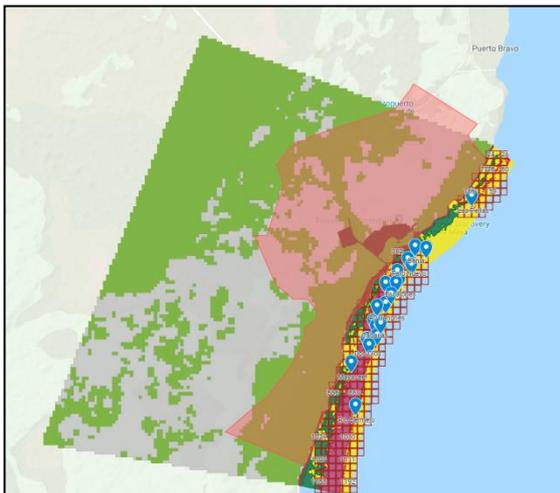

Rapport de stage de 2^{ème} année : Cartographie d'habitat des écosystèmes côtiers de Mahahual

Période de stage du 19 juin au 28 aout 2019



Diplôme d'ingénieur agronome

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE DE TOULOUSE

Avenue de l'Agrobiopole, BP32607, Auzeville Tolosane – 31326 Castanet-Tolosan



Remerciements

Je tiens à remercier Cassiopée Doneys pour son encadrement, sa disponibilité et la gentillesse dont elle a fait preuve pendant toute la durée de mon stage. L'autonomie et la confiance qu'elle m'a donné m'ont permis de m'épanouir pleinement de la réalisation de ce stage.

Je remercie également Andres Larrea qui, malgré son absence pendant la période de stage, a été très disponible et nous accompagné sur les aspects techniques en cartographie.

Je remercie enfin Camille Mulatero, élève en 3^{ème} année à l'ENSAT, collègue de travail lors de ce stage et avec laquelle nous avons réalisé la mission qui nous a été confiée au début du stage. Son expérience sous QGIS acquise lors de stages de cartographie m'a permis de me familiariser plus rapidement que si j'avais travaillé seul. Cela nous a aussi permis de faire face à de nombreuses difficultés.

Tables des figures :

Figure 1 : Capture du tableau de rentrée de données sur l'application Excel

Figure 2 : Capture de l'interface historique pour les herbiers marins

Figure 3 : Capture de la Webmap interactive (Google My Map)

Figure 4 : Capture de l'information portée par une cellule du quadrillage AGGRA (Google My Map)

Figure 5 : Répartition des types de forêts à Mahahual

Figure 6 : Etendue du Plan de Développement Urbain sur les forêts de Mahahual.

Image 1 : Localisation de Mahahual

Table des sigles :

NGO : Non Governmental Organization

SIG : Système d'Information Géographique

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index

Table des matières

Introduction	6
Abstract	8
I. Takata Research Center, une structure locale alliant recherche appliquée et sensibilisation de la population à la conservation des habitats naturels de Mahahual.....	9
<i>a. Structure de l'entreprise et mission globale du centre de recherche.</i>	
<i>b. Une importante diversité d'espaces étudiés et d'actions menées pour étudier et sensibiliser les locaux sur l'importance de conserver ces habitats</i>	
<i>c. Rôle du programme de cartographie et objectif du stage.</i>	
II. Support et méthodologie adaptés aux objectifs de la mission	12
<i>a. Un premier travail de prise de connaissance du projet et de rassemblement de données.</i>	
<i>b. Cartographie des habitats</i>	
<i>c. Travail préliminaire sur le programme des forêts de mangrove : cartographie de cet habitat et recherches bibliographiques sur le suivi des mangroves.</i>	
III. Résultats : la livraison de nouveaux supports informatiques utiles au projet global de Takata Research Center.....	15
<i>a. Excel, outil de rassemblement et de synthèse de données.</i>	
<i>b. Web Map, un outil en ligne donnant accès à divers indicateurs éco systémiques des habitats de Mahahual.</i>	
<i>c. Projet d'état des lieux de la mangrove.</i>	
<i>d. Perspective</i>	
IV. Une mission riche en apprentissages et prise de recul sur le travail réalisé.	21
<i>a. Retour sur le travail fourni et les enseignements retirés à l'issue du stage.</i>	
<i>b. Prise de recul et réflexion sur la méthodologie de travail</i>	
<i>c. Prise de recul sur le fonctionnement de l'entreprise et perspectives futures</i>	
Conclusion.....	25
Bibliographie:.....	26

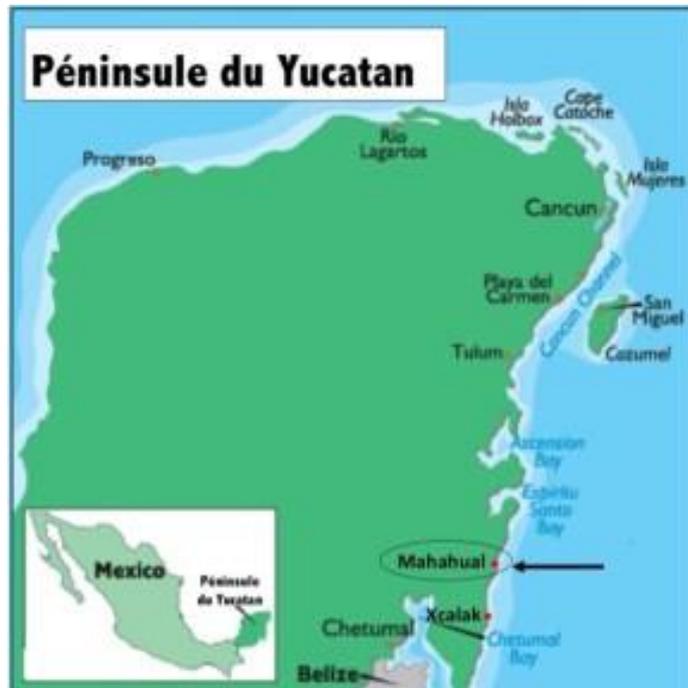


Image 1 : Localisation de Mahahual

Introduction

La barrière corallienne de la mer Caraïbes est la deuxième plus longue de la planète. C'est un espace offrant un refuge pour un nombre important de poissons, coraux et autres espèces sous-marines. Mahahual (Image 1), ancien petit village de pêcheurs, est aujourd'hui une ville qui se développe essentiellement grâce au tourisme. L'arrivée quotidienne de bateaux croisière et les activités touristiques ont des répercussions sur les dynamiques et la santé de ces écosystèmes déjà menacés par le réchauffement climatique.

Mon stage de deuxième année s'est déroulé à Mahahual, sous la tutelle de l'ONG Takata Research Center. Cette structure est installée à Mahahual depuis 2016 et travaille sur l'étude et la conservation des différents espaces naturels environnants. Le centre de recherche travaille en collaboration avec le centre de plongée du même nom. Cela offre un réel avantage pour ce qui est de la collecte de données sous-marines ou encore la mise en place de projets de restauration de coraux.

Le stage que j'ai effectué à Takata Research Center s'est déroulé du 19 juin au 28 août 2019. Il s'est déroulé au sein du pôle cartographie et j'ai donc presque essentiellement réalisé un travail informatique de gestion de données spatiales. L'objectif du stage s'inscrit dans la continuité du travail fourni par les précédents stagiaires du même programme. Le but est de compléter et de terminer cette phase de cartographie par la publication d'une carte interactive regroupant des indices de santé des différents espaces naturels de Mahahual. Cette carte doit figurer sur le site internet du centre et être libre d'accès afin de sensibiliser les populations à la conservation des aires naturelles. La seconde mission du stage a eu pour objectif de travailler sur la cartographie d'un habitat qui n'a pas encore été étudié par le centre : la forêt de mangrove. Cet espace subit une forte pression anthropique et est menacé par un plan de développement urbain de Mahahual. Ce stage a été réalisé en collaboration avec Camille Mulatero, élève en 3^{ème} année en QEGR. Nous avons travaillé sur le même sujet de stage, sur les deux missions, mais en travaillant en parallèle sur certains travaux comme la recherche bibliographique ou encore la rentrée de data dans les bases de données.

Abstract

Mahahual, a coastal city in Mexico, is surrounded by multiple ecosystems such as the mangrove forest, sea grass areas and the Caribbean coral barrier. Since few years, tourism is a growing phenomenon. It leads to anthropic modifications of the environment. Takata research center is an NGO, which settled in Mahahual in order to study the impact of tourism on the ecosystems. Coordinators and interns work for collecting data and studying the health of these habitats. My internship assures the continuity with the cartography work of previous interns. The aim of my work was to gather and add, to a map of Mahahual habitats, different data that have been collected by different interns. A second objective was about delineating the mangrove area and to adding it to the map. The final purpose was to publish this map on Takata's website. The QGIS map was initially composed of two layers: the first represented the different habitats and the second was an AGGRA grid overlapping the coral reef and sea grass ecosystems. The first step of the work was to gather all the data. This huge amount of variable and indicators makes the work a bit difficult but I took the lead to create a excel file for the future interns. This file gathers all the data of every internship for few years. It makes the comprehension of data easier and more uniform. The interns of different programs can input their data with the same unity system, using the same indicators. Then, we had to select relevant indicators that will be displayed on the map. I calculated some of them to make the comprehension of the map easier. The second step consisted in adding the selected indicators to the different habitats. A grid was linked to the AGGRA sites on the map. I completed the grid with all the data. Then, the map has been published on the website of the research center. The last step of the internship consisted in initiating the work on the mangrove. We had to delineate the mangrove habitats from the forest areas. Thanks to NDVI mapping and elevation layers, we succeed in displaying limits of the mangrove. We finally added this new habitat to the previous interactive Web map. We also created a grid to allow the future interns on the mangrove to input their own data. The very last step of our work was about the Urbanization Plan that is going to occur in the next years in Mahahual. It really threatens the mangrove habitat. In order to warn authorities about this threat, we overlapped the extent of this project with the current mangrove area. This new file has also been displayed on the interactive map. Cassiopea Doney, our coordinator, will use this file to convince local authorities to reconsider the extent of the project. In order to initiate the future monitoring work on the mangrove, we also read many scientific articles that may help the future fieldwork in building a diagnostic of this fragile ecosystem.

I. Takata Research Center, une structure locale alliant recherche appliquée et sensibilisation de la population à la conservation des habitats naturels de Mahahual.

a. Structure de l'entreprise et mission globale du centre de recherche.

Takata Research Center est une ONG spécialisée en écologie marine, gestion durable des zones côtières et sensibilisation du public. Ce centre de recherche a été créé en 2016 par Cassiopée Doneys, biologiste spécialisée en écologie marine. L'important impact du tourisme et le manque d'actions concrètes du gouvernement pour la conservation des habitats naturels ont été les deux principaux moteurs dans la volonté de créer cette structure. La mission principale du centre est donc de protéger la biodiversité marine au travers de la recherche scientifique, de la restauration d'habitats et de la sensibilisation. Les premières études étaient concentrées sur l'étude des coraux mais la connectivité entre tous les habitats de Mahahual nécessite l'étude de ces espaces dans une optique de mise en place d'un développement côtier durable. Une équipe de coordinateurs s'est alors formée, elle est composée de 4 coordinateurs, biologistes pour la plupart. Ces derniers supervisent le travail des stagiaires sur les différents programmes d'études du centre. Afin de couvrir le suivi et d'assurer le fonctionnement de ces 8 programmes, le centre accueille de nombreux stagiaires. Les différents ateliers ou programmes du centre travaillent spécifiquement sur les différents habitats (récifs coralliens, herbiers marins, mangroves), la conservation des tortues, le recyclage, ou encore la cartographie. Le centre de recherche est jumelé au centre de plongée avec lequel il partage les locaux. Il est d'ailleurs aujourd'hui financé par le centre de plongée. Cette étroite relation entre les deux structures permet aux travaux de recherche d'être effectués et aux clients des plongées d'être sensibilisés à la conservation des écosystèmes marins. Néanmoins, une démarche de financement de la part des autorités de l'état du Quintana Roo a été amorcée et doit aboutir en novembre. Cette nouvelle entrée de subventions doit permettre au centre de recherche d'investir dans plusieurs équipements coûteux et indispensables aux recherches de terrain sur des habitats moins accessibles. C'est le cas des mangroves qui nécessitent par exemple un drone pour faciliter l'identification de la couverture végétale ou encore des sondes pour mesurer des données physiques et biochimiques.

- b. Une importante diversité d'espaces étudiés et d'actions menées pour étudier et sensibiliser les locaux sur l'importance de conserver ces habitats

Takata Research Center est en premier lieu un centre de recherche qui étudie et met en place des missions de conservation, de restauration d'habitats naturels. Les travaux concernent les écosystèmes coralliens ou herbiers marins qui subissent une pression forte liée au tourisme. Cela fait maintenant plusieurs années que des travaux de recherche, et de restauration pour les coraux, ont été entamés pour ces habitats. Au contraire, le centre élargit la diversité des habitats étudiés en lançant une étude sur les forêts de mangroves qui s'étendent en amont du cordon littoral. Cet écosystème, essentiel pour la bonne santé des habitats marins, est aujourd'hui une zone où les locaux jettent leurs déchets. Elles servent plus récemment de zone de dépôts de sargasses qui ont des conséquences dramatiques sur la mangrove. Cet habitat sans intérêts touristiques et économiques est aujourd'hui pris en compte dans les recherches du centre. La deuxième partie de notre stage a d'ailleurs porté sur une étape préliminaire de cartographie de ces étendues.

Au-delà des travaux spécifiquement menés sur les différents habitats, l'entreprise mène de nombreuses autres actions sur le territoire de Mahahual. L'ensemble de ces actions est supervisé par Cassiopée Doneys, veillant au bon déroulement de toutes ses missions et au dialogue avec d'autres acteurs de la ville. Une importante autonomie est donnée aux stagiaires. Les objectifs de mission sont clairement définis en début de stage. Toutes les quinzaines de jours, la faisabilité et les choix de méthode sont régulièrement discutés avec Cassiopée lors de réunions. Cela permet de recadrer si nécessaire le travail du stagiaire afin qu'il s'accorde au projet global de l'entreprise. Outre les travaux de recherche sur les différents habitats, Takata Research Center travaille auprès des populations locales, des professionnels du tourisme sur la certification écotouristique et la sensibilisation de la protection des espaces naturels. L'objectif de l'entreprise est de partager les connaissances acquises sur le terrain aux populations locales afin de leur montrer l'importance de limiter la pollution de ces espaces.

Le centre de recherche collabore avec de nombreux acteurs. Les premiers sont d'abord les moniteurs de plongée qui participent à la mise en place et au suivi de structure de restauration de coraux. L'ensemble des autres centres de plongée participe au suivi des espèces lorsqu'ils repèrent des espèces notables sur certains sites de plongée.

La tournée hebdomadaire de recyclage est réalisée avec de nombreux hôtels et habitants par l'ensemble des stagiaires de Takata. La population est également invitée à participer à la protection du littoral via l'adhésion à des associations naturalistes et la participation à des nettoyages de plages. La priorité est mise dans les écoles car la jeunesse est très réceptive à des activités d'information et ateliers pratiques propre à l'environnement (plantation d'arbres, confection de panneaux de recyclage). Le nombre important d'acteurs avec lesquels collabore le centre permet de construire un réseau solide sur l'ensemble du territoire. Cela permet par exemple d'être rapidement mis au courant lorsque des locaux repèrent un nid de tortues marines.

c. Rôle du programme de cartographie et objectif du stage.

L'atelier de cartographie est supervisé par Andres Larrea, biologiste marin. Le travail de cartographie se fait essentiellement avec le logiciel QGIS, gratuit et offrant des outils suffisant au centre et à ses travaux. La mission principale du programme de cartographie des habitats est la publication d'un outil d'informations spatialisées sous la forme d'une carte interactive en ligne et libre d'accès. Cette dernière doit servir de support indicateur de la santé des habitats naturels de Mahahual. Notre travail au centre a été essentiellement informatique. Il s'est inscrit dans la continuité de celui des précédents stagiaires de ce projet. La reprise des travaux précédents et la lecture des rapports a permis de ne pas perdre de temps et de commencer directement la dernière phase. Ce travail s'intègre dans le projet global de l'entreprise car il permet une présentation complète de données récoltées sur le terrain pour les différents habitats. Ainsi, leur compréhension nécessite une visualisation spatiale mettant en évidence des impacts anthropiques ou des gradients pour certains indicateurs.

En ce qui concerne l'objectif du stage que j'ai effectué au sein de ce service, il a été double :

- Le premier a été de relier la carte QGIS existante représentant les habitats naturels avec l'ensemble des données de terrain récoltées par les stagiaires des autres ateliers afin de mettre en ligne une carte interactive faisant état des lieux des différents habitats de Mahahual. Cette carte doit être libre d'accès et publiée sur le site de Takata.
- Le second objectif de ce stage a été d'une part de fournir un premier support cartographique de l'étendue des mangroves, et d'autre part de relier cette surface avec celle du futur Plan d'urbanisme de Mahahual.

Cet outil permettra de mettre en évidence les potentielles répercussions du projet urbain sur cet habitat fragile et essentiel pour le littoral.

Les objectifs du stage s'intègrent à la mission globale de recherche de l'entreprise dans son optique de suivi et de conservation des écosystèmes côtiers. La mangrove n'a d'ailleurs pas été étudiée par Takata jusqu'à présent. Les différents livrables fournis doivent être réutilisés lors des futurs stages de suivi de mangrove et permettre d'élargir les actions de conservation et de sensibilisation à un autre type d'habitat naturel.

II. Support et Méthodologie adaptés aux objectifs de la mission

- a.** Un premier travail de prise de connaissance du projet et de rassemblement de données.

La première des tâches que nous avons réalisées a été de prendre connaissance de tous les travaux des anciens stagiaires sur l'atelier de cartographie. La compréhension du projet dans sa globalité passe par la lecture des rapports des premières phases. Nous avons ensuite eu accès aux documents QGIS liés à ces étapes et également à l'ensemble des données de terrain des différents stagiaires. Un rapport écrit est respectivement annexé à chaque jeu de données afin de faciliter leur compréhension et les conclusions tirées de ces diverses analyses. Du fait du nombre important de missions de collecte de données, nous avons reçu beaucoup de fichiers Excel contenant différentes data. Chaque stagiaire ayant des manières différentes de présenter ses données, nous avons eu quelques difficultés pour homogénéiser la manière de les présenter. La création d'un fichier Excel permettant aux stagiaires de renseigner leurs données de manière homogène est apparue comme nécessaire afin de faciliter notre travail et celui des stagiaires qui auront à actualiser les futures données terrain. Cet outil a donc été le premier des livrables que nous avons rendu au cours de la période de stage.

- b.** Cartographie des habitats

L'intégralité de la partie cartographique est effectuée avec le logiciel QGIS. Les fichiers des stagiaires précédents ont servi de support de départ pour la dernière phase du projet.

Les cartes préexistantes regroupent des couches vectorielles présentant les différents habitats, des points associés aux sites de plongée de la zone et un quadrillage de type AGGRA spécifique aux habitats Herbiers et Coraux. AGGRA est un protocole universel d'étude des coraux et herbiers marins. Ce protocole a été suivi par le centre de recherche et cela se traduit en cartographie par une grille de quadras de 200 m x 200 m.

La mise en ligne d'une carte interactive accessible à tous représente l'objectif principal de la première partie du stage. Nous disposons de l'ensemble des données des stagiaires lors de leurs sorties terrain. Une sélection des variables apparaissant sur cette carte est nécessaire afin de ne pas surcharger la carte d'informations. Ces indicateurs doivent être clairement expliqués et doivent permettre une compréhension rapide de l'état de santé des différents habitats de Mahahual. L'ensemble de ses variables doit être recoupé avec notre deuxième source d'informations : la carte QGIS composée du quadrillage AGGRA et des différents habitats. Une fois la jointure réalisée, la carte sera publiée sur le site via la plateforme Google my Map, outil de mise en ligne d'informations géo localisées.

c. Travail préliminaire sur le programme des forêts de mangrove : cartographie de cet habitat et recherches bibliographiques sur le suivi des mangroves.

La seconde partie du stage concerne l'étude cartographique de la mangrove. L'objectif de cette étude est de différencier les espaces de mangroves des espaces de forêt tropicale. Une fois l'aire de la mangrove déterminée, l'objectif second est de superposer la superficie de la mangrove avec le plan d'urbanisme avenir et ainsi de montrer aux autorités les potentielles conséquences de la destruction de cet habitat essentiel aux autres. Le travail de cartographie a commencé par la lecture de plusieurs revues scientifiques sur l'étude de ces habitats. Ces derniers ont souvent une faible accessibilité car ils sont très denses et le travail de terrain présente de nombreuses limites. On utilise aujourd'hui de plus en plus de drones afin de déterminer des superficies et délimiter des espaces où l'accès est difficile. Ce nouvel outil permet notamment l'étude de la végétation de manière plus précise qu'avec des images satellites (Monika Ruwaimana, 2018). N'ayant pas de drones à disposition, il a fallu réaliser le travail de cartographie de mangrove à partir des images satellites en libre accès. Quelques sorties sur le terrain à différentes localisations nous ont permis d'établir plusieurs constats pour caractériser les forêts de mangroves adjacentes au littoral et les autres types de forêts. La végétation des forêts de type tropical a une couverture foliaire très importante voire totale du sol.

Les arbres de ce type de forêt sont hauts tandis que ceux des forêts de mangrove ne dépassent pas 3 m et on a un feuillage moins dense plus clair en couleur. Les rayons du soleil atteignent le sol des forêts de mangrove alors que le sous-bois des autres types de forêt n'est jamais ensoleillé. Cette différence majeure au niveau de l'éclairage du sol entre les deux habitats a induit un raisonnement autour du NDVI qui pourrait mettre en évidence un réel contraste entre les deux types d'habitats. Des travaux utilisant le NDVI ont d'ailleurs déjà été menés pour déterminer des étendues de mangrove (Subhanil Guha, 2016). Les forêts de mangroves ont aussi une répartition liée au réseau hydrologique et on retrouve ces habitats sur les points les plus encaissés, au niveau des bassins d'écoulement. Le critère de l'élévation est donc apparu comme important dans la réflexion autour de la détermination de la superficie des forêts de mangrove. Suite au téléchargement de cartes satellites de végétation et d'élévation de Mahahual, nous avons commencé par calculer le NDVI de la végétation aux environs de Mahahual. Il nous est apparu une couche avec des changements de couleurs nets entre différents patches : certains sont jaunes tandis que d'autres sont rouge foncé. Une telle répartition a amené l'hypothèse des limites entre forêt de mangrove et autres forêts. La couche rasterisée de l'élévation et réglée avec la même symbologie que la couche NDVI nous a révélé une corrélation très forte entre ces deux couches. On remarque en effet les mêmes variations nettes de certaines zones. On en déduit donc qu'une variation de l'élévation semble étroitement corrélée avec un changement brutal du type de végétation. La valeur de l'altitude au niveau de ce virage est de 7 m au-dessus du niveau de la mer. Sous cette limite, la couleur du NDVI apparaît jaune pâle tandis qu'au-dessus, cette couleur est rouge foncé. Nous avons par conséquent émis l'hypothèse que les zones pâles du NDVI (autre que les plages et récifs) liées à une élévation inférieure à 7 m caractérisent les forêts de mangrove tandis que les zones rouges foncées au-dessus de cette élévation représentent d'autres types de forêts. L'objectif de la cartographie de la mangrove est double : il permet d'une part de servir de support de travail et d'enregistrement de données pour le futur diagnostic de terrain et d'autre part de constituer un argument crédible dans la contestation du plan d'urbanisme de Mahahual. Ce dernier est prévu pour les prochaines années et, de par son étendue, il menace une importante partie des mangroves du cordon littoral. La juxtaposition d'une carte des travaux de ce projet avec l'étendue des forêts de mangrove permet de fournir à Cassiopée Doney un support justifiant les potentielles répercussions de la mise en œuvre de ce projet.

III. Résultats : la livraison de nouveaux supports informatiques utiles au projet global de Takata Research Center.

a. Excel, outil de rassemblement et de synthèse de données.

Ce fichier Excel répond à une volonté de centraliser l'ensemble des données de terrains prises par les différents stagiaires au cours des dernières années. Un enregistrement sous forme d'historique permet de voir l'évolution des différentes variables suivies par le centre sur les différents habitats. Ce fichier n'apparaissait pas comme livrable sur l'offre de stage mais nous avons pris l'initiative, avec l'accord de notre maître de stage Cassiopée Doney, de créer cet outil. Ce dernier s'adresse aux futurs stagiaires qui seront amenés à travailler sur le pôle cartographie mais également à tous les autres stagiaires qui y entreront leurs données de terrain. L'interface de ce fichier-application est assez simple. Un système de boutons permet la navigation entre les différentes feuilles du fichier. Les stagiaires peuvent ainsi remplir leur tableau de données spécifique au stage et à l'atelier dans lequel il a effectué son stage. Le système d'unités utilisé par ce dernier doit être similaire à celui du tableau d'unités du fichier Excel, visible sur la figure 1, pour garantir une homogénéité des données au cours des années de collectes. Les lignes du tableau de données correspondent aux carrés AGGRA tandis que les colonnes regroupent toutes les variables pour chaque habitat. Celles qui ont été calculées par le biais de données brutes sont automatiquement générées grâce aux formules de calcul.

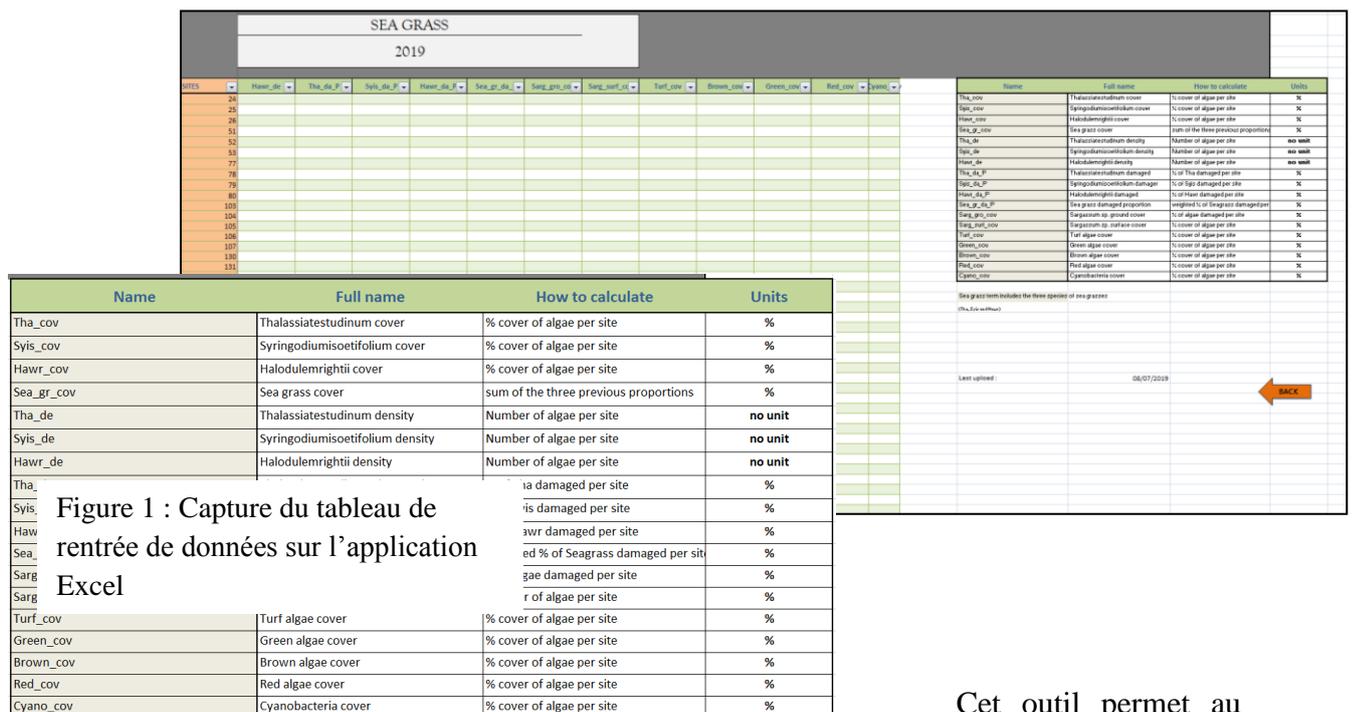


Figure 1 : Capture du tableau de rentrée de données sur l'application Excel

Cet outil permet au

stagiaire chargé de la cartographie de récupérer les données de terrain des autres stagiaires et

les variables qui apparaîtront sur la carte interactive. Afin de limiter le nombre de variables apparaissant sur la carte, nous avons sélectionné certaines variables et établi des indicateurs via des formules de calculs Excel. Par exemple, pour les herbiers marins, nous avons recalculés des taux de couverture végétale ou encore taux de maladie pour traduire l'état de santé de cet habitat. Ces indicateurs n'ont plus qu'à être transposés de ce fichier vers la table d'attributs du document QGIS. Une fois la mise à jour des données effectuée sur QGIS, il ne reste plus qu'à effectuer la mise en ligne de la nouvelle version de la carte. Un onglet sur ce fichier Excel sert de guide explicatif pour remettre en ligne cette carte interactive de manière claire et rapide.

Par ailleurs, l'historique des anciens relevés est conservé sur ce fichier Excel et permet ainsi de suivre l'évolution de la santé de ces habitats (figure 2 permet de regrouper par année les données futures sur les herbiers marins).

Nous avons créé un guide d'utilisation de cet outil Excel afin d'expliquer comment fonctionne ce document (Annexe 1).

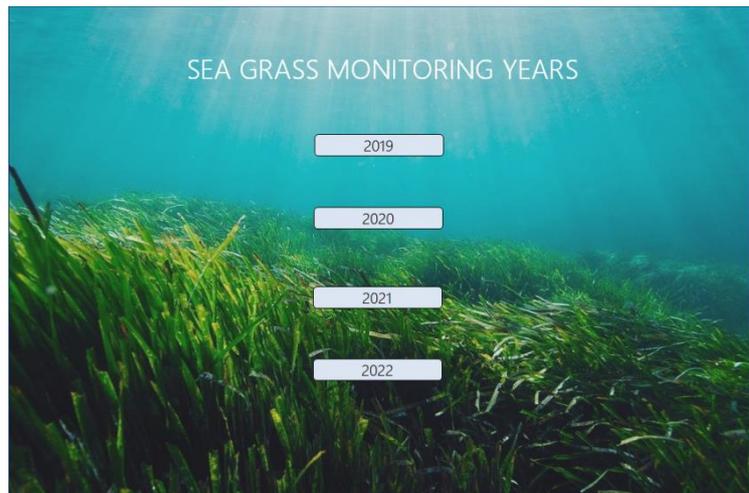


Figure 2 : Capture de l'interface historique pour les herbiers marins

b. Web Map, un outil en ligne donnant accès à divers indicateurs éco systémiques des habitats de Mahahual.

La carte interactive est aujourd'hui disponible sur le site Web de Takata Research Center. La volonté des coordinateurs du centre de recherche est de donner un libre accès à certaines données qui concernent les habitats naturels de Mahahual. Cette carte répond à cette demande en fournissant, avec un quadrillage AGGRA comme porteur de données, des informations sur l'état actuel des écosystèmes côtiers de Mahahual.

A partir des indicateurs et variables du fichier Excel, nous avons rempli la table d'attributs des carrés AGGRA ayant fait lieu de relevés de terrains. La conversion au format KML des couches AGGRA et habitats a été nécessaire pour les mettre en ligne. Le portail Google My Map permet la mise en ligne de données spatiales avec Google Map comme fond de carte.

La figure 3 nous montre une capture d'écran de la carte interactive On y trouve des polygones de couleurs qui représentent les différents habitats types de Mahahual (récif, herbiers, forêt de mangrove, ...).

Ces derniers sont renseignés dans le bandeau de légende à gauche de l'image. La couche représentant l'étendue du plan de développement urbain (masque rose clair) a également été ajoutée à la carte. Les variables et données sont quant à elles contenues dans les carrés AGGRA qui recouvrent l'ensemble de la carte. Tous les quadras ne sont pas porteurs d'une information car ils n'ont pas tous eu des études de terrain. L'intérêt de cette carte interactive est qu'elle peut être actualisée régulièrement suite à des collectes de nouvelles données. Cette mise à jour est assez simple via la plateforme Google my Map.

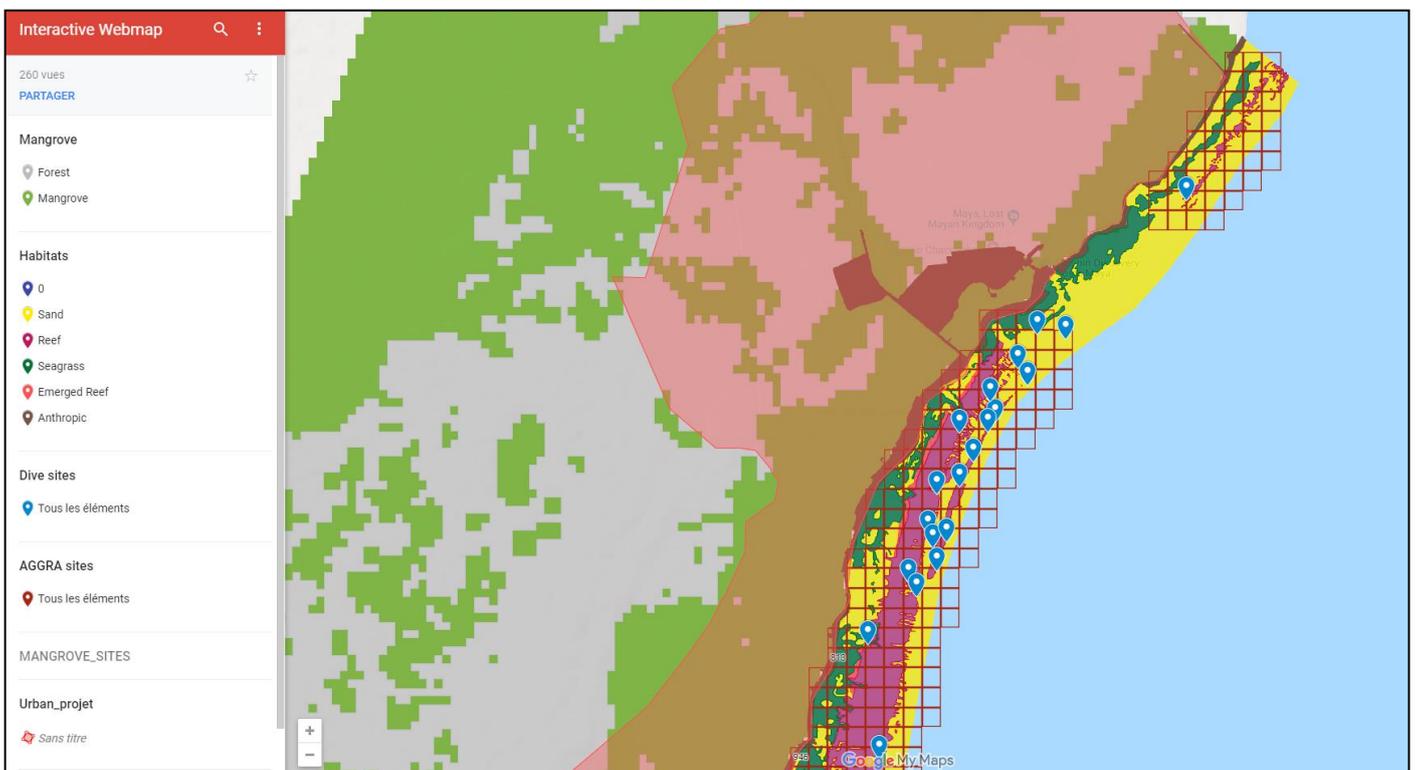


Figure 3 : Capture de la Web Map interactive (Google My Map)

En naviguant au-dessus des carrés AGGRA, l'utilisateur voit apparaître un rectangle blanc (à gauche sur l'image) qui contient toutes les variables relatives au type d'habitat. Certaines données ne seront cependant pas rendues publiques, comme les lieux de pontes des tortues, afin d'éviter de divulguer des informations pouvant participer au braconnage. La figure 4 ci-dessous révèle par exemple les données récoltées sur le carré n°679 correspondant à une zone d'herbier. Deux variables sont disponibles actuellement : la couverture du carré AGGRA par les algues (Sea_grass_cover) qui est de 53.3 % et le pourcentage de cette surface végétale qui est endommagé par des maladies (Sea_grass_damaged) qui est de 12.5 %. Ces deux indices ont été recalculés à partir des données spécifiques de chaque espèce végétale en fonction de leur proportion. Leur regroupement permet de limiter le nombre de variables qui apparaissent sur la carte afin d'en faciliter la lecture.

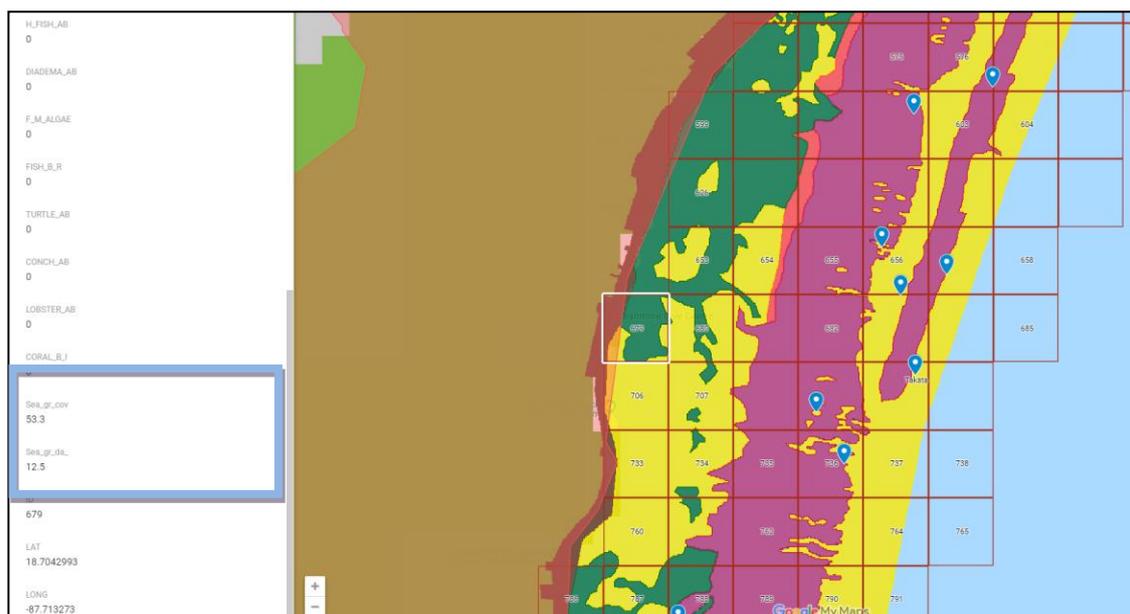


Figure 4 : Capture de l'information portée par une cellule du quadrillage AGGRA (Google My Map)

c. *Projet d'état des lieux de la mangrove.*

Suite au travail de réflexion autour des critères de détermination de zones de mangrove, la carte résultante nous a révélé une aire en vert foncé sur la figure 5 qui représente la forêt de mangrove autour de Takata. La cohérence de ce résultat n'a malheureusement pu être vérifiée sur l'ensemble de la zone d'étude mais elle a cependant été validée au niveau d'une dizaine de points où nous sommes allés pour vérifier que l'on se trouvait bien dans de la forêt de mangrove.

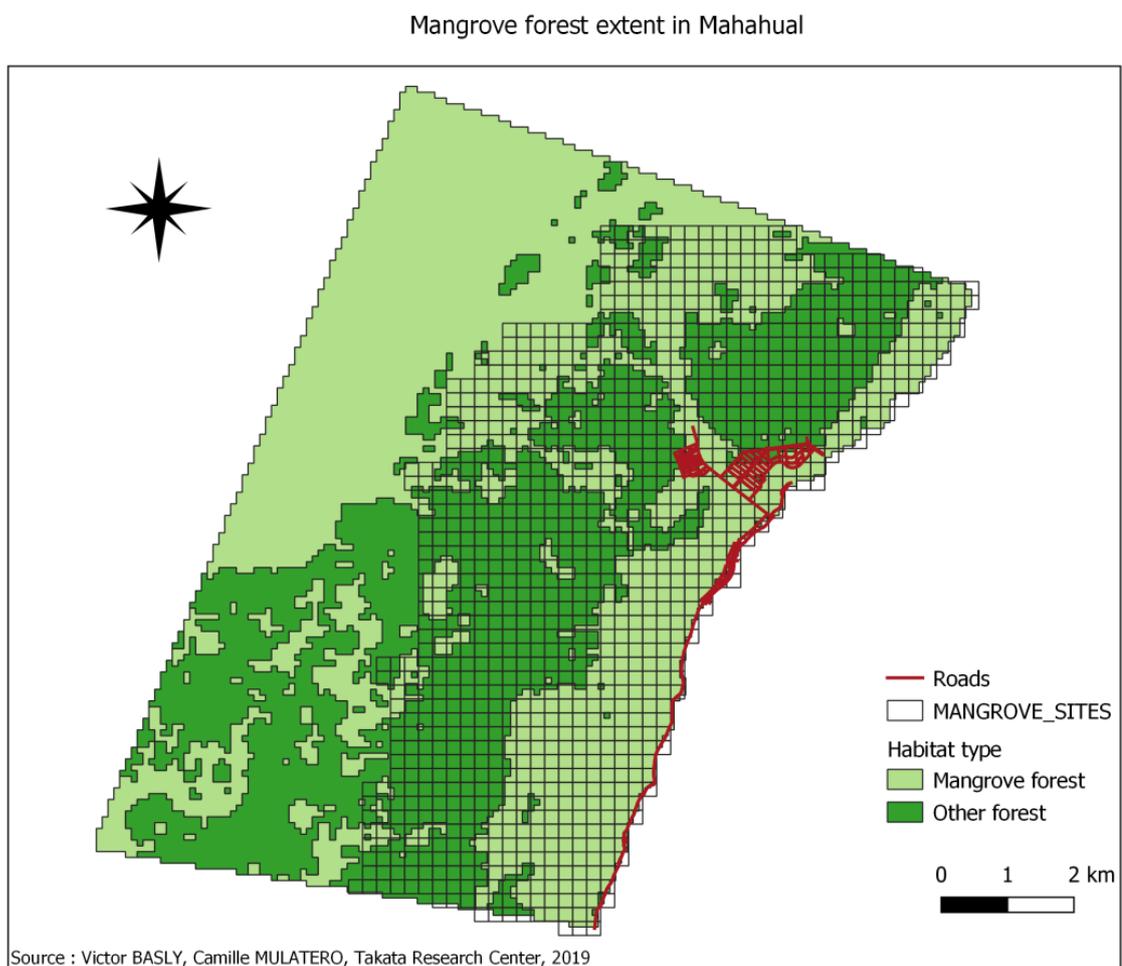


Figure 5 : Répartition des types de forêts à Mahahual

La figure 6 montre la juxtaposition de l'étendue des forêts de mangrove avec le plan de développement urbain. On voit ci-contre que ce projet pourrait détruire une surface importante

de la mangrove. Cette carte doit être réutilisée par notre maître de stage lors de sa rencontre avec la municipalité de Mahahual pour les alarmer sur les potentielles répercussions d'un tel projet sur ces espaces.

Extent of the urbanisation project on the mangrove forest

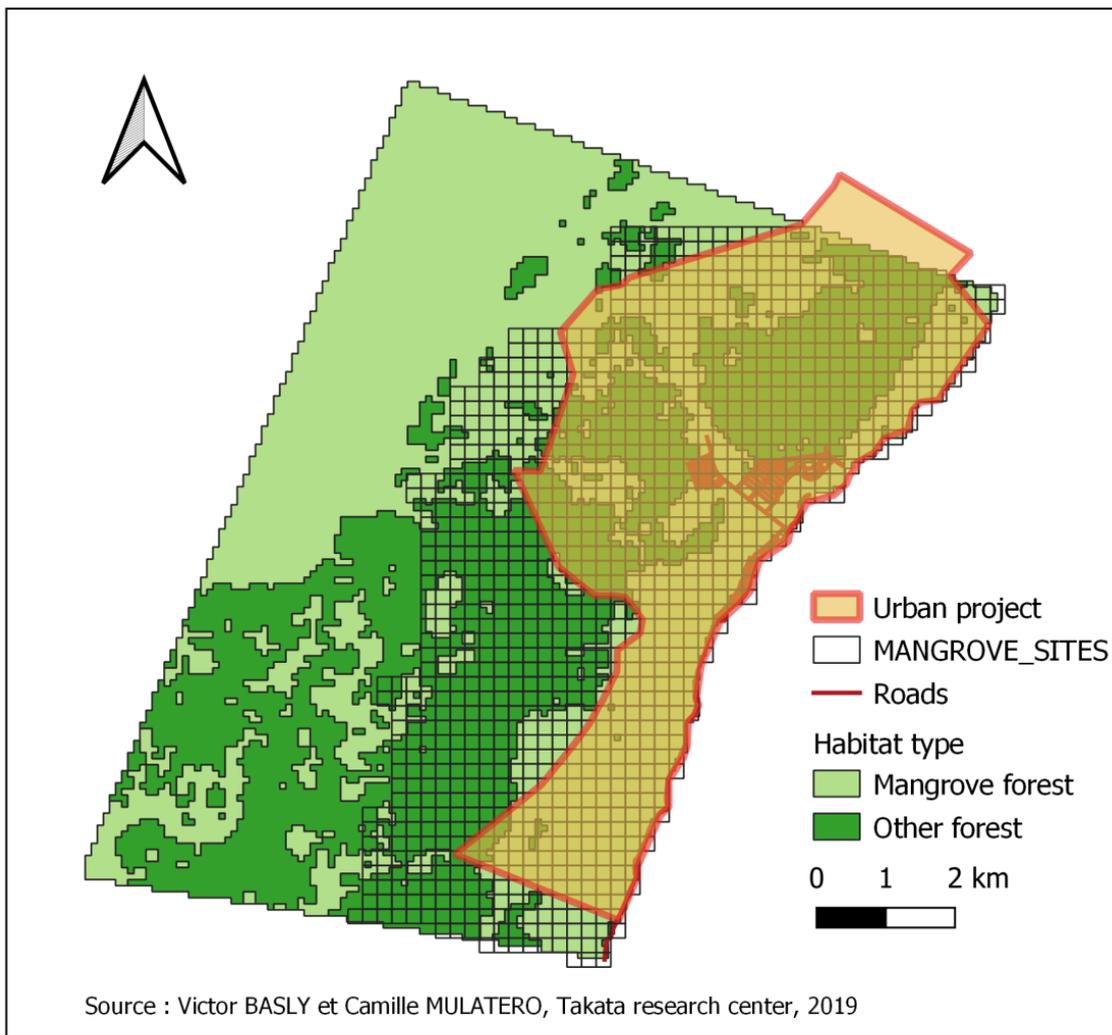


Figure 6 : Etendue du Plan de Développement Urbain sur les forêts de Mahahual.

d. Perspectives

Le travail fourni sur le programme de la mangrove n'est que la première étape du projet. Les limites de cet écosystème sont à préciser avec une imagerie plus précise. Par ailleurs, les travaux préliminaires de bibliographie doivent constituer un premier bagage de documents pour amorcer le travail de terrain. Nous avons également travaillé sur la faisabilité et les contraintes liées à l'étude de terrain. Le faible nombre de recherches sur les forêts de mangrove et les difficultés liées au relevés de données rendent indispensable l'acquisition de certains matériels de mesure. Nous avons pu cependant travailler sur la recherche de protocoles englobant à la fois les aspects environnementaux, sociaux et économiques de ces écosystèmes. Nous avons notamment travaillé sur la possibilité de l'utilisation de l'indice de qualité de la mangrove (Faridah-Hanum, 2019). Ce dernier est un indicateur résultant de la combinaison pondérée de plusieurs variables aussi bien biologiques que sociales. Cette étude assez complète semble correspondre parfaitement avec le travail mené au sein du centre : elle requiert en effet à la fois des mesures de terrain, des interviews ou discussions avec les locaux. L'importante mobilisation de la population par Takata dans les missions rend l'utilisation de cet indice de qualité judicieuse.

IV. Une mission riche en apprentissages et prise de recul sur le travail réalisé.

a. Retour sur le travail fourni et les enseignements retirés à l'issue du stage.

Nous avons eu lors de notre stage une très grande autonomie. La mission du stage a été clairement définie par Cassiopée et Andres au début du stage afin que le travail fourni s'accorde avec les objectifs globaux du centre. Cependant, nous avons bénéficié de libertés pour ce qui est de la méthodologie et outils de travail. Des réunions tous les 15 jours avec Cassiopée nous ont permis d'exposer nos choix et faire valider nos interprétations. Ce mode de travail nous a donc poussés à mettre en place une méthode de travail, un protocole qui permette de répondre à la mission du stage en utilisant les compétences et outils acquis lors de notre formation à l'ENSAT. Il y a donc eu une phase de réflexion de quelques jours pour choisir et discuter de nos choix de méthodes.

La liberté de travail nous a aidé à prendre des initiatives comme la création de l’outil Excel. Le choix de ce fichier a été difficile car sa création signifiait une retranscription de l’ensemble des données de terrains des différents programmes. Si la réflexion sur la présentation du fichier a été relativement rapide, l’extraction des données des différents programmes et le remplissage des tableaux de données a pris beaucoup de temps. Le choix de faire cet outil a surtout été confirmé par le fait que nous étions deux. Nous avons donc pu nous partager les tâches et nous n’avons pas compromis les tâches principales qui quant à elles faisaient parties des objectifs à remplir. L’application Excel a finalement été largement validée par Cassiopée et Andres. Le temps important passé à la conception de cette base de données va permettre un sérieux gain de temps pour les prochaines mises en ligne de la carte interactive et pour la compréhension des données des différents programmes.

Par ailleurs, ce stage aura été l’opportunité d’acquérir de nouvelles compétences comme la prise en main du logiciel QGIS (utilisation d’Arc GIS à l’ENSAT et en semestre à Prague) ou la publication de données spatialisées sur Internet. Cet outil s’avère très utile pour la présentation de données en ligne. Nous avons essayé de publier cette Webmap via d’autres plate-forme mais la manipulation la plus simple et rapide se fait via Google My Map.

J’ai également pu développer des compétences de prise de parole orale et plus précisément devant des publics n’ayant pas de connaissances sur les SIG. Cette vulgarisation ou adaptation de langage informatique très spécifique est un exercice très intéressant dans le cadre de la formation d’ingénieur. Ce dernier doit à la fois savoir traiter des problèmes complexes mais il doit savoir l’exposer à tous de manière compréhensible.

b. Prise de recul et réflexion sur la méthodologie de travail

En ce qui concerne la méthodologie adoptée pour la détermination de la mangrove, nous avons eu de grande difficulté pour trouver des critères de sélection de ces habitats. La bibliographie que nous avons étudiée fait plus souvent étude de suivis avec beaucoup de matériel (drones) ou alors sur des mangroves avec une présence d’eau continue. Ces derniers types de mangroves permettent une circulation au sein des canaux. Or le type de mangrove à Mahahual est une mangrove qui est sèche pour la majeure partie de l’année. La densité de palétuvier étant très dense, la circulation y est très pénible. Nous avons donc choisi d’utiliser le NDVI et le critère de 7 m comme critère d’altitude. Cette altitude apparaît comme correspondante aux changements de milieux observés sur le NDVI.

Nous avons par ailleurs essayé avec des valeurs entre 6 et 8 mètres Mais l'altitude de 7 semblait être le meilleur prédicateur de l'élévation de la mangrove. Nous sommes ensuite allés vérifier une quinzaine de points accessibles de forêts de mangrove et d'autres types de forêts avec un GPS qui nous a donné l'élévation. L'hypothèse des 7 m y était validée. Cette méthode utilisant le NDVI possède de nombreux biais et l'acuité de la méthode utilisée est assez faible. L'élévation n'est en effet pas le critère unique et déterminant pour les forêts de mangrove. Le manque de moyens mis à notre disposition (dû à des coûts élevés) et une accessibilité faible ont limité fortement les critères d'études de cet habitat. Le NDVI et l'élévation ont néanmoins fournis une cartographie suffisante pour répondre aux objectifs principaux de cette première phase, c'est-à-dire l'obtention d'un support d'appui pour défendre la protection de la mangrove pour le plan d'urbanisme. Après discussion avec Cassiopée Doneys, nous avons conclu que cette méthode est la plus pertinente quant aux moyens mis à disposition mais que la délimitation des forêts de mangrove doit être précisée par une étude de terrain à l'aide de drone.

c. Prise de recul sur le fonctionnement de l'entreprise et perspectives futures

Au terme de cette période de trois mois de stage, j'ai pu prendre du recul sur le fonctionnement du centre. Ce dernier couvre différents programmes avec de multiples acteurs. Face à une quasi-inaction du gouvernement pour les questions de conservation et restauration des habitats, Le centre de research Takata travaille comme structure motrice dans l'étude environnementale de Mahahual. La collaboration avec d'autres associations locales leur permet d'assurer le fonctionnement de tous leurs programmes. Les missions actuelles fonctionnent grâce au jumelage avec le centre de plongée. Néanmoins, de par son statut financier, le centre manque de moyens et ne peut donc investir dans du matériel de mesures de données physico-chimiques ou du matériel d'acquisition d'images (drones). Le centre parvient à pallier à certains manques en collaborant avec de nombreux acteurs mais ne réalise pas de suivi sur des paramètres de physique. Les recherches menées sur les programmes s'adaptent aux moyens mis à disposition mais le travail de terrain sur la mangrove nécessitera plus de matériel : sondes et outils de mesures de paramètres physico chimiques, drones pour la délimitation ou encore des pièges entomologiques pour l'étude faunistique. Cette acquisition est prévue grâce au versement de subventions de l'état du Quintana Roo pour développer les activités de recherches du centre.

Cette nouvelle source de fonds va certainement permettre au centre de recherche de se développer encore plus et d'accroître leur réseau programme déjà très large. La supervision de Cassiopée Doneys et des autres membres comme Andres Larrea garantit aux stagiaires un suivi constant tout en bénéficiant d'une certaine liberté et autonomie dans la réalisation des tâches de leur stage. Ce mode de fonctionnement « stagiaire entreprenant » permet à ce dernier de s'épanouir et d'être confronté à des prises de décisions qui sont plus enrichissantes qu'un simple suivi de protocole. La liberté n'est cependant pas totale car Cassiopée Doneys porte beaucoup d'importance au suivi et à l'inscription du travail fourni dans les objectifs globaux du centre de recherche.

Conclusion

Ce stage au sein du centre de recherche TAKATA Research Center nous a permis de travailler dans de l'écologie appliquée en utilisant des outils que nous avons appris à maîtriser au cours de notre formation à l'ENSAT. Le travail de cartographie et de télédétection nous a permis de consolider nos acquis tandis que le travail de mise en ligne de données QGIS nous a permis d'acquérir de nouvelles compétences. L'autonomie dont nous avons bénéficié et la liberté au niveau de la conduite de projet nous a permis de développer des compétences dans la prise de décision et de méthodes à appliquer. Notre travail au sein du centre s'est inscrit dans la continuité du projet de conservation des écosystèmes. Par la réalisation de cet outil Excel, la centralisation et l'uniformisation des données rendent la mise à jour de la carte interactive plus rapide. Cette Webmap est d'ailleurs maintenant accessible à tous sur le site du centre et permet aux professionnels du tourisme, centres de plongée ou simples touristes d'accéder à l'état de santé des différents habitats de Mahahual. Le lancement du programme de conservation des forêts de mangrove est désormais bien amorcé avec une cartographie de l'étendue de ces écosystèmes et des premières pistes de réflexion sur des méthodes de suivi.

Le stage aura finalement été une occasion de réaliser de nombreuses activités annexes à celle de cartographie. J'ai participé aux tournées hebdomadaires de recyclage organisées par Takata dans toute la ville de Mahahual. La sensibilisation des locaux sur l'impact des déchets et l'importance de les recycler ont été très intéressants. J'ai également pu participer à la construction de nurseries pour « cultiver » du corail et j'ai également pris part à des missions de nettoyage de plage et de suivi de naissances de tortues marines. L'activité principale du stage et ces missions annexes se sont finalement intégrées au projet global du centre et elles ont permis la progression des recherches dans l'optique de protéger et conserver des écosystèmes fragilisés par l'activité humaine.

Bibliographie:

- Monika Ruwaimana, PLOS ONE, The advantages of using drones over space-borne imagery in the mapping of mangrove forests ; July 18, 2018
- Sue Wells, UNEP, Shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs, 2006
- M. Arturo Zaldívar-Jiménez, Ecological Restoration, Conceptual Framework for Mangrove Restoration in the Yucatán Peninsula, 2010
- I. Faridah-Hanuma, ELSEVIER, Development of a comprehensive mangrove quality index (MQI) in Matang Mangrove: Assessing mangrove ecosystem health, 2019
- Subhanil Guha, Capability of NDVI technique in detecting mangrove vegetation, 2016
- Faridah-Hanum Ibrahim, Faculty of Forestry, University Putra Malaysia, How to develop a comprehensive Mangrove Quality Index? 2019

Webographie:

- GIS Geography, What is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)?

Disponible sur: <https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/> (consulté pendant la période de stage)

Table des annexes

Annexe 1 : Guide d'utilisation de l'application Excel

Annexe 2 : Guide méthodologique du projet mangrove

Interactive Webmap data file

Purpose:

The aim of this file is to make the data management easier for the cartography work. We created this excel file to centralize all the data which could be useful for the interactive web map. Thanks to this file, the use of the dbf file (directly linked with the interactive map) will only concern to one person. All the interns will upload their data in the excel and the person responsible for the interactive map will transfer the information from the excel to the dbf file. It may avoid confusions and mistakes with the manipulation of the dbf file, which is directly connected with the interactive map.

Organisation and presentation of the Excel file.

The home page of the excel has 3 buttons.



- DATA :

This button gives you the access to another excel sheet. It will be useful to have a look or upload your data in the different tables.

- SITES MAP :

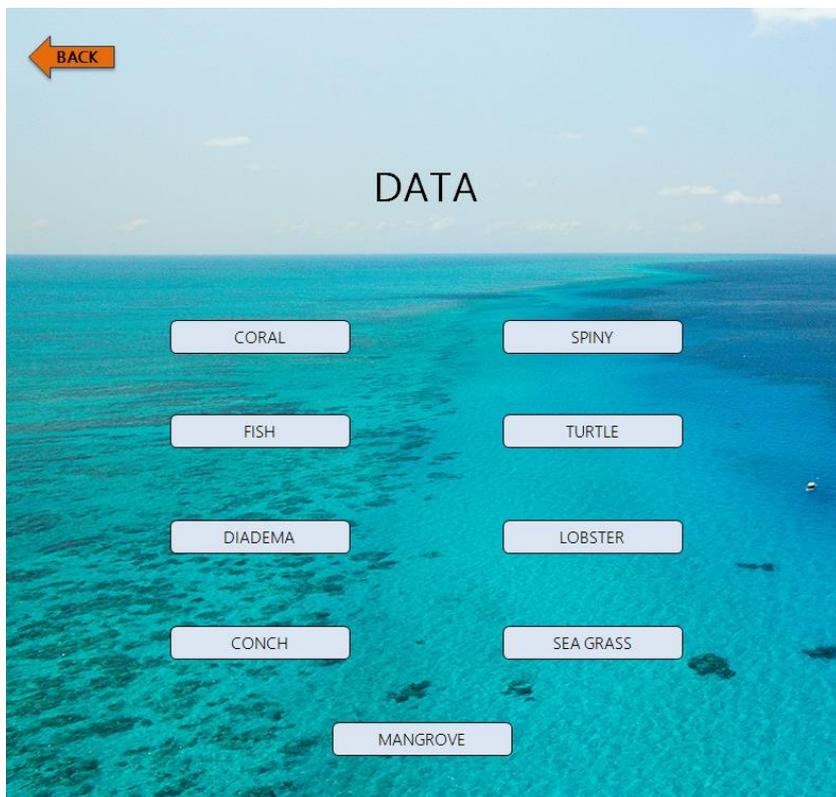
This option leads you to a map of Mahahual on which you can see the different diving sites in Mahahual.

You can also read the correspondence between the name of the sites (ex: Takata) and the number of the AGGRA squares to which they are linked. It may avoid some confusion concerning the site identifications.

- UPLOADING THE INTERACTIVE MAP :

This last button will help you with the steps to follow in order to upload the interactive map and publish it online.

When you click on the button DATA, it leads you to another page.



On this page, you will choose the kind of data that you want to fulfil and upload. We order the various buttons with the kind of living organisms or habitats that may be displayed on the interactive map.

Once you see your data field, you click on it and it leads you to the data table of your subject.

We will take the example of the Coral table to present you the different details.

CORAL DATA											
SITES	Coral_div	Coral_cov	Coral_al_r	Coral_mo_P	Coral_mo_T	Coral_ble	Coral_s_fr	Coral_rec	Coral_di_P	Coral_di_T	
24					no data per site	no data per site					
25											
26											
51											
52											
53											
77											
78											
79											
80											
103											
104											
105											
106											
107											
130											
131											
132											
133											
134											
156											
157											
158											
159											
160											
161											
182											
183											
184											
185											
186											
187											
209											

Name	Full name	How to calculate	Units
Coral_div	Coral diversity	Shannon index	no units
Coral_cov	Coral cover	Living stony coral relative to algae	%
Coral_al_r	Coral algae ratio	Living coral relative to macroalgae	%
Coral_mo_P	Coral mortality percentage	Proportion of dead corals	%
Corl_mo_T	Coral mortality type	Recent/old/dead (3 types)	No units
Coral_ble	Coral bleaching	0/1/2/3 (AGGRA level differentiation)	no units
Coral_s_fr	Coral size frequency	Diameter average	cm
Coral_rec	Coral recruitment	Recruits per m ² (for each site)	Recruit/m ²
Coral_di_P	Coral disease percentage	Proportion of sick corals	%
Coral_di_T	Coral disease type	bb/wb/ws/wp/yb/rb/ds/uk	no units

Last upload : 03/07/2019 

On the left side you have all the sites of the AGGRA protocol. Only the sites which belong to the dive sites have values in the table. That explains a lot of blanks in the table. Each column is a variable that will be accessible on the interactive map.

There is also a small table on the right side. It explains each variable with their name, the way to calculate it and the units. It gathers all the useful information.

Name	Full name	How to calculate	Units
Coral_div	Coral diversity	Shannon index	no units
Coral_cov	Coral cover	Living stony coral relative to algae	%
Coral_al_r	Coral algae ratio	Living coral relative to macroalgae	%
Coral_mo_P	Coral mortality percentage	Proportion of dead corals	%
Corl_mo_T	Coral mortality type	Recent/old/dead (3 types)	No units
Coral_ble	Coral bleaching	0/1/2/3 (AGGRA level differentiation)	no units
Coral_s_fr	Coral size frequency	Diameter average	cm
Coral_rec	Coral recruitment	Recruits per m ² (for each site)	Recruit/m ²
Coral_di_P	Coral disease percentage	Proportion of sick corals	%
Coral_di_T	Coral disease type	bb/wb/ws/wp/yb/rb/ds/uk	no units

You also have to write the date of uploading on a specific cell. It will help the next interns.

You may have noted the presence of an orange cross on each page. This button allows you to go back to the main page once you fulfilled all your data. You should save your work after entering your data. An intern specialized in the interactive map will transfer your information from this file to the dbf file and therefore, it will appear on the interactive map.

Records of the previous collected data

In order to have an idea of the evolution of the habitats, you can have access to the previous years records. You can easily navigate among the different years thanks to the buttons.

If the file is still used, you may have to create new "years recording", you should follow these steps:

- Create a new excel sheet on the file. Call it: YEAR_TYPE_OF_Data. (ex: 2021 Turtle)
- On the sheet of the years list relative to your subject, insert a new form (similar to the other button of the page) and name it.
- In order to link the sheet of the first step and the button of the second one, you have to right click on the button created and to go to " Hyper text link ". A window opens. Go on the... part and click on the sheet created in the first step. Click on Ok.
- By clicking on the button, it must lead you to the page of your data TYPE and your YEAR.
- To finish, you have to add the BACK cross, it's simple. Go to the page of the data of a previous year, right click on this button and copy it. You just have to put it on your data page, it must be working...

This document will help you in understanding the beginning of the mangrove monitoring project. The very first step was a bibliography work on the mangrove ecosystem and the methods of monitoring. Once we read more about mangrove habitats, we began to work on the cartography. We also went in accessible mangrove places to observe and try to characterize the type of vegetation of mangrove forest. In Mahahual, mangrove habitats are not always flooded; it depends on the season and the rainfall regimes.

I. Cartography work on the definition of the extent of the mangrove forests

The main purpose of the first phase consisted in trying to delineate the mangrove forest in the neighborhood of Mahahual. Yet, The number of indicator was very low and the access to this habitat is really difficult. As a consequence, we decided to work on the mangrove cartography using the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

This is one of the most used method to determine habitat limits.

It's calculated by measuring the difference between the near-infrared (which vegetation strongly reflects) and red light (which vegetation absorbs). Because of the difference of vegetation density between the mangrove and the other type of forests, we thought that this index was the most adequate. The mangrove foliage in Mahahual is less dense and green than the foliage of tropical forest. The canopy of tropical forest is much greener on contrary to the mangrove forest which allows the passage of sun rays on the gray ground. As a consequence, the mangrove NDVI must be lower than the NDVI from other forests.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Figure 1 : NDVI equation

On the other hand, we thought that the elevation and hydrological network were relevant criteria to define mangrove habitats. Indeed, mangroves are wetlands and are closely linked with the elevation. We obtained two maps: the first one was the NDVI and the second one was the elevation map. Using the same Symbology system, we noted rapid changing on some patches. On the NDVI map, these changing are the evidences of the habitat transition.

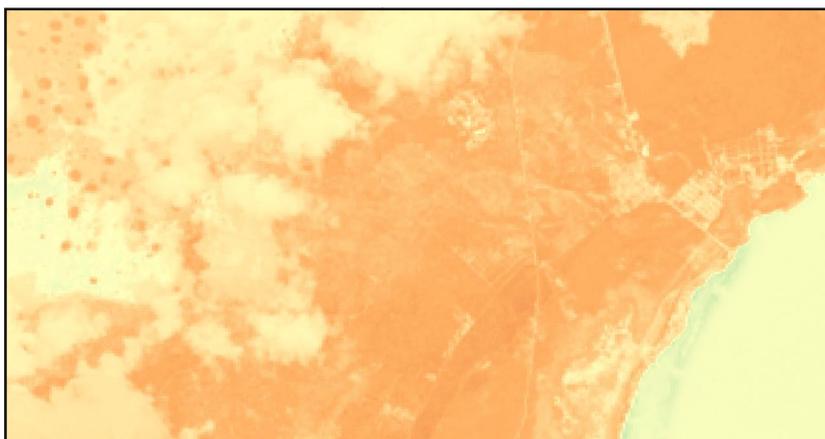


Figure 2 : NDVI map

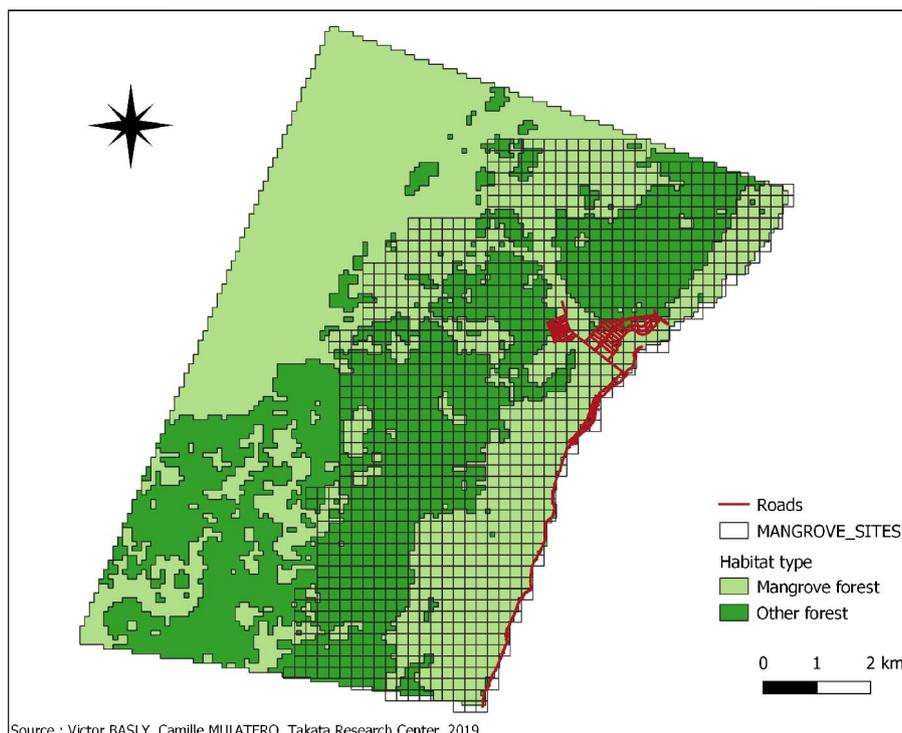
The high values of NDVI correspond to tropical forests with a deep green and dense foliage. On the other hand, the low values of NDVI (yellow) illustrate the mangrove habitats with a lower density and a soil reflectance of sunrays that can reach the ground. In addition, exact identical variations are observed on the elevation map. It confirms that this habitat contrast concerns the mangrove and high forest areas. The changing elevation seems to occur for an elevation of 7 meters. As a consequence, we set the limit of the mangrove habitat at an elevation of 7 meters above the sea level.

With this parameter, we created a two-color map representing mangrove and non mangrove habitats

Our 7 meter hypothesis has only be confirmed with a check at some accessible points but it looks relatively close from the real extent of the mangrove forests. Yet, it's necessary to check and modify this value by going on the field. The elevation parameters must not be the best parameter to define limits of mangroves, a video check using a drone would actually be the best solution to have precise limits of the mangrove (Monika Ruwaimana, 2018). The elevation and NDVI were the two only criteria that we could use without going on field. The studies on mangrove habitats are not so common and the monitoring on field is difficult. It requires a lot of material and time. However, the difficult accessibility and the heat of the daylight are two important parameters that made the field studies difficult.

In a second time, we decided to use the AGGRA squares for the visualization of the future data on the mangrove. We choose the AGGRA square grid to make the comprehension of the map easier. Yet, the AGGRA grids of corals and the mangrove are independent.

Figure3 : Mangrove Forest area in Mahahual



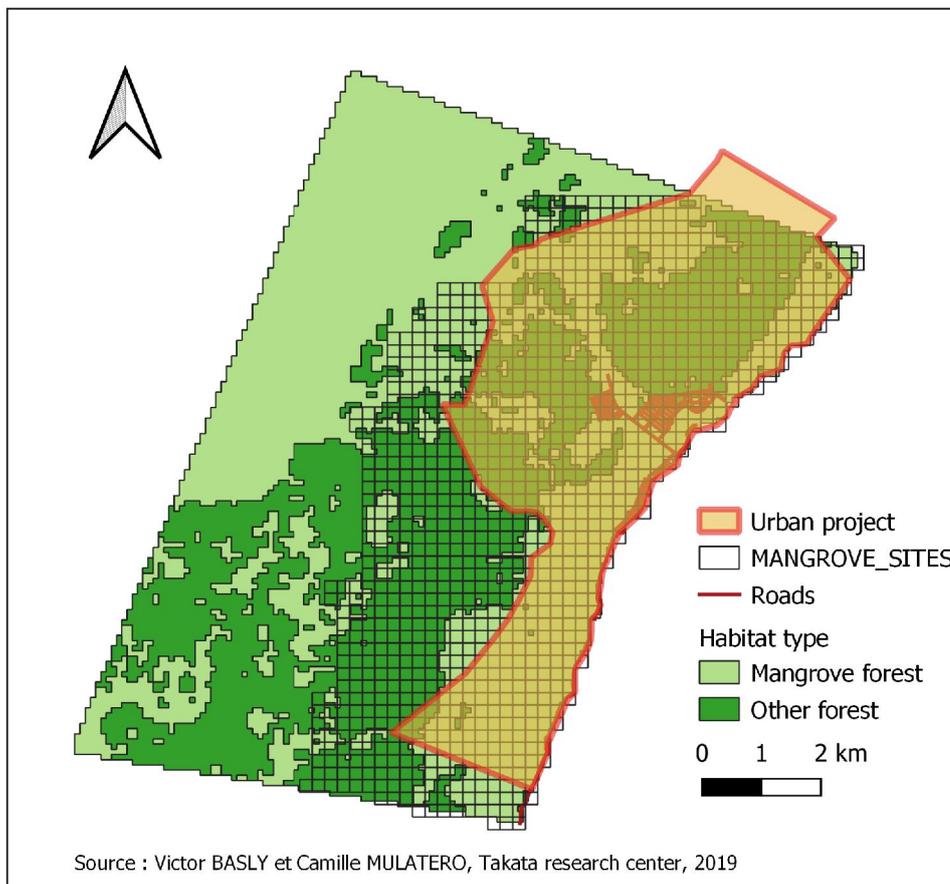
It will allow you to put more specific parameters (to avoid the coral parameters blank on the Mangrove grid).

II. Urbanization plan impact on the mangrove.

The second step of our work on the mangrove concerned the Urbanization Plan of Mahahual. We worked on the PDU which is going to be developed in Mahahual in the next years. This project will disturb a lot of ecosystems and the mangrove will mainly be targeted. The municipality doesn't seem to realize the ecological function and the importance of this habitat. Cassie want to show the consequences of this urbanization project. As a consequence, we drew on Qgis the extent of the urbanization project and we added it to the mangrove habitat. It clearly illustrates the catastrophic consequences of the spreading of the city on these fragile habitats.

We finally uploaded the interactive Webmap of Mahahual with the new mangrove area, the urbanization program extent and the grid.

Figure 4 : Extent of the urbanization project on the mangrove forest



Here we give you some tips for the future field work on the mangrove:

- using a drone : check the habitats and the limit of the mangrove in an accurate way
- plan the monitoring sessions very early in the morning
- do 4 or 5 transects of 15 meters for each AGGRA square.
- Monitoring biodiversity: listening points method for birds or reptiles.
- organizing two lines of AGGRA sites along the coast to maybe reveal a gradient
- working on a quality index of the mangrove that covers environmental, social and economical dimension (article)

BIBLIOGRAPHY :

We read some articles on the mangrove monitoring that may help you in building a protocol.

- Monika Ruwaimana, PLOS ONE, The advantages of using drones over space-borne imagery in the mapping of mangrove forests ; July 18, 2018
- Sue Wells, UNEP, Shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs, 2006
- M. Arturo Zaldívar-Jiménez, Ecological Restoration, Conceptual Framework for Mangrove Restoration in the Yucatán Peninsula, 2010
- I. Faridah-Hanuma, ELSEVIER, Development of a comprehensive mangrove quality index (MQI) in Matang Mangrove: Assessing mangrove ecosystem health, 2019
- Subhanil Guha, Capability of NDVI technique in detecting mangrove vegetation, 2016
- Faridah-Hanum Ibrahim, Faculty of Forestry, University Putra Malaysia, How to develop a comprehensive Mangrove Quality Index? 2019

WEBOGRAPHY :

- GIS Geography, What is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)?

Available on : <https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/> (consulted during the internship)