



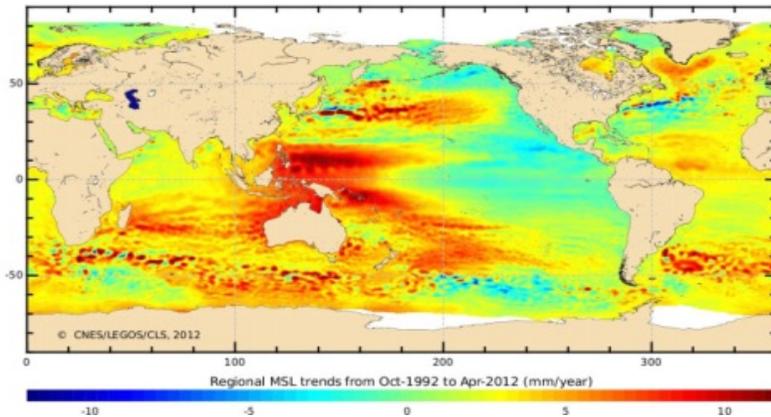
L'Observation Spatiale au Service de la Nouvelle-Calédonie

Atelier “Trait de côte et Littoral”
10 juillet 2019

Contexte



- Quelles seront les conséquences du changement climatique sur le devenir des systèmes côtiers et plus particulièrement sur les systèmes insulaires ?



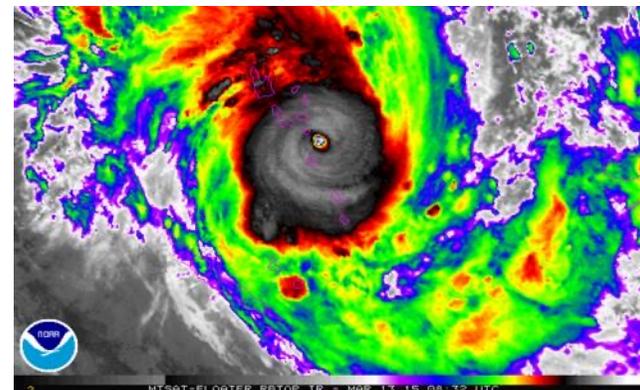
Becker et al., 2012



OBLIC, 2015



S. Merion



Objectifs atelier



Objectifs de l'atelier :

- définir les apports de l'imagerie spatiale à l'étude de la géomorphologie du littoral
 - définir collégialement une méthode globale la plus adaptée aux besoins locaux et homogène à l'échelle territoriale
1. Caractérisation des besoins
 2. REX OBLIC/SGNC
 3. REX PN/Insight
 4. Confrontation besoins vs méthodes
 5. Discussion, pistes de réflexion, axes de travail,...

1- Expression des besoins



Besoins exprimés en termes de gestion des systèmes côtiers :

➤ **Besoins des gestionnaires :**

- apporter des outils en termes de stratégie/gestion et planification côtière et protection de l'environnement littoral,
- définir des zones vulnérables et sensibles aux aléas côtiers pour une meilleur gestion des enjeux,
- mettre en place le suivi des zones potentiellement impactées : définir un état de référence (« T0 ») et évaluation des évolutions,
- besoin de mise à disposition d'indicateurs.

➤ **Besoins techniques et opérationnels :**

- choisir un indicateur du TC adapté au besoin,
- déterminer des résolutions spatiales et des échelles adaptées,
- définir les fréquences d'acquisition et de revisite,
- identifier les capteurs adaptés,
- mise en place de méthodes de traitement.

2- REX OBLIC/SGNC



Caractérisation de la dynamique passée du littoral :

Pourquoi l'étude de l'évolution temporelle du littoral ?

- en termes scientifiques,
- en termes d'aménagements du territoire,
- en termes de risques.

2- REX OBLIC/SGNC



Caractérisation de la dynamique passée du littoral :

Quel indicateur du trait de côte ? (*Mallet et al., 2012; Faye, 2010; Boak and Turner, 2005*)

- varie en fonction du type de littoral (sableux, rocheux, zones humides, mangrove, ouvrages...),
- peut être défini comme une ligne (ou une bande) :
 - les lignes de référence géomorphologiques (rupture de pente, pied de dune,...),
 - les lignes de référence botaniques (Limite de Végétation Permanente),
 - les lignes instantanées de rivage et les limites d'humectation (jet de rive, sable sec/mouillé, pleine mer, hautes eaux),
 - les datums marégraphiques (zéro hydro, niveau moyen, niveau moyen haute mer, pleines mers de vives-eaux),
 - les lignes de tempêtes.

→ Choix à opérer en fonction des besoins, des capteurs disponibles,...

2- REX OBLIC/SGNC



Caractérisation de la dynamique passée du littoral :

Quel indicateur du trait de côte ?

➤ exemples en NC :

■ OBLIC/SGNC :

- LVP pour les côtes sableuses : marqueur de l'érosion + discriminable sur tout type d'image (indépendant résolution, qualité) + possibilité de réaliser des levés *in situ* (Ford, 2012; Webb and Kench, 2010; Yates et al, 2013,...)
- TC mixte (LVP/Limite basse ouvrage/pied falaise/base côte rocheuse/limite extérieure mangrove) : carto Nouméa

■ Bluecham (2017) : niveau des plus hautes/basses eaux → variation niveau d'eau (WorldView 2 et 3) (Australie)

■ Themis (2013) : limite apparente sable sec/mouillé (Entrecasteaux)



- LVP
- Limite sable sec/mouillé

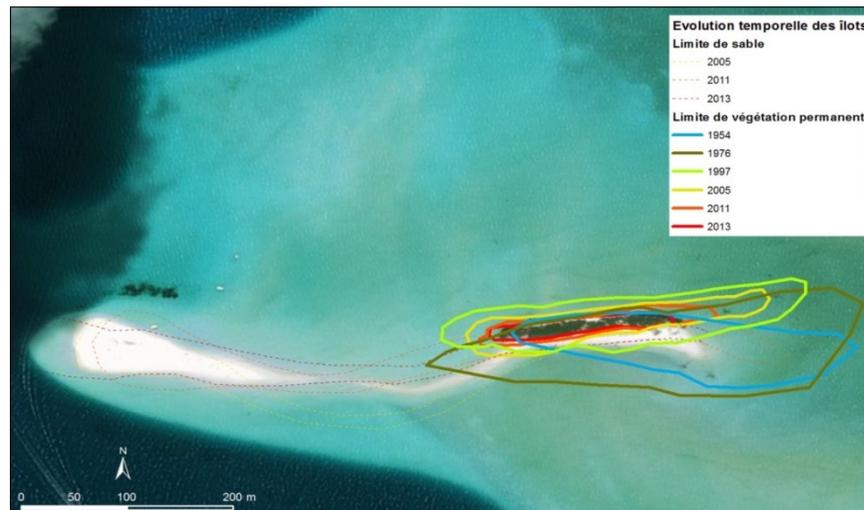
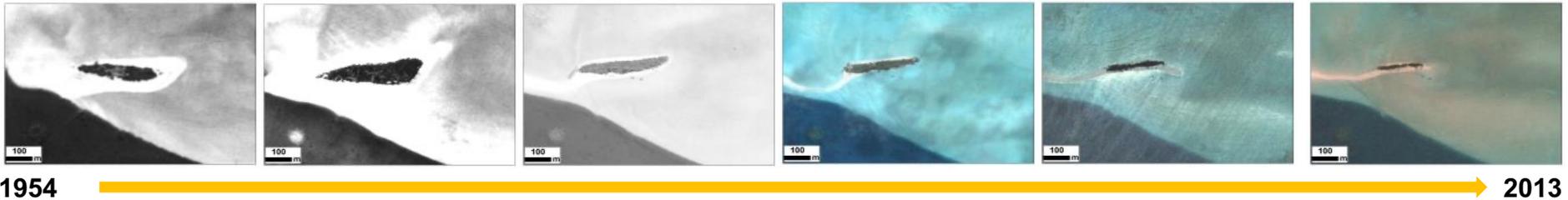
2- REX OBLIC/SGNC



Caractérisation de la dynamique passée du littoral :

Quelle méthodes d'extraction du trait de côte ?

- Cartographier les positions successives du trait de côte à différentes dates



Évolution de l'îlot
Kutomèrè (Atoll Nokanhui
– IDP) de 1954 à 2013

(ici 2 proxy
TC = sable
et LVP)

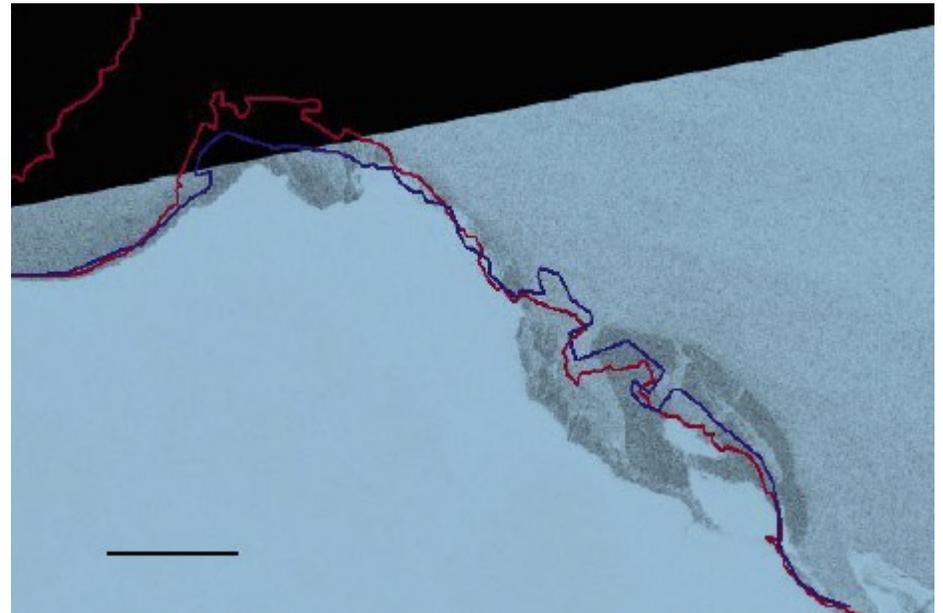
2- REX OBLIC/SGNC



Caractérisation de la dynamique passée du littoral :

Quelle méthodes d'extraction du trait de côte ?

- Méthode automatique ou semi-automatique d'extraction du TC
- détection du TC par traitement d'images satellites (*Mallet et al., 2012*),
- à partir d'images satellites optiques multi spectrales, hyperspectrales, radar, lidar,...
- les procédés varient en fonction des images et du TC utilisés : classification, seuillage, calcul d'indices (végétation),...



Evolution du TC en Guyane par imagerie radar (*Baghdadi et al., 2004*)

2- REX OBLIC/SGNC



Caractérisation de la dynamique passée du littoral :

Avantages

Méthodes performantes et reproductibles

Généralisation et application d'un procédé sur un linéaire côtier important : de grandes zones peuvent être couvertes

La restitution des tracés est homogène à l'échelle de l'image

Pas de prise en compte de la subjectivité de l'opérateur de saisie → pas de problème lié à l'interprétation

Possibilité de réaliser de la détection de changement automatique

Possibilité de disposer des images d'archive : historique

Limites

Images anciennes pas toujours exploitables (résolution pas adaptée + non géoréférencées/orthoréctifiées) : historique limité

Nécessité de disposer d'une résolution fine

Il est nécessaire de disposer d'une infrastructure matérielle/logicielle et de compétences

Nécessité de disposer des images brutes pour traitements → coût

Coût élevé : signifie que les données sont généralement limitées à la fois spatialement et temporellement

Nécessité de procéder à une validation et une qualification des résultats à partir de données terrain

Restitution d'un TC crénelé (par vectorisation des objets)

Problème avec les zones d'ombre et le couvert nuageux : rend difficile voire impossible l'exploitation des images

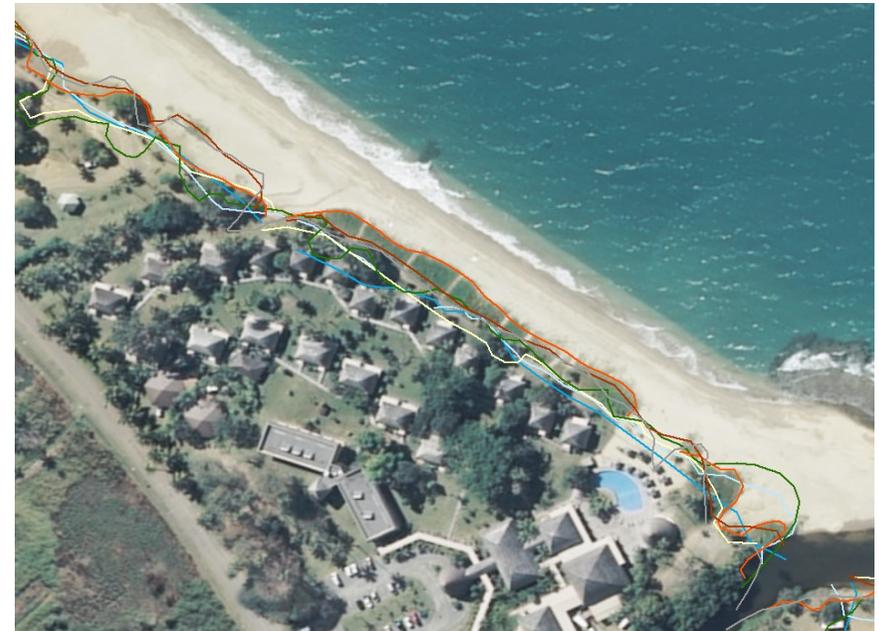
2- REX OBLIC/SGNC



Caractérisation de la dynamique passée :

Quelle méthodes d'extraction du trait de côte ?

- Méthode manuelle d'extraction du TC
- détection des TC par interprétation visuelle,
- à partir de photographies aériennes ou d'images satellites (supports mixtes),
- un opérateur détecte visuellement le TC par photo-interprétation puis le digitalise sous SIG (*Ford, 2011, 2013; Ford and Kench, 2014; Duvat, 2018; Mallet et al., 2012*).



Evolution du TC en NC (Poindimié) par photo-interprétation de photos-aériennes et images satellites (SGNC, 2019)

2- REX OBLIC/SGNC



Caractérisation de la dynamique passée :

Quelle méthodes d'extraction du trait de côte ?

Avantages	Limites
Adaptée aux linéaires côtiers de faible longueur	Chronophage si couverture d'un linéaire côtier important
Prise en compte de l'expertise et de l'expérience de l'opérateur (connaissance du terrain)	Digitalisation dépendante de l'appréciation de l'opérateur de saisie → aussi bien pour le même opérateur que plusieurs
Mise en œuvre relativement simple sous SIG (peu d'expertise nécessaire)	Digitalisation dépend de la résolution et qualité des images de base → échelle de saisie variable (donc TC non homogènes en précision)
Faible coût : matériel et logiciel, images (collecte à partir de différentes sources et pas de nécessité d'acquérir les images brutes → mais dans ce cas géoréférencement)	Prise en compte de marge d'erreur (somme des imprécisions liées à la résolution et au géoréférencement des images, et à la digitalisation)
La photo interprétation permet de lever de nombreux indicateurs du TC	Nécessite des clichés présentant un bon contraste Problèmes des ombres portées pour le travail de digitalisation

→ Choix de la méthode se fait en fonction des objectifs fixés, de l'emprise de l'étude, du type de côte, des ressources (matériel, logicielles, humaines) et des données disponibles. ¹²

2- REX OBLIC/SGNC



Caractérisation de la dynamique actuelle du littoral :

Pourquoi suivre l'évolution actuelle du TC ?

- analyser les tendances d'évolution actuelles,
- caractériser les formes et des processus sédimentaires actifs en termes d'érosion, de transport sédimentaire, etc.
- mesurer les changements du littoral dans le temps et définir les trajectoires évolutives.
- ➔ **Pour cela il est nécessaire de mettre en place un suivi morpho-sédimentaire sur le long terme à partir de mesures à haute résolution spatiale et temporelle, qui a pour objectifs :**
 - de définir des états de référence (Etat initial/T0),
 - puis caractériser et quantifier finement les évolutions (évolution de la position du trait de côte, des volumes sédimentaires, des profils de plages etc.)

2- REX OBLIC/SGNC

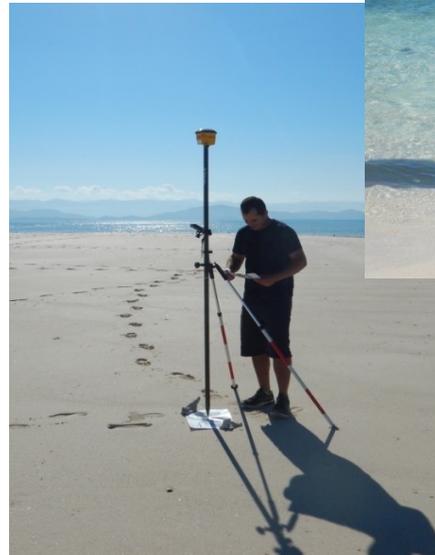


Caractérisation de la dynamique actuelle du littoral :

Quelle méthodes d'acquisition pour le suivi du littoral ? (Mallet et al., 2011)

➤ Méthodes d'acquisition *in situ*

- levés topographiques au DGPS :
 - semi de points/maillage → génération de MNT,
- repères de terrain,
- observatoires photos,
- théodolite,
- scanner 3D,
- caméra...



Levés topographiques (DFA-DENV- DITTT-UNC)

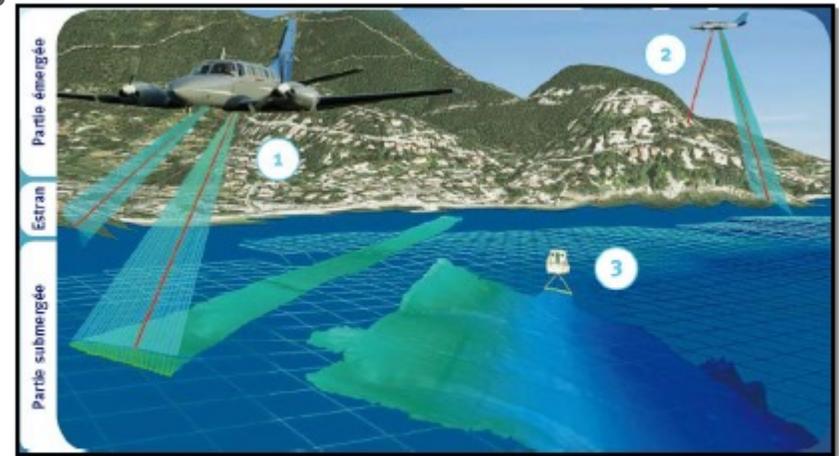
2- REX OBLIC/SGNC



Caractérisation de la dynamique actuelle du littoral :

Quelle méthodes d'acquisition pour le suivi du littoral ?

- Méthodes d'acquisition indirectes
- Imagerie satellitale
 - optiques : SPOT, Pléiades, Worldview,...
 - radar,...
- Télédétection aérienne
 - orthophotos et photographies aériennes
 - Lidar
- Autres porteurs aériens (drone, avion, cerf volant, ballons captifs, ULM, etc.)
- Sondeurs bathymétriques
 - monofaisceau, multifaisceaux



Levé Lidar (IGN)



Levé drone (UNC)

2- REX OBLIC/SGNC



Caractérisation de la dynamique actuelle du littoral :

Quelle méthodes d'acquisition pour le suivi du littoral ?

- Choix à opérer en fonction des besoins/contraintes :
- nécessité de disposer de support à haute résolution/précision pour générer des cartographies fines,
- nécessité de disposer de restitution 3D pour génération MNT,
- nécessité de réaliser des levés à fréquence régulière (annuelle, saisonnière et événementielle),
- nécessité d'acquérir de la données bathymétriques pour évaluer les mouvements des stocks sédimentaires de la zone subtidale/petits fonds,
-

2- REX OBLIC/SGNC



Caractérisation de la dynamique actuelle du littoral :

Quelle méthodes d'acquisition pour le suivi du littoral ?

Outils de levés		
Contraintes	DGPS	Image satellite (type Pléiades)
Résolution/qualité	+++ (centimétrique en altimétrie)	+++ (50 cm)
Fréquence d'acquisition	++ (selon disponibilité des équipes)	+++ (revisite + programmation + post évènement)
Coûts	+ (si matériel déjà acquis mais ETP à prendre en compte)	+++
Temps acquisition/traitement/validation	++/++/+	+/++/++
Etendue d'acquisition	+ (si grande étendue spatiale) et +++ (si petite zone)	+++ (si grande étendue spatiale)
Conditions météos	+ (acquisition par tout temps/sous couvert végétal/dans l'eau)	++ (ombre/couverture nuageuse/eau)

2- REX OBLIC/SGNC



Cartographie typologique du littoral :

Pourquoi réaliser une cartographie de la typologie du littoral ?

- identifier, caractériser puis classer les différents types de littoraux présents sur le territoire,
- réaliser une cartographie des différents types de côtes sur l'ensemble de la NC,
- disposer d'un état des lieux du patrimoine côtier de la NC,
- établir un état de référence (T0) puis les états T1, T2,... pour réaliser des analyses cartographiques et statistiques des évolutions

2- REX OBLIC/SGNC

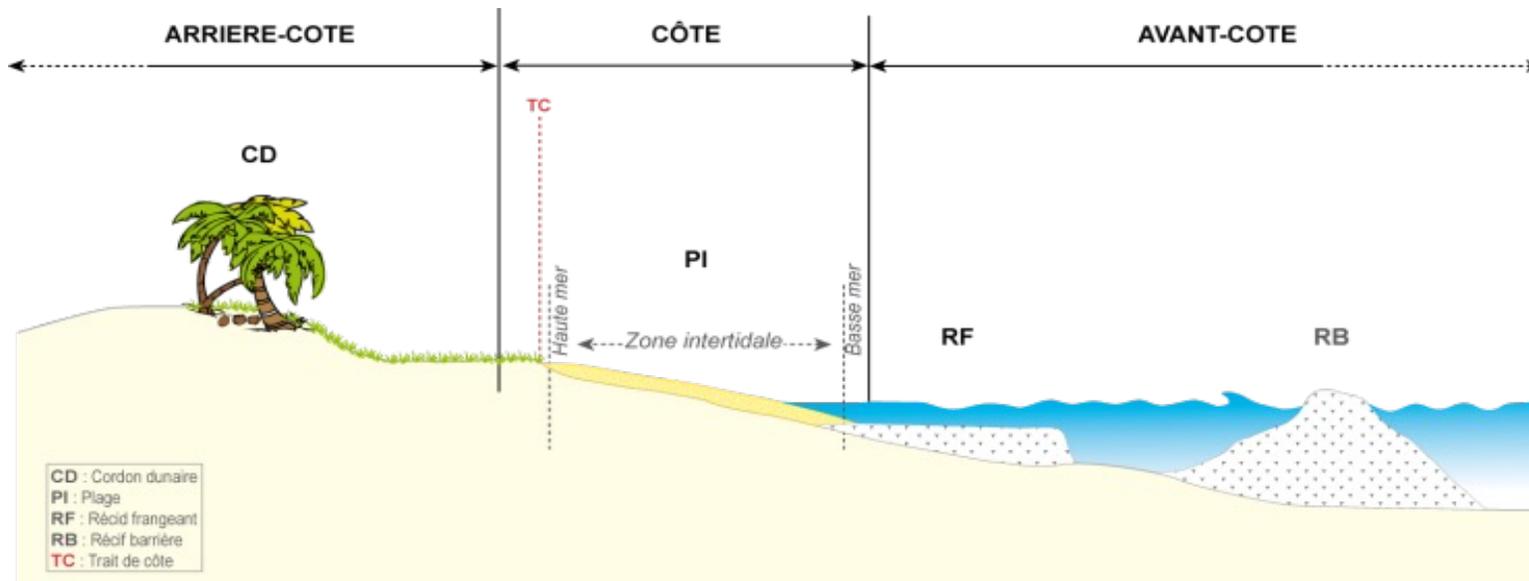


Cartographie typologique du littoral :

Quel type de côte ?

Etude SGNC/BRGM :

- Caractérisation de la bande côtière en **trois compartiments** successifs selon l'axe cross shore (avant côte, cote, arrière côte) ;



2- REX OBLIC/SGNC



Cartographie typologique du littoral :

Quel type de côte ?

➤ Définition des descripteurs **niveau 1** par compartiments : nature morphologique et lithologique

➤ Intégration des descripteurs **niveau 2** : récif barrière, zone anthropisée ou artificialisée, zone urbaine, beachrock,

Description avant côte		Description côte		Description arrière côte	
FS	Flèche sableuse	CA	Côte artificialisée	CD	Cordon dunaire
Mg	Mangrove	PI	Plage	F	Falaise
RF	Récif frangeant	CR	Côte rocheuse	ZE	Zone élevée
RFMg	Récif frangeant et mangrove	F	Falaise	Mg	Mangrove
ZA	Zone anthropisée	Mg	Mangrove	ZB	Zone basse
/	/	Es	Estuaire	ZBCD	Zone basse et cordon dunaire
/	/	EsMg	Estuaire et mangrove	ZBZH	Zone basse et zone humide
/	/	EsFS	Estuaire et flèche sableuse	ZH	Zone humide
/	/	FS	Flèche sableuse	ZHCD	Zone humide et cordon dunaire
/	/	II	Ilot	/	/ ²⁰

Typologie
OBLIC/SGNC/BRGM

2- REX OBLIC/SGNC



Cartographie typologique du littoral :

Quelle méthode de cartographie ?

- Méthode manuelle pour la cartographie typologique du littoral
- découpage de la côte (bord de mer de la BD topo 10000) en segments homogènes selon la typologie sous SIG,
- par photo-interprétation,
- à partir des orthophotographies aériennes disponibles et les images satellites + utilisation de données exogènes et des observations de terrain,
- par digitalisation sous SIG,
- attribution des descripteurs N1 et N2 par compartiment pour chaque segment.



Carte de la typologie du littoral de Bourail (OBLIC/SGNC/BRGM)

2- REX OBLIC/SGNC



Cartographie typologique du littoral :

Quelle méthode de cartographie ?

- Méthode automatique ou semi-automatique pour la cartographie typologique du littoral
- détection du TC et extraction des différents types de côtes,
- à partir d'images satellites multi spectrales, hyperspectrales, radar, lidar,... (SPOT, Pléiades, WorldView,...),
- par traitement d'images satellites (différents par type de côte).

2- REX OBLIC/SGNC



Cartographie typologique du littoral :

Quelle méthode de cartographie ?

Méthode manuelle

Bonne discrimination des différents types de côte

Temps de traitement long (SGNC : 2 ans pour produire le T0 !)

Phase de validation nécessaire

Production des évolutions difficile à mettre en œuvre

Problème lié à l'interprétation de l'opérateur pour la digitalisation, mais prise en compte de son expertise et expérience

T1 : opérateur différent donc pas d'homogénéité

Imagerie de base issue de différentes sources et à différentes dates selon les emprises géographiques

Méthode automatique

Difficulté à extraire les différents types de côtes : méthodes à mettre au point

Temps de traitement court

Phase de validation/qualification nécessaire

Reproductibilité des traitements donc production des évolutions aisée

Pas de problème lié à la subjectivité de l'opérateur, mais pas d'expertise métier

T1 : assurance de la cohérence et homogénéité

Imagerie acquise sur une période restreinte et pour l'ensemble du territoire

2- REX OBLIC/SGNC



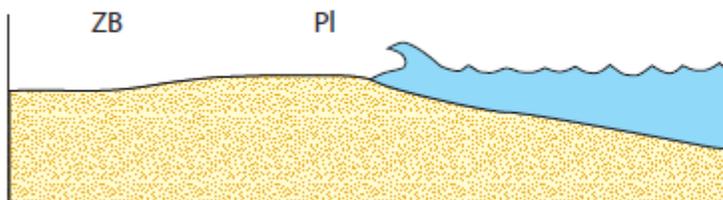
Cartographie typologique du littoral :

Exemple d'application : caractérisation des aléas théoriques par type de côte :

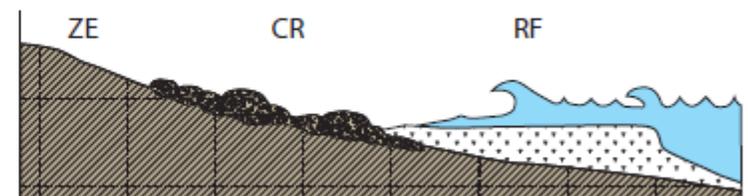
- identification pour chaque type de côte leur propension aux aléas érosion, mouvements de terrain et submersion marine ;
- création de relations entre les types des côtes et les aléas potentiels auxquels ils sont exposés ;

Arrière côte	Côte	Avant côte	Aléa érosion	Aléa submersion	Aléa mouvement de terrain
ZB/ZH/ZBZH/ZHCD/ ZBCD/Mg	PI/Mg/FS/EsFS/Es Mg/Il/Es	RF/NULL/FS/Mg/RF Mg	Oui	Oui	NULL
ZE/F	F/CR	RF/NULL	NULL	Non	Oui (si F)

ZB/PI



ZE/CR/RF



2- REX OBLIC/SGNC



Cartographie typologique du littoral :

Exemple d'application : caractérisation des aléas théoriques par type de côte :

- Attribution des aléas potentiels par segments sous SIG à partir de requêtes attributaires basées sur les lois définies (renseignement automatique).



2- REX OBLIC/SGNC

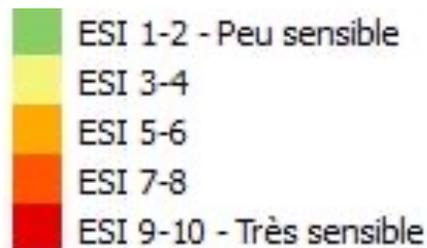


Cartographie typologique du littoral :

Exemple d'application : Caractérisation de l'indice de sensibilité morpho-sédimentaire du littoral à la pollution marine (Plan ORESEC POLMAR-Terre) :

- cartographie de la sensibilité à la pollution du littoral basée sur la combinaison de 3 indices : géomorphologique, écologique, socio-économique,
- l'indice de sensibilité géomorphologique :
 - basé sur l'ESI (Environmental Sensitivity Index) développé par la NOAA ;
 - basé sur la typologie : nature de la côte pondérée par l'avant côte ;
 - basé sur le temps de rémanence des hydrocarbures ;

→ affecter à chaque type de littoral une valeur d'indice ESI



2- REX OBLIC/SGNC



Cartographie typologique du littoral :

Exemple d'application : Caractérisation de l'indice de sensibilité morpho-sédimentaire du littoral à la pollution marine (Plan ORESEC POLMAR-Terre) :

- Attribution de l'indice par segments sous SIG à partir de requêtes attributaires basées sur les lois définies (renseignement automatique).



3- REX PN/Insight



PROJET Trait de Côte 2017 – Province Nord

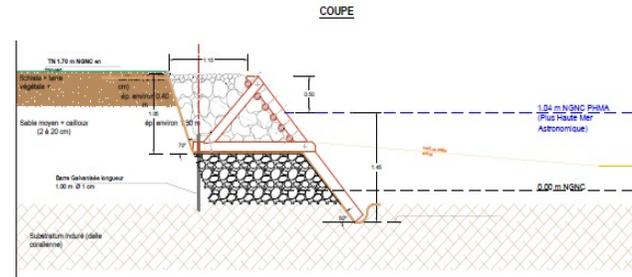
❑ Le constat :

➤ des données littorales souvent parcellaires et de qualité variable :

- Des feuilles minutes du XIX siècle
 - Des photographies aériennes argentiques, en noir et blanc, inexploitable sans un traitement numérique,
 - Des levés topographiques du trait de côte éparses,
 - Des cartes topographiques à l'échelle du 1/2000^{ème} limitées aux zones urbanisées (villages).
- Travaux d'aménagement en urgence à l'échelle d'un enjeu (Curatif)



Exemple d'un ouvrage souple réalisé en bordure de littoral baie de Touho



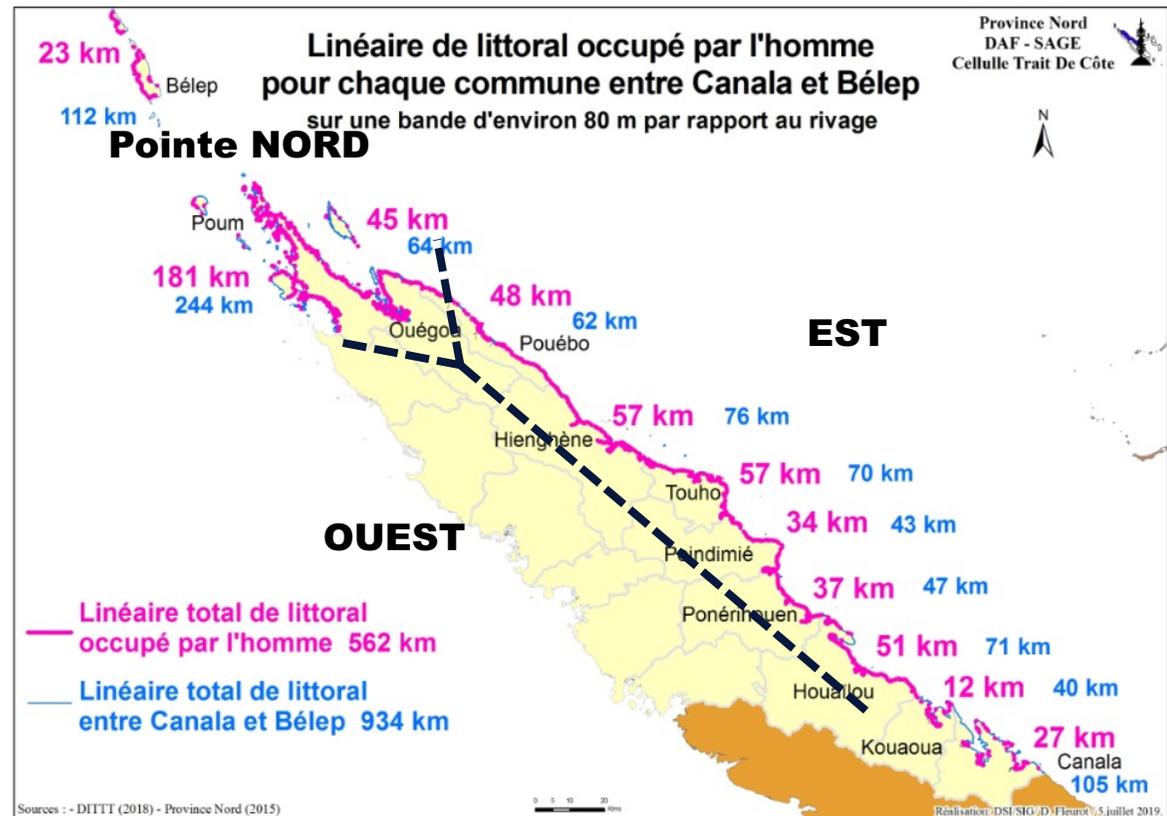
3- REX PN/Insight



PROJET Trait de Côte 2017 – Province Nord

❑ Objectifs à l'échelle du territoire provincial :

- Constituer une donnée de références,
- Mesurer et caractériser les évolutions passées lointaines et ressenties,
- Anticiper dans la mesure du possible celles à venir (**Préventif**),
- Conseiller et orienter les décideurs sur l'aménagement du littoral



3- REX PN/Insight



PROJET Trait de Côte 2017 – Province Nord

❑ Le choix de l'imagerie satellitaire :

- Donnée homogène et précise aujourd'hui pouvant couvrir de grandes surfaces,
- Acquisition rapide, idéal pour les post-événements,
- Peu couteuse en comparaison à d'autres méthodes (LIDAR),
- Automatisation pour identifier des 4 indicateurs linéaires et surfaciques (*limite de végétation, surface de plage et de mangrove, limites récifales*) , *donc reproductible pour des acquisitions futures*
- Permet de valoriser les données historiques

Les plus:

- Données quantitative homogènes qui constitue notre « To »,
- Echelle d'observation adaptée / superficie du territoire

Les moins:

- Définition du besoin (CDC),
- Automatisation pas évidente,
- Besoin de concertation,

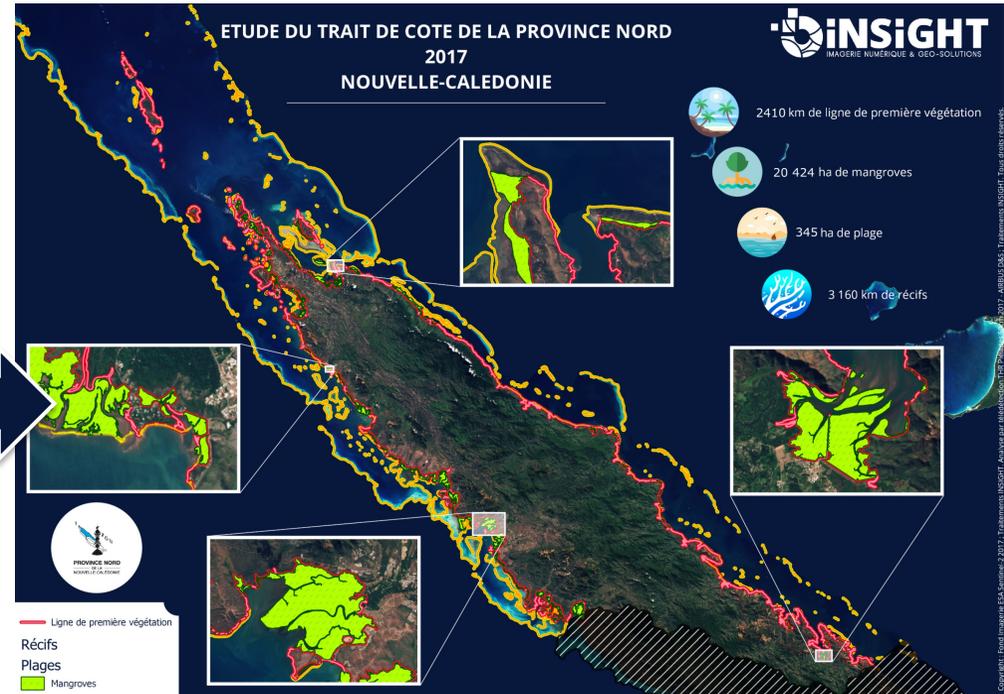
3- REX PN/Insight



PROJET Trait de Côte 2017 – Province Nord



2000 Km2 / PHR sous License UIA (2016-2017)



Restitution finale

3- REX PN/Insight



PROJET Trait de Côte 2017 – Province Nord

Choix des indicateurs de suivi

Acquisitions/Traitements

Corrections manuelles



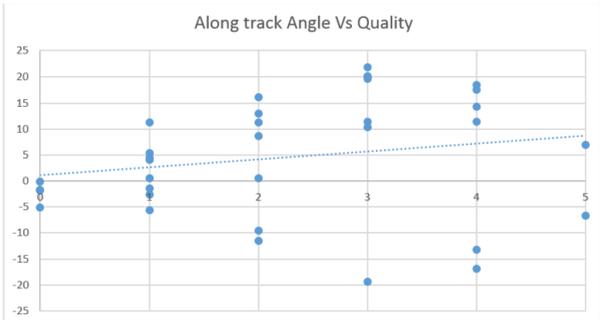
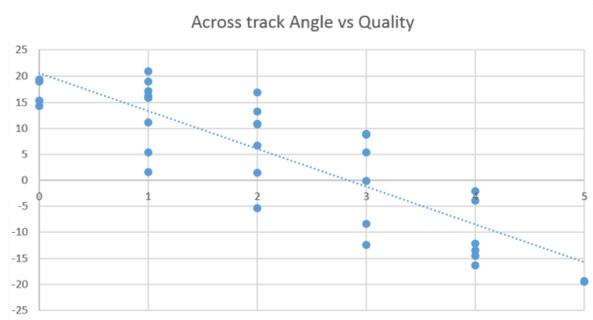
3- REX PN/Insight



PROJET Trait de Côte 2017 – Province Nord

❑ Gestion des acquisitions / Effet « sunglint »

- Fonction de l'angle d'acquisition, de l'azimuth solaire et des conditions météo locales
- Gestion directe avec le fournisseur (ADS)



3- REX PN/Insight



PROJET Trait de Côte 2017 – Province Nord

☐ Méthodes

Sources

Méthodes

Limites



PHR

INDICES + Digitalisation

Côtes rocheuses, végétation « faible », zone artificialisée, ombres portées



PHR

Digitalisation

Hétérogénéité des types de plages , définition de la limite



PHR

INDICES + Digitalisation

Ombres, limites tannes végétation



HR

INDICES

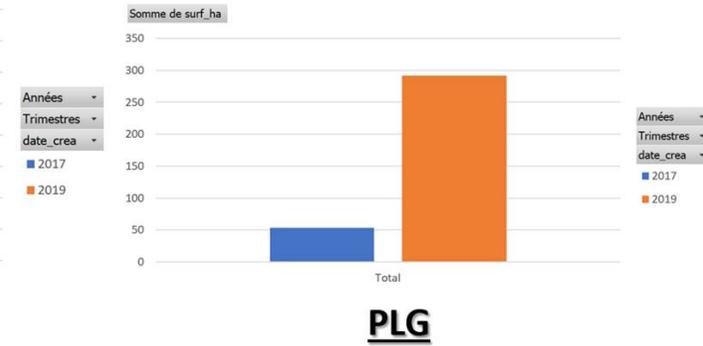
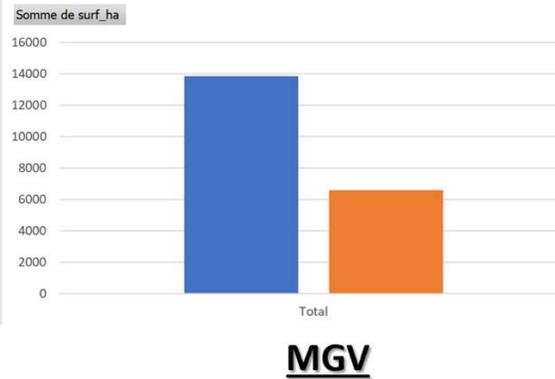
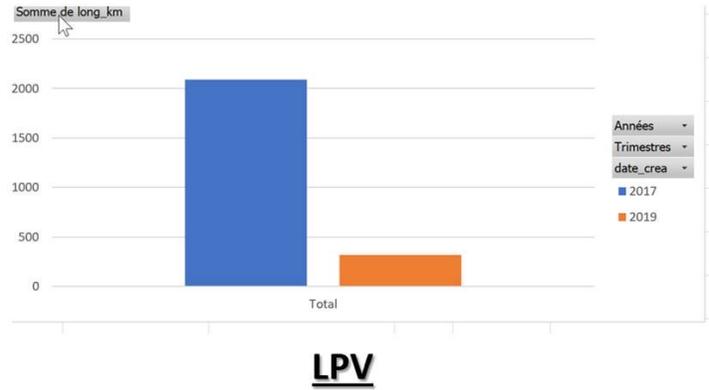
Echelle de modélisation, nécessité d'étude multi dates

3- REX PN/Insight



PROJET Trait de Côte 2017 – Province Nord

☐ Méthodes auto Vs Digitalisation



3- REX PN/Insight



PROJET Trait de Côte 2017 – Province Nord

❑ Support de digitalisation

- Stretch des histogrammes
- Echelle de digitalisation



3- REX PN/Insight

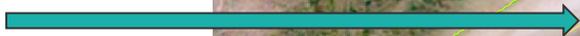


PROJET Trait de Côte 2017 – Province Nord

□ Digitalisation / Plages

- Définition de la limite (fonction de la marée, du type de plage ...)

- Sable sec / mouillé
- Herbiers
- ...



3- REX PN/Insight



PROJET Trait de Côte 2017 – Province Nord

□ Digitalisation / Plages

- Ombres portées



3- REX PN/Insight



PROJET Trait de Côte 2017 – Province Nord

❑ Digitalisation / Falaises

- Pied de Falaise ou Haut de falaise ?



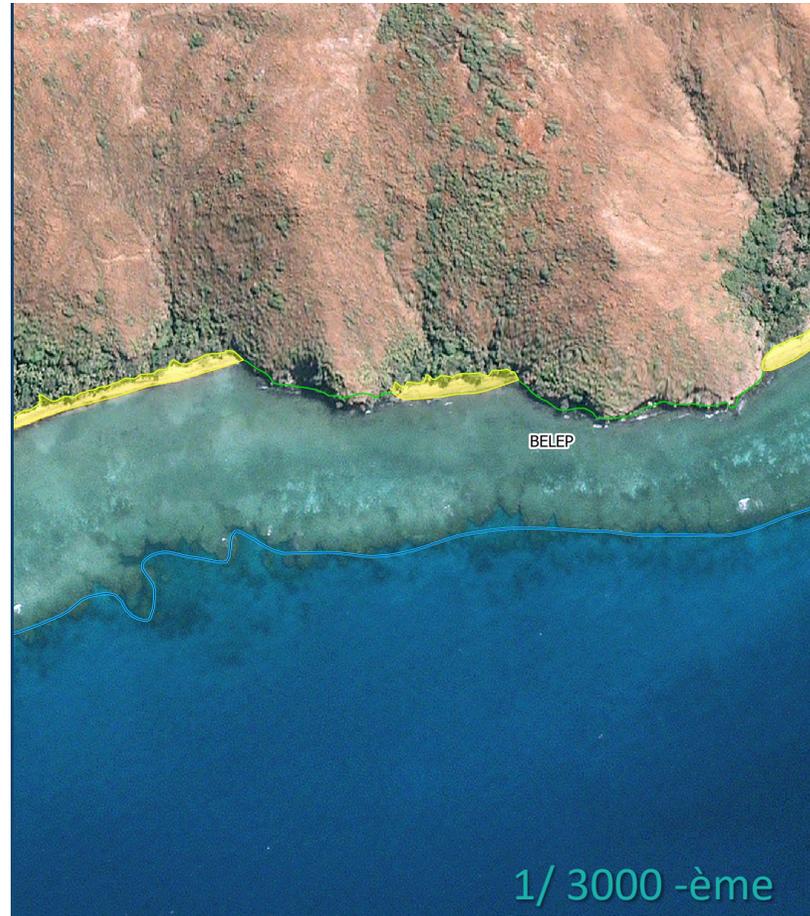
3- REX PN/Insight



PROJET Trait de Côte 2017 – Province Nord

❑ Modélisation des Récifs

- Source = Sentinel 2
- Résolution 10m
- Traitements Mono Date



3- REX PN/Insight



PROJET Trait de Côte 2017 – Province Nord

□ Modélisation des Mangroves

- Ecosystème = Tannes + Végétation
- Ombres



3- REX PN/Insight



PROJET Trait de Côte 2017 – Province Nord

Retour d'expérience

- Gestion des acquisitions (angle max , sunlint ...)
- Méthodes « full auto » ne répondant pas aux attentes
- Digitalisation sensible à l'interprétation de l'opérateur

Besoin

- Besoin de référence et cadrage pour l'opérateur de photo interprétation

4- Besoins vs méthodes



Confrontation besoins exprimés vs méthodes présentées :

Comment l'existant répond aux besoins exprimés :

- :
-