
GUIDE METHODOLOGIQUE

- Digitalisation du trait de côte -

Application de la télédétection

- Télédétection, suivi du trait de côte, digitalisation -

Référence : **NC_20190902_SIG_PN-DAF_Retex-Carto-TdC**

Date	Version	Auteurs	Commentaires
29/11/2019	0	INSIGHT	DRAFT
11/05/2020	2.0	INSIGHT	Version de travail-
05/08/2020	2.1	INSIGHT	Version définitive



PROVINCE NORD
DE LA
NOUVELLE-CALÉDONIE

Table des matières

1. INTRODUCTION	8
2. OBJET ET CONTEXTE	9
3. PARTIE I : NOTIONS THEORIQUES	11
3.1. Les méthodologies de suivi	11
3.2. Les satellites d'observation de la Terre	12
3.2.1. L'information satellitaire	12
3.2.2. Les caractéristiques des images.....	14
3.2.3. L'exploitation des images satellites.....	15
3.2.4. Les atouts de l'imagerie satellitaire.....	16
3.3. Focus Pléiades THR	17
3.3.1. Capacités	17
3.3.2. Image	17
3.3.3. Accès et distribution.....	18
3.3.4. Tarification	18
3.4. Echelle et Résolution.....	20
3.4.1. Notions d'Echelle	20
3.4.2. Notion de résolution	20
3.4.3. Notions de numérisation et de restitution.....	21
3.4.4. Quelle résolution spatiale pour quelle échelle ?.....	22
3.5. Format de vecteur	24
3.6. Elévation.....	24
4. PARTIE II : GUIDE PRATIQUE DE DIGITALISATION	25
4.1. Donnée source	26
4.1.1. Choix de la donnée source	26
4.1.2. Paramètres d'acquisition	27
4.2. Support de digitalisation.....	29
4.2.1. Profondeur du pixel	29
4.2.2. Ortho-Images unitaires	30
4.2.3. Format de raster	30



4.2.4.	Emprise de la zone d'intérêt (AOI).....	31
4.3.	Environnement de digitalisation.....	32
4.3.1.	Echelle de travail.....	32
4.3.2.	Composition colorée.....	33
4.4.	Choix et définition des Indicateurs.....	34
4.4.1.	Ligne de première végétation.....	36
4.4.2.	Plage.....	38
4.4.3.	Mangrove.....	40
4.4.4.	Récif frangeant.....	42
5.	PARTIE III : FICHES PRATIQUES DE DIGITALISATION.....	44
5.1.	Introduction.....	44
5.2.	LPV.....	44
5.2.1.	Cas générique.....	44
5.2.2.	Limites amont.....	45
5.2.3.	Cote artificialisée.....	46
5.2.4.	Végétation rase.....	47
5.2.5.	Côte rocheuse.....	48
5.2.6.	Sous canopée.....	49
5.2.7.	Erosion côtière.....	50
5.2.8.	Aménagements hors d'eau.....	51
5.3.	Plage.....	52
5.3.1.	Cas générique.....	52
5.3.2.	UMC.....	54
5.3.3.	Exutoire.....	55
5.3.4.	Conditions estuariennes.....	56
5.3.5.	Plage à sédiments sombres.....	57
5.3.6.	Plage en bord de mangrove.....	58
5.3.7.	Plage à marée haute.....	59
5.3.8.	Limite externe bedrock.....	60
5.3.9.	Vasière.....	61
5.4.	Mangrove.....	62
5.4.1.	Généralité.....	62
5.4.2.	UMC.....	62
5.4.3.	Cas générique : Mangroves d'estuaire.....	63



5.4.4.	Cas générique : Mangrove de fond de baie	64
5.4.5.	Cas générique : Mangrove de bord de cote dense	65
5.4.6.	Cas générique : Mangrove de bord de côte clairsemé.....	66
5.4.7.	Mangrove d'ilot	67
5.4.8.	Chenaux de mangroves	68
5.4.9.	Ombres portées.....	69
5.4.10.	Aménagement sur mangrove.....	70
5.4.11.	Inclusions végétales.....	71
5.4.12.	Limite d'AOI	72
5.5.	Récifs	73
6.	REFERENCES ET BIBLIOGRAPHIE	74

Liste des figures

Figure 1 : Bilan visuel de l'étude du trait de côte menée par INSIGHT SAS (2018).....	10
Figure 2 : Longueur d'onde du spectre lumineux.	12
Figure 3 : Exemple de signatures spectrales (bandes IR).	13
Figure 4 : Visualisation de résolutions spatiales différentes.	21
Figure 5 : Résolution spatiale et UMC.	22
Figure 6 : Types de géométries (source : https://docs.qgis.org).	24
Figure 7 : Principe des réflexions spéculaires ("sunglint").....	27
Figure 8 : Exemple d'effet de réflexion spéculaire.	28
Figure 9 : Exemples d'égalisations radiométriques.	29
Figure 10 : Exemple d'AOI tronquant une zone de mangrove.....	31
Figure 11 : Choix de l'échelle de digitalisation.....	32
Figure 12 : Comparaison de compositions colorées.....	33
Figure 13 : Diagramme espace-temps des principaux indicateurs de trait de côte.....	34
Figure 14 : Illustration schématique des indicateurs retenus.	35
Figure 15 : Représentation schématique de la ligne de première végétation (source: Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau).	36
Figure 16 : Schéma type de la structure de plage.	38
Figure 17 : Structure de mangrove type en Nouvelle Calédonie.	40
Figure 18 : Schéma type des récifs en Calédonie (frangeant et barrières).	42
Figure 19 : LPV, cas générique (composition colorée NIR - Vert - Bleu).....	44
Figure 20 : Limites LPV en zone estuarienne.	45
Figure 21 : LPV sur côte artificialisée.	46
Figure 22 : LPV ténue sur substrat sableux.	47
Figure 23 : LPV et falaise.....	48
Figure 24 : LPV sous canopée.....	49
Figure 25 : LPV et éboulement côtier.	50
Figure 26 : LPV, aménagement hors d'eau.	51
Figure 27 : Cas générique d'une plage de sable à sédiments clair.	52
Figure 28 : Exemples de limites externes de plages à sédiments sombres.....	53
Figure 29 : UMC de plage.	54
Figure 30 : Plage d'exutoire.....	55
Figure 31 : Accumulation sédimentaires en estuaire.....	56
Figure 32 : Plage à sédiments sombres	57
Figure 33 : Plage en bord de mangrove.	58
Figure 34 : Exemple de limite de plage à marée haute (gauche) et basse (droite).....	59
Figure 35 : Limite externe de plage (bedrock).	60
Figure 36 : Exemple de vasière.	61
Figure 37 : UMC de mangrove.	62
Figure 38 : Cas générique d'une mangrove d'estuaire.	63
Figure 39 : Cas générique d'une mangrove de fond de baie.	64

Figure 40 : Patch de mangrove dense.....	65
Figure 41 : Patch de mangrove clairsemée.....	66
Figure 42 : Mangrove d'îlot.....	67
Figure 43 : Chenaux de mangrove.....	68
Figure 44 : Exemple d'ombre portée.....	69
Figure 45 : Aménagement sur mangrove.	70
Figure 46 : Inclusions végétales.	71
Figure 47 : Exemple d'entité limitée par la couverture de la donnée source.	72
Figure 48 : Exemple de récif.....	73

Liste des tableaux

Tableau 1 : Tarification PHR-UIA en vigueur (2019).	18
Tableau 2 : Correspondances échelles, résolution et UMC.....	22
Tableau 3 : Attributs des entités LPV.....	37
Tableau 4 : Attributs des entités plage.....	39
Tableau 5 : Attributs des entités mangroves.....	41
Tableau 6 : Attributs des entités récif frangeant.....	43

Glossaire

SIG	Système d'Informations Géographiques
AOI	Area of Interest = Zone d'intérêt
UIA	Utilisateur Institutionnel Autorisé
THR	Très Haute Résolution (pixel inférieur à 1m)
HR	Haute Résolution (pixel compris entre 1 et +/- 30m)
CN	Couverture Nuageuse d'une image satellite
RGB	Red-Green-Blue (Canaux Rouge Vert et Bleu)
IR	Infra Rouge
PIR	Proche Infrarouge
NIR	Near Infra-Red (Proche Infrarouge)
TdC	Trait de Côte
RMS	Root Mean Square = Erreur Quadratique Moyenne
TOC	Top of Canopy (Calibration radiométrique)
GEOBIA	Geographic Object Based Image Analysis (Analyse géographique d'image orienté objet)
TYPOLOGIE	Elaboration des types facilitant une classification d'objets complexes
CLASSIFICATION	Processus d'attribution d'un objet à une classe basée sur une typologie
ORIGINE	Etat d'un objet sur l'année antérieure
UMC	Unité Minimale de Collecte, exprimée en surface ; définit la taille des objets non concernés par la typologie

1. INTRODUCTION

La zone littorale se trouve à l'interface entre la mer, la terre, l'atmosphère, les fleuves et parfois les infrastructures humaines. C'est un milieu fragile et dynamique soumis à des processus naturels ou anthropiques qui lui donne une dynamique rapide caractérisée par des aléas de submersion et d'érosion.

Il existe une multitude d'indicateurs de suivi et autant de méthodes, chacune avec ses propres avantages et inconvénients. Ce document se focalise sur le cadre de mise en œuvre des techniques de digitalisation à partir de données optiques de télédétection (imagerie satellite, aérienne ou drone).

2. OBJET ET CONTEXTE

Faisant suite aux réflexions menées dans le cadre du séminaire OSS NC (« Observation Spatiale au Service de la Nouvelle Calédonie », Juillet 2019) et plus précisément lors de l'atelier dédié à la problématique au suivi du trait de côte du 10 Juillet 2019, INSIGHT propose ici de générer un **guide méthodologique** en trois parties, ayant pour but de garantir l'homogénéité et la reproductibilité des projets de digitalisation à venir pour le suivi du trait de côte en NC :

- 🌐 Une première partie qui comprend un rappel des **notions théoriques de base** sur les outils de suivi du trait de côte et fera un focus sur l'outil satellitaire ;
- 🌐 Une seconde partie traitera plus concrètement de la **digitalisation du trait de côte**. Elle visera notamment à définir autant que possible les indicateurs de suivi retenus ainsi que leurs règles de digitalisations correspondantes ;
- 🌐 Une troisième partie visera à cataloguer les **cas particuliers** où les règles précédemment énoncées ne pourraient s'appliquer.

Ce document s'appuie en grande partie sur le retour d'expérience acquise par l'équipe technique d'INSIGHT lors du projet mené pour le compte la cellule « Gestion du Trait de Côte » (DAF/SAGE) de la Province Nord.

« Dans le cadre de sa gestion du trait de côte, la province Nord travaille à des échelles de temps et d'espace variables. Sa priorité étant la protection des personnes et des biens. La recherche de compréhension et de suivi de l'évolution du trait de côte au droit d'un enjeu menacé s'est toujours faite à l'échelle de la cellule hydro-sédimentaire, à partir de données de qualités variables. Quasiment toujours face à des situations d'urgence, la réalisation d'ouvrage de protection reste « la » solution.

Il s'est avéré nécessaire d'avoir une vision homogène à l'échelle du littoral de toute la province Nord, ceci pour avoir une donnée de référence de qualité afin mieux comprendre les évolutions passées pour pouvoir anticiper celles à venir. Ce travail permettrait d'aboutir à une liste exhaustive des enjeux qui pourraient être menacés dans un avenir plus ou moins proche pour lesquelles une réflexion bien en amont pourra se faire pour trouver les meilleures solutions à apporter en concertation avec les populations concernées.

Pour la première étape de ce travail, l'imagerie satellitaire a été identifiée comme l'outil le plus approprié disponible en Nouvelle Calédonie, pour identifier à l'échelle du territoire concerné, soit plus de 2 500 km de côte, différents indicateurs d'évolution et de vulnérabilité du trait de côte.

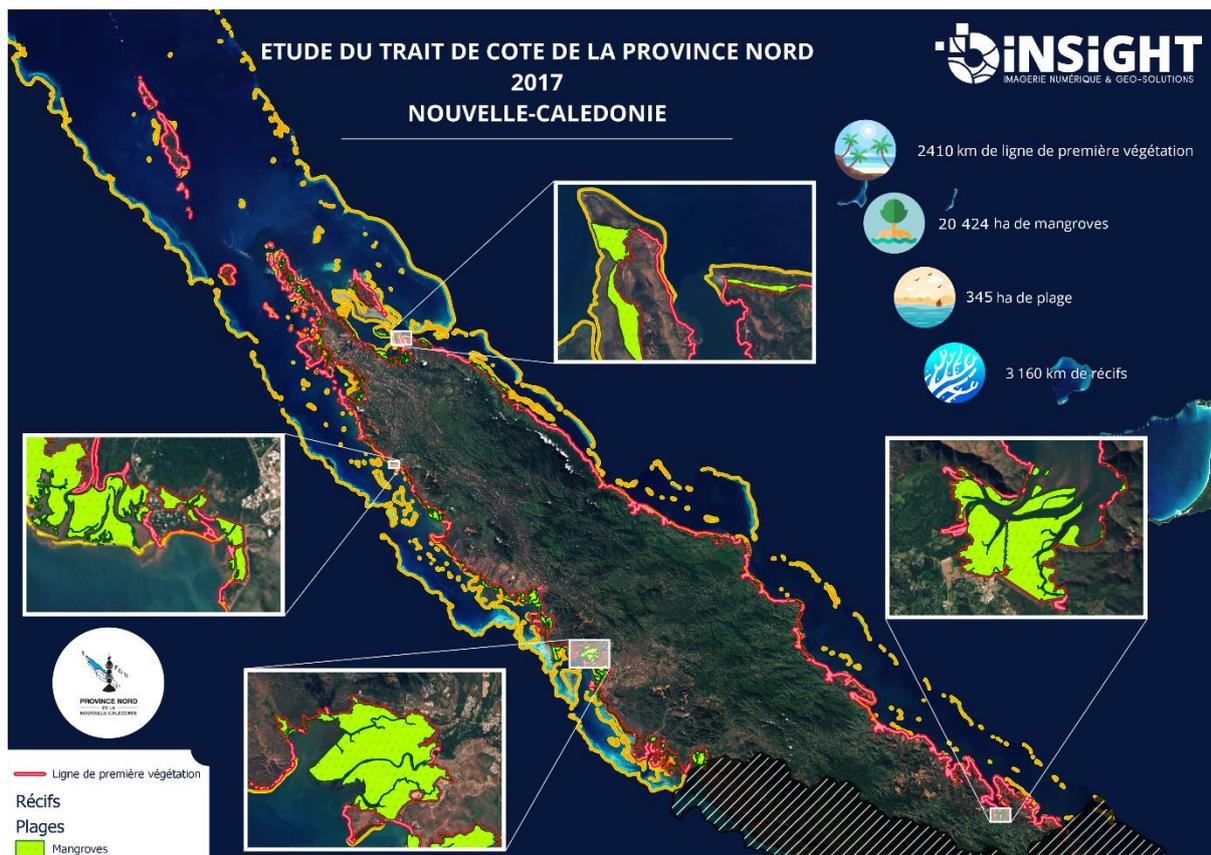


Figure 1 : Bilan visuel de l'étude du trait de côte menée par INSIGHT SAS (2018).

Les résultats ont été concluants malgré un certain nombre de difficultés qui ont pu être surmontées grâce à la forte implication du prestataire INSIGHT dans ce projet innovant. Des leçons sont à retenir de cette expérience, avec un travail en concertation souhaité par la province Nord avec les autres provinces, le gouvernement et les chercheurs. Une synergie entre les différents acteurs est à trouver pour ce projet comme pour d'autres projets à venir. »

Source : CRR Atelier Trait de Côte, Séminaire OSS 2019 (ART Geodev NC)

3. PARTIE I : NOTIONS THEORIQUES

Cette première partie vise à donner les bases théoriques sur les principes de la télédétection spatiale appliquée au suivi du trait de côte.

Ces notions sont importantes à appréhender car elles aident à mieux cerner les avantages et limites de cette méthodologie de suivi.

3.1. Les méthodologies de suivi

Il existe deux types d'approches pour déterminer la position du trait de côte :

Levés terrain

Télédétection (ou mesure à distance)

Chacune de ces approches possède de multiples possibilités en termes de données d'entrée.

Pour les mesures terrain on utilisera des outils tels que les récepteurs GPS (en mode naturel, DGPS voir RTK en fonction des besoins de précision), le théodolite...

Pour la télédétection, différents vecteurs telles que les drones, les avions, les satellites, etc., chacun de ces vecteurs pouvant emporter des capteurs différents.

De surcroît, à chaque type de donnée d'entrée correspond plusieurs méthodes de traitement. Il n'existe pas de méthodologie parfaite et l'objet de ce document n'est pas d'en discuter les avantages ou inconvénient. En effet, aucune n'est spécifiquement meilleure qu'une autre et elles sont simplement plus ou moins adaptées suivant le besoin concerné.

Ce guide se focalise sur l'approche par télédétection du suivi du trait de côte et plus particulièrement aux données issues d'**imageurs satellites optiques** qui permettent de couvrir de vastes surfaces à des résolutions permettant un suivi du trait de côte à l'échelle d'un pays ou d'une Province.

Ces satellites sont plus généralement appelés « satellites d'observations de la Terre ».

3.2. Les satellites d'observation de la Terre

Au 1^{er} Avril 2019, **2.063** satellites tournaient en orbite au-dessus de la Terre, dont **38%** étaient destinés à l'observation de la Terre (source : <https://www.futura-sciences.com/>), tous domaines confondus : climat, précipitations, surveillance... Parmi tous ceux-ci seule une poignée sont d'intérêt pour le suivi du trait de côte au niveau pays (notions de résolution, revisite, emprise...).

Les plus connus par les utilisateurs standards français sont **SPOT, Pléiades, WorldView, Landsat 8 ou Sentinel 2**. Ceux-ci sont en orbite basse (400 à 650 km d'altitude) et dits « héliosynchrones » (synchronisés avec le soleil et passant aux mêmes heures localement). Ils sont équipés de capteurs qui mesurent la lumière (énergie d'un rayonnement électromagnétique) reçue, correspondant à la lumière du soleil réfléchi par la surface du sol (on parle de capteur passif, « optique »). Ils sont donc généralement mis en défaut par une couverture nuageuse trop importante.

3.2.1. *L'information satellitaire*

Les capteurs des satellites optiques fournissent des informations dans les domaines visible et invisible du spectre lumineux.

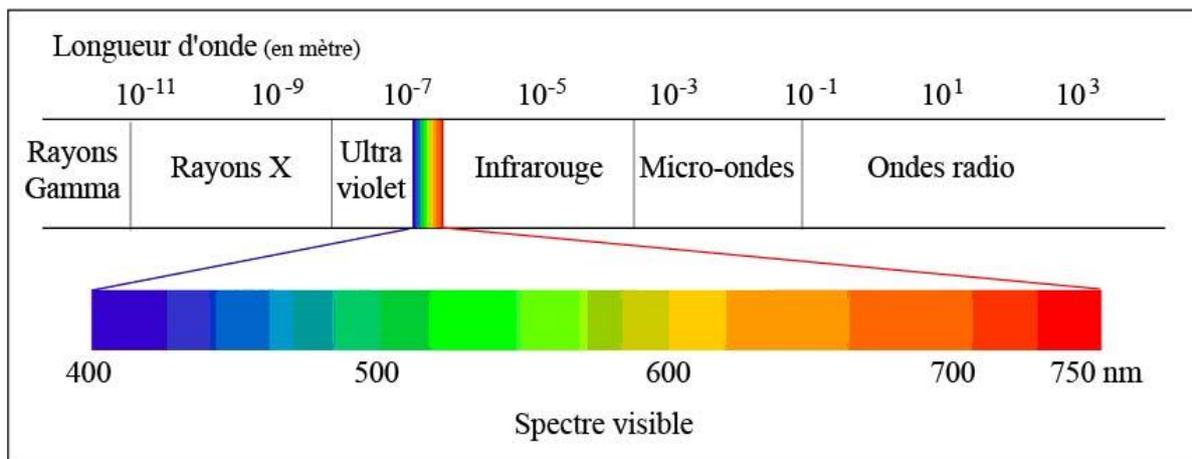


Figure 2 : Longueur d'onde du spectre lumineux.

La Figure ci-dessus montre que la sensibilité de l'œil humain porte sur une tranche réduite du large spectre électromagnétique. L'avantage des capteurs satellitaires est de pouvoir mesurer des rayonnements invisibles pour l'œil humain, permettant ainsi d'enrichir les données.

Par exemple les radiations infrarouges (proche infrarouge [PIR], moyen infrarouge [MIR] et infrarouge lointain [LIR]) permettent, entre autres, d'apprécier :

-  L'humidité des sols
-  Le couvert végétal (activité, stress hydrique...)

Cette information supplémentaire constitue une aide précieuse pour extraire les informations relatives au trait de côte et notamment d'indicateurs tels que la ligne de végétation pérenne.

À chaque objet du sol correspond alors un ensemble de valeurs radiométriques appelées réflectances dans chacune des parties du spectre : il s'agit de la signature spectrale de l'objet (cf. Figure ci-dessous).

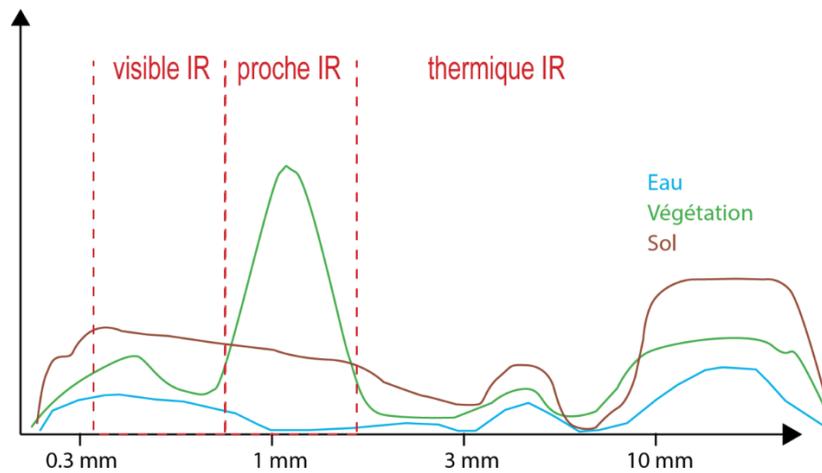


Figure 3 : Exemple de signatures spectrales (bandes IR).

Par exemple, l'eau présente un très faible signal dans le PIR tandis que celui de la végétation est élevé. Ainsi, l'information fournie par cette bande sera pertinente pour identifier les zones en eau ou la végétation.

À titre d'information, les bandes bleue et verte sont celles qui pénètrent le mieux dans l'eau ; ce sont elles qui seront privilégiées pour des applications de type bathymétrie.

3.2.2. Les caractéristiques des images

Les capteurs satellitaires présentent différentes capacités techniques regroupées sous la dénomination de « résolutions ». On distingue principalement 4 types de résolutions :

-  Spatiale,
-  Spectrale,
-  Radiométrique,
-  Temporelle.

Elles fonctionnent comme un balancier dans lequel un équilibre doit toujours être respecté : il n'existe pas (encore) de satellite unique possédant de très bonnes résolutions spatiale ET spectrale ET radiométrique ET temporelle. C'est pour cela que l'on développe des constellations de satellites permettant de pallier chacune des limitations.

-  La **résolution spatiale** est la taille du plus petit élément discernable sur l'image. Elle est également définie (par abus de langage, accepté de tous) comme étant la taille du pixel. On notera que la distinction entre ces 2 termes dans le cas de la détection active est plus importante. Les satellites optiques Pléiades (1A et 1B) proposent des images de 50 cm de résolution spatiale (après rééchantillonnage). Le prochain satellite Français (2020) de la société Airbus proposera des images d'une résolution spatiale de 30 cm tout comme son homologue américain WorldView-3 de la société Digital Globe. Il est intéressant de conserver à l'esprit que, d'une manière générale, plus la résolution spatiale est fine, plus la fauchée (couverture latérale du capteur) est limitée.
-  La **résolution spectrale** est la capacité du satellite à discriminer les signaux de différentes longueurs d'ondes. Plus la bande du capteur est fine, plus sa résolution spectrale est bonne. Ainsi le nombre de bandes du capteur, s'il rentre en compte dans la discrimination des signaux, n'est pas le seul facteur à prendre en compte pour caractériser la résolution spectrale. Le satellite américain Landsat possède des bandes multispectrales d'une résolution spatiale de 30m et une bande panchromatique (une seule bande spectrale très large) d'une résolution spatiale de 15m. C'est donc en diminuant la résolution spectrale que ce capteur peut améliorer sa résolution spatiale (x2).
-  La **résolution radiométrique** est la capacité du capteur à discriminer des petites variations d'énergie électromagnétique. C'est le nombre de bits utilisés pour enregistrer l'image qui régit le nombre maximum de niveaux d'intensités disponibles.
-  La **résolution temporelle** du capteur correspond au temps que met le satellite pour repasser au-dessus de la même zone, plus communément définie comme la « capacité de revisite » du capteur. Celle-ci est en outre nettement améliorée par la capacité d'un satellite à « dépointer » (regarder sur les côtés, devant, derrière...).

Source : <https://georezo.net>

3.2.3. *L'exploitation des images satellites*

Deux grandes familles de traitement peuvent être utilisées avec les images satellites :

-  **Digitalisation** par photo interprétation
-  **Classification** semi-automatique/automatique

D'expérience, l'on sait que les résultats issus de traitements automatiques sont à considérer comme des aides permettant de diminuer le temps moyen nécessaire à la cartographie du trait de côte. En effet, les méthodes de classification automatisée sont généralement plus rapides à donner des résultats que les méthodes manuelles de photo-interprétation.

Les méthodes automatiques peuvent néanmoins présenter certaines limitations telles que des confusions entre classes, des aberrations, des décalages...

Ainsi il est bien souvent nécessaire de compléter/corriger le rendu par photo-Interprétation.

Il n'est cependant pas impossible que l'amélioration des procédés (IA, deep Learning...) puisse aboutir dans le futur à des méthodologies complètement automatisées.

3.2.4. Les atouts de l'imagerie satellitaire

Du fait de leur capacité de revisite élevée (de l'ordre de quelques jours), les satellites d'observation permettent d'effectuer un suivi régulier de larges zones et d'assurer ainsi une certaine continuité des mesures nécessaires à l'observation des dynamiques d'évolutions du trait de côte et des paysages en général.

L'emprise au sol des images satellites Très Haute Résolution (THR) étant par ailleurs relativement large (20 km de large pour Pléiades), une information temporellement homogène sur la surface d'une Province voire du pays peut être extraite.

Les satellites THR sont de plus en plus nombreux et de plus en plus résolus (les images ont une résolution de 50 cm pour les satellites Pléiades). L'avantage de ces satellites est de pouvoir détecter et enregistrer des rayonnements non visibles par l'œil humain et par conséquent d'apporter des informations complémentaires, telles que les radiations infrarouges par exemple, qui fournissent des informations sur la végétation, l'eau, etc.

De plus, l'utilisation d'acquisitions en stéréoscopie, c'est-à-dire avec des angles de visée différents, permet de construire des modèles numériques de surface (MNS) à partir d'images satellites et ainsi fournir des informations de reliefs actualisées.

La télédétection permet en outre l'utilisation d'indices mettant en exergue certains paramètres physiques du paysage observé. Par exemple, l'indice le plus communément utilisé est l'indice **NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index), qui donne des informations sur l'activité de la végétation (niveau d'activité chlorophyllienne) et permet d'identifier plus facilement le couvert végétal. La télédétection permet par ailleurs d'envisager des méthodes d'analyse automatisées (classification, segmentation...).

Dans le domaine de l'accès à la donnée, le contexte évolue également rapidement :

-  **Tarifs** en diminution,
-  Programmes de **mise à disposition** de données satellitaires (DINAMIS, Geosud, Copernicus...),
-  Développement de **logiciels libres** (OrfeoToolBox, QGIS...).

D'une manière générale, l'ouverture à la donnée et aux outils de traitement d'images tend à se généraliser, notamment pour les services institutionnels.

L'ensemble de ces facteurs permet de dire que le monde de l'observation de la Terre par satellite est dans une phase de maturité inédite et que les images satellites constituent un outil pertinent pour accompagner de manière opérationnelle les différents acteurs de la gestion du territoire, ce notamment dans le domaine de la cartographie et du suivi du littoral.

3.3. Focus Pléiades THR

Il est important de considérer ici le cas particulier du capteur Pléiades THR pour plusieurs raisons telles que décrites ci-après.

Le système Pléiades a été développé par le CNES, sur financement étatique :

- 90% venant du gouvernement français,
- 10% venant d'Autriche, Belgique, Espagne et Suède.

3.3.1. *Capacités*

La constellation Pléiades se compose de deux satellites jumeaux :

- **Pléiades 1A** a été lancé le 17/12/2011, en service régulier depuis juin 2012.
- **Pléiades 1B**, a été lancé le 2/12/2012, il est en service régulier depuis mars 2013.

Les 2 satellites décrivent une orbite à 694 km d'altitude faisant un angle constant avec la direction du soleil (orbite héliosynchrone) et les passages sur tout point du globe s'effectuent toujours en fin de matinée (10:15 Heure locale NC).

Les couvertures sont obtenues sous forme de bandes de 20 km de large et de 200 km de long maximum, généralement orientées selon la direction Nord-Sud géographique (le satellite est piloté ainsi pendant la prise de vue). La prise de vue peut également être réalisée suivant un cap imposé pour suivre un cours d'eau ou une côte par exemple.

3.3.2. *Image*

Un produit Pléiades est issu d'un capteur imageur fournissant des images dans 5 domaines de longueur d'ondes ou bandes spectrales dites Rouge, Vert, Bleu, proche-infrarouge et panchromatique. Pour chaque prise de vue, les modes panchromatique et multispectral sont acquis simultanément. Les images de la bande panchromatique sont acquises à la résolution native de 70 cm et les images des autres bandes spectrales (XS) sont acquises à la résolution de 2,8 m.

La qualité des images acquises permet un pas de rééchantillonnage équivalent à 50cm sol (panchromatique) et 2m (XS). Il est également possible de se procurer des produits fusionnés qui sont le fruit d'un traitement d'image combinant les informations des produits panchromatique et XS à une même résolution de 50cm.

Bandes spectrales :

-  Panchromatique : 470 - 830 nanomètres
-  Bleu : 430 - 550 nanomètres
-  Vert : 500 - 620 nanomètres
-  Rouge : 590 - 710 nanomètres
-  Proche infra-rouge : 740 - 940 nanomètres

3.3.3. Accès et distribution

Sur le secteur civil, Airbus opère une Délégation de Service Public (DSP) pour le compte du CNES, afin de servir de façon privilégiée une communauté d'Utilisateurs Institutionnels Autorisés (UIA) issus des pays Européens contributeurs :

-  Un quota de 40% de la capacité d'acquisition du système leur est réservé
-  Les UIA bénéficient de conditions tarifaires préférentielles, correspondant aux coûts d'exploitation du système (programmation des satellites et production des données).

Les Utilisateurs Institutionnels Autorisés (UIA) peuvent exploiter ces images dans l'exercice de leurs missions de service public, à condition que celles-ci ne revêtent pas de caractère commercial. Un UIA peut avoir recours à un prestataire privé pour l'exploitation des images dans le cadre d'une de ces missions de service public. L'acquiescement par un UIA d'une licence DSP sur des produits Pléiades entraîne la gratuité de ces mêmes produits pour tous les autres UIA qui en feraient la demande, moyennant la signature de la licence DSP par tout utilisateur supplémentaire.

La DSP prévoit que le prix acquitté par les UIA pour l'accès à une licence d'utilisation des images est construit sur les coûts d'exploitation et de production, contrôlés par le CNES. Les tarifs sont susceptibles de révision annuelle (cf. 3.3.4).

3.3.4. Tarification

Les images Pléiades sont la propriété du CNES et sont exploitées commercialement par Airbus.

Le CNES a mis en place un financement qui permet d'offrir un accès gratuit aux images Pléiades, pour les institutionnels français comme pour les scientifiques, sous réserve de l'acceptation de leur demande. Pour les emprises à couvrir les plus importantes ou pour les demandes répétées, il peut être demandé une participation ou le financement total de la demande d'images, ce dans des conditions particulièrement avantageuses. Le montant de cette participation est établi d'après les tarifs de la Délégation de Service Public ci-dessous.

Avec un minimum de commande fixé à 100 km², la tarification établie à date est la suivante :

Tableau 1 : Tarification PHR-UIA en vigueur (2019).

Tarifications Utilisateurs Institutionnels Autorisés Français (UIA)			
	Mono	Stéréo	Tri-Stéréo
Archive	1.40 Euros / Km ²	X2	X3
Programmation Standard	1.80 Euros / Km ²	X2	X3
Programmation prioritaire	2 Euros / Km ²	X2	X3

Si les images disponibles en archive au catalogue Airbus ne répondent pas au besoin, la programmation d'acquisitions permet de spécifier :

-  Une zone d'intérêt
-  Les conditions de prise de vue (angle maximum)
-  La période d'observation

La programmation prioritaire est nécessaire pour augmenter les chances de succès lorsque le nombre de créneaux pour satisfaire la demande est faible (période d'acquisition restreinte ou angles très contraints). Cette priorité permet à la demande d'être traitée préférentiellement aux demandes potentiellement concurrentes.

3.4. Echelle et Résolution

3.4.1. *Notions d'Echelle*

L'échelle représente le rapport entre une distance mesurée sur la carte et la distance réelle sur le terrain.

Exemple : si 2 cm sur la carte (ou l'écran) représentent 1 km terrain, alors l'échelle est de :

$$\frac{\text{Distance sur la carte}}{\text{Distance sur le terrain}} = \frac{2}{100\ 000} = \frac{1}{50\ 000}$$

L'échelle est donc de 1/50 000, 1 cm sur la carte correspond à 50 000 cm (500m) sur le terrain.

La notion d'échelle peut ainsi porter à confusion parce qu'une carte dont l'échelle est grande représente un petit territoire et vice-versa.

C'est pourquoi par la suite nous parlerons plutôt d'échelle fine ou grossière.

3.4.2. *Notion de résolution*

Le terme de résolution spatiale est associé à la taille des pixels de l'image de référence utilisée pour réaliser la carte. Elle détermine la taille des plus petits objets détectables donc cartographiables. La résolution définira ainsi la taille minimale des objets qui pourront être identifiés lors du traitement de l'image.

Quel que soit le zoom réalisé sur la carte, la résolution maximale restera contrainte par celle de l'image de référence. Ci-dessous une comparaison de deux images aux résolutions différentes, à gauche 10 m pixel, à droite 0,5 m pixel.



Figure 4 : Visualisation de résolutions spatiales différentes.

On note que les unités paysagères cartographiables ne sont pas identiques.

3.4.3. *Notions de numérisation et de restitution*

La **numérisation** ou digitalisation dans le domaine des SIG est la conversion d'un support image (ou raster) vers une donnée de type vecteur.

L'échelle de restitution représente l'échelle à laquelle on souhaite modéliser un phénomène ou un marqueur, il en découle le niveau de détails que l'on souhaite atteindre.

Les échelles de numérisation et de restitution cartographique doivent être adaptées au site d'étude et aux objectifs fixés. De plus ces choix sont à réfléchir préalablement et à fixer en anticipation de tout appel d'offres et en fonction des données utilisées car c'est la résolution spatiale qui va être limitante.

De plus, l'échelle de numérisation doit toujours être supérieure à l'échelle de restitution afin de garantir un résultat conforme aux attentes.

3.4.4. Quelle résolution spatiale pour quelle échelle ?

La résolution spatiale du capteur utilisé doit être suffisante afin de minimiser l'erreur de calcul de l'aire des surfaces que l'on souhaite modéliser ou UMC (Unité Minimale de Collecte).

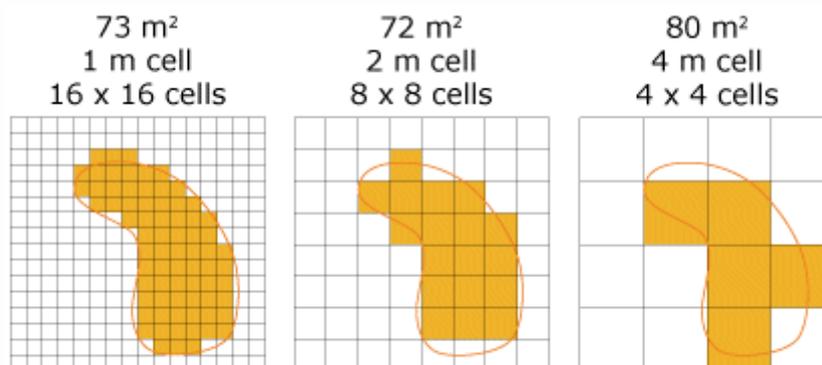


Figure 5 : Résolution spatiale et UMC.

Une règle empirique suggère que la limite de résolution d'un capteur soit d'environ un cinquième de la plus petite unité interprétable requise.

Dans le cas d'une unité minimale cartographique (UMC) de 5 m × 5 m, un capteur ayant une limite de résolution de 1 m permet toujours d'enregistrer 16 pixels purs (16 m²) sur 25, ce qui donne une erreur d'au plus 30 % (cas d'une unité au sol de couleur relativement homogène et bien contrastée par rapport à son voisinage). Dans le cas où l'unité se caractérise par une texture plutôt que par une couleur, il est préférable d'avoir un pouvoir de résolution plus élevé pour la faire ressortir.

Le tableau présenté ci-après récapitule la résolution du capteur préconisée selon l'échelle envisagée pour la cartographie du trait de côte ainsi que les échelle de numérisations préconisées.

Tableau 2 : Correspondances échelles, résolution et UMC.

Echelle de restitution	Echelle de numérisation	Résolution spatiale Min.	UMC
1 : 2 500	1 : 1000	0.5 m	5 m x 5 m, soit 25 m ²
1 : 5 000	1 : 2 500	1 m	12 m x 12 m, soit 150 m ²
1 : 10 000	1 : 5 000	2 m	25 m x 25 m, soit 600 m ²
1 : 25 000	1 : 12 500	5 m	60 m x 60 m, soit 4.000 m ²



3.5. Format de vecteur

Une fois digitalisés, les indicateurs retenus doivent être stockés sous forme de **vecteurs** numériques pour en permettre l'analyse a posteriori.

Les données vecteurs fournissent un moyen de représenter le monde réel par des entités (éléments visibles dans le paysage) dans l'environnement SIG.

Elles peuvent prendre la forme de :

-  Points
-  Lignes (ou polygones)
-  Polygones (ou multi-polygones)

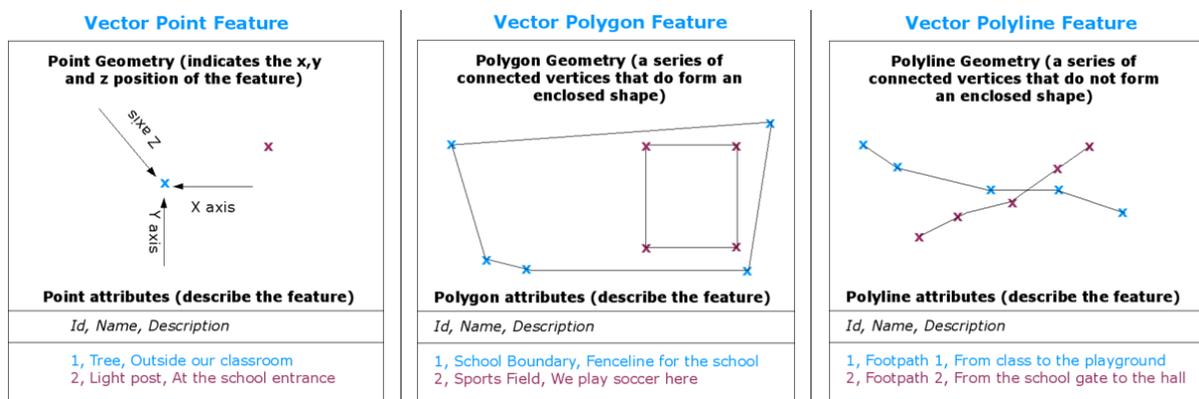


Figure 6 : Types de géométries (source : <https://docs.qgis.org>).

Les données vecteurs ont des attributs, qui se composent d'informations texte ou numériques qui décrivent les entités. Les caractéristiques de sa forme sont représentées en utilisant la **géométrie**. Celle-ci est constituée d'un ou plusieurs sommets interconnectés, chaque sommet étant décrit par sa position dans l'espace en utilisant un X, un Y et **éventuellement un axe Z**.

Le format final de la donnée n'est pas discuté ici car tributaire des solutions logicielles à disposition des utilisateurs (QGIS, ArcGIS, PostgreSQL/Post GIS...).

3.6. Élévation

Comme détaillé ci-avant, la géométrie des entités vectorielle permet de stocker, outre le X et le Y, des informations sur le **Z, dit « élévation »**.

L'élévation ou altitude d'un indicateur est une donnée spatiale primordiale dans le suivi et la gestion des zones littorales. Il fait souvent défaut à la donnée vectorielle et devrait, dès lors qu'il est disponible, être intégré.

Il convient toutefois d'être vigilant sur le **référentiel altimétrique** (NGNC, zéro hydrographique, niveau moyen des mers...) utilisé. Si cette donnée est présente, alors le référentiel altimétrique devra être renseigné dans les métadonnées du fichier vecteur.

4. PARTIE II : GUIDE PRATIQUE DE DIGITALISATION

La partie qui suit est destinée à donner à l'opérateur de digitalisation (ou numérisation) un cadre et un ensemble de règles afin d'assurer au mieux la qualité et la reproductibilité de ce type d'études.

Nous viserons dans un premier temps à décrire les **bonnes pratiques de digitalisation** afin d'assurer la qualité du produit fini.

Dans un second temps, nous poserons un ensemble de **règles décisionnelles thématiques** qui permettront à l'opérateur de réaliser la digitalisation en limitant les possibles « interprétations » propres à chaque individu selon sa sensibilité au domaine et son expertise thématique.

A chaque fois que cela aura été jugé pertinent, un encart (comme illustré ci-dessous) aura été intégré afin de mettre en avant les notions importantes, à considérer par exemple en cas de rédaction de cahier des charges en vue d'une consultation.



4.1. Donnée source

4.1.1. *Choix de la donnée source*

Comme détaillé précédemment, il n'existe pas d'imageur satellite idéal et il s'agit bien là de trouver un équilibre en fonction des besoins finaux d'une part et des budgets d'autre part.

Dans le cadre de l'étude menée avec la Province Nord, il a été décidé d'opter pour le satellite Pléiades pour plusieurs raisons :

-  **Résolution spatiale** adaptée à un suivi à l'échelle de la Province
-  **Capacité de revisite** permettant l'acquisition de grandes zones sur une fenêtre temporelle réduite
-  **Les tarifs** : le satellite ayant été financé par des institutions françaises, l'ensemble des UIA ont un accès privilégié à cette donnée (1,8 €/km² en programmation, soit près de 10 fois moins qu'un utilisateur standard).

Le suivi des dynamiques littorales et des phénomènes qui les caractérise nécessite l'emploi d'imagerie THR (résolution spatiale > 1m), ceci afin de permettre une modélisation des phénomènes à une échelle suffisamment fine.



L'accès à la Licence dédiée aux UIA pour des données Pléiades THR ne peut pas se faire dans le cadre d'un Appel d'offres (régulation CNES). Ainsi l'acquisition de donnée Pléiades devra se faire en marge de toute consultation relative au traitement de celle-ci. **INSIGHT SAS est le point de contact privilégié dans le Pacifique Sud pour faciliter l'accès à ces données.**

4.1.2. Paramètres d'acquisition

Angles d'acquisition

La majorité de capteurs optiques très haute résolution ont la capacité de dépointer leur optique afin de potentiellement offrir une couverture/revisite plus importante.

Ce dépointage doit néanmoins se faire dans certaines limites afin de ne pas trop perturber la qualité géométrique des images acquises.

Dans la majeure partie des applications, il est préférable de considérer des données ayant un angle de prise de vue en-deçà d'un certain seuil, du fait principalement de distorsions générées par un angle d'incidence trop important.



Il est conseillé que les angles de prise de vue n'excèdent pas **20°**

Dans certaines conditions, il est possible de voir apparaître un effet de « sunlint », qui se produit lorsque la lumière du soleil se reflète sur la surface de l'océan selon le même angle d'observation que le capteur.

Dans la zone touchée de l'image, l'eau se transforme en un miroir argenté ; celle-ci dépend à la fois des angles solaires et d'acquisition, mais également des états de mer (vents, vagues ...) Ces derniers facteurs limitent en outre toute possibilité des fournisseurs de garantir une absence de ce type de phénomènes sur les images acquises.

Il est toutefois possible de mitiger cet effet de sunlint en agissant sur les angles d'acquisition.

Il est donc important de considérer ces effets pour toute commande des données d'imagerie spatiale ; selon les fournisseurs il sera possible ou non de paramétrer les acquisitions en fonction des besoins.

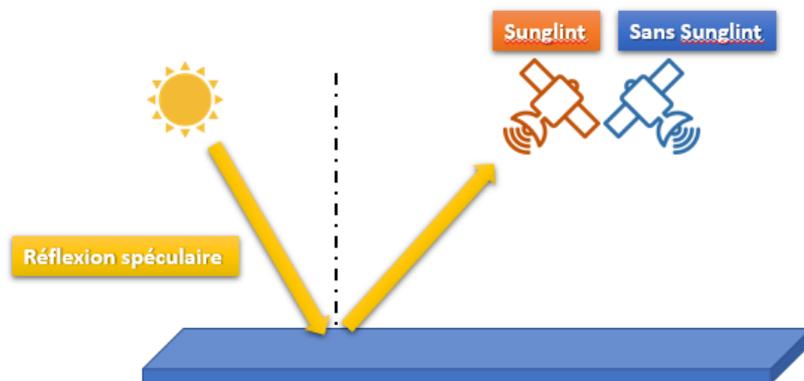


Figure 7 : Principe des réflexions spéculaires ("sunlint").

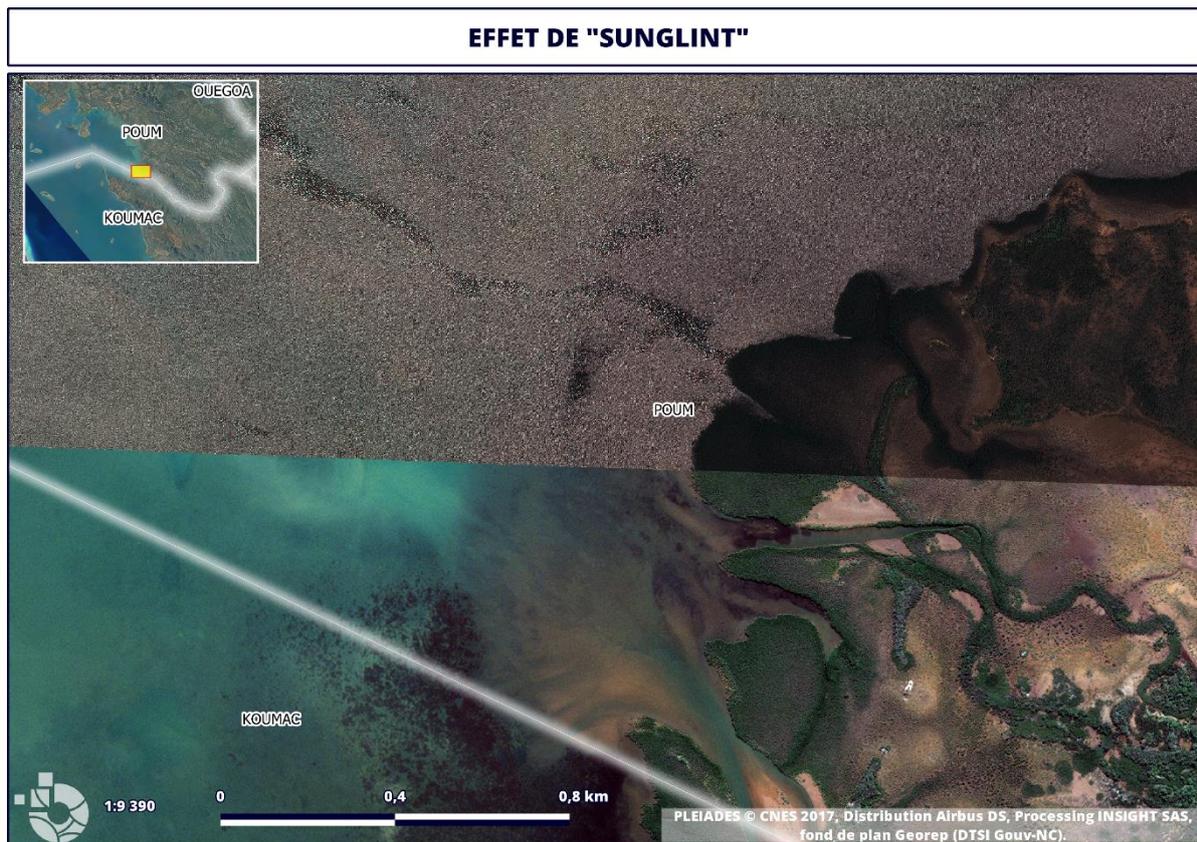


Figure 8 : Exemple d'effet de réflexion spéculaire.

Il est à noter toutefois qu'une programmation prenant en compte ce phénomène peut potentiellement allonger le délai d'acquisition puisqu'elle ne considère que la moitié des angles d'acquisition possibles.



Les angles de prise de vue devront idéalement être adaptés afin de minimiser les effets de **réverbération du soleil sur les surfaces en eaux**.

4.2. Support de digitalisation

4.2.1. *Profondeur du pixel*

Dans l'optique de faciliter la manipulation des images, ces dernières sont très souvent rééchantillonnées.

Alors que la profondeur native des pixels (résolution radiométrique) est généralement proche de 16 bits (12 bits pour Pléiades, 11 à 14 bits pour WorldView 3), un Pixel image de la donnée traitée servant de fond de plan ne sera plus que de 8 bits. Le passage de 16 bits vers 8 bits est une manipulation délicate et doit faire l'objet d'une réflexion en amont. L'idée dans notre cas étant de conserver au maximum les contrastes.

L'interprétation du trait de côte peut être faussé par une image dont la conversion est mauvaise.

L'exemple ci-dessous illustre ce propos : à gauche une image dont nous pouvons dire que la perte de nuances est minimale, à droite on remarque que la partie sableuse de la plage est « brûlée » comme une photo surexposée.



Figure 9 : Exemples d'égalisations radiométriques.



Un soin particulier devra être apporté lors de la conversion 16 bits > 8 bits afin de préserver au maximum les contrastes locaux.

4.2.2. *Ortho-Images unitaires*

Afin d'éviter que les histogrammes des images ne soient trop modifiés et afin de préserver un maximum les contrastes locaux, il est toujours préférable de réaliser la digitalisation sur les ortho-images unitaires, celles-ci n'ayant en théorie pas subi d'harmonisation radiométrique nécessaire à la réalisation d'une mosaïque.

Le produit fini mosaïqué pourra servir quant à lui comme fond de plan générique.



Les ortho-images unitaires RVB+NIR 8 bits doivent faire partie des livrables.

4.2.3. *Format de raster*

Par expérience, la digitalisation requiert une grande fluidité d'affichage : le poste de travail ne doit pas présenter de latence à l'affichage des images sources au risque de générer une perte de temps substantielle.

Il est ainsi primordial de connaître les formats de données optimum suivant les solutions logicielles adoptées pour la numérisation. Cela passe par une bonne connaissance des algorithmes de compression et d'une bonne connaissance des méthodes de pyramidage des images.

On note que le format propriétaire de compression **ecw** (Enhanced compression wavelet ou compression par ondelettes améliorée ©Hexgagon Geospatial) présente une grande fluidité d'affichage et une très bonne portabilité des fichiers (petite taille de fichier). Il doit toutefois être entendu que cette méthode de compression génère des pertes et peut dégrader l'image.



Lorsque cela est possible, la livraison au **format ecw** des rasters peut être intégré au CDC.

4.2.4. Emprise de la zone d'intérêt (AOI)

Il est important de considérer pleinement l'importance de l'emprise de la zone à étudier avant de procéder à toute commande d'imagerie, ce tant au niveau des coûts (facturation à la surface) que pour les entités que l'on cherche à digitaliser.

Une réflexion en amont quant à la manière de constituer la zone d'intérêt est ainsi nécessaire.

Par exemple, un simple buffer autour de la ligne de trait de côte de la BD-TOPO de la DITTT (courbe de niveau à 1m) présente l'avantage d'être facile à constituer, mais va tronquer certaines parties de mangroves notamment. Par ailleurs, certaines surfaces en eaux n'ont que peu d'intérêt et peuvent être limitées suivant les limites de récifs frangeants.

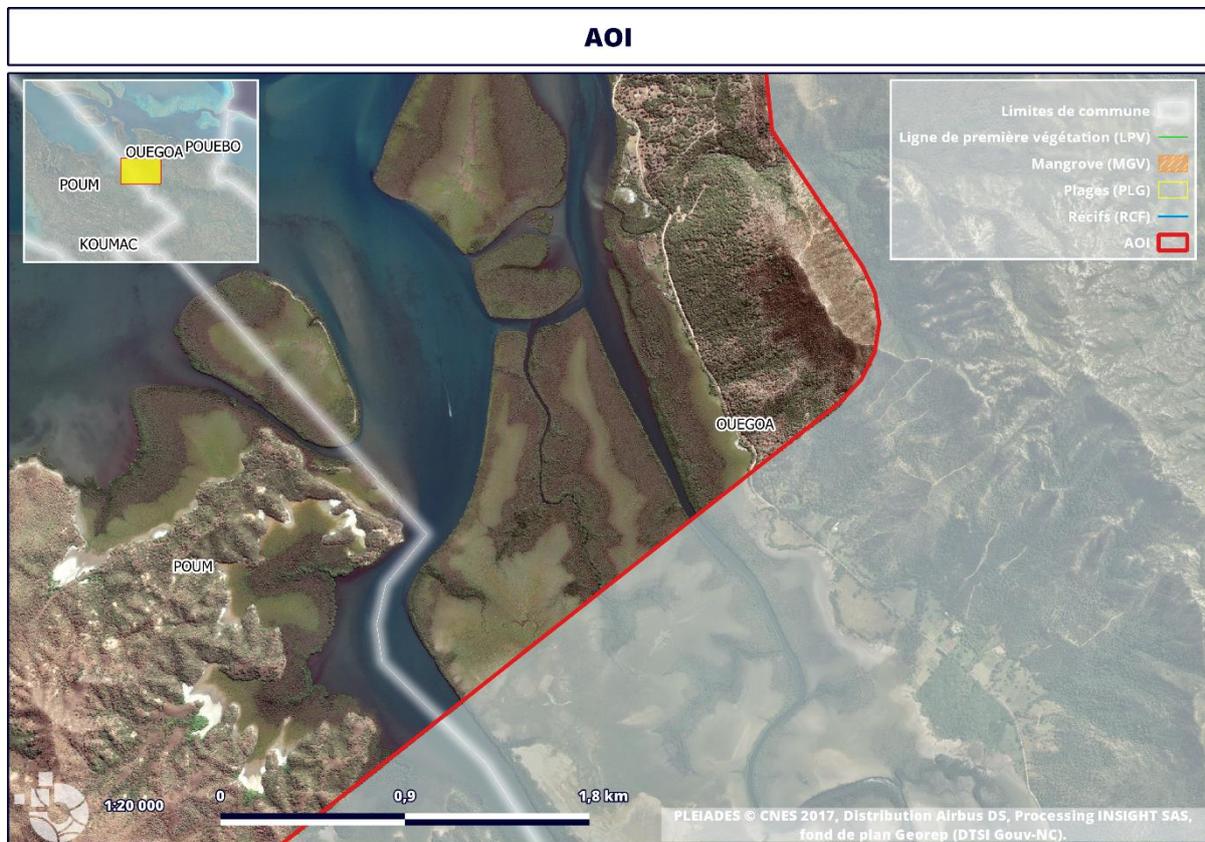


Figure 10 : Exemple d'AOI tronquant une zone de mangrove.

4.3. Environnement de digitalisation

4.3.1. *Echelle de travail*

Comme vu en première partie, il est important de conserver tout au long des opérations de digitalisation une **échelle d'affichage et de levés constante**. Pour une image de 0,5 m de résolution par exemple, nous estimons l'échelle de restitution maximum au 1 : 2.500^{ème}, ce qui nécessite une échelle de digitalisation de 1 : 1.250^{ème}, soit deux fois moins.

En pratique, la majorité des SIG modernes possèdent les fonctionnalités permettant de limiter les effets de zoom/dézoom à des échelles fixes.

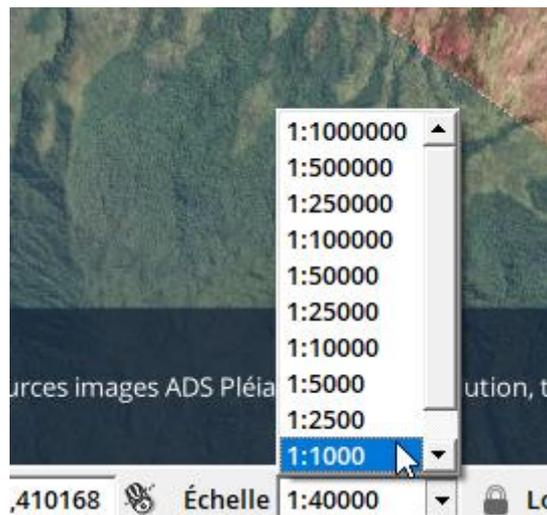


Figure 11 : Choix de l'échelle de digitalisation.

Ce paramètre permet de garantir une densité de points homogène de la couche levée.



Le cahier des charges devra stipuler clairement **l'échelle de restitution** de chacune des couches à numériser. Il pourra également préciser **l'échelle de numérisation** en s'appuyant au tableau de la section (3.4.4).

4.3.2. Composition colorée

Comme expliqué en première partie, les satellites d'observation de la Terre délivrent des informations dans des gammes spectrales invisibles à l'œil nu. Ces informations supplémentaires sont importantes et, si tant est qu'elles soient utilisées, apportent une aide précieuse à l'opérateur.

Ci-dessous, une composition colorée de type NIR – Vert Bleu (à gauche) au lieu de la standard « Rouge Vert Bleu » (à droite), permettant de mettre en avant la végétation et qui facilite l'interprétation d'un indicateur tel que la ligne de première végétation (LPV).

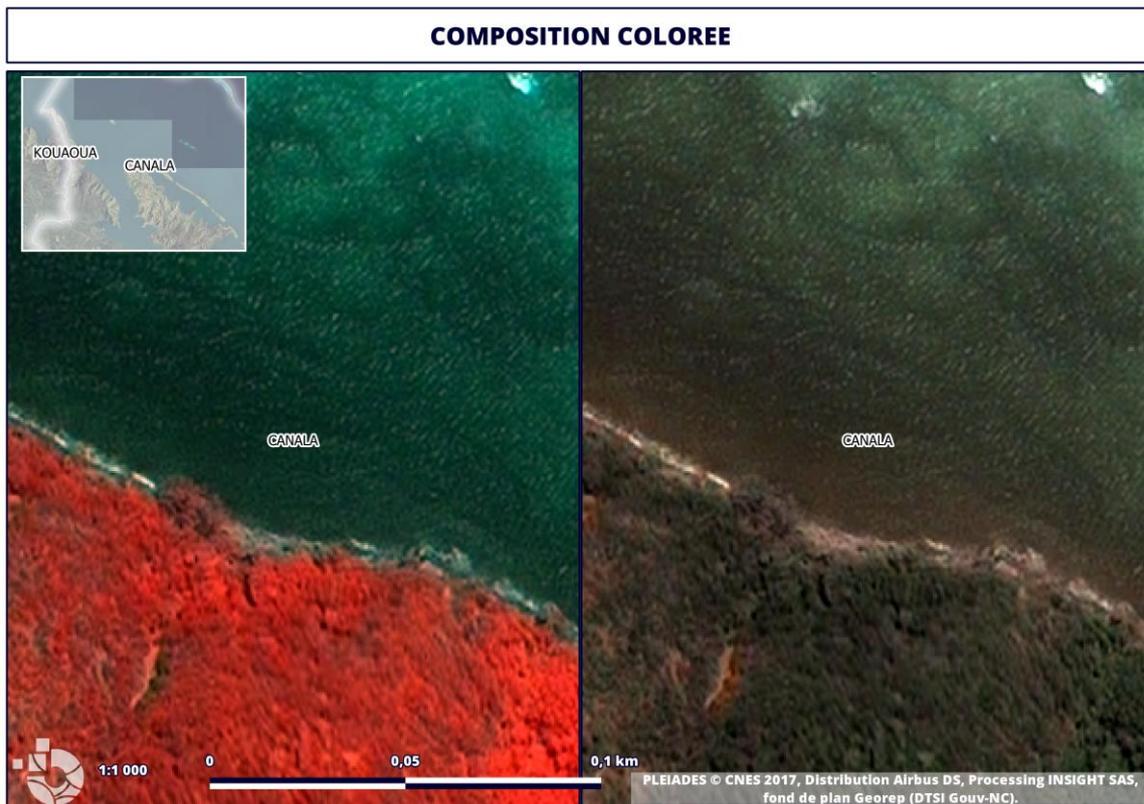


Figure 12 : Comparaison de compositions colorées.

Concrètement ce mode de visualisation aide à discréditer la végétation d'un sol nu.

4.4. Choix et définition des Indicateurs

L'établissement d'une campagne de photo-interprétation à l'échelle nationale nécessite de choisir les marqueurs les plus adaptés à la fois au **contexte géomorphologique** de la zone étudiée et au **support** utilisé pour leur extraction.

Il en existe une multitude que l'on peut classer suivant plusieurs grandes familles :

-  Altimétrique,
-  Hydrodynamique,
-  Botanique,
-  Géomorphologique.

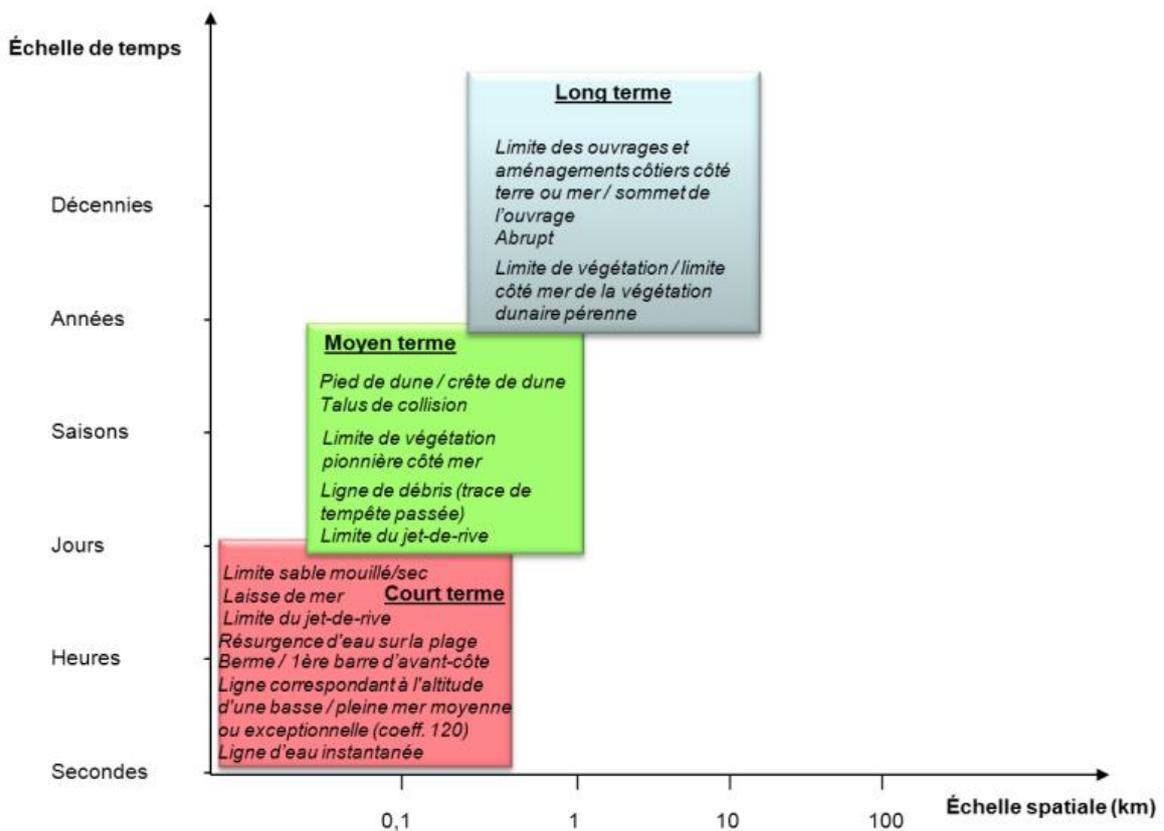


Figure 13 : Diagramme espace-temps des principaux indicateurs de trait de côte. (source BRGM: "Synthèse de référence des techniques de suivi de trait de côte")

En tenant compte de ces différents paramètres, les indicateurs suivants ont été retenus pour le projet de la Province Nord :

-  **Ligne de première végétation (LPV)**
-  **Plage**
-  **Mangrove**
-  **Récif**

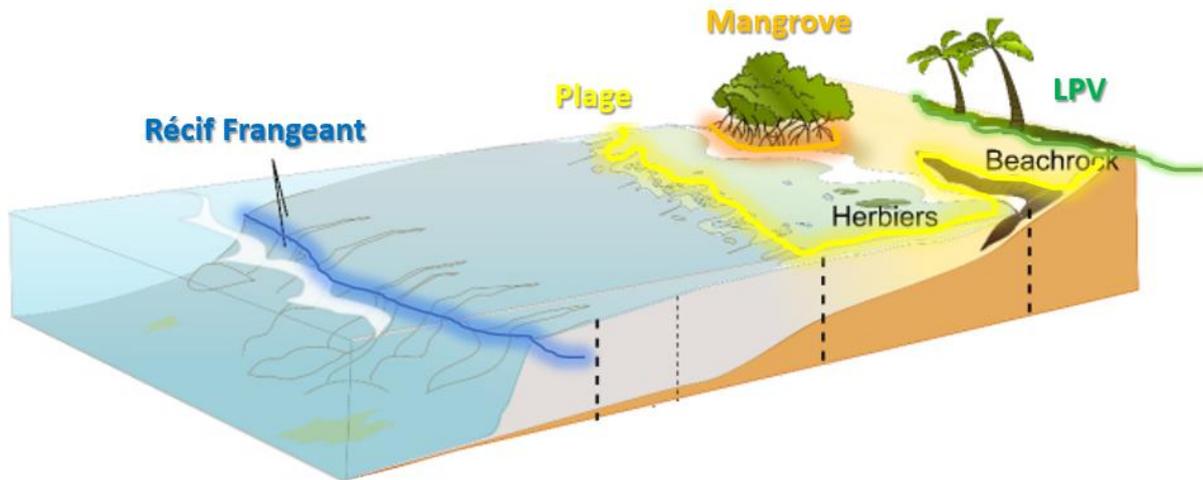


Figure 14 : Illustration schématique des indicateurs retenus.

4.4.1. Ligne de première végétation

La limite de première végétation se rapporte à un indicateur botanique du trait de côte.

On considère ici comme ligne de première végétation la limite sur le front de mer entre le sol nu et toute trace de végétation homogène.

Considérant ainsi à la fois la limite de végétation pérenne et la limite de pelouse dunaire, a été privilégié dans le projet l'indicateur de végétation le plus proche de l'eau.

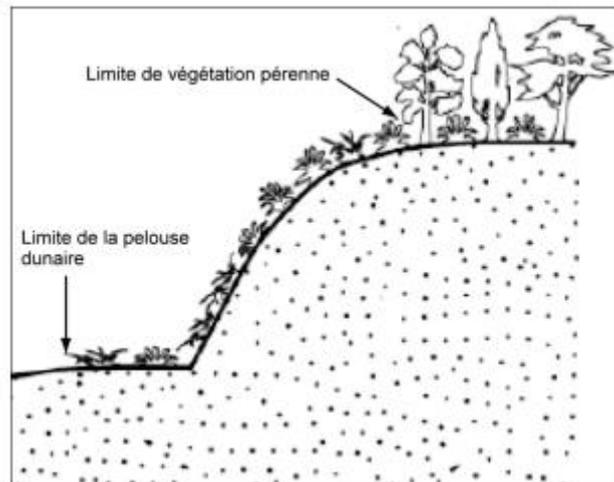


Figure 15 : Représentation schématique de la ligne de première végétation (source: [Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau](#)).

Il est à noter que les variations de la position de la limite de végétation ne sont pas toujours synonymes d'érosion ou d'accrétion car elles peuvent résulter de l'action de l'homme : stabilisation artificielle (plantations, culture, etc.) ou destruction (piétinement, etc.).

A cela s'ajoute la sensibilité de la végétation aux conditions climatiques et écologiques d'une manière générale (MORTON et SPEED, 1998 ; ROBIN, 2002).

Ce sont là quelques facteurs dont il faut tenir compte dans l'interprétation des résultats.

D'une manière générale, la LPV est modélisée par une **ligne continue sans doublons de nœuds ni auto-intersection** ; les cas particuliers où elle pourrait être interrompue seront vus en troisième partie.

L'indicateur ligne de première végétation se matérialise donc par une entité vecteur de type **polyligne**, possédant des attributs suivants :

Tableau 3 : Attributs des entités LPV.

LPV = polyligne			
Attribut	Description	Type	Exemple de valeur
ID	Identifiant unique	Entier	Champ par défaut
GEOM	Géométrie	GEOM	Champ par défaut
SRC_DATE	Date d'acquisition du support de digitalisation	<i>Date</i>	2016-07-28
SRC_TYPE	Vecteur de la source de donnée	<i>Chaîne de caractère</i>	Aérien, drone, satellite...
SRC_RES	Résolution du support de digitalisation (en m)	<i>Nombre décimal</i>	0,5
SRC_PREC_H	Précision horizontale du support de digitalisation (en m)	<i>Nombre décimal</i>	Précision RMS en X et Y de la donnée source
SRC_PROP	Propriétaire de la donnée source	<i>Chaîne de caractère</i>	Province Nord
LPV_CREATE	Date de création de l'entité	<i>Date & Heure</i>	2016-07-28 18:33:12+00
LPV_MAJ	Date de mise à jour de l'entité	<i>Date & Heure</i>	2016-07-28 18:33:12+00
LPV_PRESTA	Prestataire de numérisation	<i>Chaîne de caractère</i>	INSIGHT SAS
LPV_OPER	Opérateur de numérisation	<i>Chaîne de caractère</i>	SL
LPV_ECH_DIGIT	Echelle de numérisation	<i>Chaîne de caractère</i>	1/1 000
LPV_ECH_UTIL	Echelle d'utilisation	<i>Chaîne de caractère</i>	1/5 000
LPV_TYPE	Typologie de cote	<i>Chaîne de caractère</i>	Côte sableuse, côte rocheuse ...
LPV_LONG	Longueur de l'entité (en m)	<i>Nombre décimal</i>	656,23
LPV_COMMUNE	Commune concernée	<i>Chaîne de caractère</i>	Touho
COMMENTAIRE	Commentaire	<i>Chaîne de caractère</i>	

***NB** : les valeurs possibles du champ **PLG_TYPE** pourraient être corrélés à la typologie de cote déjà établie dans le cadre du programme OBLIC. Ceci dans l'optique de favoriser l'interopérabilité des données ainsi que leur éventuelle fusion.*

4.4.2. Plage

Les plages sont par définition des zones d'accumulation littorale de sédiments.

Elles ont une évolution généralement rapide et on distingue les plages ouverte (grands linéaires) et les plages dites de poche (fond de baie, pied de falaise...).

En Nouvelle-Calédonie, elles peuvent se présenter sous des aspect différents : sable corallien, sable rouge, sable noir...

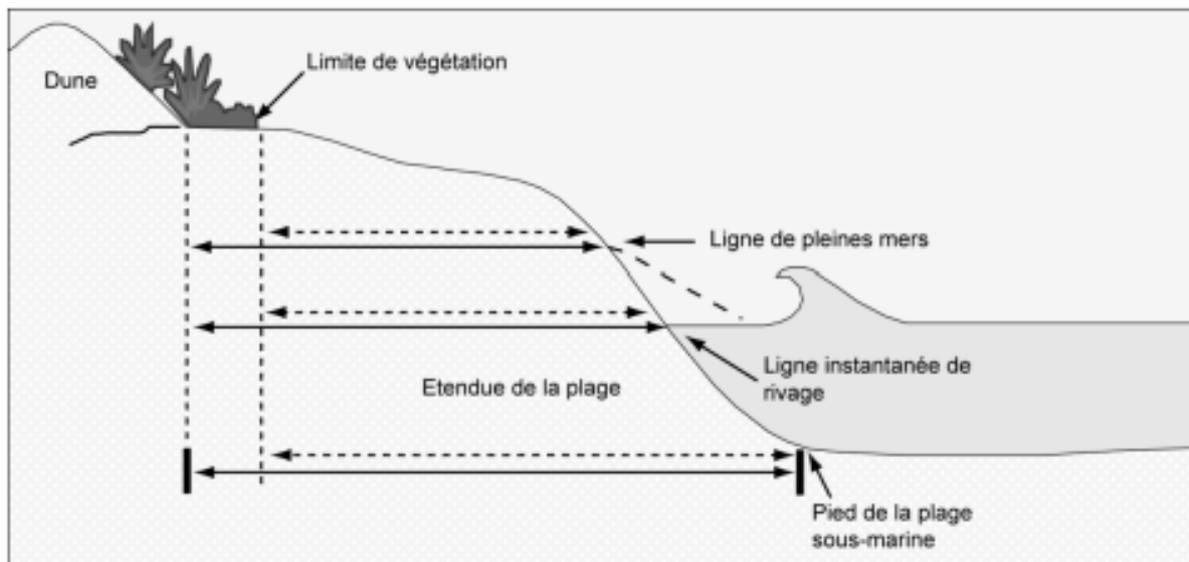


Figure 16 : Schéma type de la structure de plage.

D'une manière générale les plages sont modélisées par les éléments suivants :

- Des polygones fermés sans doublons de nœuds ni auto-intersection
- Un arrière-plage confondue avec la ligne de première végétation (vertex identiques)
- Un avant plage cherchant autant que possible à délimiter la **limite externe du stock de sédiments mobilisable** (ex. : début de zone d'herbiers continu et homogène, platier interne non recouvert de sédiments...)
- Une unité minimale de collecte (UMC) de **100 m²**
- N'intègre pas les zone de Beach rock visible sur la donnée source

L'indicateur **plage** se matérialise donc par une entité vecteur de type **multi-polygone**, possédant les attributs suivants :

Tableau 4 : Attributs des entités plage.

PLG= multi-polygone			
Attribut	Description	Type	Exemple de valeur
ID	Identifiant unique	Entier	Champ par défaut
GEOM	Géométrie	GEOM	Champ par défaut
SRC_DATE	Date d'acquisition du support de digitalisation	<i>Date & Heure</i>	2016-07-28 18:33:12+00
SRC_TYPE	Vecteur de la source de donnée	<i>Chaine de caractère</i>	Aérien, drone, satellite...
SRC_RES	Résolution du support de digitalisation (en m)	<i>Nombre décimal</i>	0,5
SRC_PREC_H	Précision horizontale du support de digitalisation (m)	<i>Nombre décimal</i>	Précision RMS en X et Y de la donnée source
SRC_PROP	Propriétaire de la donnée source	<i>Chaine de caractère</i>	Province Nord
PLG_CREATE	Date de création de l'entité	<i>Date & Heure</i>	2016-07-28 18:33:12+00
PLG_MAJ	Date de mise à jour de l'entité	<i>Date & Heure</i>	2016-07-28 18:33:12+00
PLG_PRESTA	Prestataire de numérisation	<i>Chaine de caractère</i>	INSIGHT SAS
PLG_OPER	Opérateur de numérisation	<i>Chaine de caractère</i>	SL
PLG_ECH_DIGIT	Echelle de numérisation	<i>Chaine de caractère</i>	1/1 000
PLG_ECH_UTIL	Echelle d'utilisation	<i>Chaine de caractère</i>	1/5 000
PLG_TYPE	Typologie de plage	<i>Chaine de caractère</i>	Ouverte ou de Poche
PLG_SURF	Surface de l'entité (en m2)	<i>Nombre décimal</i>	656,23
PLG_COMMUNE	Commune concernée	<i>Chaine de caractère</i>	Touho
COMMENTAIRE	Commentaire	<i>Chaine de caractère</i>	

4.4.3. Mangrove

La mangrove est l'écosystème littoral le plus caractéristique des milieux tropicaux. Elle se compose principalement de palétuviers et se développe, pour les plus grandes, au niveau de l'estran.

Au-delà des forts enjeux écologiques qui la caractérisent, elle permet notamment d'amortir les vagues, de réduire les courants et de piéger les sédiments.

Ainsi elle présente une barrière de protection naturelle et constitue un très bon indicateur de la sensibilité d'une côte à l'érosion ; c'est pourquoi elle a été retenue dans le cadre de ce guide.

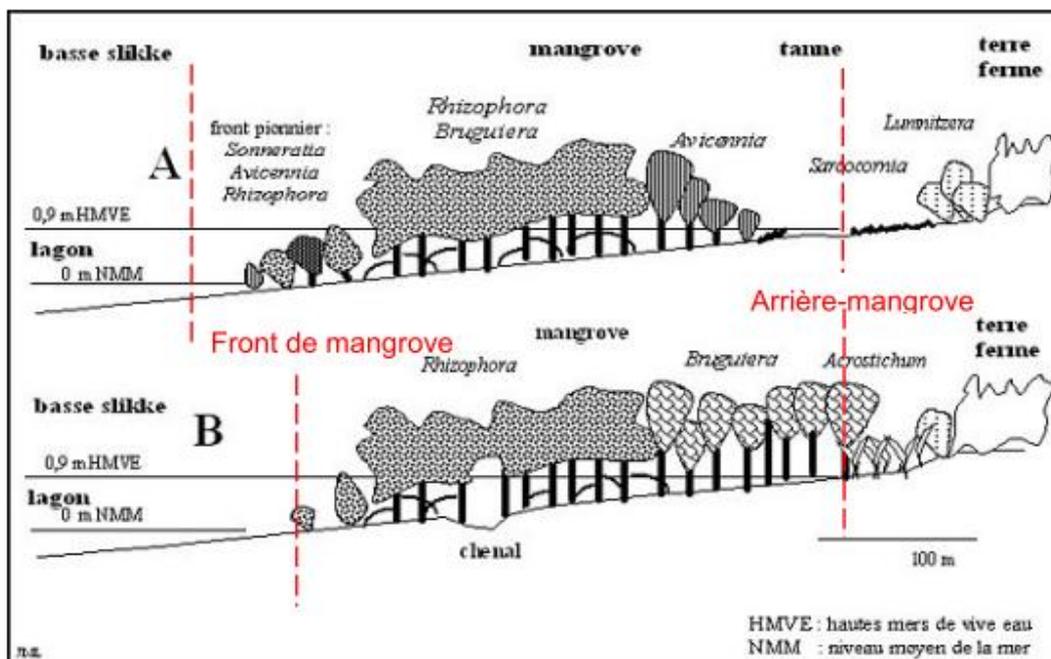


Figure 17 : Structure de mangrove type en Nouvelle Calédonie.

D'une manière générale les mangroves sont modélisées par :

- Des polygones fermés sans doublons de nœuds ni auto-intersection
- Une arrière-mangrove (**incluant les tannes** ou **marais herbacées**) confondue avec la ligne de première végétation (vertex identiques)
- Un front de mangroves délimité par l'interface végétation/eau
- Une unité minimale de collecte de **100 m²**

L'indicateur **mangrove** se matérialise donc par une entité vecteur de type **multi-polygone**, possédant les attributs suivantes :

Tableau 5 : Attributs des entités mangroves.

MGV= multi-polygone			
Attribut	Description	Type	Exemple de valeur
ID	Identifiant unique	Entier	Champ par défaut
GEOM	Géométrie	GEOM	Champ par défaut
SRC_DATE	Date d'acquisition du support de digitalisation	<i>Date & Heure</i>	2016-07-28 18:33:12+00
SRC_TYPE	Vecteur de la source de donnée	<i>Chaîne de caractère</i>	Aérien, drone, satellite...
SRC_RES	Résolution du support de digitalisation (en m)	<i>Nombre décimal</i>	0,5
SRC_PREC_H	Précision horizontale du support de digitalisation (m)	<i>Nombre décimal</i>	Précision RMS en X et Y de la donnée source
SRC_PROP	Propriétaire de la donnée source	<i>Chaîne de caractère</i>	Province Nord
MGV_CREATE	Date de création de l'entité	<i>Date & Heure</i>	2016-07-28 18:33:12+00
MGV_MAJ	Date de mise à jour de l'entité	<i>Date & Heure</i>	2016-07-28 18:33:12+00
MGV_PRESTA	Prestataire de numérisation	<i>Chaîne de caractère</i>	INSIGHT SAS
MGV_OPER	Opérateur de numérisation	<i>Chaîne de caractère</i>	SL
MGV_ECH_DIGIT	Echelle de numérisation	<i>Chaîne de caractère</i>	1/1 000
MGV_ECH_UTIL	Echelle d'utilisation	<i>Chaîne de caractère</i>	1/5 000
MGV_TYPE	Physiographie de mangrove	<i>Chaîne de caractère</i>	Fond de baie, Patch littoral, Estuarienne...
MGV_SURF	Surface de l'entité (en m2)	<i>Nombre décimal</i>	656,23
MGV_COMMUNE	Commune concernée	<i>Chaîne de caractère</i>	Touho

***NB** : Les valeurs possibles du champ **MGV_TYPE** pourraient être corrélés à la typologie de mangrove déjà établie dans le cadre du programme ZONECO (Cf. : [Typologies et Biodiversité des mangroves de Nouvelle-Calédonie](#)).*

4.4.4. Récif frangeant

Les récifs frangeants sont des récifs directement accolés à la côte ou au plus séparés d'elle par un étroit chenal.

Ils forment avec le temps un court platier de faible profondeur, entre la côte et la zone active de croissance du corail, composé de corail mort, de sable et d'alluvions.

Ils constituent une protection supplémentaire contre l'érosion et permettent de diminuer l'énergie des vagues qui s'y brise avant d'atteindre la côte. Il est donc pertinent de lever ce marqueur dans le cadre du présent projet.

Cet indicateur géomorphologique se définit par une pente abrupte en bout de platier.

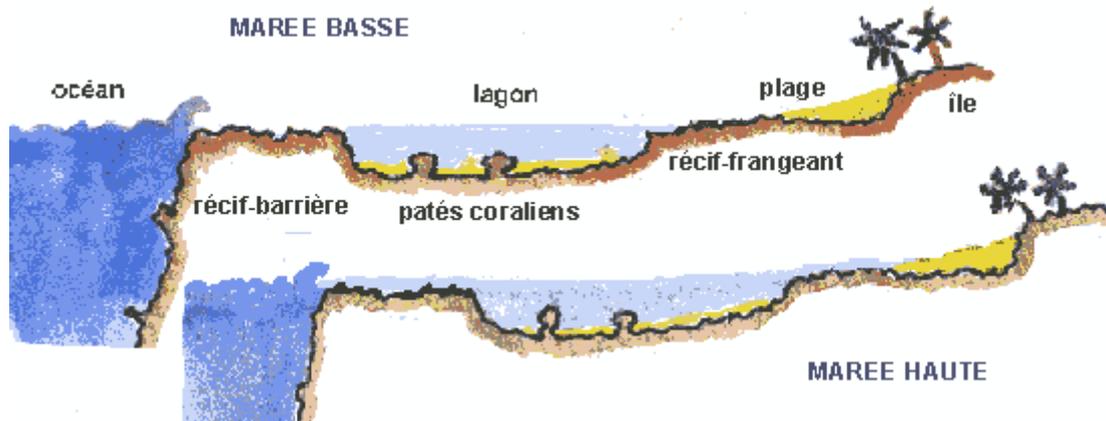


Figure 18 : Schéma type des récifs en Calédonie (frangeant et barrières).

D'une manière générale le récif frangeant est modélisée par une **ligne discontinue sans doublons de nœuds ni auto-intersection**.

D'un point de vue topologique les entités récifs ne sont pas rattachées aux autres indicateurs cités plus haut.

Il est à noter que selon la turbidité de l'eau il ne sera pas possible à certains endroits de lever ce marqueur.

Sa vitesse d'évolution étant très lente, ce marqueur ne nécessite pas à proprement parler d'imagerie THR pour sa numérisation ; les images HR de type Landsat 8 ou Sentinel 2 sont largement suffisantes et présentent l'avantage d'acquisitions régulières permettant de choisir les dates de visibilité optimum.

L'indicateur **récif frangeant** se matérialise donc par une entité vecteur de type **polyligne** possédant les attributs suivants :

Tableau 6 : Attributs des entités récif frangeant.

RCF= polyligne			
Attribut	Description	Type	Exemple de valeur
ID	Identifiant unique	Entier	Champ par défaut
GEOM	Géométrie	GEOM	Champ par défaut
SRC_DATE	Date d'acquisition du support de digitalisation	<i>Date & Heure</i>	2016-07-28 18:33:12+00
SRC_TYPE	Vecteur de la source de donnée	<i>Chaîne de caractère</i>	Aérien, drone, satellite...
SRC_RES	Résolution du support de digitalisation (en m)	<i>Nombre décimal</i>	0,5
SRC_PREC_H	Précision horizontale du support de digitalisation (m)	<i>Nombre décimal</i>	Précision RMS en X et Y de la donnée source
SRC_PROP	Propriétaire de la donnée source	<i>Chaîne de caractère</i>	Province Nord
RCF_CREATE	Date de création de l'entité	<i>Date & Heure</i>	2016-07-28 18:33:12+00
RCF_MAJ	Date de mise à jour de l'entité	<i>Date & Heure</i>	2016-07-28 18:33:12+00
RCF_PRESTA	Prestataire de numérisation	<i>Chaîne de caractère</i>	INSIGHT SAS
RCF_OPER	Opérateur de numérisation	<i>Chaîne de caractère</i>	SL
RCF_ECH_DIGIT	Echelle de numérisation	<i>Chaîne de caractère</i>	1/1 000
RCF_ECH_UTIL	Echelle d'utilisation	<i>Chaîne de caractère</i>	1/5 000
RCF_LONG	Longueur de l'entité (en m)	<i>Nombre décimal</i>	656,23
RCF_COMMUNE	Commune concernée	<i>Chaîne de caractère</i>	Touho
COMMENTAIRE	Commentaire	<i>Chaîne de caractère</i>	

5. PARTIE III : FICHES PRATIQUES DE DIGITALISATION

5.1. Introduction

Cette partie vise à agglomérer sous forme de fiches les différents cas de figure rencontrés par l'opérateur de digitalisation, incluant :

-  Les cas **types** où peuvent s'appliquer les règles ;
-  Les cas **particuliers** où plusieurs options pourraient s'offrir à l'opérateur et où les règles définies plus haut ne s'appliqueraient pas.

5.2. LPV

5.2.1. *Cas générique*

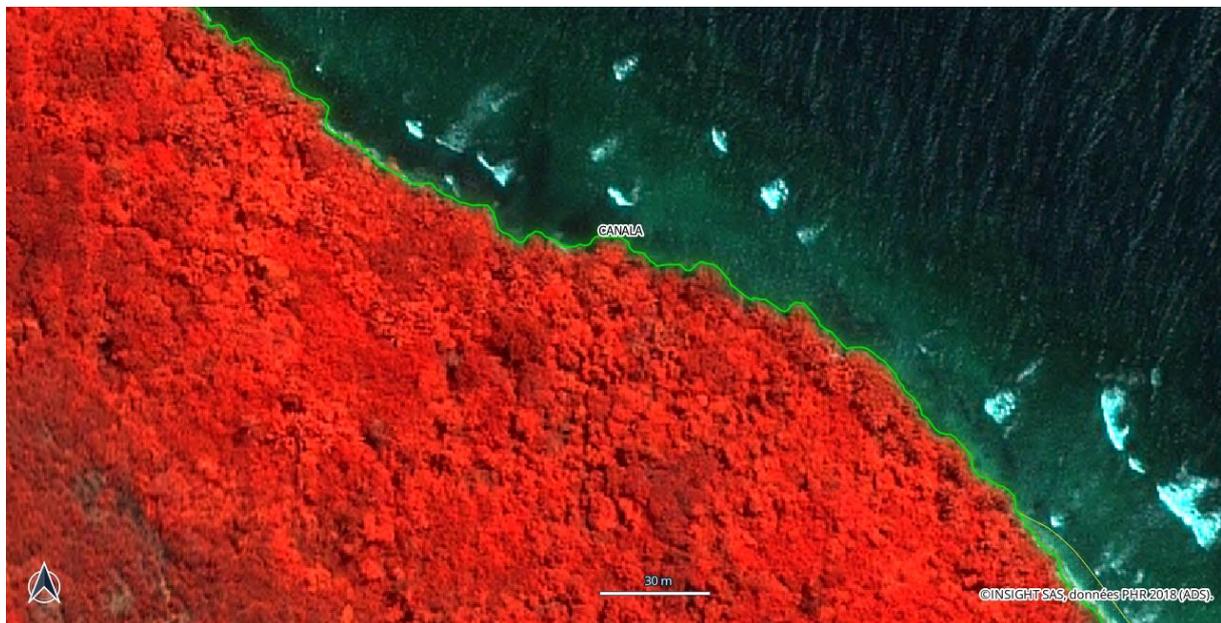


Figure 19 : LPV, cas générique (composition colorée NIR - Vert - Bleu).

CONTEXTE

D'une manière générale la ligne de première végétation (LPV) peut être considérée comme l'interface Estran/végétation pérenne.

Il est possible d'automatiser sa détection par l'utilisation d'indice comme le NDVI ou le NDWI qui va permettre de discréditer les végétaux des surfaces en eaux

5.2.2. Limites amont

CONTEXTE

La digitalisation de la LPV dans les zones d'estuaire présente plusieurs cas de figure possibles dans le choix de sa limite. En d'autres termes, il s'agit ici de déterminer où arrêter la LPV en zone d'estuaire.

PROBLEMATIQUE

La limite amont de la LPV peut être dictée par plusieurs facteurs :

-  Sa pertinence en termes de suivi littoral (il n'est pas nécessaire de remonter tout un estuaire pour évaluer l'érosion littoral)
-  La limite de la donnée source
-  Sa disparition en cas de fermeture de la canopée

CHOIX

On choisira donc de stopper la digitalisation de la LPV au niveau de l'entrée des estuaires et en amont de toute autre entité relative au suivi du trait de côte (plage, mangrove ...).

Dans l'exemple ci-dessous, la LPV est stoppée un peu en amont des bancs de sable et plages de l'estuaire.



Figure 20 : Limites LPV en zone estuarienne.

5.2.3. Côte artificialisée

CONTEXTE

Les littoraux artificialisés présentent dans certains cas (aménagements miniers par exemple) une absence totale ou partielle de végétation.



Figure 21 : LPV sur côte artificialisée.

PROBLEMATIQUE

En l'absence de végétation la LPV n'est plus pertinente en tant qu'indicateur de suivi littoral.

Il convient ainsi de choisir un autre indicateur, alors complémentaire, tout en gardant à l'esprit qu'il sera ainsi intégré à la couche vectorielle LPV et doit garder une certaine cohérence thématique.

CHOIX

On choisira ici d'utiliser la limite en mer des ouvrages de protection.

5.2.4. Végétation rase

CONTEXTE

Les littoraux sableux peuvent présenter une limite de végétation rase très ténue visuellement.

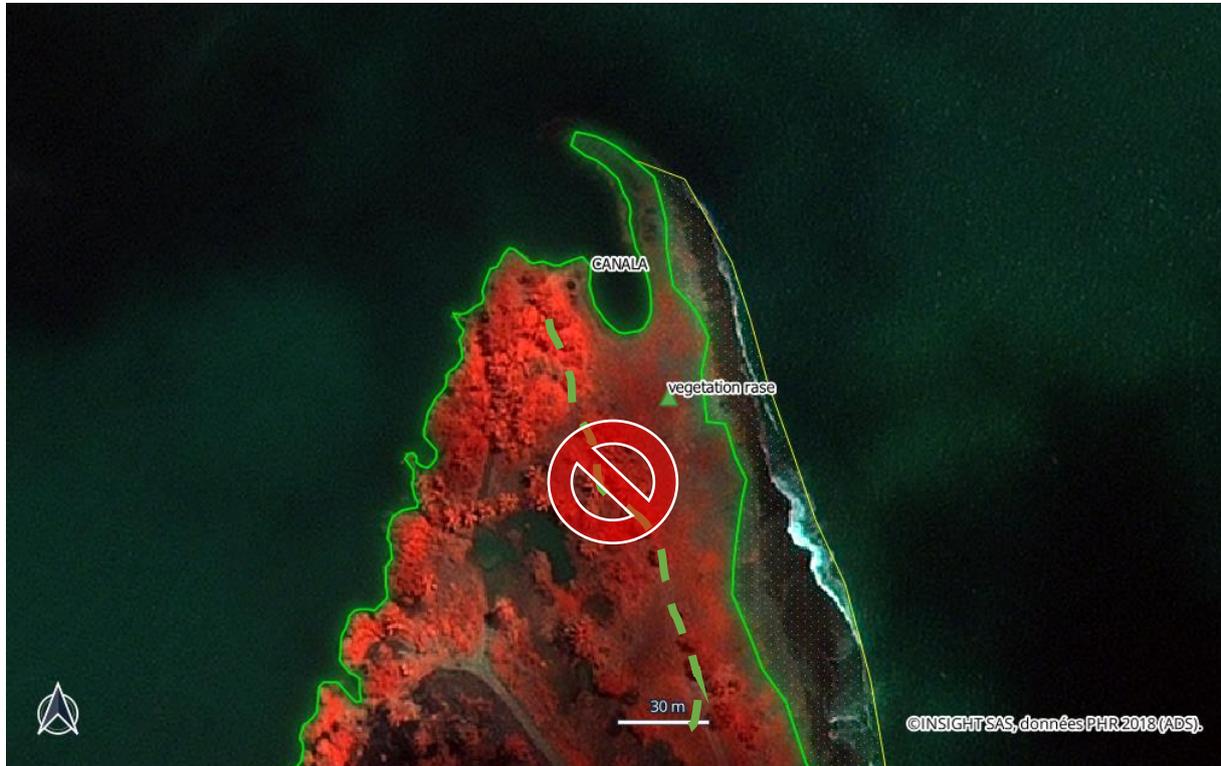


Figure 22 : LPV ténue sur substrat sableux.

PROBLEMATIQUE

Il est très difficile à l'œil nu d'évaluer les limites de végétation lorsque celle-ci est rase.

CHOIX

On s'appuiera dans ce cas sur une composition colorée NIR-Vert-Bleu afin de la délimiter au mieux. On suivra la limite de « petite végétation dunaire » plutôt que la limite « plus évidente » de la végétation plus haute.

5.2.5. Côte rocheuse

CONTEXTE

Dans un contexte de côte rocheuse à falaise, la ligne de première végétation se trouve généralement en haut de falaise.

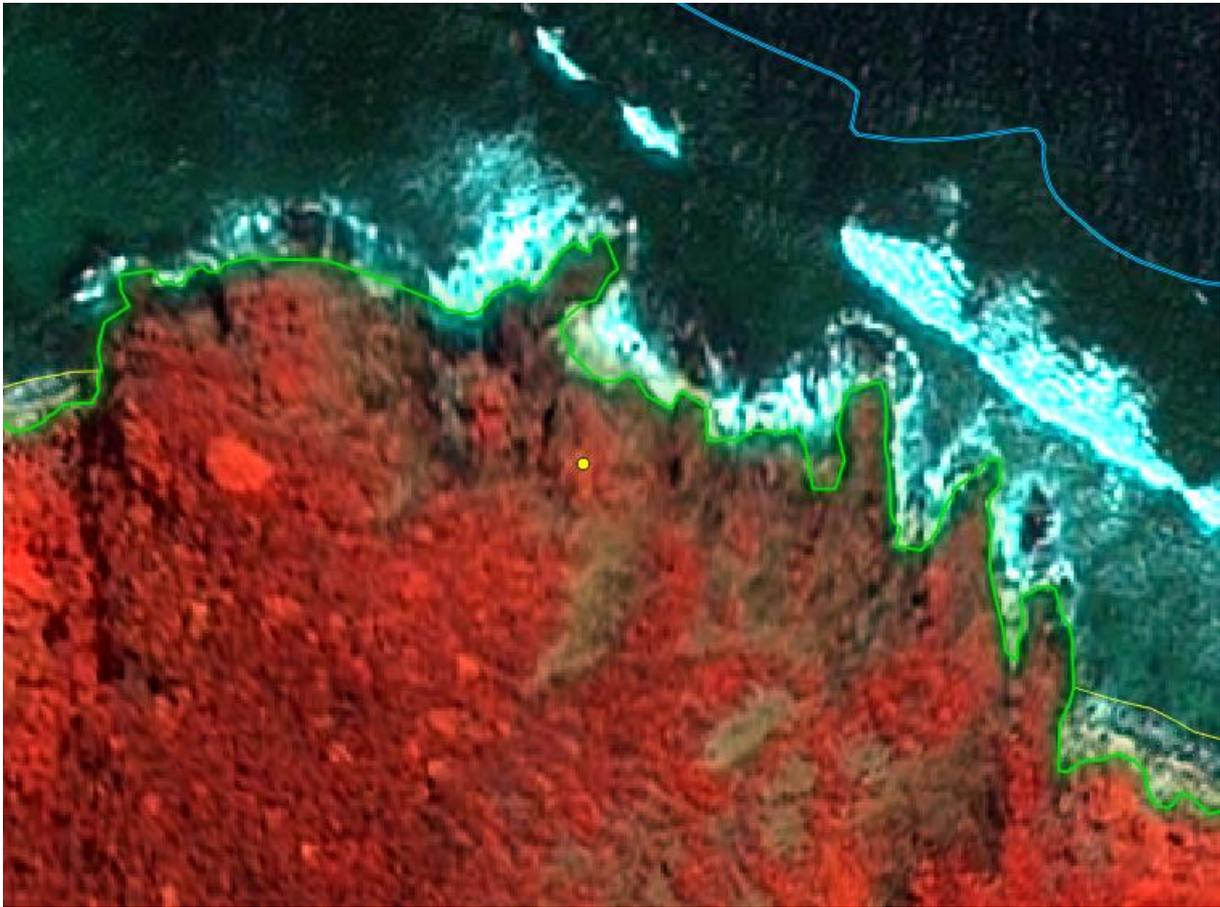


Figure 23 : LPV et falaise.

PROBLEMATIQUE

La LPV se trouvant sur le haut de la falaise, l'on peut se demander s'il est pertinent d'avoir un indicateur de suivi « en altitude ».

CHOIX

On choisira dans ce cas de figure de faire passer la LPV par le bas de falaise où se situe la limite émergée des rochers ou, lorsque cela est possible, la limite d'usure des rochers (différence de couleur).

5.2.6. *Sous canopée*

CONTEXTE

La donnée de télédétection étant dans la plupart des cas enregistrée par des capteurs à la verticale de la zone, la limite de la végétation modélise la canopée.

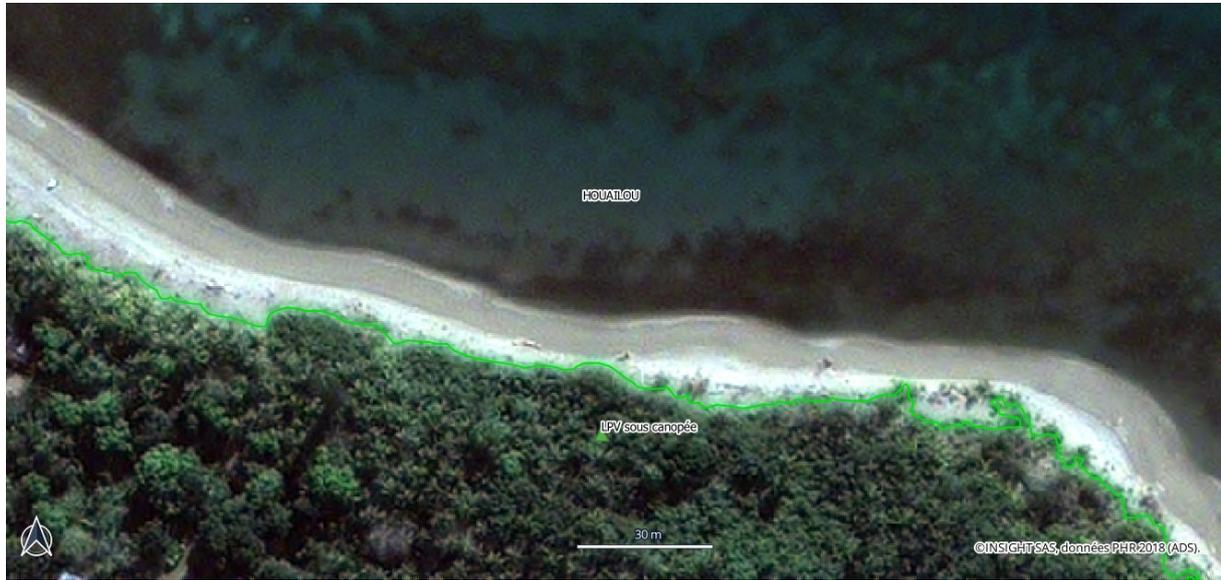


Figure 24 : LPV sous canopée.

PROBLEMATIQUE

La LPV vue par télédétection peut présenter un décalage horizontal avec la réalité lorsque celle-ci se trouve sous canopée.

CHOIX

On choisira de digitaliser ce qui est visible sur la donnée source (la canopée) tout en conservant à l'esprit cette incertitude dans le cas de végétation haute.

5.2.7. Erosion côtière

CONTEXTE

Le littoral calédonien présente parfois une érosion prononcée qui vient entrecouper la LPV principalement en zone a fort gradient de pente.



Figure 25 : LPV et éboulement côtier.

PROBLEMATIQUE

Les mouvements de terrain littoraux coupent la végétation littorale, ne permettant pas en théorie la continuité de la LPV. Néanmoins ceux-ci sont ponctuels.

CHOIX

On choisira dans ce cas de figure « d'interpoler » la ligne afin de préserver la continuité.

5.2.8. Aménagements hors d'eau

CONTEXTE

Le littoral calédonien présente parfois des aménagements hors d'eau (pontons, quais flottant...).



Figure 26 : LPV, aménagement hors d'eau.

PROBLEMATIQUE

Ces aménagements ne peuvent pas être considérés comme fixes mais peuvent ressortir de traitements automatisés qui visent à discréditer eau/non eau.

CHOIX

On choisira de ne pas intégrer ces structures à l'indicateur LPV.

5.3. Plage

5.3.1. *Cas générique*

Les plages représentent des accumulations sédimentaires.

D'un point de vue de la surveillance du littoral, elles présentent un intérêt car pouvant avoir une dynamique importante et également parce qu'elles présentent un « réservoir de sédiments » mobilisables par le transit littoral.

Ainsi, leur digitalisation devrait être envisagée dans cette optique à savoir les sédiments « mobiles » ou non stabilisés par des herbiers par exemple.

La grande diversité de plage en Nouvelle-Calédonie rend leur digitalisation difficile et on distingue ainsi principalement les **plages ouvertes** (occupant un grand linéaire côtier) et les **plages de poche** (accolées à des falaise rocheuse ou en fond de baie).

Si sa limite haute est assez aisément discréditable, il n'en est pas de même pour sa limite basse dont l'interprétation peut grandement varier suivant les conditions de prise de vue, incluant les hauteurs de marées, ou encore suivant la turbidité ou la colorimétrie des sédiments.

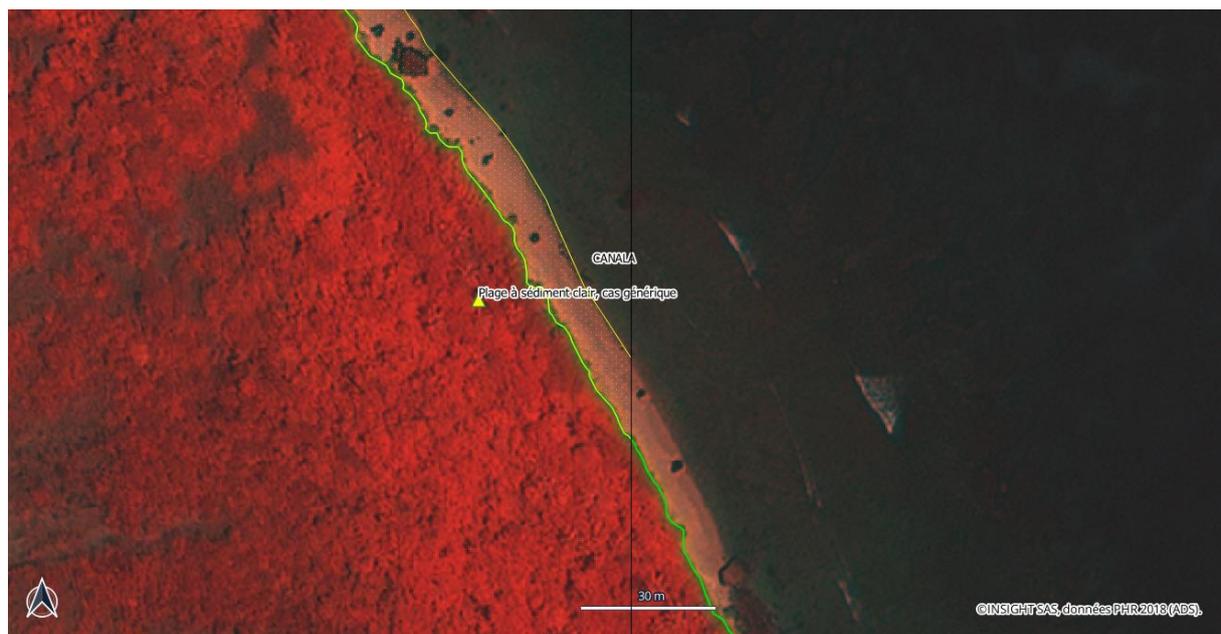


Figure 27 : Cas générique d'une plage de sable à sédiments clair.



Figure 28 : Exemples de limites externes de plages à sédiments sombres.

De manière générale on essaiera de digitaliser une limite basse correspondant à la limite de berme (zone d'accumulation de sédiments en haut de plage).

5.3.2. UMC

Il est important d'avoir une bonne notion des unités minimales de collecte (UMC, ou MMU en anglais) avant de se lancer dans une digitalisation généralisée. Ceci afin d'éviter tout travail inutile.

L'UMC retenue pour les plages est de **100 m²**.

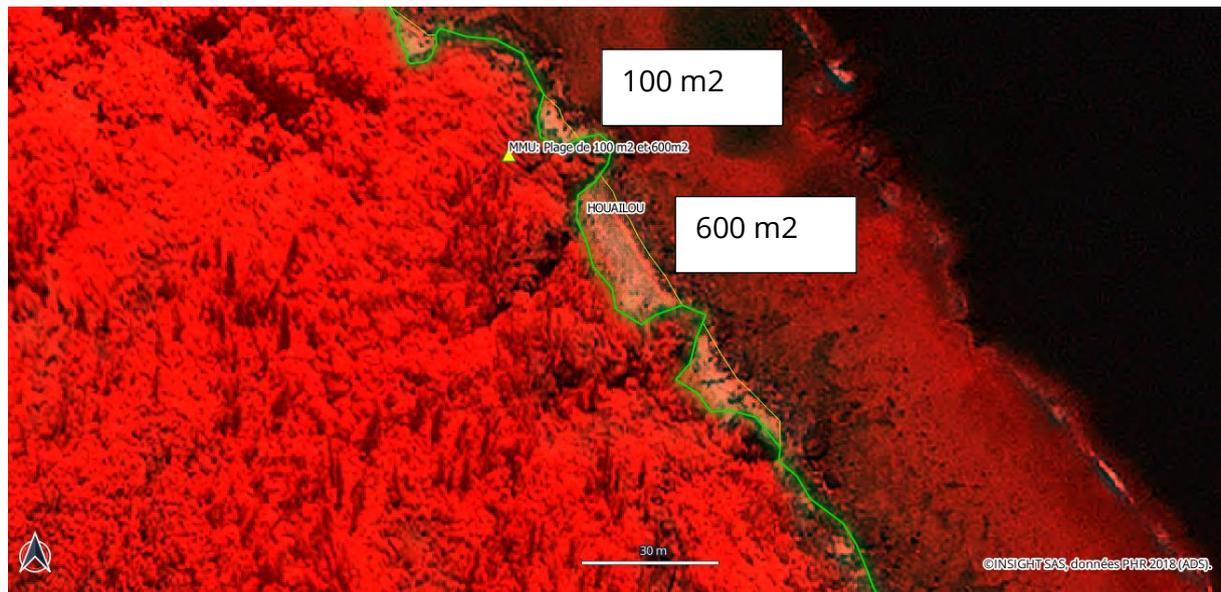


Figure 29 : UMC de plage.

***NB** : il est toujours possible de réaliser un filtrage a posteriori sur la taille des éléments pour éliminer les objets trop petits.*

5.3.3. Exutoire

CONTEXTE

Les zones de déversement des petits creeks, ou exutoires, présentent souvent de petits banc de sables assimilables à une petite plage.



Figure 30 : Plage d'exutoire.

PROBLEMATIQUE

Ces petites accumulations sédimentaires peuvent présenter un intérêt du point de vue de la dynamique littorale mais sont parfois de taille réduite.

CHOIX

On choisira de les digitaliser suivant les mêmes règles que les plages et notamment de l'unité minimale de collecte.

5.3.4. Conditions estuariennes

CONTEXTE

La dynamique littorale des estuaires favorise parfois la mise en place de flèches sableuses ou de bancs de sable qui peuvent évoluer rapidement.



Figure 31 : Accumulation sédimentaires en estuaire.

PROBLEMATIQUE

Les vitesses d'évolution des morphologies littorales en estuaire sont importantes en comparaison à d'autres types de linéaires côtiers et intégrer ces formations à une analyse de l'érosion peut mener vers des fausses détections de zones d'érosion ou d'accrétion.

CHOIX

La connaissance de ces zones relativement retraits limitant les erreurs d'interprétation, il est choisi ici de lever ces ensembles selon les mêmes règles que les plages.

5.3.5. Plage à sédiments sombres

CONTEXTE

Les plages peuvent se présenter sous la forme d'une accumulation de sédiments sombres d'origine terrigène.

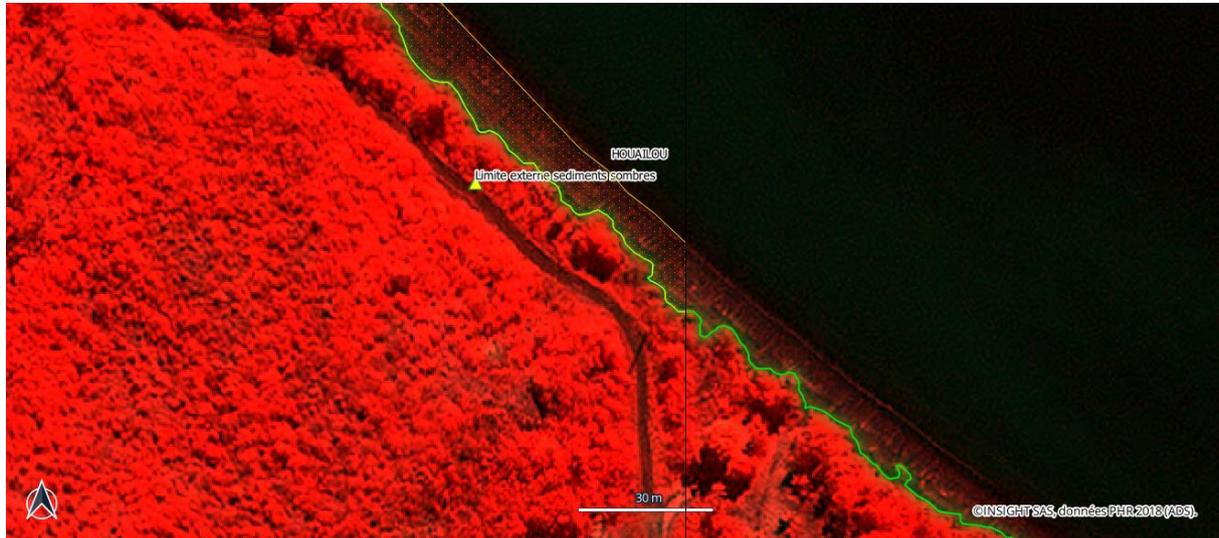


Figure 32 : Plage à sédiments sombres

PROBLEMATIQUE

N/A

CHOIX

Il est choisi ici de lever ces ensembles selon les mêmes règles que les plages. On note en outre que la limite externe est matérialisée par un changement net de colorimétrie du substrat.

5.3.6. Plage en bord de mangrove

CONTEXTE

Des accumulations de sédiments en limite externe de mangrove peuvent apparaître dans certains cas.



Figure 33 : Plage en bord de mangrove.

PROBLEMATIQUE

La pertinence de suivi de ces petits patches de plage peut être questionnée.

CHOIX

Il est choisi ici de lever ces ensembles selon les mêmes règles que les plages, notamment d'unité minimale de collecte.

5.3.7. Plage à marée haute

CONTEXTE

L'état de la marée (coefficient et progression) peut grandement modifier la perception d'une plage et de ses délimitations.



Figure 34 : Exemple de limite de plage à marée haute (gauche) et basse (droite).

PROBLEMATIQUE

L'imagerie satellite ne permettant pas la maîtrise des heures d'acquisition et l'étendue spatiale d'une plage digitalisée sera dépendante de l'appréciation de l'opérateur et de la marée.

Une bonne visibilité permet parfois de visualiser la limite externe de la plage comme étant la limite de berme. Mais dans la plupart des cas, la turbidité et/ou la réverbération ne le permet pas.

CHOIX

On choisit ici de digitaliser approximativement le jet de rive.

5.3.8. Limite externe bedrock

CONTEXTE

Les plages coralliennes font parfois apparaître le bedrock.



Figure 35 : Limite externe de plage (bedrock).

PROBLEMATIQUE

N/A

CHOIX

Dans ce type de situations, on choisira de s'appuyer sur le contour du bedrock (partie noire ci-dessus) pour délimiter la limite externe de la plage.

5.3.9. Vasière

CONTEXTE

Lorsque la marée est basse il est parfois possible de distinguer des zones de vasières découvertes.

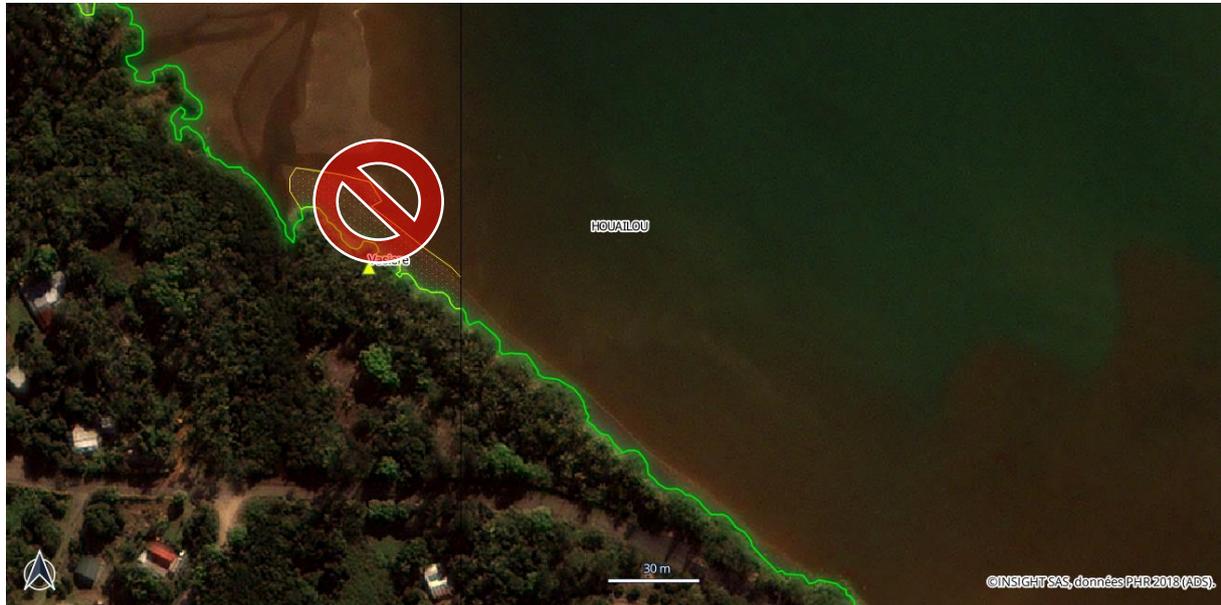


Figure 36 : Exemple de vasière.

PROBLEMATIQUE

Ces zones d'accumulation de sédiments fins peuvent être considérées comme des plages en tant qu'accumulation sédimentaire mais n'en sont pas vraiment.

CHOIX

On décidera de ne pas digitaliser ces ensembles.

5.4. Mangrove

5.4.1. *Généralité*

Le présent guide considère la mangrove comme un système écologique global sur zone intertidale comprenant les limites suivantes :

- 🌍 L'indicateur de **limite maritime** de la mangrove, caractérisé par l'absence de végétation adjacente, soit la limite bosquet/eau à marée haute ou bosquet/substrat à marée basse, ceci afin de s'affranchir des problèmes de marées puisque c'est la formation végétale plus que le substrat qui est cartographié ;
- 🌍 La **limite amont**, intervenant après les tannes (étendue au couvert végétal essentiellement herbacé, voire inexistant) ou les marais herbacés.

NB : On peut parfois noter la présence en lisière amont de tannes de formations végétales d'arrière mangrove qu'il serait utile, dans la mesure du possible, d'intégrer dans l'entité mangrove concernée. Il est également utile de rappeler que la distinction par photo-interprétation de ces formations est le plus souvent délicate.

5.4.2. *UMC*

Il est important d'avoir une bonne notion des unités minimales de collecte (UMC) avant de se lancer dans une digitalisation généralisée. Ceci afin d'éviter tout travail inutile.

L'UMC retenue pour les mangroves est de **100 m²**.

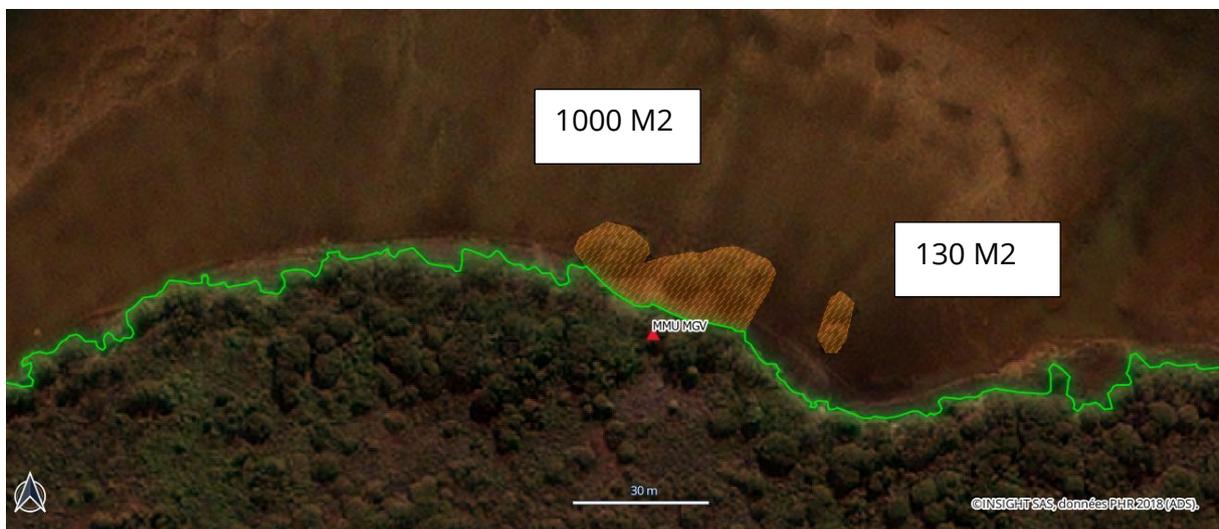


Figure 37 : UMC de mangrove.

***NB** : il est toujours possible de réaliser un filtrage a posteriori sur la taille des éléments pour éliminer les objets trop petits.*

5.4.3. Cas générique : Mangroves d'estuaire

CONTEXTE

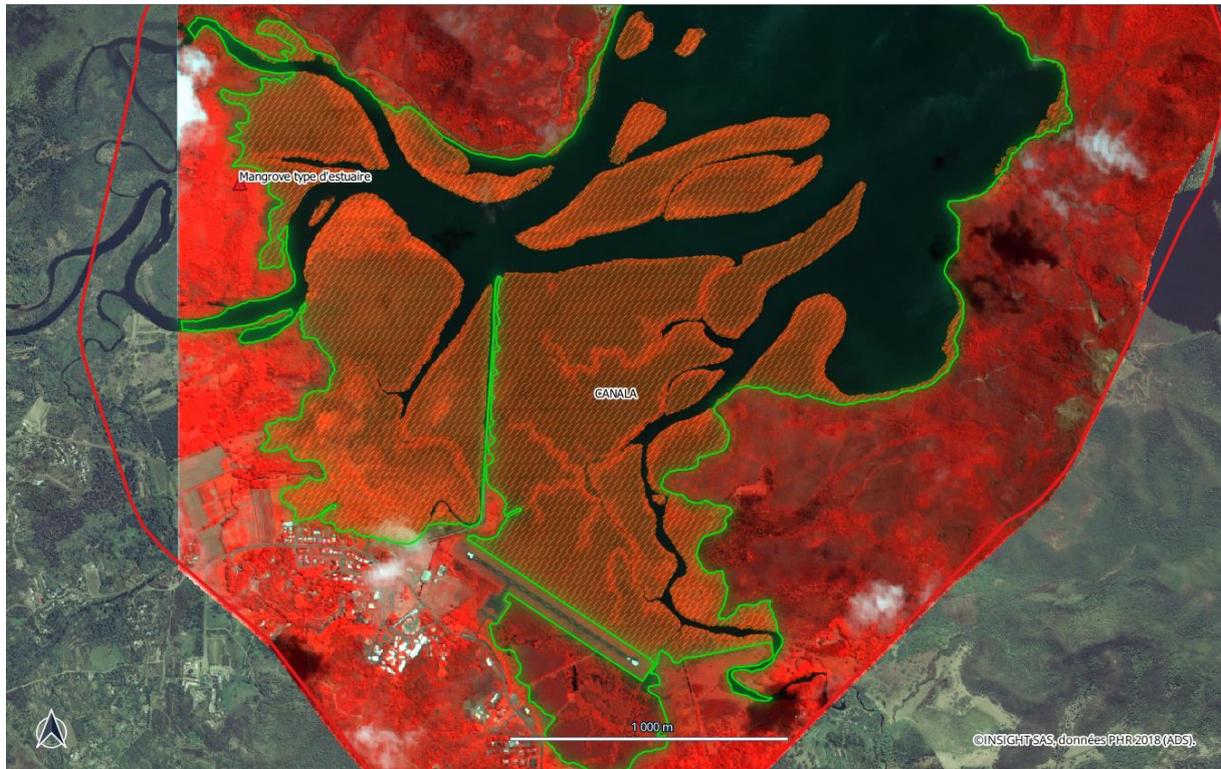


Figure 38 : Cas générique d'une mangrove d'estuaire.

PROBLEMATIQUE

N/A

CHOIX

Il est choisi ici de lever ces ensembles selon les mêmes règles que toutes les mangroves.

5.4.4. Cas générique : Mangrove de fond de baie

CONTEXTE



Figure 39 : Cas générique d'une mangrove de fond de baie.

PROBLEMATIQUE

N/A

CHOIX

Il est choisi ici de lever ces ensembles selon les mêmes règles que toutes les mangroves.

5.4.5. Cas générique : Mangrove de bord de cote dense

CONTEXTE

Certaines côtes rocheuses peuvent comporter des patches de mangrove dense.

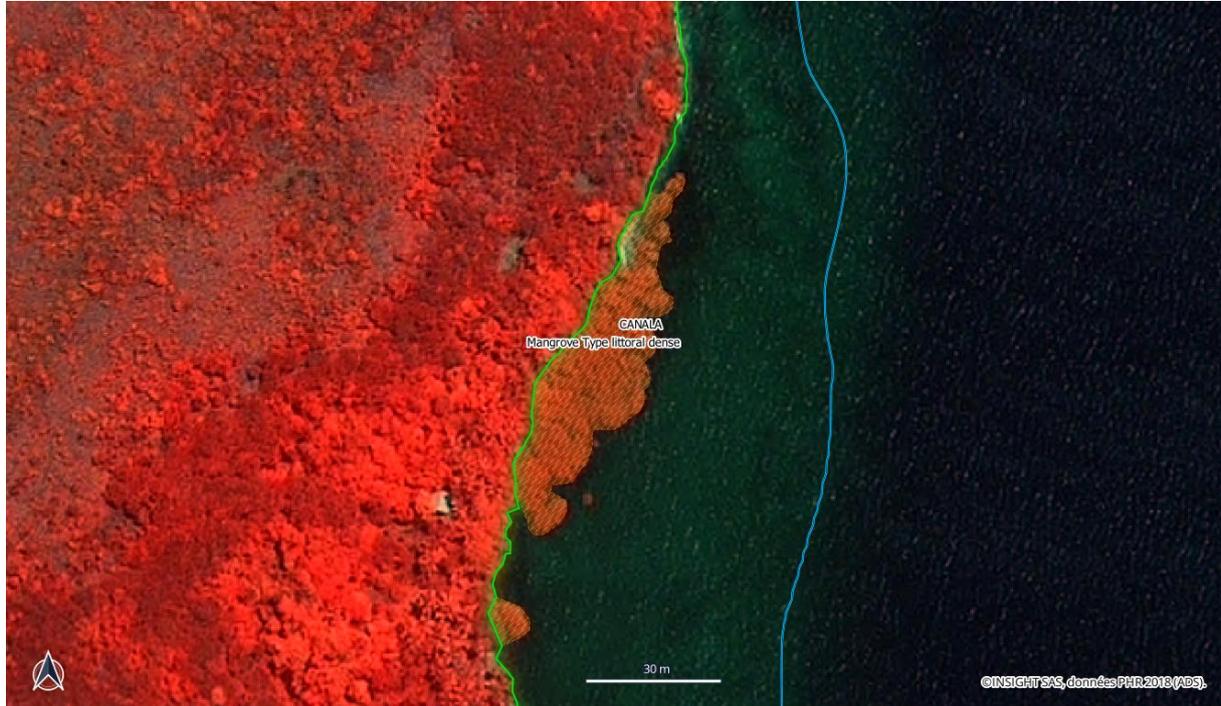


Figure 40 : Patch de mangrove dense.

PROBLEMATIQUE

N/A

CHOIX

Il est choisi ici de lever ces ensembles selon les même règles que toutes les mangroves.

5.4.6. Cas générique : Mangrove de bord de côte clairsemé

CONTEXTE

Certaines côtes rocheuse peuvent comporter des patches de mangrove clairsemée.



Figure 41 : Patch de mangrove clairsemée.

PROBLEMATIQUE

N/A

CHOIX

Il est choisi ici de lever ces ensembles selon les mêmes règles que toutes les mangroves, sans pour autant délimiter l'intégralité des contours de palétuviers. On fonctionnera plutôt ici en « patch » regroupant plusieurs individus proches.

5.4.7. Mangrove d'îlot

CONTEXTE

Certains patches de mangrove se trouvent totalement détachés de la côte ; on parle alors de mangrove d'îlot.



Figure 42 : Mangrove d'îlot.

PROBLEMATIQUE

N/A

CHOIX

Il est choisi ici de lever ces ensembles selon les mêmes règles que toutes les mangroves.

5.4.8. *Chenaux de mangroves*

CONTEXTE

Certaines mangroves présentent des réseaux de chenaux dont la largeur varie.



Figure 43 : Chenaux de mangrove.

PROBLEMATIQUE

La digitalisation de l'intégralité des chenaux représente une charge de travail importante mais peut également présenter un indicateur de santé de l'écosystème.

CHOIX

Il est choisi ici de lever l'intégralité des chenaux avec pour limite la fermeture de ceux-ci par la canopée. On pourra notamment ici s'aider de méthodes automatisées afin de discriminer l'eau de la végétation.

5.4.9. Ombres portées

CONTEXTE

Suivant la hauteur des individus peuplant les ensembles de mangrove, une ombre portée peut apparaître à l'interface végétaux/mer en fonction de l'azimut/élévation du soleil.

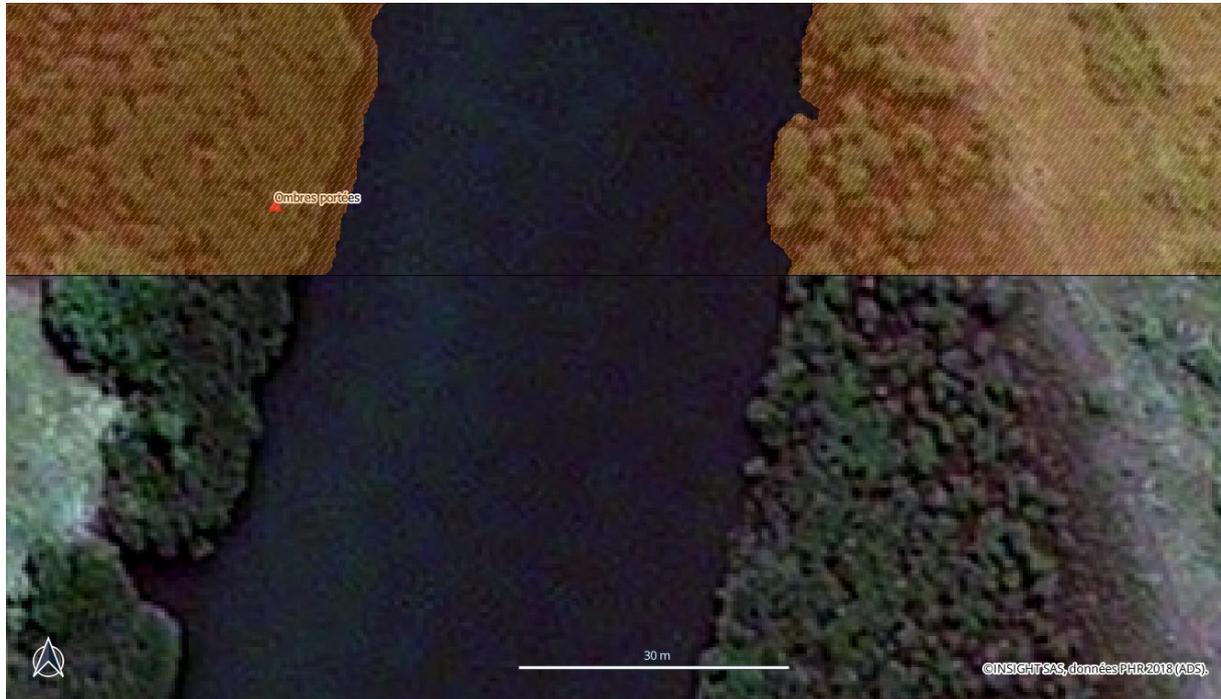


Figure 44 : Exemple d'ombre portée.

PROBLEMATIQUE

Les modèles de classification automatisée peuvent « mal interpréter » cette ombre et l'inclure à la limite externe de l'ensemble.

CHOIX

Il convient dans ce cas de corriger ces décalages si ceux-ci sont trop important (> 3 m).

5.4.10. Aménagement sur mangrove

CONTEXTE

A certains endroits, des aménagements ont été réalisés sur les zones de mangroves.



Figure 45 : Aménagement sur mangrove.

PROBLEMATIQUE

Les aménagements en zone de mangrove tendent à fragmenter les systèmes et représente une perte de surface.

CHOIX

On privilégiera dans ces cas de ne pas intégrer ces surfaces et de bien digitaliser la limite externe correspondante.

5.4.11. Inclusions végétales

CONTEXTE

Certaines mangroves présentent des inclusions de végétation différentes des faciès habituels. La topographie y est souvent liée et un sol plus élevé permettrait à une végétation « standard » ou non halophile de se développer.



Figure 46 : Inclusions végétales.

PROBLEMATIQUE

Ces formations ne font pas partie du système mangrove et ne sont pas sur la zone d'estran.

CHOIX

On privilégiera dans ces cas de ne pas englober ces surfaces et de bien digitaliser la limite externe correspondante.

5.4.12. Limite d'AOI

CONTEXTE

La donnée source ne couvre pas totalement l'entité concernée.

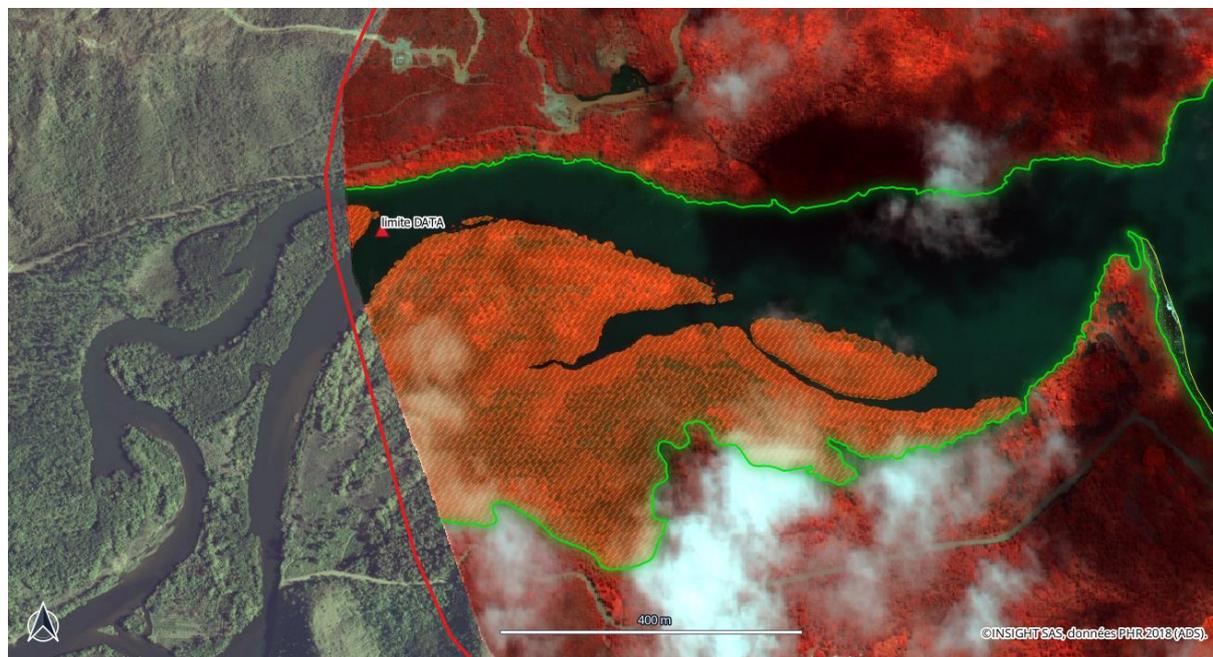


Figure 47 : Exemple d'entité limitée par la couverture de la donnée source.

PROBLEMATIQUE

L'entité mangrove ne sera pas complète à cause de l'emprise de la donnée source.

CHOIX

Il est choisi ici de lever ces ensembles selon les mêmes règles que toutes les mangroves et une option serait de continuer la digitalisation à partir d'autres données sources (Sentinel 2, fond Georep...).

5.5. Récifs



Figure 48 : Exemple de récif.

CONTEXTE

Les récifs frangeants bordent une terre émergée et vient souvent terminer un platier récifal assez étroit et récent.

CHOIX

Leur délimitation est souvent matérialisée par un changement abrupt de colorimétrie de l'eau correspondant au changement rapide de profondeur. C'est cette modification de la couleur de l'eau qui sera favorisé pour la digitalisation de cet indicateur.

Il faudra choisir les bonnes dates d'acquisitions pour obtenir la meilleur image possible.

L'échelle de digitalisation de ce marqueur spécifique n'a pas besoin d'être aussi fine que les indicateurs précédemment cités.

***NB :** Il serait également intéressant et pertinent ici d'effectuer une recherche de données exogènes type SHOM par exemple.*

6. REFERENCES ET BIBLIOGRAPHIE

Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte - Rapport final, BRGM/RP-60616-Fr Novembre 2012.

Fichier : *BRGM_SynthSuiviTraideCoteRP-60616-FR.pdf* [LIEN](#)

Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest) : Approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes. Ibrahima Faye. Géographie. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2010. Français

Fichier : *DYNAMIQUE-DU-TRAIT-DE-COTE-EN-AFRIQUE-DE-L_OUEST-MAURITANIE-GUINEE-BISSAU-VOLUME1.pdf* [LIEN](#)

Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte – Programme d'actions 2017-2019, MEDDE, 28p :

Fichier : *12004-1_Stratégie gestion trait de côte 2017_light.pdf* [LIEN](#)

Exploitation d'images satellite pour le littoral. Volet I : État de l'art de l'utilisation des technologies satellitaires pour la cartographie du trait de côte et de la bathymétrie, rapport Cerema, Bosc C., Raviola M., Laine P. (2014), 58p

Fichier : *AGj_Web_ExploitationImagesSatelliteLittoral_Volet-I_26sept18.pdf* [LIEN](#)

Exploitation d'images satellite pour le littoral. Volet II : Réalisation d'un prototype d'extraction du trait de côte à partir d'images satellite – Application à l'archipel de Saint-Pierre-et-Miquelon, rapport Cerema, Chandelier L, Laine P, Bosc C. (2015), 70p. *AGj_Web_ExploitationImagesSatelliteLittoral_Volet-II_27sept18.pdf* [LIEN](#)

Exploitation d'images satellite pour le littoral. Volet III : Prototype de reconnaissance du trait de côte en tant que limite d'immersion à partir d'images satellite – Utilisation de la télédétection spatiale pour la cartographie du trait de côte en zone à faible marnage, rapport Cerema, Bosc C (2014), 24p. Fichier : *AGj_Web_ExploitationImagesSatelliteLittoral_Volet-III_27sept18.pdf* [LIEN](#)

Guide Utilisateur Pléiades / Offre de produits et services : Réf : Version 5 du 26/07/2018, rédigé par IGN, validé par CNES et ADS.

Fichier : *Guide_IGN_Pleiades_V5.pdf.pdf* [LIEN](#)

Spécification technique de l'indicateur national de l'érosion côtière. Cerema, décembre 2017 En ligne sur le site internet Géolittoral : <http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/strategie-nationale-de-gestion-integree-du-trait-r434.html>].

Fichier : *CEREMA_specif-tech-carto-indicateur-erosion-2.pdf* [LIEN](#)