



Journée de démonstration régionale

Space for shore

Érosion littorale et données spatiales

Morbihan - Vendée - Charente-Maritime



Au programme

- Mot de bienvenue et d'introduction
- Tour de table
- Présentation générale du projet européen
- Présentation des méthodes et des résultats sur vos territoires
- Présentation du nouveau géoportail Space for Shore
- Présentation du format des données
- Echange libre sur vos impressions

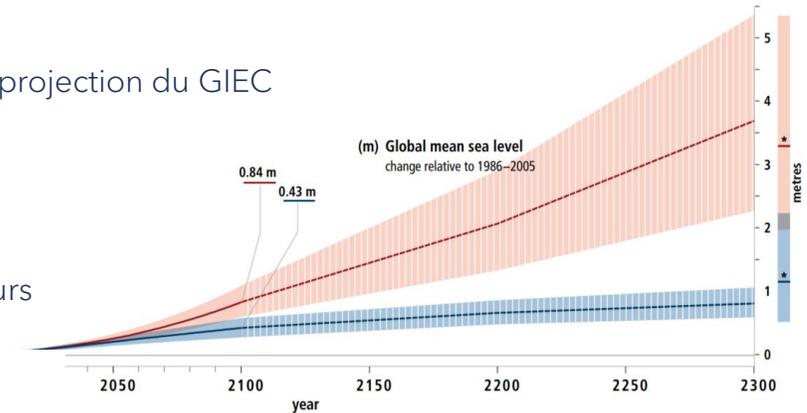
Anticiper et se protéger de l'érosion: un enjeu mondial



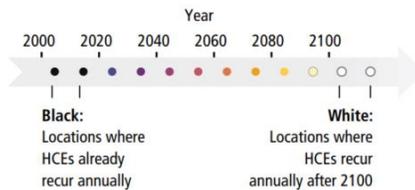
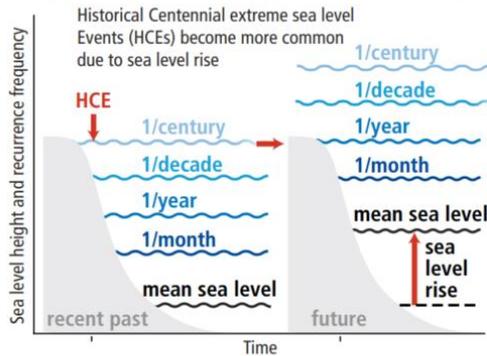
Les effets du changement climatique déjà visibles

Montée du niveau marin ⇒ érosion & submersion

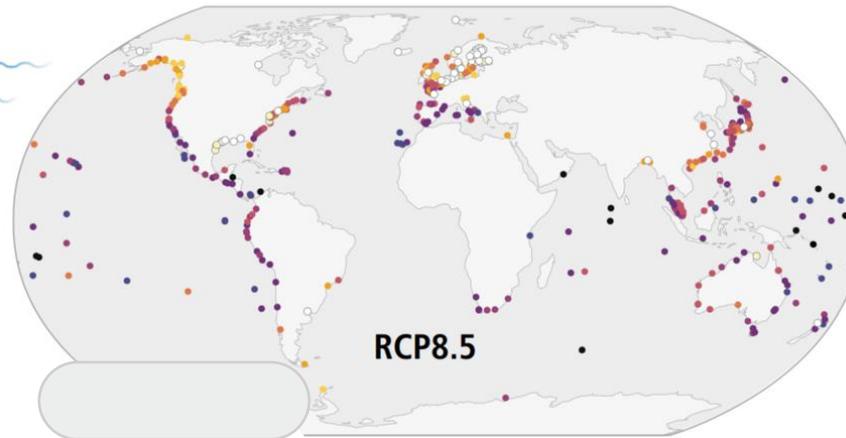
- ⇒ 70% des côtes y sont soumises dans l'amplitude moyenne des projections du GIEC
- ⇒ Périls géopolitiques
 - ⇒ Atteinte à l'intégrité d'îles-états ou états majoritairement côtiers
 - ⇒ Déplacement massifs de populations à l'horizon 2100
- ⇒ **Les événements extrêmes centennaux vont devenir annuels**
- ⇒ Périls écologiques et économiques: Perte d'écosystèmes majeurs



(a) Schematic effect of regional sea level rise on projected extreme sea level events (not to scale)



(b) Year when HCEs are projected to recur **once per year** on average



IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)].

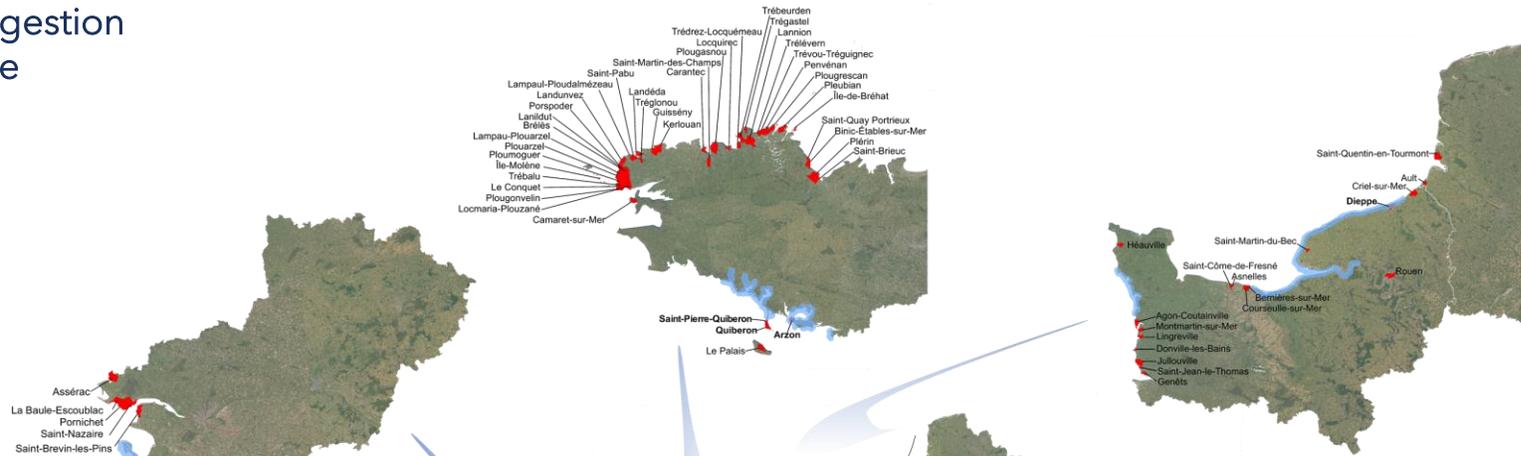
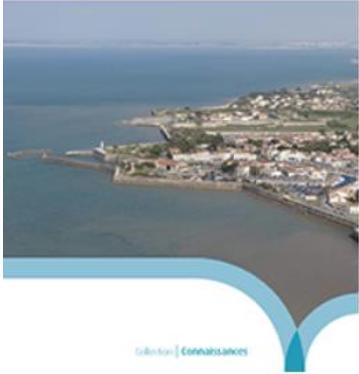
⇒ "For the 21st century, the benefits of protecting against increased coastal flooding and land loss due to submergence and erosion at the global scale are larger than the social and economic costs of inaction"

Accroissement des prises de conscience

2012 : Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte



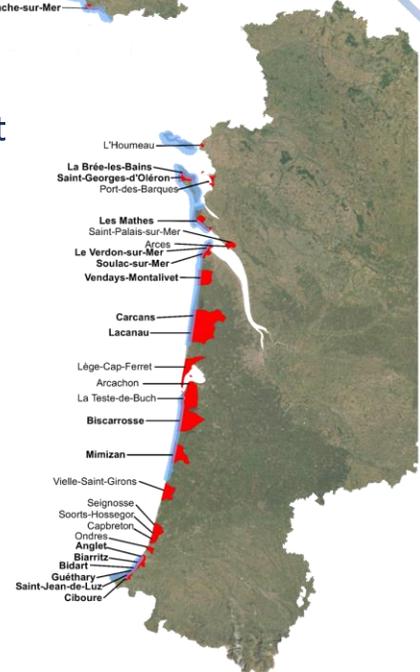
Connaissance du trait de côte
Elaboration de la cartographie des ouvrages et aménagements littoraux



24 communes déjà suivies dans le projet ESA Coastal Erosion !

Avril 2022 : Décret de la Loi Climat et Résilience

126 communes désignées pour adapter l'action en matière d'urbanisme et de politique d'aménagement face aux phénomènes hydrosédimentaires entraînant l'érosion du littoral

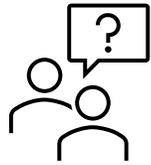


■ Communes listées dans le décret n°2022-750 du 29/04/2022
■ Zones couvertes par le suivi de l'érosion côtière par satellite



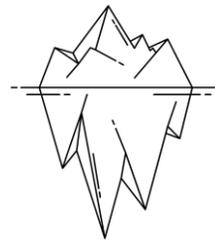
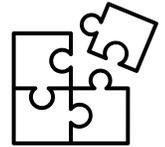
Leitmotiv d'un projet ESA d'envergure

Les pouvoirs publics, usagers -
sphère économique, secteur et
propriétaires fonciers, secteur de
l'assurance, scientifiques...



- **Accompagner** les prises de décision des acteurs directs du territoire littoral

- **Compléter** spatialement et temporellement l'information levée sur le terrain



- Explorer tout le potentiel de la donnée satellite (profondeur temporelle, couverture spatiale, fréquence de revisite, précision et éventail d'informations)

- Franchir les frontières naturelles et administratives



~ 4000 km de littoral



Des milliers d'images satellite



Plus de 60 experts et gestionnaires côtiers impliqués



25 ans de rétrospective



Une dizaine d'algorithmes

Notre historique pour proposer une solution étalonnée sur toutes les mers d'Europe

Collecte des besoins et élaboration de la feuille de route

Définition des sites d'intérêt, des indicateurs de suivi d'érosion, des périodes et fréquences temporelles, des enjeux

Démarrage d'une année supplémentaire de projet !

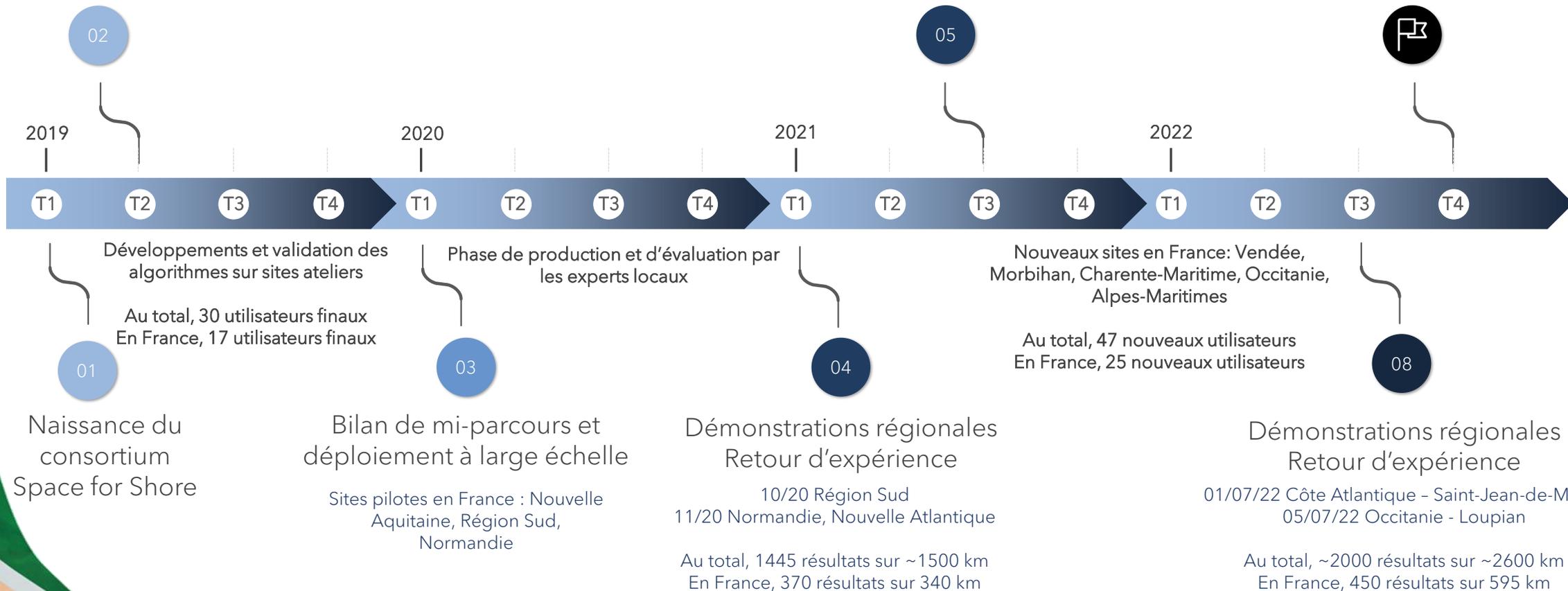
Mise à jour du suivi sur les sites pilotes initiaux jusqu'en 2022

Ajout de 300 km dans chaque pays membre du consortium

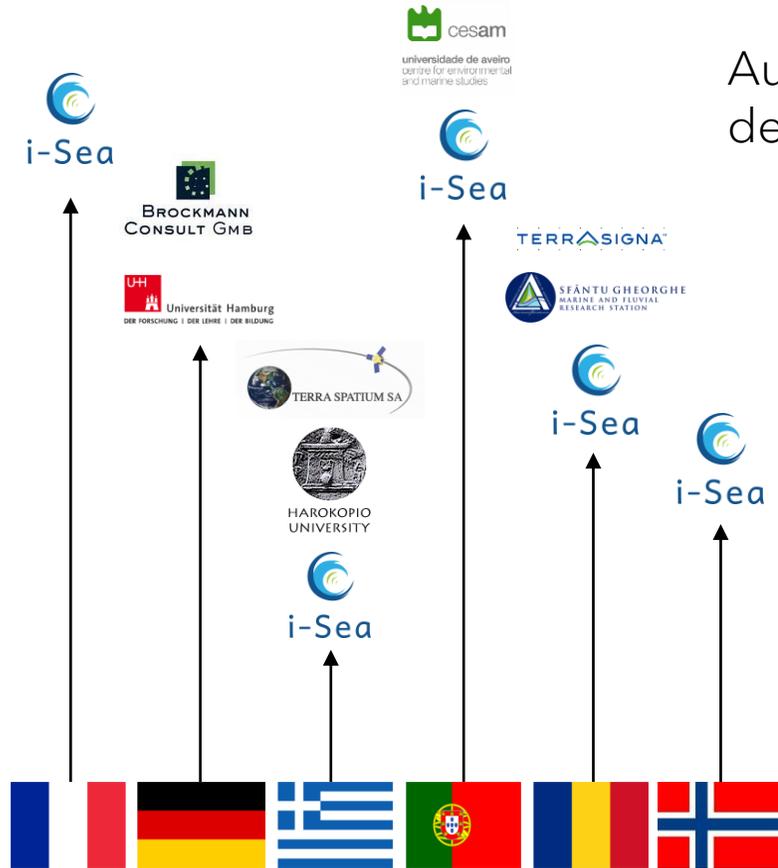
Intégration d'un nouveau pays: Norvège

Démarrage avec nouvelle collecte des besoins (nouveaux utilisateurs finaux!)

Nouvelle offre de service



Un consortium Européen et de nombreuses façades littorales

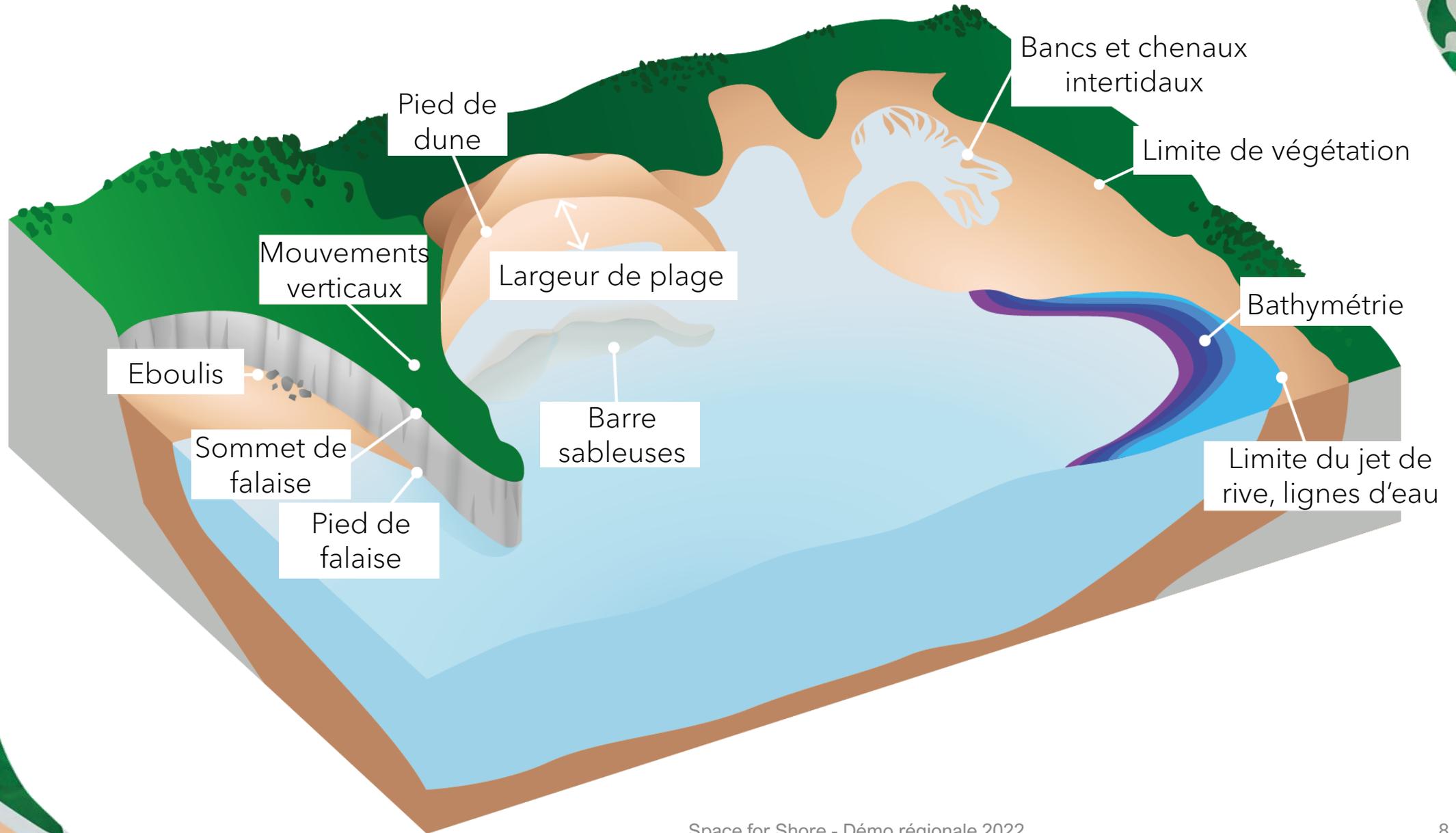


Membres du consortium intervenant dans la production sur les 6 pays

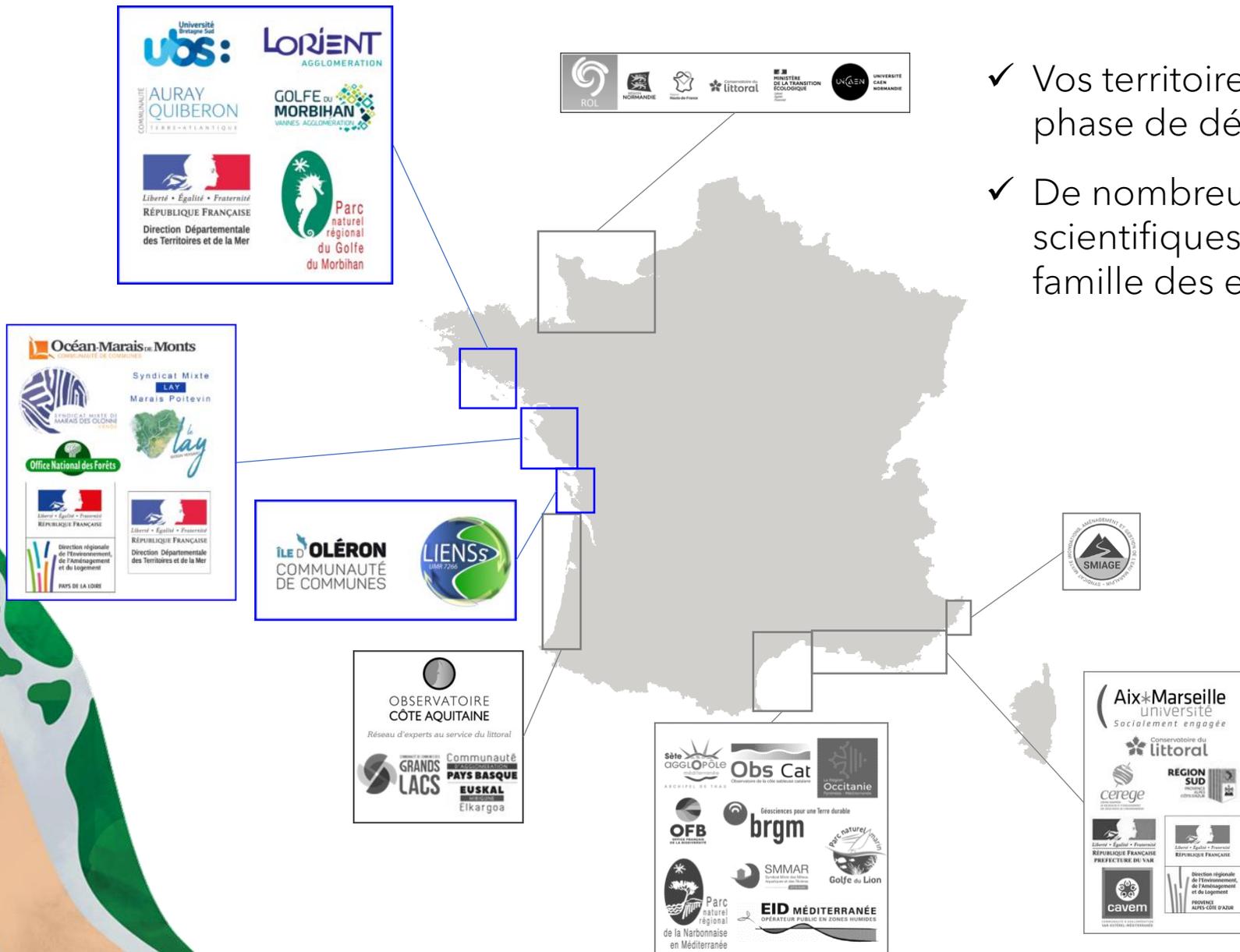
Au total, 4000 km de littoral suivi



Indicateurs morphologiques suivis en France



Collaborations multiples avec les experts et gestionnaires



- ✓ Vos territoires ont intégré le projet en phase de déploiement à grande échelle
- ✓ De nombreuses structures locales scientifiques et de gestion a rejoint la famille des experts et utilisateurs finaux.

Institutions:

- Agences gouvernementales,
- Régions,
- Départements,
- Communautés de communes,
- Syndicats mixtes,
- Municipalités,
- Sites naturels,
- Centres de recherche,
- Universités,
- Observatoires...

Nous avons besoin de votre retour d'expérience et vos témoignages!

Enjeux majeurs reportés sur votre territoire

Charente Maritime



Agir sur le démantèlement de la forêt et la disparition progressive de la flèche littorale



Mieux cibler la surveillance et les opérations

Vendée



- Convaincre les autorités côtières d'agir et probablement convaincre la population de se déplacer
- Assurer la préservation des dunes en période touristique 
- Gérer les stocks sableux



Morbihan



- Aider à l'identification des indicateurs côtiers les plus pertinents à surveiller.



- Ajuster les politiques/volumes de rechargement en sable.



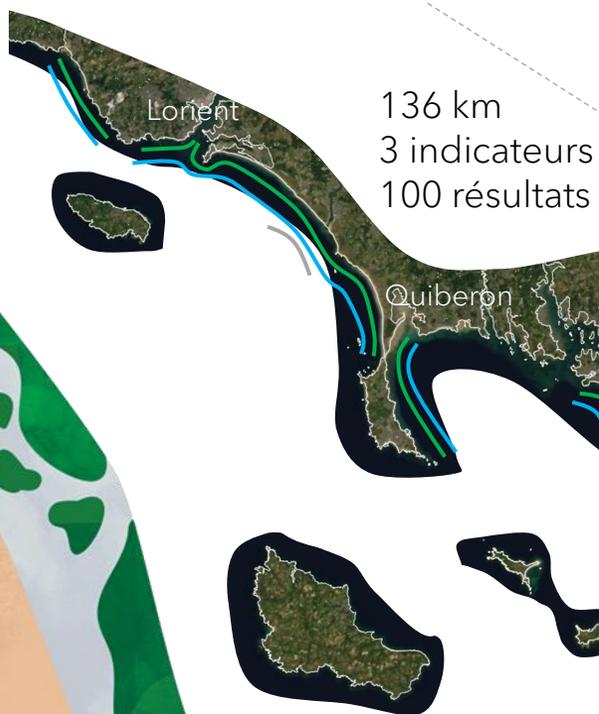
- Analyser l'impact de construction sur la dynamique de la barre sableuse d'Étel.

- Aider dans l'élaboration locale de la stratégie de gestion et d'intégration du risque d'érosion dans le cadre de la réforme pour la résilience climatique
- Comprendre la dynamique côtière dans une zone où peu de données existent ou des jeux de données incomplets
- Surveiller à haute fréquence, saisonnière et post-tempête
- Rompre avec la territorialisation et construire une grille d'analyse en fonction des enjeux de la population.

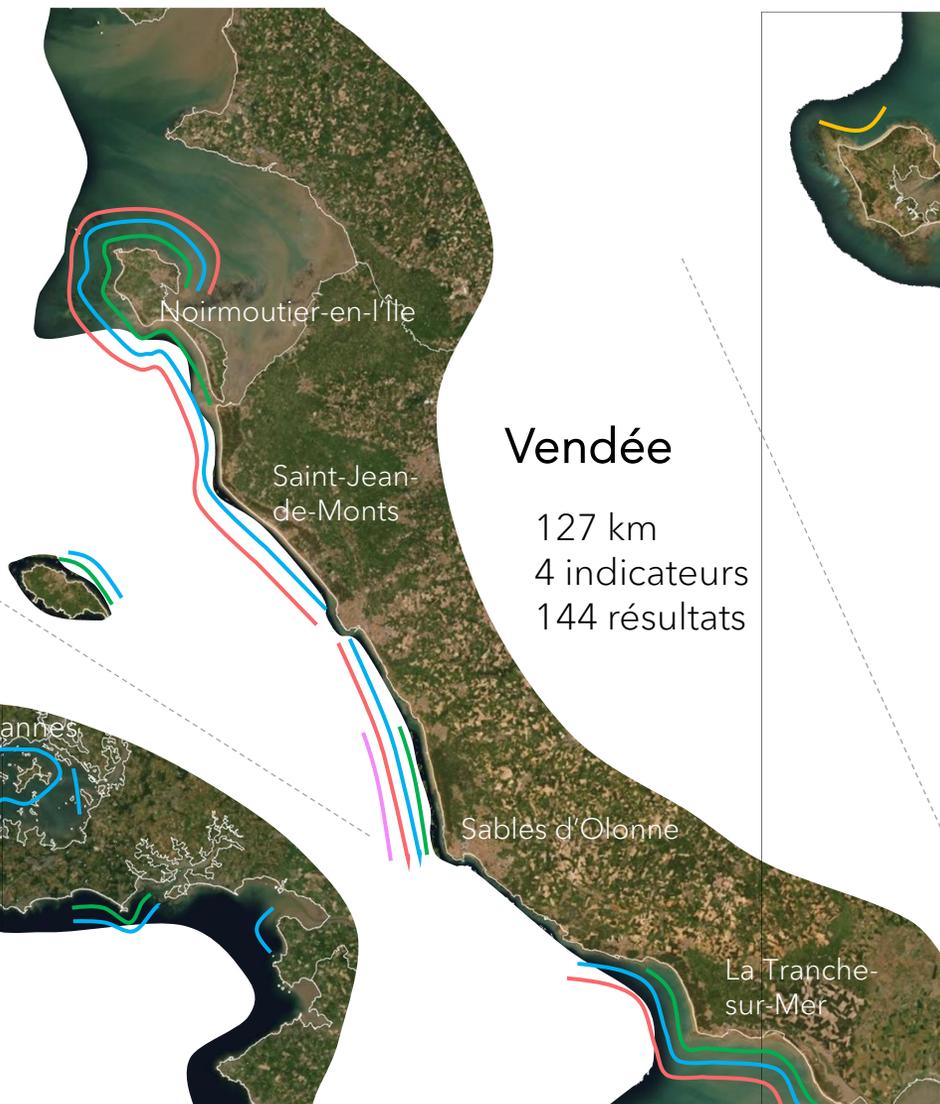


Sites d'étude

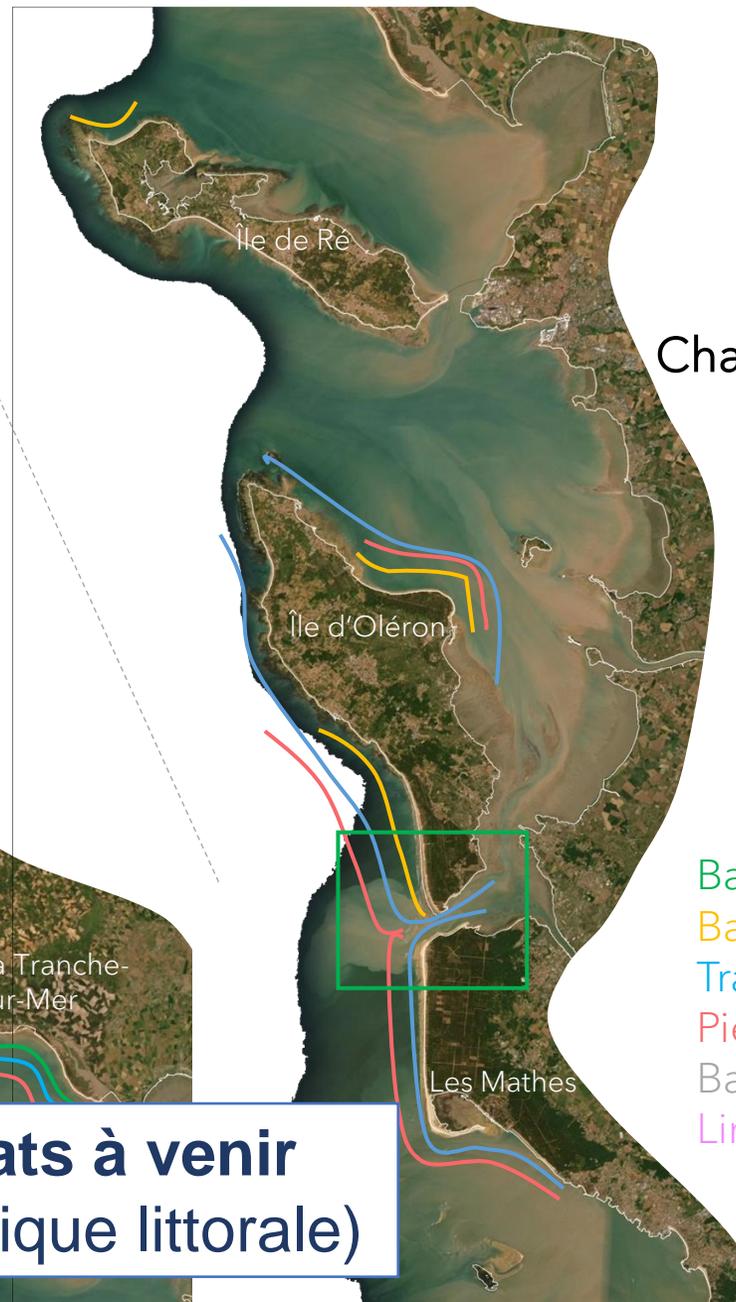
Morbihan



Vendée



Charente Maritime



- Bathymétrie
- Bancs intertidaux
- Trait de côte
- Pied de dune
- Barre sableuse
- Limite de végétation

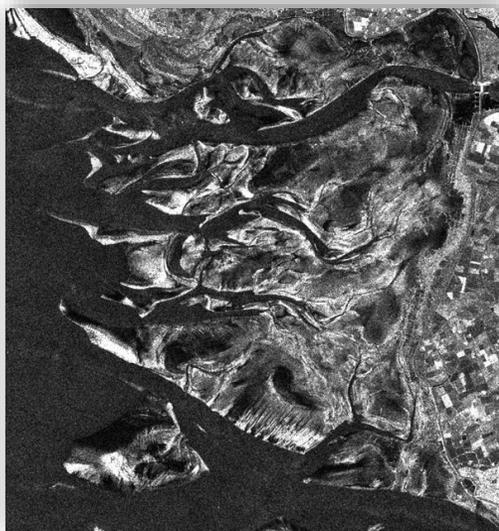
**D'autres résultats à venir
(évolution - dynamique littorale)**

Large volume de données satellitaires

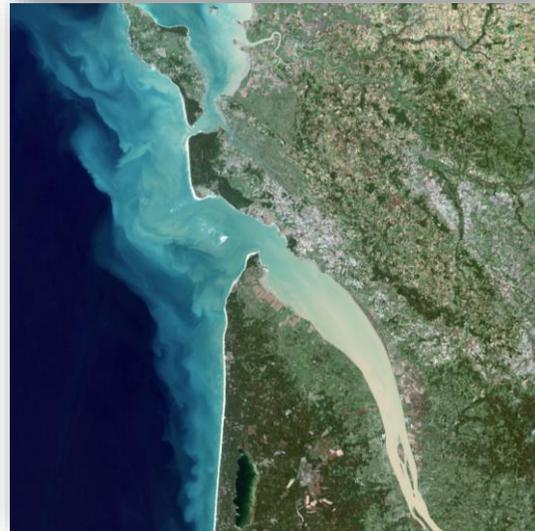
Plus de 3000 images traitées - 1/2 radar, 1/2 optique



SPOT



Sentinel 1



Sentinel 2

Priorité



Pléiades



Landsat

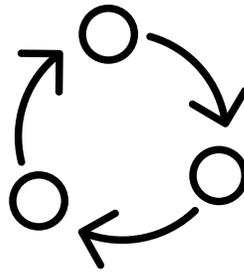


Worldview 2



ERS 1

Méthodes

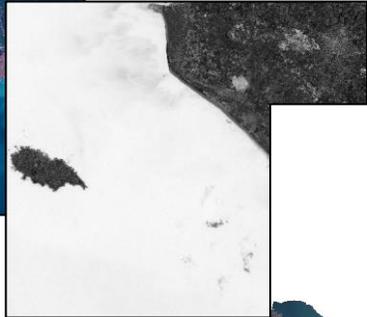


Nouveauté de l'année: les traits de côte suivis grâce à un modèle régional

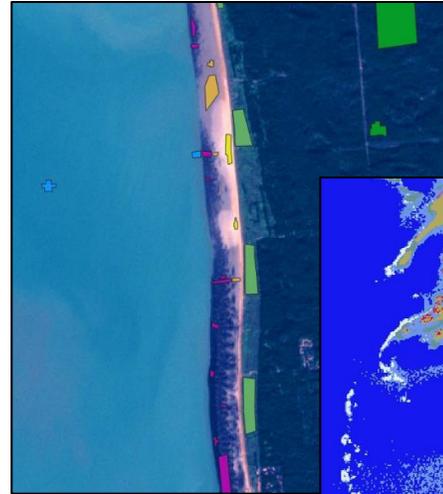
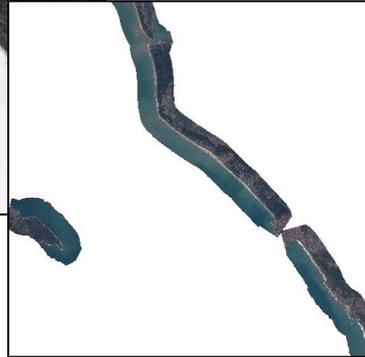
De l'image satellite brute...



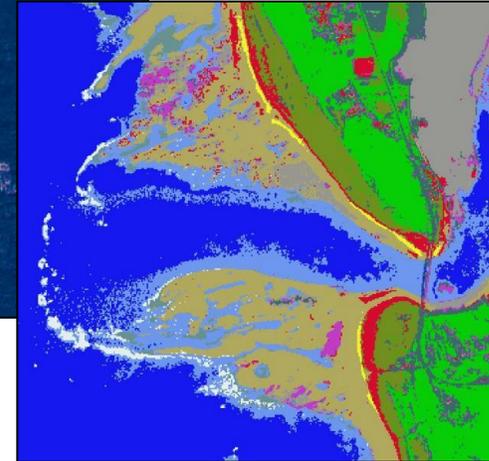
Sentinel-2
SPOT
Pléiades



... à sa version post-traitée



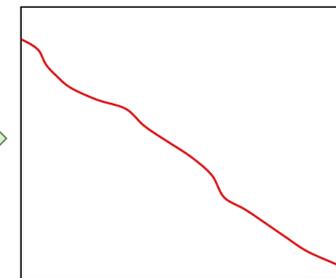
Classification



Distinction des classes de terre et d'eau

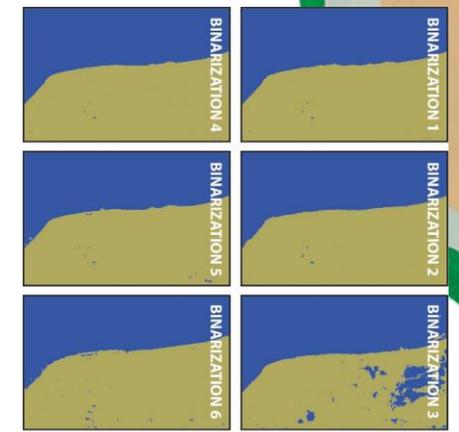
LAND CLASS	WATER CLASS
1. Land	3. Wet sand
2. Dry sand	5. Water
4. Rock flat	6. Surf
7. Building	8. Muddy foreshore
9. Emerged herbarium	10. Shallow water
14. Dune vegetation	11. Turbid water
	12. Water on rock
	13. Submerged herbarium

Génération d'un modèle basé sur mini. 30 échantillons par classes extraits sur 10 images = 4200 échantillons minimum.



Un nouvel outil capable d'extraire les positions de la ligne d'eau, de l'excursion du jet de rive, de la limite de végétation...

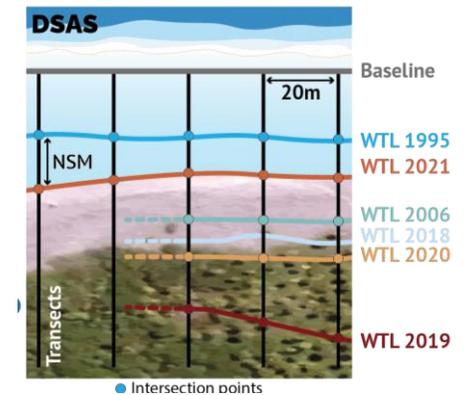
La combinaison multi-dates pour accroître la précision



ADDITION AND UPPER SWASH LIMIT EXTRACTION



Une méthode connue pour calculer l'évolution



Extraction de la position du pied de dune

Un indicateur pertinent mais complexe

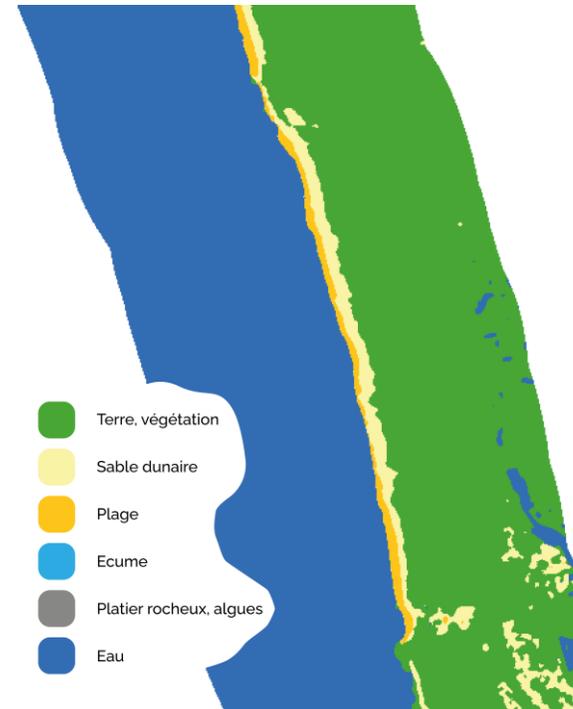
- Référentiel du trait de côte couramment utilisé sur les littoraux sableux
- Complexe : sa définition même sur le terrain ne fait pas consensus

Détection du pied de dune à partir d'un panel d'images satellite optiques

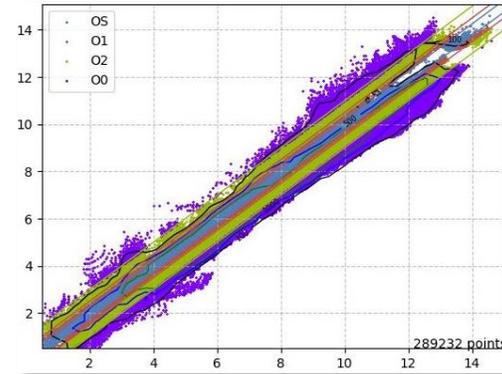
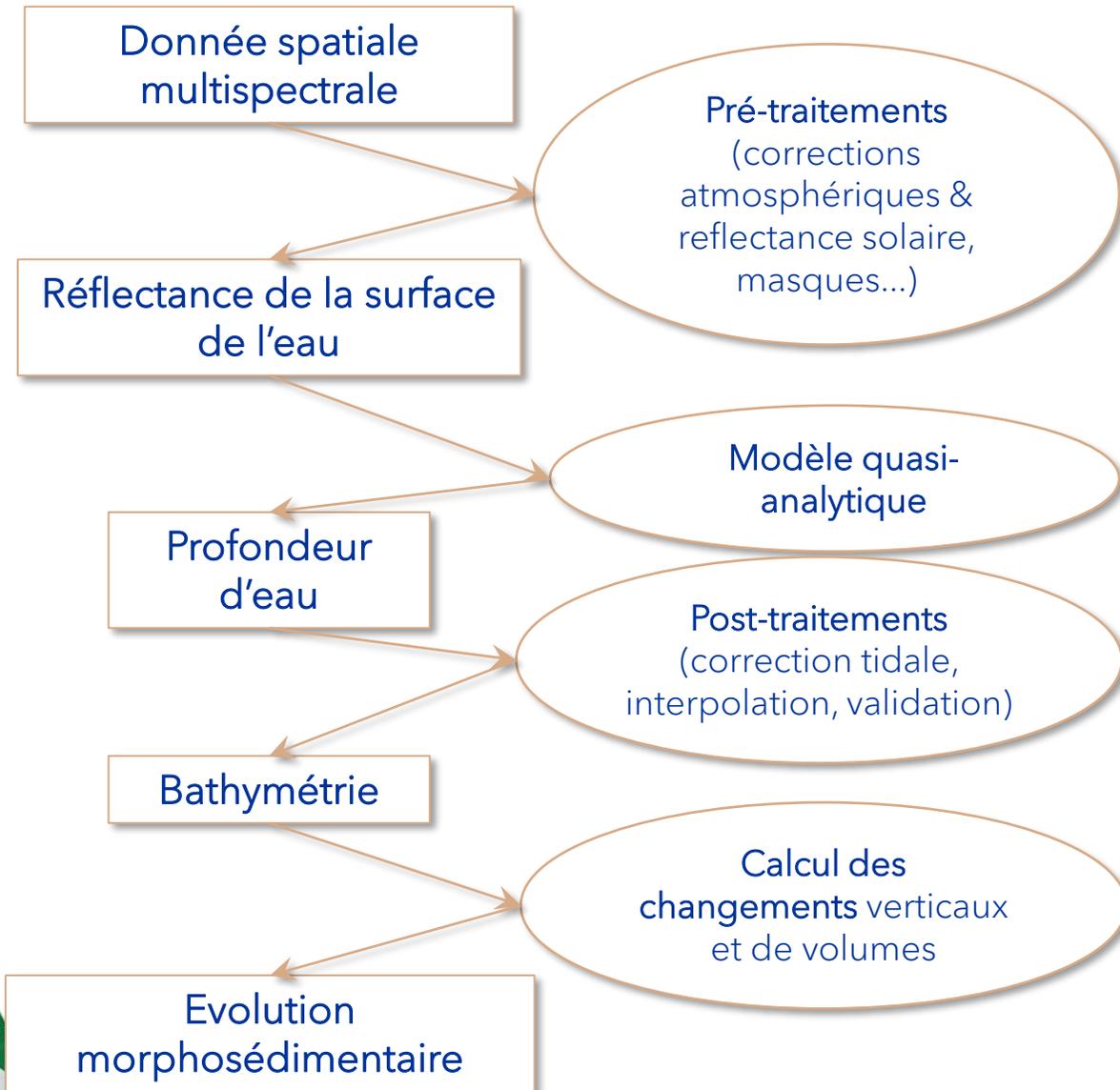
- Sentinel-2 (rés. 10m) : 2016 – 2022
- SPOT (rés. 10-20m) : 1987 – 2014

Approche basée sur la classification supervisée

- Extraction semi-automatisée
- Limite côté océan de la végétation dunaire
- Rupture de pente dans le profil de dune

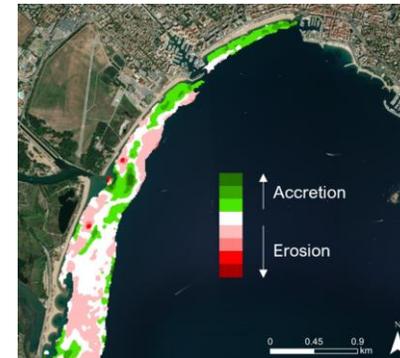


La bathymétrie par imagerie optique



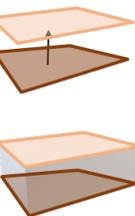
Lee et al., 1998
Capo et al., 2014

TOSCA MORITO 



Différentiels d'une date à la suivante :

- Mesure de la variation verticale en [m]
- Estimation de la variation volumique en [m³]



Les barres sableuses

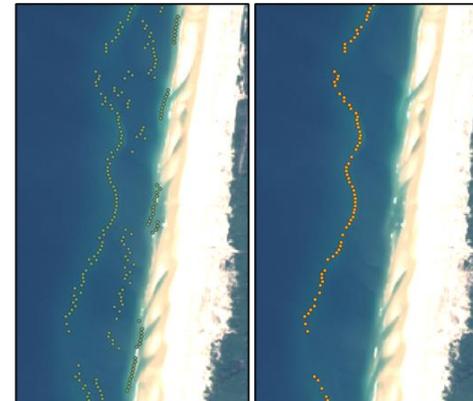
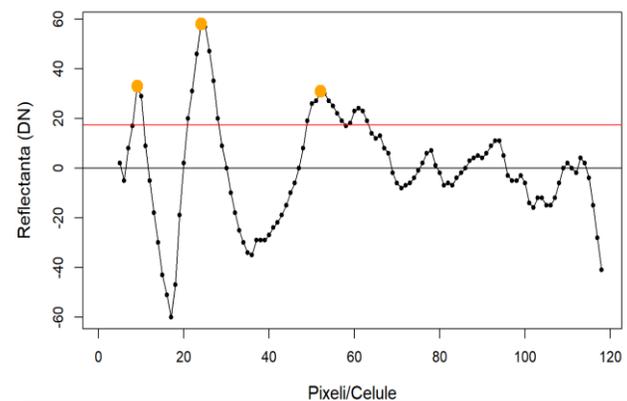
- Utile à la gestion intégrée de la zone côtière
- Continuité de la plage (stock sédimentaire)

Approche basée sur:

- Les données spatiales multispectrales
- La réponse spectrale des positions des barres

La position de chaque barre sableuse d'avant-côte est extraite le long de profils perpendiculaires à la côte.

- Pour chaque profil, les valeurs de reflectance sont extraites



Résultat avant / après post-traitement



Validation



De nouvelles données pour la validation des résultats sur les côtes françaises qui ont rejoint le projet

Sources des données mises à disposition:

- Observatoires côtiers
- Universités
- Centres de recherche
- Institutions publiques
- Syndicats mixtes

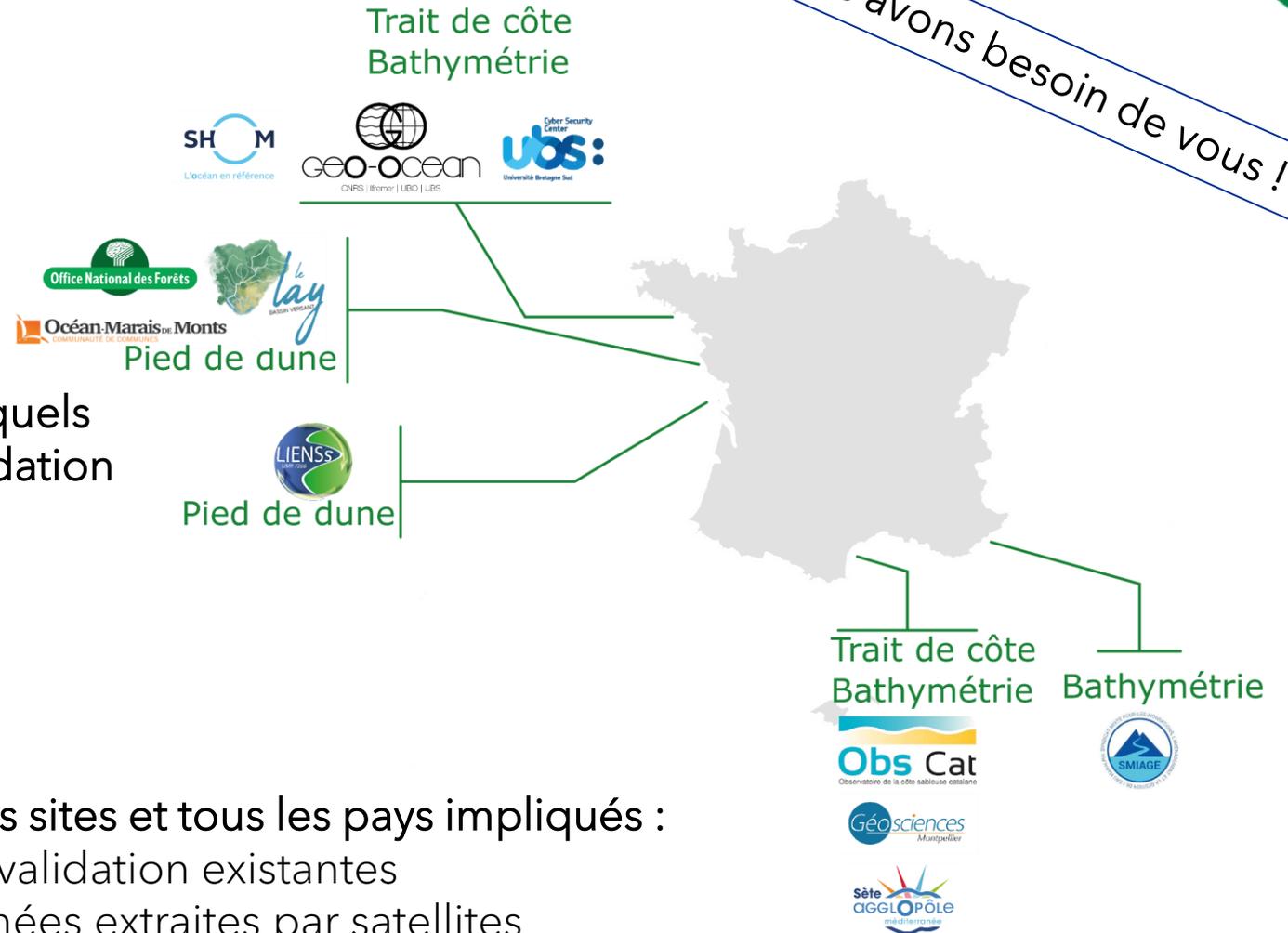
Des indicateurs / secteurs pour lesquels nous manquons de données de validation

- Trait de côte : Morbihan
- Pied de dune: Charente-Maritime
- Bathymétrie: Morbihan, Vendée, Charente

Un constat généralisable à tous les sites et tous les pays impliqués :

Peu de données de validation existantes

Opportunité pour les données extraites par satellites



Résumé des validations

• Méthodes de validation

Indicateurs trait de côte

- Approche quantitative:
 - Méthode de la "ligne de base"
 - Evaluer l'écart des distances entre la donnée extraite par satellite et des données in-situ temporellement proches
 - **Prérequis** = indicateurs identiques + dates proches
- Approche qualitative:
 - Contrôle qualité pour garantir la cohérence des données produites

Bathymétrie

- Approche quantitative:
 - Comparer la différence de profondeur entre la bathymétrie dérivée du satellite et la bathymétrie observée
 - Diagramme de régression, cartes de différences absolues, indicateurs statistiques

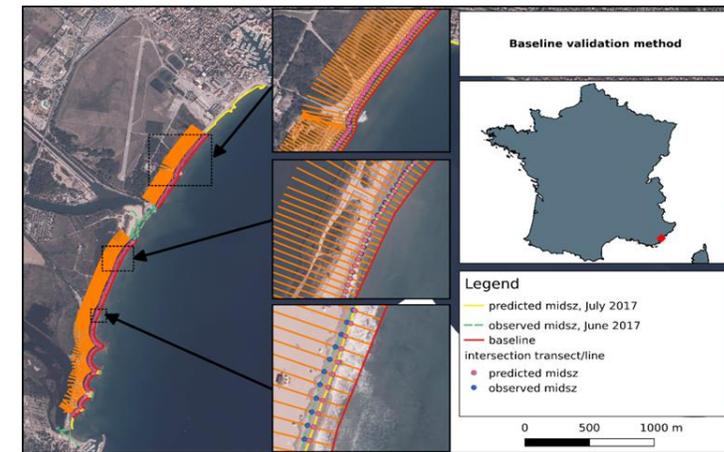
• Résultats toutes années et tous sites du projet confondus

Limite du jet de rive (multi-dates)

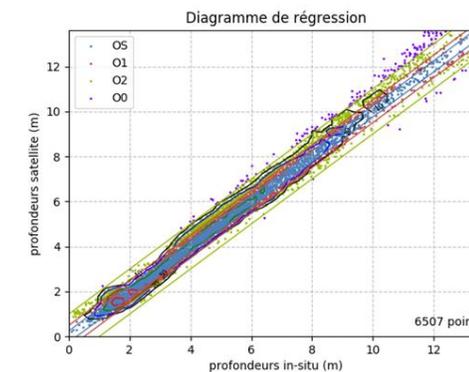
- Au mieux, 2,2 m avec Sentinel-2. En moyenne, 6 m.
- Au mieux, 1,26 m avec Pléiades. En moyenne, 1,9 m.

Pied de dune

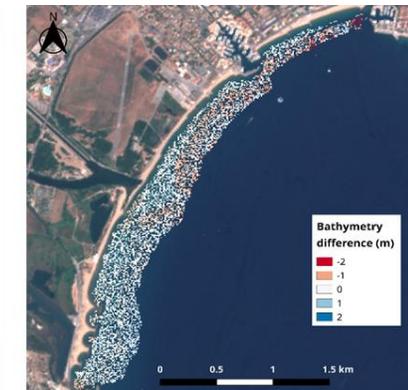
- Au mieux, 5,6 m avec SPOT. En moyenne 9,8 m.
- Au mieux, 8,4 m avec Sentinel-2. En moyenne, 9,5 m.
- Précision max sur le calcul d'évolution: 0,8 m/an avec Sentinel-2



Map with baseline, measured and satellite derived lines and cross-shore transects.



Regression diagram between field data and satellite derived bathymetry



Difference map between satellite derived and observed bathymetry.

Bathymétrie (verticale)

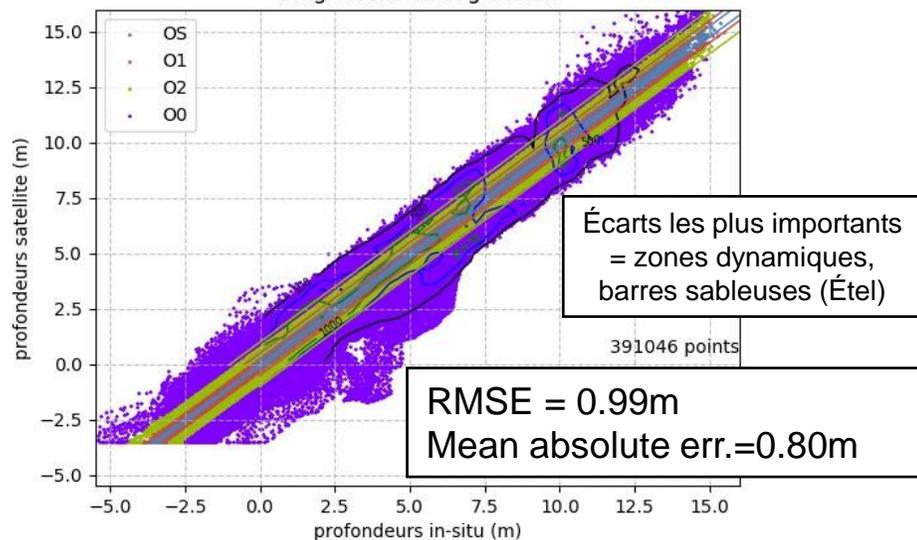
- Au mieux, 0,5 m avec Pléiades
- Au mieux, 0,3 m avec Sentinel-2. En moyenne, 0,4 m.
- Au mieux, 0,5 m avec Landsat

Résumé des validations

- Sur les nouvelles régions

	Limite du jet de rive	Pied de dune	Bathymétrie
Menton	1.52m - 3.44m (Pléiades)	/	0.50 (Pléiades)
Saint-Jean-de-Monts	/	3.33m - 3.79m (Spot-5)	/
Morbihan	/	/	0.99m (Sentinel-2)

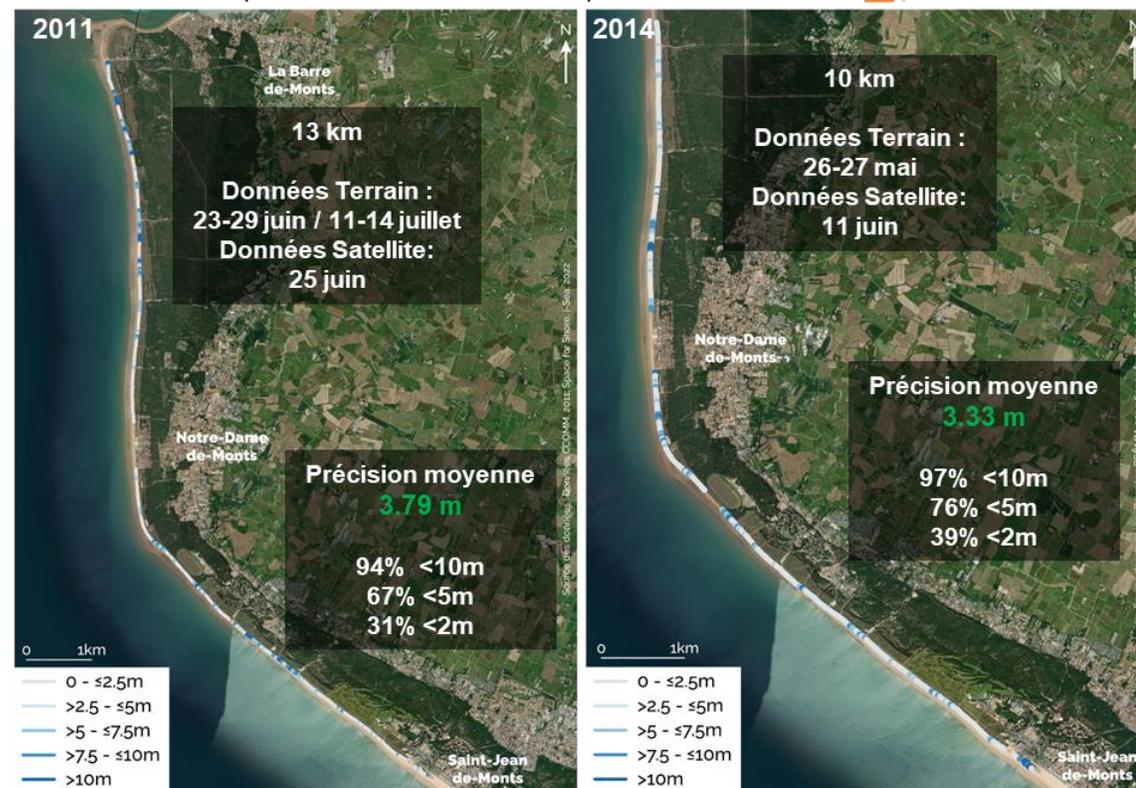
Exemple
Bathymétrie - Morbihan - Sentinel-2
Diagramme de regression



Rapport de validation à paraître fin juillet

Exemple

Position du pied de dune - Spot 5 - 10 m



Écarts les plus importants = végétation pionnière, accès plage...



Résultats



Bathymétrie et son évolution

La morphologie de l'estran et de l'avant côte influence la dynamique du littoral.

- Évaluer le bilan sédimentaire global
- Évaluer l'impact et l'efficacité des mesures de protection du littoral
- Surveiller les signaux précurseurs de l'érosion côtière
- Renseigner sur l'épuisement des sédiments

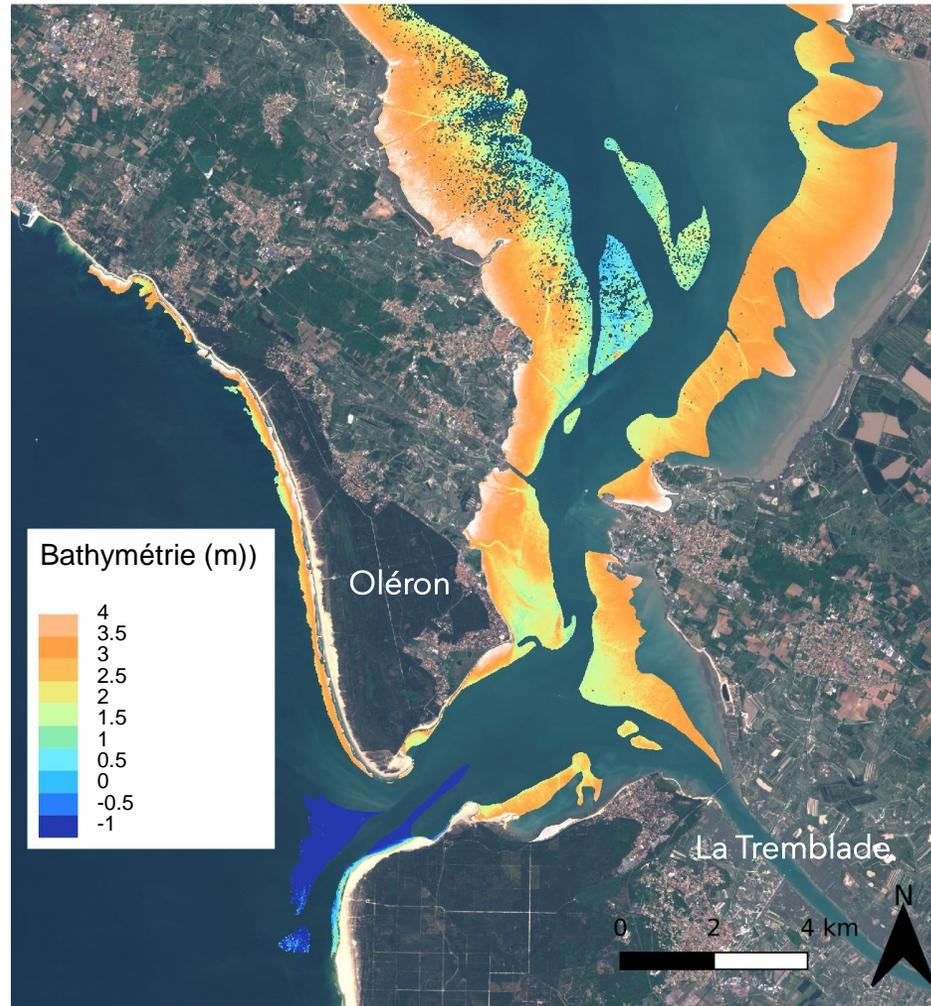


Bathymétrie en Charente Maritime

Challenge : Extraction dans un environnement très complexe (turbidité, marée)

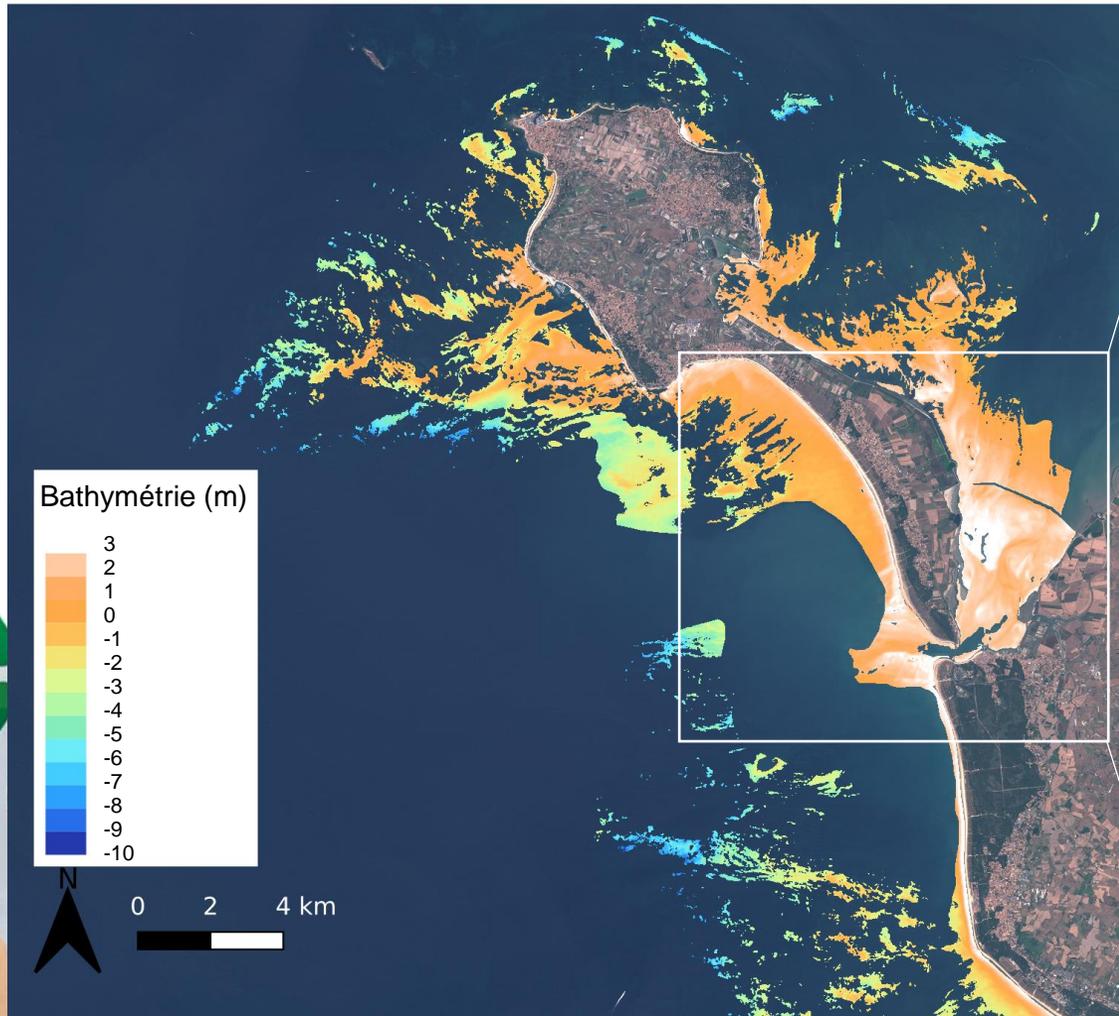
Succès : Estrans identifiables sur plusieurs km depuis la côte

Bathymétrie satellite - Pertuis de Maumusson
Sentinel-2 - 23/04/2021



Bathymétrie en Vendée

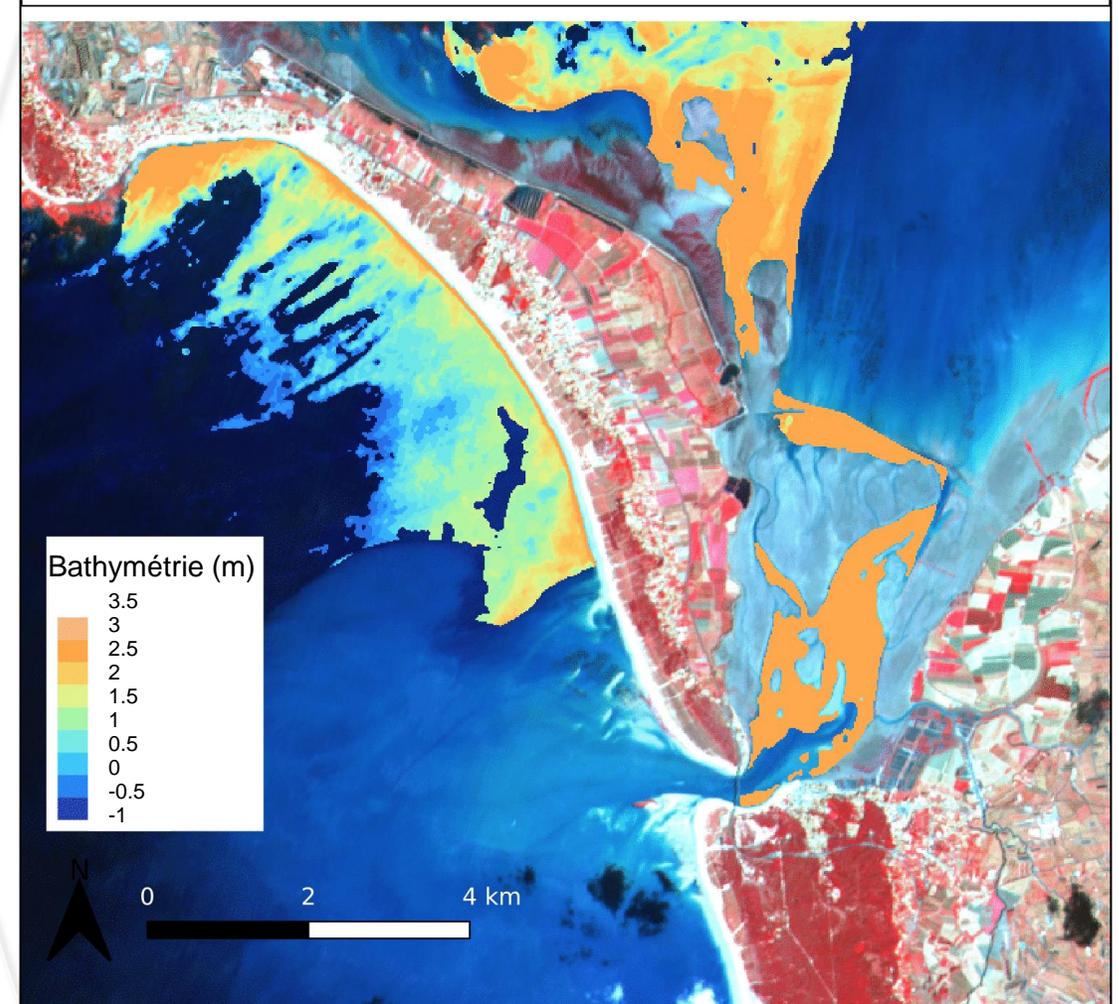
Bathymétrie satellite - Ile de Noirmoutier
Sentinel-2 - 15/08/2016



Challenge : forte turbidité au-delà de 3 m de profondeur, marée, fonds hétérogènes

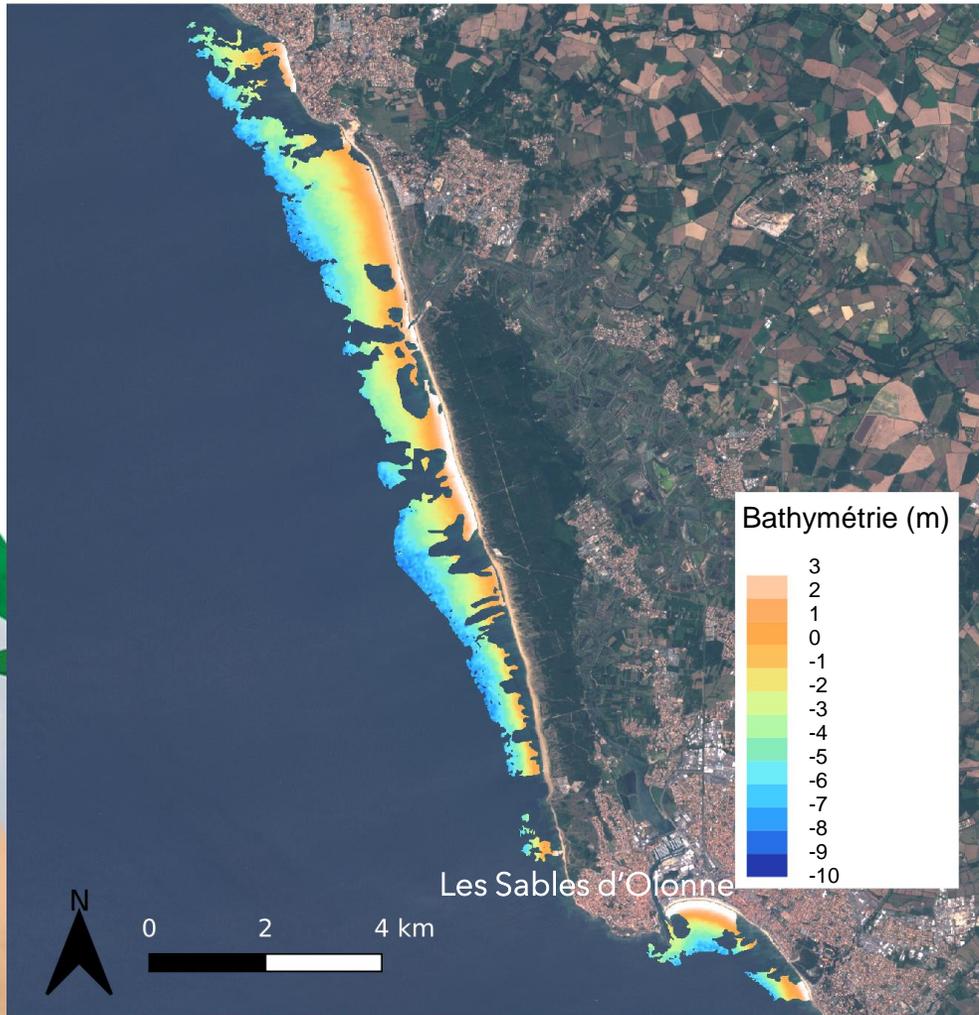
Succès : Estrans identifiables sur les petits fonds plusieurs km depuis la côte

SPOT-4 - 28/08/1998



Bathymétrie en Vendée

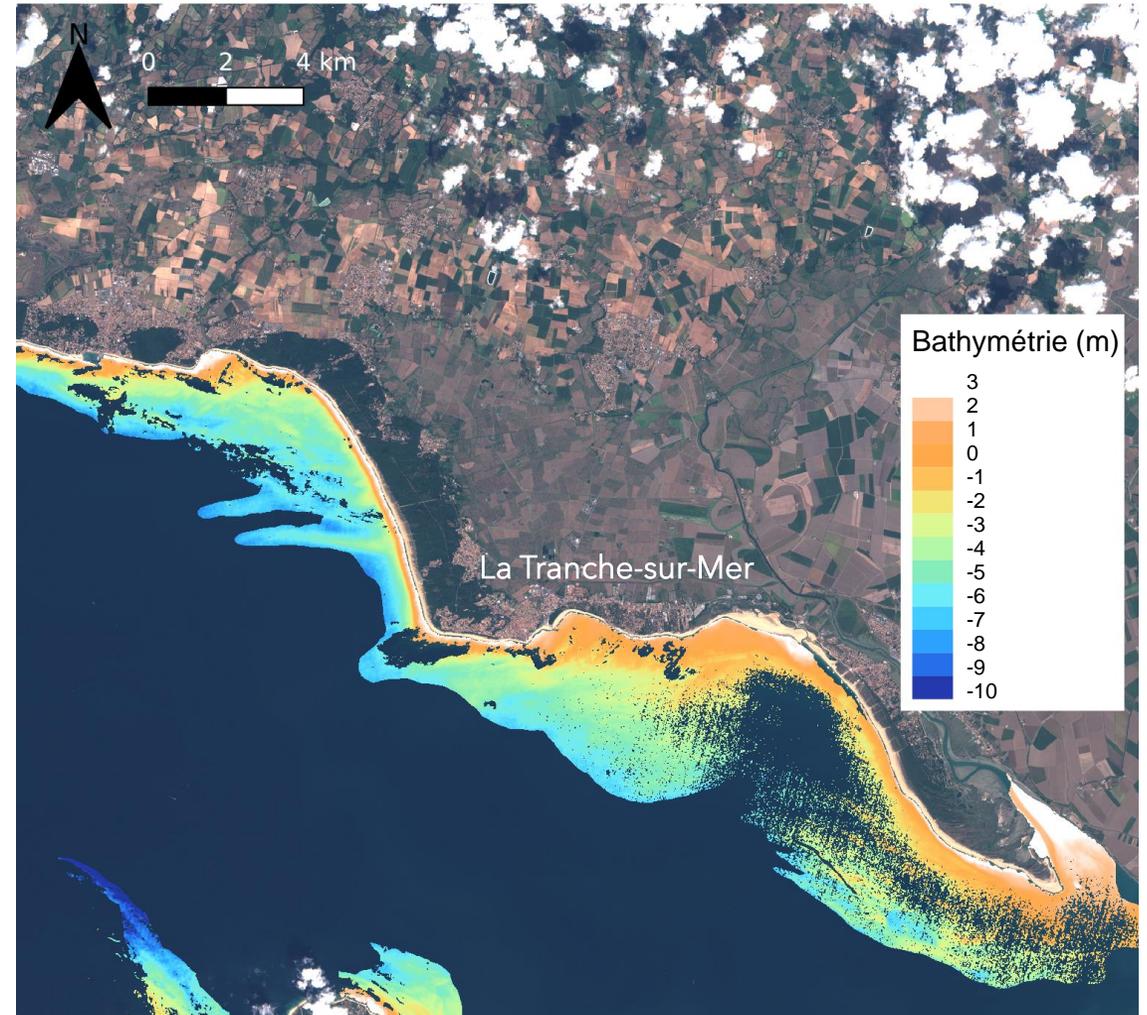
Bathymétrie satellite - Sables-d'Olonne
Sentinel-2 - 20/07/2021



Challenge : turbidité, fonds hétérogènes

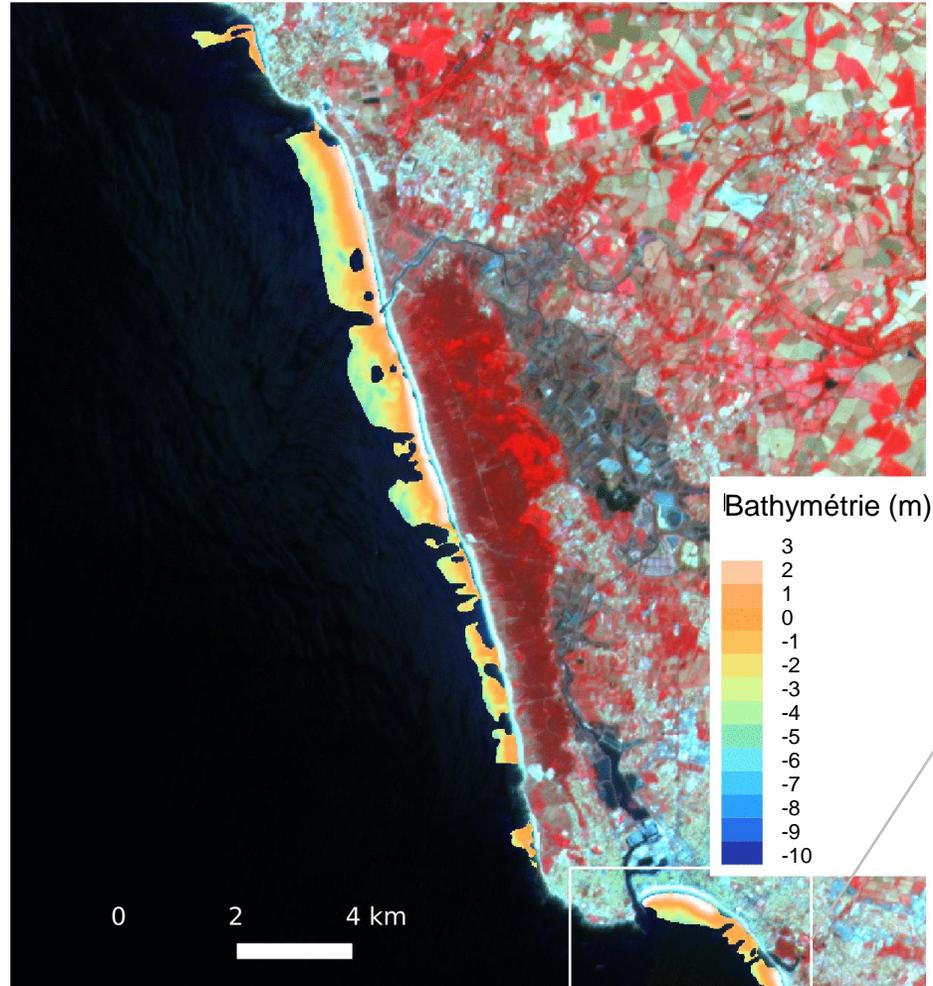
Succès : Fonds sableux extraits sur le continuum

Bathymétrie satellite - La Tranche-sur-Mer / La Faute-sur-Mer
Sentinel-2 - 03/09/2021

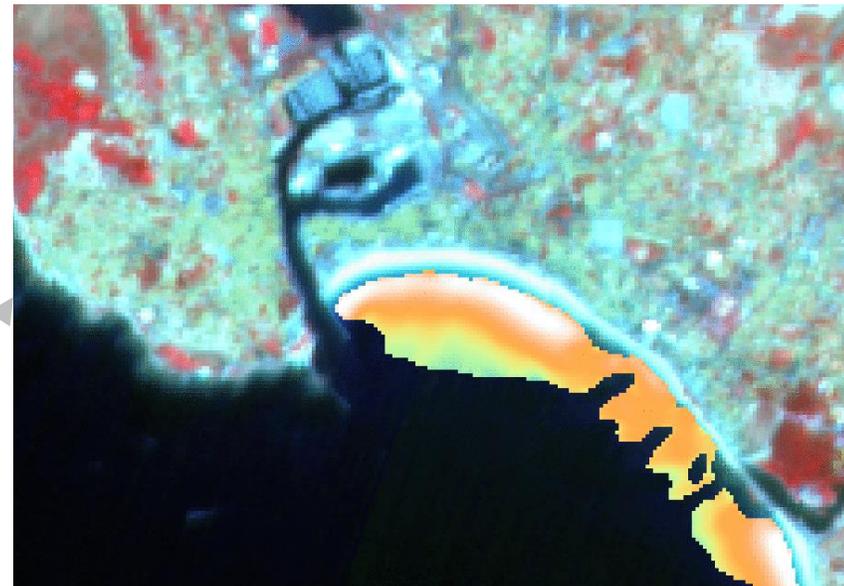


Évolution bathymétrique : les Sables d'Olonne

Bathymétrie satellite - Sables-d'Olonne
SPOT-2 - 15/07/2005



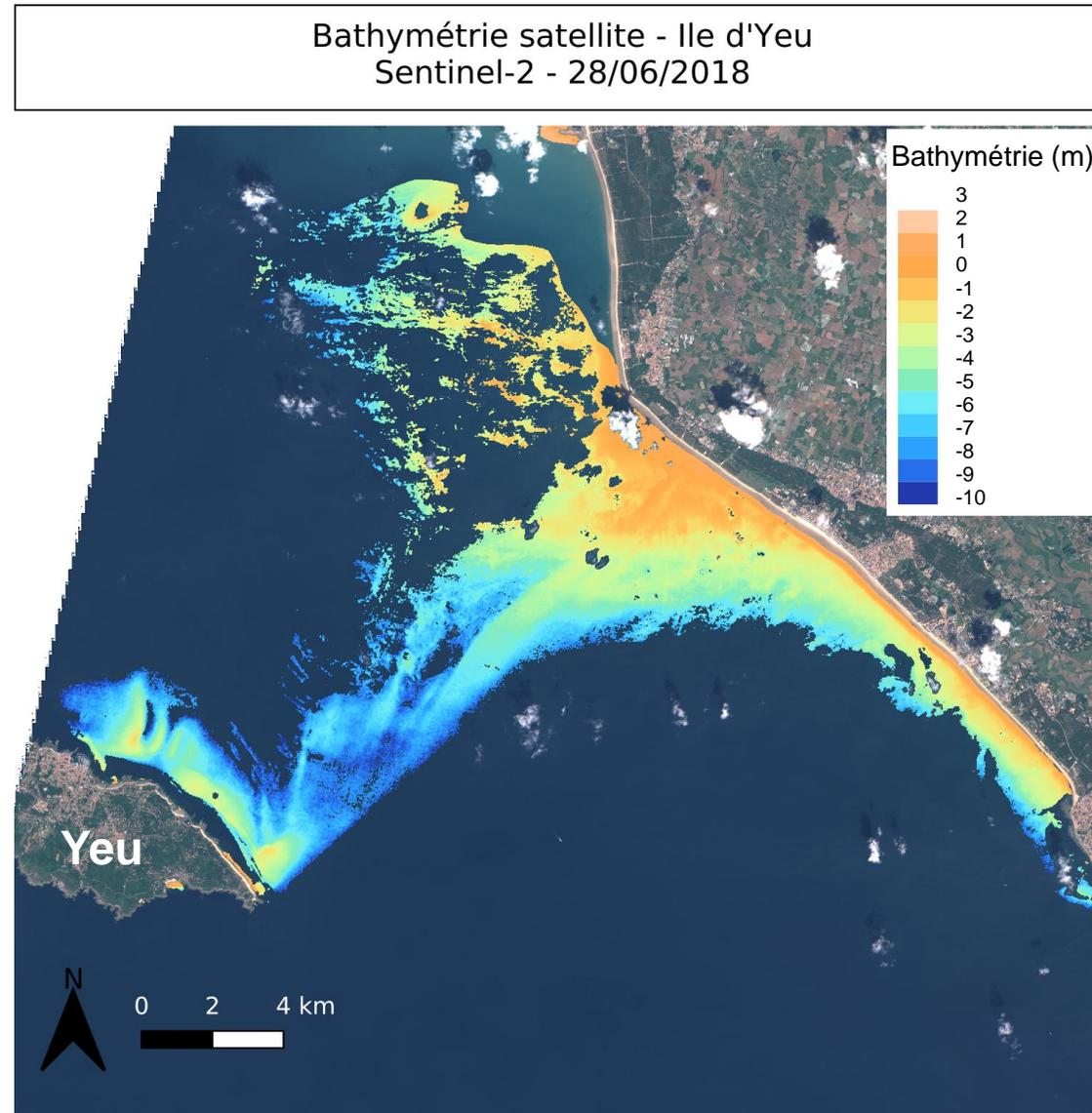
2005 - 2021



Bathymétrie en Vendée

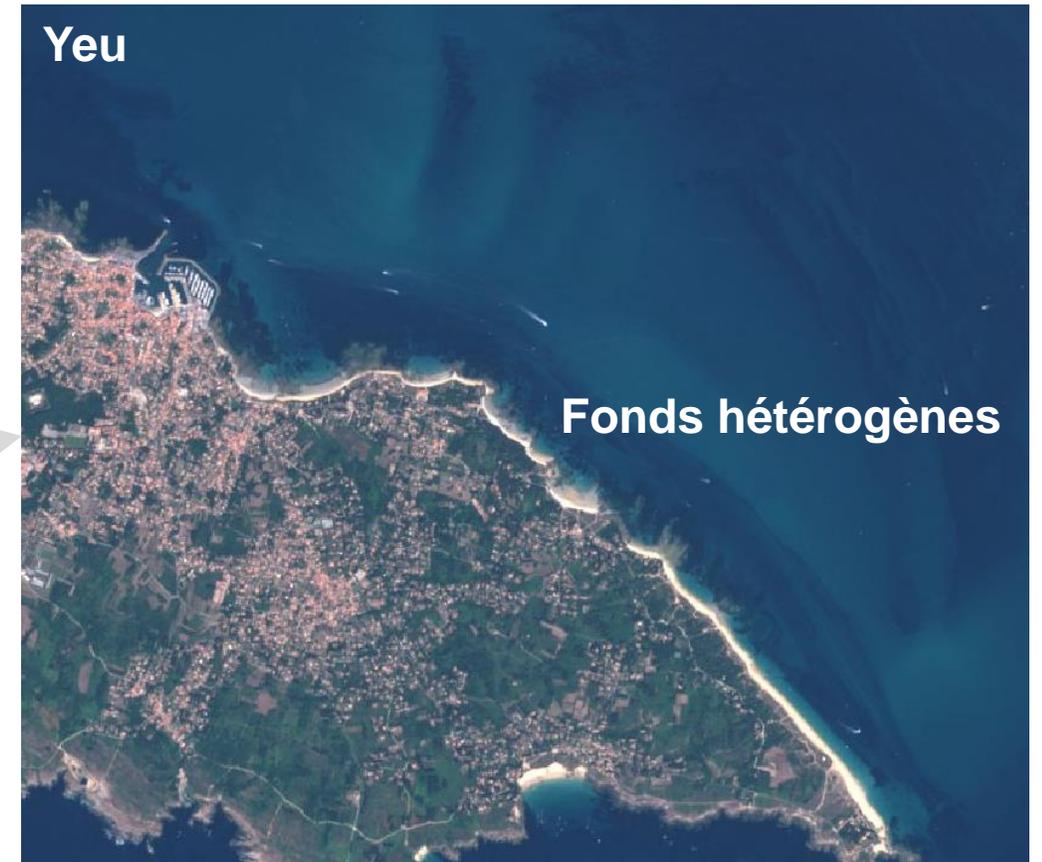
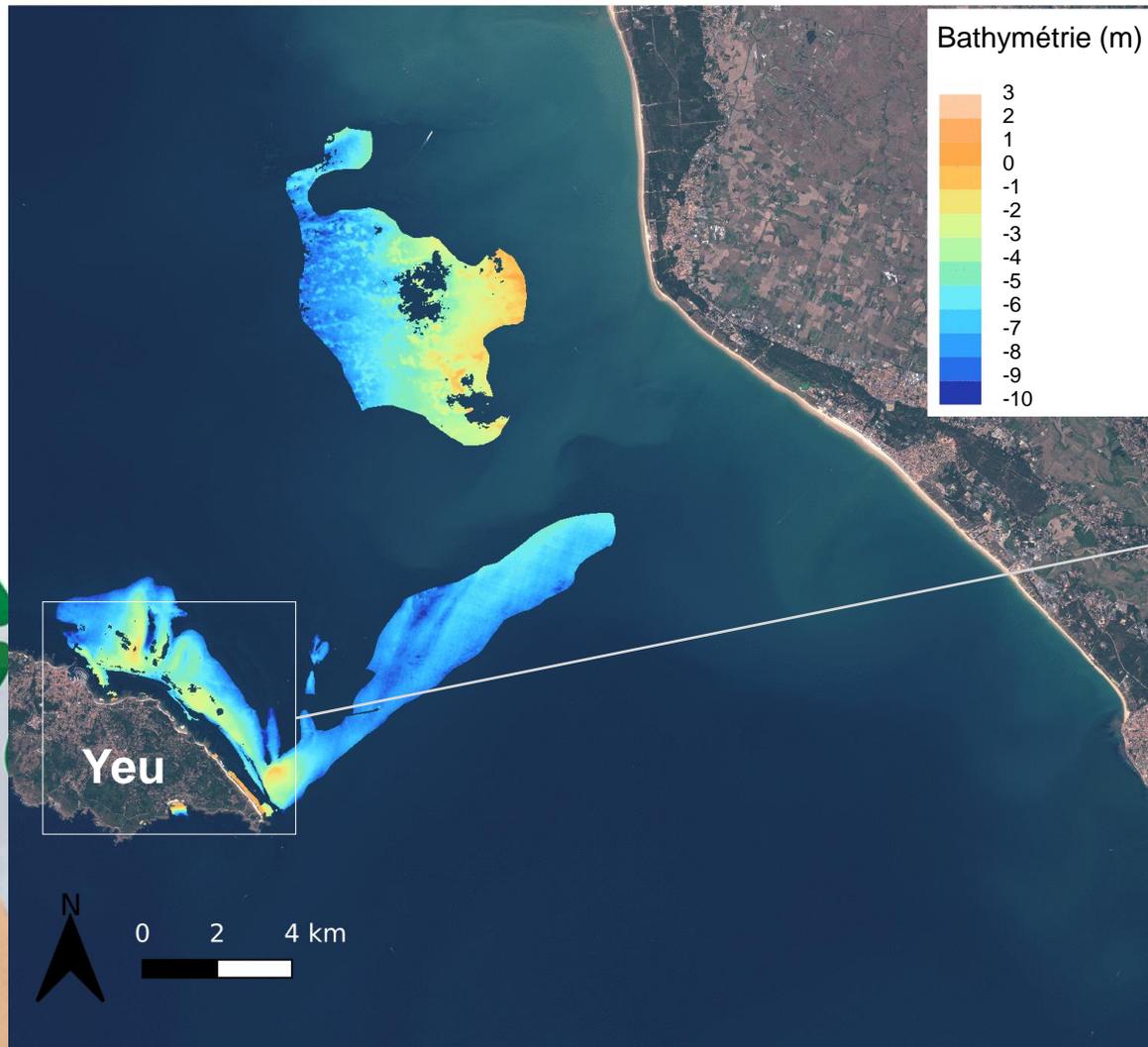
Challenge : turbidité, marée, fonds hétérogènes, courants

Succès : macro-formes sédimentaires extraites, hauts fonds identifiés entre l'île et le continent



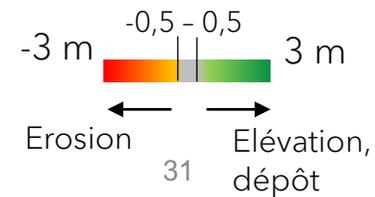
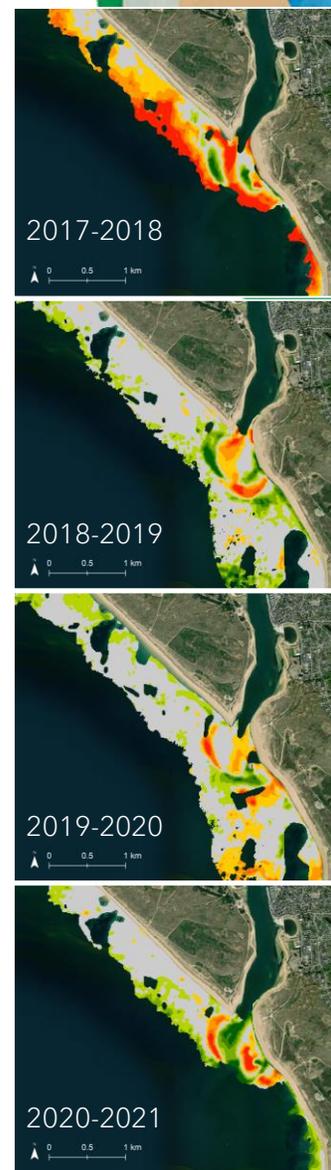
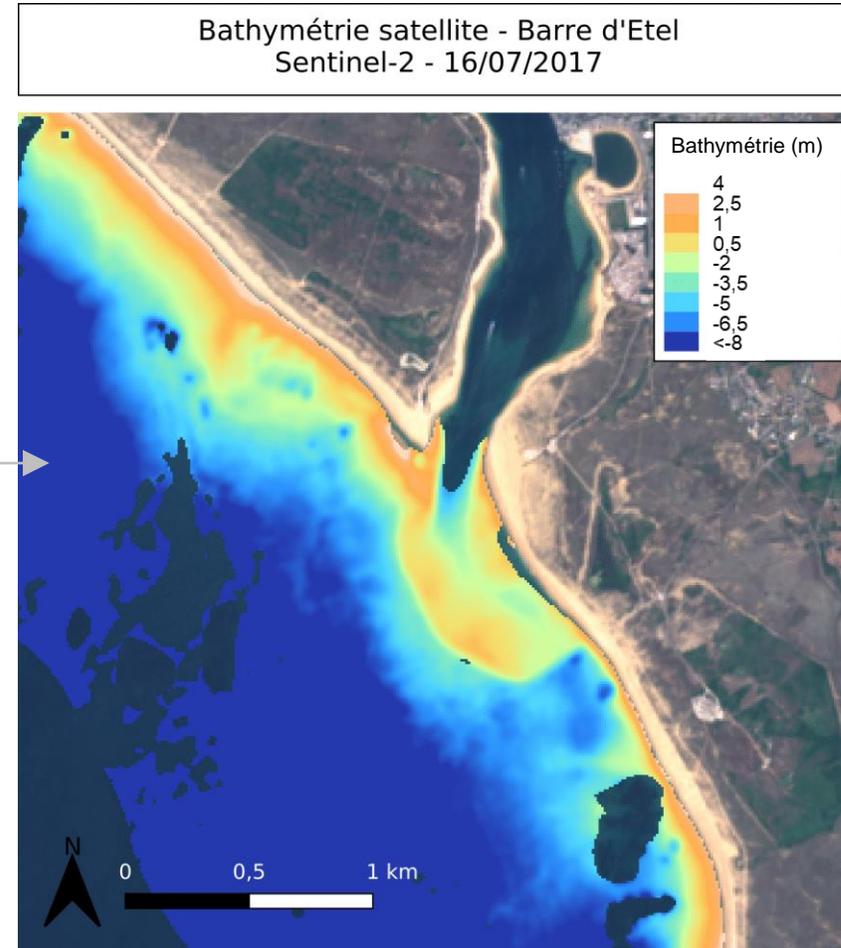
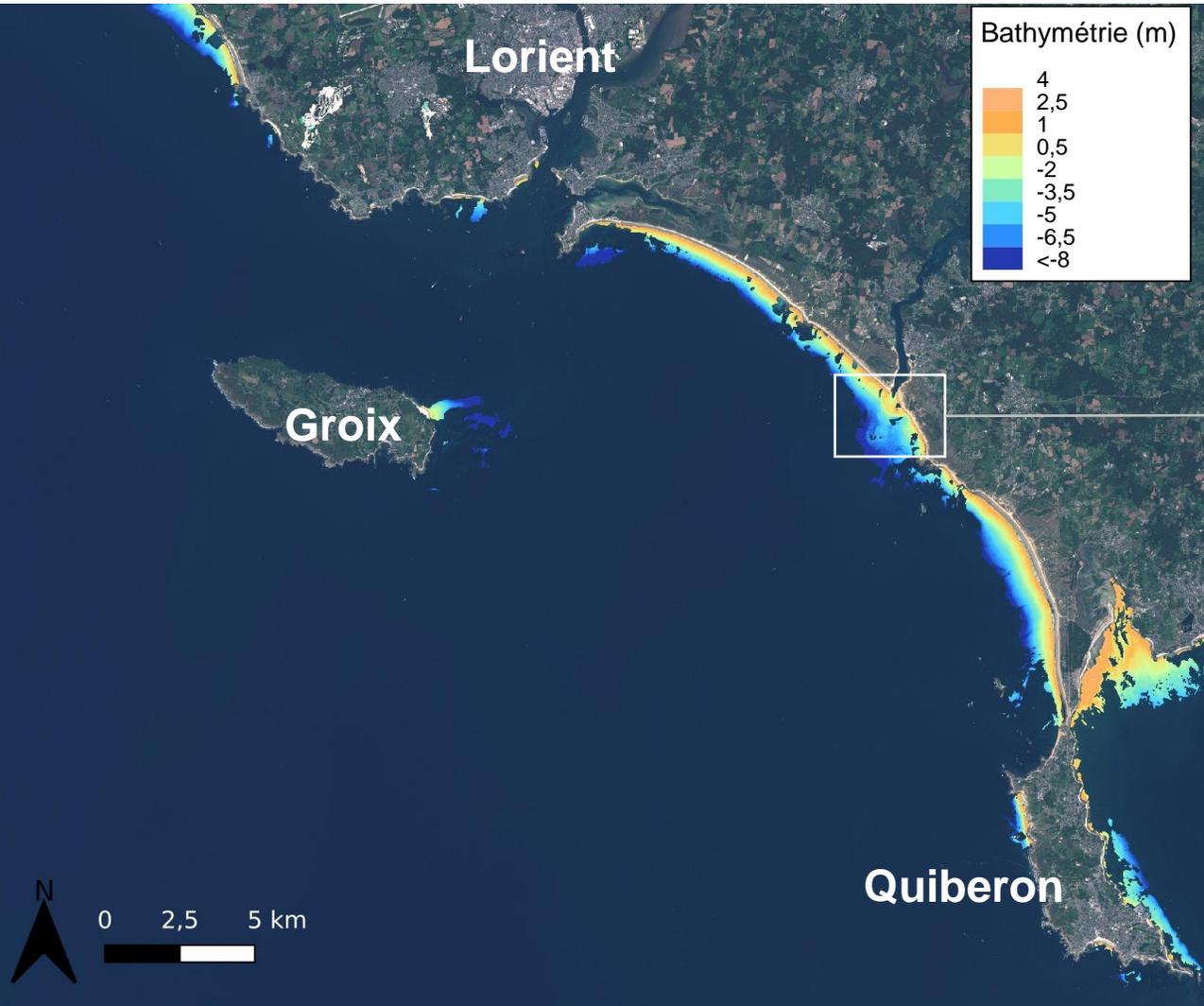
Évolution bathymétrique : ile d'Yeu

Bathymétrie satellite - Ile d'Yeu
Sentinel-2 - 21/08/2015



Bathymétrie dans le Morbihan

14/08/2021 - Sentinel-2



Barre sable: la barre d'Etel

Position de la barre sableuse
(émergée et submergée)
suivie sur l'année 2021

→ 37 dates



Indicateurs de la position du trait de côte



Évaluer la dynamique planimétrique des systèmes côtiers



Offrir une **actualisation régulière** de la dynamique littorale



Surveiller les signaux précurseurs de l'érosion côtière



Identifier les **zones particulièrement à risque** face au recul du trait de côte



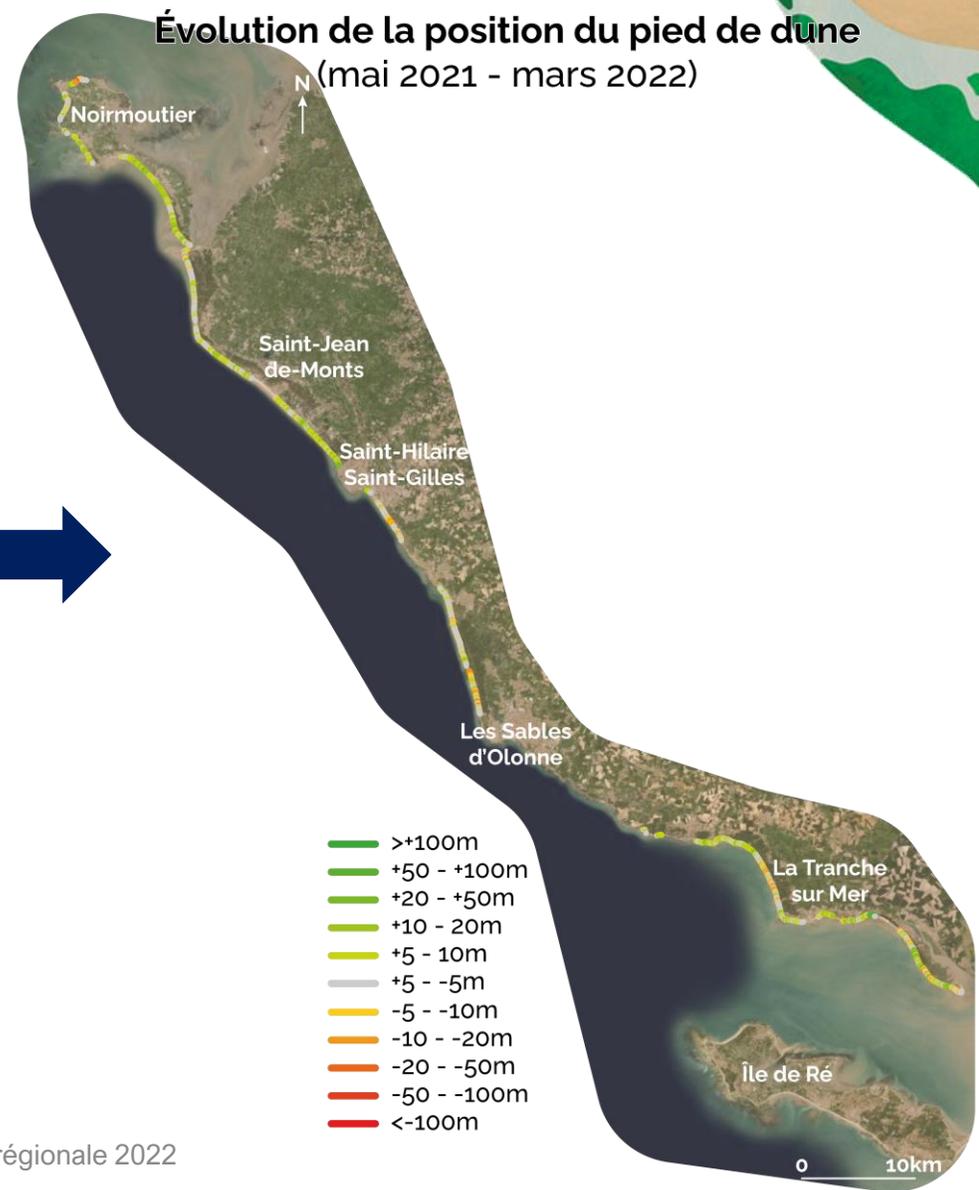
En Vendée

Détection de la position du pied de dune à l'échelle départementale

- Sur 80 km
- Entre 1995-2022
 - 1 fois par an
 - Massif dunaire au nord des Sables Olonne: 4x par an (2018-2021)

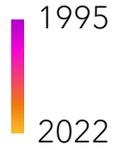


Détection des évolutions



Évolution du pied de dune : exemple en Vendée La Tranche-sur-mer | Pointe d'Arçay

Position du trait de côte



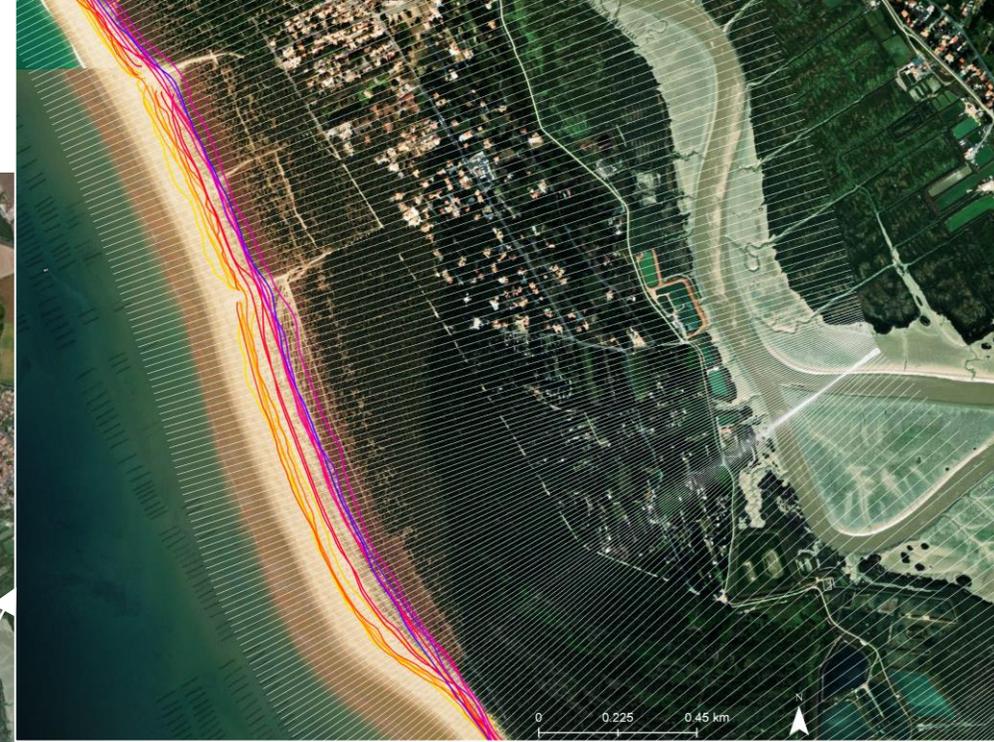
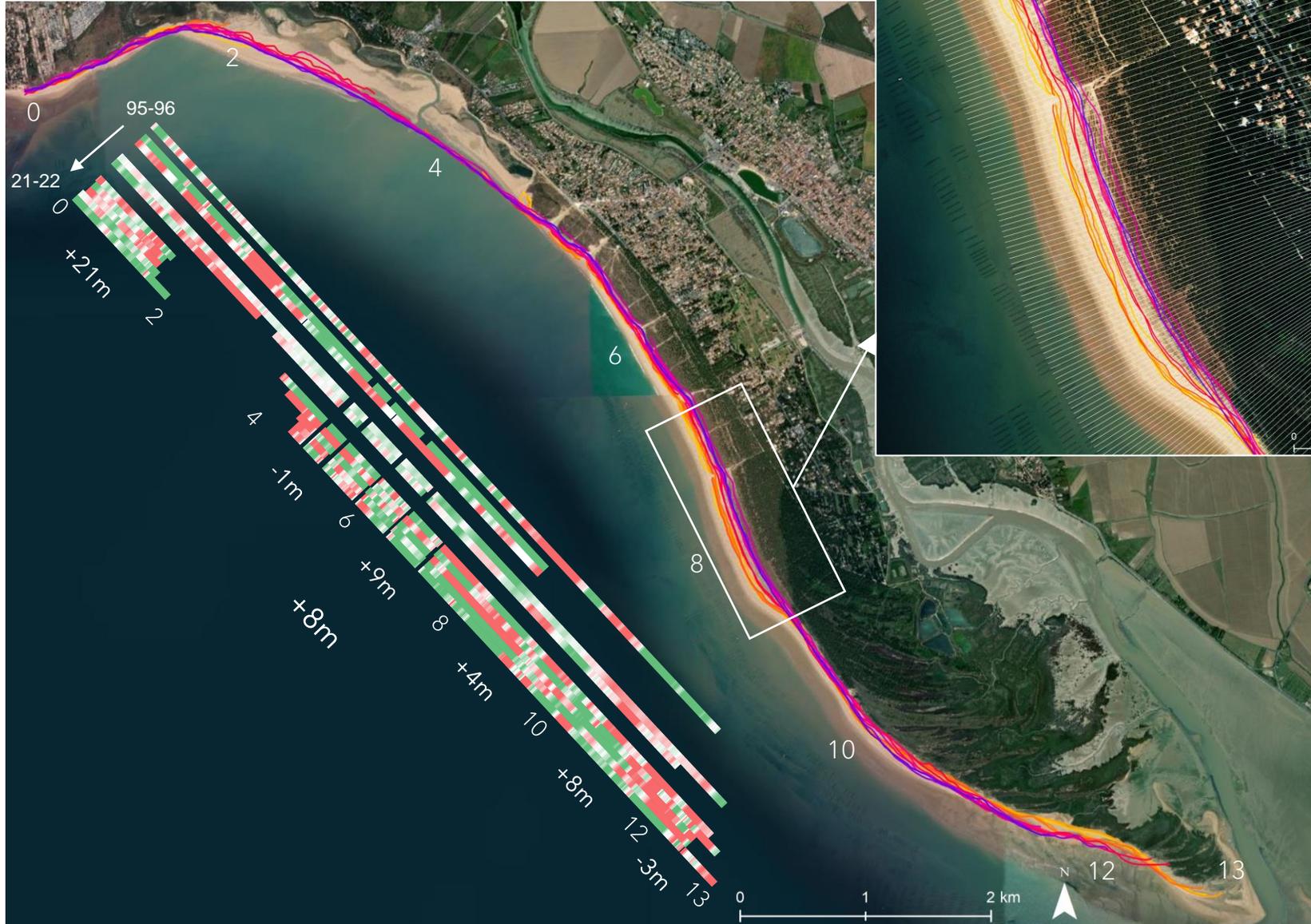
Evolution annuelle



Moyenne globale :
0.45 m/an

Min : -6 m/an
Max : + 15 m/an

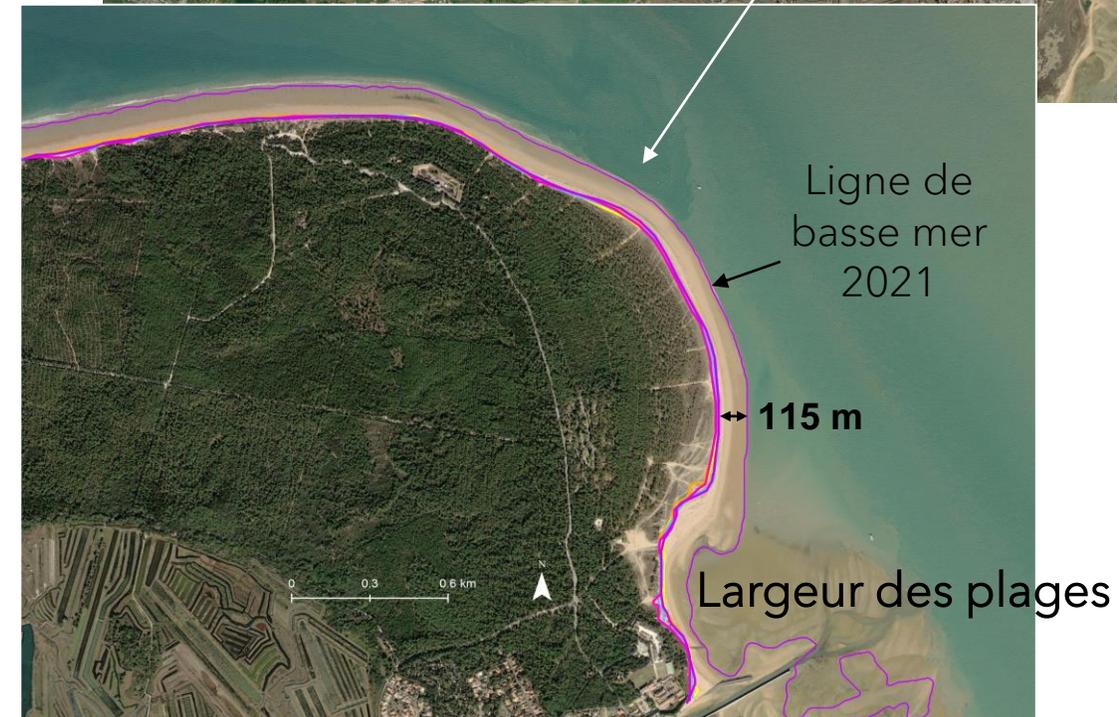
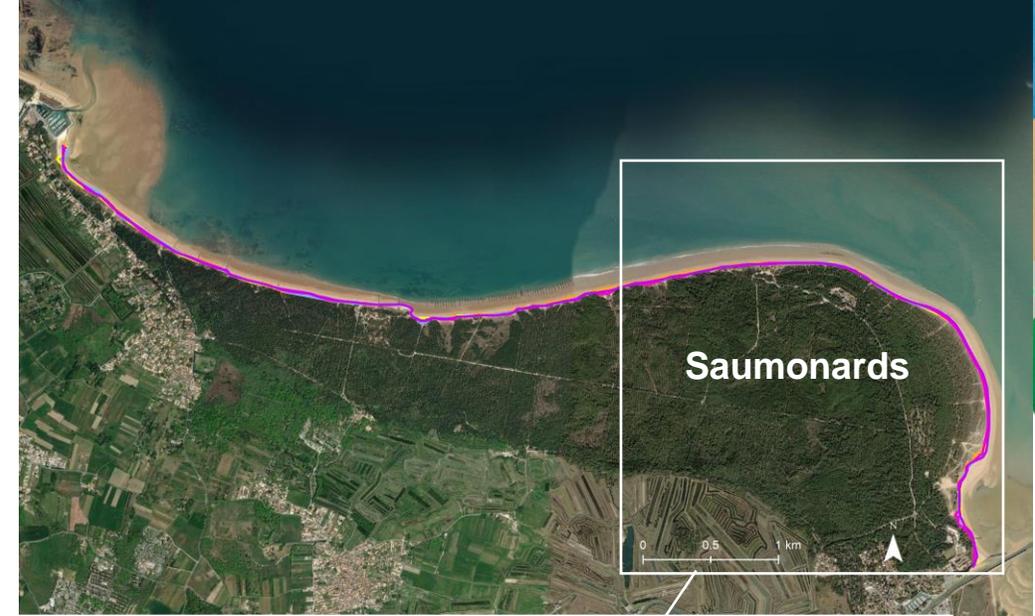
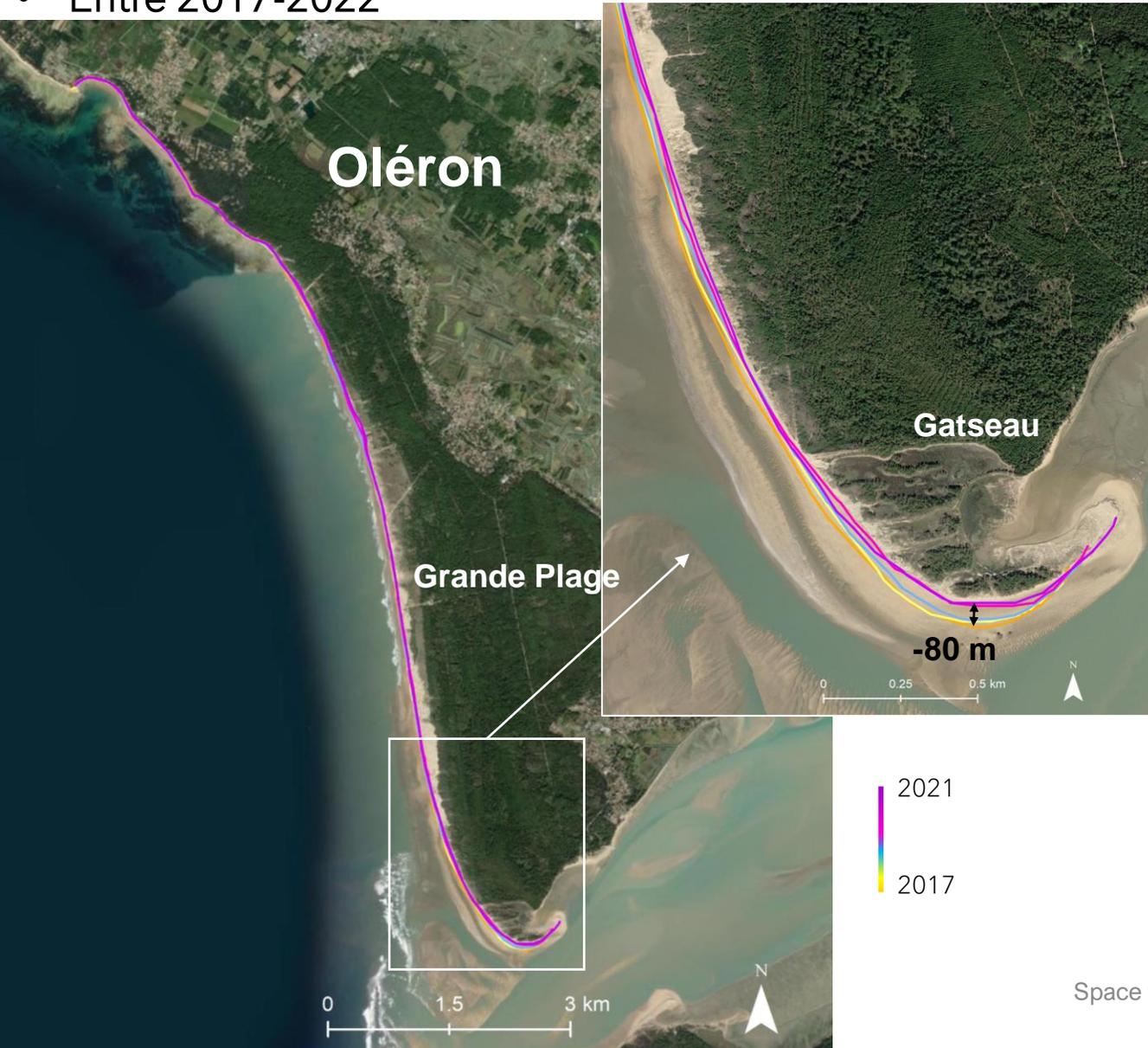
638 profils



Évolution du pied de dune calculée le long de chaque profil (espacés de 20 m) entre chaque date analysée

Le pied de dune en Charente Maritime

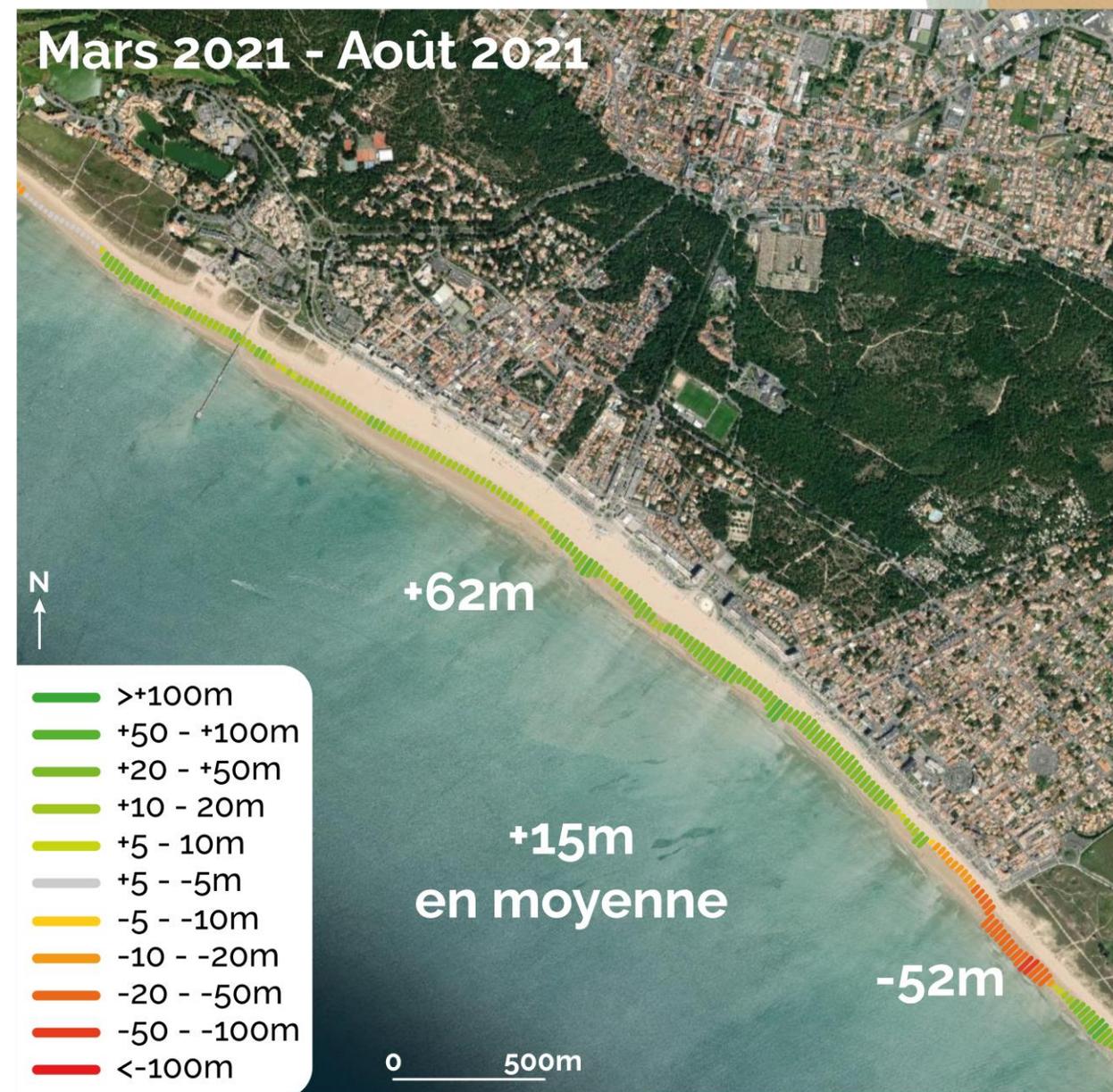
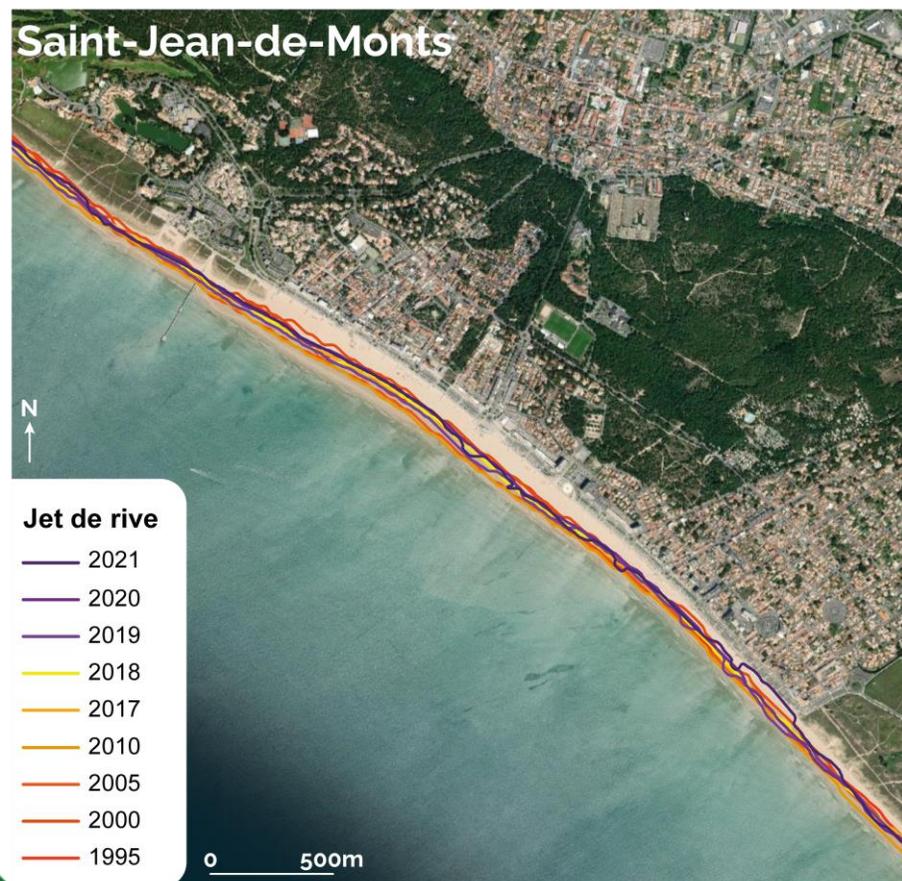
- Sur 36 km
- Entre 2017-2022



L'excursion maximale de la ligne d'eau

Exemple à Saint-Jean-de-Monts

- Extraite à l'échelle départementale (+Yeu)
 - 110 km
 - 1995-2021 (2x par an - 2017-2021)



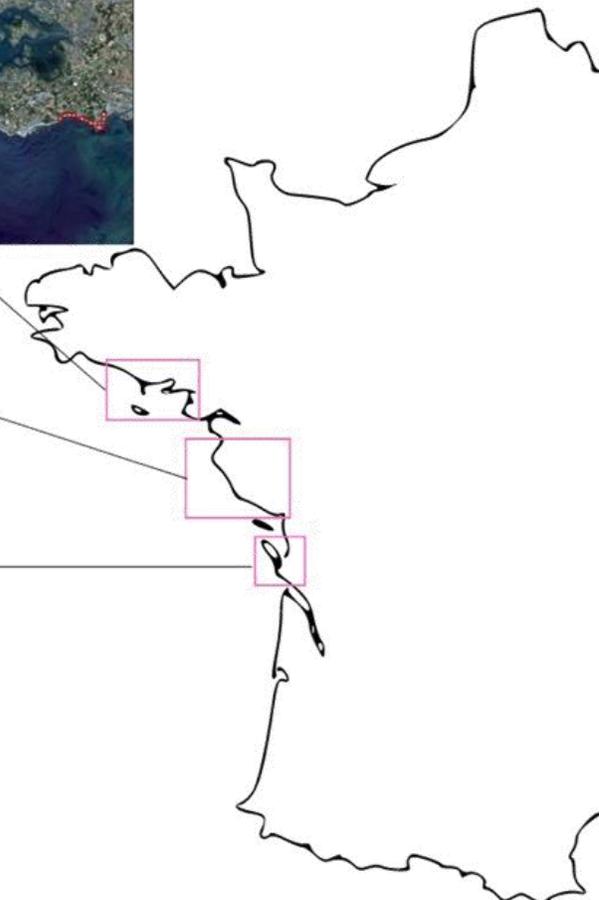
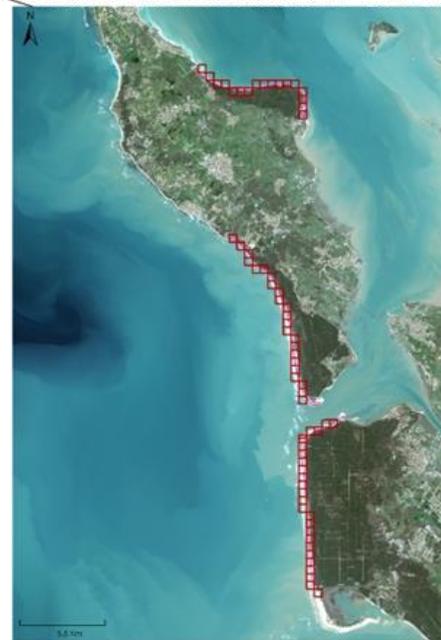
L'excursion maximale de la ligne d'eau

Exemple au Morbihan

- Extraite à l'échelle départementale (côtes océaniques et îles du Golfe du Morbihan)
 - 136 km
 - 1995-2021 (1x par an - 2017-2021)



Vers un indicateur universel de risque côtier



Aperçu de la démarche

Les objectifs

- Synthétiser l'information : de la Recherche à l'Opérationnel
- Assurer la comparabilité inter-régions
- Relier aux enjeux du territoire pour localiser les espaces les plus sensibles

Brainstorming (04/04/2022)



Littérature

- **Segmentation de la bande côtière en boîtes:** Letortu et al. 2014 ; Koroglu et al. 2019 ; Juigner et al. 2021
- **Classification des aléas:** Gornitz, 1991 ; Abuodha et Woodroffe, 2010 ; Hegde et Reju, 2007 ; Martínez-Grana et al., 2016 ou encore Cerema, 2017.
- **Classification des enjeux:** Eurosion, 2004 ; OSIRISC et OSIRISC +, 2020.
- **Exposition au risque:** Fitton et al, 2017, Sekovski et al, 2019 ; Juigner et al. 2021.

Une méthode inspirée de l'existant et adaptée au produit Space for Shore

DÉFINITION DES INDICES DE RISQUE ET D'ALÉA

Echanges multidisciplinaire avec scientifiques et initiateurs de classifications de vulnérabilité

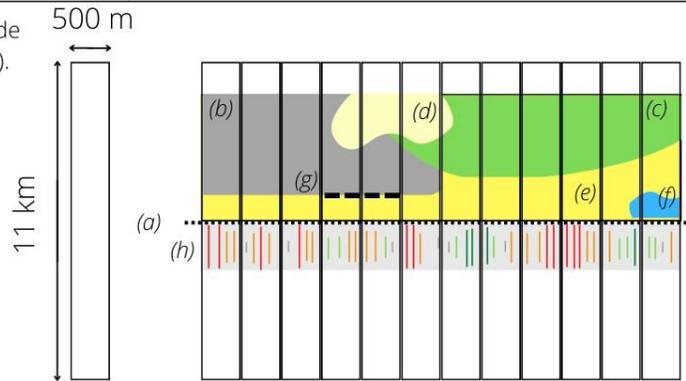


BOÎTES DE CALCUL

• Segmentation de la frange côtière de part et d'autre du trait de côte (DSAS).

• Création de boîtes de calcul.

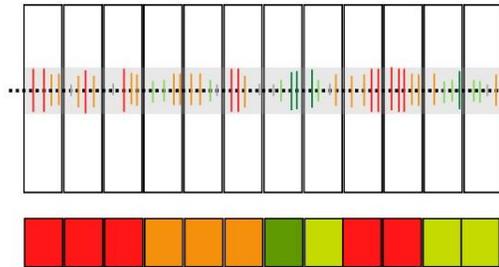
- a. trait de côte 2018 (Eurostat)
- b. bâti indifférencié
- c. végétation naturelle
- d. végétation non-naturelle
- e. système côtier
- f. mer / océan
- g. ouvrage de défense
- h. transects d'évolution du trait de côte



INDICATEUR D'ALÉA

• Ajout des transects qui représentent les évolutions du trait de côte entre deux dates.

• Calcul des rythmes d'évolution du trait de côte par boîte en m/an (EPR). Calculs basés sur la moyenne des transects présents dans chaque boîte.



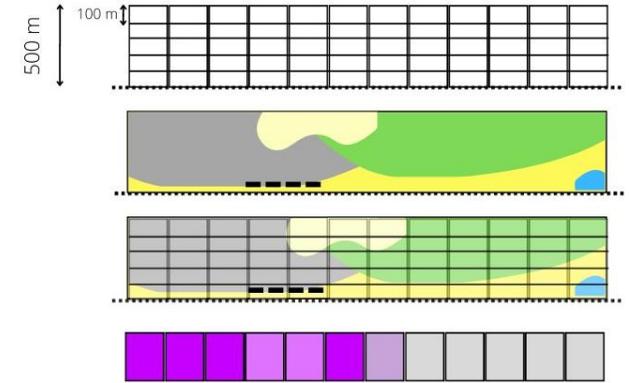
CLASSES

• Les valeurs de l'indicateur s'adaptent à la géomorphologie et aux conditions hydrodynamiques des sites étudiés.



INDICATEUR D'ENJEU

- Création d'une bande de 500 m segmentée par les boîtes de calcul et horizontalement tous les 100 m.
- Récupération de la donnée Corine Land Cover à l'échelle européenne (2018).
- Pour chaque enjeu fragmenté par boîte, classification de la vulnérabilité et de sa position par rapport au trait de côte.



Végétation naturelle	Forêt de feuillus
	Forêt de conifères
	Forêt mixte
	Prairies naturelles
	Bruyères et landes
	Végétation sclérophylle
	Bois et arbustes de transition
Végétation artificielle	Zones urbaines vertes
	Installations sportives et de loisirs
	Terres arables non irriguées
	Terres irriguées en permanence
	Rizières
	Vignobles
	Arbres fruitiers et plantations de baies
	Oliviers
	Pâturages
	Cultures annuelles associées à des cultures permanentes
Infrastructures de défense	Modèles de culture complexes
	Terres principalement
	Zones agroforestières
Constructions diverses	Zones portuaires
	Protections artificielles (digues)
	Tissu urbain continu
	Tissu urbain discontinu
	Unités industrielles ou commerciales
	Réseaux routiers et ferroviaires et terrains associés
	Zones portuaires
	Aéroports
	Décharges
	Sites de construction

fo

Une méthode inspirée de l'existant et adaptée au produit Space for Shore

DÉFINITION DES INDICES DE RISQUE ET D'ALÉA

Echanges multidisciplinaire avec scientifiques et initiateurs de classifications de vulnérabilité

BOÎTES DE CALCUL

- Segmentation de la frange côtière de part et d'autre du trait de côte (DSAS).
- Création de boîtes de calcul.

500 m

11 km

a. trait de côte 2018 (Eurostat)
b. bâti indifférencié
c. végétation naturelle
d. végétation non-naturelle
e. système côtier
f. mer / océan
g. ouvrage de défense
h. transects d'évolution du trait de côte

INDICATEUR D'ALÉA

- Ajout des transects qui représentent les évolutions du trait de côte entre deux dates.
- Calcul des rythmes d'évolution du trait de côte par boîte en m/an (EPR). Calculs basés sur la moyenne des transects présents dans chaque boîte.

CLASSES

- Les valeurs de l'indicateur s'adaptent à la géomorphologie et aux conditions hydrodynamiques des sites étudiés.

forte accrétion accrétion changement non-significatif érosion forte érosion

INDICATEUR D'ENJEU

- Création d'une bande de 500 m segmentée par les boîtes de calcul et horizontalement tous les 100 m.
- Récupération de la donnée Corine Land Cover à l'échelle européenne (2018).
- Pour chaque enjeu fragmenté par boîte, classification de la vulnérabilité et de sa position par rapport au trait de côte.

CLASSES

très faible enjeu faible enjeu enjeux modérés fort enjeu très fort enjeu

plage naturelle et végétation naturelle (a)
 végétation non naturelle avec protection artificielle et/ou naturelle (b)
 végétation non naturelle au contact des aléas (c)
 bâti avec protection artificielle et/ou naturelle (d)
 bâti exposé aux aléas (e)

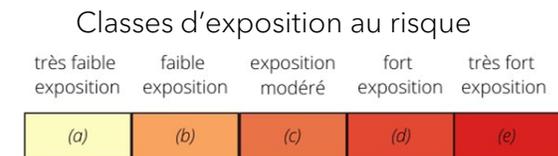
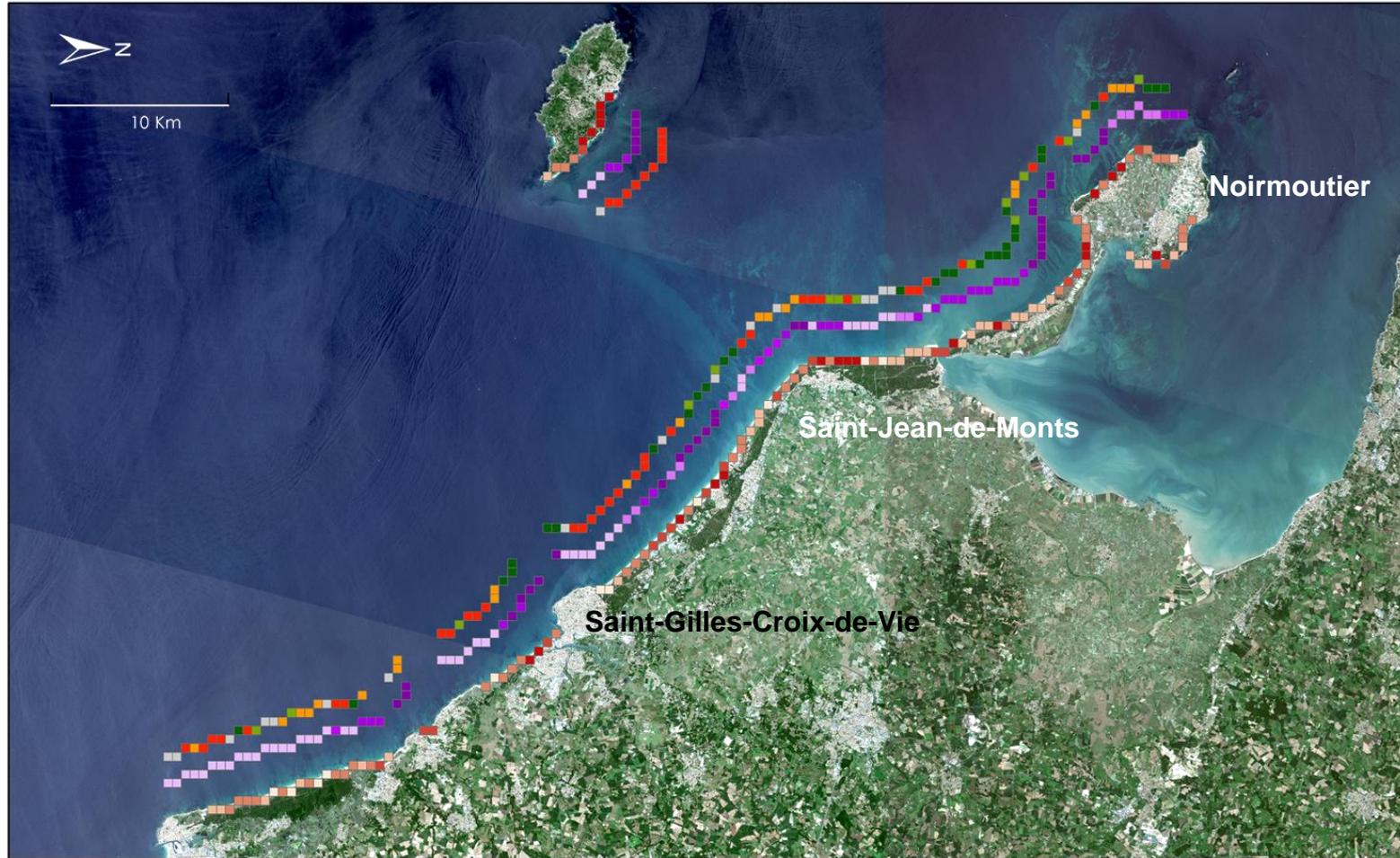
EXPOSITION AU RISQUE

- Aléa d'érosion côtière
- Enjeux de la bande côtière (500 m)
- Exposition au risque d'érosion côtière.

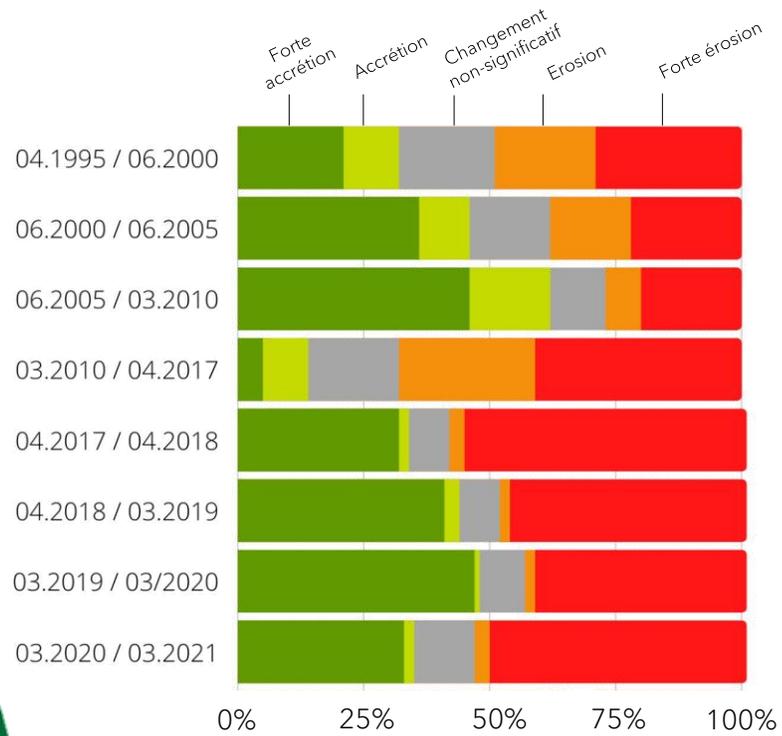
très faible exposition faible exposition exposition modérée fort exposition très fort exposition

forte accrétion et très faibles enjeux (a)
 accrétion et faibles enjeux (b)
 pas de changement significatif et enjeux modérés (c)
 érosion et fort enjeu (d)
 forte érosion et très fort enjeu (e)

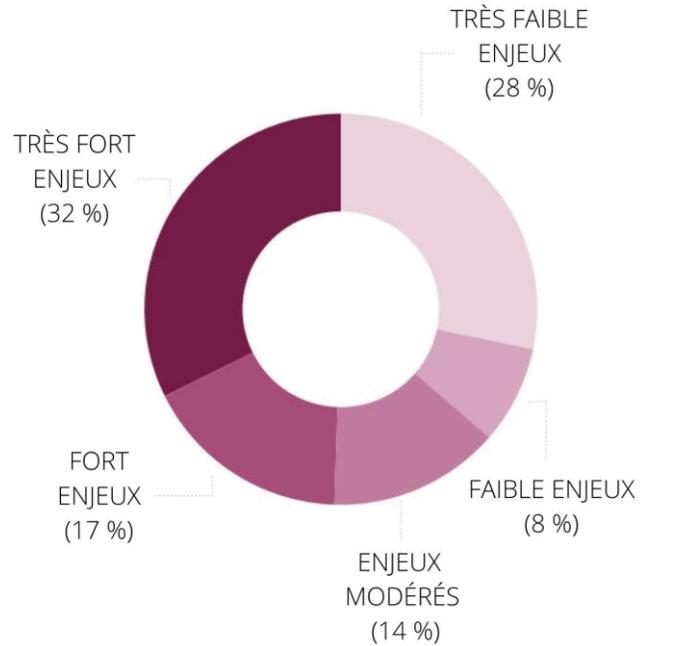
Un exemple basé sur la migration du trait de côte entre 1995 et 2020



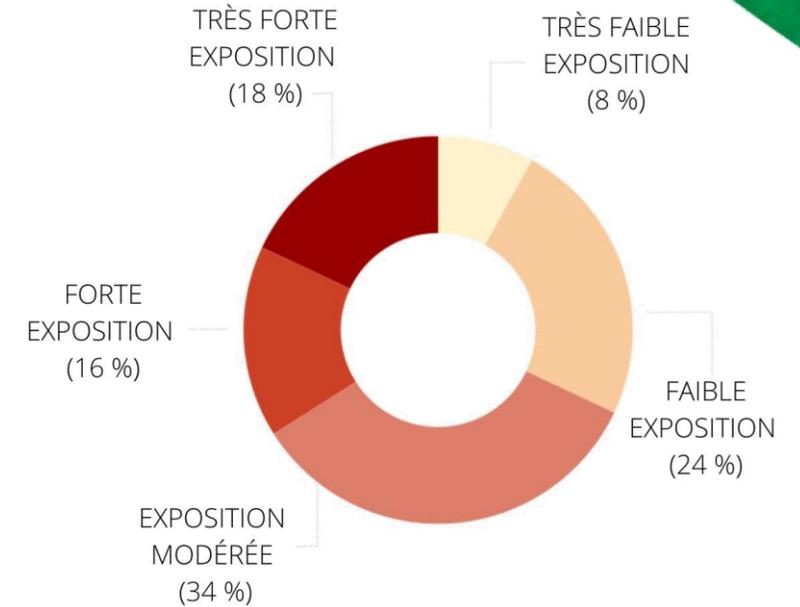
Un exemple basé sur la mobilité de l'excursion maximale du jet de rive entre 1995 et 2020



Distribution des niveaux d'aléa érosion au cours du temps



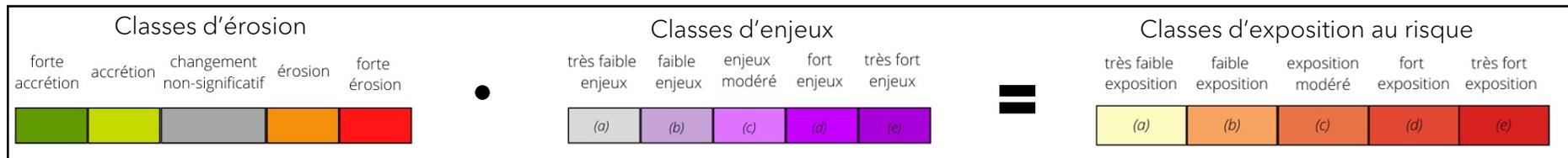
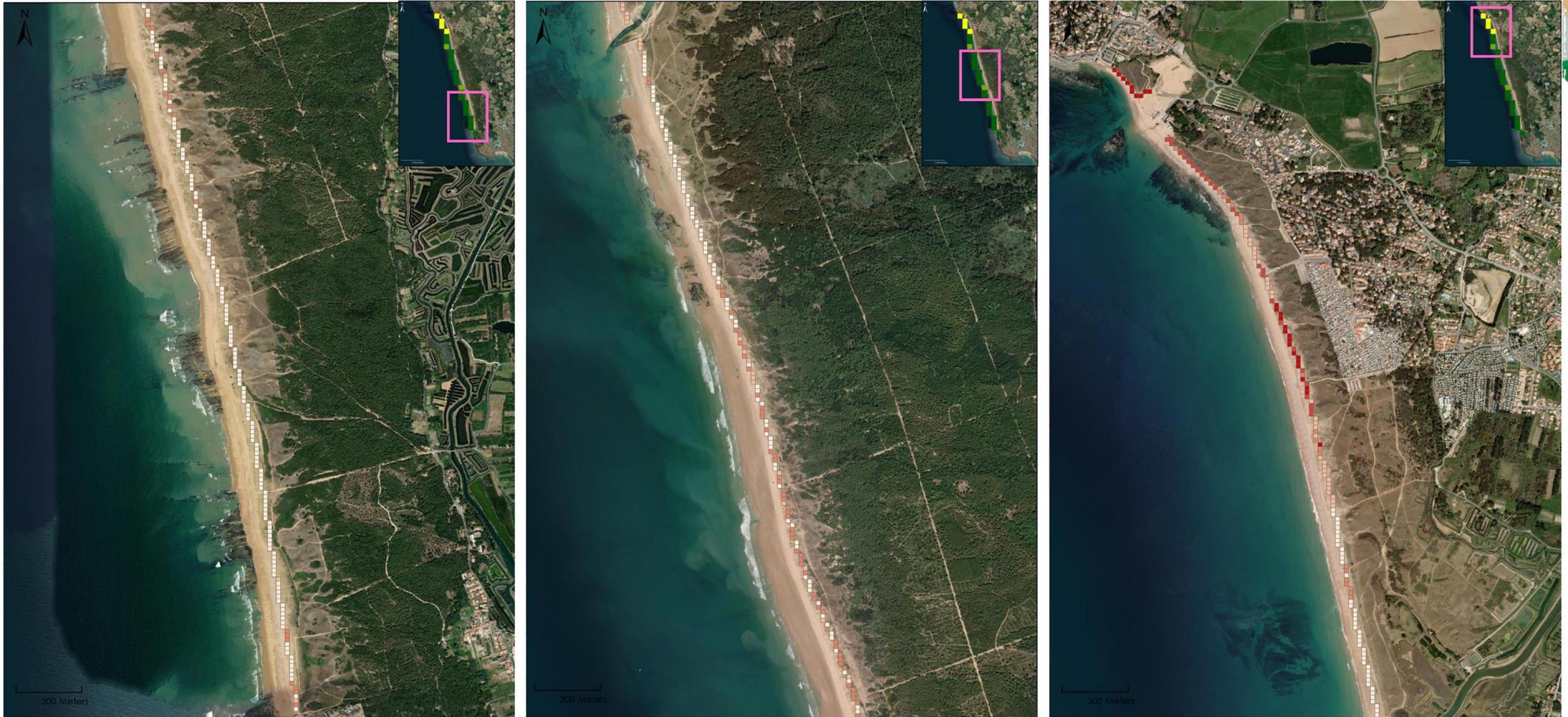
Intégration des enjeux



Exposition au risque d'érosion côtière

Risque d'érosion basé sur un indicateur de stabilité long terme

L'exemple de la limite de végétation au nord des Sables d'Olonne (2018-2021)



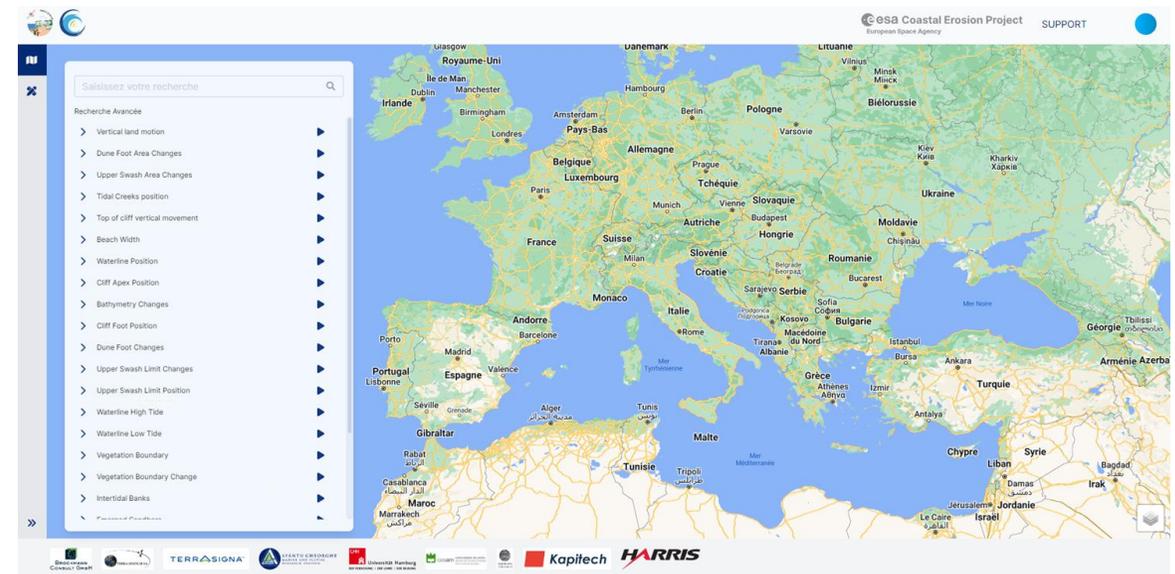


Nouvelle plateforme de visualisation et de mise à disposition

Portail de visualisation et de téléchargement des données

- Mise à disposition des données à l'échelle européenne
- Visualiser et naviguer dans l'ensemble de la base de données du projet
- Télécharger les données clés pour votre territoire (SIG, cartographie)

Visite Guidée !



Format des données

Des produits personnalisés

- En fonction de la demande:

Couverture temporelle 

Emprise spatiale 

Fréquence d'acquisition 

Format des données 

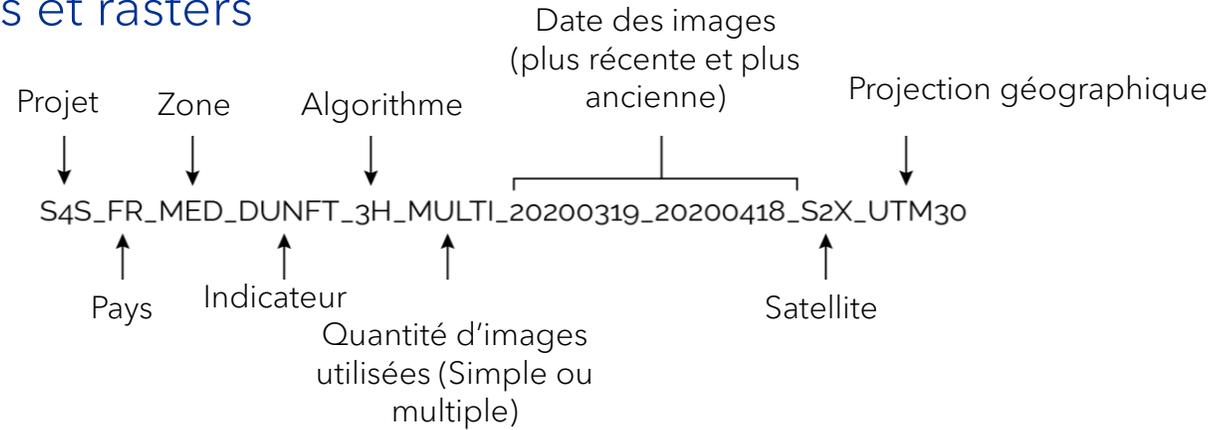
Nature des résultats 

Le sur-mesure possible grâce à l'éventail
satellitaire et le service développé dans Space for
Shore

Des produits standardisés

- Résultats sous forme de vecteurs et rasters

- Nomenclature informative



- Homogénéité du système de coordonnées géographiques

- Une métadonnée complète au format universel (ex. Geosource)

S4S_FR_BEА_BATHY_CHANGE_4B_MULTI_20150805_20160505_MULSR_UTM31

Cette donnée est publiée dans le service de visualisation (WMS) disponible à l'adresse <https://hellas.eugenius-asso.eu/geoserver/wms>, couche

SpaceForShore:S4S_FR_BEА_BATHY_CHANGE_4B_MULTI_20150805_20160505_MULSR_UTM31.

À propos de cette ressource
Thèmes INSPIRE

Des produits renseignés

- Nom
- Image source
- Date (MM/JJ/YYYY HH/MM/SS)
- Producteur
- Système de coordonnées
- Résolution
- Résumé de la méthode
- Mots clés
- Financement
- Droits - Copyright
- Emprise spatiale

+ estimation de la précision des résultats
+ symbologie

Retour d'expérience

A vous de jouer !