

Suivi à Large Echelle des Variables Essentielles de Biodiversité par Imagerie Satellite Multi & Hyperspectrale

*Touria Bajjouk, A. Lavrard-Meyer, P. Mouquet, A. Minghelli, L. Drumetz,
A. Huguet, M. Chami, M. Dalla Mura, S. Loyer, J. B. Féret, M. Duval, L. Broudic & L. Bigot et al.*

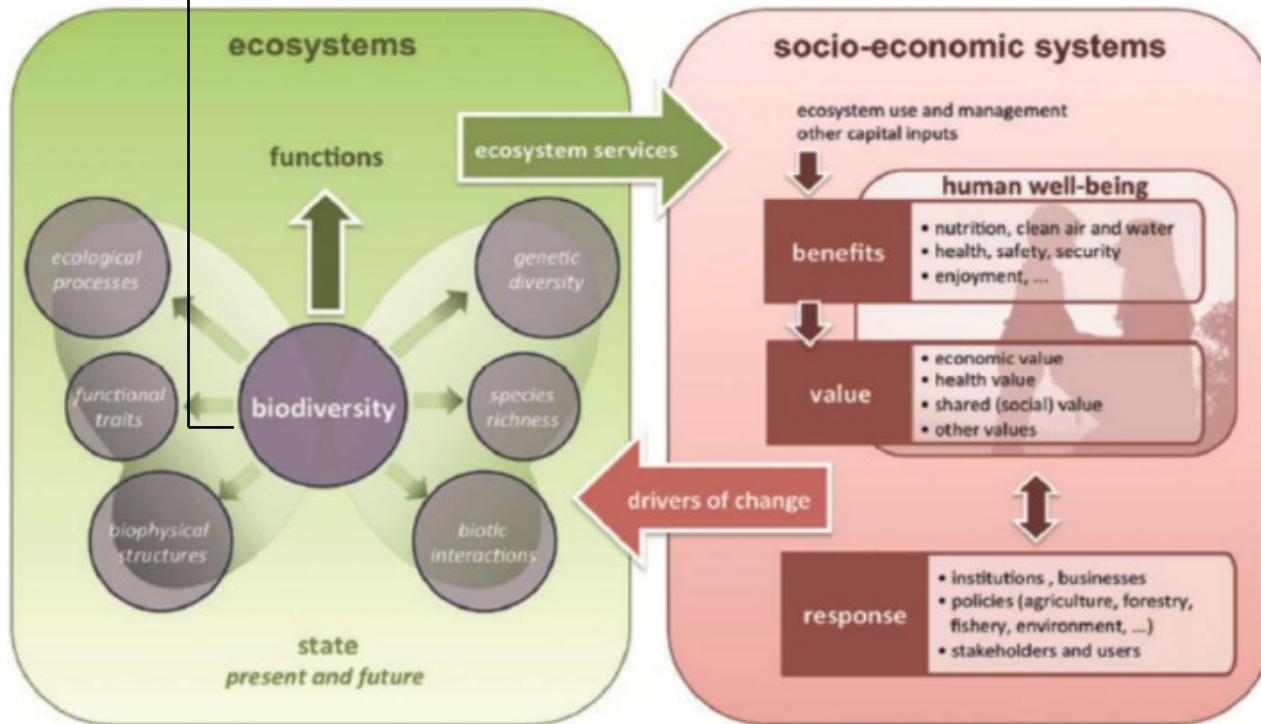
Forum Scientifique 2025

Biodiversité, une priorité stratégique mondiale

60% DES ÉCOSYSTÈMES SONT DÉGRADÉS (FAO)

30% DU TERRITOIRE EUROPÉEN EST FRAGMENTÉ

11% DES ÉCOSYSTÈMES EUROPÉENS CLÉS SONT PROTÉGÉS



Maes et al., 2013)

BILAN

CONFÉRENCE DE PARIS

12 MARS 2020

- “ ... **Besoin de données sur le vivant** et d’améliorer leur couverture spatio-temporelle dans pays en développement & en l’Outremer ... ”
- “ ... **Besoin d’outils d’observation** pour acquérir des données fiables et pertinentes qui rendent compte de la **variabilité spatio-temporelle de la biodiversité** à large échelle ... ”
- “ ... **Besoin d’Indicateurs de suivi et d’évaluation** de la biodiversité simples et intégrateurs avec des capacité à distinguer les effets des pressions directes et globales ”

QUELS OBJECTIFS ?

Produire un **Démonstrateur en soutien à la gestion** pour :

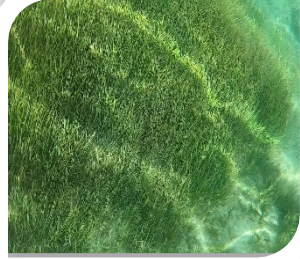
1. Caractériser, via des **proxys**, la **dynamique spatiotemporelle** de la **biodiversité** côtière à large échelle
2. Analyser les **trajectoires** et proposer des **indicateurs d'état en lien aux pressions**

2 Ecosystèmes Vulnérables

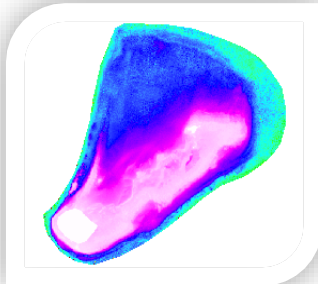
Récifs
coralliens



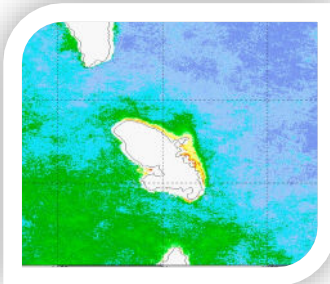
Herbiers
Marins



Topographie
du fond

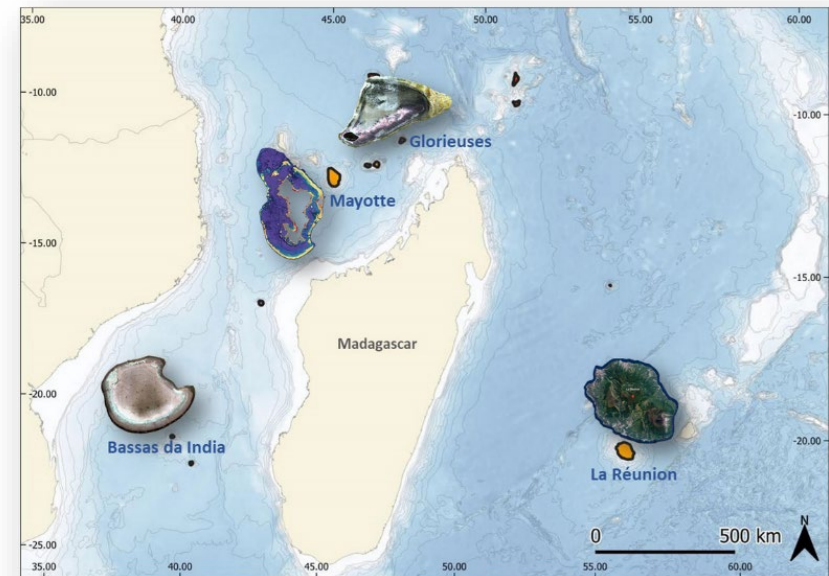


Colonne
d'Eau



4 Use-Cases

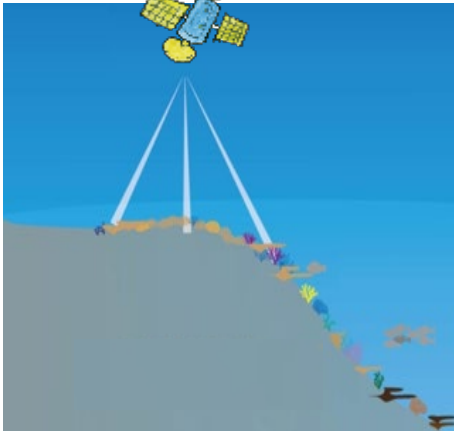
4 Sites



Glorieuses, Mayotte, La Réunion & Bassas

QUELLE QTRATEGIE ?

SERIES TEMPORELLES
images satellite multi-capteurs



Dynamique spatio-temporelle
d'indicateurs de biodiversité côtière



Données
Environnementales
& Pressions



Modélisation,
& Scénarisation

Mieux comprendre les trajectoires
et prédire l'évolution

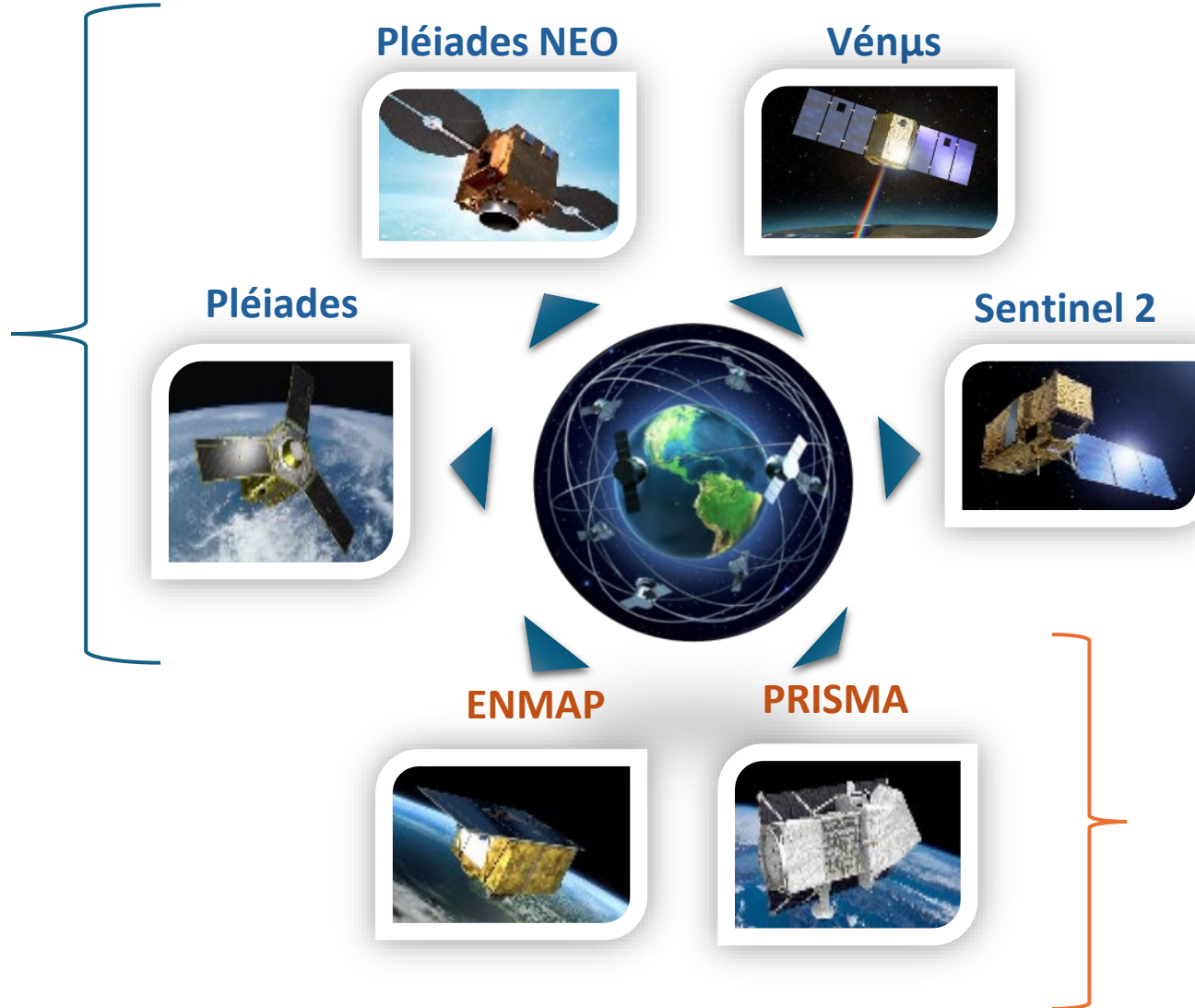
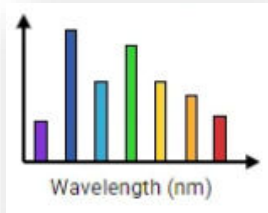
Calibration / Validation

Observations *in situ*

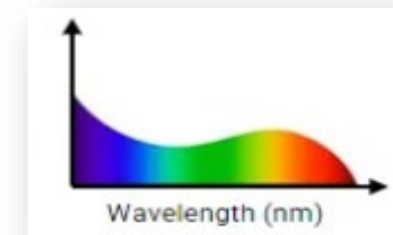
- Réseaux d'Observation
- BDD nationales
- Projets Locaux



SATELLITES MULTISPECTRAUX



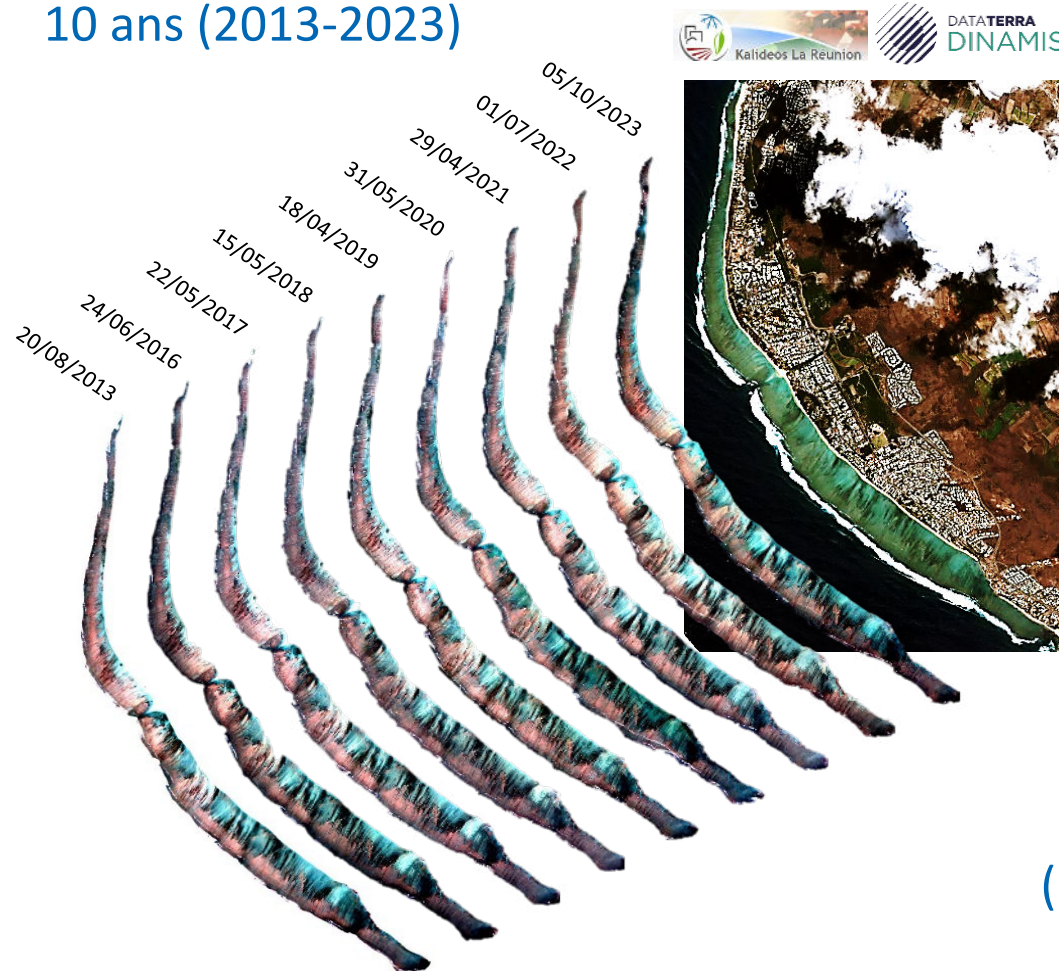
SATELLITES HYPERSPÉCTRALUX



APPROCHE MACHINE LEARNING

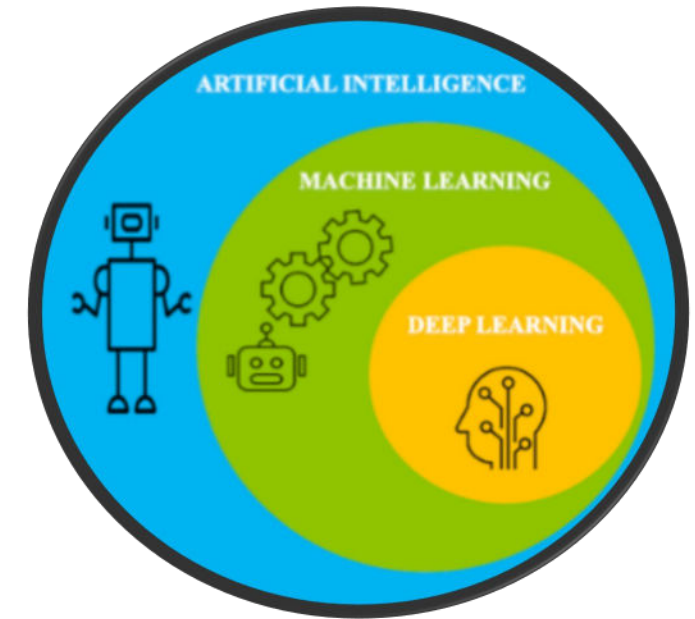
DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE

Série temporelle Pléiades
10 ans (2013-2023)



+
Data In Situ
(BioEOS, Hyscores,
Renovrisk, ...)

METHODES DE
CLASSIFICATION AUTOMATIQUE



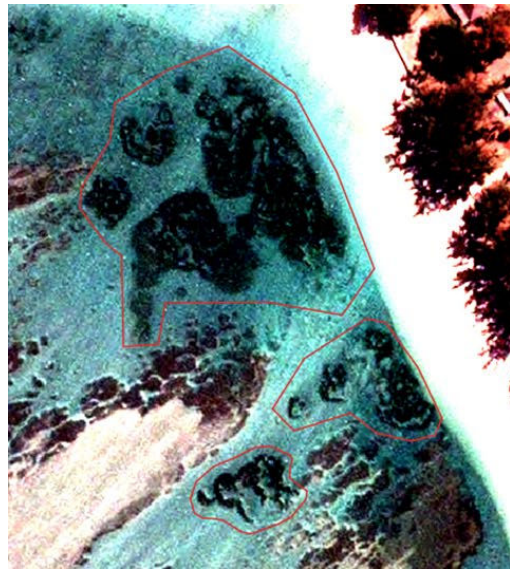
Dynamique Spatio-Temporelle des Herbiers

INDICE SPECTRAUX

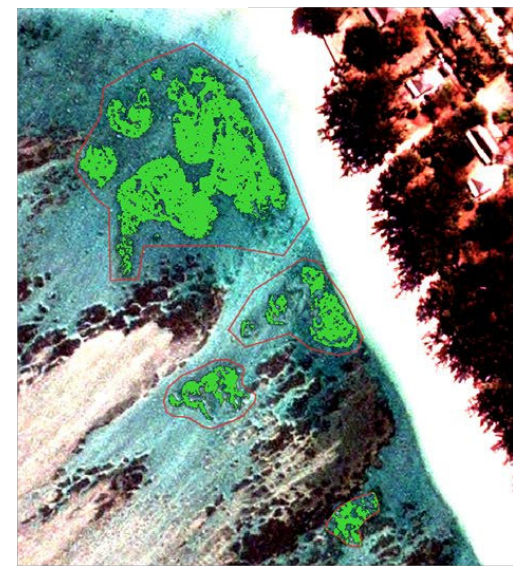
Methode Semi-Automatique



$$\text{Indice de Brillance (BIBG)} = \sqrt{\frac{BLUE^2 + GREEN^2}{2}}$$



$$7 < \text{BIBG} < 8$$

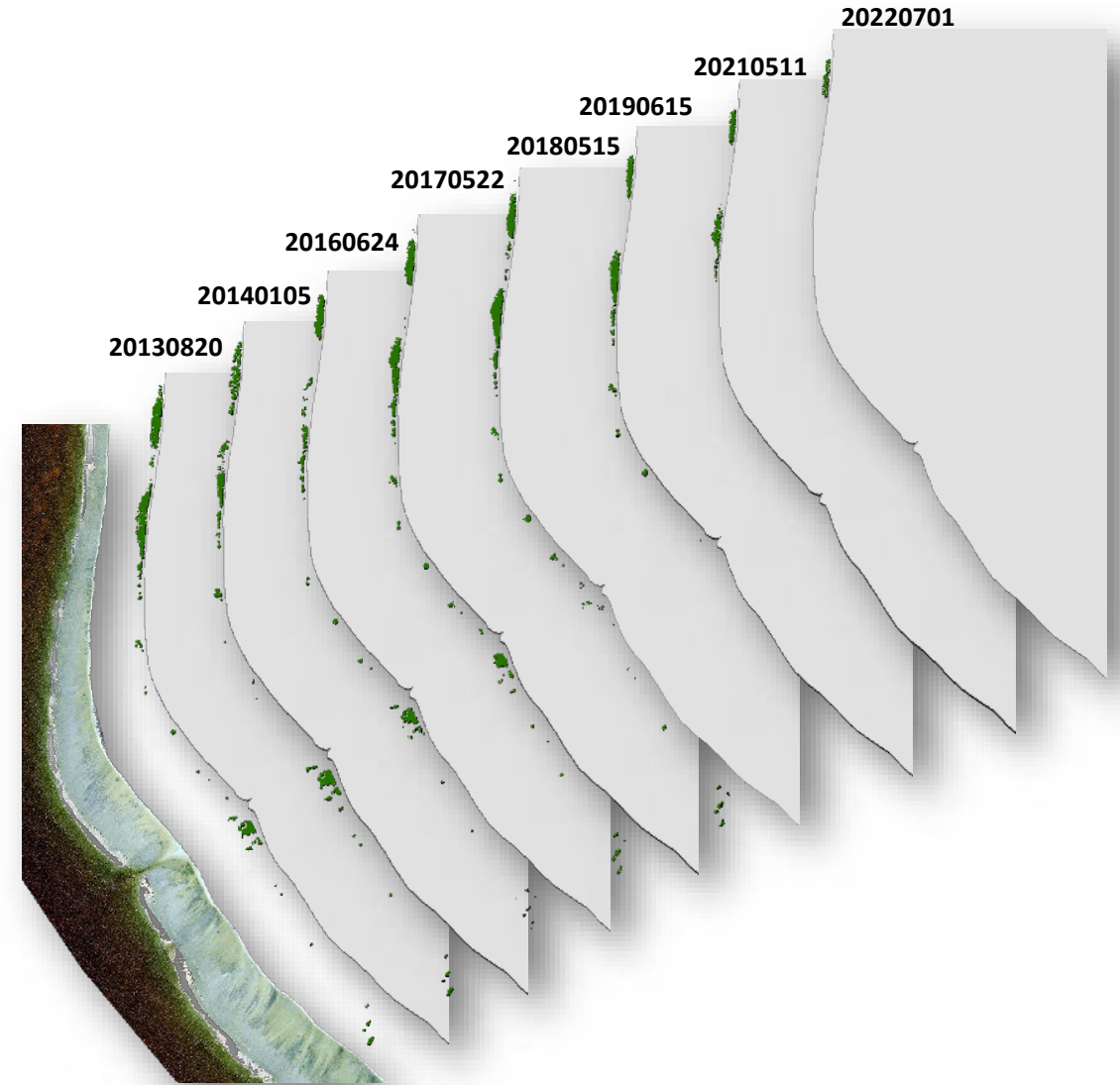
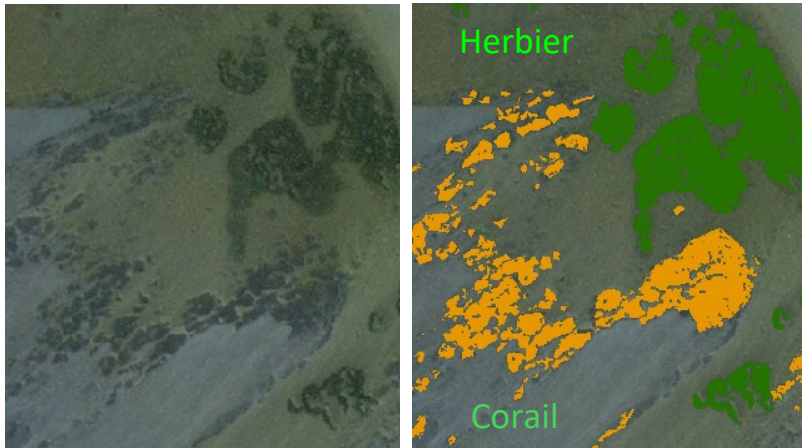
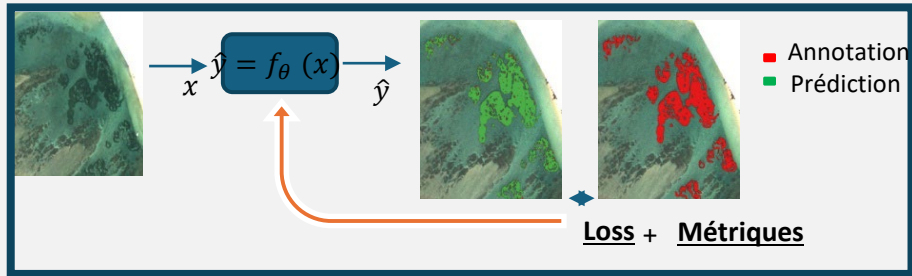


$$6,8 < \text{BIBG} < 8,4$$

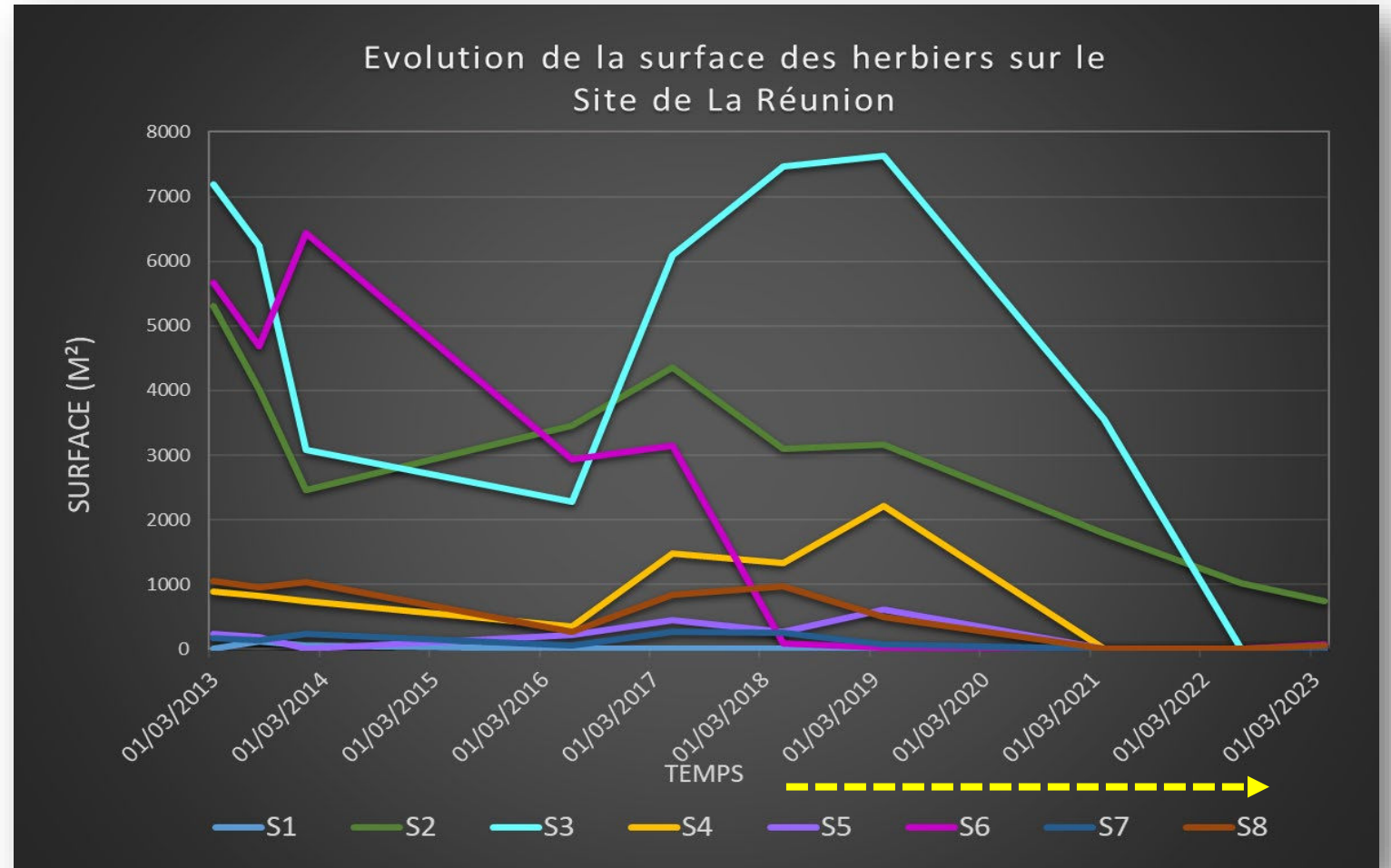
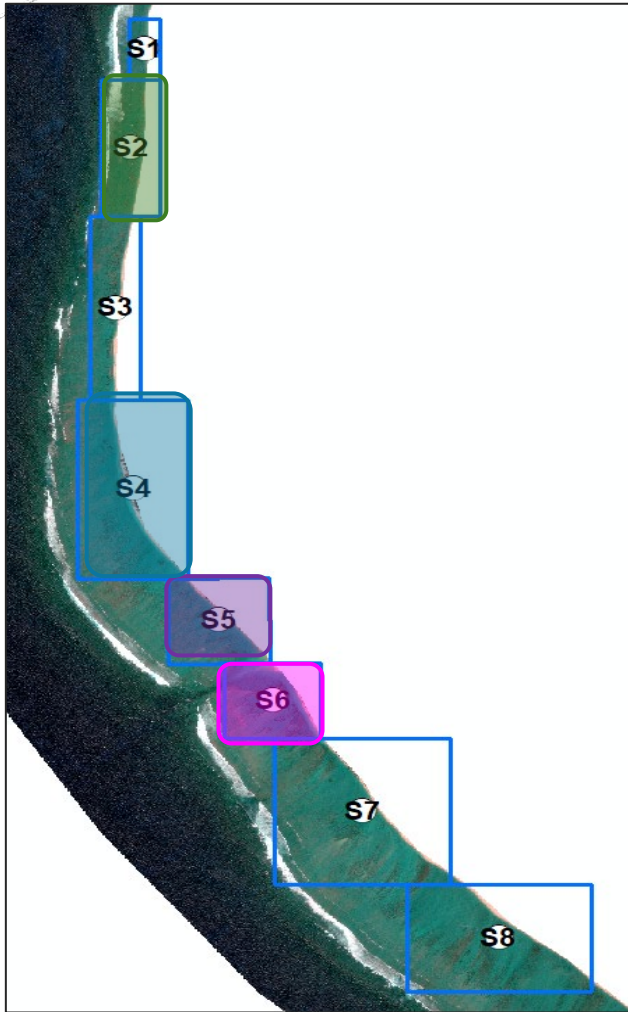
- Sensibilité à la valeur de seuillage
- Confusion avec les coraux >> Nécessité de délimitation des ROIs

Dynamique Spatio-Temporelle des Herbiers

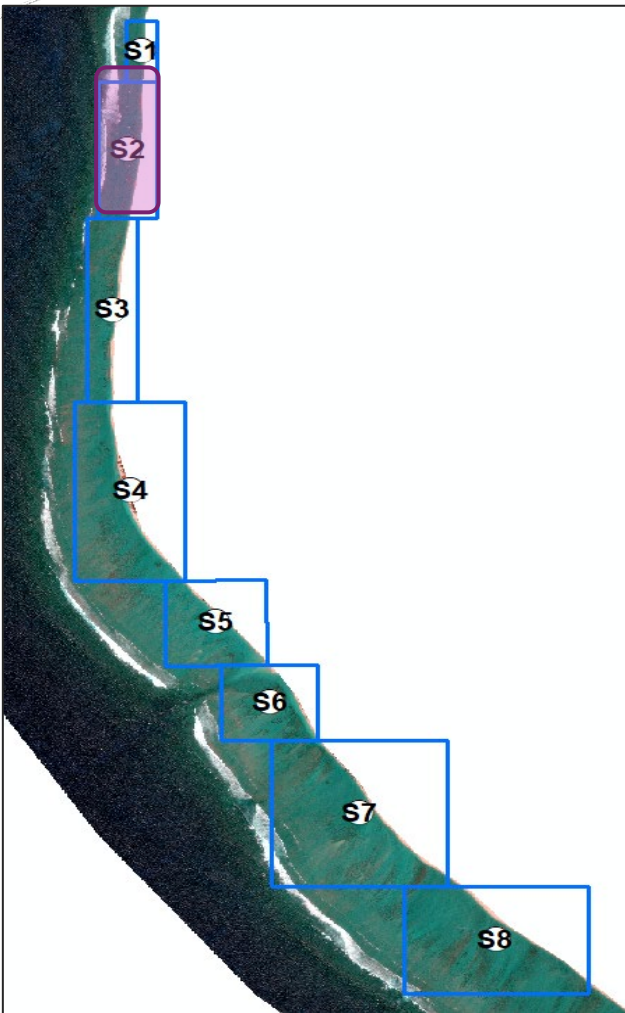
Modèle "Deep Learning"



Dynamique Spatio-Temporelle des Herbiers

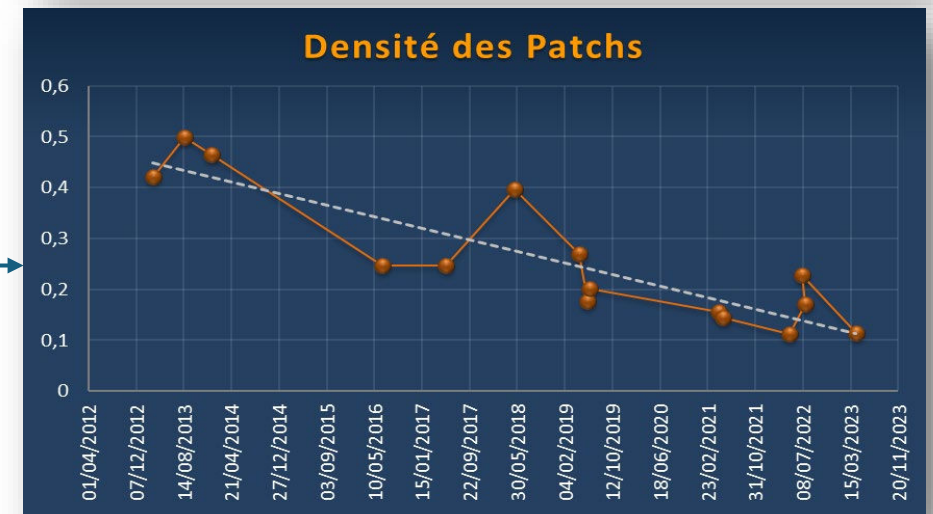
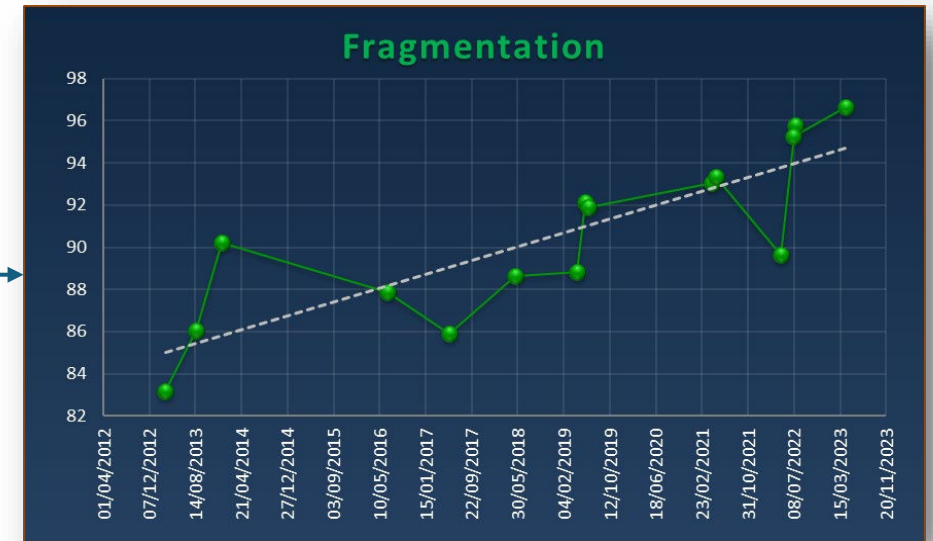


ANALYSE DE LA STRUCTURE DE L'HERBIER

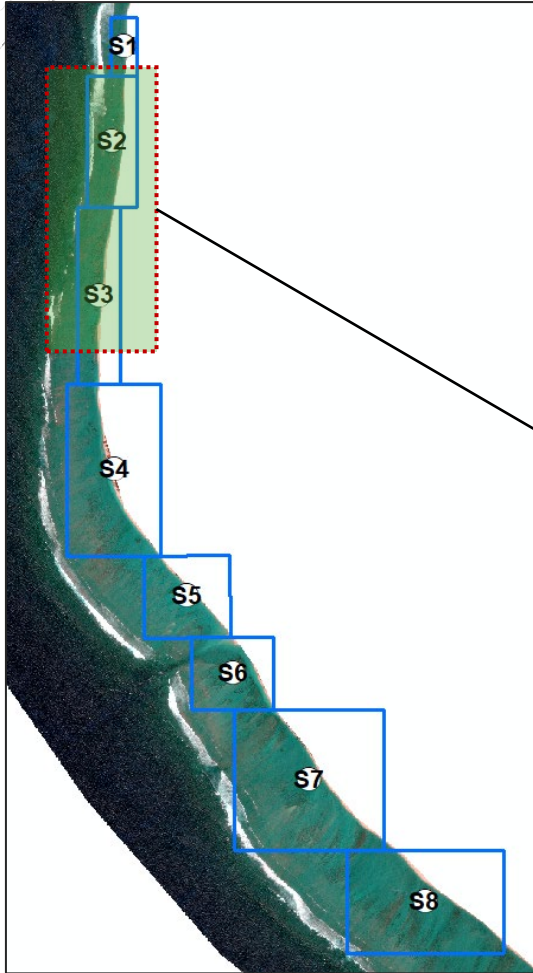


Evolution de la
Structure Paysagère
(10aine de métriques)

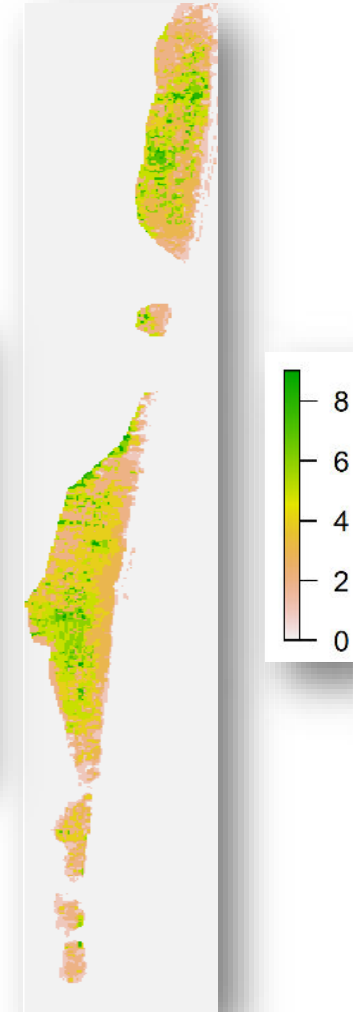
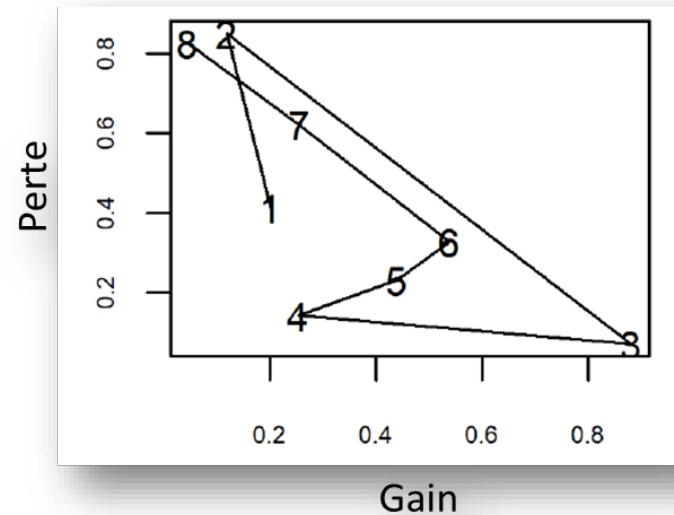
Ex. Secteur "S2"



ANALYSE DE LA TRAJECTOIRE DE L'HERBIER



Trajectoire Globale
(Secteurs Nord)



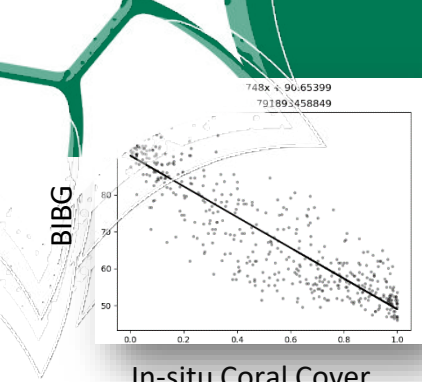
Structure
Carte de Persistance

Simulations
de la dynamique
spatio-temporelle:
>> Résilience
>> Scénarisation

**THESE AUFRANDE & BRIDGES
(2025-2028)**

Analyser la dynamique de
régression et Comprendre les
causes par une approche de
**modélisation hybride (Hydro &
Bayésien)**

Dynamique Spatio-Temporelle des Coraux

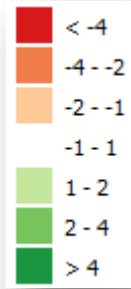


In-situ Coral Cover

Recouvrement
Corallien (%)



Variation
Couverture Corallienne
2013-2023 (%/year)

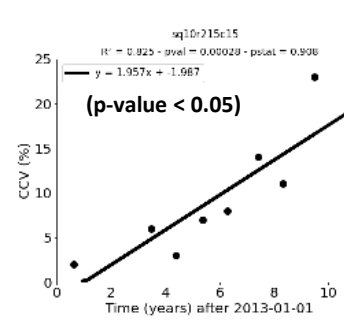


Série
Temporelle

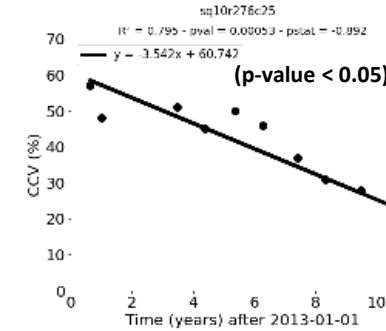
20130820

20220701

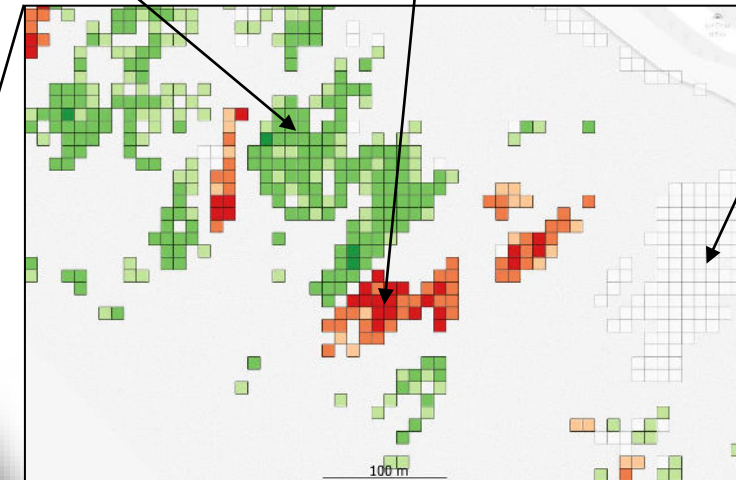
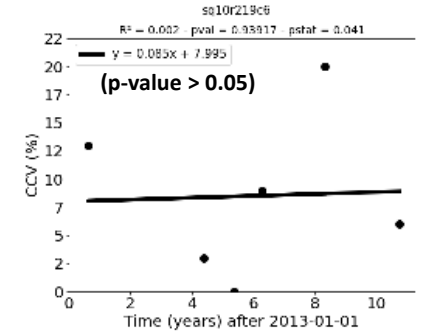
Changement Positif
Significatif

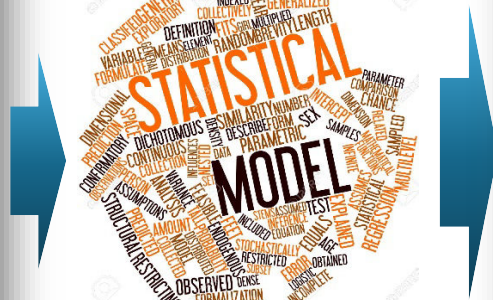


Changement Négatif
Significatif



Pas de Changement
Significatif



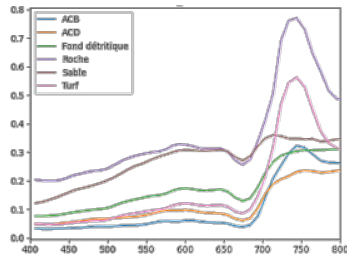


- BioEOS
- UTOPIAN



ESTIMATION DE L'ABONDANCE & DE LA BATHYMÉTRIE

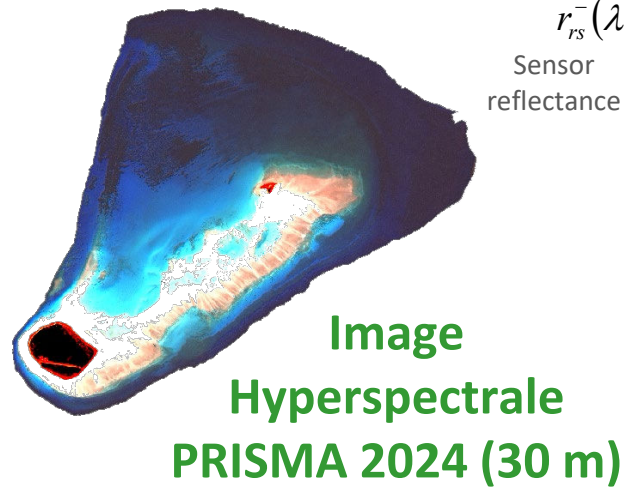
Field Spectral Library



$$r_{rs}^{-}(\lambda) = r_{rs}^{dw}(\lambda) \cdot \left[1 - e^{-(K_d(\lambda) + K_u^C(\lambda))H} \right] + \frac{\rho(\lambda)}{\pi} \left[e^{-(K_d(\lambda) + K_u^B(\lambda))H} \right]$$

Sensor reflectance Deep water reflectance Water column attenuation Bottom albedo Depth

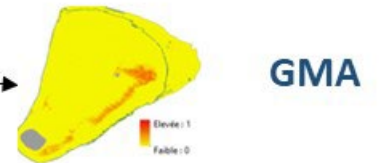
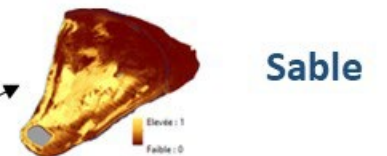
Modèle de Lee



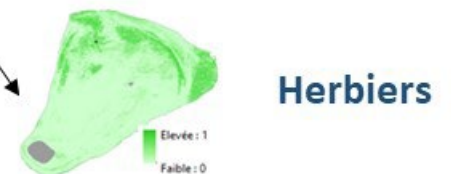
Inversion

Direct model
+
Optimization
algorithm

Cartes Abondances

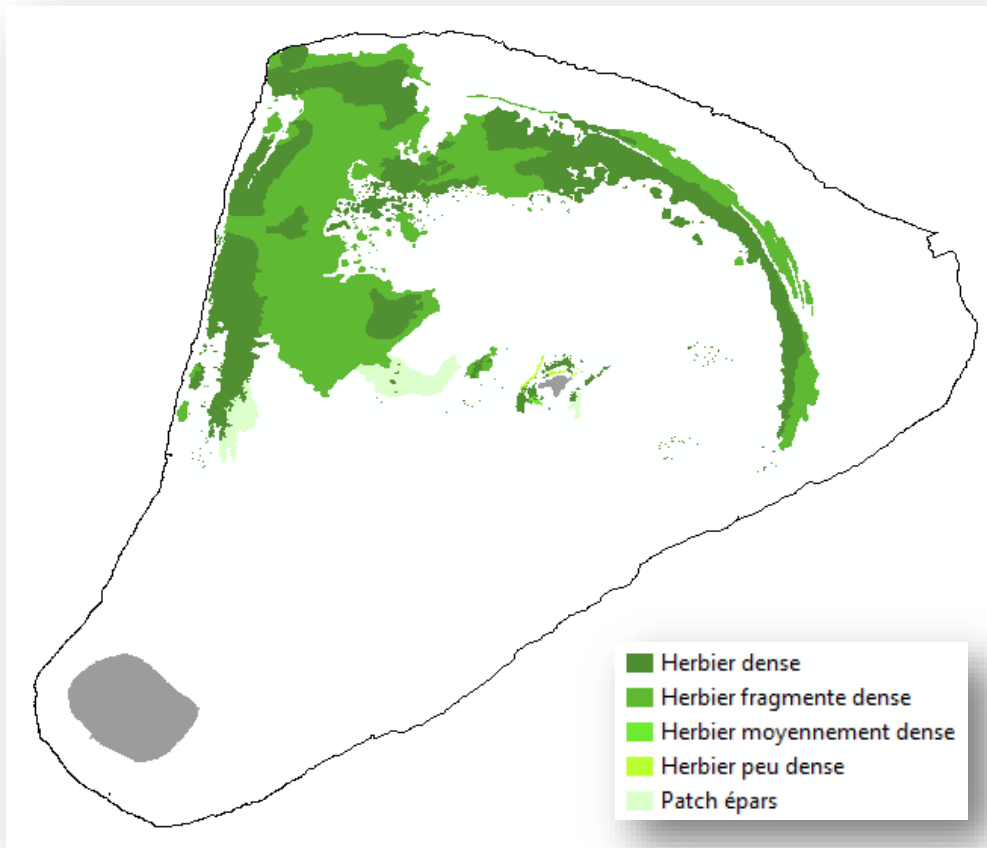


...
Autre
Type de fond

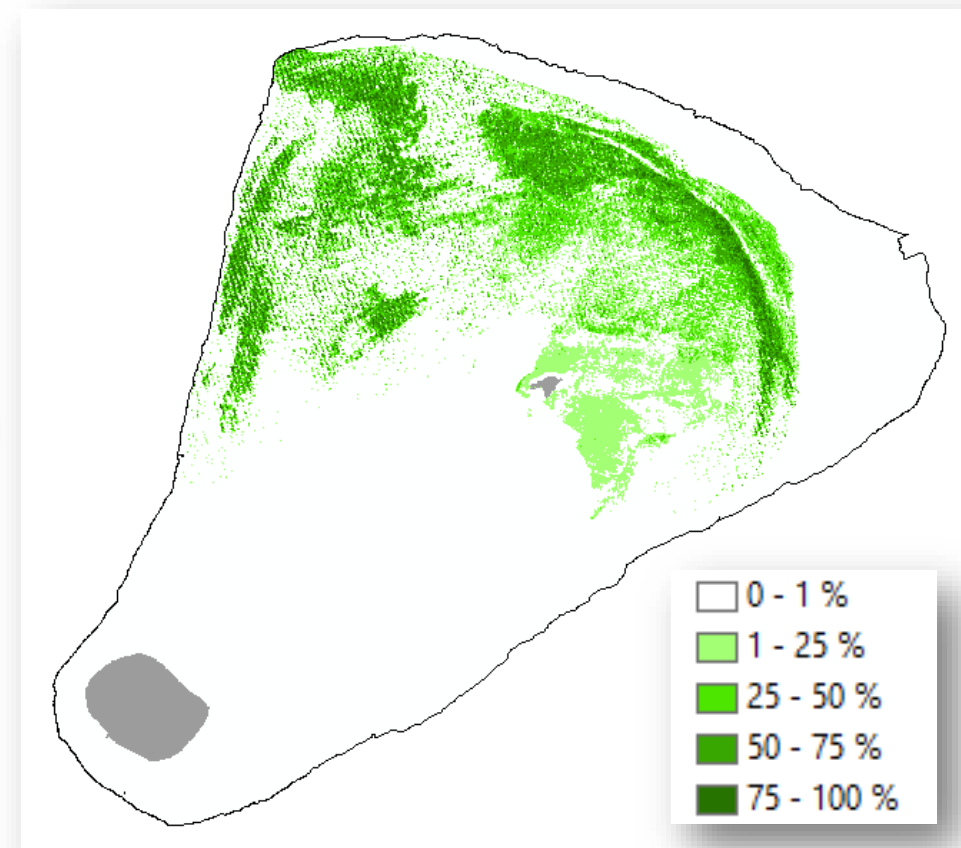


APPROCHE PAR MODELE DE TRANSFERT RADIATIF

LES HERBIERS DES GLORIEUSES



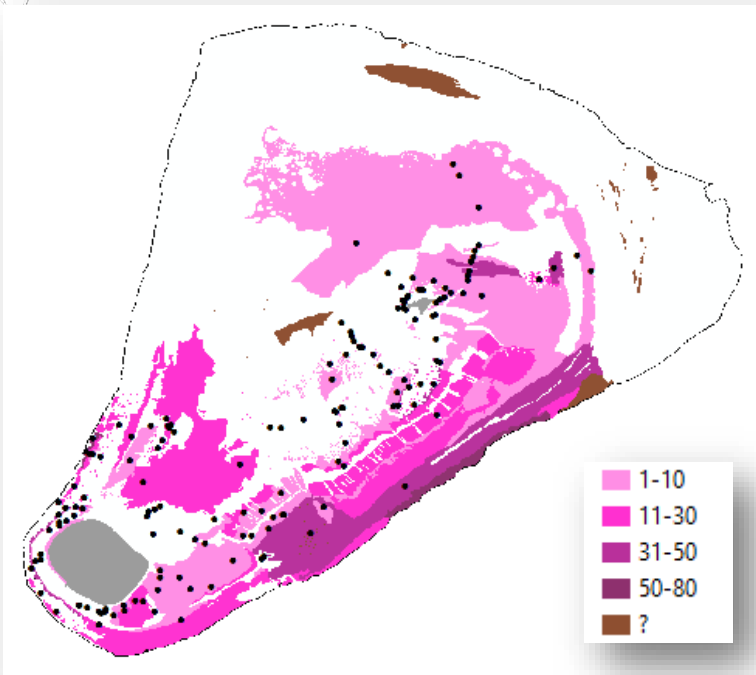
Carte d'habitats
Classes de densité catégorielles
(Nicet et al., 2017)



Carte BioEOS
Classes de taux de recouvrement
(Bajjouk et al., 2024)

APPROCHE PAR MODELE DE TRANSFERT RADIATIF

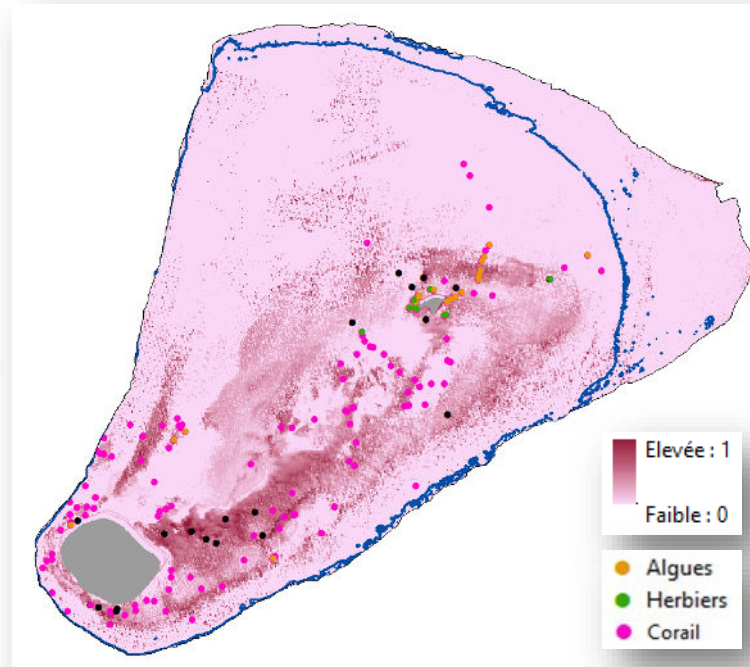
LES CORAUX DES GLORIEUSES



Carte d'habitats
Classes de recouvrement catégorielles
(Nicet et al., 2017)



Type Corallien 1



Type Corallien 2

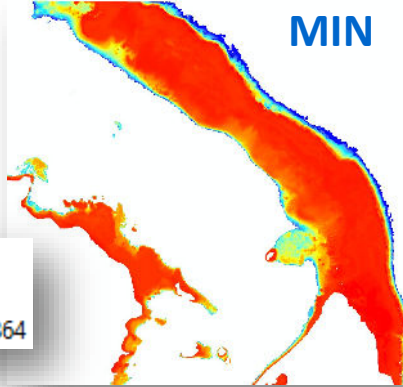


Cartes BioEOS
Taux de recouvrement coralliens
(Bajjouk et al., 2024)

APPROCHE PAR MODELE DE TRANSFERT RADIATIF

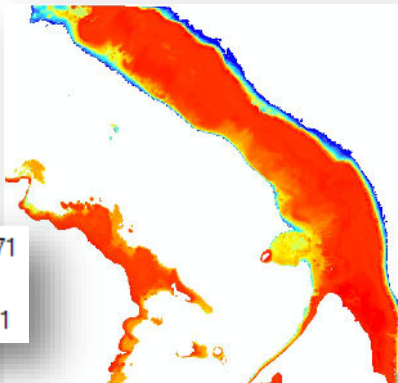
Déploiement de
Chaîne de production
SDB du SHOM

Elevée : 20,664
Faible : -0,995864

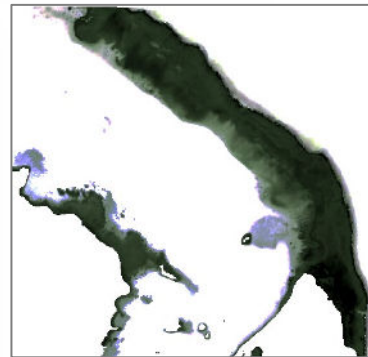


MOYENNE

Elevée : 15,4971
Faible : -1,0181

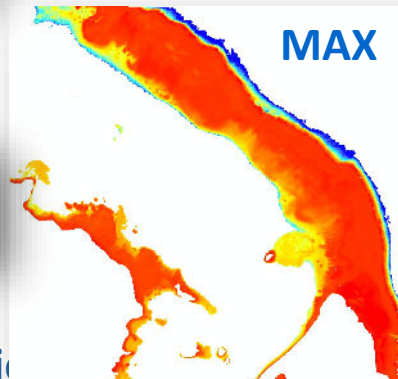


Sentinel (10 m)



MAX

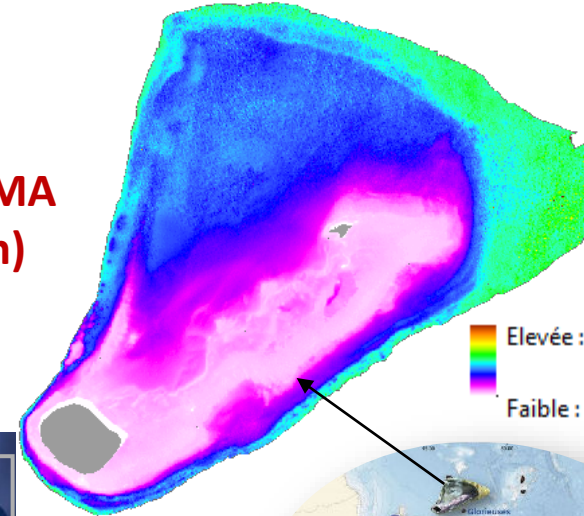
Elevée : 11,262
Faible : -1,02661



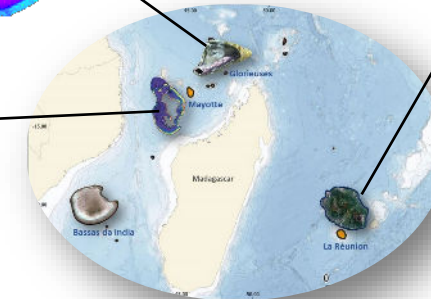
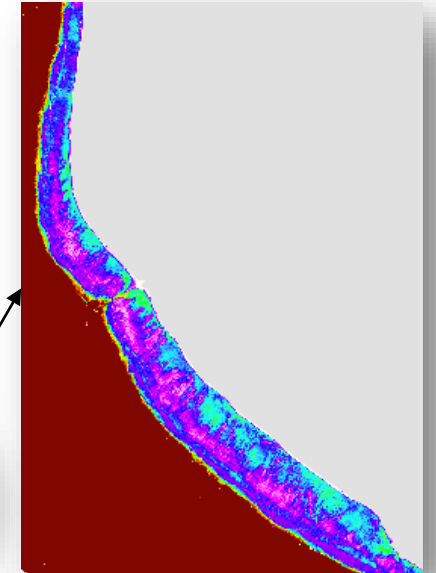
ESTIMATION DE LA BATHYMÉTRIE

PRISMA
(30 m)

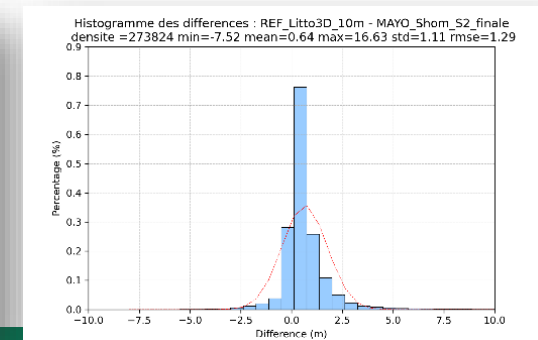
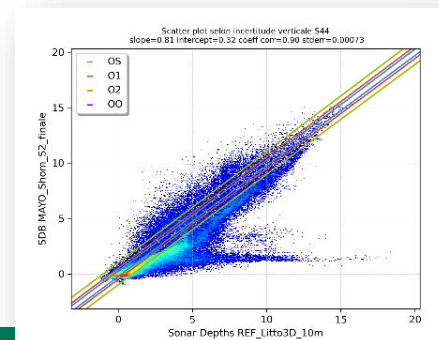
Elevée : 46
Faible : 0



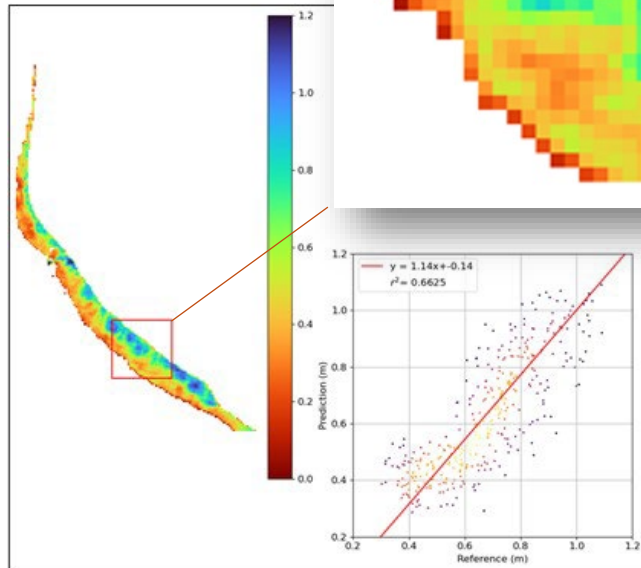
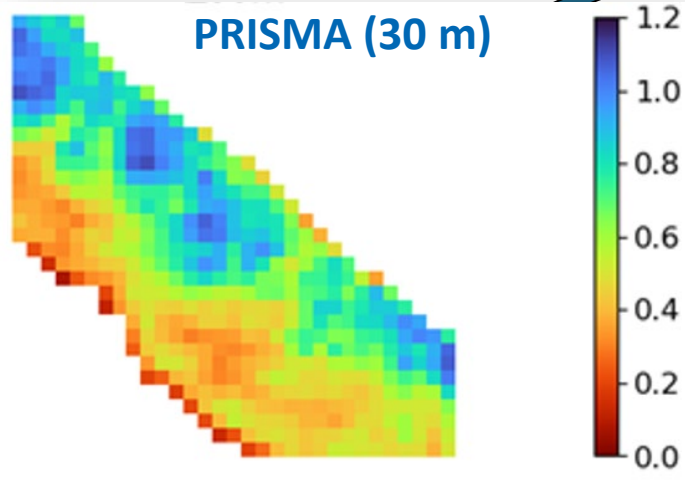
Pléiades (2 m)



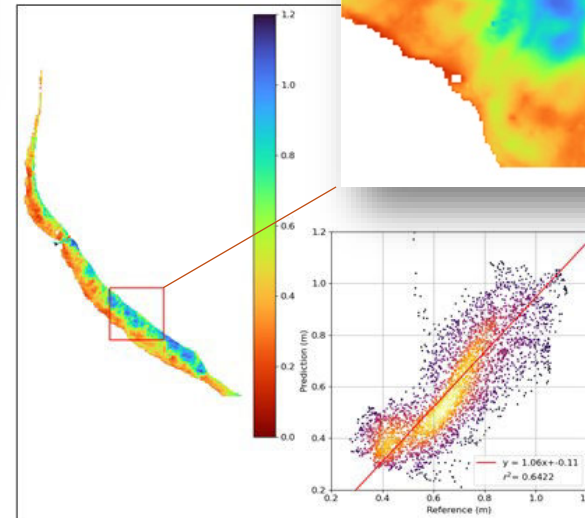
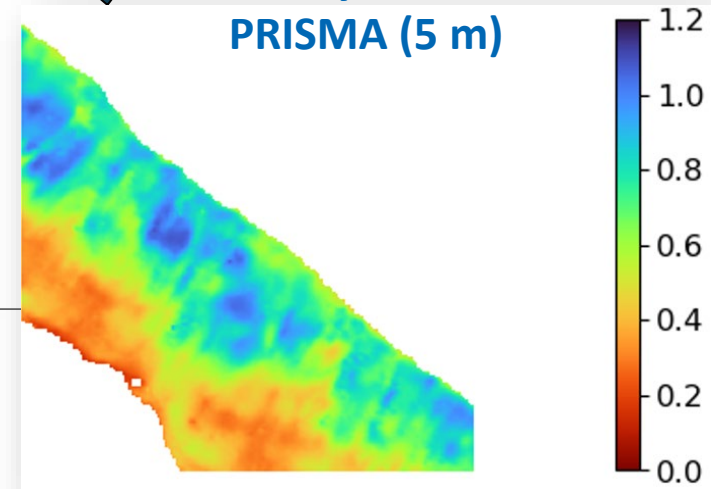
Validation (Données Acoustiques et Lidar)



Bathymétrie
PRISMA (30 m)



Bathymétrie
PRISMA (5 m)



THESE CNES/MAGELLUM

Optimisation de la
Fusion Multi-Capteurs en
Zone Côtière

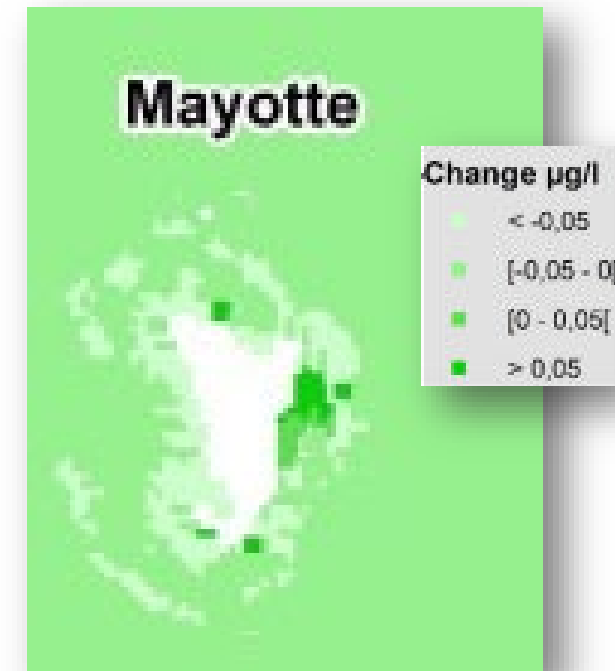
ESTIMATION DES VARIABLES ESSENTIELLES

PROPRIETES ENVIRONNEMENTALES DES MASSES D'EAU

Intensité des Variations de la concentration en **chlorophylle a** entre 2016 et 2021 (OLCI) à partir de l'algorithme OC5 (Gohin, 2011)



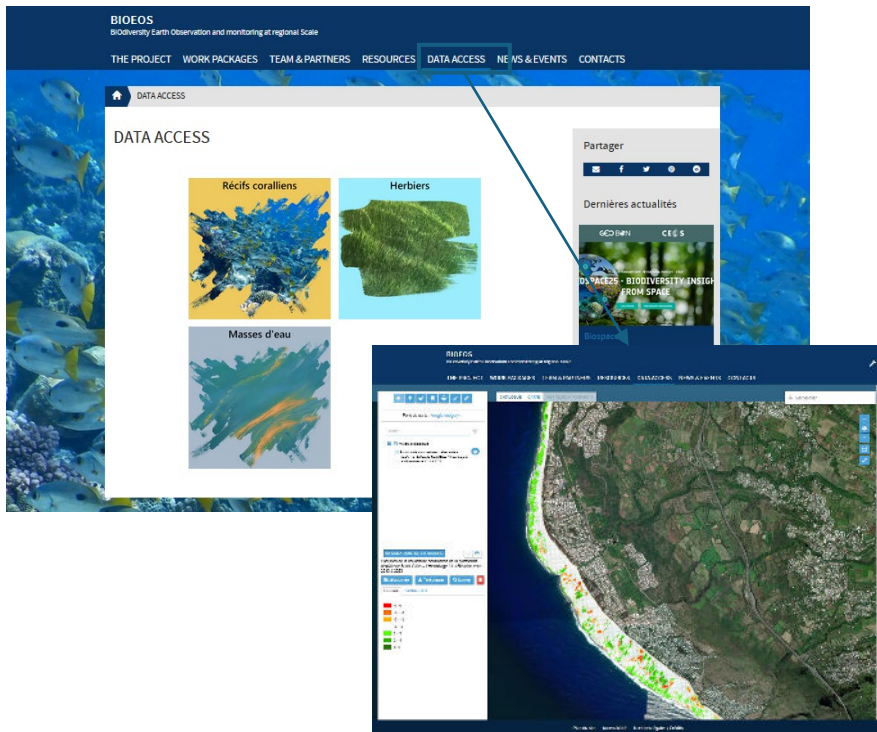
Changements de la Température
GHRSSST (2003-2021)



CONCLUSIONS & FUTURES TRAVAUX ...

POTENTIEL DE L'IMAGERIE SATELLITE

- MULTI-HYPESPECTRAL : **Dynamique spatio-temporelle** des écosystèmes "Herbiers" & "Récifs Coralliens"
- APPROCHE SPATIALE : Rendre compte de **l'hétérogénéité** spatiale et **localiser les changements**



<https://bioeos.ifremer.fr/DATA-ACCESS>

NOS TRAVAUX CONTINUENT...

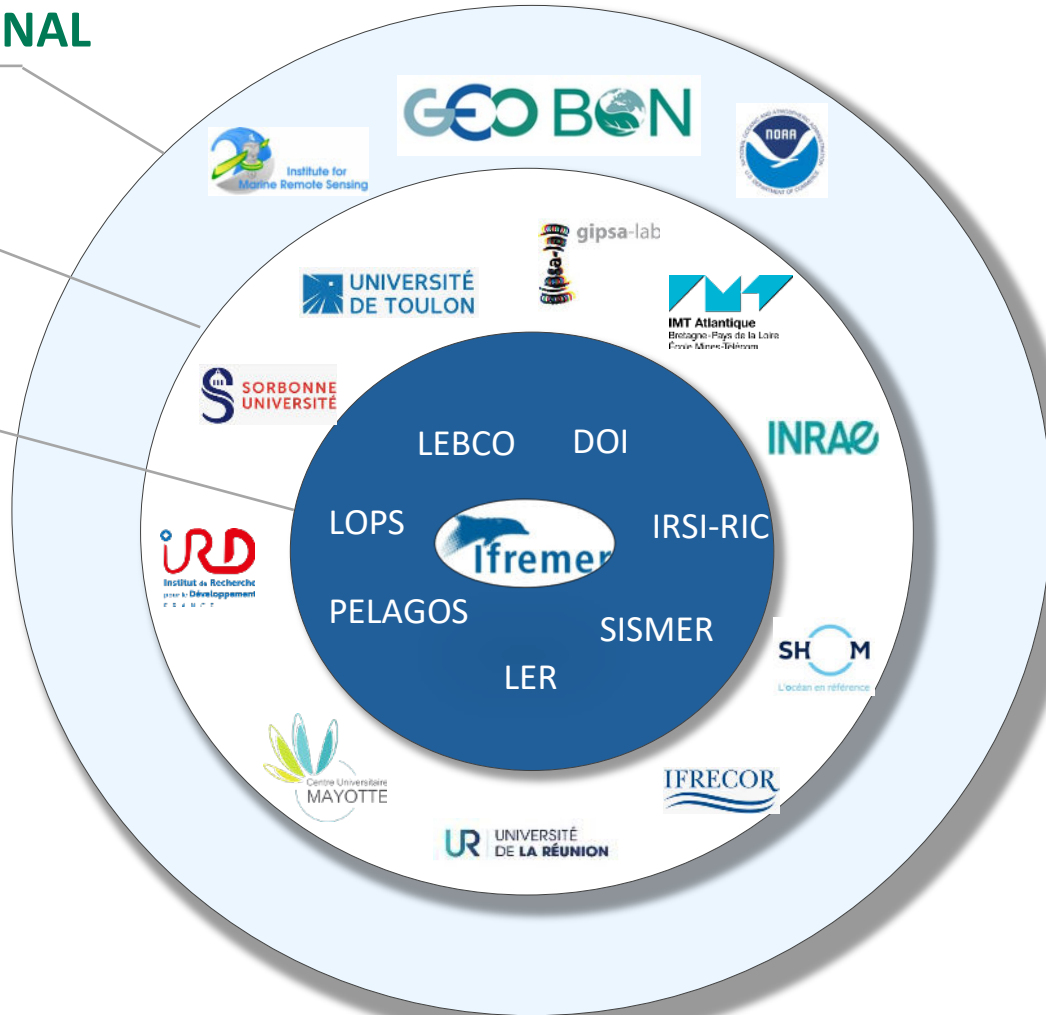
- Améliorer les chaînes de traitements pour extraire d'autres **métriques "Diversité" & "Structure Habitat" & améliorer la résolution spatiale** Capteurs HS (Thèse CNES)
- Applications sur les **autres Sites BioEOS**
- Proposer des **indicateurs intégratifs** des EBVs
- **Démonstrateur** pour l'accès et la visualisation destiné aux **GESTIONAIRES** (en cours de développement)

BioEOS

INTERNATIONAL

NATIONAL

IFREMER



27

Personnes



11

Organismes

Soutien Institutionnel



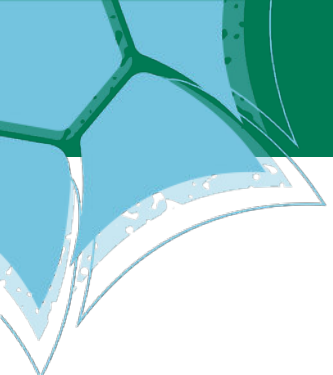
DEAL
REUNION

Soutien Accès Données



Réserve Naturelle
MARINE DE LA REUNION





MERCI POUR VOTRE ATTENTION

QUESTIONS?



touria.bajjouk@ifremer.f

