

ATTENTION ! Ce travail a été réalisé par un étudiant de master 2. Il s'agit donc d'un exercice, pour lequel il a été demandé à l'étudiant de rédiger seul un mémoire, puis de le présenter à un jury, au cours d'une soutenance publique. Dans ce processus, il est demandé aux encadrants de stage de limiter leurs interventions, afin que l'étudiant soit évalué sur son travail, et pas sur celui de ses encadrants.

A l'issue de la soutenance, l'étudiant a reçu la note de 14,5/20 et la qualité du mémoire a été jugée suffisante pour que ce dernier soit rendu public. En le lisant, il est donc important de garder à l'esprit que ce mémoire n'a fait l'objet d'aucune correction. Il ne s'agit donc pas d'un travail scientifique réalisé par un professionnel et validé par les pairs, comme le sont normalement les publications scientifiques. Par conséquent, **nous ne garantissons pas l'ensemble des données et interprétations qu'il renferme et ne souhaitons pas qu'elles soient reprises en l'état par quiconque**. Rassurez-vous, la publication scientifique des résultats est en cours. D'ici là, si le sujet vous intéresse, nous vous invitons à nous contacter sur www.odseyeu@univ-nantes.fr.

L'APPORT DES S.I.G. DANS LE SUIVI COLLABORATIF DE L'EVOLUTION D'UN LITTORAL INSULAIRE

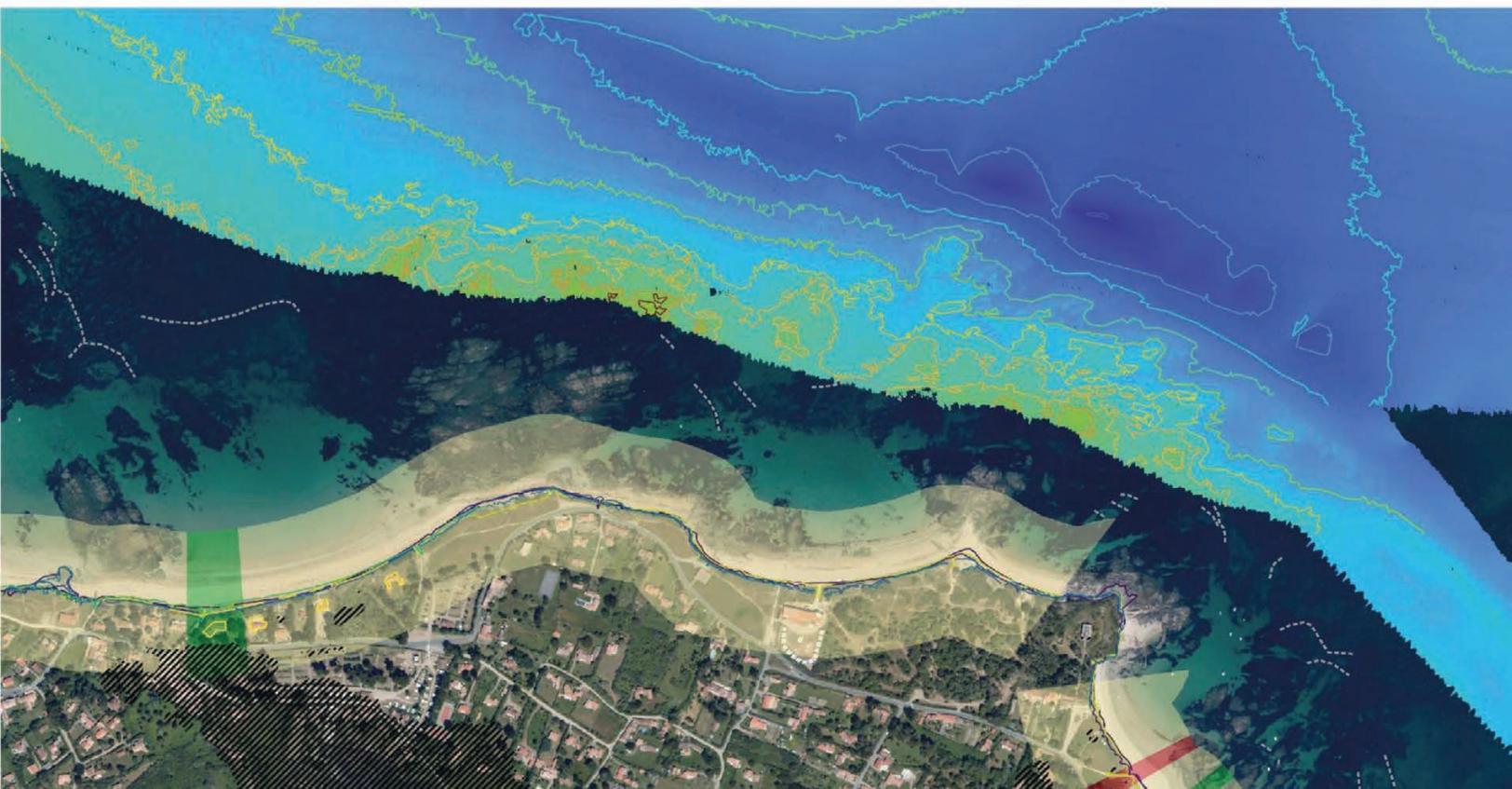
Master 2 Cartographie et Espaces à Risques, *IGARUN, Nantes Université*

Hugo MENARD

Stage réalisé au sein du LETG et de l'OSUNA, dans le cadre du projet de recherche collaborative ODySéYeu, entre février et juillet 2022

Maitre de stage : Elsa Cariou

Encadrante universitaire : Agnès Baltzer



REMERCIEMENTS

Je tiens premièrement à remercier Elsa Cariou, qui, en plus de m'avoir permis de faire ce stage, m'a accompagné avec intérêt et écoute. Sa rigueur scientifique m'a été d'une grande aide. Merci pour cette patience et ces transmissions, pour la confiance accordée et pour tous ces précieux conseils, notamment pour la rédaction de ce mémoire.

Mes remerciements vont également à Agnès Baltzer. C'est grâce à elle que j'ai pu trouver l'opportunité de ce stage. Elle a toujours été d'excellent conseil. Merci de m'avoir montré ces facettes du métier de chercheuse universitaire. J'ai pu rencontrer de formidables personnes et créer de nombreux liens.

Merci également à Séverine Blain, étudiante en Licence 2 à l'IGARUN, qui, par son intérêt débordant pour la discipline, m'a énormément aidé durant ce stage. Sa présence régulière était précieuse et son aide d'une grande utilité.

Merci au FabLab et à son équipe pour son accueil et pour ses précieux conseils.

Merci à l'équipe pédagogique de l'IGARUN pour ces 5 années de formations, qui m'ont amenées à toujours plus éveiller ma curiosité.

Merci notamment à Nicolas Rollo pour l'humanité et l'écoute dont il a fait preuve durant ces deux années de master.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIÈRES	4
AVANT PROPOS	6
I) CONTEXTE ET OBJECTIFS DU STAGE	7
1) Contexte général	7
a) Hausse du niveau marin.....	7
b) Une urbanisation et un tourisme littoral croissants	8
c) Les sciences citoyennes	10
2) Contexte de l'île d'Yeu	12
a) Contexte social et historique	12
b) Contexte géographique et physique.....	18
3) Le projet ODySéYeu et les problématiques de ce stage	27
4) Objectifs du stage	30
a) Gérer la multiplicité des données et des sources	31
b) Développer des nouveaux outils de veille et d'observation	31
c) Créer des outils de médiation	33
II) MÉTHODES ET RÉALISATIONS	34
1) Gestion de données	34
a) Données à disposition et outils.....	35
b) Utilisation des geopackages.....	35
c) Création d'un atlas de photos aériennes	36
d) Créer une base de données topologique propre à l'île.....	39
2) Développer des nouveaux outils de suivi	43
a) La télédétection et les indices spectraux	43
b) Appui sur un travail antérieur	46
c) Mise en place de l'outil	46
3) Développer des outils de médiation : réalisation d'une géo-maquette 3D de l'île	53
a) Choix des données utilisées	53
b) Matériel.....	54
c) Traitement informatique	54
d) Construction.....	62
e) Finition et valorisation	64

III) RÉSULTATS ET DISCUSSION	67
1) La BD Photo aérienne : contenu et utilisation	67
2) La base de données « TopoYeu » : une base de travail destinée à être étoffée.....	69
3) Aléa érosion par télédétection.....	70
a) Résultats.....	70
b) Apports.....	71
c) Limites.....	71
d) Une piste à étudier.....	72
4) Maquette.....	72
a) Résultat	72
b) Suite à donner	75
c) Limites.....	75
d) Autres pistes et projets semblables	75
IV) CONCLUSIONS.....	77
V) FIGURES ET SOURCES	78
VI) ANNEXES	80
1) Annexe 1 : Répertoire des liens utiles pour le suivi ou la consultation d'archives en ligne	80

AVANT PROPOS

Ce stage m'a été proposé par Agnès Baltzer, alors ma professeure à l'IGARUN, à l'automne 2021. Ce mémoire de stage relate les différentes tâches qui ont pu être réalisées entre février et juillet 2022. ODySéYeu est un projet d'observatoire basé à l'Île d'Yeu et lancé en 2018. Il est copiloté par Elsa Cariou et Agnès Baltzer. De nombreux axes d'études et moyens d'actions sont mis en œuvre dans ce projet collaboratif qui vise à établir un suivi du littoral de l'île qui puisse au maximum être pris en main par les habitants eux-mêmes.

C'est dans ce contexte, et notamment dans le but de concevoir une géomaquette de l'île, que s'inscrit ce stage de fin de master. La géomatique et l'usage des SIG ont tenu une place centrale dans la réalisation des différents travaux.

Le corps de ce mémoire se structure en trois parties principales. La première contient une introduction et une mise en contexte multidisciplinaire de la géographie de l'île. Elle décrit également l'état de l'art du projet, les problématiques rencontrées et les objectifs de ce stage, qui cherchent à répondre à ces problématiques. La seconde partie rend compte des méthodes employées. Enfin, la troisième partie présente les résultats des travaux précédemment décrits et discute de leur niveau de pertinence et des éventuelles améliorations qu'il serait possible d'apporter.

I) CONTEXTE ET OBJECTIFS DU STAGE

1) Contexte général

a) Hausse du niveau marin

Entre 1901 et 2018, le niveau moyen des mers a augmenté d'environ 20cm, avec un intervalle de confiance de 5 cm (GIEC, 2021). Cette tendance s'accélère. L'augmentation du niveau eustatique moyen se chiffrait à 1,9 mm/an entre 1971 et 2006. Pour la période 2006-2018, il passe à 3,7 mm/an.

Cette moyenne est globale et grossière. À chaque endroit du globe, les multiples dynamiques en interactions créent des hétérogénéités. Mais si cette évolution n'est pas identique partout, le bilan est globalement à l'augmentation. Les prévisions moyennes du GIEC pour la station de La Rochelle (FR) prédisent une augmentation du niveau marin d'ici 2100 de 36 cm (meilleur scénario, SSP1-1.9) à 82 cm (pire scénario, SSP5-8.5) (fig. 1).

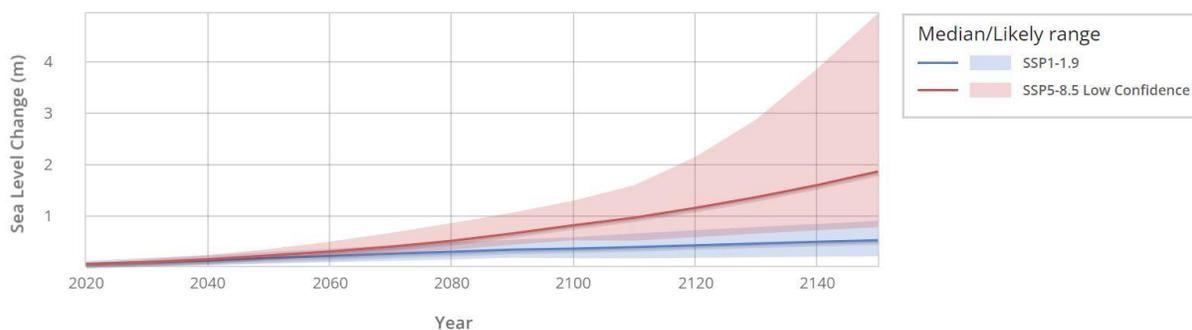


Figure 1 -Prévision de la hausse du niveau marin à la Rochelle selon le sixième rapport du GIEC. Meilleur et pire scénario (Sea Level Projection Tool, GIEC,NASA)

Les effets de ce processus sont d'ores et déjà constatés le long de nos côtes. La figure 2 montre l'évolution du niveau moyen de la mer à Brest depuis 1846. Il est flagrant que depuis 1900, la relative

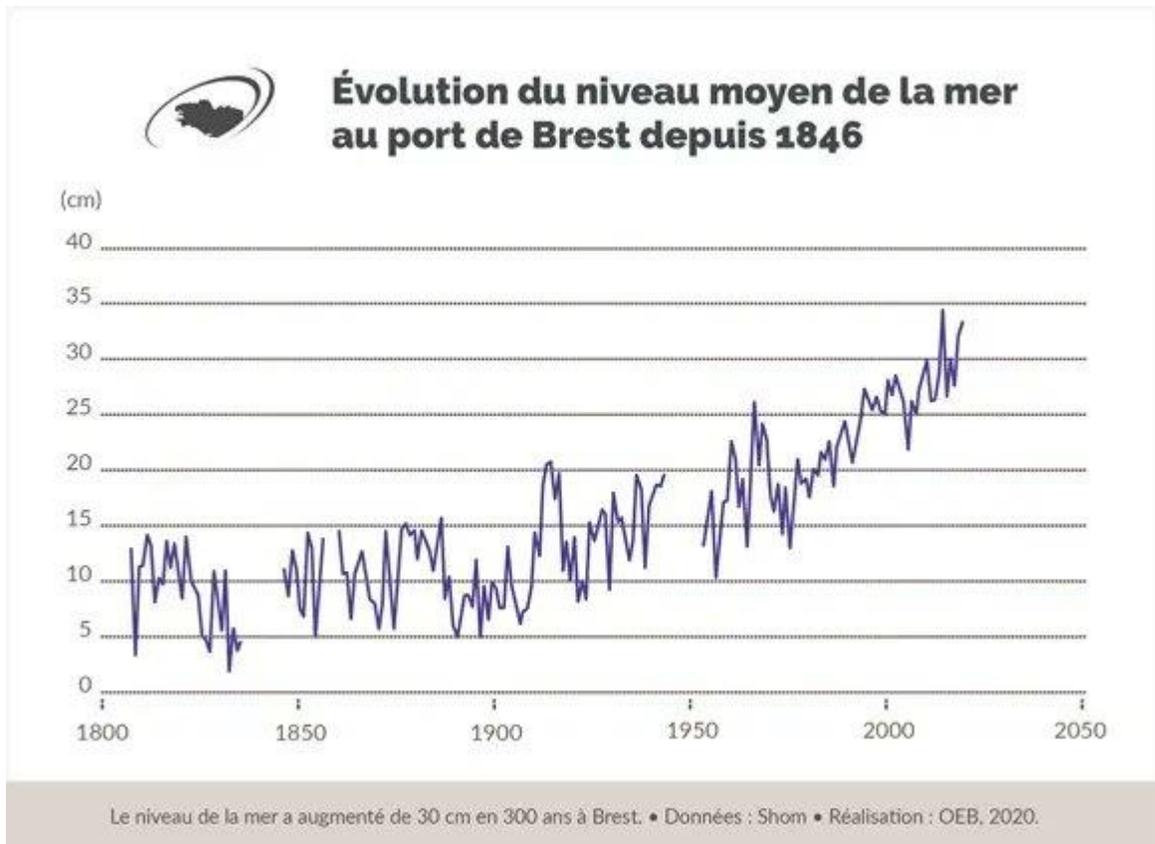


Figure 2 - Evolution du niveau moyen de la mer à Brest depuis 1846 (REFMAR, SHOM)

stagnation a laissé place à une nette augmentation qui semble s'accroître depuis les années 1970.

b) Une urbanisation et un tourisme littoral croissants

Ces 50 dernières années, les littoraux français métropolitains ont connu une forte croissance de leur densité de population. La [figure 3](#) illustre cette évolution en comparant les densités des différentes régions littorales à la moyenne métropolitaine. La densité globale métropolitaine apparaît largement moindre, et semble suivre une évolution à la croissante bien plus lente que celle des toutes les autres régions.

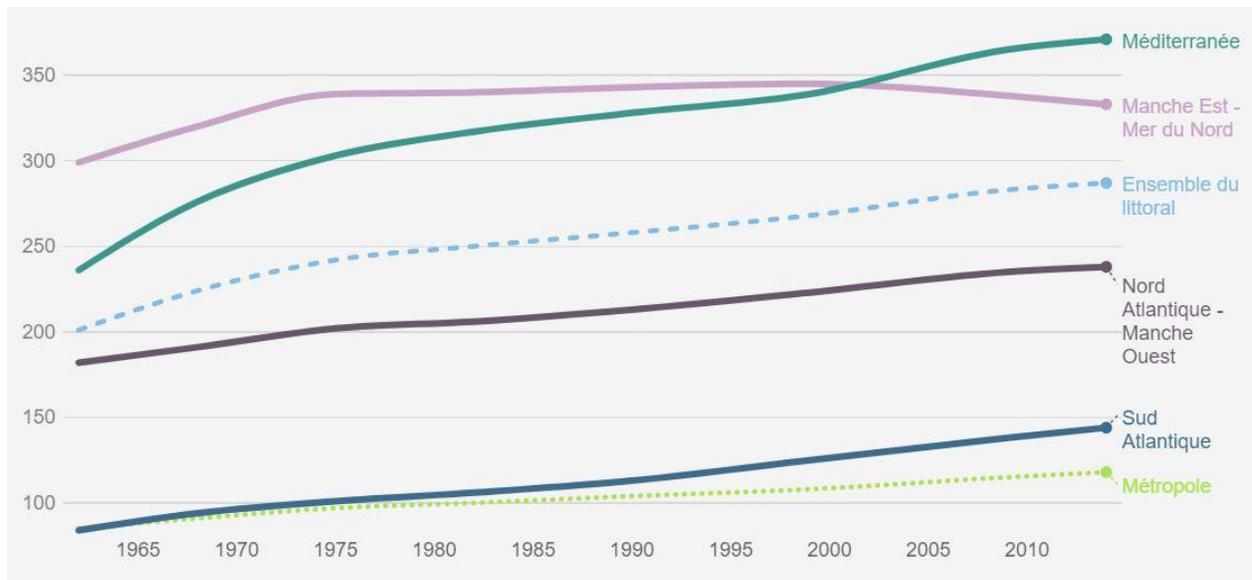


Figure 3 - Evolution de la densité de population sur le littoral métropolitain, en hab./km² (INSEE, RP. Réalisation SDES)

« Dès le second tiers du XIX^e siècle, on observe un double mouvement qui s’inscrit dans la durée, d’une part une profonde transformation des zones côtières confrontées à l’industrialisation et à la reconfiguration des échanges maritimes, d’autre part un nouveau regard sur la mer et le rivage porté par les populations de l’intérieur qui détermine de nouveaux usages » (Le Bouëdec, 2006)

Cette augmentation de l’attrait pour ce type d’activité feront progressivement naître le tourisme balnéaire. L’après-guerre et les 30 glorieuses contribuent à généraliser cette dynamique. Durant cette période, d’importants changements - comme la création des congés payés ou l’explosion de la voiture individuelle - amèneront à l’avènement du tourisme littoral de masse. Les quelques pôles d’attraction majeurs des débuts, aujourd’hui pour beaucoup classés en tant que « Patrimoine Historique » ont laissé la place à un puzzle de centres balnéaires juxtaposés.

Une grande partie de l’économie de certaines régions, repose aujourd’hui sur les recettes qu’elles produisent grâce au tourisme halio-littoral. Le cas du littoral de l’ex Languedoc-Roussillon, avec ses 220 km de côtes en grande majorité transformées en une quinzaine d’années sous l’impulsion de la mission Racine (1963) en est un parfait exemple (fig. 4).

Cette situation n’est pas pérenne sur le long terme. En effet, la réduction de la surface des espaces littoraux liée à l’augmentation du niveau de la mer, croisée à l’augmentation de la fréquentation de ces derniers, montre ses limites. Dans ce contexte, il apparait pertinent d’informer les usagers sur ces problématiques, afin qu’ils puissent, à leur façon, participer à la durabilité de ces espaces.



Figure 4 - Le littoral Languedocien au niveau de Frontignan : Un tourisme balnéaire de masse sur un espace réduit

c) Les sciences citoyennes

La science participative et la recherche collaborative sont deux concepts relativement récents. Bien qu'ils partagent des caractéristiques communes, ils se différencient sur plusieurs points.

- La science participative consiste à « utiliser » les citoyens dans la collecte de données ou d'informations. Par exemple, le recensement des chênes verts sur une commune, avec les citoyens comme prospecteurs, relève de la science participative, car la relation est « à sens unique » : dans ce cadre, les volontaires n'ont pas de contact direct (ou seulement des échanges très limités) avec les personnes qui traitent et utilisent la donnée
Dans le domaine du suivi du trait de côte, l'application smartphone « Rivages » développée par le CEREMA (<https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/applications/appli-mobile-rivages>) permet aux utilisateurs de participer à l'alimentation de la base de données, en transmettant photos et tracés GPS du trait de côte sur un serveur. Par la suite, ceux qui fournissent la donnée peuvent avoir un droit de regard sur celle-ci une fois qu'elle est transmise, mais ne participent pas à son interprétation.
- La recherche collaborative reprend les mêmes bases que la science participative, mais il s'agit ici d'une relation plus équilibrée entre le chercheur et le volontaire, qui travailleront davantage sur un échange de connaissances. Le fait de créer un vrai échange permet d'aller dans le détail et de préciser les observations et les connaissances. Ici, le citoyen est potentiellement déjà détenteur de la donnée et le travail du scientifique consiste à collecter et organiser cette donnée, inaccessible sans l'aide dudit citoyen, afin de la rendre scientifiquement exploitable et de fournir ainsi des clés de lecture nouvelles au citoyen.

Pour exemple, interroger des personnes âgées sur les souvenirs qu'ils ont d'un endroit donné, et en discuter avec eux afin de mieux décrypter l'information, puis discuter à nouveau avec eux des interprétations pour s'assurer que celles-ci ne travestissent pas leurs paroles, et prennent correctement en considération la vision des citoyens sur le territoire, relève de la recherche collaborative. Une promenade commentée sur le terrain en question peut par exemple venir compléter la démarche.

Ces deux types de collaboration entre citoyens et chercheurs peuvent être regroupées sous le concept de « sciences citoyennes ». Comme le montre la figure 5, c'est un échange entre scientifiques et citoyens qui se fait *a priori* sans la participation des décideurs et des gestionnaires (pouvoir exécutif). Toutefois, ce type de démarches vise fréquemment à éclairer les décisions de ces derniers, qui sont alors assurés au minimum de l'adhésion de la majorité des participants.

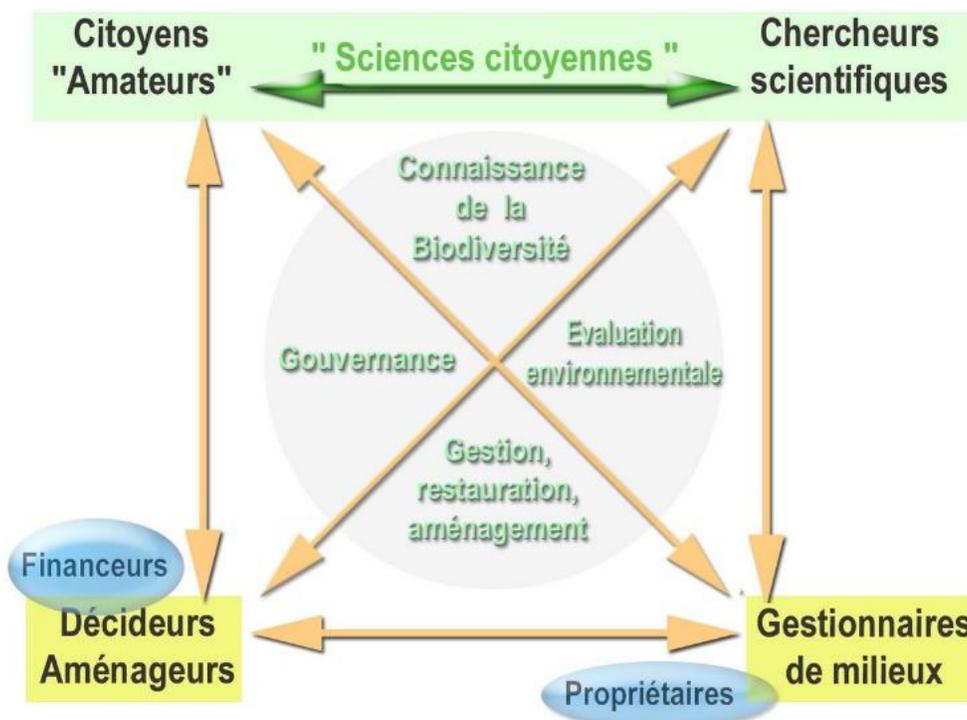


Figure 5 - Graphe présentant les relations entre 4 grands types d'acteurs susceptibles d'être intéressés, impliqués ou concernés par des processus de science citoyenne (Lamiot, 2009)

La communauté scientifique semble aujourd'hui majoritairement d'accord sur le fait que les sciences citoyennes ont un réel intérêt dans la collecte de données, ainsi que dans la sensibilisation des populations.

Comme le résume les chercheurs de l'Office National de la Faune Sauvage, « En combinant l'information apportée par ces programmes avec celle issue des suivis standardisés plus classiques, il devient possible d'améliorer considérablement la précision des estimations d'abondance des espèces et, dans certaines conditions, d'apporter des informations sur les effectifs, les tendances et la répartition

des espèces non suivies par les programmes classiques. » (Calange et al., 2017). Les sciences citoyennes permettent donc à la fois d'accéder à un niveau supérieur de détail d'observations, notamment en augmentant considérablement la fréquence de ces dernières, et d'instaurer des formes de dialogue plus ou moins poussées qui facilitent à la fois l'interprétation des données de terrain et la diffusion des résultats de la recherche.

2) Contexte de l'Île d'Yeu

Ce stage a été réalisé à l'île d'Yeu, petite île touristique de la côte atlantique française, appartenant aux îles du Ponant. Cette île a été choisie à la fois pour ses caractéristiques socio-économiques, climatiques et géomorphologiques : de taille moyenne et située approximativement au milieu de la façade atlantique française et regroupant plusieurs types de populations et plusieurs types de côtes, elle concentre à la fois tous les enjeux et les risques liés au changement climatique et est donc, face à lui, une très bonne sentinelle.

a) Contexte social et historique

i Démographie

Sur les 50 dernières années, la population de l'île d'Yeu est sensiblement stable : 4786 habitants en 1968 contre 4850 en 2019 (fig. 6). En revanche, si le nombre de résidences principales augmente faiblement et régulièrement, le nombre de résidences secondaires connaît une forte croissance depuis la fin des années 1970 (fig. 7).

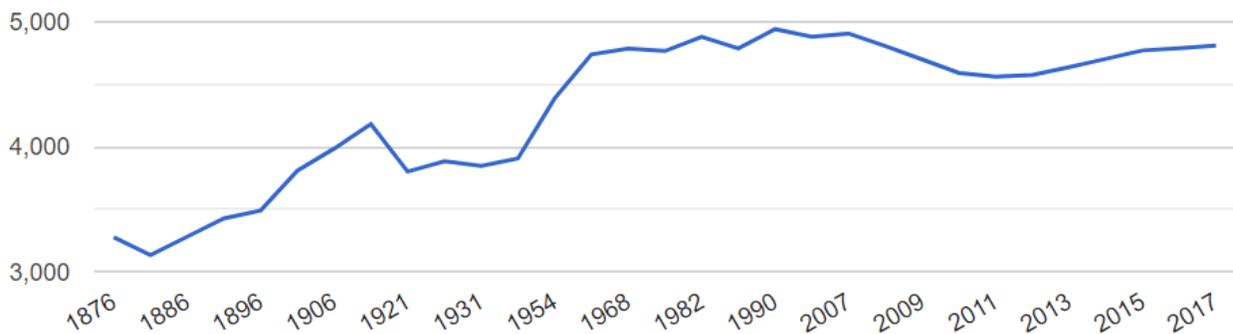


Figure 6 - Evolution du nombre d'habitants à l'île d'Yeu (INSEE). (issu de <https://www.annuaire-mairie.fr/statistique-l-ile-d-yeu.html>)

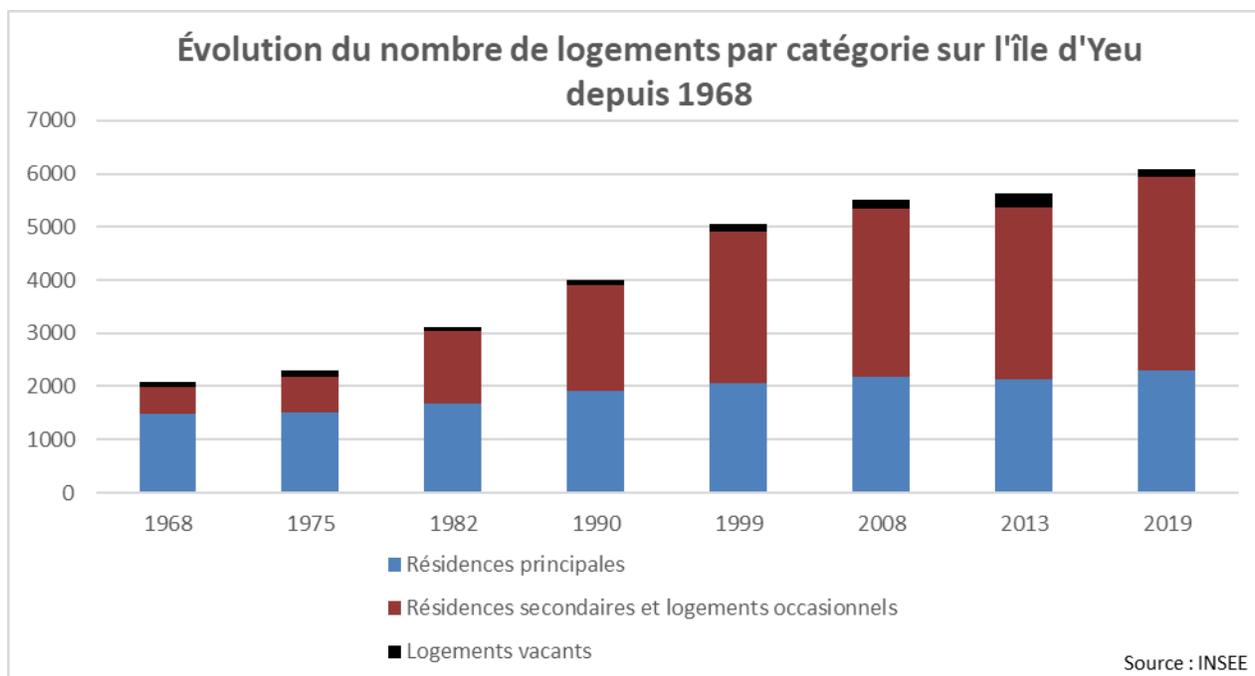


Figure 7 -Évolution du nombre de logements par catégorie sur l'île d'Yeu depuis 1968 (INSEE)

A l'île d'Yeu, le taux de fonction touristique, qui représente le rapport entre le nombre de lits touristiques et la population permanente, s'élève à 3,7. En comparaison, la communauté de communes Océan et marais de Monts (communauté de communes balnéaires vendéennes) obtient un indice de 5,7, et l'île de Groix (île du Morbihan à la taille inférieure, mais comparable, à celle de l'île d'Yeu) un indice de 3,6. Si cet indice n'est pas excessivement élevé, il cache une autre problématique.

Avec ses 23,3 km² de superficie, l'île d'Yeu compte une densité d'habitants permanents de 202 habitants par km². Durant la période estivale, celle-ci peut s'élever, lors des pics, à une densité maximale de 949 habitants par km², soit un facteur multiplicateur de 4,5 (INSEE, 2017).

Ces chiffres sont largement supérieurs à ceux de l'île de Groix (700hab/km² lors des pics) ou de la CC Océan marais de Monts (685hab/km² lors des pics).

Le tourisme occupe une place de premier rang dans le fonctionnement économique et démographique islais. C'est une démographie à deux échelles, typique du littoral français : « Ils [les islais] savent ce qu'ils doivent à la venue de ces vacanciers, notamment de ces villégiateurs huppés qui continuent d'alimenter un fort secteur artisanal et contribuent à maintenir une activité commerciale qui ne pourrait survivre sans leur présence » (Chaussade, 2017)

Mais ce point de vue est à nuancer : l'activité touristique ne génère pas que des bénéfices profitables à l'île. En effet, la saison touristique reste courte et l'activité économique qu'elle génère, notamment dans les commerces, suscite essentiellement des embauches saisonnières. Elle permet de payer les loyers surélevés [du fait du tourisme], pas les emplois permanents « dimensionnés » pour répondre à la demande « hors saison ». Elle ne profite donc qu'à une part faible des islais, qui subissent en revanche l'augmentation des prix. D'autre part, sur l'île, « Plus de sept logements sur dix sont des résidences secondaires, qui sont habitées à peine deux mois par an. "On sait que ces maisons, elles ne seront plus jamais accessibles. Une maison à 1,8 million, on sait que plus jamais elle reviendra dans le

patrimoine", note Roxane Berget, de l'association Les Enfants de tempête, qui regrette que les habitants n'aient plus accès à ces propriétés. » (Francetvinfo, « Immobilier : les habitants de l'île d'Yeu ne peuvent plus se loger », 11/05/22). Ainsi, comme sur beaucoup de communes littorales, les résidents secondaires sont particulièrement nombreux à l'île d'Yeu, et leur nombre s'est encore accru à la suite des épisodes de COVID19. Ces résidents secondaires ont parfois une vision très différente de celle des résidents principaux en ce qui concerne l'île d'Yeu, comment cette dernière doit être administrée, ce qu'elle doit devenir... De plus en plus de résidents secondaires sont inscrits sur les listes électorales de la commune et influent donc sur sa vie politique. Le travail réalisé par [Kévin Giraud en 2020](#) a en outre montré que l'ensemble de ces acteurs du territoire ne possède qu'une vision très partielle du territoire, avec par exemple jamais plus de 30% des personnes interrogées capables de replacer un marais donné sur une carte vierge de l'île. Dans ce cadre, mener une gestion littorale intégrée devient extrêmement complexe et nécessite un regain de pédagogie, qui nécessite lui-même une connaissance accrue du territoire par ses gestionnaires, et des moyens didactiques pour faire passer les messages et accepter les décisions prises.

*Chiffres non sourcés dans le texte : [Pottier, Chadenas, Lamberts, « Trop de monde à l'île d'Yeu ? »](#), Les cahiers nantais, 2017-2, 33-34

ii Occupation du territoire

La réalisation d'une donnée cartographiée de la densité réelle de population sur un si petit territoire est complexe à réaliser. La carte de densité du bâti (fig. 8) peut permettre de se faire une idée de la densité islaise.

Densité relative du bâti à l'Ile d'Yeu

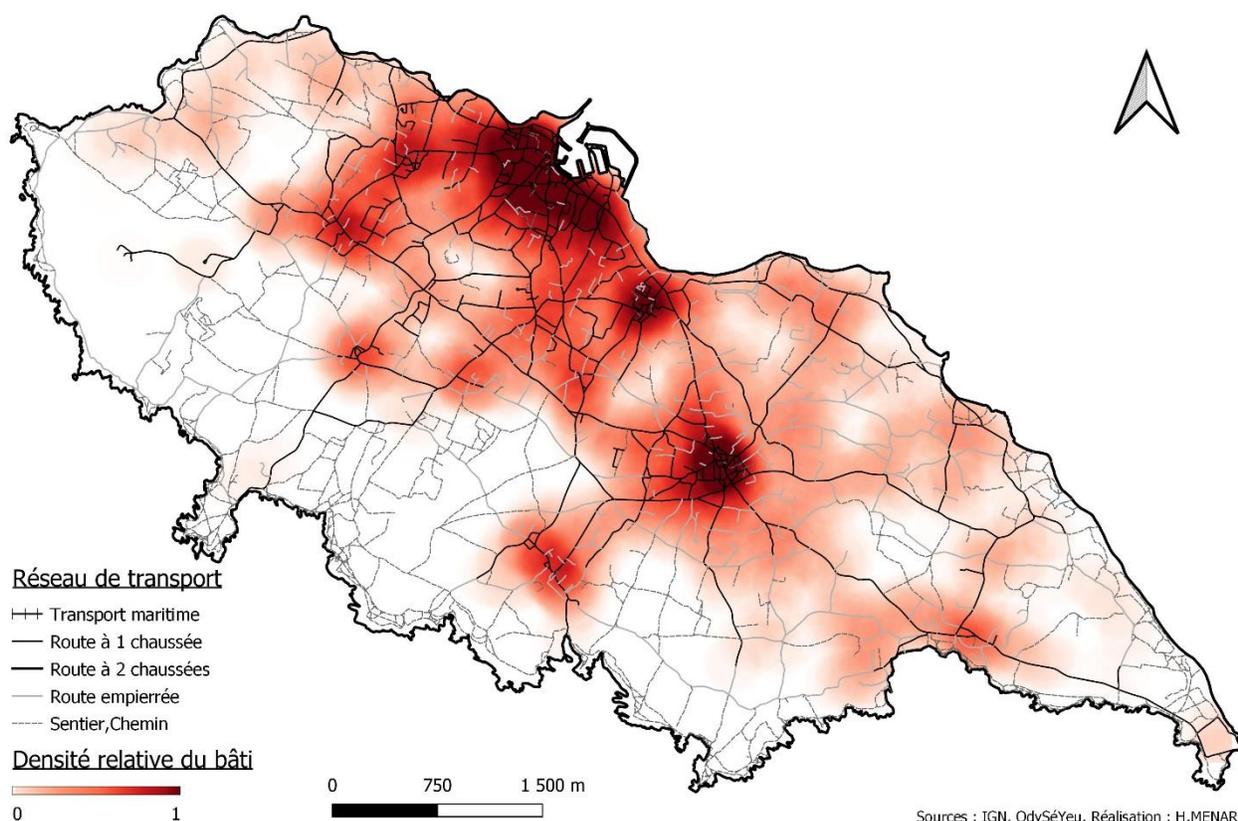


Figure 8 - Densité relative du bâti sur l'île (Carte de chaleur de tout le bâti indifférencié avec rayon de recherche de 200m)

La population se concentre sur deux pôles urbains majeurs : Port Joinville au nord et Saint-Sauveur au centre de l'île. Mais ces centres ne sont pas exclusifs : En effet, l'île était à l'origine organisée en hameaux construits au voisinage des principales fermes. Aujourd'hui l'extension urbaine rend ces hameaux pratiquement coalescents. Sur le plan local d'urbanisme (fig. 9), les zones « à urbaniser » sont rares et viennent le plus souvent compléter des « trous » dans le tissu urbain déjà existant. Les espaces dépourvus de constructions enserrant la zone urbanisée, à l'ouest, au sud et à l'est, sur une bande d'environ un kilomètre. Cette zone est Site classé et zone Natura 2000.

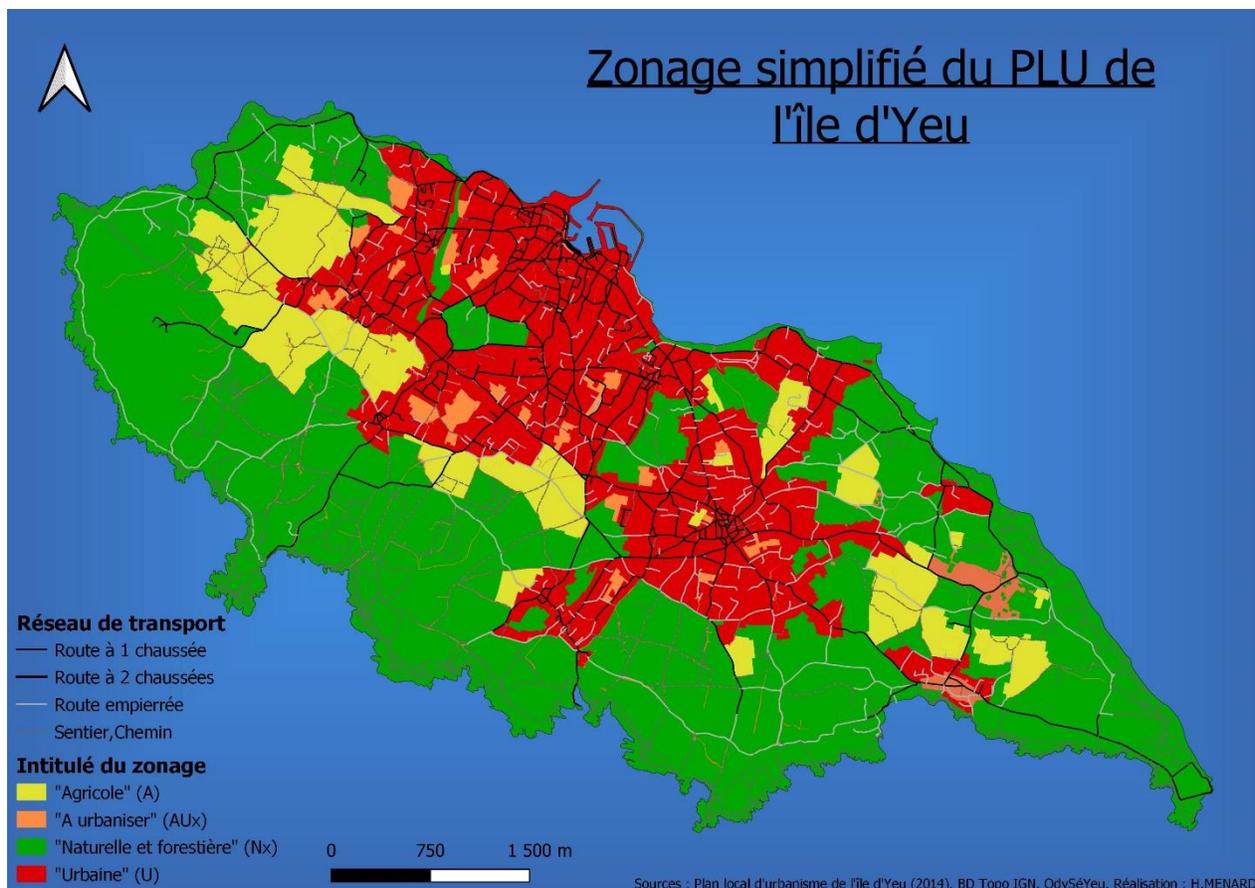


Figure 9 - Zonage du PLU de 2014 sur l'île d'Yeu

Cette organisation du territoire démontre la volonté municipale de conserver la majorité de l'île en « zone naturelle ».

iii Patrimoine historique

Probablement habitée dès le néolithique, l'île recèle un important patrimoine matériel, et de nombreux édifices se situent sur la bande littorale.

Parmi les plus anciens, les pêcheries néolithiques (fig. 10) sont aujourd'hui immergées (conséquence de la remonté holocène du niveau marin). De nombreux mégalithes et sites archéologiques côtiers ont également été découverts au fil du temps et traduisent une occupation probablement permanente de l'île à partir du Néolithique (Synthèses archéologiques d'Annabelle Chauviteau – Service Patrimoine de la Mairie de l'île d'Yeu).



Figure 10 - Mise en évidence des anciennes pêcheries submergées découvertes par OdySéYeu

Les quelques témoignages de l'époque gallo-romaine puis du Moyen-âge montrent que les côtes et les marais ont toujours été exploitées pour leurs capacités vivrières. Même les dunes servent de zone de pacage pour le bétail, et sont même parfois cultivées. Avec le développement de la marine à voile, les nombreux noyés arrivant à la côte sont ensevelis dans la lande à proximité des plages du nord de l'île, particulièrement dangereuses. Il se constitue alors progressivement une sorte de « cimetière de noyés », qui est aujourd'hui lui aussi un héritage historique important. Dès le Moyen-âge avec le Vieux Château, puis à partir du XVII^{ème} siècle avec un système de petites batteries côtières, l'île se dote de fortifications côtières, parmi lesquelles la batterie de la Sablière (Conches), par exemple, fut plusieurs fois détruite par l'érosion côtière et dû être reconstruite. Ces fortifications seront par la suite réutilisées pendant les deux guerres mondiales. En parallèle, l'extraction de l'acide sodique des algues par les soudiers, qui produisent des pains de soude pour l'industrie pharmaceutique notamment, génère la création de fours à soude à même la dune. Plusieurs d'entre eux sont actuellement encore visibles. Enfin, au cours du XX^{ème} siècle, les zones côtières sont également exploitées pour la ressource en roches et en sable qu'elles constituent et qui permettent « d'absorber » le développement urbain de l'île sans importer trop de matériaux. Les carrières ainsi constituées sont ensuite généralement employées comme sites d'enfouissement pour les déchets. Aujourd'hui invisibles, mais bien présents, ces déchets constituent aujourd'hui bel et bien un héritage historique qu'il sera nécessaire de gérer à l'avenir face à la montée du niveau de la mer, au même titre que les mobiliers des époques antérieures, et pour lequel se mêleront d'autant plus les enjeux patrimoniaux, écologiques et économiques.

**Voir la publication de Cariou et al. sur le sujet (Elsa Cariou, Agnès Baltzer, Serge Cassen, Sebastien Argant, Laurence Argant, Pierre Stephan et Patrick Launeau, « Fisheries, archaeological evidences of the last sea level rise around the Island of Yeu », Conférence: European Geologists Union General Assembly (EGU), 04/2019)*

b) Contexte géographique et physique

i Dynamiques maritimes et éoliennes

La position avancée en mer de l'île d'Yeu la place en première ligne face aux houles de l'Atlantique.

La [figure 11](#) montre la bathymétrie de 0 à -100 m du Golfe de Gascogne, entre le Finistère et le Bassin d'Arcachon. L'isoligne en rouge représente une profondeur de -50 m. Le cercle en rose situe l'île d'Yeu sur cette carte. La ligne des -50 m est généralement assez éloignée des côtes sur la façade atlantique (plusieurs dizaines de kilomètres), exception faite du sud du Finistère, de Belle-Île-en-mer et de l'île d'Yeu (puis au sud du bassin d'Arcachon, pour des raisons différents – plateau continental presque inexistant).

Or, d'après les équations de Navier-Stokes, « les variations d'énergie de la houle sont directement liées à la variation de la profondeur d'eau : lorsque la houle se rapproche du rivage, sa célérité ne dépend que de la profondeur locale et diminue avec cette dernière. La longueur d'onde de la houle, étant liée à la célérité diminue aussi avec la profondeur locale » (ENSEEIH, d'après R. Bonnefille, <https://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0001/travaux/optsee/bei/3/g30/theorie.htm>).

Ainsi, l'énergie des houles reçues par l'île, du fait de la bathymétrie qui décline rapidement, est donc particulièrement forte comparée au reste de la côte atlantique.

Bathymétrie de la façade Atlantique entre 0 et -100m

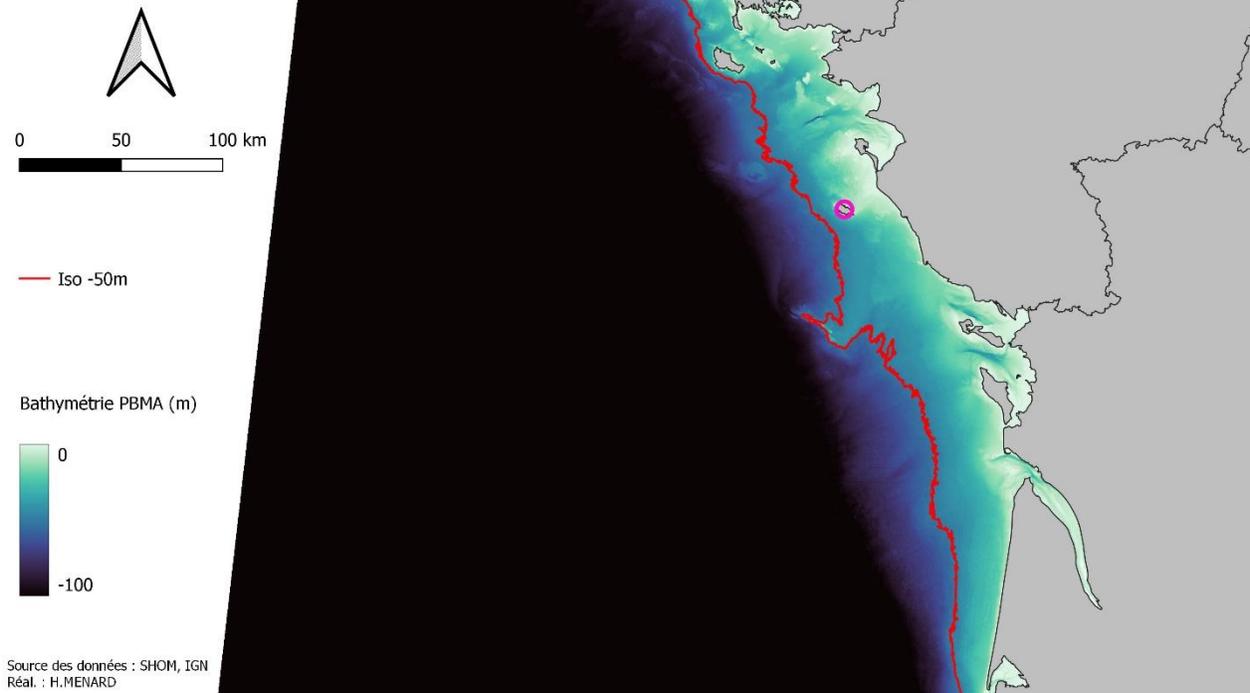


Figure 11 - Bathymétrie de la façade Atlantique (SHOM)

La [figure 12](#) illustre la taille théorique de la houle (en mètres) le long de la côte vendéenne, pour la date du 23/11/17 à 16h (journée hivernale « classique »). Elle rend compte des différences entre l'île et les différentes zones littorales continentales.

La position de « sentinelle » de l'île y est particulièrement visible : au nord du département, la houle est extrêmement ralentie par une faible bathymétrie mais également par la réfraction produite par l'île lorsque cette houle prend une composante sud. Les valeurs à Notre Dame de Monts (0.5/1 m) sont approximativement divisées par trois, comparé à la cote ouest islaise (3 m).

Puis à partir de Saint Jean de Monts, la houle reprend de la puissance suivant un gradient nord-sud, mais reste toujours en-deçà des valeurs de l'île d'Yeu, du fait d'un éloignement supérieur à l'isoligne -50 m.

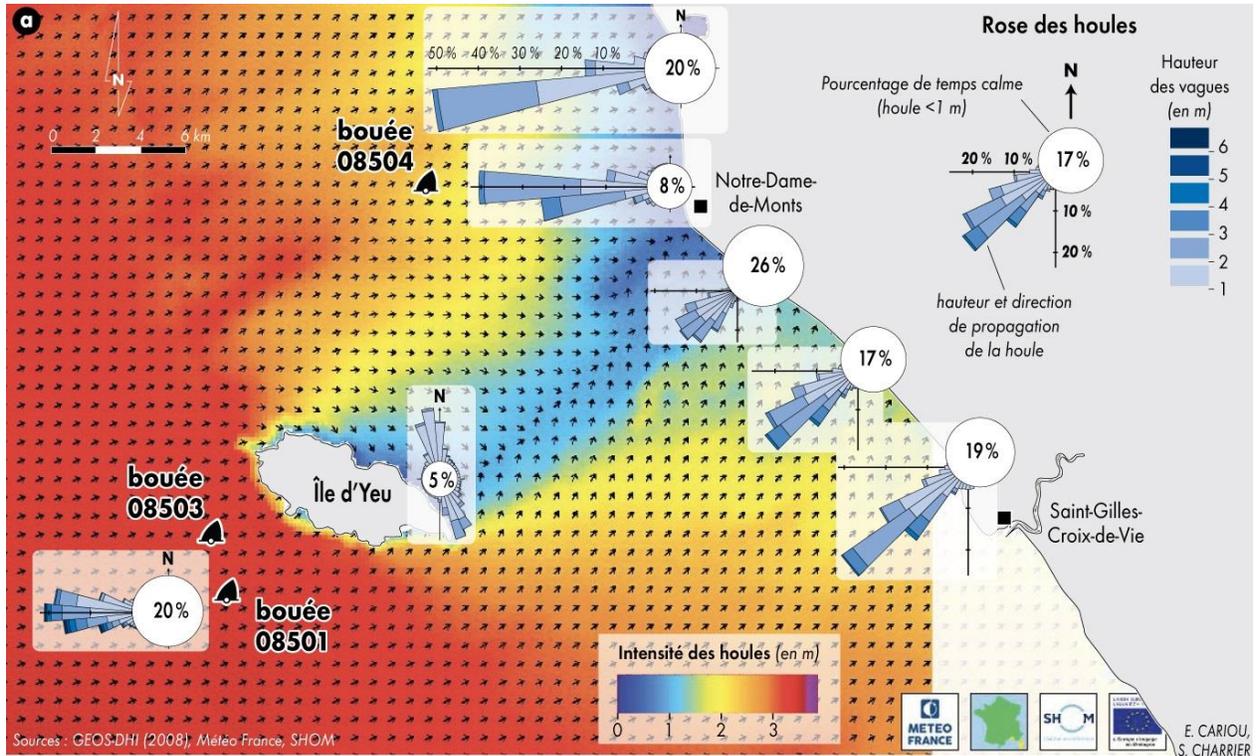


Figure 12 - Instantané des directions et intensités de houles, généré par le modèle WAVEWATCH-3 pour le 23/11/17 à 16h lors de conditions météorologiques hivernales moyennes (Cariou et al., 2017)

Il est également intéressant de noter le phénomène de diffraction de la houle par l'île, représenté par la rose des houles à l'est de celle-ci (fig. 12). « Cette diffraction provoque une modification de la trajectoire des trains de houle, qui convergent alors depuis les deux pointes, longeant la côte nord-est de l'île, et y générant des courants de dérive littorale opposés » (Cariou et al., 2017)

La forte exposition aux éléments inclue également le vent.

La figure 13 représente le potentiel éolien (lié à la vitesse et à la régularité du vent). L'île d'Yeu, Noirmoutier, et dans une moindre mesure l'extrême sud du département (le début du marais poitevin), reçoivent nettement plus d'énergie éolienne que les autres parties littorales de Vendée.

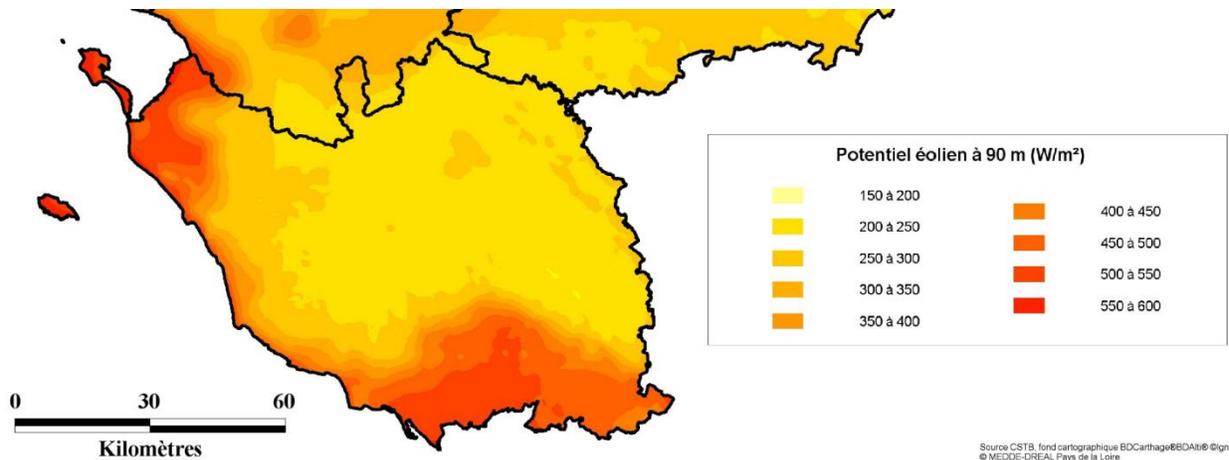


Figure 13 - Le potentiel éolien à 90m en Vendée (modifié d'après [MEDDE-DREAL Pays de la Loire](#))

La rose des vents illustrée en [figure 14](#) montre la large prédominance des vents de secteur ouest, avec une tendance sud-ouest également visible. Ces directions sont également les plus représentées pour les vents les plus forts (> 22 m/s).

Les vents de quart nord-est ne sont pas rares non plus, avec une fréquence cumulée d'environ 28% (contre environ 43% pour le quart 180°-270°).

S'ils sont moins forts en moyenne que les vents d'Ouest, ils constituent néanmoins sur l'île, et contrairement au continent, un important facteur d'érosion côtière, du fait de l'orientation orientale de la plupart des côtes sableuses.

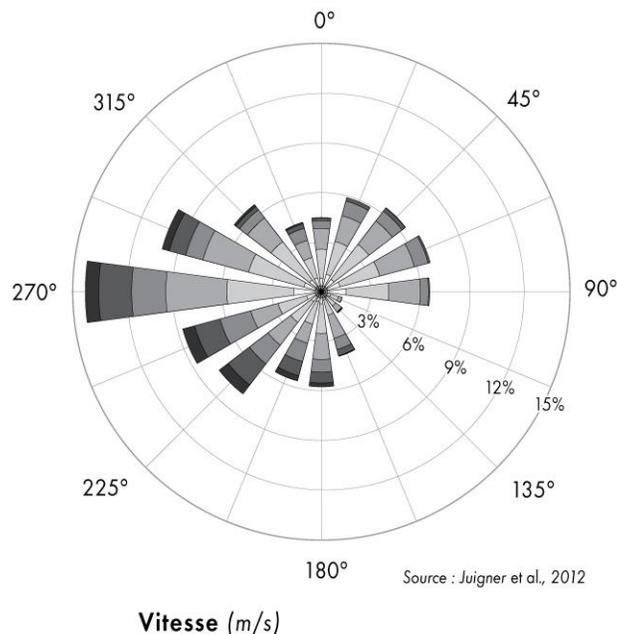


Figure 14 - Rose des vents synthétisant les données recueillies entre 1999 et 2010, sur l'île d'Yeu et Noirmoutier ([Juigner et al., 2012](#))

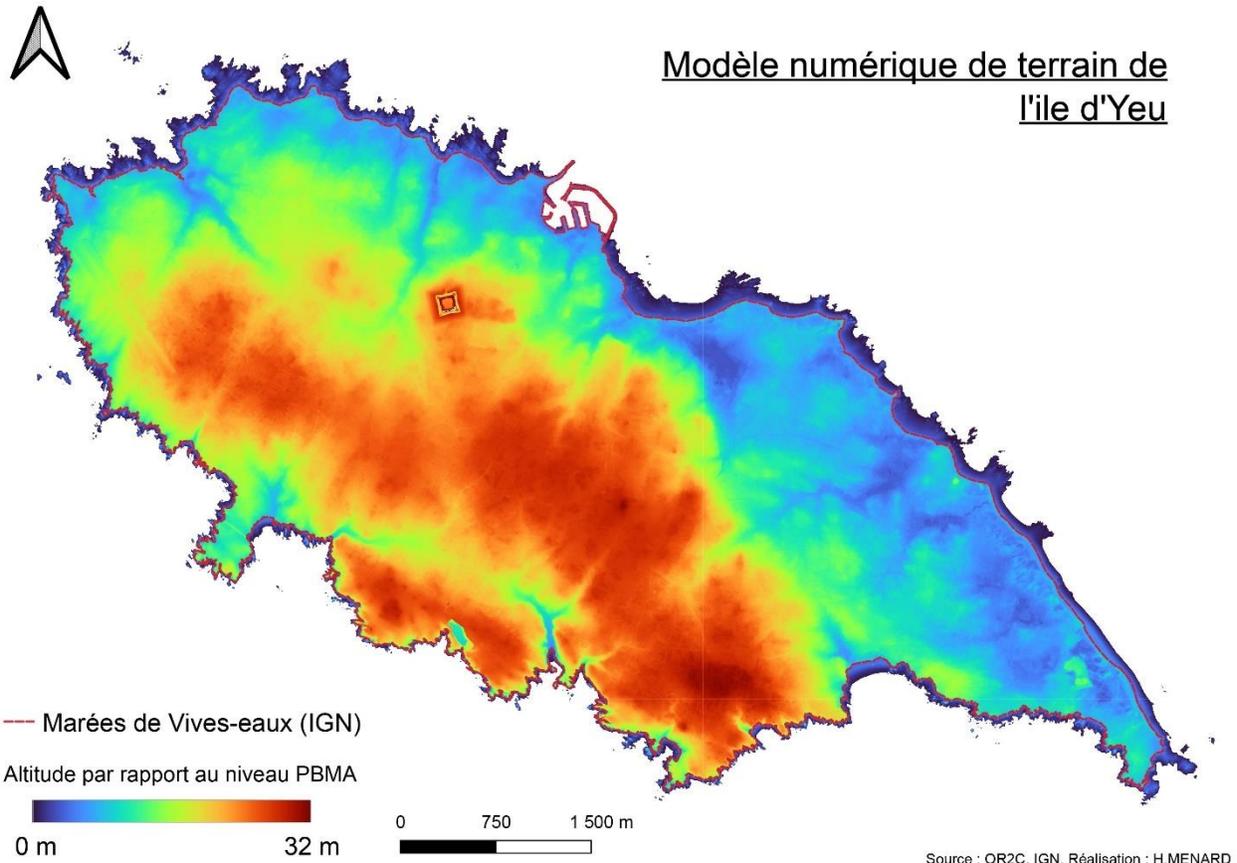


Figure 15 - Altimétrie de l'île d'Yeu

ii Géomorphologie, géologie, sédimentologie

Eloignée des côtes vendéennes de 25 km, l'île d'Yeu affiche une superficie de 23,3 km². Elle se situe sur la bordure sud Massif armoricain, qui en forme le socle (Cariou et al., 2017).

Son point culminant se situe à 32 m au-dessus du niveau de la mer.

La morphologie de l'île, représentée par la figure 15, asymétrique, peut géomorphologiquement être divisée en deux parties :

- La première, à l'ouest, est un socle en gneiss surélevé par rapport à la mer. En dehors des parties strictement littorales (notamment à l'extrême nord), son altitude varie entre 12 et 32 m. Sur toute la côte sud-ouest, entre la Pointe du But à l'ouest et la Pointe des Corbeaux à l'est, ce socle est découpé par une cote de falaises exposée aux vagues de l'Atlantique.
- La seconde, à l'est, est une partie plus basse (l'altitude varie entre 1m et 8m, sauf exceptions très locales) et aussi plus plane.

On distingue d'anciens vallons d'écoulement, le Port de la Meule au sud étant le plus encaissé d'entre eux et formant une petite ria.

La [figure 16](#) rend compte de la géologie de l'Île d'Yeu, du Pont d'Yeu ainsi que de la côte vendéenne entre Brétignolles et La Barre de Monts ([fig. 16-a](#)). Une coupe géologique ([fig. 16-b](#)) vient compléter la carte géologique. Cette coupe dessine un transect entre le large de l'Île d'Yeu et l'intérieur des Pays de Monts.

L'île est en réalité un pli dans le socle ancien en gneiss affleurant. Dans l'espace marin entre l'île et la cote se dessinent des plateaux calcaires sous-marins issus de « calcaires dolomites de l'éocène » ([Cariou et al., 2017](#))

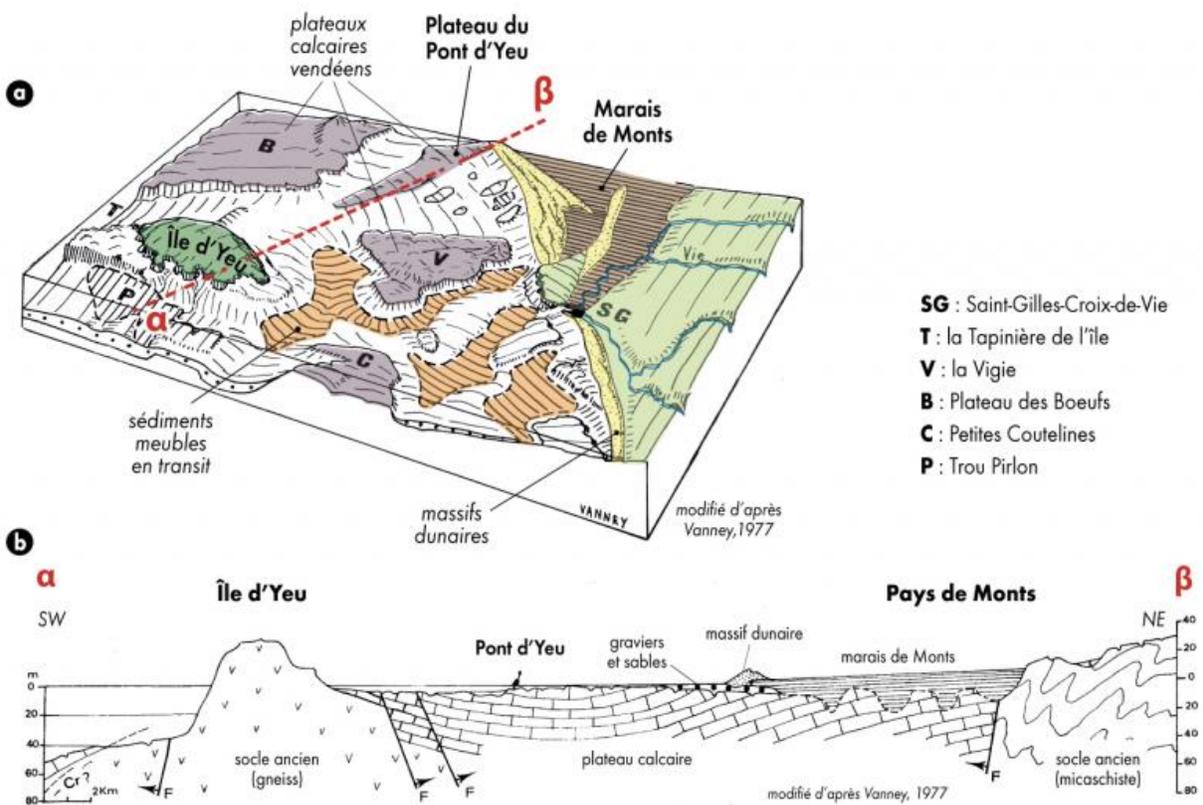


Figure 16 - Schéma structural (a) et coupe géologique (b) proposé par Vanney (1977)

Un de ces plateaux, le Pont d'Yeu, relie l'île au continent à une dizaine de mètres sous le niveau marin. La couverture sableuse qui le recouvre « reste mince » (< 2 m). Localement discontinue, elle tapisse essentiellement le fond des dépressions » ([Cariou et al., 2017](#))

Ces zones sédimentaires sont représentées en [figure 17](#). Sédiments fins, graviers et sables plus ou moins grossiers forment un puzzle de sédiments complexe à décrypter.

« La comparaison des cartes a et b de la [figure 17](#), respectivement proposées par Vanney en 1977 et établie par le SHOM en 2010, révèle qu'en 40 ans, l'organisation des sédiments meubles n'a pratiquement pas changé » ([Cariou et al., 2017](#)).

Il semble donc que les dynamiques locales aient été, jusqu'à présent, stables dans le temps. Sur la [figure 17-b](#) sont représentés les quatre principaux « axes sédimentaires ». Le pont d'Yeu et sa fine couche sédimentaire sont représentés par l'axe 2.

Sur la [figure 17-a](#), on note la présence au nord-est de l'île, d'un banc de sable. Il s'agit du banc de la Sablaire, qui témoigne de la réfraction des houles d'ouest par l'île et de leur capacité à transporter les sédiments les plus fins « à l'abri de l'île », où ils se déposent.

En plus d'avoir une qualité d'indicateur passé et actuel (étude de la granulométrie/sédimentologie, étude de l'évolution du banc) de l'hydrodynamique locale, ce banc revêt une importance conchylicole puisqu'il abrite un gisement de *Spisula*, dont l'exploitation est protégée par un arrêté préfectoral.

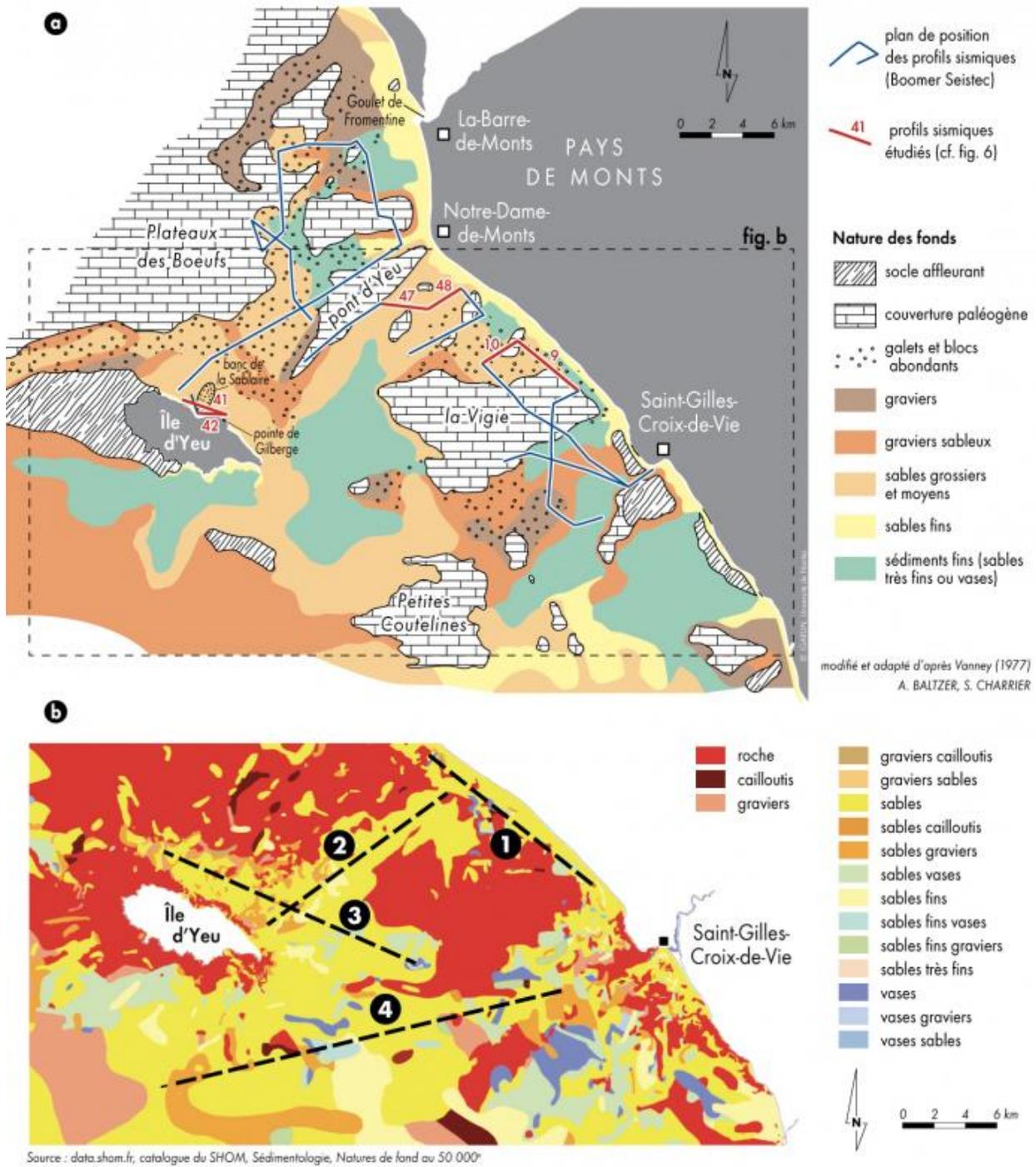


Figure 17 -a) Distribution des dépôts sédimentaires dans la zone d'étude (Vanney, 1977). b) Distribution des dépôts sédimentaires dans la zone d'étude (SHOM, 2017).

iii Conséquences sur la structuration des biotopes

Ci-dessous (fig. 18), le zonage de l'OCS GE de 2013 représente la couverture des sols sur l'île.

Il est intéressant de noter la dualité entre les parties sud-est et ouest.

Ce zonage des biotopes est à mettre en relation avec le MNT de l'île (fig. 15), et avec le régime de vent précédemment cité.

Couverture des sols à l'Ile d'Yeu en 2013

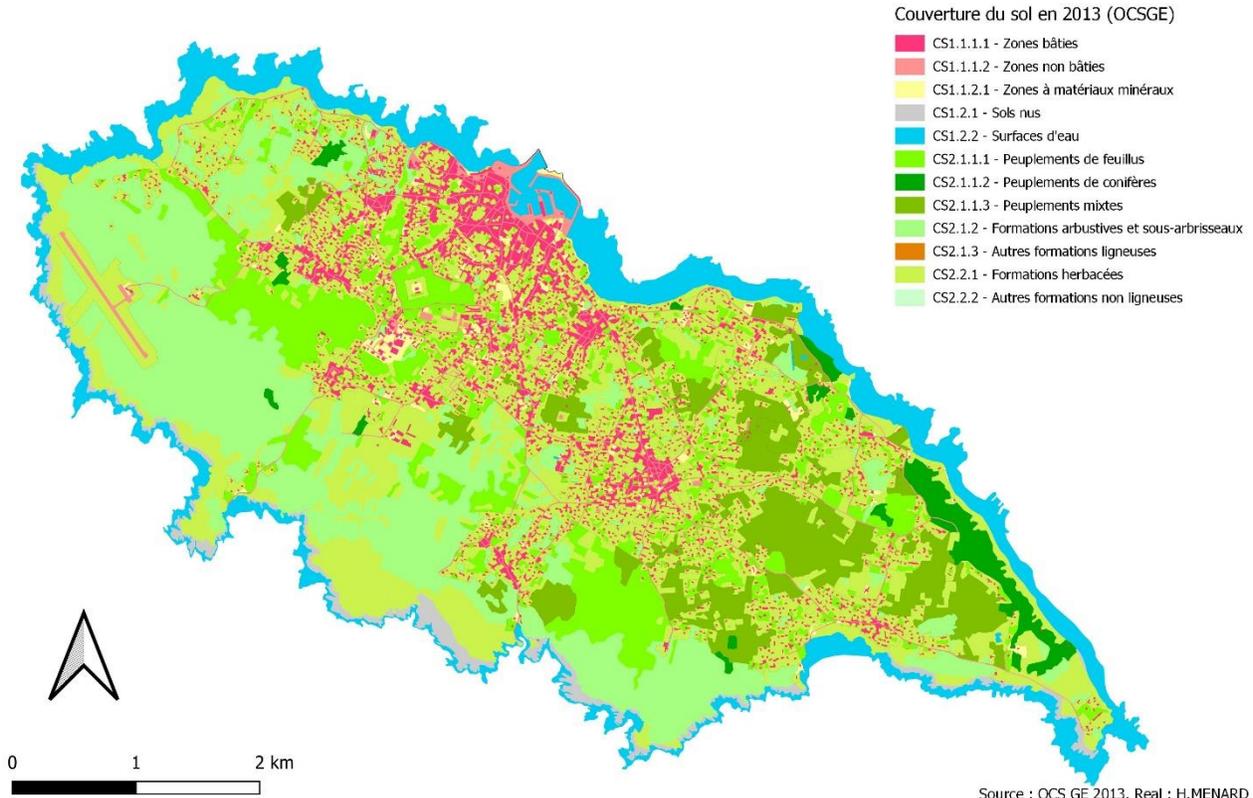


Figure 18 - Couverture des sols à l'île d'Yeu en 2013 selon l'OCS-GE

Toute la zone exposée aux embruns et au vents d'ouest ressort très clairement, représentée par une végétation arbustive ou de sous arbrisseaux (CS2.1.2), ou par des formation herbacées (CS.2.2.1). Ces paysages de landes mésophiles poussant sur des sols pauvres et dans des conditions extrêmes (salinité, hygrométrie, anémométrie) sont protégés par la directive habitat du programme Natura 2000 (voir fig. 19)

Sur la partie est, la végétation, plus haute et plus diverse, est représentée par différentes espèces d'arbres, feuillus et conifères. L'effet d'abri crée par le relief facilitant le développement de ce type de biotope plus exigeant.

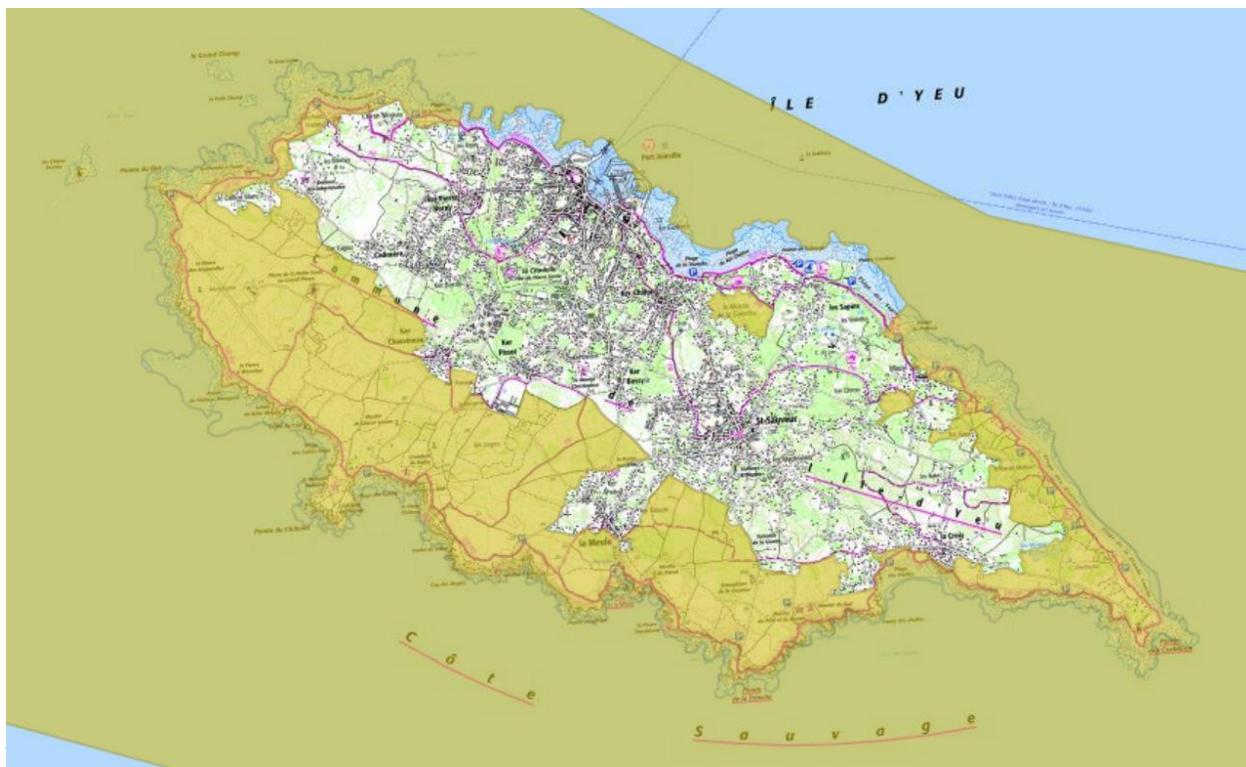


Figure 19 - Zonage de la Directive habitat Natura 2000 (en jaune), (issu de Géoportail.fr)

3) Le projet ODySéYeu et les problématiques de ce stage

La tempête Xynthia a rebattu de nombreuses cartes concernant la gestion du risque côtier en France. En effet, c'est à la suite de cette catastrophe (2011) que les Plans d'Actions et de Prévention des Inondations (PAPI) ont été élargis aux zones littorales. Généralement portés par les communautés de communes, ces plans de prévention ont rapidement été établis sur tout le littoral des Pays de la Loire. Des observatoires locaux et un Observatoire Régional des Risques Côtiers (OR2C) ont ensuite été créés, permettant de mettre en réseau l'ensemble des observations et des suivis menés sur le littoral régional.

N'étant pas rattachée à une Communauté de Communes et ne figurant pas sur la liste des territoires prioritaires face au risque d'inondation, l'île d'Yeu n'a pas bénéficié d'un tel plan de prévention. Observations et mise en place de suivis y ont donc pris du retard par rapport au reste de la côte vendéenne.

L'île d'Yeu étant un territoire singulièrement différent du reste de la côte vendéenne, par ses caractéristiques à la fois géomorphologiques, hydrologiques, météorologiques et socio-économiques, il était difficile de l'inclure *a posteriori* dans l'un des observatoires locaux continentaux. En outre, le contexte insulaire dans lequel des types de populations très différents se croisent en permanence rendait très pertinentes les approches collaboratives. Ainsi, avec pour objectif premier de combler les lacunes de connaissances sur la dynamique sédimentaire autour de l'île d'Yeu, le projet ODySéYeu a été mis en place à partir de 2018. Cet apport de connaissances permettrait par la suite de « Comprendre les

mouvements sédimentaires locaux autour de l'île d'Yeu pour pouvoir lutter efficacement contre les effets négatifs du changement climatique et de l'intensification des activités humaines. »

Ce projet a été initié par deux co-porteuses :

-Agnès Baltzer, professeure des universités à l'Université de Nantes (géographie physique, géophysique marine), responsable scientifique, interlocutrice auprès du laboratoire et de l'Université.

-Elsa Cariou, docteure en géologie sédimentaire, coordinatrice scientifique et technique, et interlocutrice de terrain. Native et résidente de l'île, Elsa représente l'équipe de recherche sur le territoire étudié, et constitue l'interface de dialogue la plus directe entre les habitants et les universitaires.

A travers ce tandem, le projet ODySéYeu constitue un pont entre les usagers et habitants de l'île, et les acteurs scientifiques du milieu universitaire. Plusieurs avantages ressortent d'une telle collaboration :

- Une défiance amoindrie des citoyens vis-à-vis des scientifiques : le dialogue gagne à être en partie amélioré.
- Du côté des scientifiques, un accès facilité à des données à caractère « privé » (souvenirs, photos personnelles, récits, archives), habituellement difficiles à se procurer.
- Une prise de conscience progressive des enjeux environnementaux contemporains par les habitants, associée à une compréhension croissante de ces derniers.
- Finalement, une meilleure connaissance partagée du territoire islais, pour ses habitants, et pour le milieu scientifique.

Le projet ODySéYeu se veut non seulement pluridisciplinaire, mais également constitué d'une pluralité d'acteurs (privés, public territorial, universitaire, scolaire). C'est cette exhaustivité recherchée qui permet d'obtenir les conclusions les plus objectives possibles.

Durant les quatre années passées, d'autres projets de suivi comparable à ODySéYeu ont vu le jour. L'OCLM (Observatoire Citoyen du Littoral Morbihannais) et son projet FUGASCIA se rapprochent énormément d'ODySéYeu : Sur la presqu'île de Gâvres (56), son but est « d'impliquer, en accompagnement des nouveaux aménagements, les citoyens à la gestion du trait de côte, dans la collecte de données et le partage de connaissance, par la mise en place d'un site OCLM. Celui-ci permettra aux riverains de remonter régulièrement toute évolution des aménagements et de la plage. » Parallèlement, on assiste à la naissance de nombreux projets citoyens similaires. Les points de vigie « CoastSnap » se multiplient partout en France. Récemment, la ville de Saint-Brevin-les-Pins (44) s'en est dotée, mais également toute la région Nouvelle-Aquitaine à travers les actions de l'Observatoire de la cote Nouvelle Aquitaine. C'est également le cas en Bretagne et dans de nombreuses communes littorales en France.

La démarche utilisée par ODySéYeu semble donc avoir le vent en poupe. Les projets de recherche citoyenne se multiplient. Dans ce contexte, il a été décidé de poursuivre ODySéYeu au travers d'un nouveau projet « ODySéÎles ». Ce dernier vise aujourd'hui à intégrer l'ensemble des connaissances nouvelles acquises depuis 2018 dans la gestion littorale de l'île. Il vise également à exporter à Noirmoutier, Mayotte et en Nouvelle-Calédonie les outils développés dans ODySéYeu, qui pourront alors être adaptés sur ces nouveaux territoires.

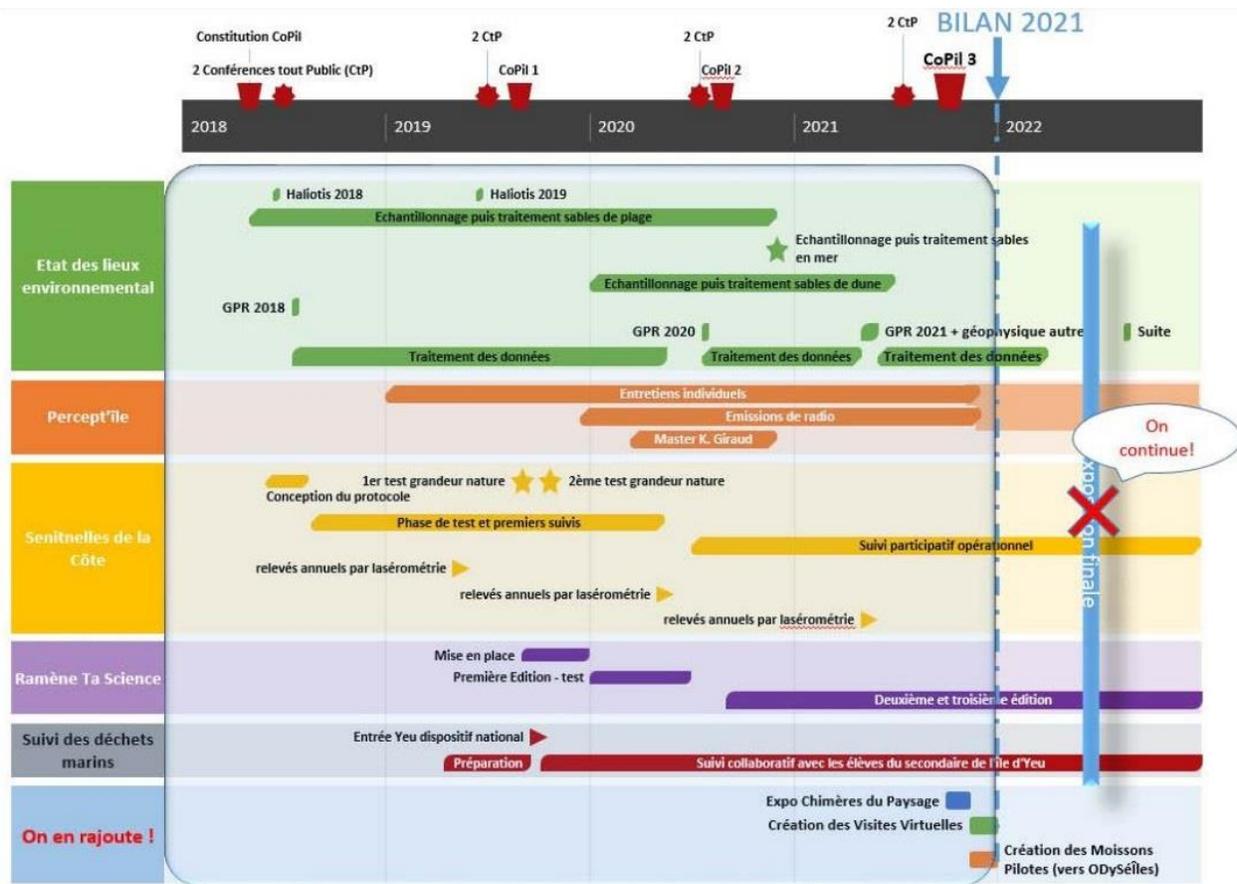


Figure 20 - Diagramme de Gant du projet ODySéYeu paru dans le rapport d'activité annuel 2021

Le diagramme représenté en [figure 20](#) retrace le parcours du projet ODySéYeu depuis sa création en 2018.

Il s'articule autour de 5 axes :

- L'Etat des lieux environnemental, à travers, notamment, des campagnes de relevés sonar, des analyses sédimentologiques ciblées, des campagnes d'acquisition GPR (géoradar).
- Un dispositif purement collaboratif (Percept'îles), dans lequel « il s'agit d'organiser la collecte d'informations venant de sources très diverses, d'en faire la synthèse, puis de mettre en œuvre la diffusion de l'ensemble de ces connaissances, afin de les rendre accessibles au plus grand nombre, d'une part, mais aussi de susciter éventuellement l'apport de nouvelles connaissances jusqu'alors restées « dans l'ombre » » ([Rapport d'activité 2018-19 d'ODySéYeu](#)). Les informations récoltées sont ensuite présentées dans une émission de radio locale (sur Neptune FM).
- Sentinelles de la côte, qui constitue un dispositif collaboratif de suivi de l'évolution du trait de côte et des plages : grâce à une application smartphone, chacun a la possibilité de contribuer à la veille en suivant un protocole simple de prise de photos. Ces photos, une fois transmises, sont

traitées grâce à DigiScan3D, un logiciel mis au point à l'Université de Nantes et permettant de créer un modèle 3D de la zone photographiée. Par la suite, un suivi peut être effectué grâce à différents millésimes de cette donnée. Les résultats sont disponibles à la visualisation sur une plateforme interactive en ligne.

En plus de la veille effectuée par les « sentinelles », un suivi par laserométrie (Lidar) est régulièrement réalisé sur certaines plages ciblées.

Le programme « CoastSnap », intégré au dispositif sentinelles de la cote, permet, grâce à des supports smartphone fixes sur le terrain, de prendre des photos identiques, à des dates différentes, d'une certaine portion de cote ou de plage.

- Ramène ta science, un dispositif pédagogique en lien avec les structures d'enseignement secondaire islaïses. Les élèves sont amenés à relever des données sur le terrain (comptage des déchets de plage, utilisation du radar, caractérisation des sédiments, ...). Ces sorties ont pour but de « permettre aux collégiens de rencontrer les scientifiques directement sur le terrain, et de se familiariser avec le matériel technique et les problématiques de terrain. »
- Le dernier axe est constitué du suivi des déchets marins. Ce suivi est réalisé de manière mensuelle ou trimestrielle (en fonction de la plage). La régularité de ces comptages peut permettre de tirer des conclusions par la suite. Des bacs à marée, installés sur certaines plages, complètent cette démarche. Ils ont un double but : fournir un bac à déchet pour assurer la propreté de la plage, mais aussi éviter l'éparpillement (autre part sur l'île) de ces déchets de plages qui viendrait fausser le comptage local.

Préalablement à ce stage, deux autres stages de master ont eu cours au sein d'ODySéYeu : celui de Kevin Giraud, portant sur les « Risques, connaissances et représentations du territoire insulaire de l'île d'Yeu » (2020) et celui de Robin Piel portant sur « L'interaction fortification/dunes côtières de l'île d'Yeu (à travers une approche historique et géophysique) » (2021).

Ces différentes interventions, ont permis de préciser plusieurs phénomènes mis en évidence au cours du projet.

Le second a notamment montré qu'à l'île d'Yeu, le socle rocheux est relativement plat sous le sable des dunes perchées. L'érosion n'y est pas uniquement liée à la mer et même bien au contraire, en l'absence de catastrophe météo-marine elle est d'avantage liée à la pluviosité sur l'île (ODySéYeu).

Débuté en 2018, le projet ODySéYeu, qui devait durer 4 ans, arrive à terme cette année ; en 2022. Ce stage s'inscrit donc dans une dynamique de fin de projet.

4) Objectifs du stage

Les objectifs de ce stage sont donc multiples et visent en premier lieu à répondre aux besoins et problématiques rencontrées actuellement par le projet.

Ce stage est réalisé dans un contexte de fin de Master 2 « Cartographie et Espaces à Risque » et a une durée de 5 mois. Ce master est spécialisé en sciences de l'information géographique, au sens large. Mon rôle au sein du projet est donc d'apporter une dimension « géomatique » au travail déjà effectué, ainsi qu'aux futurs projets qui suivront.

Les intérêts de l'utilisation de la géomatique dans un tel projet sont multiples : si elle sert en premier lieu à produire des données cartographiées, elle peut également servir à mettre en relation des données spatialisées, à produire des outils de médiation ou à organiser les données d'une manière simple.

Ainsi, plusieurs axes de travail ont été choisis :

a) Gérer la multiplicité des données et des sources

L'état de l'art actuel de ce projet est le fruit du travail de nombreux acteurs, privés, publics, particuliers, scolaires ou universitaires. La production de données qui en résulte est donc, après plus de 4 ans, nécessairement volumineuse.

Des données publiques se mêlent aux données créées par ODySéYeu et à des données de multiples autres provenances. Certaines données publiques sensibles doivent faire l'objet d'un traitement spécial (protection des sources et des données).

Avec la volonté du projet de faire perdurer la dynamique amorcée et d'élargir son champ d'action à d'autres territoires, la nécessité d'organiser les données en présence d'une manière simple est réelle. Il faut pouvoir, n'importe où et n'importe quand, savoir quelle donnée est accessible et quelle donnée ne l'est pas.

Il faut également pouvoir superposer ces données et les mêler afin de les faire parler entre elles. Enfin, toujours dans une démarche collaborative, il est nécessaire que ces données puissent être rendues accessibles aux volontaires et aux acteurs extérieurs au projet, dans un but de visualisation, et/ou d'apport.

b) Développer des nouveaux outils de veille et d'observation

i Mieux connaître et prévoir l'aléa érosion

L'aléa érosion est au cœur des problématiques traitées par ODySéYeu.

L'étude de la mobilité des stocks sédimentaire fait partie intégrante du projet. En effet, le socle rocheux recouvert par le sable sur la partie est de l'île ne l'est que de quelques mètres, parfois seulement de quelques dizaines de centimètres. Par endroit, le socle affleure là où il n'affleurerait pas avant. L'étude et la mise en évidence des différentes cellules sédimentaire est primordiale pour réussir à prévoir les dynamiques futures.

Depuis 2010, une érosion particulièrement virulente est observée le long de la côte sableuse au sud-est. Elle s'est intensifiée depuis 2014.

La [figure 21](#) est une photographie de la plage du Puits Marie-Francoise, sur la côte est, prise au début de l'année 2022.

L'érosion est flagrante : des racines d'arbres sont mises à nues dans la dune, et le recul va même jusqu'à entraîner la chute de certains pins. Cette érosion -en lien avec les résultats du suivi 3D mensuel Sentinelles de la Côte, déployé ici par ODySéYeu- n'est pas seulement liée à l'action des houles. L'action éolienne n'est pas non plus la cause première de cette érosion, les vents dominants et ceux rencontrés lors des tempêtes venant de l'Ouest, c'est-à-dire de derrière la dune.

Ce phénomène est en réalité en corrélation étroite avec l'humidité du sol, elle-même corrélée avec la pluviosité du site.



Figure 21 - La dune en érosion de la plage du Puits Marie-Francoise

Face aux nombreux enjeux à protéger et compte-tenu de la volonté politique d'appliquer une gestion littorale raisonnée, il apparaît nécessaire d'explorer la relation pluviométrie/érosion sur le territoire et, si possible, de concevoir un outil capable de prédire, au moins à court terme mais de manière fiable, les risques d'érosion existants sur la partie de l'île concernée.

ii Moissonnage des données disponibles

Afin de mener à bien des investigations, des observations ainsi qu'un suivi global, il est nécessaire de disposer de données d'archives (climat, histoire, milieu marin, milieu terrestre etc.)

Si certaines peuvent être acquises par l'Observatoire des Sciences de l'Univers Nantes-Atlantique lui-même (recul du trait de côte en fonction des années, analyses sédimentaires etc.), d'autres doivent être moissonnées à partir d'autres sources/fournisseurs de données.

Il a ainsi été créé un « répertoire » des liens utiles pour le suivi ou téléchargements d'archives climatiques ou météorologiques en tous genre, ainsi que d'images satellites issus de différents programmes d'acquisition. Ce répertoire, voué à être complété figure en annexe ([annexe 1](#)).

Le moissonnage consiste également à automatiser la récupération de ces données (les télécharger sur un pas de temps régulier afin de pouvoir les consulter et les utiliser hors ligne)

c) Créer des outils de médiation

Transmettre au plus grand nombre, et notamment aux plus jeunes, est un des points centraux du projet. En effet, il s'agit de créer les conditions les plus favorables possibles, pour que demain, les insulaires de tout poil poursuivent les suivis mis en place. Aussi, il est important qu'ils disposent d'outils et de clés de compréhension pertinents, afin qu'ils puissent effectuer ce travail collectif sans encombre, et munis d'une solide connaissance de leur territoire, de ses dynamiques, de ses enjeux et des enjeux du suivi lui-même.

Avoir une vision physique globale de l'île est la porte d'entrée à la compréhension de nombreux phénomènes (biologiques, physiques, climatiques etc.).

La cartographie va dans ce sens, comme le souligne Isabelle Thomas : « D'abord stricte représentation de la Terre, elle devient, à partir du XVII^e siècle, un instrument de connaissance et de puissance au service des états et un moyen de prévoir, planifier l'action de l'homme sur son environnement. Le rôle des cartes en communication de l'information spatiale n'est plus à faire (voir par exemple [Brunet, 1987](#) ; [Board, 1991](#) ; [Wood, 1992](#) ; [Monmonnier, 1993](#)). » ([Thomas, 2001](#))

En ce sens, est apparue la nécessité de disposer d'un outil cartographique collaboratif, multifonction et à visée pédagogique. Cet outil se devait d'être parlant pour tous, et utilisable sous différents angles thématiques.

Dans le cadre du stage de [Quentin Dupuy en 2019](#), une géo-maquette 3D de l'île d'Yeu, de la côte vendéenne et du Coureau Islais avait été réalisée. Par la suite, en utilisant un système de projection apicale (mapping), cette maquette a servi de support à de multiples animations pédagogiques en milieu scolaire, mais également en milieu public (exposition, événements).

L'intérêt de cette maquette était de montrer le rattachement géologique de l'île au continent, via le pont



Figure 22 - Maquette réalisée par Quentin Dupuy et Elsa Cariou en 2019, représentant l'île d'Yeu, le pont d'Yeu et le littoral des Pays de Monts.

d'Yeu, de mettre en évidence l'eustatisme passé et de prévoir les conséquences de la montée du niveau marin future.

L'intérêt de ce type d'outil est souligné dans le rapport d'activité 2018-19 d'ODySéYeu : « Ce mode d'affichage très intuitif permet à un public peu habitué à manipuler des cartes 2D (où le relief n'est représenté que par des courbes de niveau), de dialoguer autour de la maquette et d'échanger plus efficacement des connaissances. »

Devant la réussite de cette première maquette, intéressante d'un point de vue géologique à une échelle assez large, mais sur laquelle l'île d'Yeu ne représente que quelques dizaines de centimètres carrés, il a donc été décidé de poursuivre la démarche et de concevoir un outil semblable, mais cette fois-ci centré sur l'île d'Yeu, afin de pouvoir y projeter des cartes plus détaillées.

Grâce aux données SIG dont dispose le projet ODySéYeu, et à celles disponibles sur internet, l'objectif est donc de constituer une maquette en trois dimensions, de l'île mais pas seulement de sa partie émergée. Les abords sous-marins du littoral devront également apparaître, pour une meilleure vision de la continuité terre-mer. Sur ce nouvel outil de projection, l'ensemble des données cartographiques collectées et mises en forme au cours de ce stage pourront ainsi être mises en valeur à destination du grand public et participer à animer les échanges qui auront lieu avec la population insulaire au cours du futur projet ODySéYeu.

II) METHODES ET REALISATIONS

1) Gestion de données

a) Données à disposition et outils

La diversité des sources de données collectées au cours d'ODySéYeu impose une multiplicité de types de fichiers à gérer (raster, vecteur, texte, tableur, images ou encore PDF). Certaines données issues de sources différentes sont également redondantes.

Au commencement du stage, une centaine de fichiers de données rangés dans une arborescence sur un disque dur (sans compter les multi-fichiers type shapefile) étaient à disposition. Ces données étaient utilisées dans plusieurs projets QGIS, créés au fil du projet en fonction des besoins et nécessitaient d'être réorganisés en corpus moins nombreux et plus cohérents, à travers une solution de SIG.

Plusieurs solutions ont été envisagées dans le choix du logiciel car il en existe un grand nombre.

Les deux plus connus, Arcgis - développé par ESRI et QGIS – développé sous forme de projet collaboratif, semblent également les plus complets d'entre eux et permettent de travailler avec la majorité des formats utilisés en SIG.

Ils se suffisent à eux-mêmes : la possibilité d'ajouter extensions et outils étend fortement leurs champs d'action.

QGIS a finalement été retenu ici pour plusieurs raisons :

- Il est libre de droit, open source, mis à jour trois fois par an et gratuit.
- Il comprend de nombreux modules (fonctionnalités) natifs comme, entre autres, le géoréférencement, une interface de mise en page cartographique intégrée ou encore l'application mobile Qfield, qui facilite les études sur le terrain.
- Il est possible d'y intégrer de nombreux autres outils via des plugins ou simplement via l'interface principale. Le logiciel est extrêmement complet et permet ainsi l'étude de multiples problématiques, sous différentes approches.
- Son interface est assez simple à prendre en main, ergonomique et personnalisable. C'est un point important dans un contexte collaboratif.

b) Utilisation des geopackages

Le geopackage est un format de donnée développé par l'Open Geospatial Consortium (OGC) et apparu en 2014.

C'est un format de type « base de données », à la manière d'une géodatabase Arcgis, format également très utilisé.

Par rapport aux géodatabases, le geopackage présente plusieurs avantages :

- Il réduit considérablement le volume des fichiers raster, sans en impacter la qualité.
- C'est le format de donnée par défaut de Qgis3. En plus d'être le logiciel utilisé dans le cadre du projet, c'est le logiciel de SIG open-source le plus complet. De ce fait, il est donc accessible par n'importe qui n'importe quand.
C'est d'autant plus intéressant dans le cadre de projets faisant appel aux sciences citoyennes.

- Un seul fichier peut contenir une infinité d'autres fichiers (vecteur, raster, tableur, fichier de style...) mais aussi une infinité de projets.
- Si un projet utilise uniquement des fichiers présents dans le geopackage, alors le projet au sein de ce geopackage est « autonome », dans le sens où tous les fichiers dont il dépend lui sont obligatoirement rattachés.
On peut donc transférer des projets entre utilisateurs sans avoir à déplacer toute l'arborescence – processus long, complexe et extrêmement limitant dès lors que la taille du projet excède la capacité de traitement de l'ordinateur.
Toujours dans le cadre des sciences citoyennes (ici cela concerne surtout la recherche collaborative), cette interchangeabilité peut permettre - après une initiation des acteurs aux SIG – l'élaboration d'un travail commun sur un même projet, sans avoir à utiliser les services d'un « Sigiste » dont le rôle serait de centraliser les données dans le SIG.

Compte-tenu de ces avantages et des problématiques soulevées ici, l'usage de geopackage a été choisi ici pour réaliser plusieurs bases de données intégrées et faciles à manipuler.

Trois bases différentes ont ainsi été créées, contenant chacune des données spécifiques (en termes de format mais aussi de thématiques) :

- La BD « TopoYeu », qui, à la manière de la BD Topo de l'IGN, regroupe toutes les informations topographiques disponibles sur le territoire islais. Elle sera principalement composée de couches vecteur.
- La BD « MNT-Bathy-Lidar », constituées des données d'altimétrie (terrestres comme marines), des données Lidar disponibles, des cartes marines et d'autres données raster décrivant la morphologie ou la constitution du paysage au sens large.
- La BD « Photos aériennes » constituée d'un atlas des millésimes des photographies aériennes et satellites. Sa création a été précédée d'une recherche de tous les millésimes disponibles ainsi que de traitements de géoréférencements et de découpage/fusion des différentes dalles ([voir section suivante](#)).

c) Création d'un atlas de photos aériennes

i Acquisition des données

Certains millésimes étaient déjà présents sur le disque dur du projet. De plus, certains travaux avaient demandé l'utilisation de fonds de photos aériennes, ainsi certaines dalles étaient déjà géoréférencées, mais pas toujours avec une précision suffisante pour constituer un atlas de toute l'île.

Afin de compléter ce set de données, une recherche complémentaire a été effectuée sur le site remonterletemps.ign.fr ainsi que sur le site de l'IGN, pour des BD Ortho ou OrthoLitto récentes.

Sur remonterletemps.ign.fr, le téléchargement se fait par dalles, et la couverture totale de l'île est souvent divisée en plusieurs dalles (de 3 à plusieurs dizaines).

En tout, 28 millésimes couvrant l'île dans son ensemble sont disponibles (fig. 23).

12 sont en couleurs et 16 sont des clichés en noir et blanc.

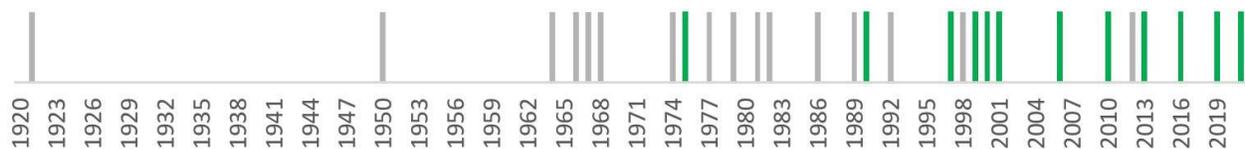


Figure 23 - Millésimes de photos aériennes disponibles pour l'île d'Yeu. En gris, les clichés monochromes. En vert, les clichés en couleur

ii Traitement

Le traitement consiste à géoréférencer toutes les images disponibles, puis, après un éventuel découpage, à les fusionner par millésimes afin de disposer d'une image par année.

Sur QGIS, l'outil de géoréférencement permet de géoréférencer une image raster, c'est-à-dire de lui attribuer des coordonnées spatiales dans un système de projection donné.

Cet outil fonctionne de la manière suivante : un point reconnaissable (appelé un amer), comme un phare, est sélectionné sur la photo à géoréférencer. Une fois ce point sélectionné, on lui attribue son « équivalent » sur une image déjà géoréférencée.

Il est nécessaire de sélectionner au minimum trois points (cela dépend des algorithmes). Plus grand sera le nombre de point, plus précis sera le géoréférencement, à condition de faire preuve d'une précision rigoureuse dans le pointage. Pour un résultat optimal, il faut placer les points de la manière la plus homogène possible. Idéalement, un point à chaque angle en plus d'un ou deux points au centre de l'image.

L'algorithme de QGIS contient de nombreux paramètres personnalisables (fig. 24).

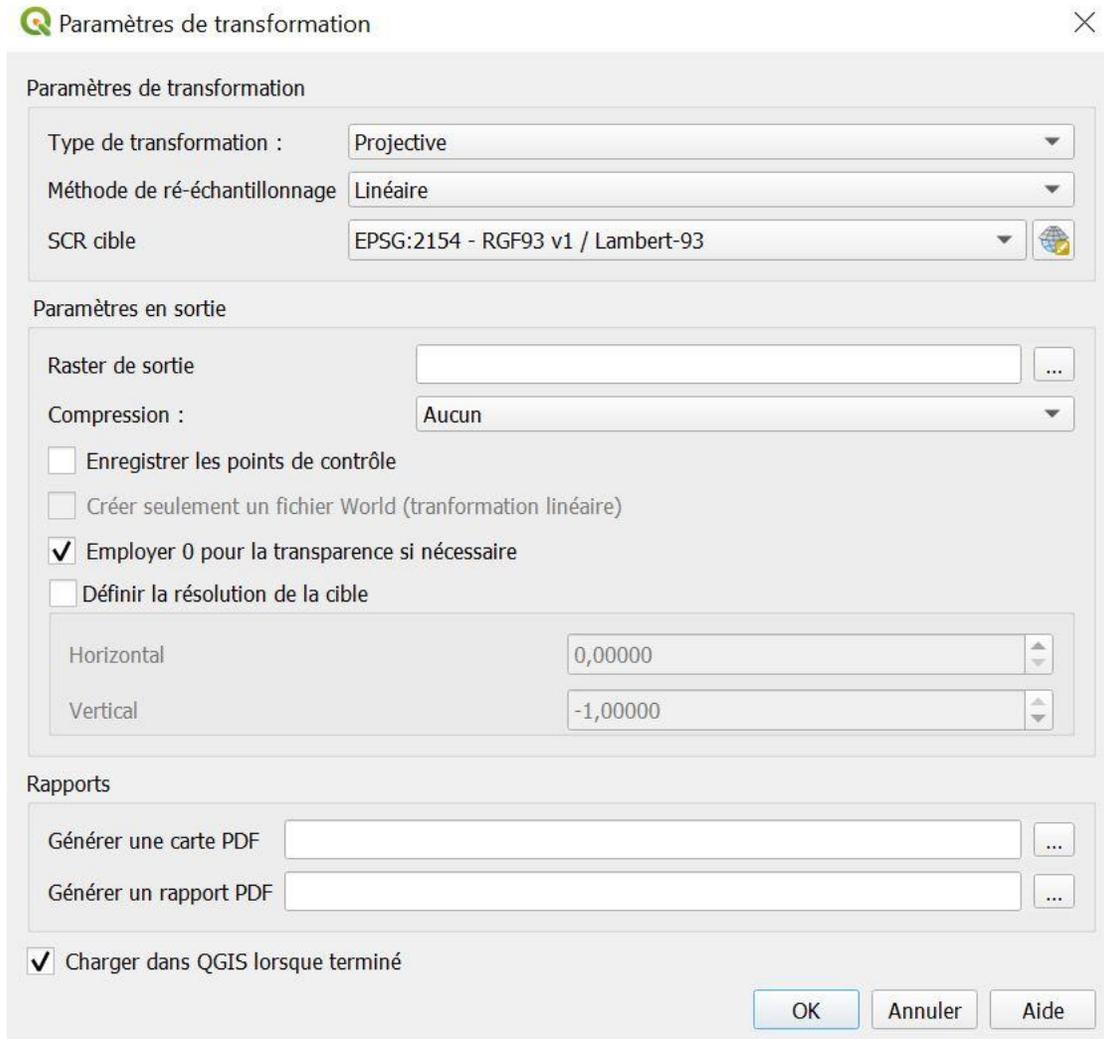


Figure 24 - Options de géoréférencement sur QGIS

- Le type de transformation choisi est « projectif » : ce type de transformation « ne conserve pas le parallélisme. Un carré sera transformé en quadrilatère ». Il est donc possible de déformer les images afin de les faire coller au mieux à la réalité (ouvrir.passages.cnrs.fr/tutoqgis/exports_pdf/tutoqgis_04_georeferencement.pdf). C'est un algorithme qui nécessite au moins 4 points de contrôle, et qui, après quelques essais, s'avère être plus efficace dans ce type de traitement. Certaines méthodes, comme les transformations polynomiales d'ordre 2 et 3, sont également efficaces mais nécessitent respectivement au moins 6 ou 10 points de contrôles. La transformation polynomiale d'ordre 1, elle, permet uniquement un changement d'échelle/d'orientation/de positionnement de l'image.
- La méthode de rééchantillonnage choisie est « linéaire ». Ce paramètre concerne la détermination de la couleur de chaque pixel et a moins d'importance que le paramètre précédent.

- Le choix du SCR cible est celui du projet : l'EPSG 2154 (Lambert 93), le plus couramment utilisé en France.
- Il est important de cocher la case « Employer 0 pour la transparence si nécessaire », pour éviter la création d'espaces noirs au bord des photos, ce qui rajouterait un travail supplémentaire lors de la fusion des dalles

Le géoréférencement des dalles se fait par ordre chronologique. Il est important d'effectuer le géoréférencement avec la même référence spatiale à chaque fois. La BD Ortho 2016 de l'IGN est celle qui est retenue en référence, car elle est déjà référencée par l'IGN, est d'excellente qualité et l'eau est assez claire (ce qui peut aider pour d'éventuels amers off-shore).

Vue la quantité d'images à géoréférencer, il faut constituer dès le début une couche vectorielle des différents amers de géoréférencement. Certains points sont particulièrement distinguables et pérennes : angles d'églises ou de cimetières, phare ou extrémité de digue par exemple. Cette couche est étoffée au fur et à mesure de l'avancement.

Ainsi il est, par la suite, beaucoup plus simple de travailler avec les mêmes points sans avoir à les chercher un par un.

De plus, cela crée une « homogénéité » dans la façon de traiter les différentes images.

Toutes les années avant 2000 (inclusive) nécessitent un traitement supplémentaire avant fusion. Elles contiennent un cadre noir qu'il faut supprimer avant la fusion. En créant un masque dans une couche vecteur, il est possible d'extraire la partie centrale de l'image grâce à l'algorithme « *Découper selon une couche de masque* ».

Les dalles étant généralement largement superposées, il ne faut pas hésiter à supprimer les parties périphériques de la photo, qui sont parfois légèrement plus assombries.

Une fois les traitements de géoréférencement et de découpe de toutes les dalles terminés, toutes les images sont fusionnées par année, à l'aide de l'algorithme « *fusionner des rasters* » de QGIS. Il est important de choisir un ordre de superposition adapté afin de limiter le plus possible la visibilité des zones de transition. En effet, les bords de certaines dalles sont légèrement en décalage par rapport à la réalité. Il faut donc donner la priorité aux dalles centrales (quand il y en a), c'est-à-dire les placer au-dessus des dalles périphériques (celles avec une partie marine ; plus difficiles à géoréférencer correctement).

Les millésimes ainsi créés ont, au fur et à mesure, été intégrés à une nouvelle base de données geopackage nommée « BD_Photo_Aériennes ». Le nom de chaque fichier au sein du geopackage correspond à l'année du millésime.

d) Créer une base de données topologique propre à l'île

De la même manière qu'ont été rangés les clichés aériens, les couches vecteurs du projet ont elles aussi été classées dans une base de données.

i Partir du principe de la BD Topo de l'IGN

La BD Topo de l'IGN est « une description vectorielle 3D (structurée en objets) des éléments du territoire et de ses infrastructures, de précision métrique. [...]

Elle couvre de manière cohérente l'ensemble des entités géographiques et administratives du territoire national.

Elle permet la visualisation, le positionnement, la simulation au service de l'analyse et de la gestion opérationnelle du territoire. La description des objets géographiques en 3D permet de représenter de façon réaliste les analyses spatiales utiles aux processus de décision dans le cadre d'études diverses. »

(<https://geoservices.ign.fr/bdtopo>)

Elle est classée en 9 jeux de données :

- Réseau routier
- Voies ferrées et autres
- Transport énergie
- Hydrographie
- Bati
- Végétation
- Orographie
- Administratif
- Zones d'activité
- Toponymes

Ce classement se veut exhaustif : n'importe quelle donnée peut y être classée dans un des thèmes. Pour ranger les données d'ODySéYeu, il a donc été choisi d'utiliser comme base la dernière BD Topo du département de la Vendée.

Cette dernière a ensuite été modifiée/élargie, afin de répondre aux problématiques du projet.

ii Centraliser toutes les données de forme dans un classement élargi

Le classement de base de la BD Topo IGN est donc revu : certaines catégories sont fusionnées, et d'autres thématiques spécifiques au projet sont créées.

Les données de la classe « Réseau routier » et celles de la classe « Voies ferrées et autres » sont

supprimées et fusionnées avec la classe « Transport-énergie »

La classe Hydrologie est étendue : elle comprend notamment une sous-classe « littoral » contenant de nombreuses données.

Une classe « environnement » est ajoutée. Elle comprend les données de la classe originelle « Végétation » ainsi que d'autres données concernant les couvertures végétales et les éventuelles zones de protections naturelles.

Une classe « Occupation des sols » est créée. Elle contient notamment les classements Corine Land Cover et OCS GE.

La nouvelle classe « Patrimoine/vestiges/archéo » recense les données archéologiques, historiques et patrimoniales spatialisées. Elles sont essentiellement issues du travail d'ODySéYeu.

La dernière classe « Sol et géologie » recense différentes données de description du sol et du sous-sol, marin comme terrestre, mais également des données issues de campagnes de prospection (Géoradar notamment).

Afin de réduire la taille des fichiers et faciliter l'utilisation des données, toutes les couches (exceptées celles représentant une donnée en dehors de l'île ; comme la liaison continent d'EDF/GDF par exemple) ont été découpées à la commune de l'Île d'Yeu.

La figure 25 représentent l'arborescence de la base de données TopoYeu (la classe hydro est représentée à part car son contenu est trop important pour tenir dans le premier schéma).

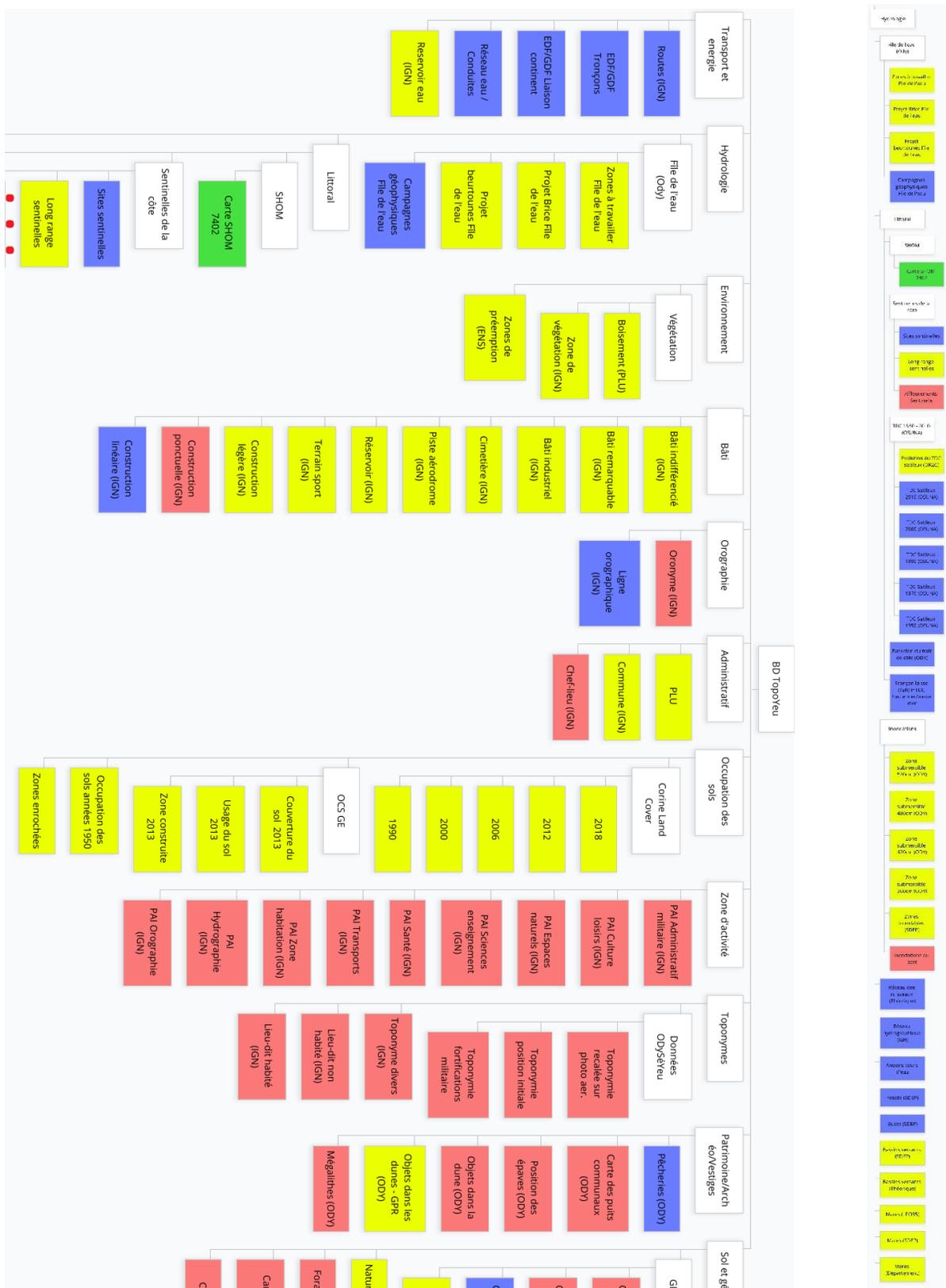


Figure 25 - Organisation et hiérarchisation des données de la base de données "TopoYeu". A droite, la classe hydrologie est développée dans sa totalité

Les abréviations entre parenthèses indiquent la provenance de la donnée. Il est primordial de spécifier la source des données : par la suite, elle doit être systématiquement présentée lors de leur utilisation. Certaines données sensibles et/ou privées sont présentes dans la base de données. On peut notamment citer les cartes SHOM ; non libres de droits ; ou encore certaines données créées par ODySéYeu (localisation des anciennes pêcheries, données des campagnes GPR etc.)

2) Développer des nouveaux outils de suivi

Dans le cadre d'un besoin de suivi et d'anticipation de l'aléa érosion, et compte-tenu de la relation mise en évidence à l'île d'Yeu entre intensité de l'érosion et degré d'imbibition des sols côtiers, il a été choisi de tester la conception d'un outil permettant l'établissement d'un « indice » de vulnérabilité à l'érosion de la côte sableuse de l'île, vis à vis du taux d'humidité des sols le long du continuum terre-mer, en utilisant des données et méthodes de télédétection.

a) La télédétection et les indices spectraux

« La télédétection désigne le processus d'acquisition d'informations à distance sur un objet, une surface ou un phénomène. En particulier, la télédétection spatiale pour l'observation de la Terre désigne tout processus consistant à acquérir et enregistrer l'énergie du rayonnement électromagnétique émis et/ou réfléchi par un objet, une surface ou un phénomène, appartenant à la surface ou à l'atmosphère de la Terre. Par extension, elle désigne également tout processus consistant à traiter et analyser l'information ainsi obtenue. » (Bayouhdh, 2006)

Le projet Sentinel-2, lancé en 2005 par l'ESA dans le cadre du programme européen Copernicus, permet l'acquisition d'images multispectrales sur 12 canaux de longueurs d'ondes différentes. La [figure 26](#)

montre une comparaison des différentes gammes d'acquisition des principaux satellites multispectraux.

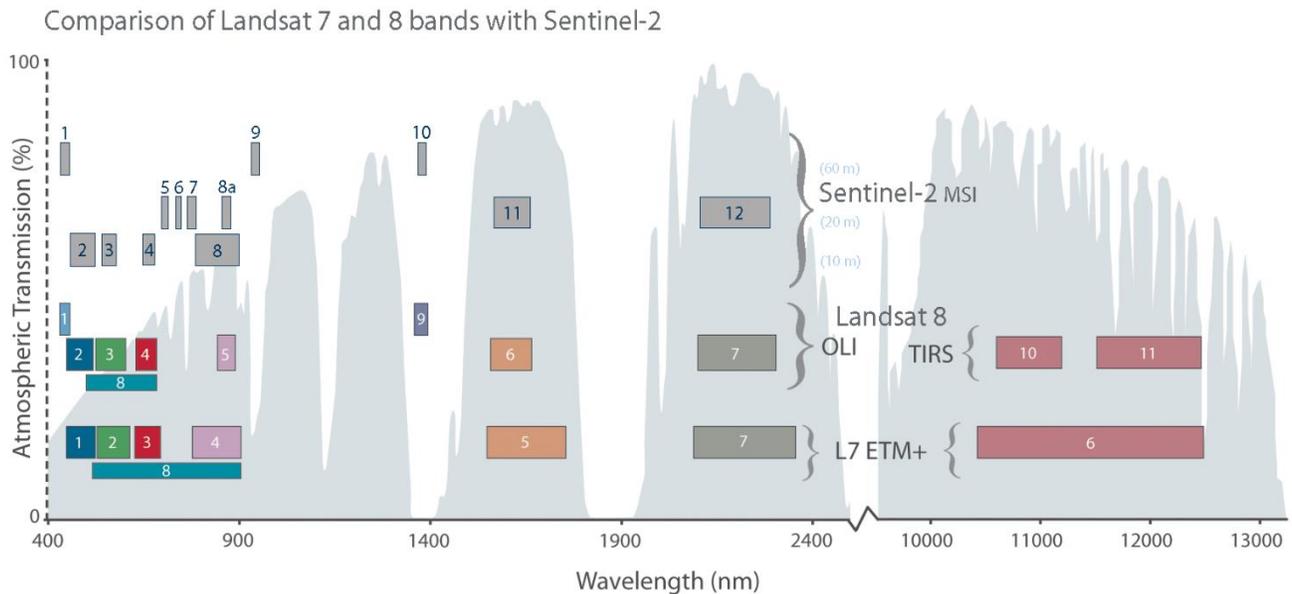


Figure 26 - Comparaison des spécificités d'acquisition des principaux satellites multispectraux utilisés en télédétection (landsat.gsfc.nasa.gov)

Sentinel-2 est le programme proposant le plus de fréquences d'acquisition, sur les bandes les plus fines.

Les gammes de longueurs d'ondes capturées par Sentinel-2 permettent l'analyse de la couverture des sols (notamment type d'espèce végétale -le spectre d'absorption des chlorophylles étant discriminant entre ~400 700nm, voir en [figure 27](#), ou encore la nature et composition des sols à nus ou des roches) grâce à une comparaison à des spectres de référence.

En utilisant des indices normalisés, il est possible de quantifier certains facteurs. Classiquement, le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, permet de « générer une image illustrant une couverture végétale, également appelée biomasse relative » ([ESRI](#))).

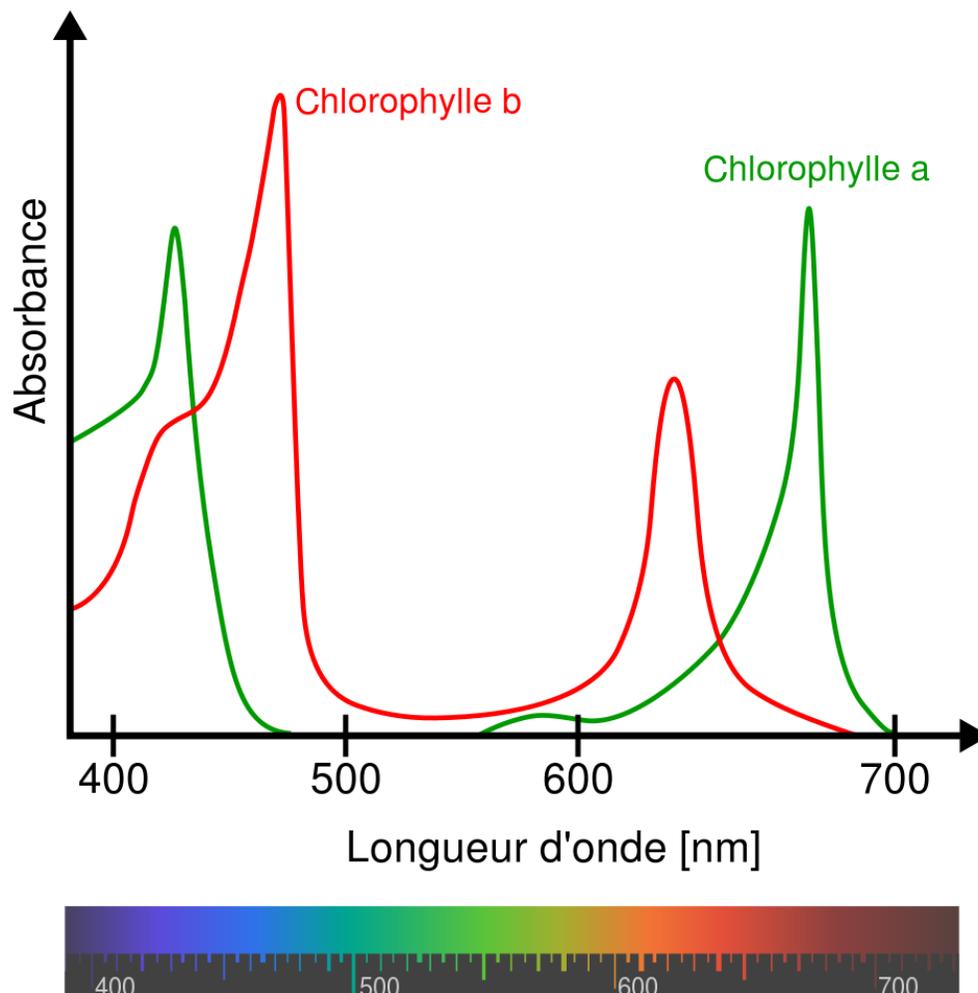


Figure 27 - Spectre d'absorption typique des deux types de chlorophylles

Un indice proche le NDWI (Normalized Difference Water Index), utilise presque la même formule que le NDVI. Il permet de « délimiter et de surveiller les changements de contenu dans l'eau en surface » (ESRI). Il se calcule grâce à deux bandes Sentinel-2.

Formule du NDVI avec les bandes Sentinel-2 : $(B08 - B04) / (B08 + B04)$

Formule du NDWI avec les bandes Sentinel-2 : $(B03 - B08) / (B03 + B08)$

Les valeurs de l'indice NDWI sont comprises entre -1 et 1. Plus l'indice est élevé, plus la quantité d'eau détectée est importante.

Une valeur faible traduira la présence d'un important couvert végétal ou d'eau dans le sol de surface.

Une valeur proche de 1 sera l'indice d'un sol relativement sec.

b) Appui sur un travail antérieur

Dans l'article « Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain dans le vignoble champenois entre Epernay et Dormans (France) : apport de la télédétection multispectrale », [Sarah Ortonovi et al. \(2021\)](#), constatant un rapport direct entre le taux d'humidité des sols et le risque de glissement de terrain, tentent de mettre en œuvre un outil de mesure de ce dernier grâce aux images Sentinel-2. Les résultats sont considérés comme concluant. En effet, toujours selon l'article ; « À l'échelle du versant, entièrement planté en vignes comme c'est le cas à Vandières, il est possible d'établir le lien entre l'état hydrique du sol, la phénologie de la végétation – tels que restitués par les données Sentinel-2 (résolution de 10 m) – et la localisation des réactivations sur un glissement de terrain. Le suivi mensuel par télédétection est donc pertinent aux deux échelles retenues, et la cartographie en résultant doit permettre d'orienter les aménagements (drainage des secteurs périodiquement trop humide) »

c) Mise en place de l'outil

La conclusion des travaux de [Sarah Ortonovi et al. \(2021\)](#) étant encourageante, il apparaissait pertinent de tenter la mise en place d'un outil similaire à l'échelle islaïse.

⇒ *Etape 1 : Trouver des images multispectrales utilisables*

La première étape consiste à récupérer deux images multispectrales prises à des dates assez proches. Il faudra connaître l'humidité du sol sur ces deux photos. L'utilisation des données météo archivées (ici, sur le site [meteociel.fr](#)) permet d'établir un lien théorique entre la pluviométrie passée (mais aussi la température, l'ensoleillement, le vent) et l'humidité du sol.

La première difficulté concerne la couverture nuageuse. Pour réaliser ce test, et afin de s'affranchir d'éventuels problèmes de traitement d'image, on a dans un premier temps cherché des images sans couverture nuageuse. Si le test se révèle concluant, il sera toujours possible, ensuite, de traiter les images contenant une couverture nuageuse, grâce à un logiciel adapté (comme ENVI).

Le site [scihub.copernicus](#) permet de télécharger les images Sentinel-2 grâce à une sélection multicritères, dont celui quantifiant le pourcentage de couverture nuageuse. Conformément aux travaux de Sarah Orthonovi et al., la couverture nuageuse maximale retenue sera de 10%.

Il n'y a pas beaucoup d'images avec un taux de couverture nuageuse inférieur à 10%.

Après mise en relation des données météo et des images disponibles, une situation semble intéressante à traiter ([fig. 28](#)).

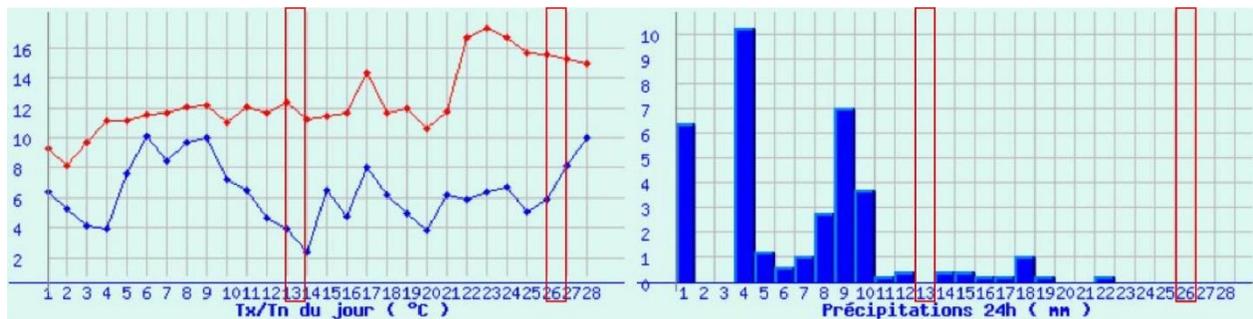


Figure 28 - Archives des relevés de février 2019 à la station Île d'Yeu - St Sauveur (meteociel.fr)

En effet, deux images sans couverture nuageuse sont disponibles pour les dates du 13.02.19 et du 26.02.19.

L'observation des archives des relevés sur l'île montre que le 13 est la fin d'une période à la pluviométrie importante, doublé de température relativement basses. Entre le 13 et le 26, la pluviométrie est très faible voire inexistante. De plus, la température connaît un ressaut durant cette période.

Au vu des observations précédentes, il est possible d'affirmer que les sols aient été plus humides le 13.02.19 que le 26.02.19

⇒ *Etape 2 : Identification des zones au NDVI adéquat*

La seconde difficulté majeure de la mise en place d'un tel outil est qu'à partir d'un certain point, la végétation est trop dense pour que les algorithmes développés puissent estimer correctement l'humidité du sol. (Dubois et coll.,1995). La limite d'applicabilité des équations serait atteinte à un NDVI de 0.4. (Dubois et coll.,1995).

Il s'avère, après des tests sur différentes dates, que les zones à NDVI inférieurs à 0,4 est rare sur l'île.

Les figures 29, 30 et 31 montrent la cartographie du NDVI calculé pour trois dates différentes. Les valeurs obtenues sont hétérogènes mais trop souvent supérieures à 0,4. Les données étant acquises en hiver - période de l'année durant laquelle la biomasse végétale est la plus faible - il est vain d'espérer obtenir des valeurs plus faibles à un autre moment de l'année.

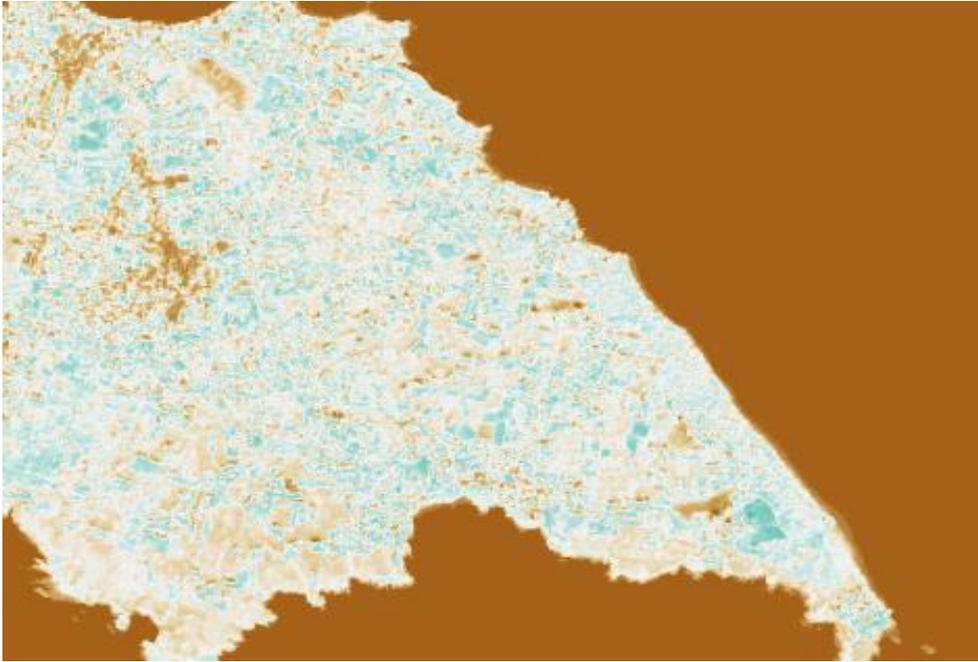


Figure 30 - NDVI au 19/01/20



Figure 29 - NDVI au 21/01/22

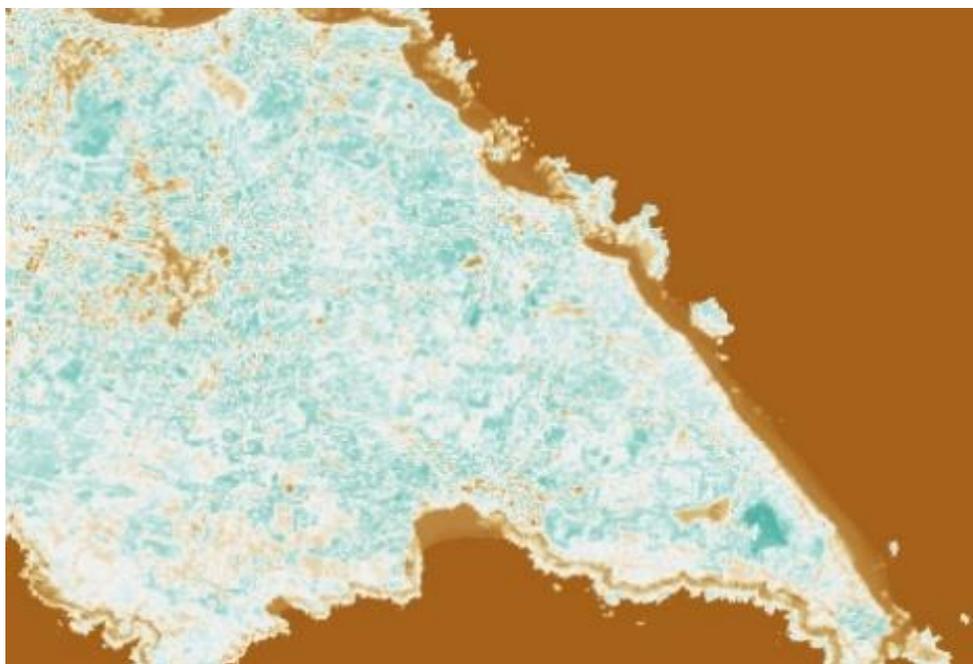


Figure 31 - NDVI au 23/03/19



Il est donc impossible avec cette méthode d'obtenir une cartographie globale de l'humidité du sol sur l'île.

Néanmoins, certaines zones précises semblent régulièrement sous la valeur de 0,4.

Il est donc possible d'imaginer, après extraction de ces zones, de les utiliser comme indicateurs.

Cinq photos Sentinel-2 sans couverture nuageuses ont été utilisées pour tenter d'extraire de manière empirique ces zones peu végétalisées. Les dates sont celles du 19/02/19, 26/02/19, 19/01/20, 06/02/20 et 21/01/22.

Pour procéder, il est nécessaire de calculer les valeurs NDVI de chaque image.

Puis, avec la calculatrice Raster de Qgis, on crée à l'aide d'une commande un nouveau raster qui distinguera les zones au NDVI toujours inférieur à 0,4 des autres. La formule est rentrée comme telle : $NDVI1 < 0,4 \text{ AND } NDVI2 < 0,4 \text{ AND } NDVI3 < 0,4 \text{ AND } NDVI4 < 0,4 \text{ AND } NDVI5 < 0,4$

Finalement, après traitement sémiologique, puis superposition à une Orthophoto, les zones peu végétalisées sur le cinq dates ressortent :

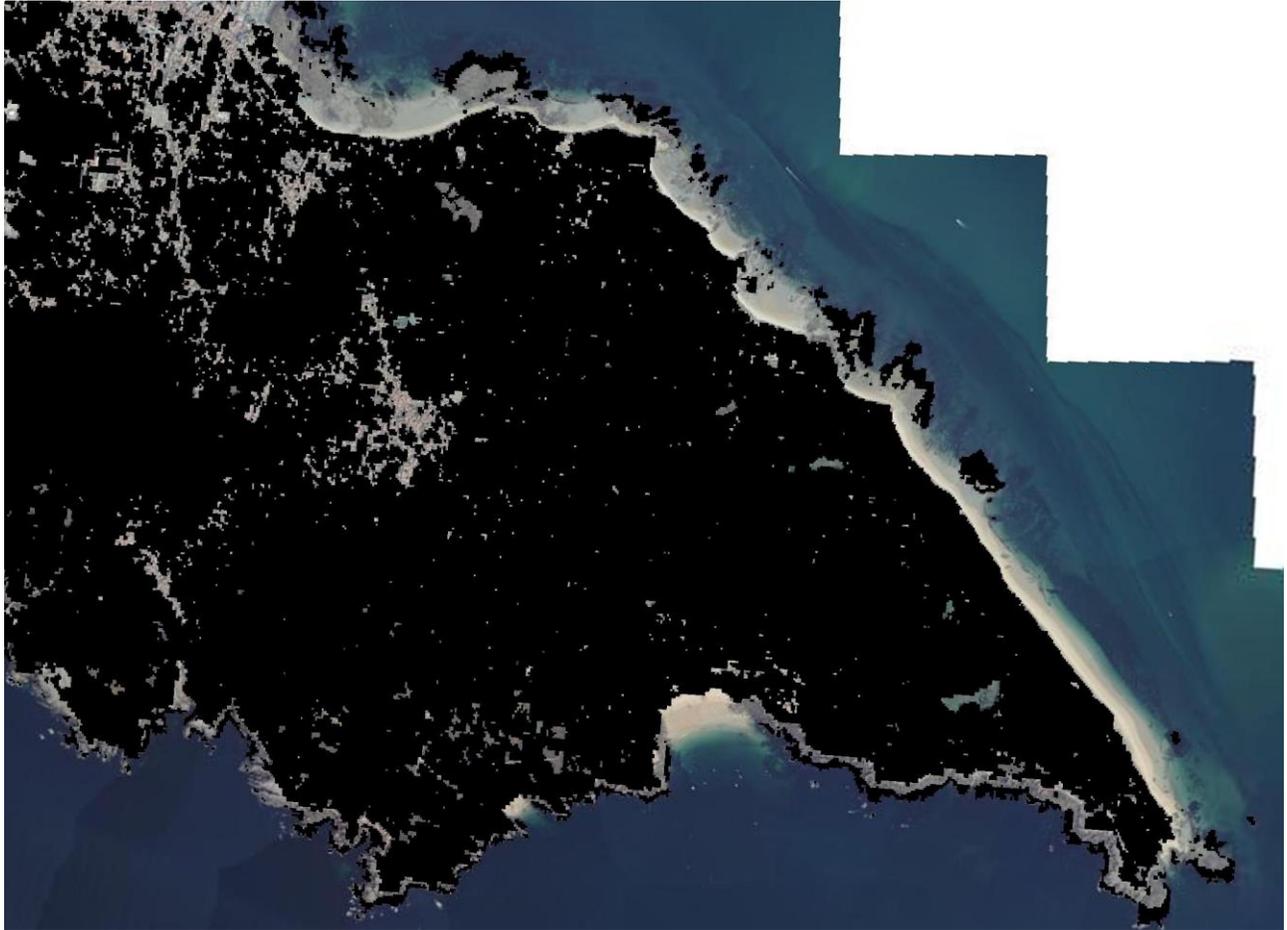


Figure 32 - Zones au NDVI inférieur à 0,4 sur les cinq dates sélectionnées

On distingue plusieurs zones :

- Les habitations et les zones artificialisées, inintéressantes pour le traitement
- Les plages et estrans, qui sont régulièrement submergés par la marée donc inutilisables.
- Certaines zones de prairies basses et de marais dans les dépressions, qui peuvent être dignes d'intérêt.
- Les dunes blanches ou embryonnaires, peu végétalisées, qui sont également des indicateurs intéressants de l'humidité dunaire.

Après analyse des différentes possibilités, cinq zones « témoins » ont été gardées pour la suite du traitement. Ces zones, en plus d'être peu végétalisées, se trouvent sur une partie de l'île recouverte d'un substrat argilo-sableux. Or c'est bien dans ce type de substrat que l'on cherche à connaître le taux d'humidité par cette méthode. Ces zones sont représentées en [figure 33](#).



Figure 33 - Zones sélectionnées pour le traitement NDWI

Trois de ces zones sont des zones basses de type marais. Le marais de la Guerche et celui de la Gorelle ne se trouvent qu'à 1 ou 2 mètres au-dessus du niveau de la mer en moyenne. Le marais de la Croix, lui, a une altitude moyenne légèrement plus élevée.

Les deux autres zones sont des dunes blanches/embryonnaires faisant face à l'océan, regardant au Nord-Est. Leur altitude varie de 3 à 7 m (voir [fig. 34](#))

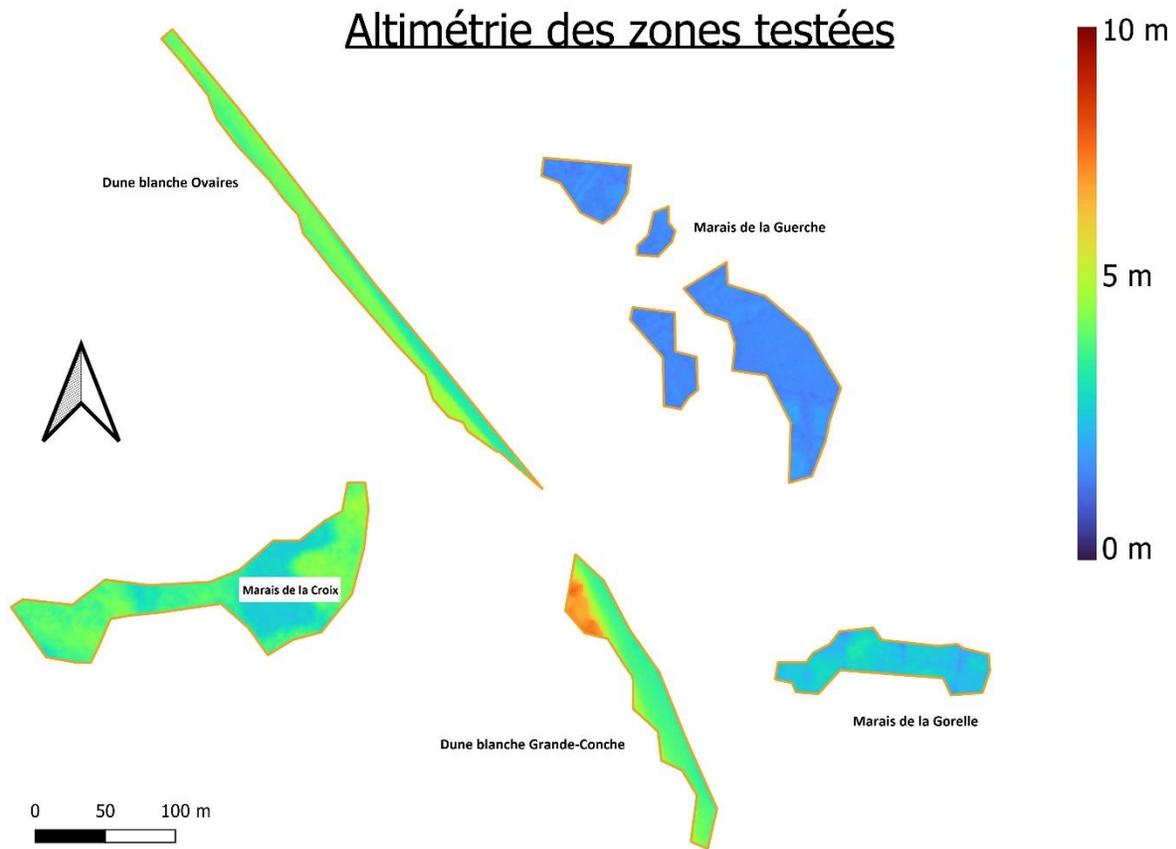


Figure 34 - Altimétrie des cinq zones test

⇒ *Etape 3 : Extraire le NDWI*

De la même manière que pour le NDVI, le NDWI est calculé grâce à la calculatrice raster. Il est nécessaire de répéter ce calcul pour les deux photos sélectionnées (13.02.19 et 26.02.19.).

Une fois ce calcul effectué, l'image est découpée à l'emprise des zones test définies précédemment. Il faut ensuite appliquer une sémiologie adaptée en fonction de l'étendue des valeurs pour faire ressortir l'indice le plus précisément possible.

3) Développer des outils de médiation : réalisation d'une géo-maquette 3D de l'île

Afin de disposer d'un outil cartographique collaboratif et multifonction, il a été choisi de réaliser une nouvelle maquette en trois dimensions du relief de l'île ainsi que de ses abords sous-marins. Ce travail a demandé de nombreuses manipulations, qu'elles soient informatiques ou physiques.

a) Choix des données utilisées

Pour extraire les formes des plaques, il est nécessaire de disposer de données type MNT. Plusieurs données sont à disposition (fig. 35).

Un MNT (issu d'une acquisition Lidar en 2012) d'une précision d'1 m représente le territoire islais situé au-dessus de 0 m. Il ne prend pas en compte l'environnement sous-marin. Il a été utilisé pour toutes les courbes supérieures à 6 m (incluse)

Deux dalles lidars de l'OR2C (une partie sud et une partie nord, acquises en 2021, sont également disponibles. Elles représentent la bande littorale continue terre-mer jusqu'à environ -7/-8 m. Elles sont exploitables jusqu'à -6m. Cette donnée a été utilisée pour les courbes -4, -2, 0, 2 et 4 m. En effet, il est préférable de garder la même donnée pour représenter la continuité de la zone intertidale.

-Entre -6 et -12 m, la seule donnée disponible est le « MNT Façade atlantique » du SHOM, en libre accès sur internet. Sa précision est assez mauvaise (environ 50 m) Faute de données plus précises, les courbes 6 m, - 8 m, - 10 m, - 12 m et - 14 m ont néanmoins été extraites de cette donnée.

Pour compléter ces trois données, des relevés effectués au Sonar (lors des missions « *Haliotis* ») seront utilisés (raccord des espaces vides, extrapolation).

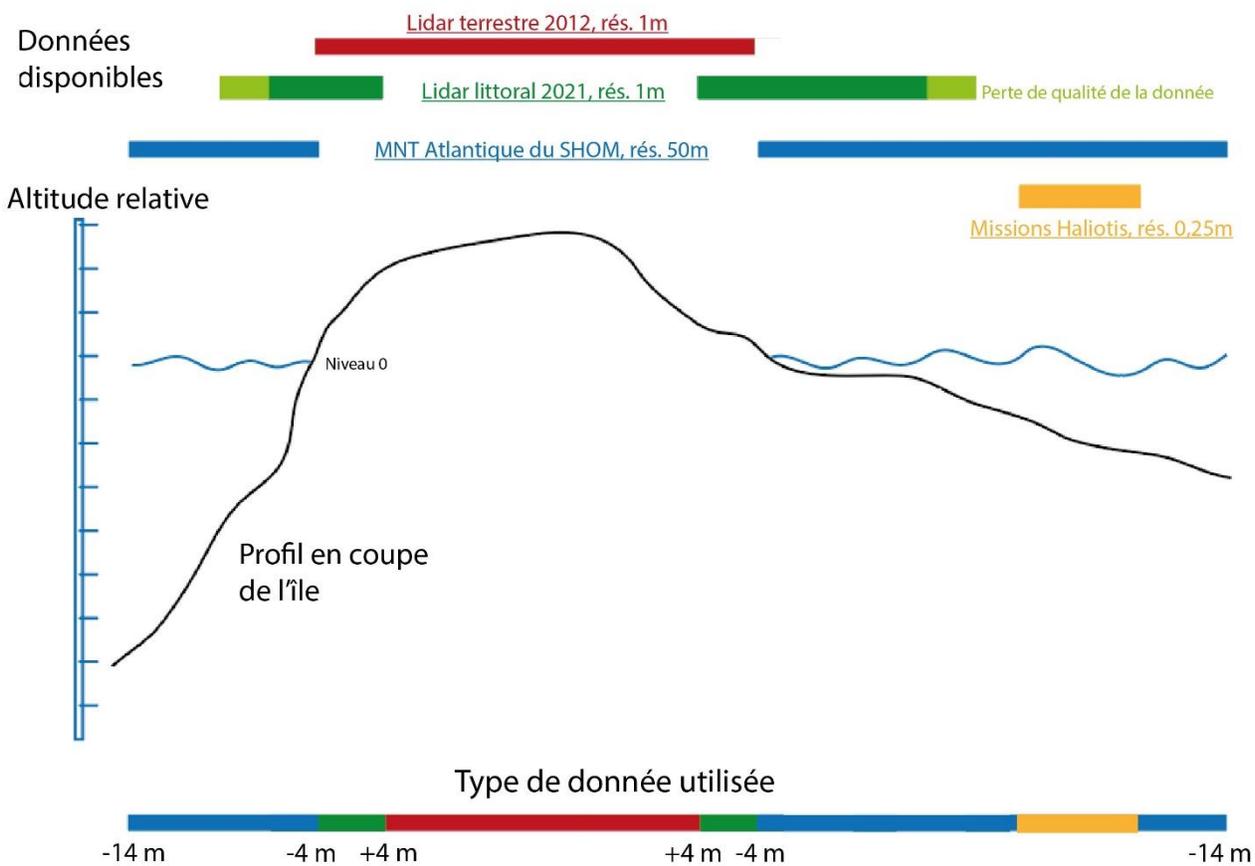


Figure 35 - Représentation schématique des différentes sources de données utilisées en fonction de l'altimétrie

b) Matériel

La précédente maquette réalisée par Quentin Dupuy était composée de plaques de contreplaqué en peuplier de 5mm d'épaisseur. Chaque couche de la maquette était composée de deux plaques collées entre elles et représentait une altitude réelle de 5 m.

Il a été décidé, pour cette nouvelle maquette, d'augmenter le niveau de détail. Les planches utilisées restent les mêmes (125x123 cm, épaisseur 5 mm), mais elles ne sont pas collées par paires. Chaque plaque de 5mm représente une altitude réelle de 2m. Les dimensions de la maquette voulues sont de 120 cm par 240 cm. Pour cela, il est nécessaire de réaliser cette maquette en deux parties (donc deux planches de 123x125 cm).

c) Traitement informatique

i Extraction des isolignes

Sur Qgis, la première étape consiste à extraire les courbes de niveau des différents MNT.

Pour la première donnée [le MNT terrestre], seule l'extraction des courbes de niveaux avec un pas de 2m est nécessaire. La donnée est de bonne qualité : elle est continue et ne présente pas d'erreurs.

Les deux lidars littoraux sont à traiter de manière séparés (car trop volumineux : après extraction le fichier courbes nord contient 12 millions d'entités représentant 4.5go).

Le premier traitement consiste en une correction de la donnée. En effet, après vérification avec Patrick Launeau, le « Lidar nord » contient une erreur et chaque pixel est exactement à 2,06m en dessous de sa valeur réelle. A l'aide de la calculatrice raster, on corrige donc ce problème (formule :

Couche_en__question + 2.06).

Ensuite, on extrait les courbes de niveau avec un pas de deux, comme pour le MNT terrestre.

Une fois cette extraction réalisée, il s'agit de rejoindre les deux modèles. Pour cela, on sélectionne simultanément les courbes correspondantes dans les deux données (la -4 nord et la -4 sud par exemple), puis à l'aide de l'outil Qgis « fusionner les entités sélectionnées », on transforme les deux lignes en une seule. Il faut bien s'assurer que les isolignes entourent l'île ; elles doivent être en un seul tronçon.

Pour le MNT marin du SHOM, un pré-découpage est nécessaire : la zone est beaucoup trop grande et le traitement d'une telle quantité de donnée est compliqué sur un ordinateur classique. Il faut donc réaliser un masque, puis extraire la partie autour de l'île digne d'intérêt.

Ensuite, comme pour les deux premiers traitements, une extraction avec un pas de 2m est réalisée.

ii Suppression des isolignes inutiles

La deuxième étape est une étape de tri : les extractions de courbes ont donné énormément d'isolignes. La grande majorité d'entre elles sont insignifiantes : ce sont des minuscules polygones, qui en plus d'être immatérialisables, n'ont aucun intérêt pour la maquette.

Il est donc nécessaire de supprimer tous les polygones dont la surface est trop petite. Pour commencer, une transformation de lignes à polygones est requise (grâce à un outil QGIS). Une fois ces polygones créés, il faut, à l'aide de la calculatrice de champs, leur ajouter un attribut de la valeur de leur surface (Nouveau champs puis « \$area »). Lorsque cet attribut de surface est créé, la dernière étape consiste en une suppression des polygones trop petits. La valeur retenue est de 5000m², en dessous de quoi le polygone ne sera pas conservé. Il reste en tout environ 130 polygones.

Par la suite, les polygones doivent être retransformés en lignes grâce à l'algorithme inverse de celui utilisé précédemment.

iii Correction des erreurs inter-donnée

Les différents fichiers de données de lignes (marin, littoral et terrestre) sont ensuite fusionnés au sein d'un même shapefile. Les trois champs correspondant à la valeur d'altitude des isolignes sont fusionnés en un seul, et le reste des champs peut être supprimé.

Le traitement qui suit consiste à vérifier qu'aucune ligne n'en croise une autre, ce qui, sur la maquette reviendrait à créer des « corniches » qui n'existent pas dans la réalité. En effet, l'utilisation de plusieurs sources de données différentes amène presque inévitablement à des chevauchements au niveau des zones de transition entre deux origines de données Ceci est particulièrement vrai entre le MNT terrestre et le Lidar littoral : la cote a falaise, notamment, particulièrement abrupte, laisse plusieurs lignes s'entrecroiser (voir [fig. 36](#))



Figure 36 – Erreurs de superposition entre deux jeux de données, ici les données issues lidar terrestre (en noir) croisent par endroit celles du lidar littoral (en couleurs).

Il semble qu'il n'y ait pas d'autre solution que de reprendre à la main, point par point, le tracé des isolignes pour faire correspondre le plus naturellement possible leur morphologie aux lignes suivantes et précédentes.

Cette interpolation fausse la donnée originelle, mais l'échelle des modifications est si petite (quelques dizaines de centimètres, un ou deux mètres tout au plus) par rapport à l'échelle de la maquette, que cela n'impacte pas réellement sa justesse, et ne gênera pas la projection de données cartographiques dessus ultérieurement.

Cette étape est particulièrement longue : il faut faire tout le tour de l'île pour s'assurer qu'aucune ligne n'en chevauche une autre. A la fin de cette opération traitement, il est possible de réaliser une vérification grâce à l'outil Qgis « Intersection de lignes », pour s'assurer qu'il n'existe plus aucun chevauchement. Cet outil sélectionnera les points de contacts entre les lignes, s'il y en a.

Ensuite, il est nécessaire d'effectuer une vérification générale de la continuité des lignes car des divisions se produisent presque inévitablement au cours des étapes précédentes. En d'autres termes, chaque isoligne qui doit être constituée d'une seule et même entité (chaque entité doit donc être un polygone fermé). On procède à cette vérification en sélectionnant les entités unes à unes et en vérifiant qu'elles forment toutes un polygone fini. Si c'est n'est pas le cas, il faut les sélectionner simultanément puis utiliser l'outil « fusionner les entités ».

Il est également possible de s'aider de la table d'attribut pour détecter les lignes à la longueur très faibles, qui sont des erreurs (calculatrice de champs, puis \$length).

iv Lissage et simplification

La précision des MNT utilisés rend le niveau de précision des isolignes beaucoup trop fin (par la suite, la machine de découpe laser ne pourrait pas découper à cette micro-échelle, au risque de brûler le bois). Il faut donc les lisser et les simplifier.

Si QGIS intègre un outil de lissage/simplification des lignes, celui-ci n'est pas assez complet pour le cas présent. En effet, après simplification, les lignes entrent en chevauchement là où ce n'était pas le cas précédemment. Il faut donc trouver un algorithme qui permette, en plus de simplifier les tracés, d'empêcher leur chevauchement.

Cette problématique a été le fruit d'un travail disponible en ligne

(https://www.epfl.ch/schools/enac/wp-content/uploads/2019/05/Optimisation-courbes-de-niveau-pour-decoupe_FR.pdf - Auteur et année inconnus).

Dans cette étude, l'auteur, à l'aide du logiciel de graphisme Rhino, a créé un outil Python permettant de réaliser un lissage/simplification sans chevauchement de lignes. Le code en question est disponible gratuitement au téléchargement (Nom du programme : CombinedFixContourCrvsFE.py).

Le logiciel Rhino, lui, propose 90 jours d'essais gratuit, ce qui est amplement suffisant pour le travail à réaliser.

Pour utiliser ce programme, les courbes doivent être exportées depuis Qgis au format .SVG.

Le traitement est très rapide et les lignes obtenues ne se chevauchent pas, et le niveau de précision est très acceptable. La [figure 37](#) montre le résultat obtenu pour les 5 isolignes issues du Lidar terre-mer, sur une portion de la côte à falaise.

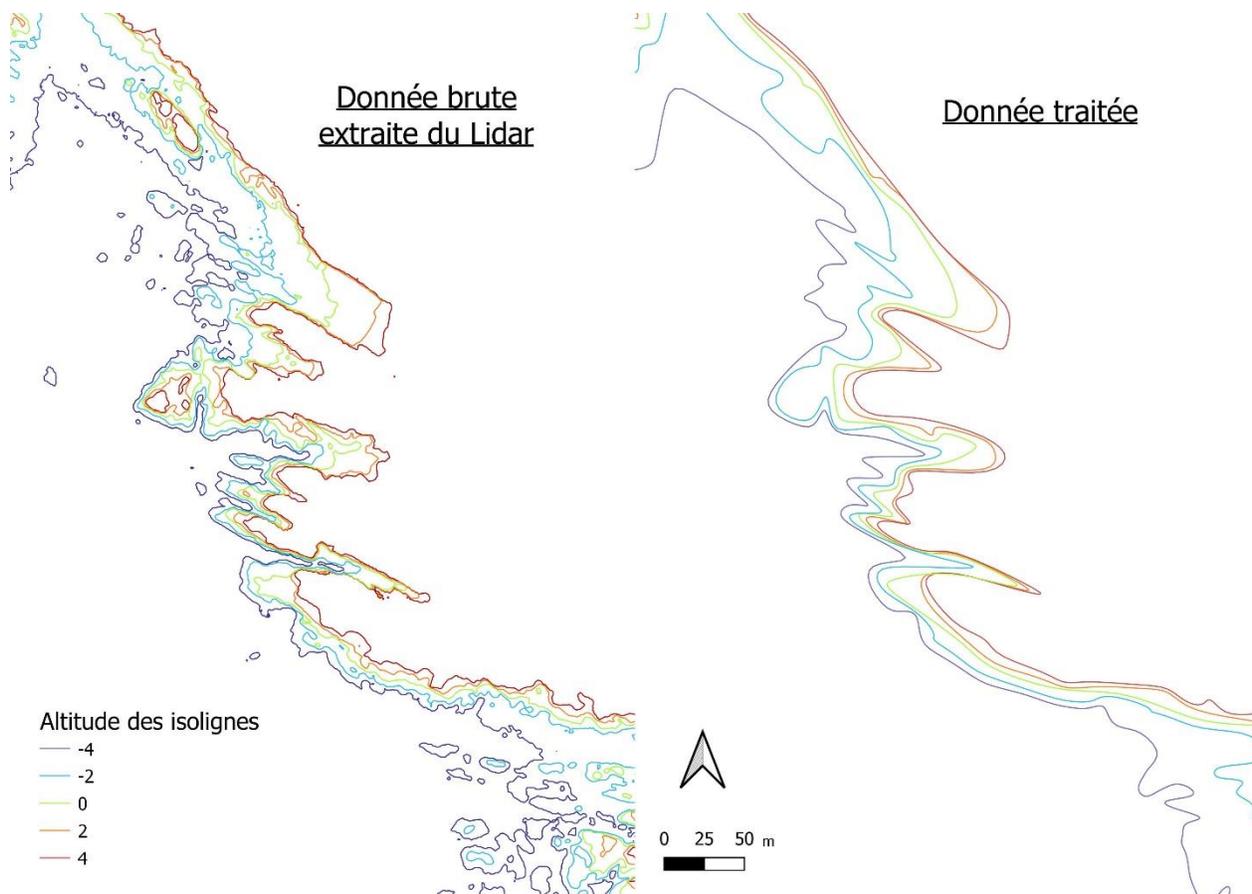


Figure 37 - Comparaison entre la donnée brute issue du fichier Lidar avec la donnée obtenue après traitements.

Le cas du port est particulier. Ce dernier a été traité à part. En effet, il est important de recréer le port de la manière la plus fidèle possible : c'est un point de repère important pour les futurs utilisateurs de la maquette, une des premières choses à être regardée par les habitants.

Le port est constitué de digues verticales. Or, la donnée brute représente certains pontons/bateaux (qui sont des erreurs ; un MNT ne devant représenter que le « sol »), et la représentation des digues est mauvaise. Il a donc été décidé de reprendre la zone du port à la main, en s'aidant de la dernière BD Ortho disponible (2019).

Afin de traiter cette partie de façon indépendante, il a fallu diviser les isolignes qui passent dans le port pour les isoler du reste de la carte, puis les reprendre une par une afin de les replacer correctement. Comme les digues sont droites, de nombreux points sont retirés pour faciliter le traitement et se rapprocher le plus possible de la réalité (il est inutile d'avoir plusieurs points sur une ligne droite, deux suffisent).

La [figure 38](#) représente la donnée brute non traitée et le résultat après traitement manuel. Toutes les lignes représentant un mur sont superposées (avec l'aide de l'outil « accrochage »), et les empreintes des pontons et bateaux supprimées.

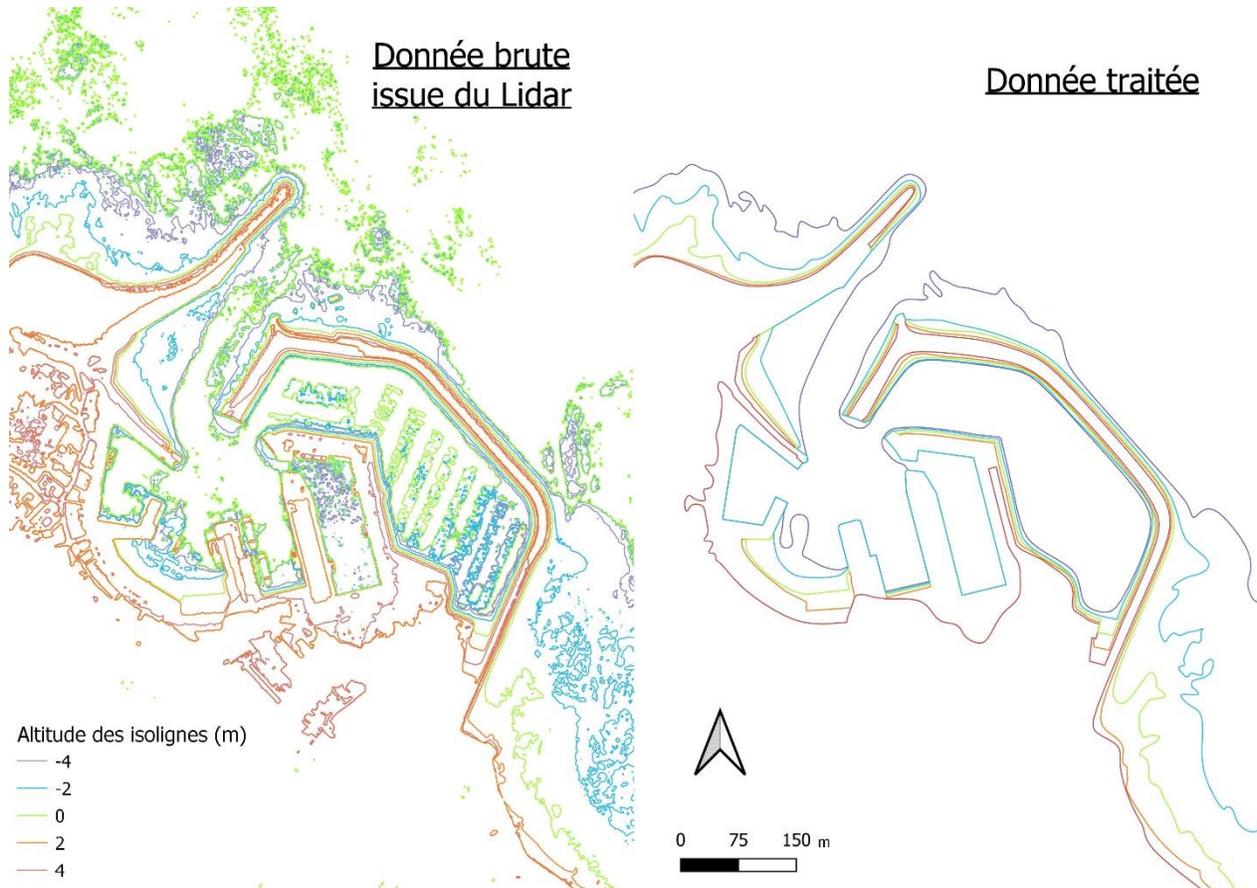


Figure 38 – Le cas du port : comparaison entre la donnée brute issue du fichier Lidar avec la donnée obtenue après traitements

v Inkscape et préparation à la découpe

Le logiciel Inkscape est celui utilisé pour la découpe laser. Ainsi, par souci de simplicité et d'interopérabilité, il est préférable de travailler directement sur Inkscape (La passerelle sur Adobe Illustrator est possible mais peut amener des problèmes lors du passage d'un logiciel à l'autre).

Avant toute chose, les lignes, qui sont considérées par Inkscape comme des « objets », doivent être sélectionnées puis passées en « chemins » (Objet/Objet en chemin).

Le fichier SVG est ouvert dans Inkscape. Les attributs d'altitude ont disparu lors du passage en SVG. Il est nécessaire de créer un « groupe » pour chaque altitude de ligne (soit 23 groupes différents : -14, -12, -10 etc.)

Chaque ligne est sélectionnée puis intégrée à son groupe respectif. L'utilisation simultanée de Qgis pour connaître les altitudes correspondantes semble la technique la plus adaptée (au visuel).

Une fois ce traitement effectué, il ne reste normalement plus aucune ligne n'appartenant pas à un groupe.

Par souci de poids (la quantité de bois est importante) de l'objet final, il est nécessaire d'évider une partie de la maquette. Pour cela, il faut repérer des parties de la carte toujours au-dessus d'une certaine altitude, et dessiner sur ces dernières une forme d'évidement qui sera découpée puis extraite. A partir d'une certaine valeur d'altitude (sur la maquette actuelle, jusqu'à 16m), il n'est plus possible d'évider.

Une autre étape courte mais importante consiste à créer des « guides » : des trous d'une largeur prédéfinis (minimum deux par plaque) qui serviront de support à un tuteur cylindrique, et ce afin de faciliter l'assemblage des pièces de manière précise. Comme pour l'évidement, il s'agit de créer, pour chaque plaque, deux formes, circulaires cette fois, aux points culminants de la maquette afin de pouvoir guider les plaques les plus hautes.

La dernière étape de préparation du fichier consiste à représenter les deux patrons des plaques de découpes, afin de couper les lignes en deux parties.

Les plaques mesurent 122x125 cm. Une marge de deux centimètres est appliquée : les polygones créés dans Inkscape sont donc de 120x123 cm. Une fois ces deux polygones créés et collés l'un à l'autre, il faut sélectionner toutes les isolignes puis les centrer dans le double cadre précédemment créé (fig. 39)

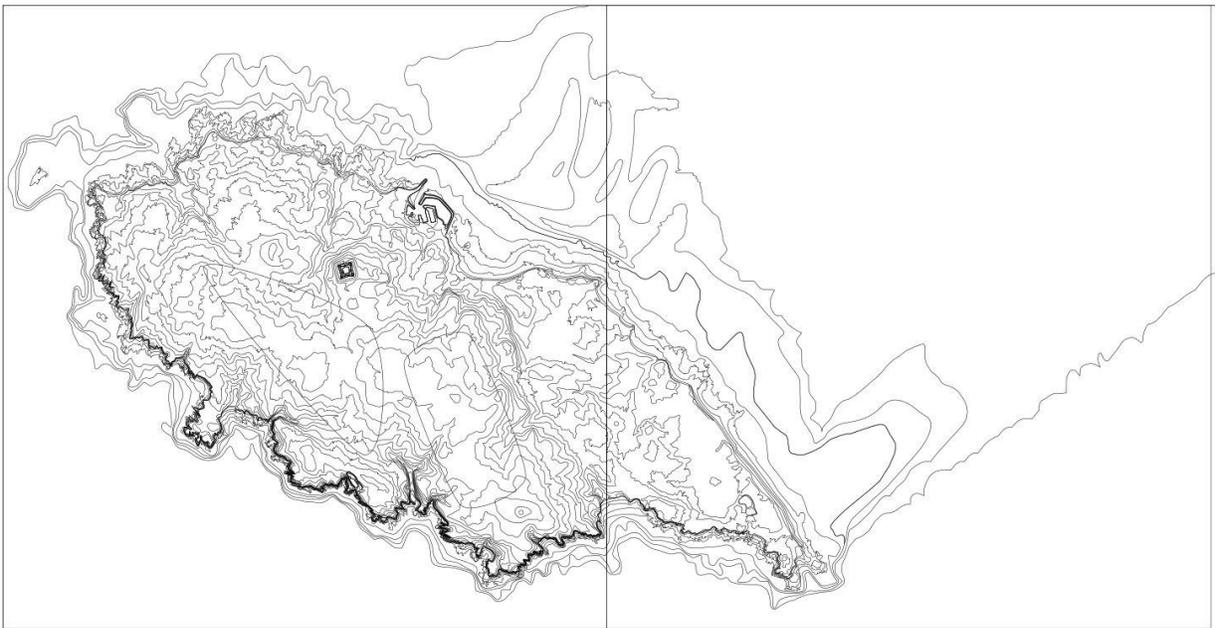


Figure 39 - Fichier SVG « final » contenant toutes les formes de découpes (isolignes, évidements, guides, cadres)

Pour communiquer les informations d'un fichier SVG à la découpeuse-laser, il est nécessaire de passer par un fichier de type G-Code (.gcode). C'est un fichier qui traduit les données d'un fichier vecteur en instruction de déplacement pour le laser de découpe.

Deux modes d'utilisation du laser sont disponibles : la gravure et la découpe (il ne s'agit en réalité que d'un seul mode, mais le réglage de la puissance et de la vitesse du laser permet d'utiliser l'un ou l'autre). Dans un souci de faciliter l'assemblage, il est choisi, pour chaque plaque découpée, de graver au préalable l'empreinte de celle qui se positionnera au-dessus. En plus des guides, cette technique permettra une superposition précise des plaques.

Un fichier « Base » est créé. Il contient tous les groupes d'isolignes par altitude, tous les évidements créés, tous les guides ainsi que les deux cadres. Il servira par la suite de support unique pour générer tous les fichiers de découpe. (Une archive est également créée en cas de soucis avec le fichier).

Pour créer chaque fichier de découpe, il suffit d'ouvrir cette base puis de la dupliquer sous un fichier au nom différent.

La toponymie utilisée a été la suivante : pour la découpe de la plaque 12m, sur laquelle est gravée la 14m, partie Ouest, le fichier est nommé D12G14O. D12 pour découpe 12m, G14 pour gravure 14m et O pour la partie ouest.

Ensuite, dans le fichier nouvellement créé (DxGxO/E), il s'agit de sélectionner :

- Les deux groupes d'altitude désirés (Par exemple pour découper la plaque -12, il faut sélectionner le groupe -12 et le groupe -10, qui sera gravé dessus).
- Le cadre de découpe (Est ou Ouest)
- Les évidements
- Les guides

Il faut par la suite supprimer toutes les autres données non sélectionnées.

Les isolignes doivent être découpées par les cadres Est ou Ouest. Dans les deux cas, il faut se servir de l'outil « Division de chemins » d'Inkscape. Cet outil divise des chemins par d'autres chemins, mais il ne peut diviser qu'un chemin par un autre chemin. Ainsi, pour diviser toutes les isolignes simultanément, il est nécessaire, au préalable, de les associer grâce à l'outil du même nom (sélectionner toutes les lignes puis « associer »)

Une fois associées, ces lignes sont divisées par un des deux cadres. Il est possible de les dissocier une fois cette étape réalisée. Il suffit ensuite de supprimer toute la partie non concernée (est ou ouest).

A ce stade, le fichier est tel qu'il sera découpé. Avant de générer les G-Code, il faut ajuster la page à l'emprise utilisée (fichier/propriétés du document/ajuster la page au dessin) afin de définir le « point 0 » du laser (le coin en bas à gauche).

Afin de communiquer à l'extension quelle partie sera gravée ou découpée, il faut ajouter ces dernières dans des calques nommés « Gravure » et « Découpe ». Il est possible de créer un ordre de découpe (en créant plusieurs calques « Découpe 1 », « Découpe 2 » etc.). En effet, certaines petites pièces comme les guides doivent être découpées avant les plus grosses qui les englobent (au risque de bouger et/ou de tomber à travers la grille).

Pour générer le G-Code, il faut disposer d'une extension ; *lasenengraver* ; disponible gratuitement sur internet (fablabo.net). Une fois ajoutée à Inkscape, elle se trouve dans le volet « extensions ». Après avoir choisi la puissance et la vitesse du laser pour chacun des deux modes (découpe et gravure), il faut cliquer sur « générer le g-code » pour obtenir ce dernier.

Ces opérations sont à répéter pour toutes les couches. D'un point de vue logistique, il est préférable de commencer par les plaques les plus basses ([voir paragraphe suivant](#)).

d) Construction

i Matériau et outils de travail, Fablab

La partie manuelle a été réalisée au FabLab, un atelier collaboratif au sein duquel se trouvent différents outils de travail manuel (couture, fraiseuse, imprimantes 3d, découpeuse laser...). L'atelier étant ouvert un jour par semaine, il était nécessaire de préparer à l'avance tous les g-codes afin de n'avoir que de la découpe à réaliser sur place.

La découpeuse laser accepte des plaques d'une dimension maximale de 130x130cm. Avant toute découpe, il est nécessaire de réaliser une grille test. Cette grille ([fig. 40](#)) est placée dans la machine, et permet de connaître à partir de quelle couple puissance/vitesse le bois utilisé peut être découpé.

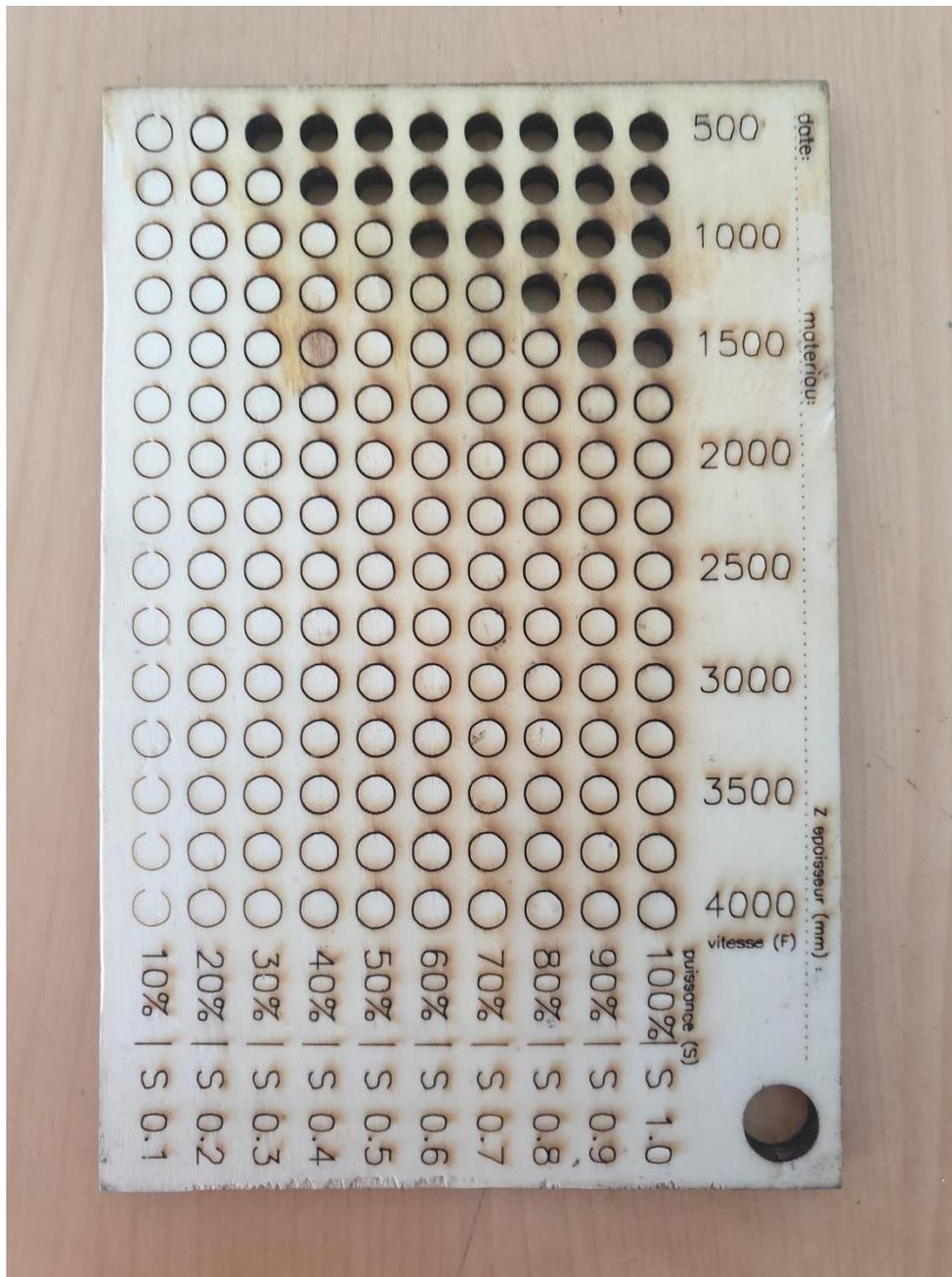


Figure 40 - Grille test utilisée pour tester le niveau de résistance du bois face au laser de découpe. En bas, le taux de puissance, à droite, la vitesse du laser en mm/min.

Afin d'obtenir la découpe la plus nette possible et de minimiser le temps de découpe, il faut choisir la vitesse la plus rapide possible (sur la [figure 40](#), 1500 mm/min) et le premier niveau de puissance qui puisse découper la plaque pour la vitesse choisie (sur la [figure 40](#), 90%). Il faut tout de même prendre une marge vu la taille des planches à découper. La vitesse retenue est donc de 1250 mm/min pour une puissance de 100%. L'importance de choisir une vitesse rapide réside non seulement dans une question

de gain de temps, mais également car une vitesse trop lente a tendance à marquer, voir à faire brûler le bois.

La découpe commence donc avec les plaques du dessous ; les plus grandes (la plaque du dessus est obligatoirement plus petite que celle du dessous). Ainsi, les chutes obtenues après découpes pourront être ré-utilisée par la suite pour les plus petites plaques, dans un souci d'économie du bois ; assez onéreux.

Les plaques sont assemblées dès la découpe terminée. Un fois les guides placés (utilisation de foret à bois de 9mm, la taille choisie pour le diamètre des guides), la plaque supérieure est positionnée sur celle du dessous. La colle utilisée est une colle à bois classique. Lors du séchage, qui prend environ deux heures pour la colle choisie, il est important de tenir les plaques avec des poids afin d'éviter le gondolage ou les zones de non-contact. Le choix des poids s'est porté sur des plombs de plongée de 1 ou 2kg. Ils sont répartis sur toute la surface à coller (au minimum 6 ou 7 plombs).

e) Finition et valorisation

i Intégration de la couche -9

Un des principaux éléments à faire ressortir sur cette maquette est le système sédimentaire à l'est de l'île, qui comprend des bancs de sable dont le principal porte le nom de La Sablaire. Ici, un pas de deux mètres entre chaque plaque ne permet pas de restituer correctement la géométrie de certains bancs, pourtant utile à la compréhension de la dynamique globale du système sédimentaire. Il a donc été décidé, à l'est de l'île, de représenter la couche d'altitude -9 m, en plus de la -10 m et de la -8 m. L'isoligne a été créée grâce aux données Haliotis, disponibles sur cette zone, et corrélées aux données du SHOM.

Afin de la représenter, il est nécessaire de disposer d'une plaque de demi-épaisseur (2.5 mm). La [figure 41](#) représente, en pointillés, l'inclusion de cette couche -9 m dans la maquette.

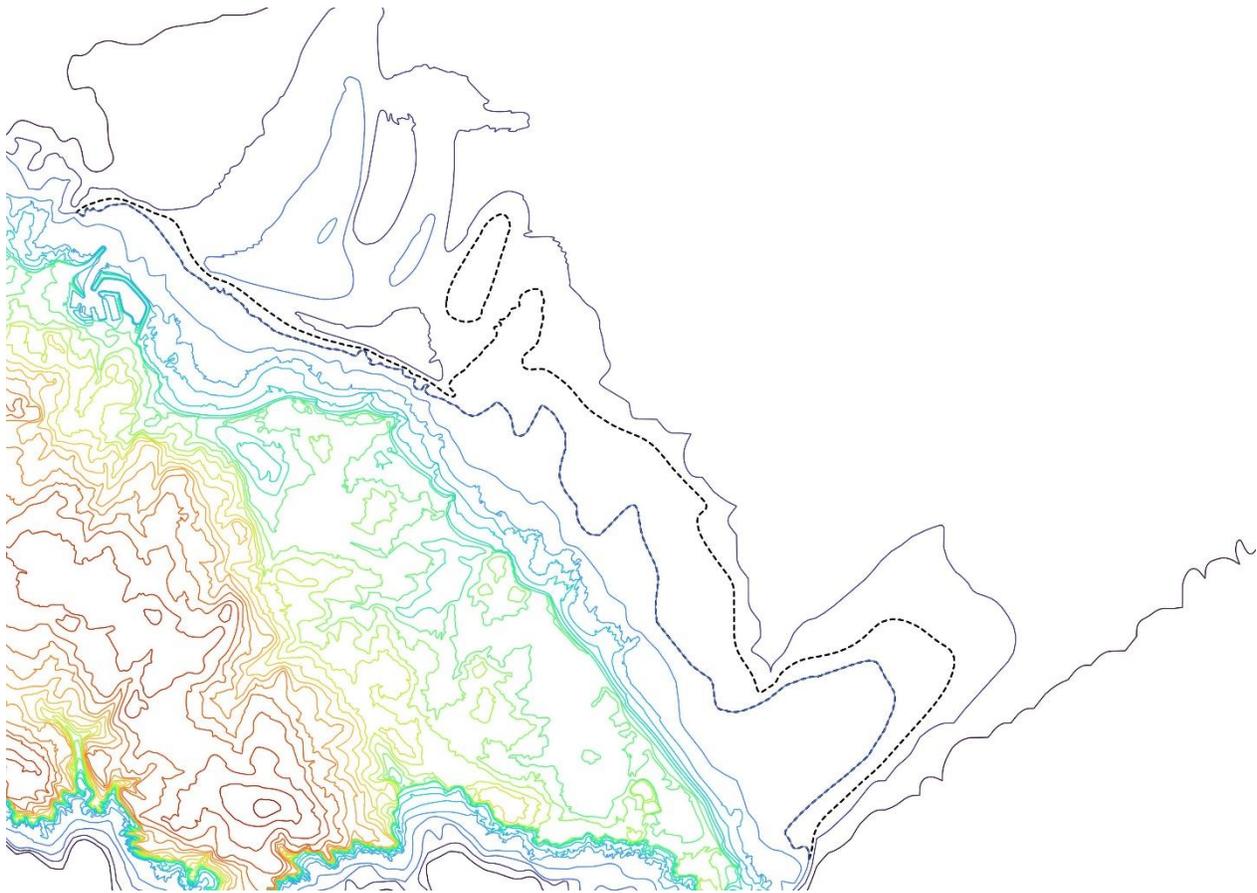


Figure 41 - Représentation de la couche -9, ici en pointillés.

ii Représenter les anciennes pêcheries

Les anciennes pêcheries submergées récemment découvertes sont des témoins importants de l'eustatisme. La démonstration de la montée du niveau de la mer étant au cœur du projet, il a été choisi de représenter ces pêcheries, en pointillés, gravées sur le bois.

Sur QGIS, elles ont été ajoutées au fichier contenant les isolignes. Elles sont intégrées, sur Inkscape, à un groupe de gravure nommé « pêcheries ». Elles n'occupent que les plaques -6 m, -4 m et -2 m. Avant gravure, il faut passer ces lignes en pointillés.

iii Inclure une représentation de la diversité sédimentaire

L'étude des dynamiques sédimentaires et de la sédimentologie fait également intégralement partie du projet ODySéYeu. Sur l'île, toutes les plages ne se ressemblent pas, bien au contraire. Certaines (comme la plage de la Pulante ou la plage des Sables Rouis) sont composés de sédiments grossiers, allant du

millimètre au centimètre, tandis que d'autres contiennent des sédiments beaucoup plus petits ; de l'ordre du dixième de millimètre ; comme la plage des Sapins ou celle des Grandes Conches. Ces différences ne sont pas le fruit du hasard, ils traduisent le fonctionnement d'un système sédimentaire complexe qu'ils permettent de mieux connaître.

Il a donc été décidé, pour une vingtaine de plage autour de l'île, de représenter leur composition granulométrique.

Le sable de chaque plage a été durci dans de la résine époxy, dans un moule circulaire découpé au laser dans du bois. On obtient ainsi des palets de sables durcis qu'il est possible de manipuler et de déplacer sur la maquette (fig. 42).

En complément, des petits tubes en verres peuvent s'ajouter aux palets. Ils contiennent le même sable que leur palet respectif, et peuvent être rechargés plus facilement si besoin. Ils permettent également une réelle observation du sable qui peut être extrait de ces tubes.



Figure 42 - Les Palets de sables en résine ainsi que les tubes en verre contenant le même sable. À gauche, les moules en bois utilisés pour la confection des palets. De gauche à droite, le sable de la plage des Sables Rouis, Celui de Ker-Châlon et celui de la Gournaise.

iv Intégration d'un profil géologique

La compréhension de la composition géologique de l'île est de première importance ; tout comme la représentation mentale qu'on peut avoir de sa géomorphologie.

En ce sens, il a été décidé d'utiliser la ligne de coupe entre les deux parties de la maquette pour représenter le sous-sol islais. Sur Adobe Illustrator, un pattern de la coupe de l'île a été créé en taille réelle. Les mesures prises sur Inkscape (à échelle réelle) ont permis l'élaboration de ce profil.

Par la suite, il sera habillé des différentes couches géologiques en présences au niveau de la ligne de coupe, puis imprimé et plaqué sur la coupe.

Ce profil est illustré en [figure 43](#).

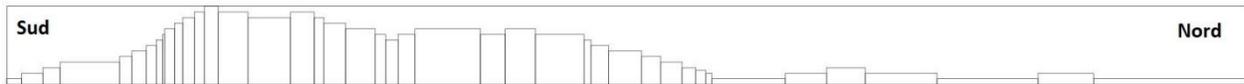


Figure 43 -Profil de la maquette au niveau de la jonction entre les deux parties. Echelle réelle (120x11 cm)

III) RESULTATS ET DISCUSSION

1) La BD Photo aérienne : contenu et utilisation

Après finalisation de tous les traitements, la base de données geopackage contenant l'atlas des millésimes de photos aériennes contient 64 fichiers de type Raster.

Certains millésimes n'ont pas pu être fusionnés à cause de leur poids important. Il s'agit des millésimes :

- 1950 (7 dalles)
- 2006 (8 dalles)
- 2010 (12 dalles)
- 2013 (2 dalles)
- 2016 (6 dalles)
- 2019 (10 dalles)

La taille originale des fichiers était de 66 giga-octets. Le passage en geopackage permet d'obtenir une taille finale de 1.5 giga-octets. Le gain de place est remarquable, et les fichiers image n'ont pas connu de perte de qualité

Afin d'avoir accès simplement au catalogue d'images classées par date, tous les millésimes du geopackage sont importés dans un projet.

Après un classement chronologique de ces millésimes (et la mise sous forme de groupe pour les images multi-dalles), le projet a été enregistré sous le nom de « bibliothèque » au sein du Geopackage.

Ainsi, un simple clic sur le projet suffit à ouvrir toutes les données disponibles et classées.

Le fichier « amers de géoréférencement » est également ajouté au projet du geopackage. La [figure 44](#) rend compte de la position de ces amers sur l'île.

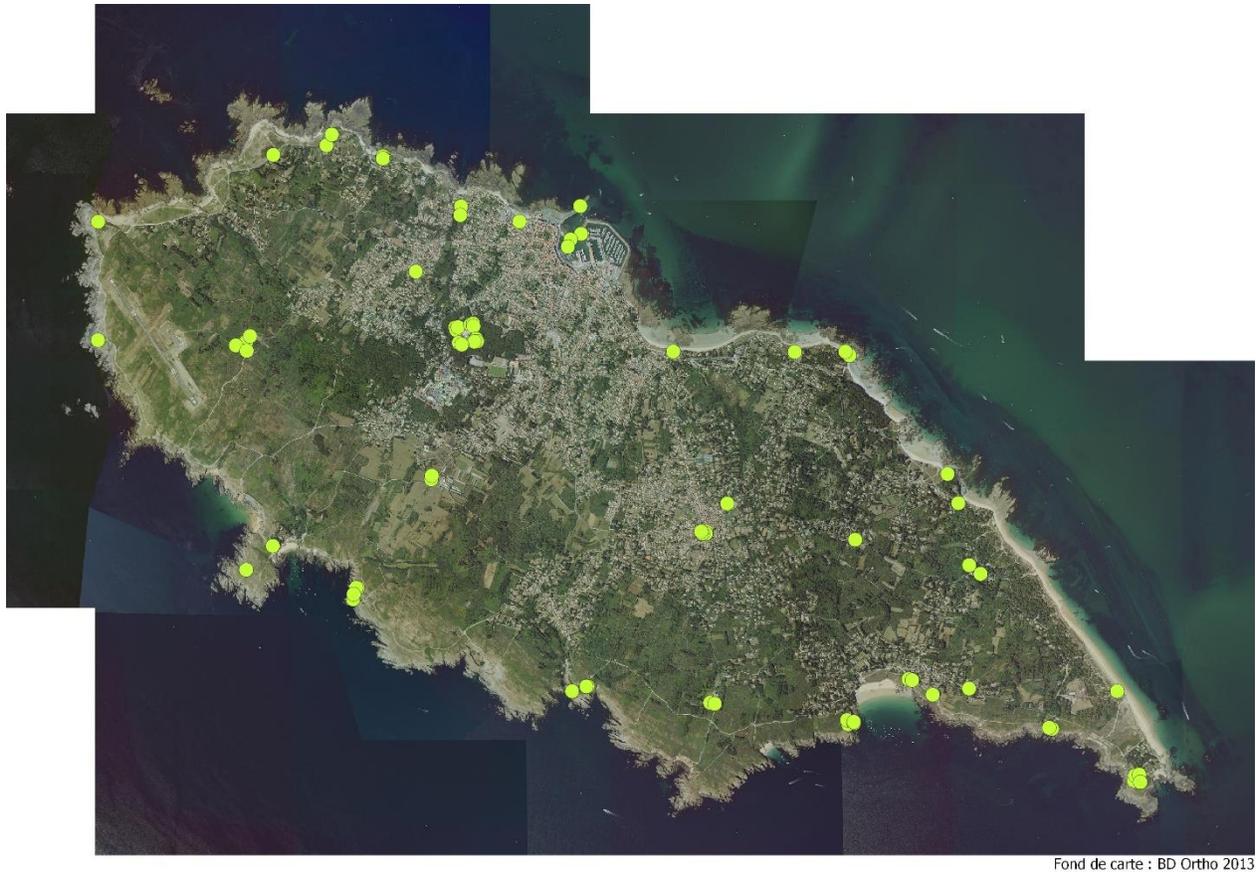


Figure 44 - Positions des amers de géoréférencement

Le catalogue de donnée se présente comme sur la [figure 45](#).

L'intérêt de cette base de données réside dans sa simplicité d'utilisation. N'importe qui, avec un ordinateur disposant de QGIS, peut ouvrir ce catalogue et aller rapidement vers la donnée recherchée. Il est également possible de l'exporter très simplement pour la consulter en dehors du geopackage.

Dans un contexte collaboratif, il serait intéressant, par la suite, d'intégrer cet atlas au site du projet ODySéYeu afin de le rendre disponible en libre accès. C'est un outil simple de compréhension, susceptibles d'éveiller les curiosités des habitants à travers différentes approches.

Le fait que toutes les données en présence soient publiques facilite ce type de projet.



Figure 45 - Millésimes de la BD Photos aériennes

2) La base de données « TopoYeu » : une base de travail destinée à être étoffée

Comme pour la base de données des photos aérienne, le projet contenant les données classées est enregistré au sein du geopackage. L'unique fichier « BD_Topoyeu » contient donc toutes les couches existantes ainsi que leur classement en catégories. Tous les fichiers sont exportables.

Cette base de données est une amorce. Elle est amenée à être complétée et enrichie.

Par exemple, les données issues du comptage de déchets sur les plages peuvent faire l'objet d'une intégration au SIG.

En 2022, certains ateliers réalisés avec des étudiants en licence consistaient à relever la présence ou non de volets électriques dans les maisons d'une partie de l'île. Cette donnée, inexistante avant cette « campagne » de relevés, est d'intérêt évident pour la prévision du risque et de la vulnérabilité des biens

et des personnes. L'intégrer dans la base de données sous forme de nouveaux champs dans la couche « bâti indifférencié » permettrait de mettre facilement en relation certaines informations. Par exemple, la présence ou non de volets électriques comparée à l'altimétrie du bâti en question par rapport au niveau de la mer permet de créer un indice (parmi d'autres) du risque submersion marine.

Certaines données ont déjà commencé à être complétées. La [figure 46](#) illustre les nouveaux sentiers côtiers non balisés et non répertoriés par l'IGN. Cette donnée a été obtenue par photo-interprétation et numérisation des chemins manquants. Elle n'a été réalisée que sur la frange littorale d'une partie de la côte sud, mais pourrait par la suite faire l'objet d'un travail plus approfondi (comme un suivi sur les années à l'aide de la BD Photo aérienne) par exemple.

Cette donnée est une extension de la donnée « Route » de la BD Topo de l'IGN.

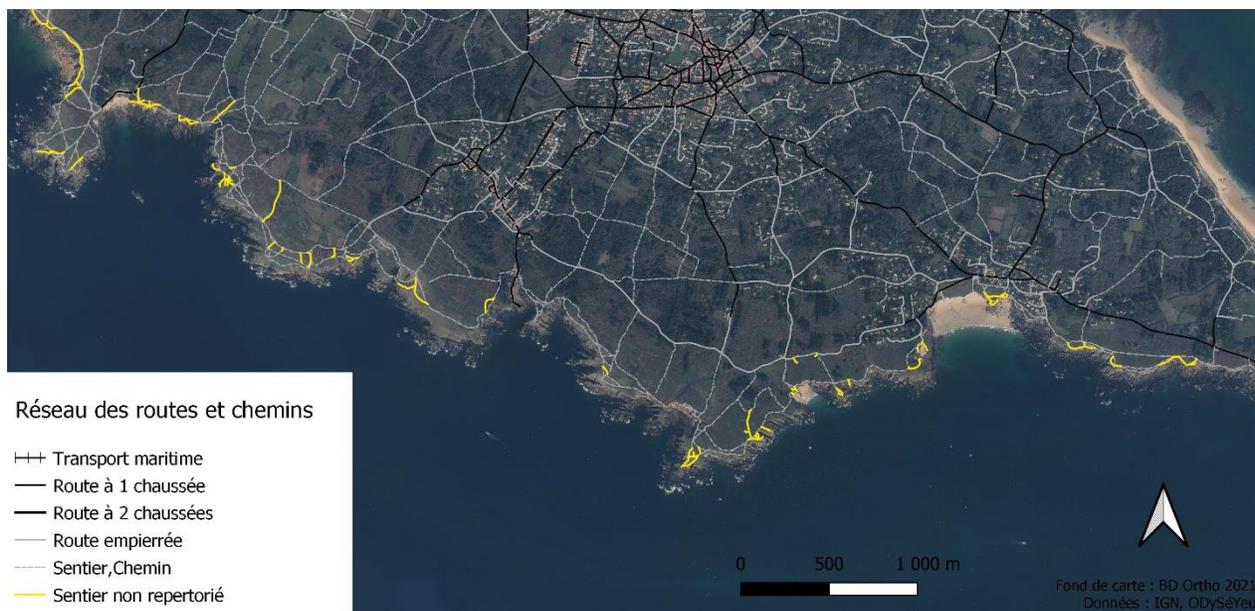


Figure 46 - Représentation des rajouts effectués (en jaune) sur la couche "Route" de l'IGN

3) Aléa érosion par télédétection

a) Résultats

La [figure 47](#) montre les valeurs de l'indice NDWI des zones test calculé pour les deux dates retenues. Les minimum, maximum et moyennes sont également indiquée.

La moyenne du 13 février (0.11) est légèrement plus faible que celle du 26 février (0.13). L'écart est très faible. Les maximums sont également plus élevés le 26 (0.40) que le 13 (0.27). Les deux minimums, eux, sont identiques (-0.05).

Visuellement, les résultats ne sont pas réellement parlant. Il est possible de distinguer une vague

tendance à l'augmentation entre le 13 et le 26.

Pour rappel, le 13 février doit, selon les archives de meteociel.fr, présenter un sol sensiblement plus humide que le 26 février.

La tendance tend vers une confirmation de l'hypothèse de départ, mais les écarts de valeurs entre les deux dates sont beaucoup trop faibles pour être considérées comme probantes.

L'hypothèse (« Il est possible de déterminer l'humidité du sol de surface grâce à l'indice NDWI et aux images Sentinel-2 ») n'est pas invalidée, mais la méthode semble inadaptée et à retravailler.

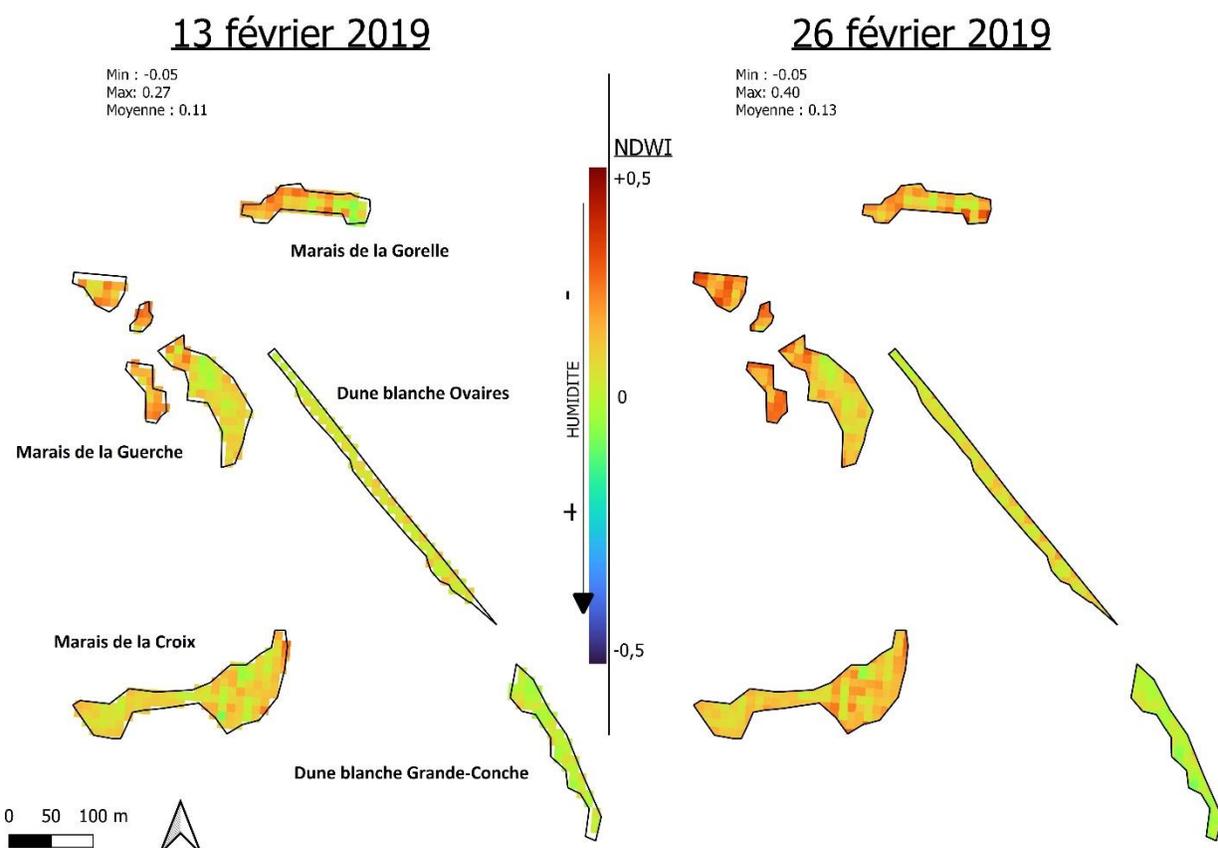


Figure 47 - Indice NDWI sur les cinq zones test aux deux dates retenues

b) Apports

Si les résultats ne sont pas à la hauteur des attentes, l'étude a néanmoins permis de connaître la localisation de zones de natures très peu végétalisées sur la période hivernale. Elle apporte ainsi de potentielles nouvelles pistes de travail (suivi des zones en question sur le long terme, étude de l'évolution de la végétalisation des zones basses de l'île).

c) Limites

Les principales causes de l'échec de l'expérience résident dans un traitement trop approximatif. Les zones sont trop peu étendues comparées à la taille des pixels indiciels. Il n'y a pas assez d'information, et probablement trop de donnée faussée pour en tirer une moyenne acceptable.

Plus globalement, l'étude présentée n'est réalisable que sur une douzaine de semaines en hiver : le reste de l'année, la couverture végétale, matérialisée par l'indice NDVI, est trop importante pour pouvoir étudier l'indice NDWI.

d) Une piste à étudier

La démarche mérite d'être retravaillée. Si elle n'est pas applicable sur l'île pour des raisons évidentes de manque d'espace, elle l'est probablement plus sur le littoral du continent, plus vaste.

Si l'étude de l'humidité du sol dans un but de prévision de l'aléa érosion n'est pas réalisable par télédétection, il est possible de l'envisager sur le terrain, via un réseau de capteurs.

Ce travail gagnerait à être effectué en collaboration avec les habitants et utilisateurs des sites d'études (à la manière de CoastSnap par exemple).

4) Maquette

Les découpes ainsi que les différentes étapes manuelles ont été réalisées avec l'aide de Séverine Blain. Afin de mettre en image la création de la maquette et dans un but de sensibilisation, un clip vidéo explicatif a été réalisé avec l'aide du PAM (Pôle Audiovisuel et Multimédia) de l'Université de Nantes. Les différentes étapes de conception et de réalisation de la maquette y sont imagées et expliquées par les différents acteurs de ce projet. La vidéo n'est pas encore disponible. Lorsqu'elle le sera, elle sera mise en ligne sur le site odyseyeu.org.

a) Résultat

Le résultat visuel final est conforme aux attentes de départ. Au cours de la fabrication, les réactions des différentes personnes auxquelles la maquette a été montrée (au FabLab) sont extrêmement positives. Elles illustrent l'intérêt du public pour ce type de projet. Enormément de questions de tous genres nous ont été posées durant la réalisation de cette maquette, par des utilisateurs du FabLab. C'est un point positif d'éveiller les curiosités dans le contexte collaboratif et pédagogique porté par ODySéYeu.

Après l'assemblage final, il a fallu effectuer certaines rectifications sur certaines plaques dont le bord s'était décollé au fur et à mesure de l'empilement des couches. L'utilisation d'une colle cyanoacrylique s'est révélée inefficace (absorbée par le bois poreux). Afin de coller ces zones, il a donc fallu utiliser la colle à bois, glissée entre deux plaques à l'aide d'une spatule, puis tenir ces plaques à l'aide de serre-joints ou d'empilements de plombs de plongée.

Les figures 48, 49 et 50 sont des photos prises à la fin de la réalisation de la maquette, devant le FabLab. La figure 49 montre la coupe entre les deux parties de la maquette. Malgré un alignement horizontal des couches globalement très juste, il a fallu effectuer un léger ponçage de la tranche afin de la rendre le plus lisse possible.



Figure 48 - Toutes les couches de la maquette entièrement assemblées.



Figure 49 - La coupe entre les deux parties de la maquette



Figure 50 - Représentation de la côte à falaise au sud de l'île

De nombreuses questions des observateurs de la maquette finie concernaient l'altitude et la position du niveau 0. Beaucoup de personnes avaient du mal à se représenter la continuité terre-mer dans la représentation du relief, ce qui suscitait de l'incompréhension chez certains. Pour tenter de remédier à cela, il a été décidé de tracer, tout le long de la tranche de la couche 0, un trait fin au Posca® bleu Azur. Il semble que cette ultime action ait réglé le souci.

b) Suite à donner

Le projet ne s'arrête pas à la simple réalisation de la maquette. Il va à présent falloir mettre en place l'habillage cartographique de la géo-maquette : la maquette en elle-même n'est qu'un support de projections, de jeux, de discussions.

Les futures projections (qu'elles soient fixes ou animées) seront alimentées par le travail de réaménagement du SIG d'ODySéYeu mené ici. À l'automne prochain, la maquette servira également de support à la création d'un « *serious game* » d'anticipation des risques côtiers, créé dans le cadre du nouveau master Humanités Environnementales de Nantes Université. Tout comme la première maquette, elle sera également amenée à être déplacée au gré des opportunités d'expositions au public, et les éventuelles projections dessus seront amenées à changer en fonction des sujets abordés.

c) Limites

Il a fallu, inévitablement, effectuer des choix et préférer certains aspects au détriment d'autres. La bathymétrie représentée par la maquette descend volontairement jusqu'à un minimum de -14 m, un des intérêts premiers de cette maquette étant de mettre en évidence la dynamique sédimentaire du pont d'Yeu et de la Sablaire, qui reposent entre -12 et 0 m. Ce choix biaise la représentation de la morphologie sous-marine puisqu'elle est tronquée à un certain niveau. Le tombant qui longe la cote à falaise n'est pas entièrement représenté.

La précision de la découpeuse laser utilisée ainsi que le type de bois n'ont pas permis d'obtenir une précision assez fine pour représenter tous les éléments du paysage, terrestres comme sous-marin.

d) Autres pistes et projets semblables

Pour aller plus loin, l'idée de l'utilisation de la fraiseuse trois axes a été évoquée. Disponible au FabLab, son utilisation nécessite une formation significativement plus longue et complexe que pour la découpeuse laser, mais elle pourrait ouvrir de nombreuses possibilités, comme tailler une maquette semblable dans un bloc de bois entier, ou encore améliorer la maquette actuelle en retravaillant les angles qui forment les « marches ».

En 2019, l'UBO Open Factory, le Parc Naturel Régional d'Armorique et Data Terra ont réalisé une maquette semblable à celle d'ODySéYeu, représentant la mer d'Iroise autour de la Presqu'île de Crozon. Dans ce projet, une résine bleue a été coulée jusqu'à la couche 0, créant un gradient de bleu en fonction de la profondeur (fig. 51).



Figure 51 - Maquette centrée sur la presqu'île de Crozon réalisée dans le cadre d'un partenariat entre l'UBO Open Factory, le Parc Naturel Régional d'Armorique et Data Terra

Il aurait été possible de reproduire cette technique dans le cadre de la maquette de l'Île d'Yeu, mais il aurait été beaucoup moins aisé de projeter dessus par la suite. Ici le choix s'est d'avantage porté sur l'utile que sur l'esthétique.

IV) CONCLUSIONS

Les travaux de gestion de données ont permis un accès plus facile et beaucoup moins contraignant à l'ensemble des données SIG détenues par ODySéYeu.

La base de données TopoYeu, qui contient la majorité des couches vecteurs du projet, constitue un outil efficace pour créer et manipuler des cartes d'une manière simple et rapide. Elle a été particulièrement utile dans la construction des figures de ce mémoire. Elle pourra également l'être par la suite pour constituer des cartographies à but informatif ou de suivi/recherche, dans la mesure où elle est destinée à s'étoffer au fur et à mesure de l'avancée du projet.

L'atlas de photo aérienne s'inscrit dans cette dynamique et pourra, par la suite, permettre à chacun l'accès à la données historique existante.

En plus de ces deux bases de données, une troisième a été créée, elle regroupe toutes les données raster type MNT, Lidar, sonar de bathy/altimétrie terrestre ou marins.

La tentative de développement d'un outil de prévision de l'aléa érosion par télédétection n'a pas abouti au résultat attendu. Tout de même, il mérite à être retravaillé sur d'autres zones littorales. En effet, le test effectué ici, gagnerait à être testée d'une manière plus étendue.

La réalisation de la maquette, qui représente l'essentiel du temps de travail des trois premiers mois, est une réussite. Elle est à la hauteur des attentes exprimées. Il a été possible de répondre à plusieurs demandes supplémentaires, par exemple l'intégration des pêcheries du néolithique par gravure ou l'ajout tardive de la couche -9 m. De plus, les premières réactions exprimées par les observateurs furent très positives. Les très nombreuses questions suscitées et les discussions qui ont suivies au FabLab ont permis de faire connaître un peu plus le concept de sciences citoyennes et le projet d'ODySéYeu aux yeux de multiples intéressés. Si d'autres réalisations de ce type ont été faites ces dernières années (projet UBO par exemple), l'échelle, les dimensions et la « plasticité d'usages » de cette nouvelle géo-maquette font sa singularité et en font un outil précieux pour le prochain projet ODySéÎles. En effet, plus grande et focalisée sur un petit territoire, elle offrira non seulement la possibilité de projeter de nombreuses cartes et animations, mais également de « jouer » littéralement à plusieurs sur la maquette, et ainsi de s'approprier dans le détail la morphologie de l'île et ses relations avec l'aménagement du territoire et les risques littoraux.

La fin de ce stage s'inscrit également dans la fin théorique du projet ODySéYeu.

Le financement pérenne du projet par la fondation de France a été récemment retenu. Il permettra la continuité des travaux entrepris, ainsi que la genèse du projet ODySéÎles, qui tentera de transposer les acquis du projet actuel sur l'île voisine de Noirmoutier mais également à Mayotte et en Nouvelle-Calédonie.

Il est clair que l'action entreprise par ODySéYeu s'inscrit dans une dynamique globale : Les observatoires semblable se multiplient (Fugascia et l'OCLM, BioLit, l'utilisation croissante du système CoastSnap), ce qui nourrit l'idée que la gestion collaborative et citoyenne des problématiques littorales est une solution viable d'avenir.

V) FIGURES

Figure 1 -Prévision de la hausse du niveau marin à la Rochelle selon le sixième rapport du GIEC. Meilleur et pire scenario (Sea Level Projection Tool, GIEC,NASA)	7
Figure 2 - Evolution du niveau moyen de la mer à Brest depuis 1846 (REFMAR, SHOM)	8
Figure 3 - Evolution de la densité de population sur le littoral métropolitain, en hab./km ² (INSEE,RP. Réalisation SDES)	9
Figure 4 - Le littoral Languedocien au niveau de Frontignan : Un tourisme balnéaire de masse sur un espace réduit	10
Figure 5 - Graphe présentant les relations entre 4 grands types d'acteurs susceptibles d'être intéressés, impliqués ou concernés par des processus de science citoyenne (Lamiot, 2009)	11
Figure 6 - Evolution du nombre d'habitants à l'île d'Yeu (INSEE). (issu de https://www.annuaire-mairie.fr/statistique-l-ile-d-yeu.html)	12
Figure 7 -Évolution du nombre de logements par catégorie sur l'île d'Yeu depuis 1968 (INSEE)	13
Figure 8 - Densité relative du bâti sur l'île (Carte de chaleur de tout le bâti indifférencié avec rayon de recherche de 200m)	15
Figure 9 - Zonage du PLU de 2014 sur l'île d'Yeu	16
Figure 10 - Mise en évidence des anciennes pêcheries submergées découvertes par ODySéYeu	17
Figure 11 - Bathymétrie de la façade Atlantique (SHOM)	19
Figure 12 - Instantané des directions et intensités de houles, généré par le modèle WAVEWATCH-3 pour le 23/11/17 à 16h lors de conditions météorologiques hivernales moyennes (Cariou et al., 2017)	20
Figure 13 - Le potentiel éolien à 90m en Vendée (modifié d'après MEDDE-DREAL Pays de la Loire)	21
Figure 14 - Rose des vents synthétisant les données recueillies entre 1999 et 2010, sur l'île d'Yeu et Noirmoutier (Juigner et al., 2012)	21
Figure 15 - Altimétrie de l'île d'Yeu	22
Figure 16 - Schéma structural (a) et coupe géologique (b) proposé par Vanney (1977)	23
Figure 17 -a) Distribution des dépôts sédimentaires dans la zone d'étude (Vanney, 1977). b) Distribution des dépôts sédimentaires dans la zone d'étude (SHOM,2017).	25
Figure 18 - Couverture des sols à l'île d'Yeu en 2013 selon l'OCS-GE	26
Figure 19 - Zonage de la Directive habitat Natura 2000 (en jaune), (issu de Géoportail.fr)	27
Figure 20 - Diagramme de Gant du projet ODySéYeu paru dans le rapport d'activité annuel 2021	29
Figure 21 - La dune en érosion de la plage du Puits Marie-Francoise	32
Figure 22 - Maquette réalisée par Quentin Dupuy et Elsa Cariou en 2019, représentant l'île d'Yeu, le pont d'Yeu et le littoral des Pays de Monts.	34
Figure 23 - Millésimes de photos aériennes disponibles pour l'île d'Yeu. En gris, les clichés monochromes. En vert, les clichés en couleur	37
Figure 24 - Options de géoréférencement sur QGIS	38
Figure 25 - Organisation et hiérarchisation des données de la base de données "TopoYeu". A droite, la classe hydrologie est développée dans sa totalité	42
Figure 26 - Comparaison des spécificités d'acquisition des principaux satellites multispectraux utilisés en télédétection (landsat.gsfc.nasa.gov)	44
Figure 27 - Spectre d'absorption typique des deux types de chlorophylles	45

Figure 28 - Archives des relevés de février 2019 à la station Île d'Yeu - St Sauveur (meteociel.fr)	47
Figure 29 - NDVI au 21/01/22.....	48
Figure 30 - NDVI au 19/01/20.....	48
Figure 31 - NDVI au 23/03/19.....	49
Figure 32 - Zones au NDVI inférieur à 0,4 sur les cinq dates sélectionnées.....	50
Figure 33 - Zones sélectionnées pour le traitement NDWI	51
Figure 34 - Altimétrie des cinq zones test	52
Figure 35 - Représentation schématique des différentes sources de données utilisées en fonction de l'altimétrie	54
Figure 36 – Erreurs de superposition entre deux jeux de données, ici le les données issues lidar terrestre (en noir) croisent par endroit celles du lidar littoral (en couleurs).....	56
Figure 37 - Comparaison entre la donnée brute issue du fichier Lidar avec la donnée obtenue après traitements.....	58
Figure 38 – Le cas du port : comparaison entre la donnée brute issue du fichier Lidar avec la donnée obtenue après traitements	59
Figure 39 - Fichier SVG « final » contenant toutes les formes de découpes (isolignes, évidements, guides, cadres)	60
Figure 40 - Grille test utilisée pour tester le niveau de résistance du bois face au laser de découpe. En bas, le taux de puissance, à droite, la vitesse du laser en mm/min.....	63
Figure 41 - Représentation de la couche -9, ici en pointillés.	65
Figure 42 - Les Palets de sables en résine ainsi que les tubes en verre contenant le même sable. À gauche, les moules en bois utilisés pour la confection des palets. De gauche à droite, le sable de la plage des Sables Rouis, Celui de Ker-Châlon et celui de la Gournaise.....	66
Figure 43 -Profil de la maquette au niveau de la jonction entre les deux parties. Echelle réelle (120x11 cm).....	67
Figure 44 - Positions des amers de géoréférencement.....	68
Figure 45 - Millésimes de la BD Photos aériennes	69
Figure 46 - Représentation des rajouts effectués (en jaune) sur la couche "Route" de l'IGN	70
Figure 47 - Indice NDWI sur les cinq zones test aux deux dates retenues.....	71
Figure 48 - Toutes les couches de la maquette entièrement assemblées.	73
Figure 49 - La coupe entre les deux parties de la maquette	74
Figure 50 - Représentation de la côte à falaise au sud de l'île	74
Figure 51 - Maquette centrée sur la presqu'île de Crozon réalisée dans le cadre d'un partenariat entre l'UBO Open Factory, le Parc Naturel Régional d'Armorique et Data Terra	76

VI) SOURCES ET BIBLIOGRAPHIE

- Clément Calenge, Camille Coron, Christophe Giraud, Romain Julliard, Nirmala Seon-Massin, Sandrine Ruelle, Cyril Eraud, « Sciences participatives, sciences citoyennes : quelles méthodes de modélisation pour la connaissance de la faune sauvage ? », Faune sauvage N° 315 | 2e trimestre 2017
- Elsa Cariou, Agnès Baltzer, Nicolas Rollo « L'Île d'Yeu, le Coureau Islais et les Pays de Monts : une dynamique sédimentaire complexe à décrypter », Les Cahiers Nantais, 2017-2, 51-63
- Gerard Le Bouedec « Evolution des perceptions des zones côtières », Terres marines, 2006
- Sarah Ortonovi, Nicolas Bollot, Guillaume Pierre and Jean-Paul Deroin, « Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain dans le vignoble champenois entre Epernay et Dormans (France) : apport de la télédétection multispectrale », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 27 - n° 2 | 2021, 147-158.
- Patrick Pottier, Céline Chadenas, Christine Lamberts, « Trop de monde à l'île d'Yeu ? », Les Cahiers Nantais, 2017-2, 33-34
- Isabelle Thomas, « Cartographie d'aujourd'hui et de demain : rappels et perspectives », <https://doi.org/10.4000/cybergeo.3812>, 2001

https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/17608/Tremblay_Vincent_MScA_2020.pdf?sequence=5&isAllowed=y

https://ouvrir.passages.cnrs.fr/tutoqgis/exports_pdf/tutoqgis_04_georeferencement.pdf

<https://ubooopenfactory.univ-brest.fr/Les-projets/Carte-de-la-pointe-finistere>

VII) ANNEXES

- 1) **Annexe 1 : Répertoire des liens utiles pour le suivi ou la consultation d'archives en ligne**

Les archives des données à caractère climatiques et météorologiques disponibles pour l'île d'Yeu

• Relevés météo

○ **Météociel station « Ile d'Yeu – St Sauveur »**

Données journalières depuis 1973 : https://www.meteociel.fr/temps-reel/obs_villes.php?code2=7300&jour2=7&mois2=5&annee2=1976

Données mensuelles depuis 1973 :

https://www.meteociel.fr/climatologie/obs_villes.php?code2=7300&mois=5&annee=1973

- Permet de connaître les mêmes données qu'Infoclimat, mais répertorie en plus toutes les modèles météo (pressions à différents altitudes, température, jet stream etc.) journaliers depuis 1973.
- Le site regorge de données en tous genre, il contient également des archives conséquentes des observations météo des utilisateurs, entre autres...

○ **Infoclimat station « Ile d'Yeu – St Sauveur »**

<https://www.infoclimat.fr/observations-meteo/temps-reel/ile-d-yeu-st-sauveur/07300.html>

- Relevés température, précip, état de la mer, vent, humidité, Pt. de rosée, pression
- Archives disponibles depuis 1975, heures par heures depuis 2000

○ **Infoclimat station « Ile-d'Yeu – Port Joinville »**

<https://www.infoclimat.fr/observations-meteo/temps-reel/ile-d-yeu-port-joinville/000AS.html>

- Relevés température, précip, vent, humidité, rayonnement solaire, pt. de rosée, pression
- Archives disponibles toutes les demi-heures depuis le 21/03/2015

• Radars précipitations

○ **Météociel – radar HD MF**

<https://www.meteociel.fr/observations-meteo/radarzoom.php?archive=1>

- Relevés radar des intensités de précipitations et des impacts de foudre
- Précision très fine : une image toutes les 5mn et pixels de 500x500m
- Possibilité de télécharger les images ou les animations
- Archives disponibles depuis janvier 2020

Note : Les images sont assez précises pour pouvoir imaginer pouvoir les traiter grâce à un code couleur pour ensuite assimiler les valeurs à leurs bassins versants respectifs sur l'île.

○ **Radar Meteo60**

<https://www.meteociel.fr/observations-meteo/radarzoom.php?archive=1>

- Peu précis, mais permet d'afficher les cumuls récents (jusqu'à 96h et « mois en cours »)
- La page d'archives contient beaucoup d'image d'archives résumées en un tableau (satellite, t° de l'eau, foudre, radars...)

• Archives des prévisions

○ **Windguru**

https://www.windguru.cz/archive.php?id_spot=48521&id_model=3&date_from=2022-05-07&date_to=2022-06-07

- Archives des prévisions Windguru
- Précision 2h. Vent (dir, vit, raf), houle (haut, dir, période), température, précipitation, nébulosité.

- Pas de « spot » sur l'île d'Yeu. Celui de Brétignolles semble être le plus proche en termes de conditions de houles.
- A Brétignolles, archives dispos depuis le 21/11/2008

- Marées

- **Marée Info**

<http://maree.info/123>

- Site à l'interface ergonomique (représentations des hauteurs d'eau en courbes, curseur animé...)
- Archives disponibles depuis 2016 seulement.

- **SHOM**

<https://maree.shom.fr/harbor/PORT-JOINVILLE/hlt/0?date=2022-06-07&utc=standard>

- Pour des archives plus lointaines.

- Océano.

- **MARC-IFREMER**

<https://marc.ifremer.fr/presentation>

- Nombreux modèles avec différentes représentations et différentes couches (fond, surface, mid)
- Archives des prévisions et observations satellites
- Courants, houles, agitations et déplacements du fond, surcotes, température, salinité, écarts, chlorophylles, chimie & biochimie, biologie et suivi spatial des planctons, matières en suspension, turbidité...
- Possibilité de téléchargement

- **CANDHIS – CEREMA**

https://candhis.cerema.fr/_public_/campagne.php?Y2FtcD0wODUwNA==

- Archives des données de l'houlographe « Île d'Yeu Nord »
- Possibilité de téléchargement des archives

- Imagerie satellite

- **SciHub Copernicus**

<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

- Téléchargement de l'imagerie Sentinel
- Presque une image par jour sur 12 canaux spectraux, dont les 3 visibles avec une résolution de 20m.

- **Earth Explorer**

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

- Téléchargement de nombreuses sources d'imagerie satellite (dont Sentinel)

Ce mémoire de stage réalisé par Hugo MENARD en 2022 dans le cadre du stage de fin de master CER de l'IGARUN. Il développe les différents travaux qui ont pu être réalisés durant les cinq mois. L'organisme d'accueil, le projet collaboratif ODySéYeu, est un projet d'observatoire co-financé par la Fondation de France, la fondation Université de Nantes et la mairie de l'Île d'Yeu. Plusieurs thématiques y sont abordées, avec l'utilisation des SIG comme point commun à ces différents travaux.

Sont notamment développées les techniques ayant permis de concevoir une géomaquette en bois de l'île, la constitution de bases de données du projet afin de faciliter l'accès à ces dernières, ainsi que la tentative de développement d'un outil capable de prévoir l'aléa érosion sur l'Île d'Yeu.

This internship thesis realized by Hugo MENARD in 2022 as part of the final internship of CER master of the IGARUN (Nantes, FR). It develops the various works that could have been carried out during the five months.

The host organization, the ODySéYeu collaborative project, is an observatory project co-funded by the Fondation de France, the Nantes University Foundation and the Ile d'Yeu Town Hall. Several themes are addressed, with the use of GIS as a common point in these various works.

In particular, the techniques used to design a wooden geomodel of the island have been developed, and project databases have been set up in order to facilitate access to those datas, as well as the attempt to develop a tool capable of predicting random erosion on the island of Yeu.

Littoral / Île d'Yeu / SIG / Collaboratif / Maquette

Littoral / Island of Yeu / GIS / Collaborative / Model

Hugo MENARD