabilité de des espèces d'arbre, de la configuration du site et des activités humaines).

Concernant l'élévation du niveau marin et ses effets, les chercheurs détiennent plus d'informations pour les zones de mangroves de l'Océan Pacifique et ses îles (16 îles basses comprennent des mangroves naturelles). Pour la période de 1990 à 2100, les prévisions indiquent que le niveau de la mer augmenterait de 9 à 88 cm (Gilman et al., 2006). Selon eux, la réaction principale de la part des mangroves dans cette zone, correspondrait à une migration vers l'intérieur des terres (Roussel et al., 2010). En présence d'une barrière physique (naturelle ou anthropique) empêchant la migration, l'oxygénation des tissus par les racines serait impactée ce qui engendrerait une diminution des surfaces de mangroves dans un premier temps, et dans un second temps, une disparition. « *Ainsi, à l'horizon 2100, une réduction de 13 % de la surface actuelle des mangroves (524 369 ha pour les 16 îles du Pacifique possédant des mangroves naturelles) pourrait être possible.* » (Gilman et al., 2006). De plus, la modification du milieu avec le passage d'un type aérobie à anaérobie ne serait pas supporté par les espèces appartenant aux groupes *Avicennia*, *Sonneratia*, *Ceriops*, *Xylocarpus* et *Laguncularia* (Paskoff, 2000). Cependant, les espèces disposant de racines échasses tels que celles appartenant à *Rhizophora* seraient moins contraintes par l'élévation du niveau de la mer mais serait confronté au problème de l'incapacité des plantules à prendre racine si l'eau est trop haute (Paskoff, 2000).

Compte tenu des scénarios émis et des impacts prévus sur la mangrove, cette dernière va en conséquence développer des adaptations face aux changements de température, de salinité, d'élévation du niveau de la mer. D. Alongi (2015) a émis quelques prévisions pour différentes zones géographiques (Annexe 3). Ces prévisions indiquent que les forêts de mangroves connaîtraient peu de changement ou bénéficieraient même de changement positif dans les zones où les précipitations devraient augmenter, comme en Asie du Sud-Est et le long des côtes occidentales et centrales de l'Afrique. Néanmoins, les forêts de mangroves

diminueraient à mesure que l'aridité augmenterait dans certaines parties des Caraïbes, de l'Amérique centrale et du Sud et de l'Asie du Sud (Alongi, 2015).

2.2.3 L'agriculture et l'aquaculture

L'agriculture et l'aquaculture font parties des principaux moteurs de déforestation de la mangrove. Les surfaces de mangroves sont donc coupées dans un but de conversion des terres. De ce fait, au Myanmar, l'expansion agricole pour la production de riz a représenté plus de 20 % du changement total des mangroves en Asie du Sud-Est entre 2000 et 2012 (Richards et Friess, 2016).

La surexploitation des ressources halieutiques des océans du monde combinée à une augmentation de la population humaine a eu pour conséquence le développement de l'aquaculture dans un objectif de répondre à l'augmentation de la demande venant de la population. L'aquaculture a connu une croissance exceptionnelle dans les années 80, et particulièrement la crevetticulture, en raison de la forte demande, de l'amélioration des technologies, de la modernisation des écloseries et de l'introduction de formules alimentaires conçues pour favoriser la croissance des crevettes (Rönnbäck, 2001). Surtout présente en Asie de l'Est, le développement de la crevetticulture est responsable de la perte de 38% de mangroves dans le monde (Francoeur, 2009). Les impacts seront développés dans la partie 3.2.1 de ce rapport.

2.2.4 Les déversements et pollutions

Du fait de l'activité anthropique, les mangroves sont altérées par différents déversements et pollutions. Ces dernières sont principalement liées aux égouts, à l'industrie, aux forages, et aux rejets agricoles et urbains. Ces écoulements sont composés d'éléments chimiques toxiques, des déchets solides, des polluants organiques, et des nutriments.

Les activités anthropiques des zones côtières tropicales sont responsables de la présence de fer, de zinc et de plomb dans les sédiments de mangroves. Il en est de même pour les polluants organiques tels que les hydrocarbures raffinés, les hydrocarbures chlorés (DDT, PCB), les phénols. Les hydrocarbures pétroliers figurent parmi les principaux polluants rencontrés dans les écosystèmes de mangroves (Semboung Lang, 2014). Les pores des palétuviers sous l'effet de ces déversements sont recouverts, ce qui engendre une insuffisance en oxygène et provoque la mort des palétuviers. De surcroît, les composants toxiques attaquent les membranes cellulaires des racines venant en conséquence, perturber le système en charge de réguler la salinité à l'intérieur de l'arbre (Semboung Lang, 2014).

Par ailleurs, les déchets solides, apportés par les rivières ou déposés de manière volontaire, retrouvés dans les mangroves sont principalement le plastique et les tissus. Ils se bloquent dans les racines échasses et peuvent aussi impacter la croissance des jeunes plants en s'enroulant autour. La conséquence est une perturbation dans la régénération des mangroves (De Grandcourt, 2016).

Le rejet des eaux usées, même traitées au préalable par des stations d'épuration, détiennent des concentrations en azote élevées. Le milieu est alors exposé au risque d'eutrophisation, et notamment à proximité des exutoires qui concentrent les plus grandes

quantités (De Grandcourt, 2016). Ces déversements et pollutions peuvent entraîner des dégradations d'envergures différentes : du dysfonctionnement des écosystèmes à la disparition complète (Roussel et al., 2010).

2.2.5 La modification de l'apport en eau douce

L'apport en eaux douces, provenant des petits cours d'eau du bassin versant ainsi et des pluies durant la saison humide, joue également un rôle important car elle permet un apport en nutriments et en matière organique d'origine terrigène (Herteman, 2010). Le détournement des cours d'eau représente un risque pour le maintien en bonne santé de la mangrove. Celle-ci dépend beaucoup de la quantité d'eau douce qui lui arrive en amont. Ainsi, les aménagements de type barrage, ou conçus pour l'irrigation et l'extraction d'eau, ont un véritable impact sur la salinité, la sédimentation des sols (et davantage en saison sèche) et sur la qualité et quantité des eaux douces (Roussel et al., 2010).

3. Les mangroves de Thaïlande

3.1 Généralités et état des surfaces

3.1.1 Autécologie des mangroves

Figure 6: Surfaces de mangroves en Thaïlande en 2015

Surfaces de mangroves en Thaïlande en 2015



Source : Conception et réalisation Morgane Brasille (2020) sous Qgis 2.18 avec fond de carte GADM d'après les images Landsat/Copernicus ©Google 2015

Les forêts de mangroves se situent sur les zones de marée boueuses à l'embouchure des rivières et le long des côtes Sud et Est, plus précisément dans le golfe de Thaïlande, et sont fortement concentrées sur le pourtour de la mer d'Andaman (Fig. 6). Le delta du Chao Phraya abrite également une diversité d'espèces de palétuviers considérable. Ces forêts de mangroves thaïlandaises bénéficient d'un climat de savane tropicale caractérisé par de faibles précipitations et une forte sécheresse pendant l'été et l'hiver (Aksornkoae 1993).

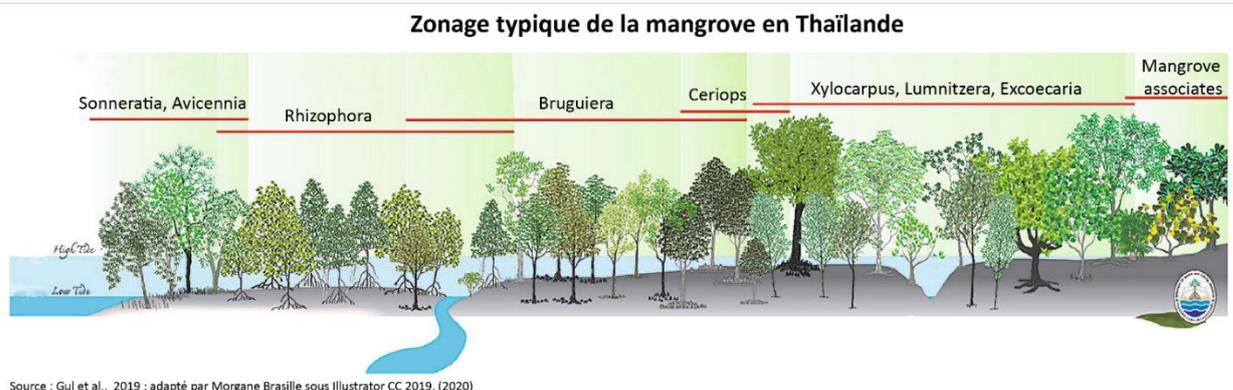
Deux strates sont distinguables au sein de la mangrove. D'une part, la supérieure qui atteint 20 m de hauteur et comprend notamment *Rhizophora*. D'autre part, la strate inférieure qui est dominée par *Bruguiera*. Dans la zone

d'accumulation de la boue (côté terre selon un gradient horizontal partant de la mer), le sol est plus sec et laisse place aux fougères et aux herbacées formant des forêts à feuilles persistantes.

Le substrat est constitué d'accumulation de sédiments provenant directement de l'érosion côtière ou des berges des rivières ainsi que de l'érosion des sols situés dans la partie amont

des bassins versants, qui sont alors transportés par les rivières et les canaux. Les sédiments côtiers sont constitués de sable tandis que les sédiments des rivières sont plus fins et boueux. La matière organique dégradée constitue également le sol des mangroves (Aksornkoae 1993). La répartition des espèces de palétuviers est liée aux propriétés physiques, chimiques, et salines des sédiments, au drainage et à l'hydrologie, ainsi qu'à l'humidité des sédiments et à la fréquence des inondations (Aksornkoae 1999 ; Pumijumnong, 2014). Les espèces de mangroves poussent généralement le long des berges, et les espèces sont clairement distinctes (Fig.7). L'espèce pionnière est *Avicenniaceae*, suivie de *Rhizophoraceae*, et de *Sonneratiaceae*. *Avicennia alba* et *Avicennia officinalis* poussent dans des endroits distincts : *Avicennia alba* se développe principalement autour de l'embouchure du fleuve, sur un sol composé d'argile et de limon. *Avicennia officinalis* se trouve souvent le long de petits canaux, où les sédiments sont des limons sableux et argileux (Bureau du département de la conservation des mangroves, 2010 ; Pumijumnong, 2014).

Figure 7: Zonage typique de la mangrove en Thaïlande



Source : Gul et al., 2019 ; adapté par Morgane Brasille sous Illustrator CC 2019, (2020)

3.1.2 Evolution des surfaces et pressions localisées

Les différentes menaces auxquelles les mangroves du monde entier sont confrontées sont identifiables aussi à l'échelle de la Thaïlande. Par exemple, le tsunami de 2004 a touché six provinces le long de la côte de la mer d'Andaman : Trang, Krabi, Phuket, Phang Nga, Ranong et Satun. Dans cette partie du pays, les dégâts ont été relativement importants dans les zones où les mangroves et autres « zones tampon naturelles » ont été supprimées ou gravement dégradées (Harakunarak et Aksornkoae, 2005 ; Barbier, 2006). On peut aussi relever la conversion des mangroves en des terres agricoles (palmiers à huile, cocotiers et hévéas) dans les provinces de Phang Nga et de Krabi, ou encore des concentrations de métaux lourds (présence de zinc dans les racines d'*Avicennia alba* : 9.77-4.58 $\mu\text{g. g}^{-1}$) dans les mangroves de la province de Surat Thani (Danpradit, 2012 ; Pumijumnong, 2014). De ce fait, en Thaïlande, la perte des surfaces initiales de mangrove, entre 1961 et 1996 est de 55% et le regain à la suite de la recolonisation entre 1996 et 2009, de 45% (Tab. 1) (Molnar, 2012).

Tableau 1: Evolution des surfaces de mangroves en Thaïlande entre 1961 et 2009

Evolution des surfaces de mangroves en Thaïlande entre 1961 et 2009												
Années	1961	1975	1979	1986	1989	1991	1993	1996	2000	2004	2007	2009
Surface (ha)	372 356	312 700	303 308	196 436	180 607	173 822	168 682	167 584	238 329	252 977	229 618	244 000
Source : Données converties de Rai en Hectare / Données de 1961 à 2004 (DMCR, 2005) / Données de 2007 : Interprétation LANDSAT-5 Satellite 2007 / Données de 2009 : Jumnongsong et al., 2015												

Les mangroves thaïlandaises sont confrontées à trois grands types de pressions localisées. Les zones restantes de mangrove sont utilisées et exploitées de manière non raisonnée par les habitants, en particulier le long de la côte d'Andaman à Ranong, Krabi, Trang, Satun et Phuket. Puis, celles-ci sont menacées par l'empiètement des populations et de leurs activités dans les forêts de mangroves. Initialement, la cause de l'empiètement correspondait à la surexploitation de charbon de bois, mais aujourd'hui celui-ci provient des éleveurs de crevettes, c'est notamment le cas dans le golfe de Thaïlande orientale et dans les provinces de Surat Thani, Chantaburi, et Nakhon Si Thammarat. Enfin, la vente des titres fonciers en raison des pertes dues à une utilisation antérieure constitue une dernière menace. S'ajoute à ceci, des causes d'empiètement supplémentaires correspondantes à l'expansion urbaine et industrielle, à la construction de routes et jetées, et à l'utilisation des zones de mangrove pour l'agriculture. La principale conséquence de ces constructions est l'érosion côtière, puisque les racines des palétuviers ne stabilisent plus le sol. Ce processus est fortement présent dans les provinces de Samut Prakarn, Samut Sakhon, Phetchaburi, Samut Songkhram et Chacheongsao (Pumijumong, 2014).

3.2 Les principales activités économiques liées aux mangroves

3.2.1 L'importance de la crevetticulture en Thaïlande

Histoire du développement de la crevetticulture en Thaïlande

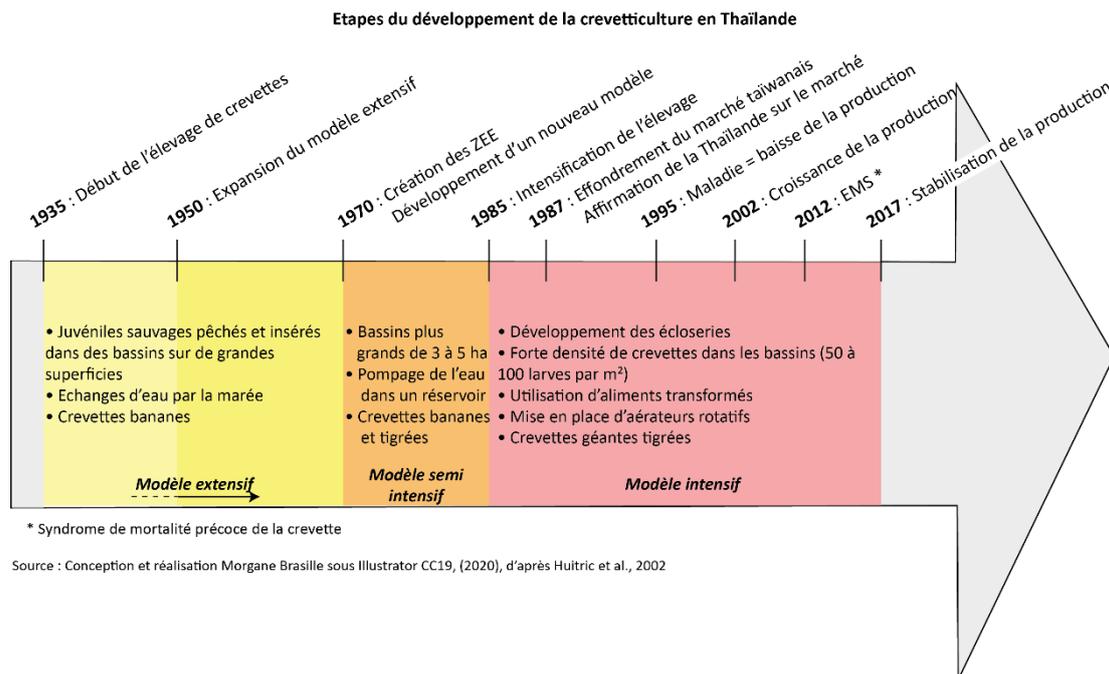
L'élevage de crevettes en Thaïlande a débuté de manière extensive en 1935, le long de la côte Est du golfe de Thaïlande dans des rizières à faible rendement (Flaherty et Karnjanakesorn, 1995 ; Huitric et al., 2002). Une dizaine d'années plus tard (dans les années 50), la baisse du prix du sel combiné à des prix de vente rentables pour les éleveurs, ont conduit à l'expansion de l'élevage extensif de crevettes (Département des pêches (DOF), 1997). Dès 1973, le modèle d'élevage évolue vers un élevage semi-intensif. La principale cause de cette transformation est la création des Zones Economiques Exclusives (ZEE) dans les années 70, combiné à une hausse des prix du pétrole (augmentation du prix du carburant) engendrant, une perte de surface de pêche et un accès restreint aux ressources pour la Thaïlande incitant à la création d'écloseries (Fig.8).

Au milieu des années 80, la technologie développée à Taïwan a permis l'intensification de l'élevage de crevettes, mais très rapidement la production est impactée par une maladie liée à la forte densité de crevettes et d'intrants. La Thaïlande a donc profité de cette

catastrophe taïwanaise pour occuper une place plus grande sur le marché de la crevette, engendrant une augmentation du nombre de fermes (DOF, 1997 ; Huitric et al., 2002). Subventionnée par le gouvernement, elle est rapidement devenue une importante industrie d'exportation et la Thaïlande le plus grand producteur mondial de crevettes tigrées en 1991 (Huitric et al., 2002). En conséquence, de nombreuses surfaces de mangroves ont diminué en raison de l'empiètement des bassins de crevetticulture au sein de cette forêt. En effet, dans la région de Chanthaburi, entre 1975 et 1988, les zones de mangroves ont diminué de 26 100 ha à 14 507 ha, soit une diminution de 44% (Lebigre, 1997).

En 1995, le marché thaïlandais de la crevette est impacté par la même maladie que celle apparue à Taïwan (Kautsky et al., 2000 ; Huitric et al., 2002). La pression sur les surfaces de mangroves a perduré en raison de la crevetticulture qui a longtemps représenté plus de 50 % du total de la production aquacole, dont la Thaïlande était le 4^{ème} pays producteur mondial (FAO, 2019). Cependant, la production de crevettes a été divisée par deux entre 2012 et 2013, passant de 632 000 tonnes, son maximum depuis les années 80, à 345 000 tonnes (puis a continué de baisser jusqu'en 2014) du fait du syndrome de mortalité précoce (bactérie *Vibrio parahaemolyticus*). Elle est en cours de stabilisation, mais n'était que de près de 350 000 tonnes en 2017 (Annexe 4 ; FAO, 2019).

Figure 8: Etapes du développement de la crevetticulture en Thaïlande



La crevetticulture en Thaïlande s'est développée selon plusieurs modèles d'exploitation jusqu'à atteindre le système le plus intensif. Malgré des périodes de baisse de la production, environ 100 000 ha de mangroves ont été supprimés entre 1975 et 1986 dans un but de création de bassins d'élevage de crevettes (Lebigre, 1997). Ces données sont officielles et ne comptabilisent pas le nombre de bassins illégaux créés ...

Les raisons de l'implantation de fermes crevetticoles dans les forêts de mangroves

Le premier aspect est d'origine technique. La crevetticulture, est fortement dépendante du milieu environnant, et d'autant plus dans le cas où les fermes n'investissent pas dans des installations de traitement de la gestion de l'eau et des étangs. Ainsi, la mangrove, qui héberge des alevins sauvages, du poisson pour l'alimentation, et dispose d'une capacité de traitement de l'eau, est utilisée librement et sans compensation (Primavera, 1998 ; Huitric et al., 2002). De plus, les mangroves fournissent de bonnes conditions : eau saumâtre, terres bon marché, zones basses, abondance de juvéniles, constituant alors un cadre pratique, facilement exploitable (Kongkeo, 1995 ; Huitric et al., 2002).

La politique gouvernementale a aussi joué un rôle prépondérant dans l'installations des fermes dans les zones de mangroves notamment en favorisant le droit de la propriété. Avant les années 50, il n'y avait pas de processus standard pour l'acquisition de terres, ni de mesures prédéfinies pour la délivrance de documents concernant les titres fonciers. En 1954, le Code foncier de la Thaïlande a été adopté, mettant ainsi en place une procédure à suivre pour l'acquisition des terres. Cette procédure était relativement simple, peu onéreuse et les exigences pour le locataire, minimales, puisqu'il suffisait de replanter après l'exploitation forestière sur les terres appartenant encore à l'Etat (Huitric et al., 2002).

Puis, en 1987, le Département royal des forêts (RFD) a créé et adopté le Plan d'utilisation des terres. Le plan a ainsi instauré une délimitation des zones de conservation de mangroves, dans un but de restreindre l'accès des exploitants de crevettes aux mangroves. Malgré les réglementations du plan de 1987, les crevettiers ont continué leur empiètement dans la mangrove (et dans les zones de conservation) avec notamment la construction de canaux pour pomper l'eau et rejeter les effluents des étangs. L'abondance des terres disponibles et les frais relativement peu élevés des titres fonciers couplés à des politiques non incitatives à gérer les ressources de manière durable (politiques gouvernementales sur l'agriculture orientée vers l'exportation) ont entraîné une dégradation des mangroves (Lebel et al., 2002).

Des incitations contradictoires ont accentué la dégradation des mangroves. En 1997, le ministère des Pêches déclarait qu'il favoriserait l'expansion de l'industrie de la crevette en louant les zones de mangroves restantes. Tandis que cette même année, le Département royal des forêts annonçait qu'il investirait dans la replantation des zones de mangroves. De manière générale, le gouvernement thaïlandais a surtout servi les intérêts de grandes entreprises dans la chaîne de production de crevettes (fournisseurs d'aliments et de produits chimiques, entreprises de transformation) au détriment des besoins des communautés rurales relatifs à la pêche dans les zones de mangroves (Lebel, 2002). Au regard du déroulé des événements et choix politiques effectués, le constat tend à dire que ce sont des facteurs institutionnels et inter-institutionnels qui ont contribué, en partie, à la perte de surfaces de mangroves.

Les impacts de la crevetticulture sur l'écosystème de mangroves

En Thaïlande, 48% de la surface des mangroves estimée en 1961 a été convertie en bassins pour l'exploitation du sel et l'aquaculture avant les années 80 (Szuster, 2006 ; Molnar 2012).

La construction d'élevages de crevettes entraîne directement la perte de surface de mangrove et affecte la qualité des services écosystémiques. Ainsi, les principaux effets sont la modification de la dynamique hydrologique, l'augmentation de la sédimentation et de la turbidité des eaux de surface, et l'eutrophisation (introduction excessive de nutriments) (Alongi, 2002 ; Molnar, 2012). De plus, la crevetticulture entraîne la réduction des stocks sauvages de poissons (farine de poisson pour l'alimentation) et de larves de crevettes, utilisées pour l'élevage (Primavera, 1998 ; Huitric, 2002).

Inversement, l'introduction accidentelle d'espèces non endémiques peut causer une modification de la biodiversité et du patrimoine génétique de la population naturelle et peut perturber la structure interne de l'écosystème (Primavera, 1998 ; Molnar, 2012). Enfin, des antibiotiques sont souvent utilisés pour l'élevage et modifie l'équilibre écologique tout en augmentant la résistance des pathogènes dans le milieu.

Le principal problème est le renouvellement de l'eau : en théorie, les échanges d'eau dans les bassins d'élevage évoluent en fonction du stade du cycle biologique de la crevette, passant dans le premier mois, de 0 % à 30 % du volume d'eau par semaine lors des dernières étapes de croissance (Wolanski *et al.*, 2000 ; Francoeur, 2009). Toutefois, de nombreux éleveurs utilisent des installations inadéquates ayant pour conséquence le rejet quotidien de 30 à 40% des eaux usées dans le milieu (Francoeur, 2009).

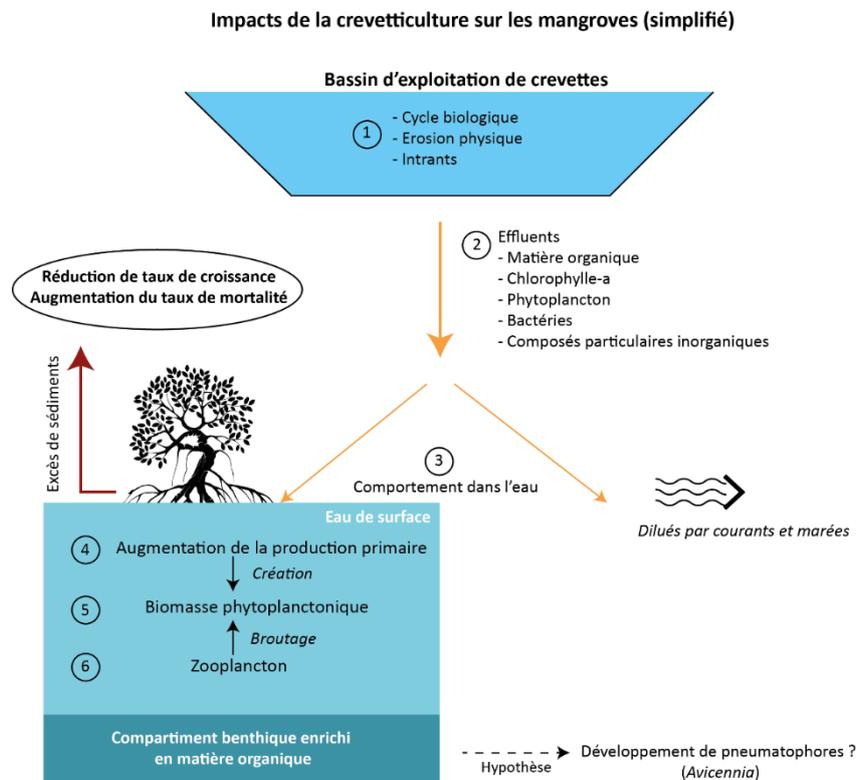
Les composants des rejets proviennent des cycles biogéochimiques qui se mettent en place (processus de recyclage de la matière organique dans la colonne d'eau et dans les sédiments de fond de bassins, production primaire planctonique et benthique), de l'érosion physique des bassins et du surplus d'intrants (Fig.9).

Ainsi, les effluents riches en nutriments et en matière organique ont pour conséquence, une augmentation de la production primaire en surface qui est par la suite, en partie, intégrée en biomasse phytoplanctonique et microbienne favorisant l'action de broutage par le zooplancton. Le reste est dilué par les courants liés aux marées ce qui explique que les impacts des effluents sont localisés et ne durent pas dans le temps (Thomas *et al.*, 2010). Cependant, les effets sur le compartiment benthique restent encore sous étudiés. Toutefois, N. Molnar, en 2012 a émis l'hypothèse selon laquelle la zone de végétation à *Avicennia* montrerait une certaine dynamique par rapport aux apports des effluents (Fig.9). En effet, l'enrichissement en matière organique induirait le développement accru de pneumatophores, dont l'activité physiologique associée à la bioturbation par les crabes (forte présence du fait de l'augmentation de la matière organique), contribueraient à maintenir une oxygénation des sédiments (Molnar, 2012).

Une étude réalisée à Pak Phanang (2007) suggère que les mangroves pourraient tolérer des résidus chimiques rejetés du fait de leur résistance (biofiltre) mais leur capacité à faire face aux sédiments solides dragués des bassins serait limitée. Des différences de tolérance en fonction de l'espèce auraient été observées : *Avicennia marina* disposerait d'une plus forte tolérance comparée à *Bruguiera cylindrica*. Le résultat global montrerait cependant, une

réduction du taux de croissance et une augmentation du taux de mortalité du fait de l'excès de sédiments (Vaiphasa et al., 2007).

Figure 9: Impacts de la crevetticulture sur les mangroves (simplifié)



Source : Conception et réalisation Morgane Brasille sous Illustrator CC19 (2020) d'après Molnar et al, 2012

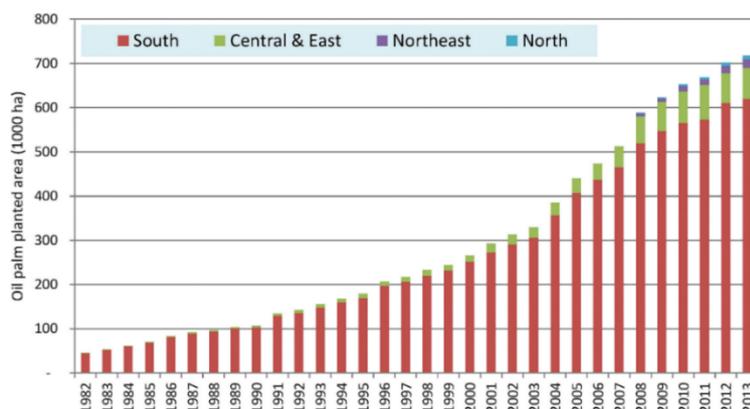
La crevetticulture est une activité qui a été largement soutenue par l'Etat thaïlandais à la fin du XX^{ème} siècle avec notamment des politiques visant à l'exportation de la production et, une demande, qui dans un même temps, a été croissante. C'est une des raisons pour laquelle, aujourd'hui, elle est fortement ancrée dans l'économie thaïlandaise. Les logiques d'implantation des bassins d'exploitation engendrent des menaces sur les mangroves qui constituent un terrain propice à l'installation de l'exploitation crevette. En effet, les bassins sont de grandes surfaces et conséquence, empiètent dans ces forêts qui sont détruites pour laisser suffisamment d'espaces pour l'élevage de crevettes. De plus, cette activité génère des effluents qui constituent une forme de pollution pour les palétuviers. Cependant, ce secteur économique représente une source d'emplois pour la population mais est aussi à l'origine de plusieurs conflits d'usages. Entre bénéfices économiques et impacts négatifs sur l'environnement, la question de la durabilité de la crevetticulture se pose.

3.2.2 La culture du palmier à huile : un secteur en pleine expansion en Thaïlande

Malgré son industrialisation, la Thaïlande reste tournée vers l'agriculture (8,3 % du PIB en 2016 et 33,3 % de la population active en 2016 ; Banque Mondiale, 2017). Le pays est le troisième producteur d'huile de palme au monde derrière l'Indonésie et la Malaisie, avec une production équivalente à environ 3% de la production mondiale (Silalertruksa et al., 2017). La majorité (85%) des plantations et des usines pour l'extraction se trouvent dans le sud du pays (Fig.10) en raison des conditions climatiques appropriées (100 mm de précipitations par mois et une période de sécheresse ne dépassant pas trois mois), (Petchseechoung, 2017 ; Silalertruksa et al., 2017). Cependant, au cours de la période 2008-2012, les plantations de palmiers à huile se sont étendues dans les régions du Nord (1%), du Nord-Est (3%) du centre et de l'Est (10%) en raison du soutien du gouvernement à l'huile de palme dans le cadre de son plan de développement des énergies alternatives (Fig.10).

En 2016, les zones de plantation de palmiers à huile totalisaient 752 000 ha, contre 656 000 ha produisant un total annuel de 11,2 millions de tonnes d'huile de palme (Petchseechoung, 2017).

Figure 10: Evolution des surfaces de plantation de palmiers à huile en Thaïlande de 1982 à 2013



Source : Silalertruksa et al., 2017

Les surfaces cultivées de palmier à l'huile devraient augmenter de 480 000 ha (3 millions de rai) dans les années à venir en raison des différentes stratégies émises par le Ministère de l'agriculture et des coopératives agricoles (« Stratégie de développement des industries du palmier à huile et du palmier à huile pour 2015-2026 »). Combiné à cette stratégie, le Département du développement et de l'efficacité des énergies alternatives a opté pour un « Plan de développement des énergies alternatives pour 2015-2036 », prévoyant l'utilisation d'huile de palme comme biodiesel (Annexe 3) (7 millions de litres de biodiesel par jour d'ici 2036), (Petchseechoung, 2017 ; Silalertruksa et al., 2017).

Au vu de l'augmentation continue des surfaces de plantation à huile de palme durant ces 30 dernières années et en considérant la planification élaborée par le gouvernement thaïlandais, l'exploitation du palmier à huile devrait devenir une activité de plus en plus importante dans l'économie du pays. Elle s'est particulièrement développée dans le Sud et tend à s'implanter dans la partie orientale de la Thaïlande, ces deux zones sont celles où il y a

le plus de surfaces de mangroves. Peu d'études recensent la part de forêt coupée pour la conversion en palmier à huile en Thaïlande, cependant, à l'échelle de l'Asie du Sud-Est, 16% des mangroves ont été défriché pour cette conversion (OCDE et FAO, 2017).

Impacts de la plantation de palmiers à huile sur la mangrove

De manière générale, plusieurs impacts sur l'environnement sont identifiables en fonction des activités en lien avec la production d'huile de palme. La combustion des fibres dans les chaudières des usines constitue une source d'émissions (dioxyde de soufre (SO₂), oxyde d'azote NO_x, émissions de composés organiques volatils non méthaniques (NMVOC), monoxyde de carbone (CO)) et cause des problèmes de toxicité humaine, et d'acidification. De même pour l'utilisation d'engrais dans les plantations qui est à l'origine de rejets tels que le protoxyde d'azote (N₂O), NO_x, le nitrate (NO₃) et le SO₂, contribuant en conséquence, au changement climatique, à l'eutrophisation, à l'acidification, et à la toxicité humaine. De plus, le traitement des eaux usées et l'élimination des grappes de fruits vides dans les usines sont une source principale de méthane (CH₄) et impacte le climat. Ensuite, l'utilisation d'essence dans les désherbeurs est la principale source d'émissions de CO et de COVNM et provoque la formation d'ozone photochimique. Enfin, l'utilisation du glyphosate pour la suppression des mauvaises herbes entraîne des problèmes d'écotoxicité en eau douce (Saswattacha et al., 2015). Le ruissellement entraîne ces polluants vers la mangrove pouvant ainsi avoir des conséquences allant de l'empoisonnement chronique des palétuviers et de la faune associée, à la perte de la biodiversité et de la productivité de l'écosystème (Roussel et al., 2010).

Les mangroves de Thaïlande sont connues pour la grande diversité spécifique d'espèces qu'elles comportent mais paradoxalement peu pour leur perte de surface. L'origine de leur déclin a évolué de l'exploitation de charbon à l'exploitation de crevettes notamment. Cette dernière activité, nécessitant beaucoup d'espace, a de ce fait engendré la conversion des surfaces de mangrove en bassin de crevetticulture (déforestation). Aujourd'hui, les effluents continuent d'être déversés dans le milieu dans lequel elles se développent, tout comme les différents pesticides employés pour l'agriculture. En effet, le pays a fait des choix favorisant l'expansion de l'exploitation de palmier à huile pour les années à venir, principalement dans la partie Est de la Thaïlande : zone abritant des mangroves. Ces forêts ne sont donc pas à l'abri de diminuer ou de disparaître, entraînant avec elles la perte des moyens de subsistance dont certaine communauté côtière sont dépendantes (« livelihood »). Ce dernier point peut néanmoins être considéré comme un moteur de la réhabilitation des mangroves.

3.3 Maintenir et protéger les mangroves et leurs fonctions en Thaïlande

3.3.1 Cadre de gestion des mangroves

Les principaux acteurs en charge de la gestion des mangroves

Plusieurs entités, à l'échelle nationale réglementent et gèrent les forêts de mangroves. Historiquement, de nombreux conflits se sont déroulés entre les différentes instances en raison de la poursuite simultanée de l'expansion des élevages de crevettes et de la conservation des mangroves. Depuis 2002, le principal acteur en charge de la conservation et de la réhabilitation des mangroves est le Département des Ressources Marines et Côtières (DMCR). Avant 2002, le Département des parcs nationaux, de la conservation de la faune et de la flore (DNP) et le Département royal des forêts (RFD) étaient les principaux acteurs. En outre, le DMCR est divisé en 45 « sous-stations » qui administrent les politiques et les attributions du Ministère. Chaque sous-station a une « unité de gestion des mangroves » (MMU), et toutes les mangroves de Thaïlande relèvent de la juridiction d'une MMU sauf dans les parcs nationaux qui sont gérés par le DNP (Beresnev et al., 2016 ; Thompson, 2018). Ces MMU sont responsables de la surveillance des mangroves et de l'application de la loi, ainsi que de la conservation et de la plantation des mangroves et de l'éducation locale sur l'importance des mangroves (DMCR, 2015 ; Thompson, 2018).

D'autres acteurs du secteur privé et civil sont souvent impliqués dans la gestion des mangroves et plus précisément dans les opérations de restauration. C'est le cas de l'armée et de la marine qui interviennent, en particulier, aux échelles sous-nationale et locale (Aksornkoae, 2004 ; Thompson, 2018). Les ONG peuvent jouer un rôle de facilitateur, et de nombreuses entreprises s'engagent dans la restauration des mangroves par le biais de la Responsabilité Sociale des Entreprises (RSE). Les sociétés peuvent alors financer et mener des opérations de restauration, ou bien payer le DMCR pour fournir les plants de mangrove et/ou payer les habitants pour planter.

Enfin, il est largement admis que les communautés locales devraient être impliquées dans la planification et la plantation de palétuviers. Elles jouent le rôle à la fois de gardiens et d'agents capables d'adapter la politique nationale aux contextes locaux notamment par le biais de la création de mesures d'application locales exclusives (Biswas et al., 2009 ; Thompson, 2018). Plusieurs projets de réhabilitation montrent que les communautés thaïlandaises qui ont reçu une formation, créé des comités de conservation des mangroves et travaillé avec des ONG peuvent gérer et conserver efficacement les mangroves.

Aperçu du cadre législatif sur la gestion des mangroves

Parmi les lois, celle de 2015 sur la promotion de la gestion des ressources marines et côtières (MCRM) est fondamentale sur le rôle que chaque entité doit jouer dans la gestion. Elle stipule, d'une part, que le DMCR gère les zones de conservation des mangroves (MCZ) y compris les mangroves de réserve anciennement gérées par le RFD et, d'autre part, qu'il apporte son soutien aux communautés locales et aux administrations locales quant à leur

participation et à l'élaboration des politiques et des plans nationaux et provinciaux. La loi administrative de Tambon de 1994 et la loi de 1999 sur la décentralisation des organisations locales ont donné aux organisations administratives de Tambon (unité de gouvernement local équivalente à la commune en France), la responsabilité de « *protéger, de prendre soin et de maintenir les ressources naturelles et l'environnement* » (RTG, 1994) et de « *fournir, maintenir et tirer profit de la sylviculture, des terres, des ressources naturelles et de l'environnement* » (Beresnev et al., 2016). Enfin, le Ministère thaïlandais des Ressources naturelles et de l'Environnement (MONRE) et l'armée thaïlandaise ont mis en œuvre récemment la politique « *Get Back Forest* » qui vise à l'expulsion des colons illégaux, des entreprises ou tout autre occupant de terres dégradées qui peuvent ensuite être réhabilitées (Thompson, 2018).

3.3.2 Planification et actions pour la restauration des mangroves

L'adoption de stratégies et la mise en place d'objectifs pour la restauration

Plusieurs plans nationaux tels que ceux concernant le développement économique et social (NESDP) ont été mis en place en Thaïlande. Le 12^{ème} NESDP (2017-2021) comporte le point suivant : « *La superficie de la forêt de mangroves devra passer de 1,53 à 1,58 million de rai* », soit l'équivalent d'une augmentation de 8000 ha sur cinq ans (Thompson, 2018).

Dans le cadre de cet objectif, la loi de 1992 sur le reboisement, a été rédigée pour encourager les investissements du secteur privé (entreprises, RSE) dans la restauration des forêts (Ongprasert, 2011 ; Thompson, 2018). Afin d'y parvenir ce sont les MMU, qui recherchent activement de nouvelles zones à planter, notamment des zones minières abandonnées, des étangs à crevettes, des vasières, et des forêts dégradées. Pour ce faire, elles élaborent un plan de plantation sur une année qui est ensuite soumis à l'approbation du bureau régional du DMCR et du Bureau de la conservation des mangroves au niveau national. S'il est approuvé, un budget est adressé aux MMU pour les plantations, l'entretien et la croissance des semis (Chonlasit, 2015 ; Beresnev et al., 2016). Dans certains cas, les membres de la communauté sont engagés pour la plantation. C'est d'ailleurs un aspect qui est souvent négligé dans certains projets de restauration, mais des progrès sont de plus en plus remarquables avec notamment des initiatives comme la gestion communautaire des mangroves (CBMM) ou encore la restauration écologique communautaire des mangroves (CBEMR).

Développement d'initiatives communautaires

La foresterie communautaire en Thaïlande a été pratiquée de manière informelle pendant des centaines d'années par la population locale. Ces pratiques ont commencé à être reconnues en 1985 par la FAO, et le mouvement s'est étendu aux mangroves au milieu des années 1990 (Kongkeaw et al., 2019). En réponse à la perte de superficie de mangroves et de moyens de subsistances, à partir des années 80, la population locale d'un grand nombre de communautés littorales a pris des initiatives pour gérer les mangroves, beaucoup le faisant avec le soutien d'ONG. Le taux de perte de couvert de mangroves en Thaïlande a considérablement ralenti, avec une baisse globale d'environ 1% seulement entre 2000 et 2012

(Richards et Friess, 2016). Ce succès peut être attribué à plusieurs types de facteurs, à la fois interne et externe à la communauté. Les recherches menées par Kongkeaw et al., en 2015 et 2017 démontrent, cependant que la participation de la population locale dans le processus de gestion et de protection des mangroves a contribué au rétablissement et à l'augmentation des surfaces de mangroves dans les zones de mangroves communautaires.

Les principaux facteurs de réussite de la CBMM en Thaïlande peuvent être résumés comme suit : définition de droits communautaires clairs sur les ressources, mise en place d'institutions communautaires efficaces, développement d'incitations communautaires appropriées, contribution des dirigeants et des membres de la communauté, et apport du soutien financier et du capital humain notamment avec l'aide des ONG (Kongkeaw et al., 2019). De plus, plusieurs programmes communautaires de conservation intègrent à la fois les savoirs locaux et les connaissances scientifiques tout en reliant les processus sociaux aux systèmes écologiques. Pagdee et al., 2006 ajoutent d'autres facteurs tels que les caractéristiques physiques des ressources, les caractéristiques propres aux communautés, la participation, la technologie et la politique gouvernementale.

A titre d'exemple, le village de Ban Thung Tasae situé dans la province de Trang a fait opposition dans les années 80, aux concessions de charbon de bois dans une forêt de mangrove essentielle pour leurs moyens de subsistance. Les villageois ont fait appel à une ONG locale, l'Association Yadfon, afin d'obtenir de l'aide pour récupérer leur forêt de mangrove communautaire. Ainsi, les membres de l'ONG et les chefs de village se sont appuyés sur les leçons tirées de l'expérience des forêts communautaires réussies dans les régions du Nord et du Nord-Est de la Thaïlande. En suivant l'approche développée, ils ont travaillé ensemble pour aborder le bureau provincial du Département des forêts de Trang dans le but de délimiter une forêt communautaire distincte des concessions forestières. Ainsi, 320 ha (sur 800 ha) de forêt communautaire ont été remis en état, puis les efforts de la communauté ont abouti à la restauration de toute la zone de mangrove en 1998, bien qu'elle n'ait pas officiellement enregistré la forêt auprès du gouvernement (Kongkeaw et al., 2019). Ici, l'initiative de gestion communautaire est un succès du fait de la capacité de la communauté à protéger et restaurer les mangroves, mais aussi par la reconnaissance sociale de la CBMM par le gouvernement et les organisations concernées et enfin par le modèle de pratiques communautaire qui tend à s'étendre à d'autres communautés.

Cependant, de nombreux projets en Thaïlande continuent d'être peu fructueux (ex : Chum Kho, province de Chumphon) en raison d'une combinaison de facteurs écologiques mal évaluée (utilisation de méthodes de réhabilitation inadaptées, mauvaise connaissance écologique initiale, absence de suivi) ou encore de facteurs institutionnels (mauvaise relation entre acteurs, manque de financements).

Conformément aux efforts de conservation pour ralentir la déforestation des mangroves, la Thaïlande a élaboré des politiques et fixé des objectifs pour restaurer et réhabiliter les forêts de mangroves à travers le pays. Ainsi, plusieurs initiatives se sont développées en adéquation avec les plans nationaux élaborés visant à augmenter les surfaces de mangroves. Cependant de nombreux auteurs (Havanond, 1997 ; Erfteimeijer et Lewis, 1999 ; Memon et Chandio, 2011) ont recensés de multiples échecs de projets de réhabilitation en Thaïlande. Plusieurs institutions et acteurs à différents échelons de gouvernance opèrent pour

la gestion et la réhabilitation des mangroves. En conséquence, les objectifs politiques diffèrent souvent, et des défis de mise en œuvre apparaissent. Finalement, les raisons pour lesquelles les objectifs de réhabilitation ne sont pas atteints vont au-delà de la simple explication liée aux facteurs écologiques ; les facteurs politiques, financiers et socio-culturels sont aussi à examiner.

4. Zone d'étude : Trat

4.1 Localisation et caractéristiques de peuplement de mangroves

Figure 11: Localisation de la zone d'étude dans la Province de Trat (Thaïlande)



Source : Conception et réalisation Morgane Brasille sous QGIS 2.18, (2020)

L'analyse sera effectuée dans la province de Trat, dans la partie Est du golfe de Thaïlande, à la frontière avec le Cambodge (Fig.11). La zone d'étude couvre une zone d'environ 240 km² dont 106 km² de forêt de mangrove et est située à 102,61°E et 12,21°N (Pimple, et al., 2017). Le climat est de type tropical, caractérisé par des moussons saisonnières. La température moyenne annuelle à Trat est de 27.0 °C et la moyenne des précipitations annuelles atteints 3267 mm (Climat data, 2012).

Le site d'étude choisi a l'avantage de présenter des mangroves dans différentes conditions de dégradation, certaines sont encore naturelles, d'autres, ont été réhabilitées ou encore se sont régénérées naturellement (Pimple et al., 2020). Quatorze espèces ont été recensés dans la zone d'étude comprenant principalement les genres *Rhizophora*, *Avicennia*, *Bruguiera*, *Lumnitzera*, *Xylocarpus*, *Heritiera*, *Ceriops*.

La mangrove est à dominante *Rhizophora apiculata*, *Ceriops tagal*, et *Xylocarpus granatum* (Pimple et al., 2020). A Trat, le profil de la mangrove s'établit de la manière suivante : sur la côte se développent *Sonneratia caseolaris* et *Avicennia alba*, viennent ensuite *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronate*, et *Xylocarpus granatum*, et enfin *Bruguiera gymnorrhiza*, *Ceriops tagal*, *Lumnitzera littorea*, et *Excoecaria agallocha* (Suchewaboripont et al., 2011 ; Pimple et al., 2020). Toutefois, les mangroves réhabilitées disposent uniquement de culture monospécifique à *Rhizophora apiculata*. La présence de *Bruguiera gymnorrhiza*, *Excoecaria agallocha*, et *Intsia bijuga* est remarquable sur les bords des zones réhabilitées.

Les travaux de Uday Pimple, par télédétection spatiale (Landsat 3 (1987-2019) et les données récoltées sur le terrain (transect réalisé en mai 2019) permettent de retracer un historique de la réhabilitation des mangroves ainsi qu'une évaluation de leur diversité et de leur structure. De ce fait, l'utilisation de l'indice de diversité de Simpson (varie entre 0 et 1 : 0 indiquant aucune diversité et 1 indiquant un niveau élevé de diversité) montre que la diversité de peuplements dans les zones naturelles est plus grande que dans celles réhabilitées (valeurs de 0,14 à 0,71 contre 0 à 0,30). De plus, la mangrove issue d'une régénération naturelle

détient une plus grande diversité de peuplement que celle réhabilitée (valeur 0,73). La zone située entre les mangroves réhabilitées et leurs peuplements naturels adjacents, montre de faibles indices de biodiversité (Annexe 6).

De même, la densité est différente : dans les zones naturelles, les résultats indiquent 10 à 13 arbres par parcelles tandis que les parcelles réhabilitées en compte 16 à 40 (Pimple et al., 2020). Finalement, 28 années après les opérations de réhabilitation, les mangroves réhabilitées sont de la même hauteur que les peuplements naturels adjacents (Pimple et al., 2020).

4.2 De l'ère de la crevetticulture vers la protection des mangroves ?

4.2.1 Evolution des surfaces de mangroves à Trat

Les données de surface de mangroves indiquent une surface initiale en 1961 de 14 500 ha. A partir de 1975, la surface n'a cessé de diminuer jusqu'en 1996 où elle a atteint 7500 ha. Elle connaît un regain en 2000 avec une valeur de 9200 ha, période correspondante au temps de stabilité requis pour les mangroves réhabilitées et régénérées : 7 à 13 ans (Pimple et al., 2020). En 2004 elle atteint un pic de 9500 ha puis chute de 20% jusqu'en 2012 (Tab. 2). Cette baisse peut hypothétiquement être accordée à l'arrivée de cultures de palmiers à huile dans la région.

Tableau 2: Evolution des surfaces de mangroves dans la Province de Trat entre 1961 et 2012

Evolution des surfaces de mangroves dans la Province de Trat entre 1961 et 2012												
Années	1961	1975	1979	1986	1989	1991	1993	1996	2000	2004	2007	2012
Surface (ha)	14 506	10 600	9 840	8 817	8 638	7 750	7 668	7 534	9 245	9 517	9 067	7 534
Source : Données converties de Rai en Hectare / Données de 1961 à 2004 (DMCR, 2005) / Données de 2007 : Interprétation LANDSAT-5 Satellite 2007 / Données 2012 : National Research Council and the Department of Forestry, 2012												

4.2.2. Les principales menaces s'exerçant sur les mangroves de Trat

Menaces naturelles

D'une manière générale, Trat est une zone peu touchée par des aléas météo-marins. Néanmoins, les cyclones peuvent provenir de deux endroits différents. D'une part, de l'océan Pacifique, ces derniers suivent alors une trajectoire Est-Ouest (de juin à septembre) et d'autre part, de l'Océan Indien suivant la même orientation mais pouvant aussi en avoir une Sud-Nord (avril-juin et octobre-décembre).

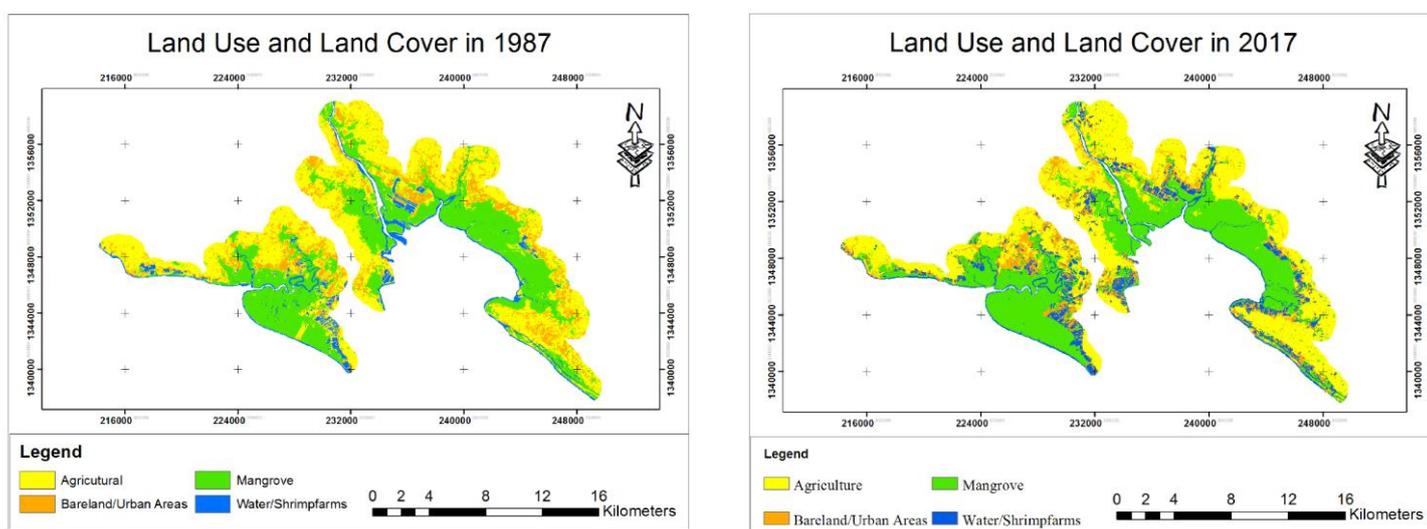
La situation de Trat montre que cette zone est protégée par des îles situées à l'Ouest (Koh Chang, Ko Mak, Ko Kut). Le dernier typhon ayant frappé cette zone est Gay en 1989 avec pour origine une dépression formée à l'Est de la Malaisie et la dernière tempête tropicale est Forrest en 1992 (Vongvisessomjai, 2009). Cependant, aucune étude recense les effets de ces événements sur les écosystèmes côtiers de la zone d'étude n'a été trouvée.

Les changements d'occupation du sol : une menace pour les mangroves ?

Les menaces présentes à Trat sont de la même nature que celles qui touchent les mangroves à l'échelle de la Thaïlande. Dans les années 80, les principaux facteurs de dégradation des mangroves dans la Province de Trat étaient essentiellement l'extraction de bois (concessions forestières), la production de charbon de bois et l'élevage de crevettes. À la suite des projets de réhabilitation effectués dans les années 90 couplés à la prise de mesures politiques, ces pressions ont évolué de sorte que certaines se sont atténuées et d'autres se sont accentuées.

Les images satellites constituent un excellent outil afin d'analyser les dynamiques spatio-temporelles des changements sur une longue période, au sein du site d'étude. De ce fait, l'utilisation d'images satellites Landsat entre les années 1987 et 2017 permettent de décrire l'évolution des usages du sol à Trat (FIG.12, Tab. 3).

Figure 12: Evolution de l'utilisation du sol entre 1987 et 2017



Source : Pimple et al, 2018

Tableau 3: Evolution de l'occupation du sol à Trat

Evolution de l'utilisation du sol à Trat					
	1987		2017		Changement (1987-2017)
	Surface(km ²)	Pourcentage	Surface(km ²)	Pourcentage	Pourcentage
Zone agricole	111,36	49,18	93,40	41,25	-7,93
Sol nu/zone urbanisée	22,17	9,80	25,10	11,08	+1,28
Mangrove naturelle	77,43	34,20	81,90	36,17	+1,97
Fermes aquacoles	15,46	6,82	26,02	11,49	+4,67
Total	226,42	100	226,42	100	

Source : Pimple et al., 2017 ; adapté par Morgane Brasille (2020)

En 1987, les principales occupations du sol (surface) sont les terres agricoles et les forêts de mangroves, viennent ensuite, les terres nues/les zones urbaines, et les plans d'eau/élevages de crevettes (Fig.12, Tab. 3). En 2017, la surface agricole occupe toujours une surface importante mais a néanmoins diminué de 7,93%, tandis que la superficie des zones de mangroves a légèrement augmentée en raison de la recolonisation naturelle des parties dégradées (+1,28%). Les zones urbaines et de sols nus ont augmenté ainsi que les surfaces dédiées à l'aquaculture : ces dernières, en 2017, étaient de 26,02 km² contre 15,16 km² en 1987 (Pimple et al., 2017).

Tableau 4: Matrice d'évolution de l'occupation des sols (LULC) entre 1987 et 2017.

Type d'occupation du sol	Zone agricole	Sol nu/Zone urbanisée	Mangrove naturelle	Fermes aquacoles	Total en 1987
Zone agricole	68,08	13,57	11,59	7,39	100,64
Sol nu/Zone urbanisée	15,15	6,94	3,32	3,45	28,88
Mangrove naturelle	8,40	3,91	63,97	5,24	81,53
Fermes aquacoles	0,61	1,59	4,72	8,53	15,46
Total en 2017	92,25	26,02	83,61	24,62	226,42

Source : Pimple et al., 2017 ; adapté par Morgane Brasille (2020)

Les observations faites à partir d'image satellites et les données correspondantes permettent de montrer que Trat a été une zone soumise à de nombreuses conversions des terres. De ce fait, la principale transformation a été celle des terres agricoles en sols nus (15,15km²) puis, celle des zones agricoles en forêt de mangroves (8,40km²) et enfin celle des surfaces de mangroves en bassins et fermes de crevetticulture (4,72 km²) (Tab.4)

Malgré les changements d'occupation du sol, les zones agricoles détiennent une surface importante à Trat (93,40 km² en 2017, Tab.3). Les surfaces et l'état des mangroves de Trat, dans le futur pourraient être menacés par les exploitations de palmier à huile du fait des stratégies émises par le gouvernement thaïlandais et en raison de l'augmentation de la surface de sol nu qui représente un atout pour l'installation de ces cultures.

Finalement, les changements de l'occupation du sol ne représentent pas une menace aussi prépondérante qu'au début des années 1980 où les concessions et exploitations de crevettes empiétaient sur la mangrove. La conversion en zone de mangrove témoigne, d'une prise de conscience accrue, d'une part, du rôle des mangroves dans le socio-écosystème, et suggère une réhabilitation de mangroves réussie. Cette observation reflète les politiques émises par le gouvernement Thaïlandais (2003-2004) visant à limiter la progression de la crevetticulture dans les mangroves, et plus récemment, fait référence à la mesure « Get Back Forest » (Thompson, 2018). Néanmoins, les changements d'occupation du sol sont quand même à considérer car ils entraînent de nombreuses pollutions (rejets de CO₂ pour la conversion des terres, effluents, pesticides) et ce sont ces dernières qui impactent davantage la mangrove aujourd'hui. Toutefois, peu d'études ont été menées sur l'impact des effluents sur la mangrove de Trat.

4.2.3 L'opération de réhabilitation de mangroves dans les années 90

Initialement, il était prévu d'analyser la réhabilitation conduite à Trat en 1991 par les communautés locales et l'ONG RECOFTC (Centre régional de formation à la foresterie communautaire pour l'Asie et le Pacifique). Or, dans le contexte du COVID-19, les enquêtes prévues auprès du DMCR et des populations (Annexe 8 et 9) n'ont pu être réalisées et le cas de la réhabilitation de l'ensemble du district de Trat n'est pas renseigné dans la littérature académique. De ce fait, notre analyse se basera davantage sur le cas de la réhabilitation effectuée à Pred Nai qui se situe dans la partie ouest de la zone d'étude prédéfinie (province

Pred Nai, localisé en annexe 10, a été l'une des communautés les plus durement touchées par la perte des forêts de mangrove (Soontornwong, 2006 ; Senik, 2006 ; Silori et al., 2009 ; On-prom, 2014 ; Kaewmahanin et al., 2017). La destruction de la forêt de mangrove a eu un impact important sur la sécurité alimentaire des ménages et les sources de revenus, notamment par la perte d'accès aux ressources marines (concessions forestières et élevage de crevettes).

En conséquence, une forme de résistance s'est développée : en 1983, un noyau dur de 10 villageois s'est formé pour stopper l'exploitation forestière, ce qui a entraîné des violences armées. Une lettre soumise au bureau du gouvernement central en 1986, décrivant le conflit en cours, a entraîné la démission abrupte du gouverneur provincial. Les routes d'accès à Pred Nai ont été bloquées et la digue construite par les crevettiers pour limiter l'entrée d'eau de mer, détruite par les unités militaires locales (Pumijumng, 2014). Ces actions ont abouti en 1987 à la fin de l'exploitation forestière commerciale. Ainsi, le groupe forestier communautaire de Pred Nai (PNCFG) a été créé dans un but d'empêcher la coupe illégale et la production de charbon de bois.

En 1993, le groupe a lancé des opérations de plantation dans les zones de mangroves dégradées (anciens bassins) et a élaboré une réglementation sur la récolte des crabes. Le PNCFG s'est peu à peu agrandi en raison de la sensibilisation effectuée auprès des communautés locales des villages voisins et a reçu notamment, le soutien de RECOFTC et du RFD. Au total, 1920 hectares de forêt de mangrove ont été protégés comprenant une zone 344 ha réhabilités permettant en conséquence, le retour d'espèces sauvages dans la zone côtière fournissant ainsi des revenus aux ménages (Soontornwong et al., 2007).

Cette initiative « bottom-up » a été un réel succès en matière de gestion et restauration communautaire de mangroves. Le groupe est devenu un modèle et un point de référence pour les réformes politiques de grande envergure qui ont transféré l'autorité de gestion des forêts aux communautés (UNDP, 2012 ; Silori et al., 2009).

4.3 Mesurer l'évolution des surfaces de mangroves à Trat : l'apport de la télédétection

« La télédétection est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information. Dans la plupart des cas, la télédétection implique une interaction entre l'énergie incidente et les cibles ». (Thévand, 2007).

Du fait de leur configuration, les mangroves sont peu accessibles limitant, en conséquence, le travail sur le terrain qui se révèle rapidement onéreux. Pourtant, elle mérite d'être étudiée pour comprendre les dynamiques propres à l'écosystème et maintenir les services écosystémiques qu'elle fournit. La cartographie joue alors un rôle essentiel dans la surveillance des changements dans les forêts de mangroves, notamment dans un contexte de changement climatique (Alongi, 2015). L'outil employé pour procéder à cette cartographie peut être la télédétection par satellite qui présente un fort potentiel du fait de la collecte d'informations sur le paysage qui sont autrement, difficiles d'accès (Pimple et al., 2017).

Plusieurs types d'images sont utilisés pour la cartographie des mangroves. Les images hautes résolutions telles que Quickbird ou Ikonos sont efficaces pour distinguer les mangroves des autres formes d'usage du sol. Cependant, leur coût est élevé, la collecte des données ainsi que les méthodes d'analyse sont complexes et les bandes spectrales sont limitées. Les études (Kuenzer et al., 2011) recensent l'utilisation d'images de télédétection optique pour cartographier les mangroves depuis les années 1980 (Landsat-1 à 4 avec le capteur Multispectral Scanner (MSS), Landsat-5 à 7 avec le capteur Thematic Mapper (TM), Indian Remote Sensing satellites 1 et 2 (IRS), la série SPOT-1 à 5 puis en haute résolution SPOT 6/7). Certaines présentent l'avantage d'avoir un accès gratuit ou à faible coût. De plus, la continuation des séries Landsat-8 (2013) et Landsat-9 (mise en orbite prévue en 2021) ; le développement du programme européen Copernicus avec la mise en orbite des constellations Sentinel-1 (2014 et 2016), Sentinel-2 (2015 et 2017) et Sentinel-3(2016 et 2018) permettent d'observer les mangroves sur un temps long en raison de la disponibilité de bandes spectrales (Pimple et al., 2017). Cependant, la cartographie par télédétection spatiale présente certaines limites. En effet, la présence de contamination atmosphérique comme les nuages, la brume et les données manquantes dans l'imagerie Landsat, font obstacles à la surveillance sur le long terme des écosystèmes côtiers telles que les mangroves (Pimple et al., 2017).

A Trar, la majorité des travaux de cartographie effectués ont été fait entre 2017 et aujourd'hui par Uday Pimple dans le cadre du projet RESCuE. Dans notre étude, l'utilisation de la télédétection va permettre de retracer les trajectoires des différentes zones relatives à un usage du sol spécifique entre 1987 et 2019. Les trajectoires corroboreront l'analyse des facteurs de réussite de la réhabilitation.

Le site d'étude a connu de nombreux changements en termes d'utilisation du sol entraînant jusqu'au milieu des années 80 la perte de surfaces de mangroves et des moyens de subsistance pour la population. Ce dernier point a entraîné les communautés locales de Trat et particulièrement celle de Pred Nai, à l'élaboration d'un projet de réhabilitation dans les années 90, combiné dans un même temps à des politiques incitant à la protection et à la conservation des mangroves. Beaucoup d'initiatives comme celles-ci ont été entreprises en Thaïlande mais ont obtenu des résultats peu fructueux. Il est clair que l'initiative de la communauté de Pred Nai est un cas de gestion et de restauration communautaire des forêts de mangrove réussi et que cette initiative a réaffirmé le rôle et la signification d'une approche communautaire dans la gestion des ressources naturelles. Pred Nai a d'ailleurs été récompensé au « Green Globe Award en 2001 » et à « l'Equator Initiative Award en 2004 » et sont devenus des références dans le domaine de la réhabilitation d'écosystèmes de mangroves du fait de leur réussite. Ainsi, de nombreuses leçons peuvent en être tirées pour de futurs projets de réhabilitation en Thaïlande ou dans d'autres pays.

Matériel et Méthode

1. Analyse des trajectoires

2.1 Imagerie Landsat

Les séries chronologiques interannuelles de Landsat ont été utilisées et constituent un excellent support pour caractériser et analyser les changements annuels dans les forêts de mangroves naturelles et réhabilitées, y compris les changements brusques (ex : exploitation forestière), les trajectoires de perturbation-récupération et les changements progressifs (Pasquarella et al., 2016).

La NASA offre des collections de données satellites qui ont été pré-traitées avec une calibration radiométrique et un passage en réflectance. Toutes les images d'archive de la NASA des satellites Landsat sur notre zone d'étude ont été traitées entre le 1er janvier 1987 et le 1er juillet 2019. Les données utilisées sont les réflectances au-dessus de l'atmosphère (TOA – Top Of Atmosphere) des capteurs Landsat-5 TM (1987-2001 et 2003-2011), Landsat-7 ETM+ (2002, 2013) et Landsat-8 OLI (2013-2019). L'algorithme ARMA (Automatic Regrowth Monitoring Algorithm) proposé par Pimple et al., (2020) a été appliqué sur les pixels afin d'éliminer ceux ayant des données manquantes et ceux comprenant des nuages et des ombres de nuages. Des composites annuels pour la période de 1987 à 2019 ont été créés en utilisant les valeurs de réflectance médianes par bandes spectrales (Rouge, Proche infrarouge et Moyen infrarouge). Cet algorithme a des règles prédéfinies basées sur les signatures spectrales pour supprimer les pixels contaminés. Il génère en sortie un masque de nuages et de leurs ombres (Pimple et al., 2018 ; Pimple et al., 2020).

Une imagerie cohérente sur une longue série temporelle permettra de détecter d'autres changements spectraux tels que le défrichement des forêts, la repousse et les écosystèmes non perturbés (Pimple et al., 2018).

2.2 Indice infrarouge à différence normalisée (NDII)

Cet indice introduit par Gao (1996) est calculé à partir des réflectances dans le proche infrarouge (NIR pour Near InfraRed) et le moyen infrarouge (SWIR pour Short Wave InfraRed). Il varie des valeurs -1 à 1. Il est sensible aux variations du contenu en eau des feuilles. Les valeurs de l'indice augmentent en fonction de la biomasse et de la teneur en eau qu'elle contient. Les valeurs de -1 à 0 comprennent plusieurs caractéristiques qui sont donc difficiles à identifier, par exemple : sol nu, quasi-absence de canopée, canopée très basse (pendant la plantation), sol sec ou humide, très petite canopée avec sol ouvert ou faible stress hydrique. Les caractéristiques sont identifiées en fonction du site (Pimple et al., 2020). Les valeurs comprises entre 0,2 et 0,3 indiquent une surface de sol nu ; celles comprises entre 0,3 et 0,5 correspondent à des zones agricoles (maïs, soja) mais aussi dans certains cas, à des zones de forêts de feuillus (Tugrul Yilmaz et al., 2008). Puis, les valeurs situées entre 0,5 et 0,7 correspondent généralement à de la mangrove (Pimple et al., 2020). Enfin, celles situées entre 0,8 et 1 indiquent de l'eau libre.

Ji et al, 2011 suggèrent d'utiliser le NDII avec la bande spectrale SWIR de Landsat car cette région spectrale est sensible à la teneur en eau des feuilles en raison de l'absorption de l'énergie électromagnétique dans cette longueur d'onde. La réflectance SWIR diminue généralement lorsque la teneur en eau des feuilles augmente (Tucker 1980, Hardisky et al. 1983, Hunt et al. 1987, Hunt et Rock 1989, Gao 1996). Dans cette étude, nous avons utilisé les valeurs NDII médianes des composites annuels Landsat. L'équation est la suivante :

$$NDII = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$$

où NIR est la réflectance dans le proche infrarouge (0,70-0,90 μm), et SWIR est la réflectance dans le moyen infrarouge (1.55-1.75 μm) (Alsaadeh et al., 2013 ; Pimple et al., 2020).

L'utilisation du NDII a l'avantage de montrer de faibles variations de la canopée, et ce n'est pas le cas pour de tous les indices. Le contenu en eau des feuilles est un paramètre essentiel dans les applications de la télédétection en agriculture et en foresterie. Elle est une composante importante de la végétation car une teneur en eau plus élevée indique une végétation plus saine qui est susceptible de croître plus rapidement et d'être plus stable dans le temps. La série chronologique du NDII a été utilisée pour analyser l'évolution de l'état fonctionnel des mangroves naturelles et réhabilitées.

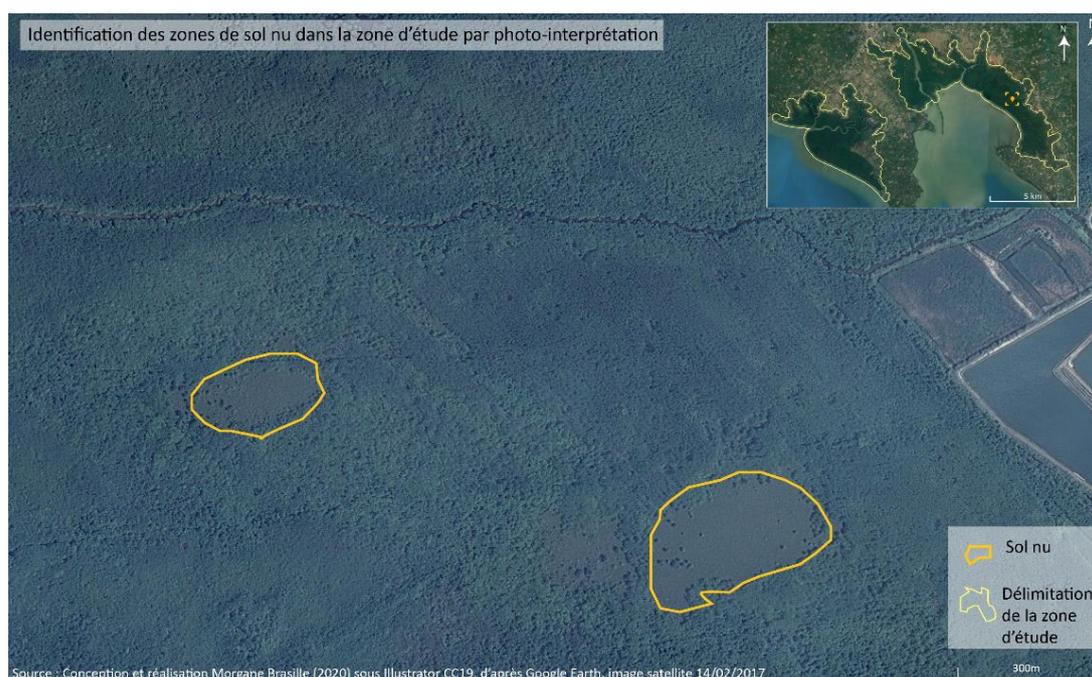
2.3 Calcul de la médiane et de l'écart type des valeurs NDII des mangroves naturelles

Pour déterminer si la réhabilitation de mangroves est réussie, plusieurs valeurs au sein des polygones de mangroves naturelles ont été calculées et ont servi de valeurs seuils pour l'analyse. La première est la valeur médiane du NDII sur l'ensemble des polygones pour chaque année : la courbe médiane « est la médiane des médianes de tous les polygones de la même année », la seconde et la troisième correspondent aux écart types minimums et maximums pour intégrer les variations naturelles qui peuvent influencer la mangrove. Ces trois variables permettent d'obtenir une « enveloppe d'intervalle », c'est-à-dire que toutes trajectoires se situant à un niveau inférieur de l'écart-type minimum, sera considérées comme des peuplements qui n'ont pas atteints la maturité ou encore comme une réhabilitation non-réussite. Pour le détail des valeurs correspondantes au trois courbes, voir annexe 11.

2. Délimitation des polygones

Afin d'identifier les différentes composantes paysagères de la zone d'étude, une étape de photo-interprétation a été effectuée à l'aide d'images satellites de 2015 produites par Google. Ainsi, plusieurs couches « vecteur » au format shapefile ont été créés à l'aide du logiciel QGIS différenciant : les zones de mangroves naturelles, les zones de mangroves réhabilitées, les fermes d'exploitation crevetticole, les bassins abandonnés, les zones agricoles, les zones de bâti et les zones de sol nu. Le sol nu, dans cette analyse, correspond aux zones comprenant une végétation rase au sein des surfaces de mangrove (Fig.13).

Figure 13: Identification des zones de sol nu dans la zone d'étude par photo-interprétation



3. Analyse des facteurs de réussite de la réhabilitation des mangroves

3.1 Plan d'échantillonnage

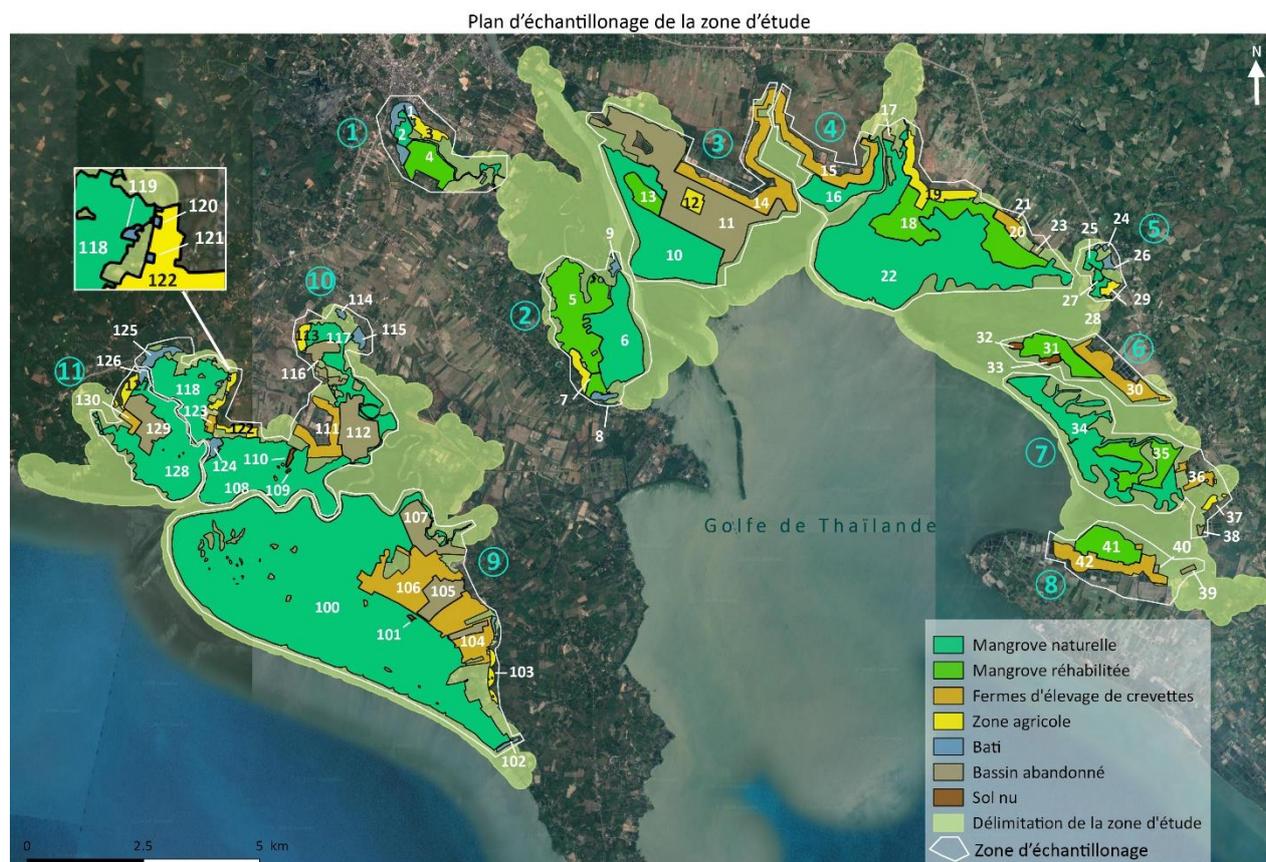
Les polygones créés à la suite de la photo-interprétation réalisée sur la zone d'étude ont été numérotés (Fig.14). L'objectif principal est de comprendre la trajectoire des polygones en faisant une analyse par télédétection mais aussi en faisant des enquêtes sur le terrain. Elles n'ont pas été réalisées mais un plan d'échantillonnage pour leur réalisation avait été construit. Les annexes 8 et 9 montrent les grilles de questions destinées aux exploitants de crevettes et aux agriculteurs.

Plusieurs polygones ont été identifiés et regroupés en 11 zones dont trois dans la partie Sud-Ouest et huit dans la partie Nord-Est de la zone d'étude, avaient été identifiées de sorte à obtenir un échantillon qui soit le plus diversifié possible selon différents critères.

Ces critères : histoires relatives aux usages différentes, proximité avec mangrove naturelle ou réhabilitée, fermes crevetticoles plus ou moins grandes, spatialisation des usages diversifiée, s'inséraient dans l'hypothèse selon laquelle la diversité des critères avait un effet sur les trajectoires dans le futur.

Le plan d'échantillonnage en figure 14, n'a pas été utilisé tel quel (annulation de la mission et redéfinition du sujet de stage) mais a permis de caractériser tous les polygones de mangroves naturelles et réhabilitées.

Figure 14: Plan d'échantillonnage initialement prévu pour l'étude



3.2 Résultats attendus des enquêtes de terrain

La réalisation des enquêtes aurait permis d'obtenir davantage d'informations sur les différentes phases relatives aux changements d'usage du sol pour compléter les résultats obtenus par télédétection. Par exemple, un exploitant agricole aurait pu apporter des renseignements sur les conditions dans lesquelles s'est développé la culture du palmier à huile à Trat (date des premières plantations, rentabilité, impacts sur la mangrove, opinion sur le futur des zones agricoles dans la zone d'étude). En plus d'apporter une « certaine vérité de terrain », les réponses des enquêtes combinées à l'analyse des trajectoires par télédétection auraient permis de produire une analyse rétrospective robuste. Ainsi, la plateforme employée pour le recueil des réponses aurait été KoBoCollect, une application disponible sur smartphone. Elle a l'avantage de fonctionner avec ou sans connexion aux données mobiles, et ne présente aucune limite sur le nombre de questions et de réponses. Un traitement des données aurait ensuite été réalisé sous le logiciel R.

3.3 Conception d'une grille d'évaluation du processus de réhabilitation

Les réponses au questionnaire pour le DMCR, nous aurait permis de retracer une chronologie des étapes de réhabilitation, mais aussi de comprendre les différentes

temporalités liées au processus organisationnel, et les défis auxquels les parties prenantes ont été confrontées. Au lieu de traiter le résultats des enquêtes, le cas de Pred Nai et des projets de réhabilitation en Asie a davantage été étudié en détail.

Plusieurs champs disciplinaires ont été balayés dans la littérature. Pour comprendre les facteurs généraux de succès de la réhabilitation de mangrove, nos recherches se sont concentrées sur des exemples de projets de réhabilitation réalisés en Asie : projets ayant eu des résultats satisfaisants (Indonésie, Nord de la Thaïlande) et moins fructueux (Sri-Lanka, Philippines). Ainsi, nous avons eu un aperçu des méthodes employées allant, de la plantation à l'aménagement pour assurer la continuité hydrologique, en passant par l'implication des populations locales dans le processus de décision et de plantation, à l'abstraction totale de celles-ci.

Le champ de la foresterie communautaire a donc été approfondis avec des approches telles que la CBMMR (gestion communautaire des mangroves) ou encore l'EMR (restauration écologique des mangroves). Ainsi, un tableau de synthèse des facteurs de réussite a été construit comprenant des critères, des sous critères et des caractéristiques correspondantes, essentielles à une réhabilitation de mangroves réussie. Par « projet de réhabilitation réussi » nous attribuons la présence essentielle de quatre critères :

- La présence d'un diagnostic écologique de la zone
- La capacité de la communauté à protéger et restaurer les mangroves ;
- La coordination entre les différentes institutions gouvernementales et non-gouvernementales ;
- La transférabilité entre communautés.

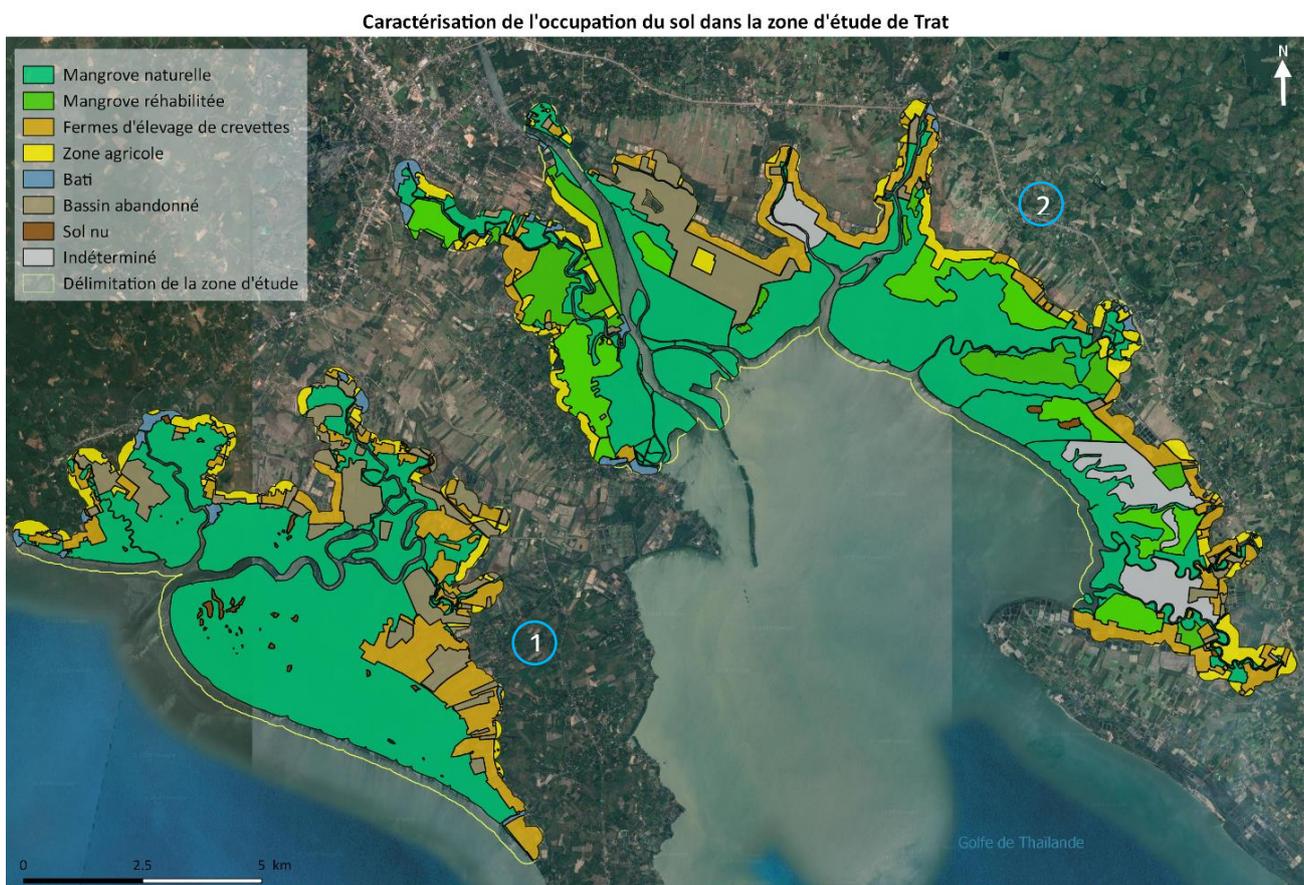
Résultats

1. Les composantes paysagères à Trat

1.1 Configuration de la zone d'étude

Le schéma dominant de la répartition des composantes paysagères dans la zone d'étude est le suivant : la mangrove naturelle s'étend de 100 m à 4,8 km environ vers les terres, puis se déploient les fermes de crevetticulture avec des bassins de 1 ha à un ensemble de bassin ayant une surface totale de 129 ha. Cette configuration est notamment visible dans la partie Sud-Ouest de la zone (1) (Fig.15). Dans plusieurs cas, une zone de mangrove réhabilitée vient s'intercaler entre la mangrove naturelle et les exploitations de crevettes. C'est le cas pour la zone Nord-Est de la partie la plus au Nord de la zone d'étude (2). Une zone de bassins abandonnés se situe entre ces deux entités (Nord-Ouest de la zone 1 et Nord de la zone 2). Cette observation suggère un retrait des fermes des mangroves naturelles. Un cas de figure spécifique est remarquable dans le Nord de la zone n°2 montrant, le développement d'une parcelle agricole au sein d'une surface de bassins abandonnés.

Figure 15: Caractérisation de l'occupation du sol dans la zone d'étude



1.2 Surfaces des composantes

Au total, les 485 polygones créés occupent une surface de 10 856 ha (Tab 5, fig.15). La totalité de la surface se répartit principalement entre les mangroves naturelles (52,5%), les fermes d'élevage de crevettes (13,3%) et les mangroves réhabilitées (12,9%). Les mangroves occupent la majorité de l'espace puisqu'elles représentent 64% de la surface totale. La crevetticulture représente une surface plus grande que les zones agricoles, avec respectivement 1448 ha (12,9%) contre 702 ha (6,5%). La surface de bassins abandonnés est relativement importante en comparaison des bassins en activité, puisqu'elle représente 9,9% contre 13,3%. La zone d'étude comprend peu de zones de bâti (1,5%).

Tableau 5: Surfaces des entités paysagères de la zone d'étude en 2015

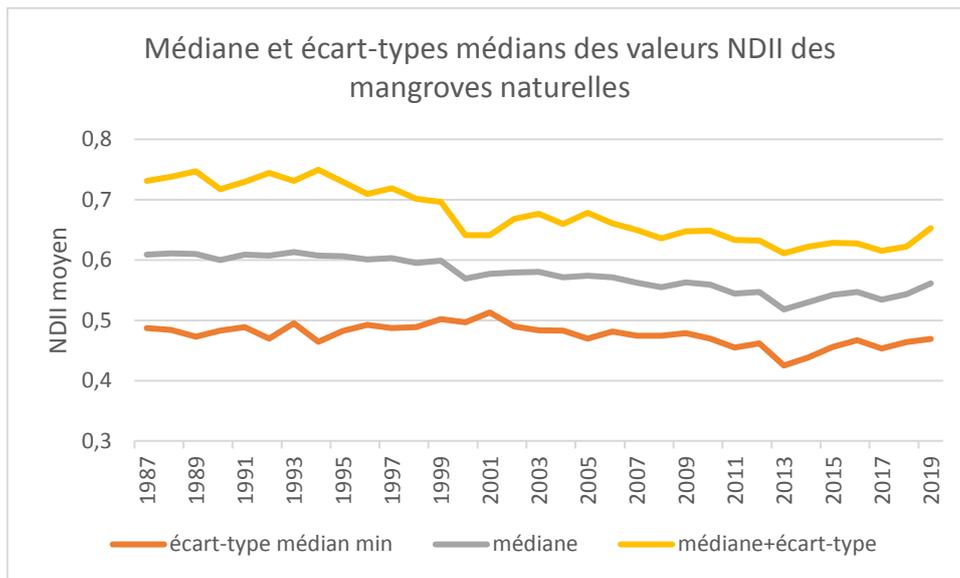
Surfaces des entités paysagères de la zone d'étude en 2015 (ha)		
	ha	%
Mangrove naturelle	5698	52,5
Mangrove réhabilitée	1298	12,9
Ferme d'élevage de crevettes	1448	13,3
Zone agricole	702	6,5
Bassin abandonné	1073	9,9
Bati	157	1,5
Sol nu	55	0,5
Zone indéterminée	425	3,9
TOTAL	10856	100
Source : Calcul sous QGIS 2.18 d'après Images satellites ©2015 Google		

2. Evaluation des séries chronologiques annuelle composite NDII de Landsat

Tout au long de l'analyse, nous emploierons le mot « stable » pour désigner une courbe qui est, soit conforme à la courbe médiane, soit à celle de l'écart type minimum (ETMi), ou encore à celle de l'écart type maximum (ETMa).

L'analyse a consisté à observer la distribution des valeurs NDII pour chaque polygone de mangroves naturelles et de mangroves réhabilitées entre 1987 et 2019. Ainsi, les graphiques ont été regroupés en fonction de la dynamique temporelle du NDII, en comparaison avec les courbes des valeurs médianes et les écart-types des polygones de mangrove naturelle (Fig.16 et 17). La comparaison des trajectoires relatives à chaque polygone montre clairement des différences au sein des peuplements naturelles mais aussi, avec les peuplements réhabilités.

Figure 16: Médiane et écart-types médians des valeurs NDII des mangroves naturelles

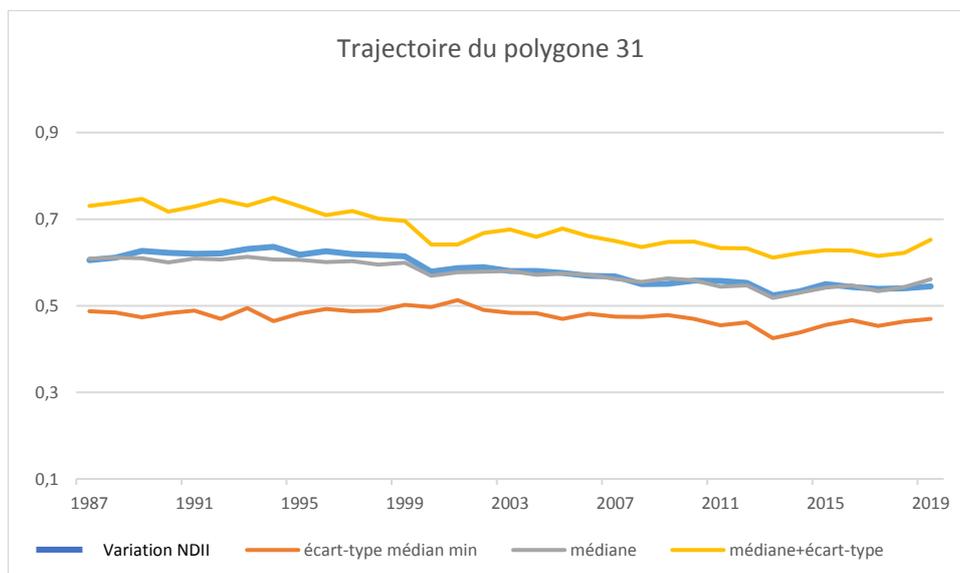


Source : Conception et réalisation par Hélène Dessard & Morgane Brasille sous R et Excel, d'après les données NDII issues des images Landsat (1987-2019)

2.1 Les trajectoires de mangroves naturelles

Les polygones de mangroves naturelles ont été classés en quatre catégories qui rassemblent 87 polygones. La première (N°1) montre des valeurs NDII relativement stables tout au long de la période étudiée. Elle représente 33% de l'échantillon, soit 29 polygones. L'intervalle de valeur NDII est compris entre 0,52 et 0,75. Elles correspondent aux courbes de mangroves naturelles qui se superposent à la médiane ou se situe dans l'enveloppe entre la médiane et l'écart-type médian minimum (ETMi) (Fig.17).

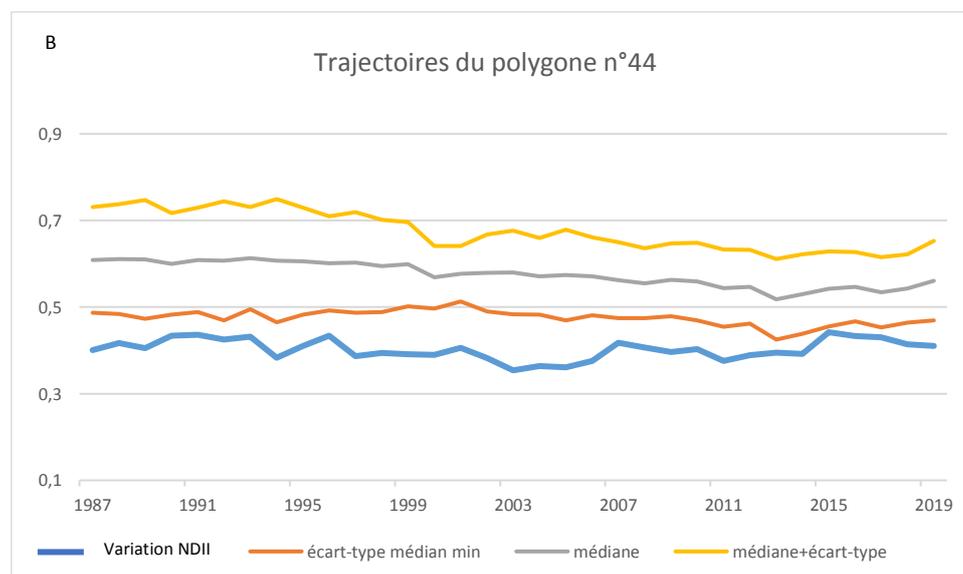
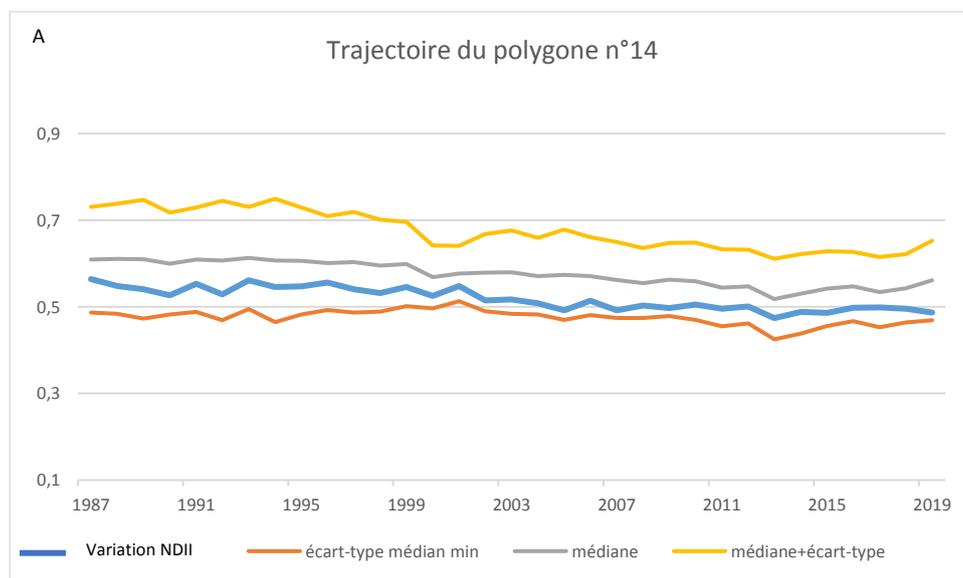
Figure 17: Exemple de trajectoire stable NDII de polygone de mangrove naturelle dans la zone d'étude



La seconde catégorie (N°2) montre des trajectoires stables, avec une pente nulle, mais avec des valeurs inférieures à la médiane. Cette catégorie concerne 32 polygones, soit 36% de la totalité d'entités de mangroves naturelles (Fig 18). La valeur NDII moyenne pour cette catégorie est de 0,47 avec pour minimum et maximum respectivement, 0,27 et 0,62. Les trajectoires dans cette classe ont des valeurs NDII comprises entre la médiane et sont supérieures ou égales à l'ETMi : c'est le cas pour 26 des polygones. Les 6 autres présentent des courbes situées en dessous de la courbe de l'ETMi entre 1987 et 2019, soit en dessous de la valeur moyenne de l'ETMi sur la période (0,48).

Figure 18: Exemples de trajectoires de la catégorie n°2 des mangroves naturelles

- A) Trajectoire dominante de la catégorie comprise entre la médiane et l'écart type minimum
- B) Trajectoire située en dehors de « intervalle de confiance »



La troisième catégorie (N°3) comprend des trajectoires décroissantes. Elle rassemble 25% des polygones de mangroves naturelles (22 polygones). Dans cette catégorie, les valeurs maximales sont les plus élevées de la série avec un maximum de 0,91. Le minimum est de 0,34. La série chronologique peut être découpée entre 5 phases.

Entre 1987 et 1994, deux types de trajectoires peuvent être observées :

- Des trajectoires stables qui montrent une pente nulle, c'est le cas de 8 polygones, qui ont des valeurs NDII moyenne de 0,72 (Tab.6, encadré A)
→ *Polygones 1,5,8,16,23,25,28,57*
- Des trajectoires avec des fluctuations (13 polygones), et notamment avec une pente négative avec des creux compris entre 0,46 et 0,83 entre 1990-1991. La moyenne des valeurs NDII du creux correspond à 0,71. Puis, les valeurs sont croissantes jusqu'en 1994, avec des amplitudes allant de 0,07 à 0,19
→ *Polygones 2,3,6,9,10,15,17,18,19,20,21,26,42*

En 1994, la quasi-totalité des polygones (18 sur 22) comprend un pic des valeurs compris entre 0,58 et 0,91, avec une valeur moyenne de 0,80 (Tab.6). En effet, une dizaine de polygones, ont des valeurs NDII supérieures à celles de la moyenne de l'écart type maximum en 1994 avec des valeurs comprises entre 0,78 et 0,91 contre 0,75 pour l'écart type moyen.

→ *18/22 : tous sauf polygones 2,3,42,57*

→ *Valeurs NDII $\geq 0,75$: 2,6,9,10,15,17,18,20,21,26*

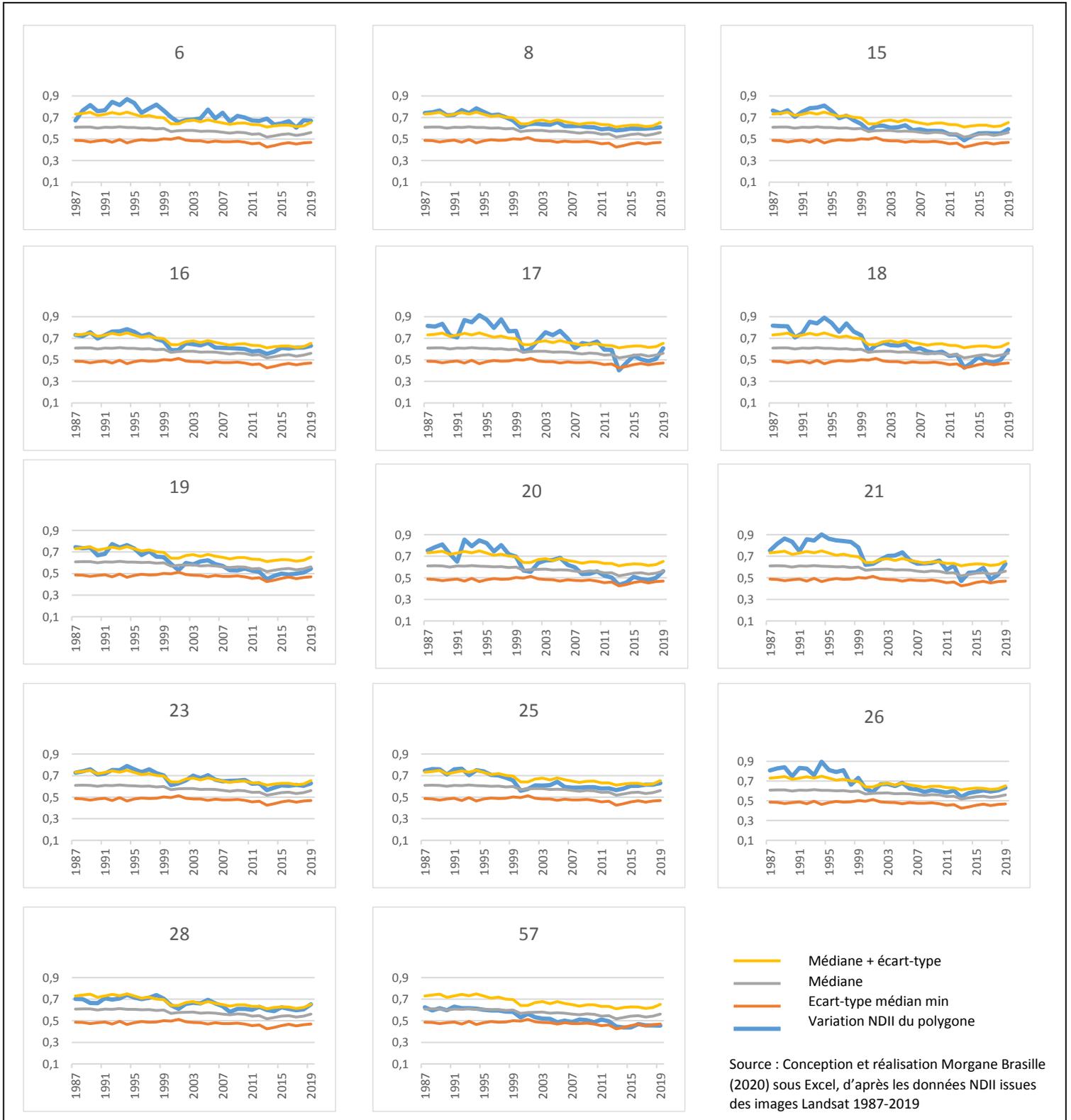
Entre 1994 et 2000, toutes les entités de mangroves naturelles (sauf le polygone n°3) connaissent une baisse du NDII avec des amplitudes variant de 0,04 (0,53 ;0,58) à 0,34 (0,58-0,91), la moyenne de l'amplitude est de -0,19.

En 2000, un creux est remarquable pour tous les polygones : la baisse est cependant plus ou moins significative. Cette date correspond au moment où le NDII des trajectoires devient inférieur ou égal à l'écart type maximum moyen (0,75). Pour 14 polygones, l'amplitude des valeurs entre 1999 et 2000 est $\geq 0,05$. Pour ceux-ci, les valeurs des points de rupture varient entre 0,53 et 0,70 (Fig.19). Pour tous les polygones, cette rupture est suivie d'une pente positive qui s'étend d'une à cinq années avec une amplitude variant de 0,03 à 0,13. Pour 14 des polygones, les valeurs NDII se stabilisent ensuite entre l'intervalle 0,48-0,74 et des valeurs moyennes minimum de 0,53 et maximum de 0,69 (Tab 6, encadré B). Pour les huit autres polygones qui ne montrent pas une pente nulle, la trajectoire continue de décroître avec une amplitude moyenne de -0,11. En 2013, parmi ces polygones, quatre ont des valeurs qui sont inférieures ou égales à l'ETMi qui est de 0,42 cette même année. Le polygone n°36 a une valeur NDII très basse en 2013 avec 0,33, et le passage au niveau inférieur de la courbe de l'ETMi se fait en 2002.

→ *Pente positive après la rupture négative en 2000 puis stabilisation : polygones 1,3,5,6, 8,9,10,15,16,23,25,26,28,42*

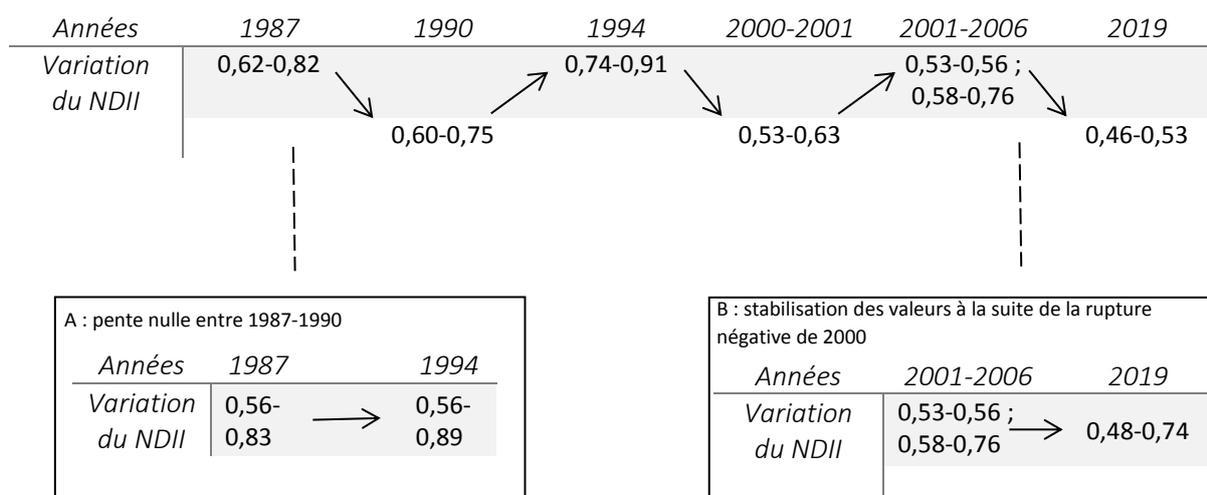
→ *Pente positive après la rupture négative en 2000 puis décroissance : 2,17,18,19,20,21,36,57. Valeurs NDII polygones 17,18,20 et 36 $\leq 0,42$.*

Figure 19: Trajectoires des polygones de la catégorie de mangroves naturelles n°3 présentant une rupture significative entre 2000-2001



Source : Conception et réalisation Morgane Brasille (2020) sous Excel, d'après les données NDII issues des images Landsat 1987-2019

Tableau 6: Synthèse de l'évolution du NDII entre 1987 et 2019 de la classe n°3 des mangroves naturelles

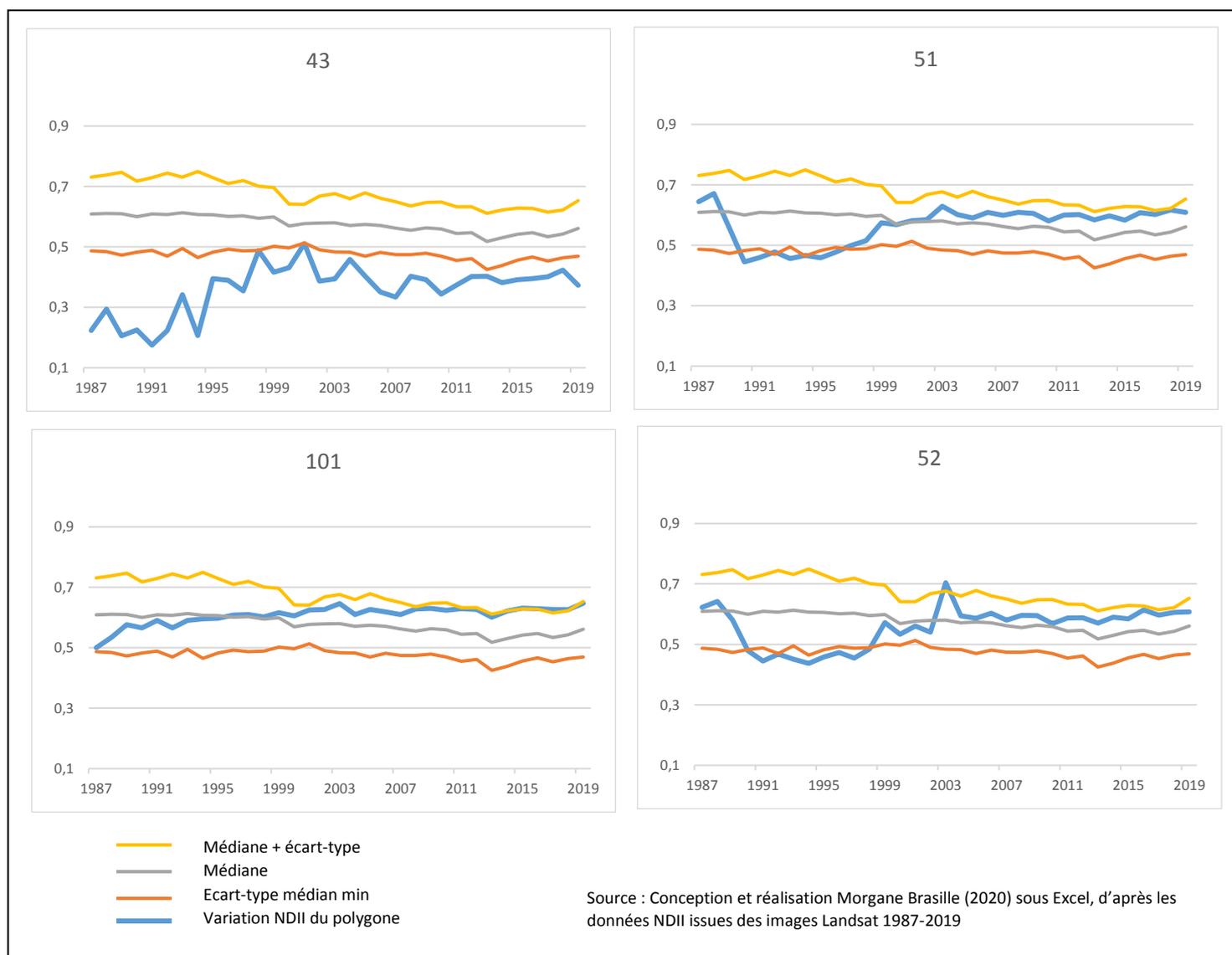


La dernière catégorie (n°4) rassemble les courbes des polygones qui n'ont pas de similitudes avec celles des autres mais aussi sans similitude entre elles. Elle comprend quatre polygones. Le polygone 43 montre une trajectoire croissante avec des valeurs NDII basses en début de période : 0,17 en 1991 et un maximum en 2001 avec 0,51 qui correspond à la seule année où le NDII est supérieur ou égal au NDII de l'ETMi. Entre 2013 et 2019, la courbe tend vers celle de l'ETMi mais se maintient en dessous avec une valeur moyenne de 0,40 (Fig.20).

Les courbes n°51 et 52 présentent des trajectoires similaires. Entre 1987 et 1989, les valeurs de la courbe sont supérieures ou égales à la médiane (avec une valeur moyenne de 0,62). Une rupture a ensuite lieu et la courbe montre une pente négative jusqu'en 1990-1991 où les valeurs NDII sont de 0,45. Cette valeur est inférieure à la valeur NDII de l'ETMi pour les années 1990 et 1991 (0,48). La courbe se stabilise ensuite avec celle de l'ETMi jusqu'en 1997-1998, années où le $NDII_{poly51,52} \geq NDII_{ETMi}$. La trajectoire du polygone 51 se stabilise ensuite autour des valeurs de la médiane (1999-2005), puis tend à se superposer avec la courbe de l'ETMa avec des valeurs comprises en 0,58 et 0,62. Le polygone 52 suit cette tendance, mais montre une rupture positive en 2002 avec un maximum de la série atteint en 2003, où $NDII_{poly52} \geq NDII_{ETMa}$, avec $0,70 \geq 0,68$. La courbe décroît ensuite jusqu'en 2005 et se stabilise entre la médiane et l'ETMa avec des valeurs similaires au polygone 51 (Fig.20).

Le polygone n°101 montre une courbe croissante avec des valeurs NDII allant de 0,5 à 0,61 entre 1987 et 1996. De 1996 à 2007, les valeurs augmentent entre la courbe de la médiane et l'ETMa, jusqu'en 2008, moment où le NDII se stabilise en superposition avec l'ETMa avec un écart maximum de 0,02.

Figure 20: Trajectoires des polygones de la catégorie de mangroves naturelles n°4



2.2 Les trajectoires de mangroves réhabilitées

Les 22 polygones des mangroves réhabilitées ont été différenciés et regroupés en quatre catégories. La première (n°1) comprend six polygones (Fig.21). Quatre d'entre eux montrent des valeurs NDII relativement stables au début de la période (polygone 1,2,18,19). En effet, les valeurs oscillent entre la courbe médiane et la courbe de l'ETMi de 1987 et à 1993 (polygone 18), de 1987 à 1996-98 (polygone 2 et 1) et de 1987 à 2002 (polygone 19).

A partir de 1994, les valeurs chutent et peuvent être résumées comme suit :

1994 : $NDII_{poly18} \leq NDII_{ETMi}$ avec $0,36 \leq 0,46$

1997 : $NDII_{poly2} \leq NDII_{ETMi}$ avec $0,26 \leq 0,49$

1999 : $NDII_{poly1} \leq NDII_{ETMi}$ avec $0,36 \leq 0,50$

2003 : $NDII_{poly19} \leq NDII_{ETMi}$ avec $0,42 \leq 0,48$

Les deux autres polygones (n°5 et n°22) entre 1987 et 1999 présentent des valeurs NDII inférieures à celles de l'ETMi (Fig.21).

Tous les polygones montrent un creux des valeurs entre 1994 et 1999 (2004 pour le polygone 19) situé entre les valeurs 0,26 et 0,36. Les valeurs sont ensuite croissantes et deviennent supérieures à l'ETMi entre 1998 et 2001 (2006 pour le polygone 19). Puis, pour trois polygones, elles se stabilisent autour des valeurs de la courbe médiane, soit 0,50-0,61, c'est le cas pour les polygones 5,18 et 22 à partir de 2000-2003 jusqu'à 2019. Les polygones 1,2 et 19 ont des courbes qui se stabilisent davantage en superposition à la courbe de l'écart-type médian maximum. Pour le polygone 1, la courbe se stabilise à partir de 2008, pour le polygone 2 en 2002 et pour le polygone 19 en 2013. Les valeurs de NDII sont comprises entre 0,57 et 0,66 jusqu'en 2019.

Figure 21: Trajectoires des polygones de la catégorie n°1 de mangroves réhabilitées



La seconde catégorie (N°2) rassemble les courbes de quatre polygones qui ont des trajectoires croissantes sans rupture marquée dans le temps. Pour trois d'entre eux la courbe NDII suit les valeurs de celles de l'ETMi de 1987 à 2005, les valeurs sont comprises entre 0,39 et 0,55. Entre 2002 et 2008, les trajectoires présentent une pente positive et se stabilisent entre la médiane et l'écart-type médian maximum jusqu'en 2019 (Fig.22). Ainsi, les valeurs se situent entre 0,56 et 0,61. Concernant le polygone qui ne suit pas cette tendance, la courbe montre aussi une trajectoire croissante mais les valeurs, au début de la période, ne sont pas proches de celles de l'ETMi. Dès 1990, les valeurs NDII du polygone sont superposées à celles de la médiane (0,60) jusqu'en 2008 où elles deviennent supérieures ou égal à l'écart-type médian maximum (0,63 \geq 0,63). L'année suivante, la trajectoire est décroissante jusqu'à la fin de la période, avec une amplitude de 0,06, la valeur en 2019 est de 0,57.

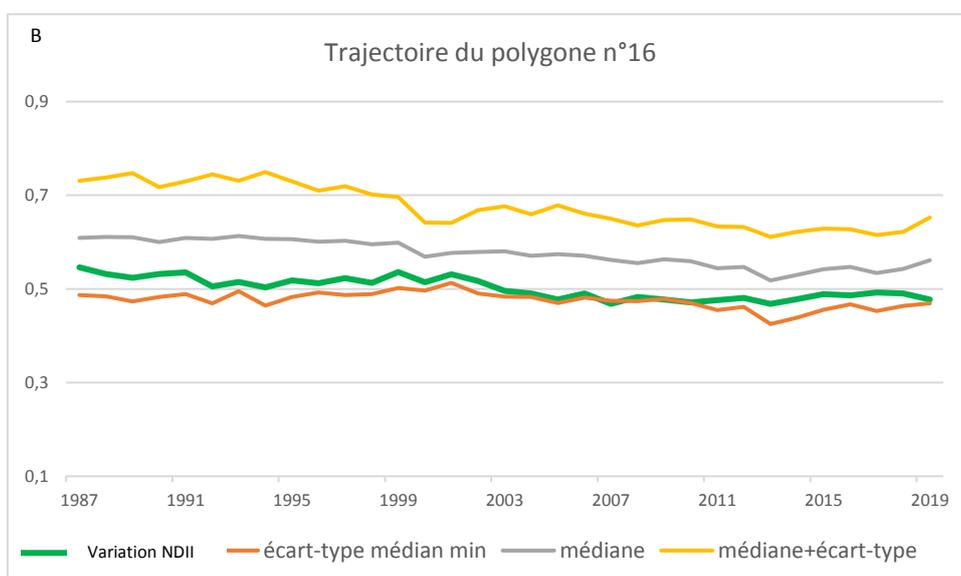
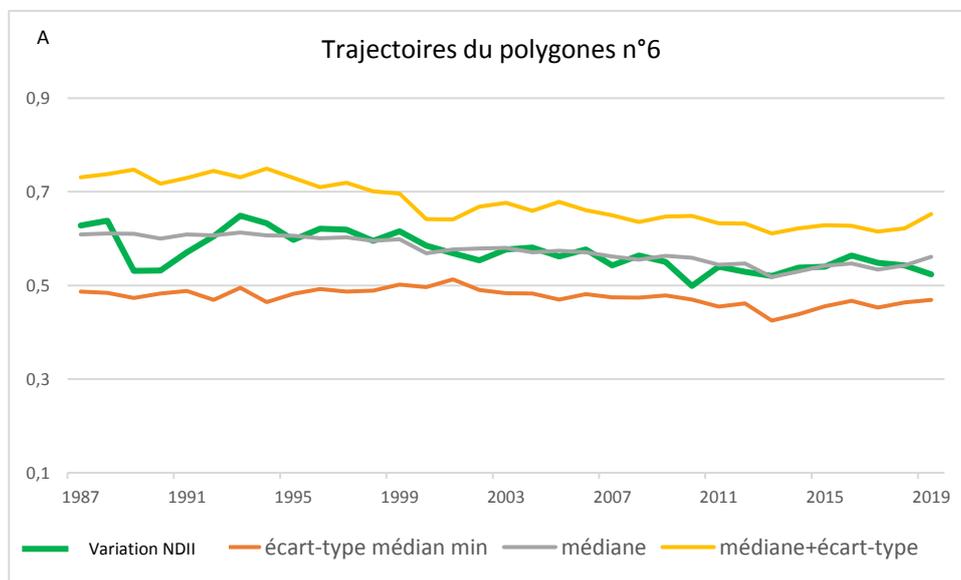
Figure 22: Trajectoires des polygones de la catégorie n°2 de mangroves réhabilitées



Neuf polygones ont été regroupés dans la catégorie n°3 qui montre des trajectoires décroissantes. Trois de ces polygones suivent la trajectoire de la médiane mais deux d'entre eux présentent un creux en 1990 (0,53-0,54), avec un écart à la médiane de 0,06 car pour cette même année le NDII médian est de 0,60. Les six autres polygones ont des valeurs NDII similaires à celles de l'ETMi tout au long de la période avec un écart maximum à l'ETMi de 0,08 (Fig.23).

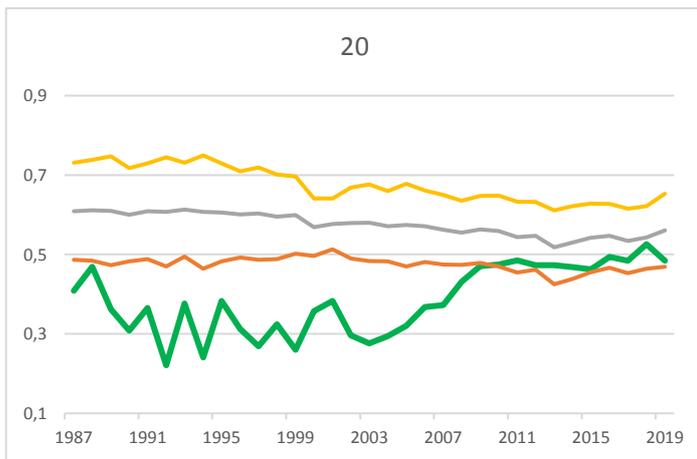
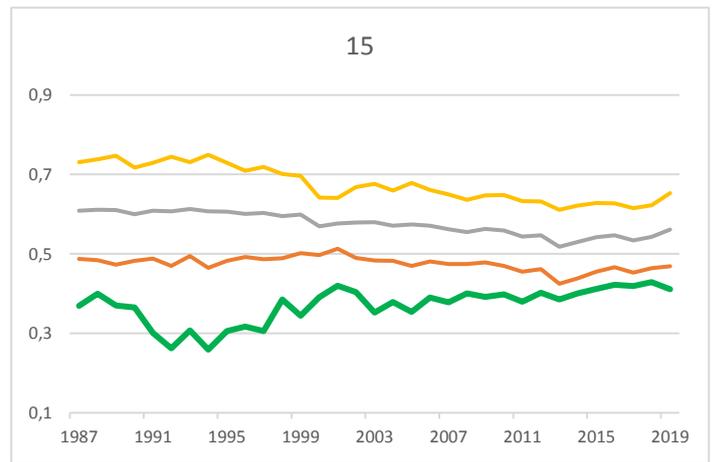
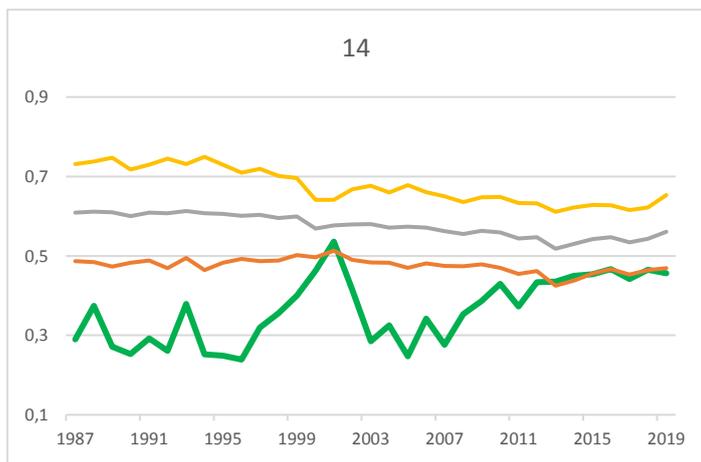
Figure 23: Exemple des trajectoires des polygones de la catégorie n°3 de mangroves réhabilitées

- A) Trajectoire décroissante suivant les valeurs NDII de la médiane et présentant un creux en 1990
- B) Trajectoire décroissante avec des valeurs similaires à l'ETMi



La dernière catégorie (N°4) regroupe trois polygones qui montrent des tendances inférieures ou égales à la courbe de l'ETMi (Fig.24). Ils comprennent plusieurs fluctuations avec des grandes amplitudes de valeurs tel que 0,3 entre 1996 et 2001. Pour deux de ces polygones, les valeurs NDII sont supérieures ou égales à l'ETMi en fin de période (2010 et 2013).

Figure 24: Trajectoires des polygones de mangroves réhabilitées de la catégorie n°4



- Médiane + écart-type
- Médiane
- Ecart-type médian min
- Variation NDII du polygone

Source : Conception et réalisation Morgane Brasille (2020) sous Excel, d'après les données NDII issues des images Landsat 1987-2019

3. Les facteurs de réussite du projet de réhabilitation de mangroves à Trat

La réhabilitation de mangrove à Trat est mentionnée dans la littérature scientifique comme étant un succès et en fait en conséquence, un exemple à suivre pour d'autres communautés et ONG qui souhaitent agir pour la protection des mangroves (Soontornwong, 2006 ; Senik, 2006 ; Silori et al., 2009 ; On-prom, 2014 ; Kaewmahanin et al., 2017). Une grille d'évaluation a donc été construite pour regrouper toutes les composantes nécessaires et la démarche à suivre pour la réussite des différents projets. L'étude de cas sur la réhabilitation conduite à Pred Nai révèle des facteurs essentiels appartenant au différents types de critères (Tab.7).

Le premier concerne l'analyse environnementale effectuée avant le projet. Cette étape est cruciale afin de comprendre les dynamiques hydro-sédimentaires (marées, énergie des vagues, salinité, topographique) propre au site. De plus, dans le cas d'une gestion communautaire, menée comme à Pred Nai, les connaissances écologiques locales sont un élément à prendre en compte car elles sont la base des relations entretenues entre la communauté et l'environnement. La communauté de Pred Nai a notamment utilisé ses connaissances sur le cycle de frai du crabe pour en réguler sa capture (Silori et al., 2009 ; RECOFTC, 2005). Ces connaissances peuvent aussi être combinées à des connaissances scientifiques dans le cadre de projet scientifique. Plus important encore pour la gestion communautaire et le renforcement des capacités locales, la communauté elle-même a souvent la possibilité de s'impliquer dans la conception, la conduite et l'analyse des projets de recherche (Senik, 2006).

Le second facteur est en lien avec le critère sociétal. L'implication de la communauté de Pred Nai dans les activités de conservation et dans les efforts de protection de la mangrove a débuté de manière informelle et s'est avérée être une base de succès de la gestion formelle. En effet, cette implication a permis de renforcer l'unité et la cohésion entre les membres et a favorisé l'émergence d'un leader (On Prom, 2014).

Le leadership constitue le troisième facteur dans le succès de la gestion et de la réhabilitation des mangroves. Dans le cas de Pred Nai, le rôle des leaders s'est avéré être d'autant plus important car les dirigeants ont su développer une forme d'unité et acquérir le soutien des agences gouvernementales et non-gouvernementales. Senik, (2006) mentionne dans son étude, que les enquêtes effectuées auprès de la population révèlent que la réponse la plus fréquemment énoncée est le leadership en tant que clef du succès des efforts de gestion et de conservation. Actuellement le chef du PNCFG et le chef du village occupe les places de leaders et continuent le travail de mise en réseau avec les autres communautés et les organisations extérieures.

De ce fait, le quatrième facteur est de l'ordre de la sphère institutionnelle et de gouvernance. Les liens avec les ONG, les agences gouvernementales et les autres communautés sont essentiels pour le renforcement des capacités, ainsi que pour le soutien juridique, institutionnel et technique. Bien que le PNCFG soit une initiative de la communauté à la base, ces liens extérieurs ont été importants dans ce cas pour aider le PNCFG à améliorer et développer leurs efforts de conservation (Fisher et al. 2005, Senik, 2006).

Le développement d'un réseau entre les communautés, dans le cas de Pred Nai illustre que le partage et l'apprentissage horizontaux, est un moyen efficace de reproduire et de lancer de nouveaux projets communautaires. En outre, ces deux composantes augmentent la probabilité de réussite d'un projet communautaire donné, car ils permettent à la communauté qui débute de tirer parti des expériences et des leçons, tant des succès que des échecs, des communautés plus expérimentées (Senik, 2006).

Ces différents partenariats, et notamment ceux avec les ONG, sont l'une des sources de financement des activités de réhabilitation et de gestion communautaire. La disponibilité des fonds constitue le cinquième facteur de succès pour la réhabilitation effectuée à Pred Nai. RECOFTC, par exemple, a souvent fourni de l'argent aux dirigeants de Pred Nai et d'autres communautés afin de couvrir en partie les frais de carburant pour se déplacer entre les communautés et assister aux réunions. Cette aide, bien que relativement modeste, peut faire une différence pour les participants ; elle leur permet de participer au processus de mise en réseau tout en minimisant leurs dépenses personnelles. De plus, le soutien de RECOFTC a été formalisé et renforcé en 2000 par un projet de soutien financé par la Fondation Toyota, à la hauteur de 2 275 \$US (Kaewmahanin et al., 2017). La création du groupe d'épargne par la communauté en 1995 a contribué à renforcer les capacités financières et techniques. Il a non seulement aidé les villageois dans la création, l'organisation et l'administration du groupe de protection de mangroves, mais a également augmenté ainsi les chances d'obtenir un financement extérieur pour le PNCFG (Senik, 2006).

Tableau 7: Les facteurs de réussite globaux d'un projet de réhabilitation de mangroves en Thaïlande

Facteurs de réussite globaux d'un projet de réhabilitation de mangroves en Thaïlande		
Critères	Sous-critères	Points essentiels
Analyse des conditions biophysiques et suivi	Analyse pré-projet	<ul style="list-style-type: none"> Analyse des conditions physiques du site devant répondre aux conditions nécessaires à la survie de la mangrove Analyse des processus d'érosion/d'accrétion/de stabilité des sites de réhabilitation Compréhension des facteurs de dégradation s'exerçant sur les mangroves et de leurs effets Prise de connaissance des erreurs faites et des leçons tirées dans d'autres projets de réhabilitation de mangroves
	Avantages pour l'écosystème	<ul style="list-style-type: none"> Accroissement de la biodiversité : inventaire de la faune et la flore présente à la suite de la réhabilitation
	Etude/Evaluation des effets secondaires sur les sites voisins	<ul style="list-style-type: none"> Mesures écologiques prévues pour atténuer les effets secondaires
	Prise en compte des zones protégées dans le plan de réhabilitation	<ul style="list-style-type: none"> Les opérations de réhabilitation doivent être en accord avec les réglementations fixées. Dans le cas contraire, le site doit être relocalisé
	Suivi post-projet	<ul style="list-style-type: none"> Evaluation de l'efficacité de la réponse mise en œuvre, évolution de la surface au temps T des mangroves, évolution de la hauteur des sols, salinité des sédiments
Efficacité technique	Définition d'un plan « technique » de plantation	<ul style="list-style-type: none"> Taux de recouvrement (%) Nombre d'espèces, choix d'une ou des espèces Mode de plantation (en transect ou aléatoirement) Nombre de plants, hauteur moyenne des plants (cm) Choix d'une « mangrove de référence » (aux abords du site qui sera réhabilitée) qui servira de guide à la plantation des différentes espèces
	Maintenance	<p>Doit avoir lieu :</p> <ul style="list-style-type: none"> Le contrôle des comportements des prédateurs (crabes, mollusques, bétails) pouvant impacter de manière négative la mangrove Des observations relatives aux maladies dont les palétuviers peuvent être sujets Une surveillance de l'exploitation illégale des mangroves
Critères sociétaux	Concertation dans le processus de décision	<ul style="list-style-type: none"> Consultation de la population locale pour faciliter la coopération et l'assistance de la part de cette dernière. Acceptabilité du projet par les populations
	Participation des communautés locales dans le processus de réalisation	<ul style="list-style-type: none"> Intégration des populations dans le projet de plantation des mangroves
	Leader ou comité de gestion	<ul style="list-style-type: none"> Présence ?

	Formation - Sensibilisation des communautés locales sur les fonctions remplies par les mangroves	<ul style="list-style-type: none"> • Transmission des connaissances d'experts aux populations • Formation comprenant par exemple : un examen des projets antérieurs ; un examen des besoins environnementaux des mangroves • Mise en place d'un suivi participatif en tant qu'activité d'organisation communautaire, pour impliquer la communauté locale dans le suivi du succès ou de l'échec de leurs efforts, et dans la prescription de corrections à mi-parcours.
	Evaluation des co-bénéfices apportés	<ul style="list-style-type: none"> • Ce qui relève des services écosystémiques apportés par les mangroves en plus de la protection face aux aléas marins et aux effets néfastes du changement climatique
	Prise en compte des problèmes sanitaires à la suite de la réhabilitation	<ul style="list-style-type: none"> • Moustiques porteurs de maladies
	Identification et régulation des conflits	<ul style="list-style-type: none"> • Toutes formes de conflits entre population et autorités à propos des usages que la population fait des mangroves
Gouvernance	Analyse des « environnements de gouvernance »	<ul style="list-style-type: none"> • Une certaine cohérence doit être présente entre les différents organismes : formation de politiques efficaces. • Les compétences, la gouvernance, les responsabilités et les objectifs ne doivent pas se chevaucher afin de limiter les conflits
	Efficacité et transparence des arrangements institutionnels	<ul style="list-style-type: none"> • Une coordination inter-agences est nécessaire. Elle doit prendre en compte toutes les parties prenantes gouvernementales (et non gouvernementales) pour une gestion holistique des mangroves
	Bonne identification et légitimité du porteur de projet	
	Développement de partenariats et mise en réseau	<ul style="list-style-type: none"> • Développement de connexions intercommunautaires • ONG, acteurs du secteur privé • Participation à des dirigeants communautaires à des comités gouvernementaux aux niveaux local et gouvernemental
Financier	Etablir un budget complet	<ul style="list-style-type: none"> • Il doit comprendre les coûts de l'achat des plantules, celui des formations des communautés, celui de l'entretien des chenaux, celui de la main d'œuvre de plantation et de pépinière
	Coûts futurs	<ul style="list-style-type: none"> • Prise en compte
	Coûts indésirables	<ul style="list-style-type: none"> • Echec d'une première replantation • Dans le cas où des machines sont utilisées, coût de la panne
Critères économiques	Retombées économiques bénéfiques pour la communauté	<ul style="list-style-type: none"> • Retour/Amélioration de l'activité de pêche • Développement de produits forestiers non ligneux pour une utilisation de subsistance et pour les marchés locaux • Renforcement de la résilience du système de mangrove grâce à l'amélioration de la biodiversité

Source : Conception et réalisation Morgane Brasille d'après (Soontornwong, 2006 ; Senik, 2006 ; UNEP, 2005 ; Silori et al., 2009 ; On-prom, 2014 ; Kaewmahanin et al., 2017)

Discussion

1. Evolution des peuplements de mangroves naturelles entre 1987 et 2019

Notre analyse des peuplements de mangroves naturelles a été guidée par l'hypothèse nulle (H0) selon laquelle la trajectoire temporelle d'un indice de contenu en eau du feuillage (indiquant la bonne santé physiologique des végétaux) de la mangrove naturelle était stable en l'absence de perturbations. Nous supposons alors observer une trajectoire temporelle avec une pente nulle.

Or, nos résultats ont montré trois principales tendances :

- 1) La courbe de valeurs NDII de mangroves naturelles non-perturbées présente une pente négative comprise entre la courbe médiane et la courbe de l'écart-type maximum, c'est le cas pour plus de 30% des polygones de mangroves naturelles identifiées (catégorie n°1)
- 2) La courbe de valeurs NDII de mangroves naturelles non-perturbées présente une pente négative, inférieure ou égale à la courbe médiane et/ou inférieure ou égale à la courbe de l'écart type minimum. C'est le cas pour 36% des polygones (catégorie n°2).
- 3) La courbe de valeurs NDII de mangroves naturelles non-perturbées présente une pente négative qui va en dessous et au-dessus des valeurs de « l'enveloppe d'intervalle ». C'est le cas pour environ 25% des polygones (catégorie n°3).

Les valeurs NDII observées dans les tendances n°1 et n°2 s'insèrent dans les intervalles délimités par les valeurs seuils référencées dans la littérature, comme étant ceux relatifs à la végétation. Etant donné que les valeurs des courbes des différents polygones suivent la courbe de la médiane ou celle des écart-types médian, le peuplement de mangrove naturelle est relativement stable et n'a pas subi de perturbations anthropiques.

Cependant, plus les valeurs NDII sont similaires à celles des écart types minimum et maximum, plus le peuplement est sensible aux variations naturelles (espèces différentes, dommages causés par insectes, fluctuation du niveau de la mer). Cette observation valide l'hypothèse H1b, hypothèse selon laquelle « la trajectoire temporelle de l'indice NDII de la mangrove naturelle est stable en l'absence de perturbations mais peut présenter des écarts avec le NDII réputé stable en relation avec la localisation des différents peuplements de palétuviers le long d'un gradient horizontal allant de la mer vers la terre ». En effet, la diversité de localisation suggère des variations dans la topographie et la salinité qui définissent un gradient d'espèces dans la zone intertidale. D'une espèce à l'autre, les réflectances diffèrent et présentent des variations du NDII en raison de la taille des feuilles et, de la capacité de celles-ci à absorber le rayonnement solaire principalement.

Quelques entités de mangroves naturelles présentent des courbes avec des valeurs inférieures à celles de la courbe de l'ETMi. Elles correspondent à des polygones de petites

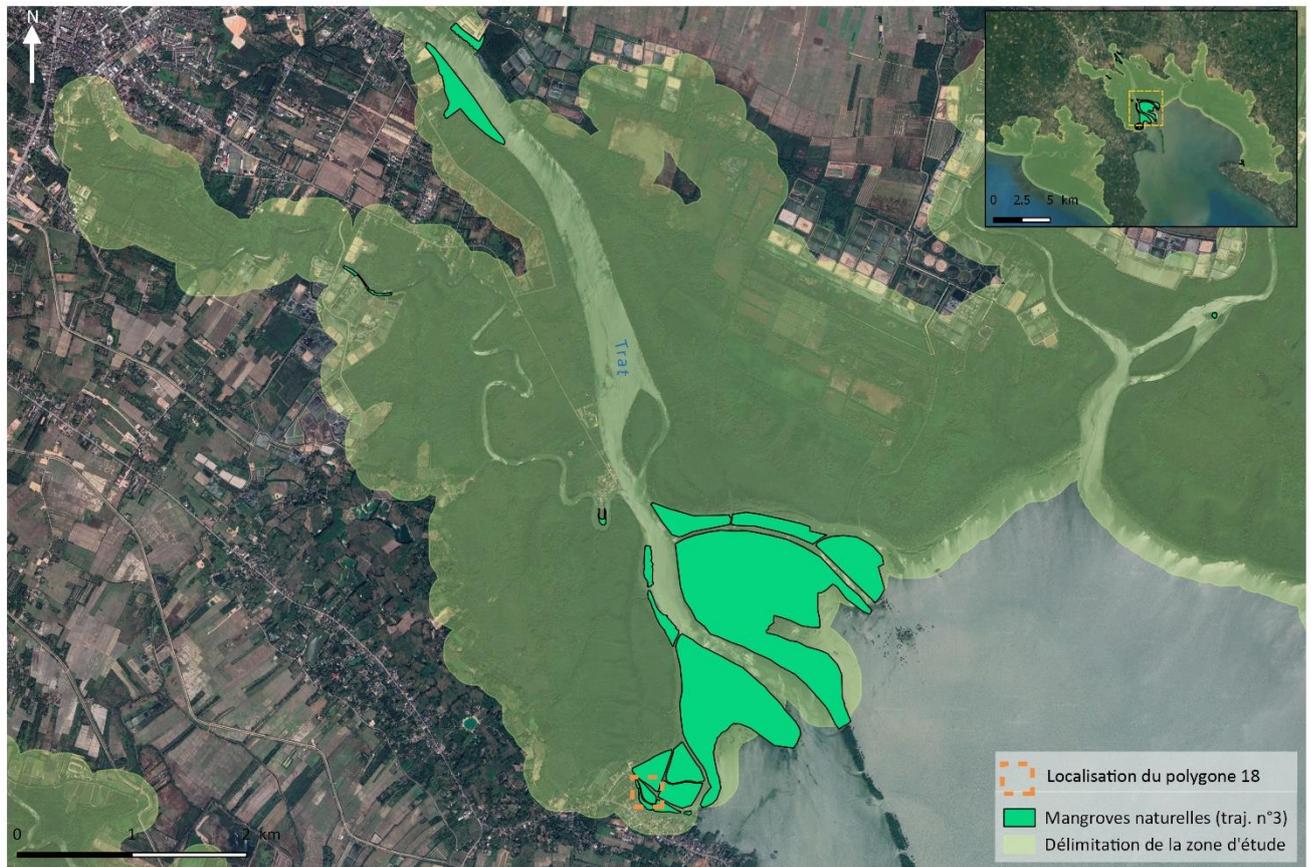
surfaces qui sont directement accolés à des polygones de bassins de crevettes ou de zones agricoles. Par exemple, un des polygones montrent une courbe superposée à l'ETMi tout au long de la période jusqu'en 2014 où les valeurs chutent sous l'ETMi. Les images satellites de Google Earth de 2014 montre cette même année le développement d'une parcelle de palmier à huile juxtaposée à la zone de mangrove. Il est probable qu'une fine bande de mangrove ait été convertie ou déforestée ce qui influence le signal car l'humidité détectée est plus faible par effet de lisière.

La troisième tendance comprend des valeurs NDII comprises entre 0,75 et 0,90. Dans le cas de ces polygones, ces seuils correspondent à une saturation en eau ou à de l'eau libre (Fig.25). L'identification de ces polygones sur la carte montre un regroupement d'îlots de mangrove en zone estuarienne. En effet, en début de période et jusque dans les années 2000, les courbes sont supérieures à celle de l'ETMa. Les valeurs sont ensuite décroissantes ce qui correspond au développement de la mangrove et se stabilisent ensuite entre la médiane et l'ETMi jusqu'à 2019 (Fig.25). Les mangroves naturelles situées dans cette zone sont fortement sensibles à la dynamique hydrologique et sédimentaire qui influence leur installation et leur développement.

Figure 25:

- A) Localisation des polygones de mangroves naturelles aux trajectoires NDII hors de « l'enveloppe de confiance » dans l'estuaire de Trat
- B) Evolution du polygone 18 entre 2000 et 2017

A Localisation des polygones de mangroves naturelles aux trajectoires NDII hors de «l'enveloppe d'intervalle» dans l'estuaire de Trat



Source : Conception et réalisation par Morgane Brasille sous QGIS 2.18 d'après les images satellites ©2015 (2020)

B

Evolution du peuplement de mangrove du polygone 18 entre 2000 et 2017



Délimitation du polygone
18 en 2017

2. Evolution des peuplements de mangroves réhabilitées

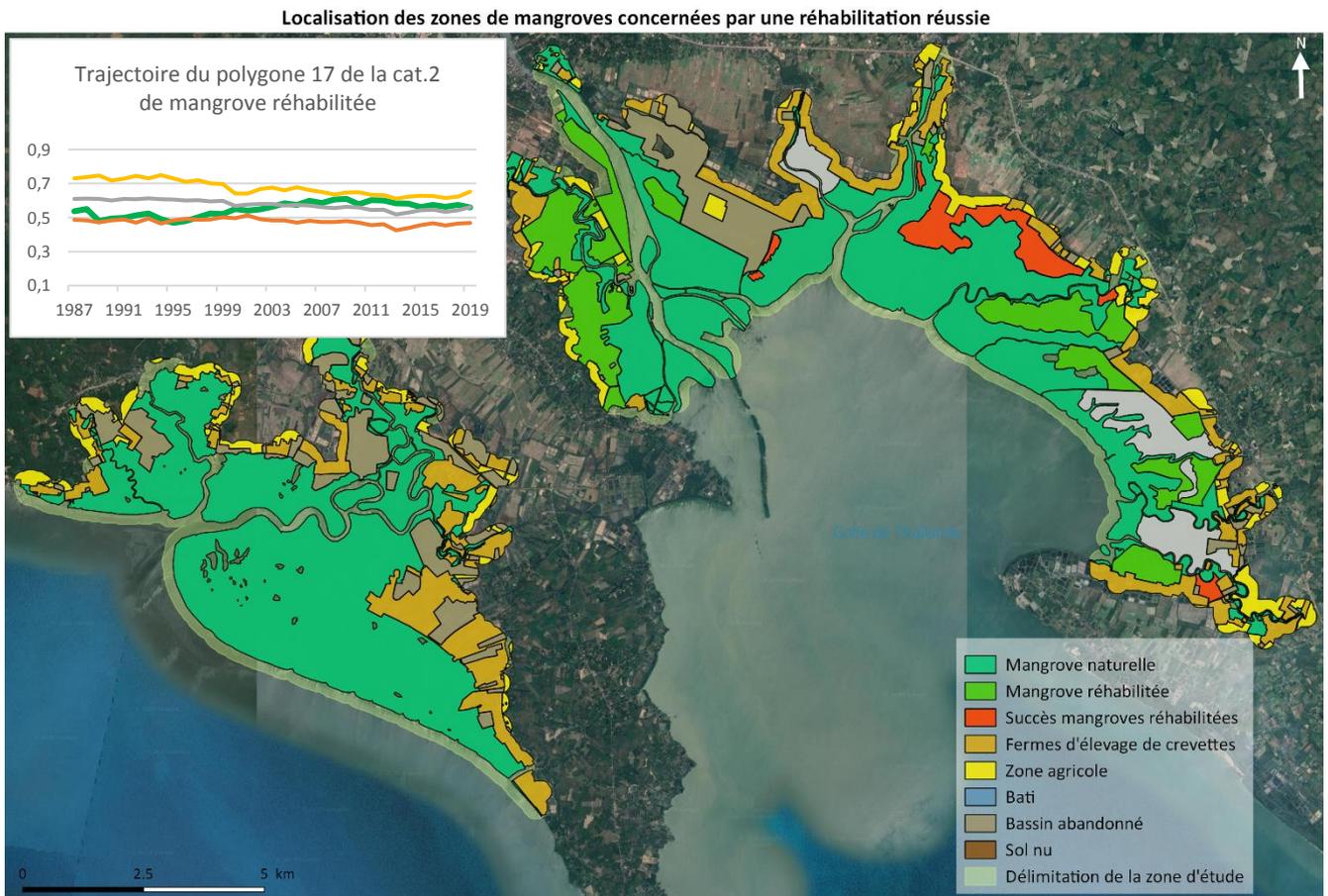
Pour les zones de mangroves réhabilitées deux hypothèses avaient été émises :

- « la mangrove est perturbée par des coupes forestières, la trajectoire présente d'abord une pente nulle puis une rupture de pente négative. Si la biomasse se reconstitue, la courbe présente une pente positive » (H1a).
- « les mangroves réhabilitées ont des trajectoires temporelles post-réhabilitation similaires à celle des mangroves naturelles non perturbées » (H1c).

Celles-ci ont été vérifiées avec l'analyse des quatre catégories de mangroves réhabilitées. L'hypothèse H1a est validée par les analyses de la catégorie n°1 des polygones de mangroves réhabilitées. La chute des valeurs NDII entre 1990 et 1995 correspond à la coupe intensive des palétuviers pour l'exploitation forestière et le développement des bassins de crevetticulture (phénomène identique à celui à l'échelle du pays durant cette période), laissant de ce fait des surfaces de sol nu, expliquant les valeurs NDII proches de 0,3 (Fig.26 et 27). Selon le DMCR, le projet de réhabilitation dans cette zone aurait été entamé en 1991 (DMCR, 1991 ; Pimple et al.,2020) (Fig.27). L'évolution croissante des valeurs n'est pas visible dès cette année-ci, car les valeurs NDII des jeunes peuplements de mangroves peuvent rester faibles pendant plusieurs années, jusqu'à ce que la couronne et les feuilles de l'arbre soient suffisamment

grandes pour être détecté avec la résolution du pixel Landsat de 30m (Pimple et al., 2020). Dès les années 2000, la courbe de ces polygones dépasse celle de l'ETMi et se stabilise entre la médiane et l'ETMa entre 1999 et 2002 (2007 pour polygone 19). La biomasse s'est donc reconstituée, et le peuplement de mangrove peut donc être considéré comme redevenu stable : la réhabilitation est réussie car NDII poly \geq NDII ETMi. Le polygone 19 montre des valeurs NDII supérieures ou égales à l'ETMi, plus tardivement (2006), le minimum des valeurs NDII est atteint en 2004. Nous pouvons supposer que cette tendance est due à une année de réhabilitation plus tardive que 1991.

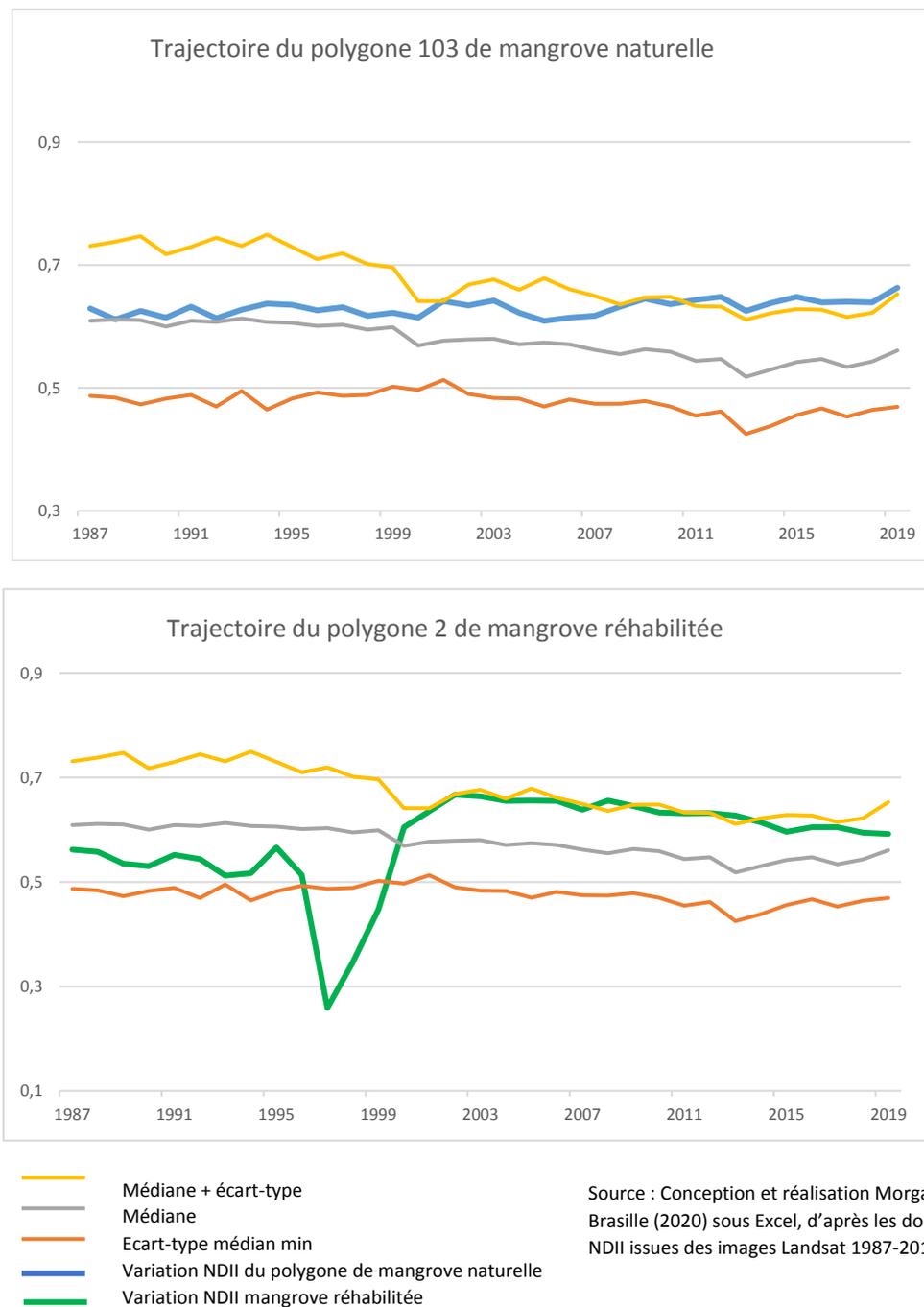
Figure 26: Localisation des zones de mangroves concernées par une réhabilitation réussie (matérialisées en rouge)



Source : Conception et réalisation par Morgane Brasille sous QGIS 2.18 from ©2015 Google (2020)

L'hypothèse H1c est aussi validée. La figure 24 est un exemple qui illustre la tendance observée dans la catégorie n°1 : une trajectoire de mangrove réhabilitée post réhabilitation similaire à celle des mangroves naturelles. Pour les six polygones de la catégorie n°1 observée précédemment, les valeurs NDII après la réhabilitation entre 2000 et 2005 sont en moyenne à 0,56, et à 0,61 pour la même période pour les polygones de mangroves naturelles stables.

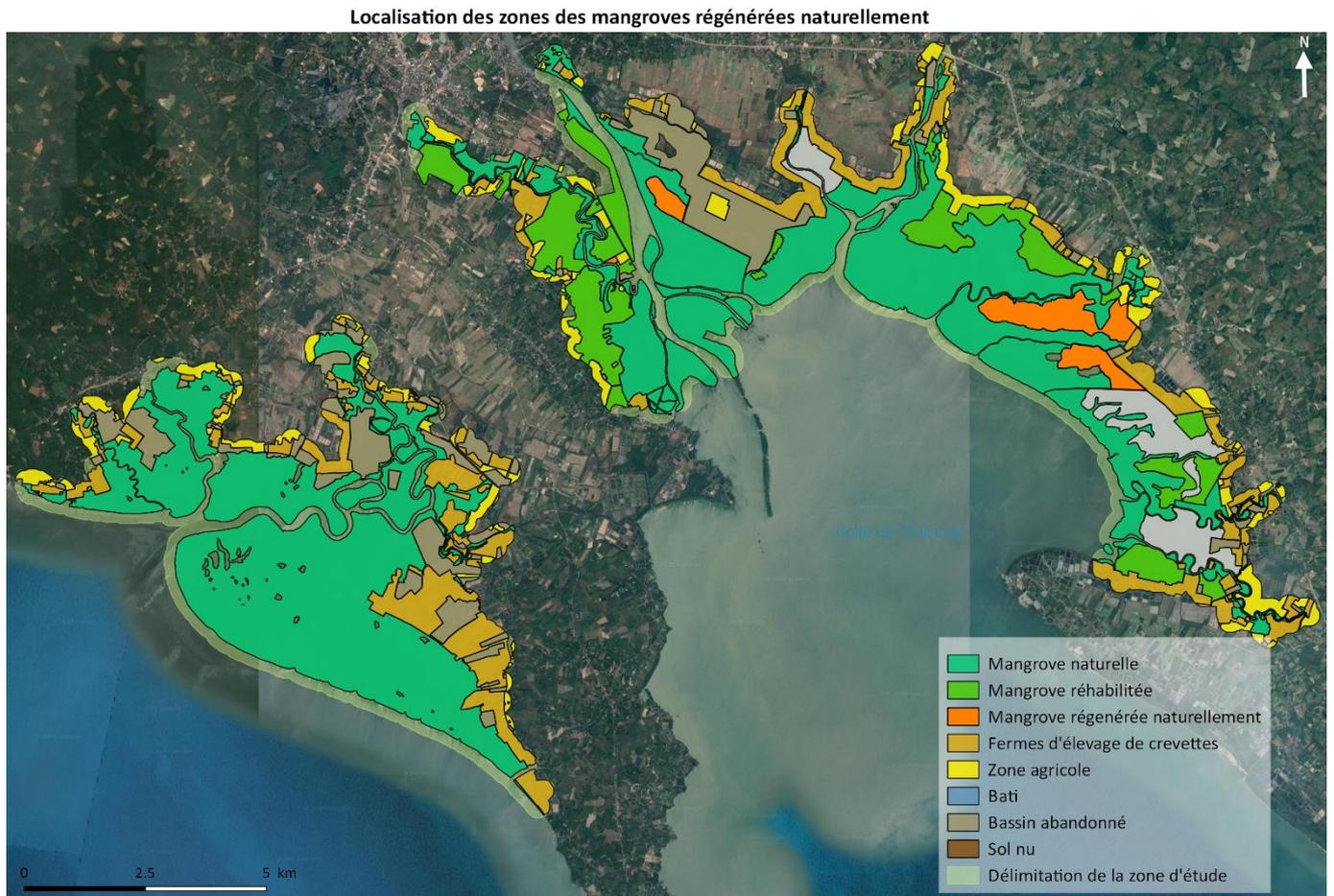
Figure 27: Comparaison des polygones de mangrove naturelle stable et de mangrove réhabilitée avec succès



La catégorie n°2 de mangroves réhabilitées a été classée dans les mangroves réhabilitées lors de l'étape de photo-interprétation mais s'avère ne pas correspondre à des courbes de mangroves réhabilitées. À la suite de l'analyse des courbes, les trajectoires croissantes de cette classe ne présentent pas de pente négative avec des valeurs NDII aussi basses. De plus, les années de ruptures sont différentes de celles de mangroves réhabilitées. En effet, les valeurs sont fluctuantes au début de la période puis montrent une stabilité proche de celles de l'ETMi entre 1995 et 2000 et enfin une pente positive dès 2001. Cette observation suggère que les fluctuations avant 1995 peuvent potentiellement correspondre à des coupes

forestières, puis la pente positive suggère une régénération naturelle. Ainsi, ces polygones peuvent être des zones où la mangrove a été exploitée à des fins commerciales (1987-2001) puis a ensuite repoussée jusqu'à la stabilisation du peuplement entre la médiane et l'ETMa. La localisation de ces zones dans la région d'étude étaye cette interprétation car deux des polygones sont situés en bordure de fermes d'élevage de crevettes, et un en juxtaposition avec une zone de bassins abandonnés rendant de ce fait, l'accès faciles pour l'exploitation forestière (Fig. 28).

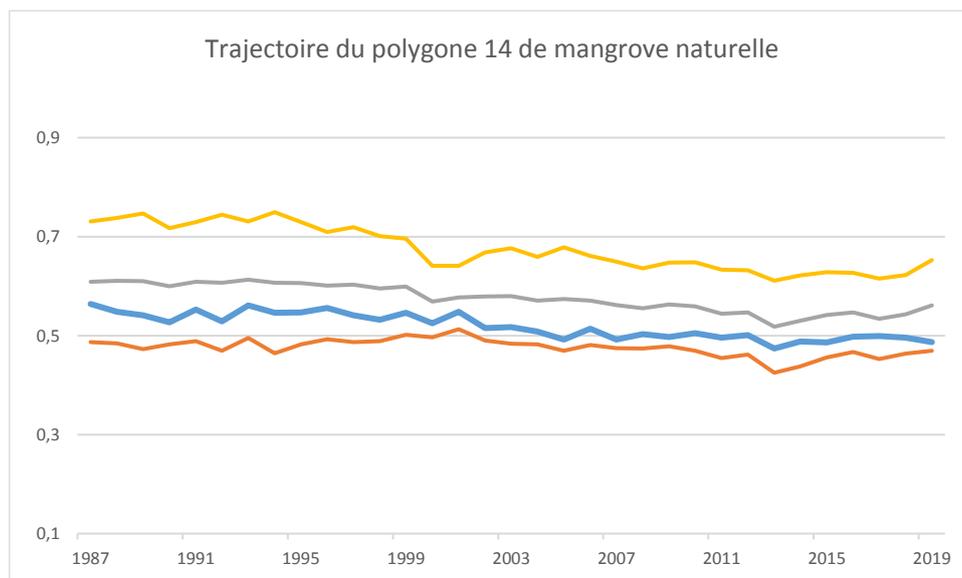
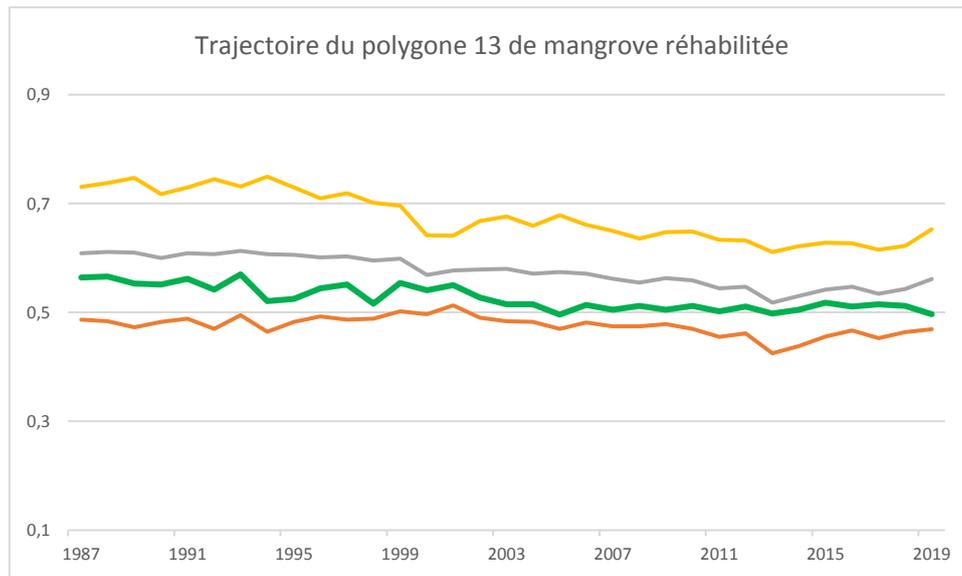
Figure 28: Localisation des mangroves régénérées naturellement à la suite d'une exploitation à des fins commerciales



Source : Conception et réalisation par Morgane Brasille sous QGIS 2.18 from ©2015 Google (2020)

Les trajectoires de la catégorie n°3 de mangroves réhabilitées s'apparentent davantage à de la mangrove naturelle et présentent des similitudes avec la catégorie n°2 des mangroves naturelles. La courbe de valeurs NDII présente une pente négative, inférieure ou égale à la courbe médiane et/ou inférieure ou égale à la courbe de l'écart type minimum.

Figure 29: Comparaison d'une courbe de mangroves réhabilitées (catégorie 3) avec celle de mangrove naturelle (catégorie 2)

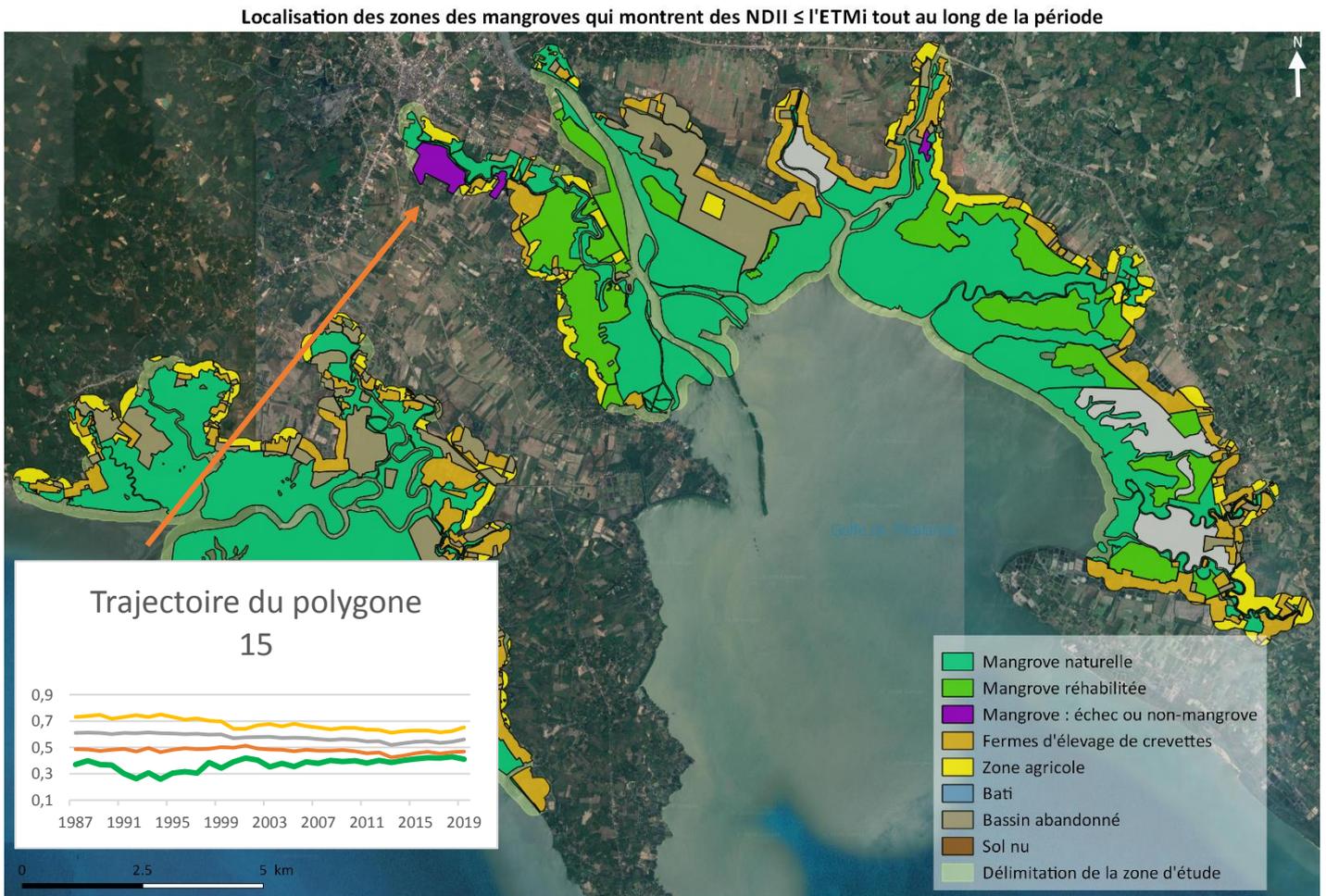


- Médiane + écart-type
- Médiane
- Ecart-type médian min
- Variation NDII du polygone de mangrove naturelle
- Variation NDII mangrove réhabilitée

Source : Conception et réalisation Morgane Brasille (2020) sous Excel, d'après les données NDII issues des images Landsat 1987-2019

La dernière catégorie (n°4) montre des courbes avec des valeurs NDII inférieures ou égales à l'ETMi. Les valeurs comprises entre 0,2 et 0,3 suggèrent un sol nu dans ces zones et les fluctuations variant entre 0,4 et 0,2 des peuplements de mangroves qui ne semblent pas parvenir à se développer. Cette interprétation est confirmée par les valeurs NDII inférieures à celles de l'ETMi. Ce sont des polygones situés à proximité de la délimitation de la zone d'étude, il est donc possible que le signal ait été influencé par des composantes paysagères externes à la zone d'étude.

Figure 30: Trajectoire d'une mangrove qui ne parvient pas à se développer



Les mangroves naturelles à Trat présentent des peuplements stables entre 1987 et 2019. En effet, 70% de l'échantillon total de polygones de mangroves naturelles montrent des trajectoires NDII sans perturbations. Le reste de l'échantillon (30%) montre davantage de variations au fil des années en raison de sa localisation dans l'estuaire qui engendre une dynamique hydro-sédimentaire différente et particulière. De plus, ces polygones correspondent en majorité à des îlots qui sont situés directement en front de mer et sont davantage sensibles aux différents paramètres environnementaux et aux processus sous-jacents (biotiques, abiotiques, anthropique). La réhabilitation conduite à Trat en 1991 s'avère être une réussite pour les polygones identifiés comme mangroves réhabilitées (6/22

polygones), car les peuplements après 8 à 11 ans montrent des trajectoires NDII stables, avec des valeurs similaires aux mangroves naturelles.

3. La télédétection : un outil d'aide à la compréhension des changements au sein des mangroves

Plusieurs études ont surveillé les changements dans les mangroves à l'aide d'imagerie Landsat (Li et al., 2019, Abdul Aziz et al., 2015) mais n'ont pas permis d'obtenir des informations objectives annuelles de manière continue, et n'ont pas pu être employées pour comprendre la dynamique des mangroves réhabilitées (Otero et al., 2018). L'approche de Pimple et al., (2020) s'avère être plus efficace pour réduire les différents types de contamination et appréhender les changements dans les peuplements réhabilités sur le long terme.

Les archives Landsat utilisées pour le suivi des mangroves indiquent le succès de l'opération de réhabilitation à Trat et les résultats confortent l'utilisation des composites annuels médians pour répondre à cet objectif de suivi de réhabilitation de peuplements forestiers. De plus, les résultats de l'analyse des variations du NDII confortent l'utilisation de ces composites car ils ont permis d'obtenir la période acquise pour la stabilisation des mangroves réhabilitées. Les résultats ont fourni une évaluation historique permettant d'évaluer l'état d'avancement du projet de réhabilitation (Pimple et al., 2020). Le NDII apparaît comme un bon indicateur de suivi des mangroves perturbées ou réhabilitées sur le long terme.

Le développement d'algorithme de cloud-computing tel qu'ARMA dispose d'une capacité de filtrage et de tri performante pour sélectionner les images en fonction de critères spatiaux et temporels essentiels pour la surveillance des mangroves.

4. Les facteurs de réussite en corroboration des trajectoires NDII

La récupération des mangroves au fil du temps suggère une implication accrue des communautés locales à l'importance de la protection et de la conservation des mangroves. En réalité la participation active de la population locale ainsi que le soutien des autorités compétentes et des institutions nationales font de l'exemple de Pred Nai un succès (On Prom, 2014). Les quatre principaux critères essentiels à une réhabilitation réussie sont validés dans le cas de Pred Nai, nous émettons l'hypothèse qu'à Trat il en a été de même.

Concernant le diagnostic écologique de la zone, un plan de gestion forestière avait été défini par le PNCFG avant le début de l'opération pour dresser une cartographie des ressources forestières. Lors de la création du PNCFG, plusieurs échanges de connaissances et d'expériences ont eu lieu, les villageois ont appris de leurs succès et de leurs échecs. Leur collaboration leur a permis de lancer de nouvelles idées et pratiques qui répondent aux besoins de la communauté tout en prenant au compte les spécificités du site (On Prom, 2014).

La capacité de la communauté à protéger et restaurer les mangroves a été un critère entièrement validé en raison de la création des différents groupes, avec d'une part le noyau dur d'une dizaine de villageois qui en 1986, a permis de mettre fin à l'exploitation forestière et à l'élevage de crevettes dans les mangroves naturelles. D'autre part, avec le groupe de gestion de l'épargne créé en 1995, qui a contribué au renforcement des capacités et en augmentant le capital social des individus, à l'établissement d'une structure organisationnelle formelle dans la communauté. Ce groupe a aussi donné de la crédibilité à la capacité du groupe à gérer les finances sans abus ni corruption tout en aidant à construire l'unité et un plus grand sentiment d'appartenance au sein de la communauté (Senik, 2006). Et enfin, avec la création du PNCFG en 1998 qui a pour but de gérer et conserver la mangrove. Enfin, le rôle du leadership, comme le montre le cas de Pred Nai, est un des facteurs importants, car les dirigeants ont été capables de développer l'unité au sein de la communauté, d'agir pour accroître la participation de la communauté, et de cultiver le soutien nécessaire des ONG et des agences gouvernementales.

La coordination entre les différentes institutions gouvernementales et non-gouvernementales est un critère qui a été rempli. Au niveau local, le PNCFG a mis en place un réseau avec plusieurs villages pour permettre le dialogue entre les acteurs et aussi pour assurer un large soutien à l'exploitation durable dans les forêts de mangroves. En outre, le groupe a acquis une expérience avec des acteurs extérieurs tel que RECOFTC. Puis les relations avec les institutions et organisations extérieures ont également été importantes pour avoir aidé le groupe à surmonter les difficultés financières et techniques de mise en œuvre du projet. Le gouverneur de la province est devenu un soutien actif des initiatives de Pred Nai. Plus important encore, le groupe a travaillé avec le bureau administratif de Tambon (sous-district) (TAO), l'organe élu du gouvernement local, afin de formaliser les règlements sur l'exploitation des ressources côtières et marines (On-Prom, 2014).

Le dernier critère correspondant est la transférabilité entre les communautés. Le PNCFG a œuvré pour le développement de réseaux entre les communautés pour permettre le partage d'expériences et donc de tirer les leçons essentielles d'une réhabilitation réussie. Le village continue sa démarche et a étendu la création de centres d'apprentissage communautaires dans six sous-districts de la province de Trat entre 2011 et 2012.

5. Critique et recommandations

L'approche méthodologique développée présente des limites et des erreurs. Le choix de la photo-interprétation pour identifier les différentes composantes paysagères de la zone étude montre des erreurs (superposition de polygones, mauvaise délimitation des lisières etc.) dans les résultats des mangroves réhabilitées et naturelles. L'identification des composantes du paysage est subjective et demande un œil aguerri. Ainsi, sur un échantillon de 22 polygones de mangroves réhabilitées, neuf ont été recensés comme de la mangrove naturelle, quatre comme des zones où la mangrove a repoussé à la suite de l'exploitation forestière à des fins commerciales et trois comme possiblement un échec de la repousse de mangroves. Finalement, seulement six polygones présentaient une trajectoire de mangroves réhabilitées.

Ce résultat peut s'expliquer par la photo-interprétation de ces zones qui sont difficilement remarquables et identifiables en raison de la confusion qui peut être faite entre de la mangrove naturelle et des parcelles réhabilitées avec succès (stabilité, hauteur similaire). Ce résultat est satisfaisant mais tend à être amélioré d'autant plus que Pimple et al., (2020) sur un seul transect de mangrove a identifié 8 courbes de variation NDII de mangroves réhabilitées.

De surcroît, en émettant l'hypothèse H0, nous supposons observer une trajectoire temporelle avec une pente nulle. Les courbes se sont avérées être décroissantes. Cette légère baisse des valeurs pourraient s'expliquer par la variation des pixels ou de certains pixels de non-mangroves dans le polygone numérisé. Les pixels de fonds dans les polygones affecterait la tendance.

La photo-identification a été effectuée sur les images fournies par Google Earth et les données NDII ont été extraites des composites médians Landsat. Google Earth fournit des images satellites à marées hautes et à marées basses, en conséquence, l'interprétation visuelle peut être affectée par ce phénomène. De plus, les effets de marées influencent la réflectance spectrale de l'imagerie optique (Pimple et al.,2020). L'observation de l'effet de ce phénomène combiné aux résultats obtenus pour les polygones de mangroves naturelles localisés dans la zone estuarienne suggèrent d'effectuer une évaluation plus approfondies des paramètres environnementaux (hydrologique, géomorphologie) et des processus sous-jacents dans la région de Trat (Sillanpaa et al.,2017 ; Pimple et al.,2020).

Conclusion

La compréhension accrue des différentes fonctions et services écosystémiques fournies par les mangroves à la fin du XX^{ème} siècle combinée à la prise en considération des menaces à la fois naturelles (aléas météo-marins) mais aussi anthropiques (changement climatique, urbanisation du littoral, déforestation) ont mené à des actions de protection et de réhabilitation. Le cas de la réhabilitation de mangroves à Trat, en Thaïlande, et notamment à Pred Nai est mentionné dans la littérature comme un véritable succès. Pour évaluer la réussite du projet, notre analyse repose sur la mesure des variations du NDII tout au long de la période d'étude entre 1987 et 2019 pour les zones de mangroves naturelles et réhabilitées. Nous avons fait l'hypothèse que l'indice de contenu en eau du feuillage (indiquant la bonne santé physiologique des végétaux) de la mangrove naturelle est stable en l'absence de perturbations.

- L'hypothèse H0 est partiellement validée :
 - La valeur NDII considérée comme optimale pour une végétation en bonne santé physiologique (Pimple et al., 2020) n'est pas toujours atteinte (0,58).
 - La courbe ne correspond pas à une pente nulle mais à une pente négative. Il en est de même pour la médiane et la courbe de l'écart type médian maximum. Cette baisse des valeurs peut être attribuée aux pixels de fonds de non-mangrove qui affecte la tendance.
- L'hypothèse H1b est validée : certaines zones de mangroves naturelles forment des îlots de végétation dans l'estuaire de Trat, et présentent des écarts avec le NDII réputé stable en raison de leur configuration et de leur localisation.
- Les deux hypothèses H1a et H1c sont aussi validées :
 - La baisse des valeurs NDII entre 1990 et 1994 correspond à des coupes forestières
 - La croissante des valeurs entre 1994 et 1999 montre la reconstitution de la biomasse à la suite de la réhabilitation.

L'analyse des polygones de mangroves réhabilitées montre un succès de la réhabilitation.

Les peuplements de mangroves réhabilitées mettent entre 8 et 11 ans à atteindre des valeurs NDII similaires à celles des mangroves non-perturbées.

Cependant, l'échantillon est relativement faible et une étude avec un plus grand nombre d'entités est à mettre en lien avec ces résultats. Les résultats de l'analyse du NDII, ont dans notre étude confirmé l'utilisation des composites médians annuels Landsat pour fournir des informations sur les changements relatifs aux mangroves naturelles et réhabilitées sur le long-terme. Le NDII a véritablement servi de critère de validation du succès de la réhabilitation.

Ces résultats sont d'autant plus vérifiés par l'examen des facteurs de réussite de la réhabilitation internes et externes aux communautés locales regroupés, en quatre critères essentiels : la présence d'un diagnostic écologique de la zone, la capacité de la communauté à protéger et restaurer les mangroves, la coordination entre les différentes institutions gouvernementales et non-gouvernementales, la transférabilité entre communautés. Les

enquêtes de terrain prévues auraient apportées des réponses à nos différentes questions : elles auraient permis d'effectuer un tri plus fin des facteurs de réussite et de comprendre les différents enjeux relatifs à la continuité de la réussite au fil des années à venir. Les facteurs de réussite évoluent dans le temps, il n'y a pas d'approche unique et donc pour chaque projet de réhabilitation, il est important de tirer des leçons des échecs et des succès, mais aussi d'identifier les caractéristiques environnementales, sociales et économiques spécifiques à chaque site. Finalement, toute réhabilitation de mangrove est propre à un contexte spécifique. Aucune n'est généralisable, transposable sans apporter de modifications.

Pour compléter cette analyse, il serait intéressant de mener davantage de recherches sur les zones où la mangrove s'est régénérée naturellement. Les résultats de notre analyse et ceux obtenus par Pimple et al., (2020) montrent la présence de surfaces ayant été conduites à ce processus naturel, mais l'échantillon est faible. Ainsi, cela permettrait d'examiner en fonction des conditions pré-régénération (qualité du sol, conversion des terres passées etc), le temps nécessaire à la reconstruction de la biomasse. Ces résultats pourraient être mis en perspective avec les zones réhabilitées et montreraient les circonstances dans lesquelles la réhabilitation et l'action anthropique n'est pas nécessaire.

Bibliographie

- Alongi D.M. (2016). Mangroves, *Encyclopedia of Estuaries*, pp.393-404
- Alongi D.M. (2015). The Impact of Climate Change on Mangrove Forests. *Current Climate Change Rep.*, 10p
- Barbier EB., Sathirathai S. (2001). Valuing Mangrove Conservation in Southern Thailand. *Contemporary Economic Policy*, Vol. 19, No. 2, pp 109-122
- Barbier EB. (2007). Valuing ecosystems as productive inputs, *Econ. Policy*, 22, pp. 177-229
- Barbier EB. (2016). The protective service of mangrove ecosystems: A review of valuation methods, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 109, Issue 2, pp 676-681
- Beresnev N., Phung T., Broadhead J. (2016). Mangrove-related policy and institutional frameworks in Pakistan, Thailand and Vietnam, Food and Agriculture Organization of the united nations regional office for asia and the pacific International Union for Conservation of Nature (IUCN) , Bangkok
- Bindoff NL., Cheung WWL., Kairo JG., Arístegui J., Guinder VA., Hallberg R., Hilmi N., Jiao N., Karim MS, Levin L., O'Donoghue S., Purca Cuicapusa SR, Rinkevich B., Suga T., Tagliabue A., et Williamson P. (2019): Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities. Dans: Rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère dans un climat en évolution [H.-O. Pörtner, DC Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, NM Weyer (éd.)].
- Church JA, Clark PU, Cazenave A, Gregory JM, Jevrejeva S, Levermann A, Merrifield MA, Milne GA, Nerem RS, Nunn PD, Payne AJ, Pfeffer WT, Stammer D, Unnikrishnam AS (2013) Sea level change. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds.) *Climate change 2013: the physical basis, contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, pp 1029–1136
- Collins M, Knutti R, Arblaster J, Dufresne J-L, Fichetfet T, Friedlingstein P, Gao X, Gutowski T, Johns T, Krinner G, Shongwe M, Tebaldi C, Weaver AJ, Wehner M (2013) Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds.) *Climate change 2013: the physical basis, contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, pp 1029–1136
- Cormier-Salem M.C. (1991). À la découverte des mangroves : regards multiples sur un objet de recherche mouvant In : *Dynamique et usages de la mangrove dans les pays des rivières du Sud, du Sénégal à la Sierra Leone*. Marseille : IRD Éditions.

Ellison A.M. (2001). Mangrove restoration: Do we know enough?. *Restoration Ecology*, volume 8, pp.219-229,

Etienne M. (2009). Co-construction d'un modèle d'accompagnement selon la méthode ARDI : guide méthodologique, Comod, 76p

Francoeur M. (2009). L'élevage de la crevette : une menace pour les mangroves ?. *Biologie*. Sherbrooke : Faculté des sciences Université de Sherbrooke, 92p.

GIEC, (2018): Résumé à l'intention des décideurs. In: Réchauffement climatique de 1,5°C. Un rapport spécial du GIEC sur les impacts du réchauffement climatique de 1,5°C par rapport aux niveaux préindustriels et les voies d'émission de gaz à effet de serre qui y sont liées, dans le contexte du renforcement de la réponse mondiale à la menace du changement climatique, du développement durable et des efforts d'éradication de la pauvreté [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)].

GIEC, (2019): Résumé à l'intention des décideurs. Dans: Rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère dans un climat en évolution [H.-O. Pörtner, DC Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, NM Weyer (éd.)].

Giry F., Binet T., Keurmeur N. (2017). Les bénéfices de la protection des mangroves de l'outre-mer français par le Conservatoire du littoral : une évaluation économique à l'horizon 2040. *Etudes Caribéennes*.

Hoegh-Guldberg O., Jacob D., Taylor M., Bindi M., Brown S., Camilloni I., Diedhiou A., Djalante R., Ebi K.L., Engelbrecht F., Guiot J., Hijioka Y., Mehrotra S., Payne A., Seneviratne S.I., Thomas A., Warren R., and Zhou G., (2018): Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I.Gomis, E. Lonnoy, T.Maycock, M.Tignor, and T. Waterfield (eds.)].

Huitric M., Folke C., Kautsky N. (2002). Development and government policies of the shrimp farming industry in Thailand in relation to mangrove ecosystems, *Ecological Economics*, Volume 40, Issue 3, Pages 441-455

Imbert D. (2002) Impact des ouragans sur la structure et la dynamique forestières dans les mangroves des Antilles, *Bois et forêts des tropiques*, N° 273.

Jackson, T.J., Chen, D., Cosh, M., Li, F., Anderson, M., Walthall, C. and Hunt, E.R. (2004) Vegetation Water Content Mapping Using Landsat Data Derived Normalized Difference Water Index for Corn and Soybeans. *Remote Sensing of Environment*, 92, pp. 475-482.

Kaewmahanin J., Sukwong S., Fisher R.J., Worrapornpan S. (2007). Community Mangrove Management in Pred Nai Village, Thailand, in Steele P., Oviedo G., McCauley D. (eds). *Poverty, Health, and Ecosystems: Experience from Asia*, International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland and Cambridge, UK and Asian Development Bank, Manila, Philippines.

Kuenzer C., Bluemel A., Gebhardt S., Vo T., & Dech S. (2011). Remote Sensing of Mangrove Ecosystems: A Review, *Remote Sensing* n°3, 52p.

Lebel L., Tri N., Saengnoee A., Pasong S., Buatama U., Thoa, L. (2002). Industrial Transformation and Shrimp Aquaculture in Thailand and Vietnam: Pathways to Ecological, Social, and Economic Sustainability?. *Ambio*. 31, pp 311-23.

Lebigre, J.M., (1997). Un exemple de relation à risque entre l'homme et un milieu naturel : l'aquaculture dans les marais à mangroves. In : *Pratiques de gestion de l'environnement dans les pays tropicaux. Actes des 6e Journées de Géographie Tropicale, Bordeaux-Talence, 6-8 septembre 1995, Espaces Tropicaux, n° 15, 361-376.*

Lei J., Li Z., Bruce K.W., Rover J. (2011) On the terminology of the spectral vegetation index (NIR-SWIR)/(NIR+SWIR), *International Journal of Remote Sensing*, 11p

Lin P., Ecosystem's role in empowering communities to face global environmental change: Community-based ecological mangrove restoration in Thailand in Daniels J.A, *Advances in Environmental Research*, Nova Science Publishers, 2015, PP. 175-185

Macintosh D.J, Ashton E., Havanon, S. (2002). Mangrove Rehabilitation and Intertidal Biodiversity: a Study in the Ranong Mangrove Ecosystem, Thailand. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 55. 331-345.

Macintosh D.J., Mahindapal, R., Markopoulos M. (eds) (2012). *Sharing Lessons on Mangrove Restoration*. Bangkok, Thailand: *Mangroves for the Future* and Gland, Switzerland: IUCN, 304p.

Memon J.A., Chandio A.A. (2011). Critical Appreciation of Restoration and Conservation of Degraded mangroves in Thailand, *International Journal of Environmental and Rural Development*, Volume 2, 6p.

Molnar N. (2012). Impact des effluents de la crevetticulture sur la dynamique de la matière organique benthique et leurs implications sur les processus biogéochimiques dans une

mangrove (Nouvelle-Calédonie), Biogéochimie et écologie marine, Ecole Doctorale Sciences de la Nature et de l'Homme, Paris

OCDE et FAO (2017). Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2017-2026, OCDE, Paris, 156 p.

On-prom S. (2014) Community-Based Mangrove Forest Management in Thailand: Key Lesson Learned for Environmental Risk Management. Dans: Kaneko N., Yoshiura S., Kobayashi M. (éds) Sustainable Living with Environmental Risks. Springer, Tokyo

Paskoff R. (2000). Le changement climatique et les espaces côtiers « L'élévation du niveau de la mer : risques et réponses ». Acte de colloque du 12 et 13 octobre 2000, Arles. Paris, 96 p

Pimple U., Simonetti D., Hinks I., Oszwald J., Berger U., Pungkul S., Leadprathom K., Pravinongvuthi T., Maprasoap P., Gond V. (2020). A history of the rehabilitation of mangroves and an assessment of their diversity and structure using Landsat 3 annual composites (1987-2019) and transect plot inventories, *Forest Ecology and Management*, 462, 17p

Pimple U., Simonetti D., Sitthi A., Pungkul S., Leadprathom K., Skupek H., Som-ard J., Gond V. and Towprayoon S. (2018) Google Earth Engine Based Three Decadal Landsat Imagery Analysis for Mapping of Mangrove Forests and Its Surroundings in the Trat Province of Thailand. *Journal of Computer and Communications*, 6, pp 247-264.

Pimple U., Simonetti D, Gond V. (in press). Spatio-temporal dynamics of mangrove forest ecosystems: A stable Landsat composites approach, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*

Portecop J, Petit Le Brun T. (2018) La mangrove et la forêt marécageuse des Antilles. PLB. Espagne : PLB Editions, 128 p. (Faune et Flore)

Pumijumnong N. (2014). Mangrove Forests in Thailand. *Mangrove Ecosystems of Asia: Status, Challenges and Management Strategies*, pp.61-79

Richard R., Friess D.A. (2016). Rates and drivers of mangrove deforestation in Southeast Asia, 2000–2012, *PNAS*, 113 (2), pp 344-349

Roussel E., Ducombe M., Gabrié C. (2010). Les mangroves de l'outre-mer français - Ecosystèmes associés aux récifs coralliens, *Documentation Ifreco*, 145 p

Saswattecha K., Kroeze C., Jawjit W., Hein L. (2015). Assessing the environmental impact of palm oil produced in Thailand, *Journal of Cleaner Production*, Volume 100, 2015, Pp 150-169

Scoones, I. (1998). Sustainable Rural Livelihoods: A Framework for Analysis. *IDS Working Paper No. 72*.

Semboung Lang F., Destain J., Campanella B., Delvigne F., Druart P., Thonart P. (2014). Overview of current knowledge on management of hydrocarbon pollution in mangroves. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*. 18. Pp 422-435.

Senik JP. (2006). *Concurrent Conservation and Development: Lessons Learned From a Community-Based Case in Thailand*, Natural Resources Institute, University of Manitoba, 183 p

Silalertruksa T., Gheewala S.H., Pongpat P., Kaenchan P., Permpool N., Lecksiwilai N., Mungkung R., (2017). Environmental sustainability of oil palm cultivation in different regions of Thailand: Greenhouse gases and water use impact, *Journal of Cleaner Production*, Volume 167, pp 1009-1019

Silori C., Soontornwong, S., Roongwong A., Enters T. (2009). Links between conservation and livelihood security in practice: A case study of community conservation of mangrove forests in Pred Nai, Thailand.

Final Report of Work Package 1: Multidisciplinary Situation Appraisal of Mangrove Ecosystems in Thailand, 13 p

Spurrier L., Van Breda A., Martin S., Bartlett R., Newman K. Les solutions fondées sur la nature pour lutter contre les catastrophes liées à l'eau, in Sarre A (dir.) *Les forêts : des solutions fondées sur la nature pour la gestion de l'eau*, *Unasylva* 251, vol 70, 2019, pp 74-83

Stevenson N.J., Lewis R.R., Burbridge P.R. (1999) *Disused Shrimp Ponds and Mangrove Rehabilitation*. In: Streever W. (eds) *An International Perspective on Wetland Rehabilitation*. Springer, Dordrecht

Soontornwong S., Thaworn R., Roongwong A., Weatherby M. (2007). *Participatory Monitoring and Assessment of Ecosystem : Lessons Learned for Development*, Summary of the National Conference Kasetsart University, Bangkok 26-27 May 2005, RECOFTC, Bangkok, 90p

Taureau F., (2017). *Cartographie harmonisée des mangroves de l'Outre-mer français*, *Géographie*. Nantes : Université de Nantes, 248p

Thévand A., (2007). *Dynamique des mangroves en contexte amazonien - de la veille mondiale au suivi des phénomènes de colonisation et de régénération, étude par télédétection et analyse in situ -*, *Ecologie*. Toulouse: Université de Toulouse, 192 p

Thompson B. S (2018). The political ecology of mangrove forest restoration in Thailand: Institutional arrangements and power dynamics, *Land Use Policy*, Volume 78, pp 503-514

Tugrul Yilmaz M., Raymond Hunt Jr E., Jackson TJ. (2008). Remote sensing of vegetation water content from equivalent water thickness using satellite imagery, *Remote sensing of Environment*, volume 112, pp. 2514-2522

United Nations Development Programme. (2012). Pred Nai mangrove conservation and development group Thailand, Equator Initiative Case Study Series. New York, NY.

United Nations Environment Programme. (2009). Reversing Environmental Degradation Trends in the South China Sea and Gulf of Thailand Trat Province Mangrove Demonstration Site, Thailand, UNEP/GEF Project, 60p

Vaiphasa C., De Boer W.F., Skidmore A.K. et al. (2007). Impact of solid shrimp pond waste materials on mangrove growth and mortality: a case study from Pak Phanang, Thailand. *Hydrobiologia* 591, pp 47–57

Vongvisessomjai S. (2009) Tropical cyclone disasters in the Gulf of Thailand. In: Songklanakarin Journal of Science and Technology, 31 (2), pp 213-227.

Walcker R. (2015). Dynamique spatiale des mangroves de Guyane entre 1950 et 2014 : forçage atmosphérique et conséquence pour le stock de carbone côtier, *Ecologie, Environnement*. Toulouse : Université Paul Sabatier, 160p.

Wanthongchai P., Pongruktham O. (2019). Mangrove cover, biodiversity, and carbon storage of mangrove forests in Thailand In *Sabkha Ecosystems*. Suisse : Gul B., Boer B., Ajmal Khan M., Clusener-Godt m., Hameed A. Chapitre 28, pp 459-469

Webographie

Blanchart E., De Tourdonnet S. Processus écologiques : Liens entre services écosystémiques et fonctions écologiques. [En ligne] UVED. Sup Agro, 2014. Consulté le 6 mars 2020. Ressources, 1p. Disponible sur : <https://www.supagro.fr/resspepites/processusecologiques/co/ServicesFonctions.html>

FAO, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, Office thaïlandais d'économie agricole, Ambassade de France à Singapour, Banque mondiale. Les politiques agricoles à travers le monde : Thaïlande. [En ligne] Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2019. Consulté le 11 février 2020. Production et filière, 9p. Disponible sur : <http://agriculture.gouv.fr/politiques-agricoles-fiches-pays>

FAO. Mortalité élevée des crevettes en Asie: le coupable démasqué. [En ligne] FAO, 2020. Consulté le 12 février 2020. Média, 4p. Disponible sur : <http://www.fao.org/news/story/fr/item/175434/icode/>

Fishery and Aquaculture Country Profiles: Kingdom of Thailand (2009). Country Profile Fact Sheets. [En ligne] FAO Fisheries and Aquaculture Department. 1 August 2009. Rome. Consulté le 11 février 2020. Fisheries & Aquaculture, 20p. Disponible sur : <http://www.fao.org/fishery/>

Kornchanok R. Thailand: Firm on Protecting the Palm Oil Sector. [En ligne] Reporting Asean. Voices and views from within. Consulté le 2 mars 2020. Features. Disponible sur : <https://www.reportingasean.net/thailand-firm-protecting-palm-oil-sector/>

Pongsri C., Sukumasavin N. National Aquaculture Sector Overview. Thailand. [en ligne] Département des pêches et de l'aquaculture de la FAO, 2005. Consulté le 12 février 2020. National Aquaculture Sector Overview Fact Sheets, 10p. Disponible sur: http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_thailand/fr#tcN700C5

Tables des figures

Figure 1: Déroulement du stage initialement prévu.....	9
Figure 2: Déroulement du stage.....	10
Figure 3: Répartition et nombre d'espèces de palétuviers dans le monde.....	12
Figure 4: Fonctions de l'écosystème de mangrove.....	16
Figure 5: Principales manifestations et principaux impacts observés liés au changement climatique sur les mangroves à l'échelle globale.....	19
Figure 6: Surfaces de mangroves en Thaïlande en 2015.....	23
Figure 7: Zonage typique de la mangrove en Thaïlande.....	24
Figure 8: Etapes du développement de la crevetticulture en Thaïlande.....	26
Figure 9: Impacts de la crevetticulture sur les mangroves (simplifié).....	29
Figure 10: Evolution des surfaces de plantation de palmiers à huile en Thaïlande de 1982 à 2013.....	30
Figure 11: Localisation de la zone d'étude dans la Province de Trat (Thaïlande).....	36
Figure 12: Evolution de l'utilisation du sol entre 1987 et 2017.....	38
Figure 13: Identification des zones de sol nu dans la zone d'étude par photo-interprétation.....	45
Figure 14: Plan d'échantillonnage initialement prévu pour l'étude.....	46
Figure 15: Caractérisation de l'occupation du sol dans la zone d'étude.....	48
Figure 16: Médiane et écart-types médians des valeurs NDII des mangroves naturelles.....	50
Figure 17: Exemple de trajectoire stable NDII de polygone de mangrove naturelle dans la zone d'étude.....	50
Figure 18: Exemples de trajectoires de la catégorie n°2 des mangroves naturelles.....	51
Figure 19: Trajectoires des polygones de la catégorie de mangroves naturelles n°3 présentant une rupture significative entre 2000-2001.....	53
Figure 20: Trajectoires des polygones de la catégorie de mangroves naturelles n°4.....	55
Figure 21: Trajectoires des polygones de la catégorie n°1 de mangroves réhabilitées.....	56
Figure 22: Trajectoires des polygones de la catégorie n°2 de mangroves réhabilitées.....	57
Figure 23: Exemple des trajectoires des polygones de la catégorie n°3 de mangroves réhabilitées.....	58
Figure 24: Trajectoires des polygones de mangroves réhabilitées de la catégorie n°4.....	59
Figure 25:.....	65
Figure 26: Localisation des zones de mangroves concernées par une réhabilitation réussie (matérialisées en rouge).....	67
Figure 27: Comparaison des polygones de mangrove naturelle stable et de mangrove réhabilitée avec succès.....	68
Figure 28: Localisation des mangroves régénérées naturellement à la suite d'une exploitation à des fins commerciales.....	69
Figure 29: Comparaison d'une courbe de mangroves réhabilitées (catégorie 3) avec celle de mangrove naturelle (catégorie 2).....	70
Figure 30: Trajectoire d'une mangrove qui ne parvient pas à se développer.....	71

Tables des tableaux

Tableau 1: Evolution des surfaces de mangroves en Thaïlande entre 1961 et 2009	25
Tableau 2: Evolution des surfaces de mangroves dans la Province de Trat entre 1961 et 2012	37
Tableau 3: Evolution de l'occupation du sol à Trat	38
Tableau 4: Matrice d'évolution de l'occupation des sols (LULC) entre 1987 et 2017.	39
Tableau 5: Surfaces des entités paysagères de la zone d'étude en 2015.....	49
Tableau 6: Synthèse de l'évolution du NDII entre 1987 et 2019 de la classe n°3 des mangroves naturelles.....	54
Tableau 7: Les facteurs de réussite globaux d'un projet de réhabilitation de mangroves en Thaïlande	62

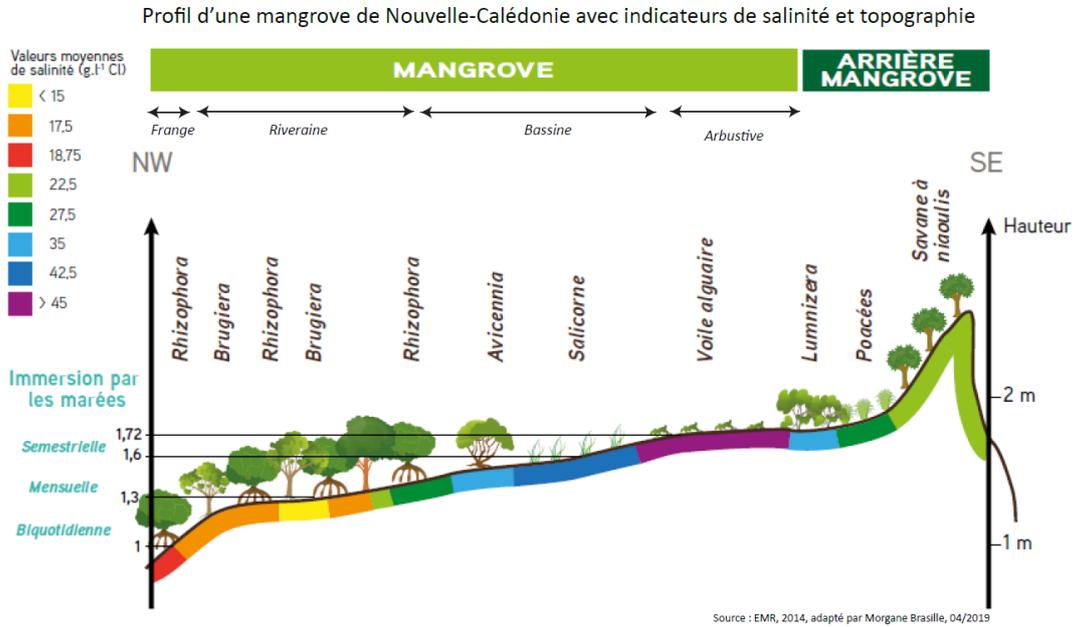
Table des annexes

Annexe 1: Profil d'une mangrove de Nouvelle-Calédonie avec indicateurs de salinité et de topographie.....	86
Annexe 2: Construction de l'indice de confiance émis par le GIEC	86
Annexe 3: Prévisions des impacts du changement climatique sur les forêts de mangroves du monde, sur la base des prévisions climatiques du GIEC pour le climat à la fin du XXI ^{ème} siècle	87
Annexe 4: Production aquacole en eau saumâtre en Thaïlande (tonnes).....	87
Annexe 5: Structure de l'industrie thaïlandaise du palmier à huile.....	88
Annexe 6: Indices de structure forestière des mangroves évalués à Trat, Thaïlande	88
Annexe 7: Changements régionaux prévus par le GIEC en matière de salinité, de précipitations et d'élévation du niveau marin pour 2081-2100.....	89
Annexe 8: Questionnaires pour les différents acteurs dans le cadre des enquêtes initialement prévues.....	89
Annexe 9: Questionnaire pour le DMCR	93
Annexe 10: Localisation de Pred Nai.....	96

Annexes

Annexe 1: Profil d'une mangrove de Nouvelle-Calédonie avec indicateurs de salinité et de topographie

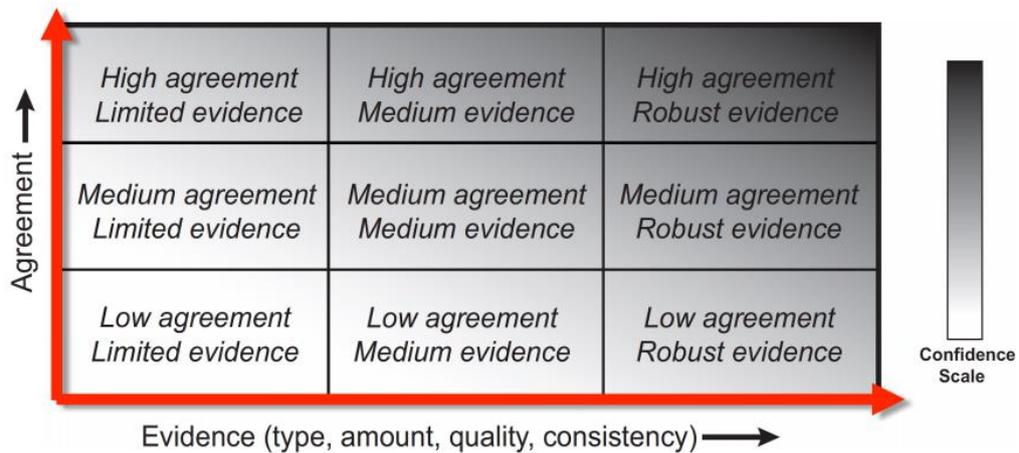
Source : EMR, 2014



Annexe 2: Construction de l'indice de confiance émis par le GIEC

Metrics - Confidence

1. Evidence & Agreement => Confidence

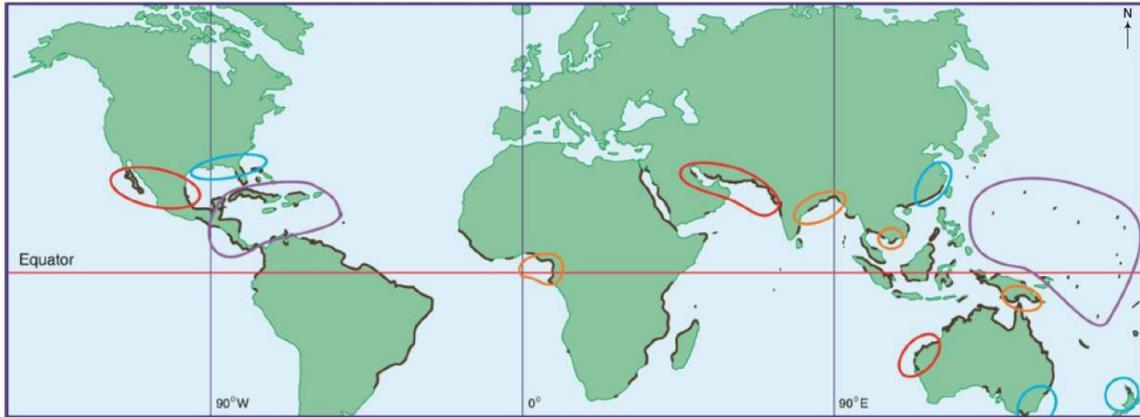


Mastrandrea et al., 2010. Guidance note for lead authors of the IPCC Fifth Assessment Report uncertainties. IPCC, Geneva. 5pp. www.ipcc.ch

Source : Mastrandrea et al., 2010

Annexe 3: Prévisions des impacts du changement climatique sur les forêts de mangroves du monde, sur la base des prévisions climatiques du GIEC pour le climat à la fin du XXI^{ème} siècle

Prévisions des impacts du changement climatique sur les forêts de mangroves du monde, sur la base des prévisions climatiques du GIEC pour le climat à la fin du XXI^e siècle

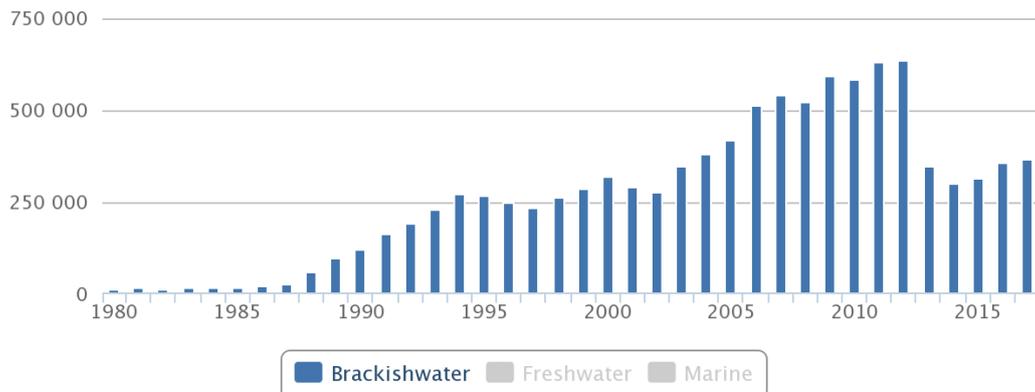


La prévision 1 (lignes rouges) : les forêts de mangrove diminueront à mesure que la salinité augmentera, que l'eau douce deviendra plus rare et que les seuils de température critiques seront atteints plus fréquemment (par exemple, Australie du Nord-Ouest, Pakistan, Péninsule Arabique, deux côtes mexicaines);
 La prévision 2 (lignes oranges) : les forêts de mangrove déclineraient à mesure que le rendement en sédiments diminuera, que la salinité augmentera et que le niveau de la mer montera dans les deltas des rivières tropicales en train de s'affaisser (par exemple, Sundarbans; Mékong, Zaïre, Fleuves Fly);
 La prévision 3 (lignes violettes) : les forêts de mangrove déclineraient à mesure que le niveau de la mer montera et il y aura peu ou pas d'espace de montagne à coloniser (par exemple, Océanie, nombreuses îles des Caraïbes);
 La prévision 4 (lignes bleues) : les forêts de mangroves continueront d'élargir leur plage de latitude à mesure que la température et les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère augmentent (Nouvelle-Zélande, États-Unis, Australie et Chine).

Source : Adapté par Morgane Brasille (02/2020), sous Illustrator CC19 d'après Alongi, 2015 « The Impact of Climate Change on Mangrove Forests », Curr Clim Change Rep

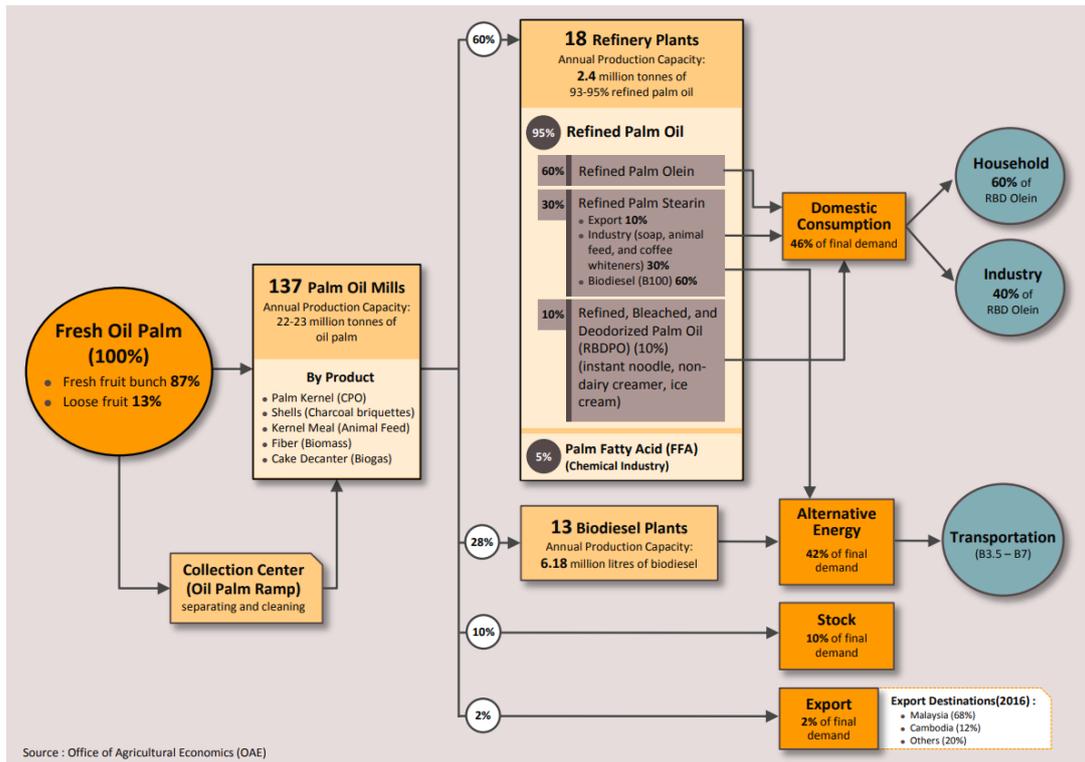
Annexe 4: Production aquacole en eau saumâtre en Thaïlande (tonnes)

Aquaculture production by culture environment the Kingdom of Thailand (tonnes)
 Source: FAO FishStat



Source : FAO, 2019

Annexe 5: Structure de l'industrie thaïlandaise du palmier à huile



Source : Office of Agricultural Economics (2019)

Annexe 6: Indices de structure forestière des mangroves évalués à Trat, Thaïlande

Indices de structure forestière des mangroves évalués à Trat, Thaïlande

Plot No	Basal Area (m ² per 0.1 ha)	Simpson's Index		Shannon Index	Complexity Index	Mean Stand Diameter
		1-D	1/D	H'	CI	MSD
1	3.97	0.71	3.46	1.39	34.91	21.43
2	4.17	0.54	2.17	0.90	19.17	23.03
3	3.06	0.49	1.97	0.84	41.3	11.4
4	3.46	0.66	2.94	1.22	24.89	20.98
5	4.06	0.47	1.90	0.67	24.58	19.92
6	4.72	0.53	2.11	0.88	52.50	16.91
7	3.60	0.54	2.16	0.85	32.38	15.95
8	6.47	0.60	2.52	1.01	70.63	25.17
9	1.56	0.56	2.28	0.90	6.10	11.89
10	0.79	0.62	2.65	1.14	3.46	8.17
11	1.53	0.66	2.92	1.09	23.40	8.06
12	2.65	0.42	1.72	0.69	41.51	10.26
13	1.19	0.26	1.35	0.43	5.76	10.78
14	2.69	0.49	1.97	0.69	15.75	14.62
15	0.92	0.14	1.17	0.27	5.12	6.72
16	1.36	0.00	1.00	0.00	4.34	6.57
17	1.20	0.17	1.20	0.36	15.38	6.79
18	1.19	0.08	1.09	0.17	6.87	7.95
19	1.18	0.30	1.44	0.48	5.30	9.71
20	1.46	0.00	1.00	0.00	6.18	8.30
21	0.89	0.00	1.00	0.00	2.41	7.95
22	1.44	0.00	1.00	0.00	7.10	7.44
23	1.30	0.00	1.00	0.00	6.23	7.19
24	2.11	0.73	3.70	1.42	34.69	9.63

Source: Pimple et al., in press ; adapté par Morgane Brasille sous Illustrator CC 2019, (2020)

Source : Pimple et al., (2020) adapté par Morgane Brasille sous Illustrator CC 19 (2020)

Changements régionaux prévus par le GIEC en matière de salinité, de précipitations et d'élévation du niveau de la mer pour 2081–2100 (par rapport à la période de référence 1986–2005)

Region	Salinity ^a	Precipitation ^b	Sea level rise ^c
N South America	0 to 0.5†	-10 to 40 %↓	0.22–0.24 m
E South America	0 to 0.5†	0 to +10 %†	0.18–0.20 m
Caribbean & W Central America	0.5 to 1.0†	-20 to 10 %↓	0.18–0.20 m
Central West Africa	0 to 1.5†	10 to 20 %†	0.20–0.24 m
Central East Africa	0 to 2.0†	10 to 50 %†	0.20–0.24 m
Red Sea/Arabian Peninsula	No change	-10 to 10 % ↔	0.22–0.24 m
South Asia	0 to 0.5†	-40 to 10 %↓	0.18–0.24 m
SE Asia	0 to 1.0†	0 to 20 %†	0.18–0.20 m
N Australia	No change	0 to 10 %↓	0.18–0.20 m
E Australia	No change	-10 to 0 %↓	0.18–0.20 m
Oceania	No change	0 to 10 %†	0.18–0.22 m

a) La fourchette de la salinité de la surface de la mer projetée change pour 2081–2100 par rapport à la période de référence 1986–2005. Les données de Collins et al., 2013
 b) La gamme des changements projetés dans les précipitations de décembre à février pour 2081–2100 par rapport à 1986–2005. Les données de Collins et al., 2013
 c) L'éventail des projections moyennes d'ensemble des variations moyennes et stériques du niveau de la mer pour la période 2081–2100 par rapport à 1986–2005. Les données de Church et al., 2013

Source : Alongi et al., 2015 ; adapté par Morgane Brasille sous Illustrator CC 2019, (2020)

- **Questions pour les éleveurs de crevettes**

1) Aspect de la trajectoire

- 1)- Depuis combien de temps êtes-vous propriétaire de cet élevage de crevettes ?
- 2)- Quand l'élevage a-t-il été créé ? (Date clé, changement d'utilisation)
- 3)- Vous êtes crevettiers depuis toujours ? Oui/Non
- 3.a Si non, quelles activités avez-vous exercées auparavant ?
- 4)- Avez-vous rencontré des difficultés dans la mise en place (ou l'extension) de vos bassins ? Oui/non
- 4.a.Si oui, pourquoi ?
- 4.b. Avez-vous trouvé une solution : laquelle ?
- 5)- D'où viennent les larves de crevettes ? (Mangrove, mer, écloserie)
- 6)- Utilisez-vous la mangrove pour votre activité ? Oui/non
- 6.a.Si oui (quels sont les services : réservoir de biodiversité, qualité de l'eau, potentiel de production de terres, protection des côtes)
- 7)- Pensez-vous avoir un impact sur celui-ci ? Oui/ non
- 7.a. Si oui, de quelle manière ?

- 8)- Êtes-vous en contact avec des exploitations agricoles voisines ? Oui/non
- 8.a. Si oui, pour quelles raisons ?
- 8.b. Si oui, décrivez-les (concertation sur les ressources, conflits ou autres ?)

2) Données sur l'activité

- 9)- Quelle est votre production annuelle ? (Tonnage)
- 10)- Etes-vous satisfait de la rentabilité de votre activité ?
- 11)- Combien de travailleurs employez-vous ?
- 12)- Qui sont-ils ? (Population locale, ancien agriculteur ?)
- 13)- Y a-t-il une saisonnalité dans l'emploi ? (De quel mois à quel mois ?)
- 13.a. Si oui : Pourquoi ? (En relation avec le cycle de vie des crevettes, principales étapes)

2) Aspect prospectif

- 13)- Quelles activités aimeriez-vous voir au Trarza dans dix ans dans un cadre durable ou viable ? (Palmier à huile, élevage de crevettes, mixte, autre)
- 14)- Etes-vous conscient des effets du changement climatique ? Oui/non
- 14.a. -> Si oui, quel effet exactement (élévation du niveau de la mer, augmentation de l'intensité des tempêtes, acidification des océans, augmentation de la température de l'eau)
- 14.b.. -> Si oui, que prévoyez-vous pour votre activité ?

• **Questions pour les producteurs de palmiers à huile**

1) Aspect de la trajectoire

- 1)- Depuis combien de temps êtes-vous propriétaire de cette parcelle ?
- 2)- Avez-vous toujours cultivé le palmier à huile ? Oui/ non
- 2.a. Sinon, quelles cultures ont été pratiquées ?
- 2.b. Si vous avez répondu "non" à la question précédente : Pourquoi avez-vous choisi le palmier à huile ? (Subvention, expertise, rentabilité)
- 3)- Quelles sont les raisons de l'implantation de palmiers à huile dans ce lieu ? (Conditions spécifiques du site, achat de terrain à bas prix, vieux bassins à crevettes, processus de planification du gouvernement)

- 4)- Quels engrais utilisez-vous ? (Quantifier)
- 5)- Avez-vous des liens avec des élevages de crevettes ? Oui/non (Si oui, lesquels ? concurrence immobilière, concurrence financière, travailleurs, partage des ressources biophysiques)
- 6)- Pensez-vous avoir un impact sur les mangroves ? Oui/ non
- 6.a.Si oui, de quelle manière ?
- 2) Données sur l'activité du jour
- 9)- Quelle est votre production annuelle ? (Tonnage)
- 10)- Etes-vous satisfait de la rentabilité de votre activité ?
- 11)- Combien de travailleurs employez-vous ?
- 12)- Qui sont-ils ? (Population locale, ancien agriculteur ?)
- 13)- Y a-t-il une saisonnalité dans l'emploi ? (De quel mois à quel mois ?)
- 13.a. Si oui : Pourquoi ? (Par rapport au cycle biologique, principales étapes)

2) Aspect prospectif

- 7)- Quelles activités aimeriez-vous voir au Trat dans dix ans dans un cadre durable ou viable ? (Palmier à huile, élevage de crevettes, mixte, autre)
- 8)- Etes-vous conscient des effets du changement climatique ? Oui/non
- 8.a. Si oui, quel effet exactement (élévation du niveau de la mer, augmentation de l'intensité des tempêtes, acidification des océans, augmentation de la température de l'eau)
- 8..b.Si oui, que prévoyez-vous pour votre activité ?

- **Autres agriculteurs**

1) Aspect de la trajectoire

- 1)-Depuis combien de temps possédez-vous cette parcelle ? -Depuis quand ?
- 2)- Que faites-vous pousser ?
- 3)-À qui vendez-vous vos récoltes ?
- 3.a. Êtes-vous satisfait de la rentabilité de votre activité ?
- 3.b. Si non, pourquoi ? (baisse de la demande, concurrence avec d'autres agriculteurs, problème de performance)

- 4)- Les cultures de palmiers à huile ont-elles un impact sur vos cultures ? Oui/non
4.a. Si oui, comment ? (Pollution, empiètement)
- 5)- L'élevage de crevettes a-t-il un impact sur vos cultures ? Oui/non ?
5.a.- Si oui, comment ? (Pollution, empiètement)
- 6)- Utilisez-vous la mangrove ? Oui/ non
6.a. Si oui, de quelle manière ?

2) Données sur l'activité

- 9)- Quelle est votre production annuelle ? (Tonnage)
10)- Etes-vous satisfait de la rentabilité de votre activité ?
11)- Combien de travailleurs employez-vous ?
12)- Qui sont-ils ? (Population locale, ancien agriculteur ?)
13)- Y a-t-il une saisonnalité dans l'emploi ? (De quel mois à quel mois ?)
13.a. Si oui : Pourquoi ? (Par rapport au cycle biologique, principales étapes)

3) Aspect prospectif

- 7)- Quelles activités aimeriez-vous voir au Trat dans dix ans dans un cadre durable ou viable ? (Palmier à huile, élevage de crevettes, mixte, autre)
8)-Avez-vous conscience des effets du changement climatique ?
8.a.- Si oui, quels sont-ils exactement (élévation du niveau de la mer, augmentation de l'intensité des tempêtes, acidification des océans, augmentation de la température de l'eau
8.b. Oui/non (Si oui, que prévoyez-vous pour votre activité ?)
9)- Avez-vous déjà pensé à convertir vos cultures au palmier à huile ? Oui/ non
9.a. Si oui, raisons ? Plus simple, meilleurs rendements, moins de main-d'œuvre

Questionnaire concernant la réhabilitation des mangroves faite à Trat en 1991

Préambule :

La Thaïlande a acquis une solide expérience de la gestion réussie des forêts et de la restauration des écosystèmes, à tel point que de nombreux projets sont devenus des modèles et des points de référence en termes de réhabilitation. Dans le cadre du projet RESCuE (restauration des écosystèmes côtiers durables) ainsi que de mon mémoire de stage, je souhaiterais obtenir davantage d'informations quant au déroulement de la réhabilitation des mangroves qui a eu lieu à Trat dans les années 90.

Ce questionnaire est composé de 20 questions et prend en moyenne une trentaine de minutes à remplir. Je vous remercie d'avance du temps passé à répondre à ces questions. N'hésitez pas à joindre tous documents utiles à la compréhension (photos, cartes ...).

NOM :

Prénom :

Profession :

A) Contexte

1) Quels ont été les événements qui ont conduit à la réhabilitation des mangroves ?
(Crevetticulture, exploitation forestière, altération des services écosystémiques etc.)

2) Quelle était la politique concernant la gestion des mangroves mise en place :

2.A) - avant le début de la réhabilitation :

2.B) - au début de la réhabilitation :

3) Est-ce une initiative venant des communautés locales (*bottom up*) ou davantage une démarche provenant des politiques gouvernementales (*top down*) ?

B) Acteurs et rôles

4) Quel a été votre rôle dans ce projet de réhabilitation ?

5) A quel(s) moment(s) de la réhabilitation êtes-vous intervenu ?

6) Quels ont été les autres acteurs clefs ?

- Gouverneur provincial (rôle) :

- Département des forêts (rôle) :

- ONG (Nom et rôle) :

- Universités et écoles (Nom et rôle) :

- Entreprises (Nom et rôle) :

- Autres acteurs :

6.A) Communautés locales :

- Comment s'est mis en place le comité de gestion ? (Y a-t-il la présence d'un leader ?)

- D'autres types de groupe ont-ils été créés ? (Groupe d'épargne, groupes de fonds d'équipement de pêche)

- Comment s'est établi le partenariat avec les autres villages en matière de gestion ?

7) Y a-t-il eu des difficultés pour collaborer avec les différentes parties prenantes ?

C) Aspects techniques

8) Quelle(s) espèce(s) a (ont) été planté ?

8.A) Selon quel « plan de plantation » les espèces ont-elles été plantées ? (De la mer vers la terre, définition de zones prioritaires à replanter par exemple)

9)Quelle technique de plantation avez-vous utilisée ?

10)Une analyse des conditions biophysiques du site a-t-elle été faite au préalable ?

11)Un suivi post-projet a-t-il été effectué ?

11.A) Si oui, pendant combien de temps ?

D) Gouvernance et Planification

12)Par quel biais s'est faite la planification ? (Réunions, assemblés ...)

13)Y a-t-il eu l'intégration de toutes les parties prenantes dans le processus de planification ?

14)Quelles ont été les grandes étapes de planification de la réhabilitation ?

15)Y a-t-il eu des éléments ou événements venant perturber les étapes de la réhabilitation ?

E) Résultats de la réhabilitation

16)Surface de mangrove initiale :

17)Surface de mangrove post-réhabilitation :

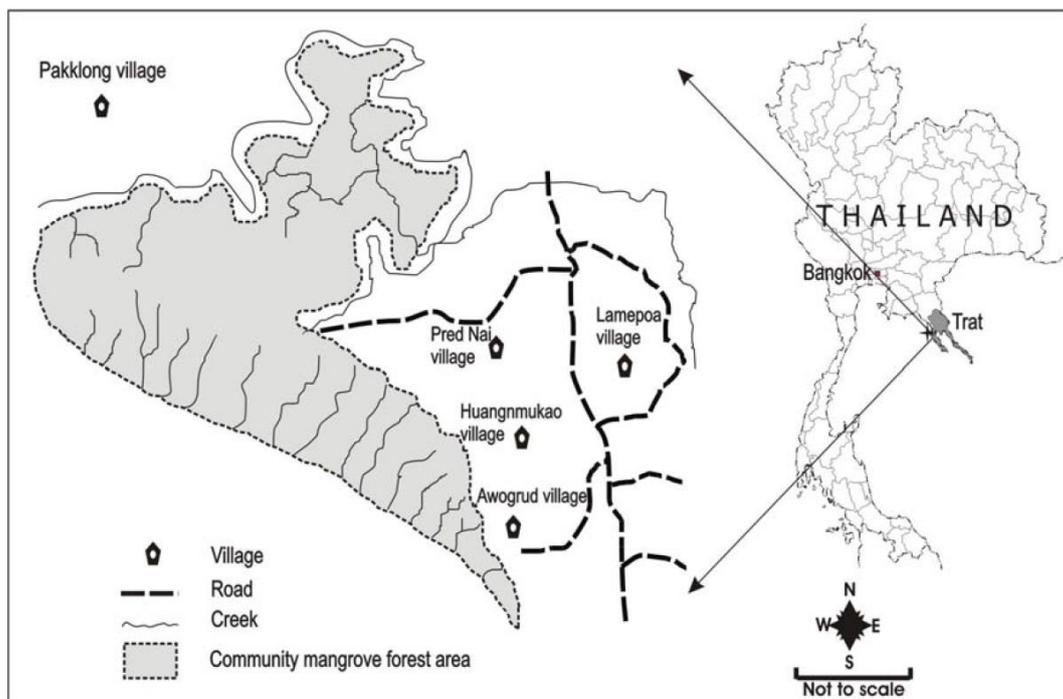
18) Y a-t-il eu un retour (augmentation ?) de la biodiversité au sein des mangroves ?

19) La réhabilitation a-t-elle profité aux communautés locales ?

19.A) Si oui, de quelle manière ?

20) Les communautés locales poursuivent-elles encore aujourd'hui une gestion communautaire des mangroves ? (Exemple d'actions, de projets)

Annexe 10: Localisation de Pred Nai



Source : Thailand Collaborative Country Support Programme, RECOFTC (2009)

Annexe 11 : Valeurs NDII correspondantes aux courbes de la médiane et des écart types

Années	Ecart-type médian min	Médiane	Médiane + écart-type
1987	0,48702208	0,609	0,73097792
1988	0,48408926	0,611	0,73791074
1989	0,47294917	0,61	0,74705083
1990	0,48267051	0,6	0,71732949
1991	0,48857512	0,609	0,72942488
1992	0,46945967	0,607	0,74454033
1993	0,49497361	0,613	0,73102639
1994	0,4645466	0,607	0,7494534
1995	0,48246091	0,606	0,72953909
1996	0,49249537	0,601	0,70950463
1997	0,48689018	0,603	0,71910982
1998	0,48872382	0,595	0,70127618
1999	0,50186534	0,599	0,69613466
2000	0,49667453	0,569	0,64132547
2001	0,51296933	0,577	0,64103067
2002	0,4899931	0,579	0,6680069
2003	0,48357626	0,58	0,67642374
2004	0,48263818	0,571	0,65936182
2005	0,46962388	0,574	0,67837612
2006	0,48122027	0,571	0,66077973
2007	0,47437991	0,562	0,64962009
2008	0,47420875	0,555	0,63579125
2009	0,47865687	0,563	0,64734313
2010	0,46963955	0,559	0,64836045
2011	0,45489863	0,544	0,63310137
2012	0,4616698	0,547	0,6323302
2013	0,4249925	0,518	0,6110075
2014	0,43815579	0,53	0,62184421
2015	0,45563815	0,542	0,62836185
2016	0,4669007	0,547	0,6270993
2017	0,45299997	0,534	0,61500003
2018	0,46395809	0,543	0,62204191
2019	0,46918917	0,561	0,65281083

Source : Conception et réalisation Morgane Brasille (2020) sous Excel, d'après les données NDII issues des images Landsat 1987-2019

Source : Données NDII des composites médians annuels Landsat (1987-2019)

Table des matières

Introduction	6
Présentation de la structure et objectifs du stage	9
Etat de l'art	11
1.Fonctionnement et rôles des écosystèmes de mangroves	11
1.1 Le fonctionnement des mangroves et des palétuviers	11
1.1.1 La structure et l'organisation des mangroves	11
1.1.2 Les stratégies d'adaptation face à la salinité et au niveau d'eau fluctuant	13
1.2 La diversité des fonctions et les services écosystémiques	14
1.2.1 Les fonctions écologiques	14
1.2.2 Les services écosystémiques rendus par les mangroves	16
2. Pressions et principales menaces exercées sur la mangrove	17
2.1 Les menaces « naturelles » responsables en partie de la perte de surface de mangroves	17
2.2 Les menaces anthropiques	18
2.2.1 L'aménagement et l'urbanisation du territoire	18
2.2.2 Le changement climatique.....	19
2.2.3 L'agriculture et l'aquaculture.....	21
2.2.4 Les déversements et pollutions	21
2.2.5 La modification de l'apport en eau douce	22
3.Les mangroves de Thaïlande	23
3.1 Généralités et état des surfaces	23
3.1.1 Autécologie des mangroves.....	23
3.1.2 Evolution des surfaces et pressions localisées	24
3.2 Les principales activités économiques liées aux mangroves	25
3.2.1 L'importance de la crevetticulture en Thaïlande.....	25
Histoire du développement de la crevetticulture en Thaïlande	25
Les raisons de l'implantation de fermes crevetticoles dans les forêts de mangroves .	27
Les impacts de la crevetticulture sur l'écosystème de mangroves	28
3.2.2 La culture du palmier à huile : un secteur en pleine expansion en Thaïlande	30
Impacts de la plantation de palmiers à huile sur la mangrove	31

3.3 Maintenir et protéger les mangroves et leurs fonctions en Thaïlande.....	32
3.3.1 Cadre de gestion des mangroves.....	32
Les principaux acteurs en charge de la gestion des mangroves.....	32
Aperçu du cadre législatif sur la gestion des mangroves.....	32
3.3.2 Planification et actions pour la restauration des mangroves.....	33
L'adoption de stratégies et la mise en place d'objectifs pour la restauration	33
Développement d'initiatives communautaires.....	33
4. Zone d'étude : Trat.....	36
4.1 Localisation et caractéristiques de peuplement de mangroves	36
4.2 De l'ère de la crevetticulture vers la protection des mangroves ?	37
4.2.1 Evolution des surfaces de mangroves à Trat	37
4.2.2. Les principales menaces s'exerçant sur les mangroves de Trat	37
Menaces naturelles	37
Les changements d'occupation du sol : une menace pour les mangroves ?.....	38
4.2.3 L'opération de réhabilitation de mangroves dans les années 90.....	40
4.3 Mesurer l'évolution des surfaces de mangroves à Trat : l'apport de la télédétection ..	40
Matériel et Méthode	43
1. Analyse des trajectoires	43
2.1 Imagerie Landsat.....	43
2.2 Indice infrarouge à différence normalisée (NDII)	43
2.3 Calcul de la médiane et de l'écart type des valeurs NDII des mangroves naturelles.	44
2. Délimitation des polygones.....	44
3. Analyse des facteurs de réussite de la réhabilitation des mangroves.....	45
3.1 Plan d'échantillonnage.....	45
3.2 Résultats attendus des enquêtes de terrain.....	46
3.3 Conception d'une grille d'évaluation du processus de réhabilitation.....	46
Résultats	48
1. Les composantes paysagères à Trat.....	48
1.1 Configuration de la zone d'étude	48
1.2 Surfaces des composantes.....	49
2. Evaluation des séries chronologiques annuelle composite NDII de Landsat.....	49
2.1 Les trajectoires de mangroves naturelles.....	50
2.2 Les trajectoires de mangroves réhabilitées	55

3. Les facteurs de réussite du projet de réhabilitation de mangroves à Trat.....	60
Discussion.....	64
1. Evolution des peuplements de mangroves naturelles entre 1987 et 2019.....	64
2. Evolution des peuplements de mangroves réhabilitées.....	66
3. La télédétection : un outil d'aide à la compréhension des changements au sein des mangroves	72
4. Les facteurs de réussite en corroboration des trajectoires NDII	72
5. Critique et recommandations	73
Conclusion	75
Bibliographie	77
Webographie	83
Tables des figures.....	84
Tables des tableaux.....	85
Table des annexes.....	85
Annexes	86
Table des matières.....	98
Résumé.....	101

Résumé

De nombreux projets de réhabilitation de mangroves ont été menés dans le monde et notamment en Thaïlande. La principale motivation est la perte de surface de mangroves et des moyens de subsistances associés pour les communautés locales. En effet, avant les années 80, 48% de la surface des mangroves estimée en 1961 avait été convertie en bassins pour l'exploitation du sel et l'aquaculture. A Trat, la zone d'étude située dans l'Est du pays, la réhabilitation conduite est mentionnée dans la littérature comme un véritable succès et constitue un point de référence en matière de gestion communautaire des mangroves. Notre analyse consiste à utiliser les composites annuels médians des séries Landsat et les valeurs de l'indice infrarouge de différence normalisée (NDII) pour examiner les changements sur le long terme des peuplements de mangroves naturelles et réhabilitées. Les résultats confirment l'utilisation des composites annuels Landsat et indiquent un succès des mangroves réhabilitées. Combinés aux valeurs NDII, ils permettent d'évaluer d'une part, le temps nécessaire pour la stabilisation des peuplements de mangroves réhabilitées et d'autre part, l'état d'avancement du projet de réhabilitation. Ces résultats sont d'autant plus vérifiés par l'examen des facteurs de réussite de la réhabilitation internes et externes aux communautés locales regroupés, en quatre critères essentiels qui ont été validés dans le cas de Trat : la présence d'un diagnostic écologique de la zone, la capacité de la communauté à protéger et restaurer les mangroves, la coordination entre les différentes institutions gouvernementales et non-gouvernementales, la transférabilité entre communautés.

Numerous mangrove rehabilitation projects have been carried out around the world, particularly in Thailand. The main motivation is the loss of mangrove areas and the associated livelihoods for local communities. Indeed, before the 1980s, 48% of the mangrove area estimated in 1961 had been converted into ponds for salt mining and aquaculture. In Trat, the study area located in the east of the country, the rehabilitation carried out is mentioned in the literature as a real success and constitutes a reference point for community management of mangroves. Our analysis uses median annual composites of Landsat series and normalized difference infrared index (NDII) values to examine long-term changes in natural and rehabilitated mangrove stands. The results confirm the use of annual Landsat composites and indicate success of rehabilitated mangroves. In combination with NDII values, they make it possible to assess the time needed to stabilize rehabilitated mangrove stands and the progress of the rehabilitation project. These results are further verified by examining the factors of success of the rehabilitation internal and external to the local communities grouped into four essential criteria that were validated in the case of Trat: the presence of an ecological diagnosis of the area, the community's capacity to protect and restore the mangroves, coordination between the different governmental and non-governmental institutions, and transferability between communities.