

# Télédétection et bathymétrie dérivée satellitaire



**Sélim Amrari**

Superviseurs:

Romain Le Gendre, Dr. Hugues Lemonnier, Benoit Soulard  
LEADNC, IFREMER - New Calédonie

Prof. Dr. Alfred Johnny Wüest  
Physics of Aquatic Systems Laboratory, EPFL - Switzerland

Sophie Loyer,  
SHOM, Brest

# Bathymétrie satellitaire, contextes et motivations

## Bathymétrie, une variable clé

### ***PRESENCE :***

« PREssions sur les Ecosys- tèmes récifo-lagonaires de Nouvelle-CalédoniE »

#### ■ **Méthode de mesure traditionnelle :**

- Par echo-sounder depuis la surface
- Coûteuse
- Pas applicable partout

#### ■ **Bathymétrie satellitaire :**

- Moins précise...
- Solution à large échelle
- Haute résolution
- Profondeur maximum: 25 – 30 mètres

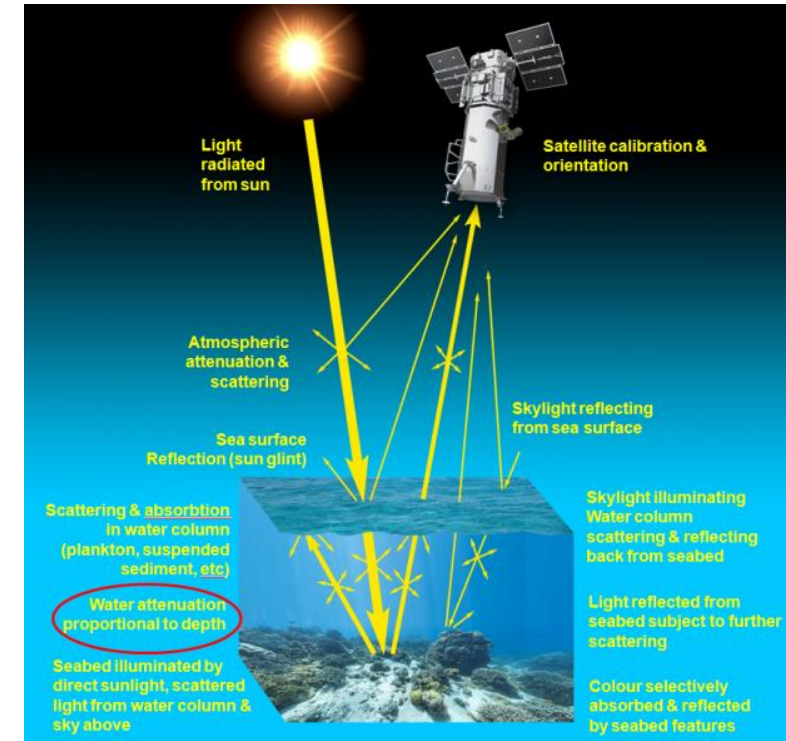
# Principes physiques en milieu aqueux

## ■ Radiance

- Signal enregistré par le satellite
- Correspond à une mesure de la radiation électromagnétique émise ou réfléchie par une surface.
- Dépend de :
  - La taille de la surface,
  - L'angle de vue et l'angle solide du senseur
  - La réflectance en fonction de la longueurs d'onde
  - L'Irradiance

## ■ Atténuation

- Est décrite par les phénomènes d'Absorption et de Diffusion



$$L(h) = L_s - L_b e^{-kh}$$

# Senseur satellite et données bathymétriques

## ■ Satellite : Sentinel-2A

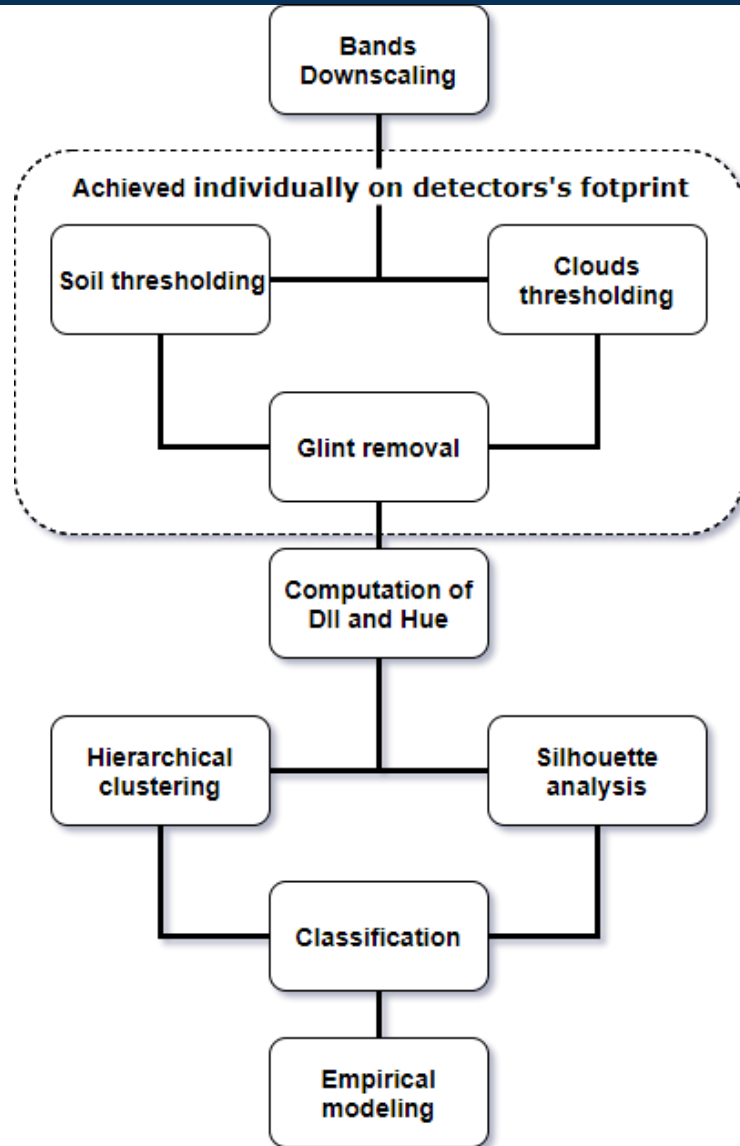
- Données open-source
- Résolution multi spectrale au sol: 10 mètres
- Bande bleue additionnelle (plus courte longueur d'onde)
- Capteur composé de plusieurs détecteurs, avec des angles de vision légèrement différents

## ■ Données bathymétriques

- Donnée du SHOM:
  - Données de sondes acquises par convention
  - Mesure par echo-sounder avec une précision d'environ  $\pm 2\%$  de la profondeur.
  - Seulement les mesures jusqu'à 30 mètres sont utilisées ici
- Poe: données acquises par l'IFREMER
- Mesures ajustées au niveau de marée correspondant à la prise de vue.



# Méthodes et résultats: Premier Workflow

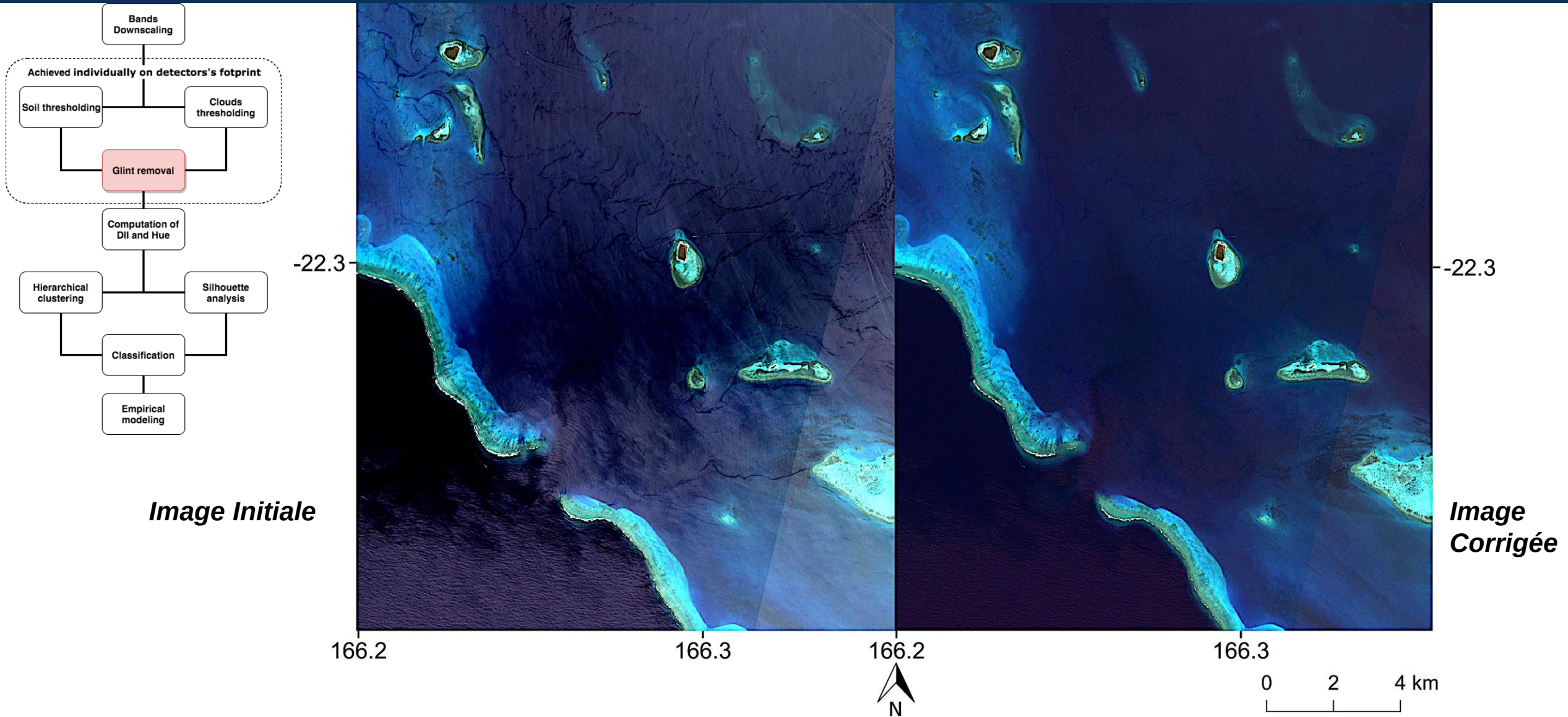


1. **Echantillonnage de 4 bandes**
2. **Prétraitements d'image:**
  - Seuillage : défini empiriquement
  - Suppression des reflets
3. **Calculs des DII et de la Teinte comme descripteurs**
4. **Classification invariant du type de la profondeur: K-means**
  - Vise à minimiser l'inertie intra-cluster:
5. **Calibration des modèles empiriques**

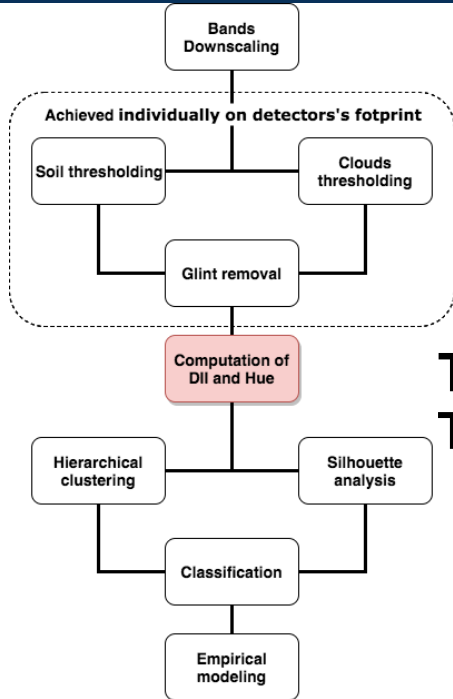
$$I(c, \mu) = \sum_{i=0}^N \|x^i - \mu_{c^i}\|^2$$



# Méthodes et résultats : Prétraitements d'image



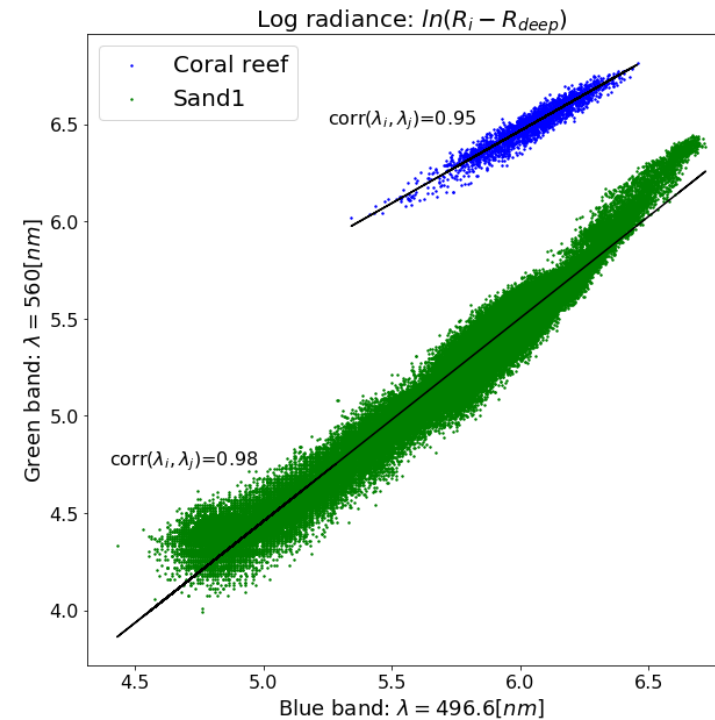
# Méthodes et résultats : Calculs des descripteurs



## Teinte d'une transformation TSV

- Espace TSV est communément utilisé en imagerie aérienne
- Nous supposons la valeurs de teinte moins dépendante de l'atténuation du signal que les valeur de l'espace RGB

## Depth Invariant Index



$$X_i = \ln(L_i - L_i^{deep})$$

$$X_i = \frac{k_i}{k_j} X_j + d_{ij}$$

$$k_i/k_j = a + \sqrt{a^2 + 1}$$

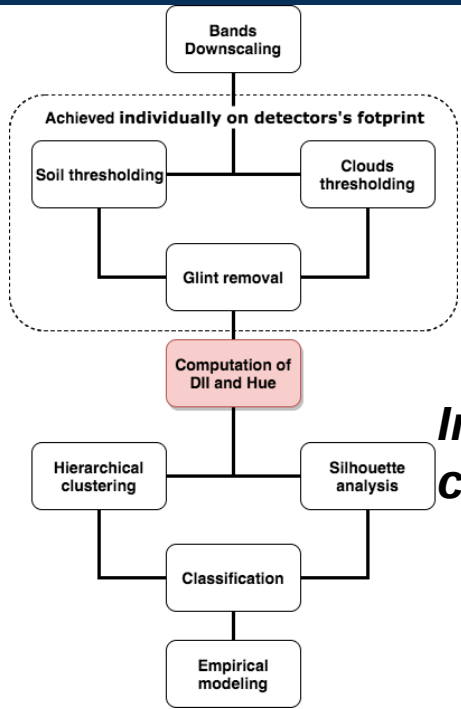
$$a = \frac{\sigma_{ii} - \sigma_{jj}}{2\sigma_{ij}}$$

$$\sigma_{ij} = \overline{X_i X_j} - (\overline{X_i} \overline{X_j})$$

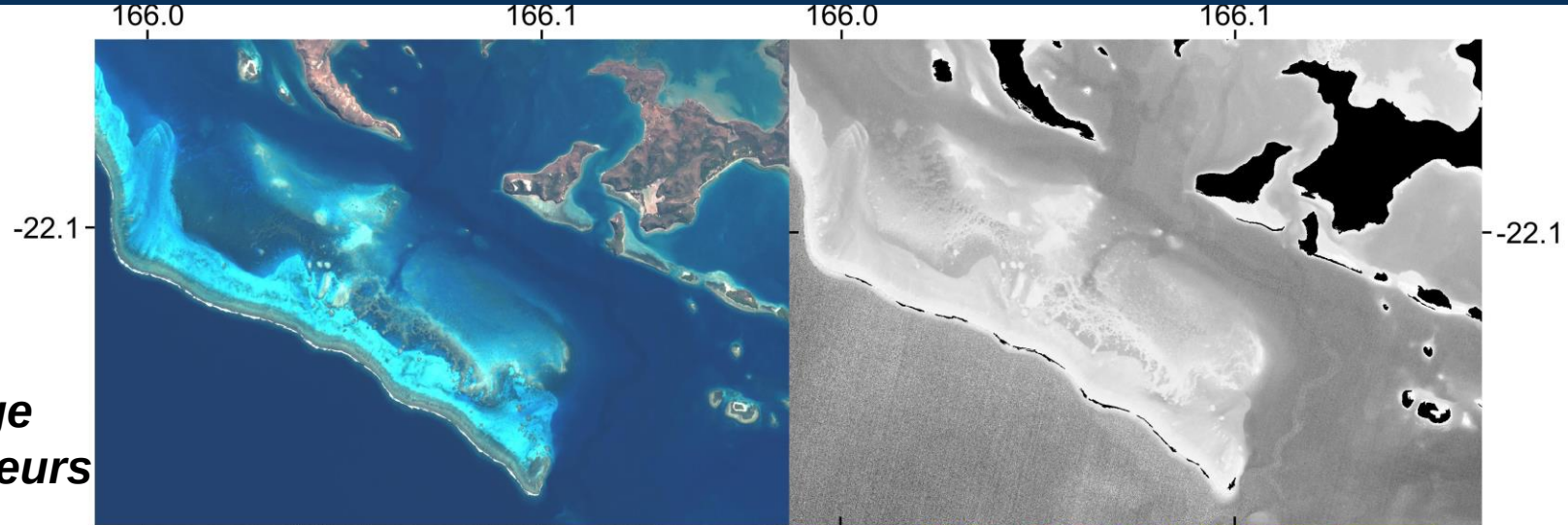
$$d_{ij} = X_i - \frac{k_i}{k_j} X_j$$



# Méthodes et résultats : Calculs des descripteurs

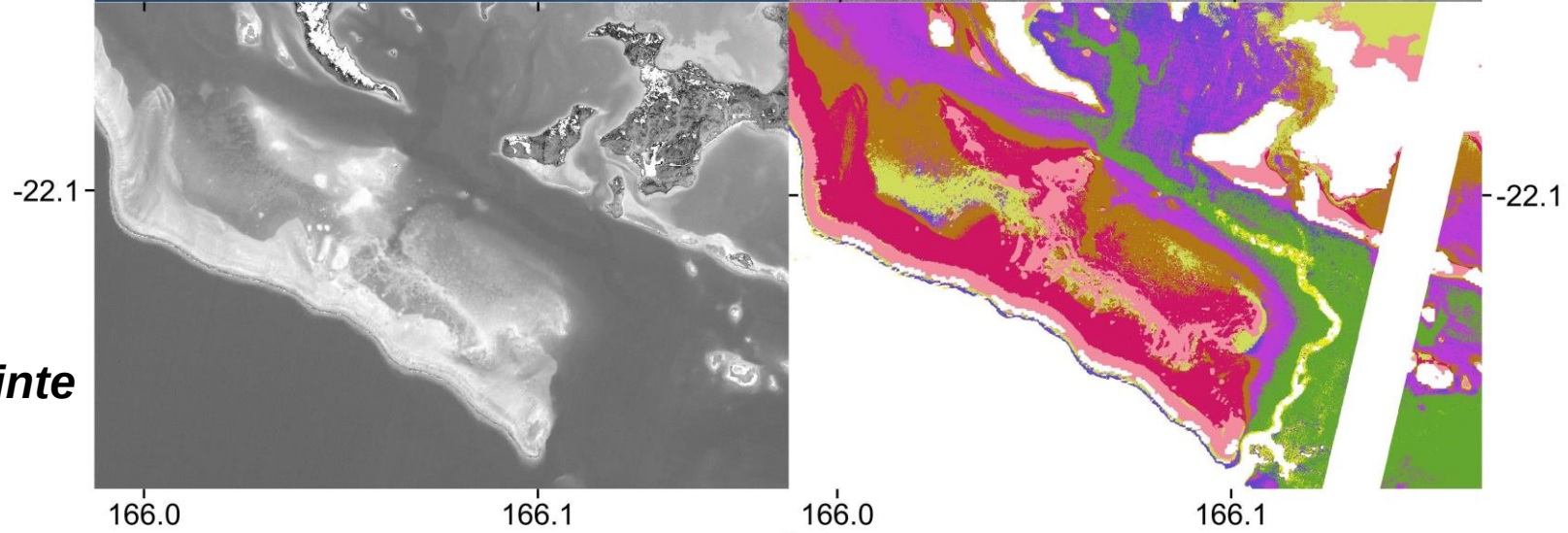


**Image  
couleurs**



**DII depuis les  
bandes verte et  
bleue**

**Teinte**



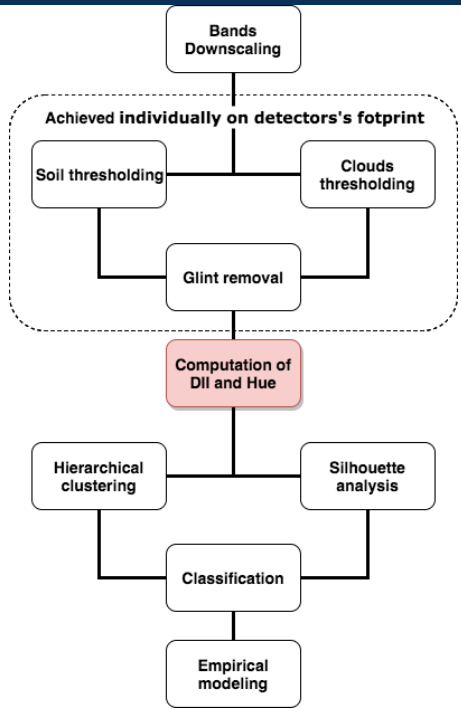
**Classification**



0 1 2 3 4 km



# Méthodes et résultats : Calculs des descripteurs

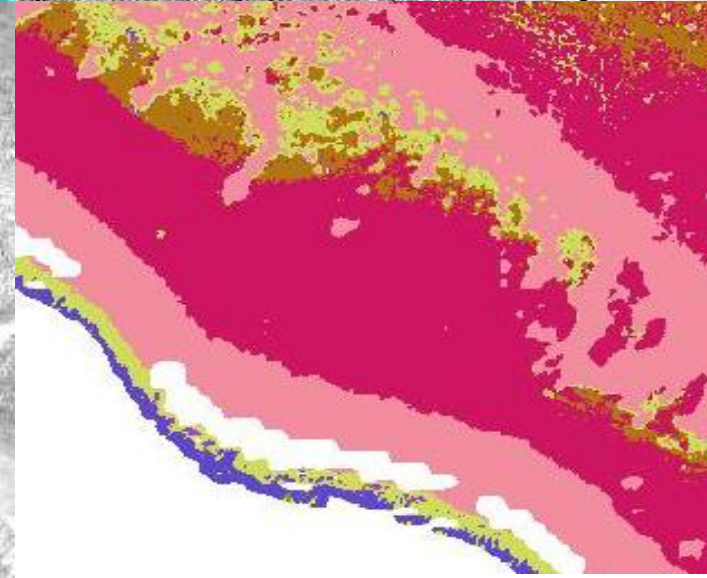
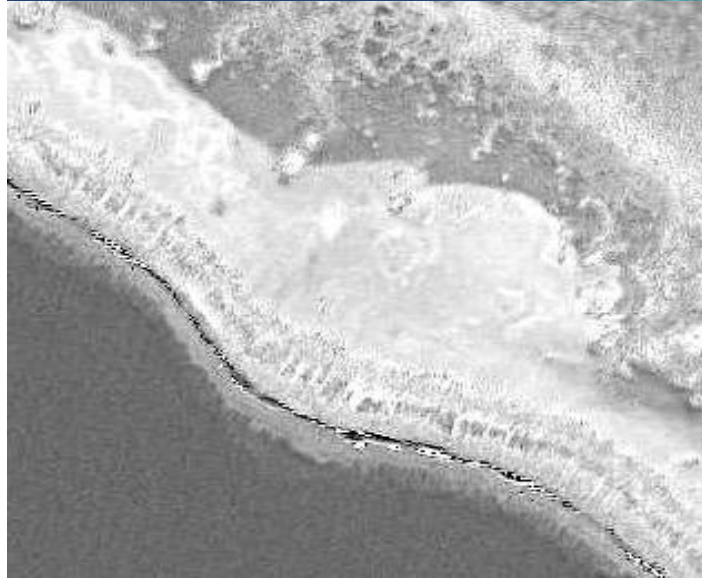


***Image  
couleurs***



***DII depuis les  
bandes verte et  
bleue***

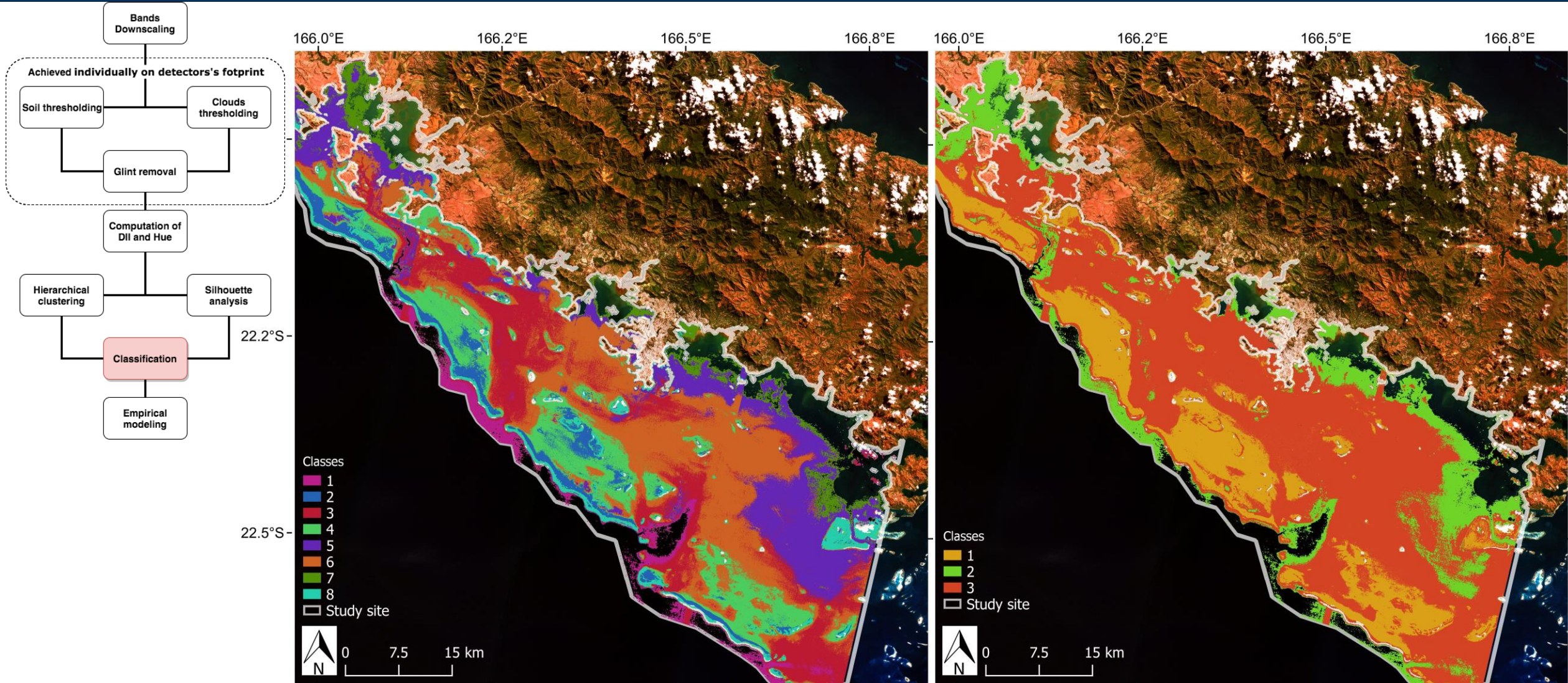
***Teinte***



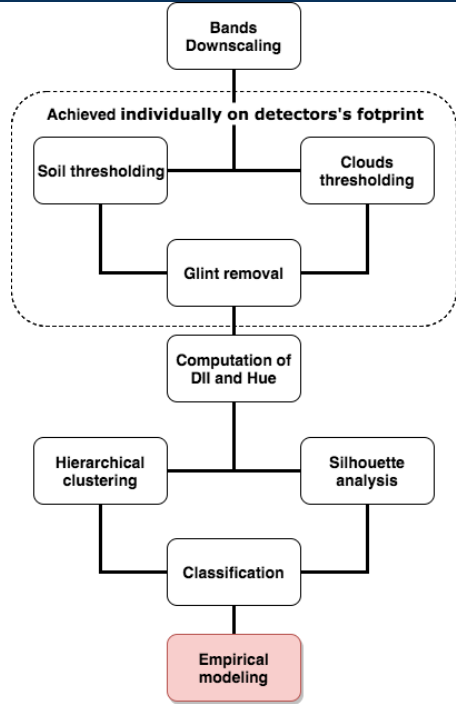
***Classification***



# Méthodes et résultats : Classification K-means



# Méthodes et résultats : Modèles empiriques



Assumes constant water optical properties

## ■ Lyzenga

- Propose de réduire l'erreur due à la variation de la réflectance des fonds par une transformation linéaire des bandes.
- Repose sur une soustraction du signal moyen en zone profonde pour éliminer la diffusion de volume.
- Littérature :
  - En pratique, la stabilité et l'intervalle de profondeur des résultats restent très influencés par les paramètres environnementaux.

$$Z = h_0 - \sum_{j=1}^N h_j \ln(L'_{\lambda_j} - L'_{s\lambda_j})$$

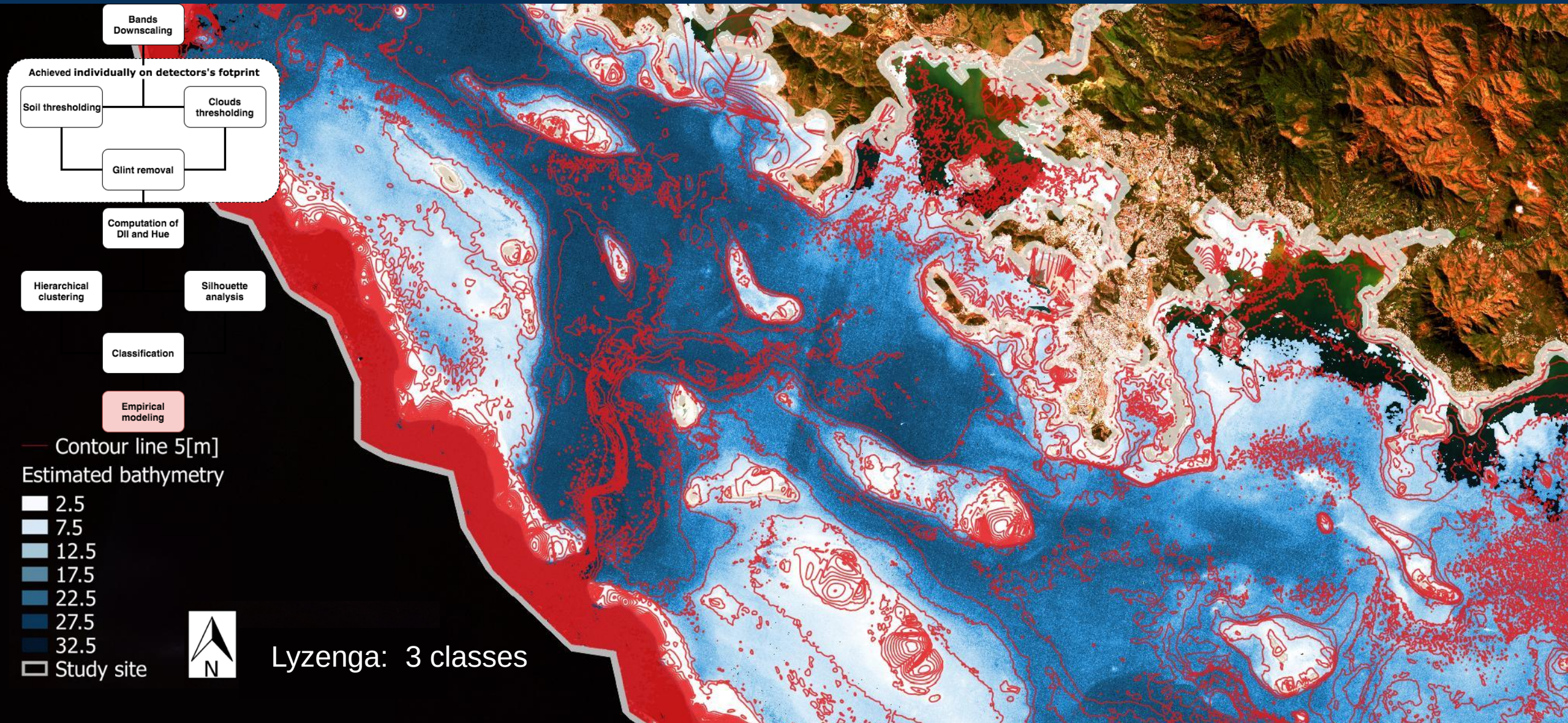
## ■ Stumpf

- Repose presque exclusivement sur la dépendance de l'atténuation à la longueur d'onde qui suppose qu'un ratios de logarithmes de signaux subit une variation bien plus élevée avec la profondeurs comparativement à une variation de la réflectance de fonds.
- Littérature :
  - Semble obtenir de plus stable résultats sur des type de fond hétérogènes
  - Introduit un bruit additionnel menant à de plus fortes exigences en terme de résolutions au sol.

$$Z = m_1 \frac{\ln(nL'(\lambda_i))}{\ln(nL'(\lambda_j))} - m_0$$

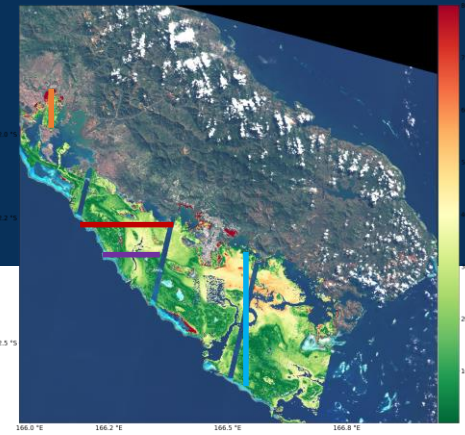


# Méthodes et résultats : Calibration des modèles

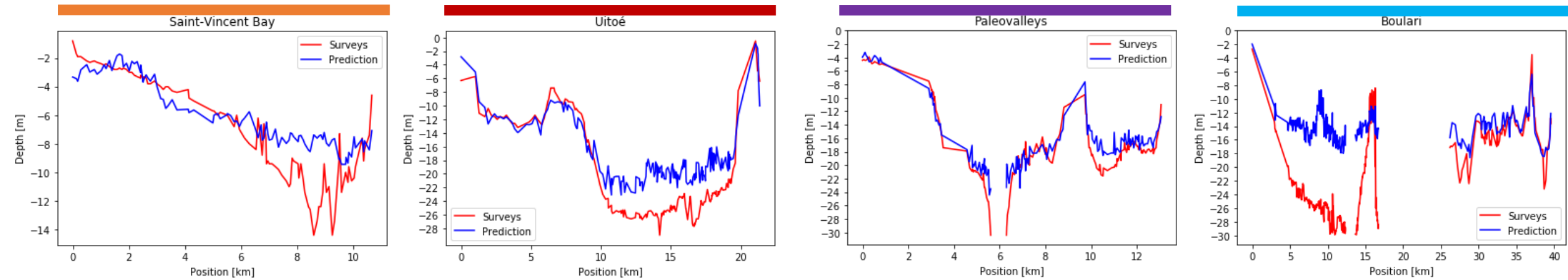




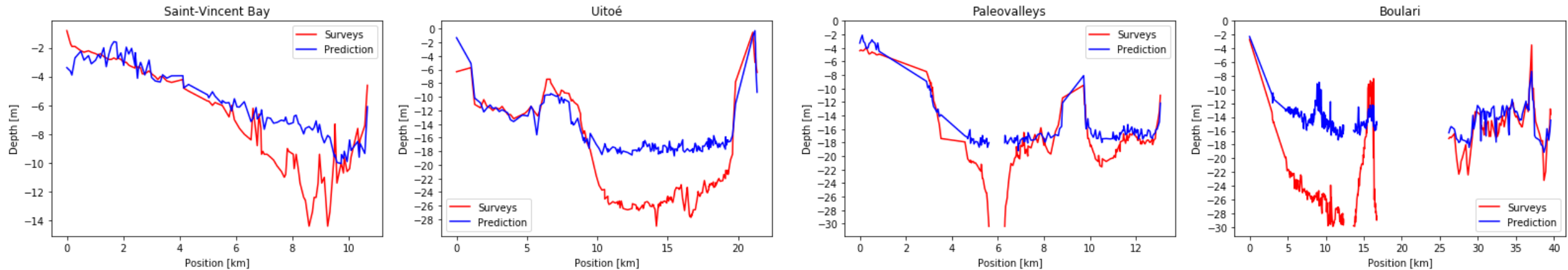
# Méthodes et résultats : Modèles empiriques



Lyzenga: 3 classes



Stumpf: 8 classes



# Discussion Prélude du 2 ème cas

## ■ Observations :

- Corrélation spatiale de l'erreur, notamment près des côtes
- Performances favorables jusqu'à ~ 25 mètres
- Une classification sommaire améliore la précision des prédictions.
- Une application large échelle (20~50 km) semble possible.
- Légère amélioration du modèle Lyzenga

## ■ Questionnement :

- Représentativité des valeurs de calibration :
  - Sur la résolution spatiale de 100 m<sup>2</sup>
  - Sur l'échelle temporelle
- L'indépendance des performances en fonction de la profondeur
- La stabilité de la classification

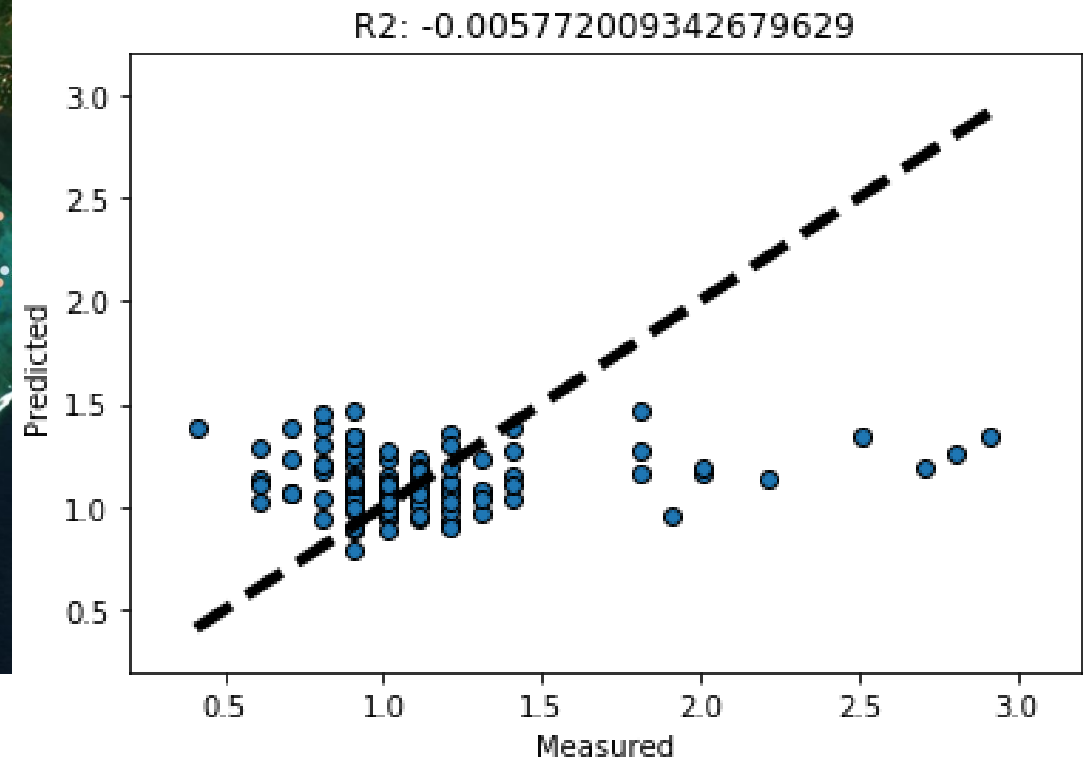
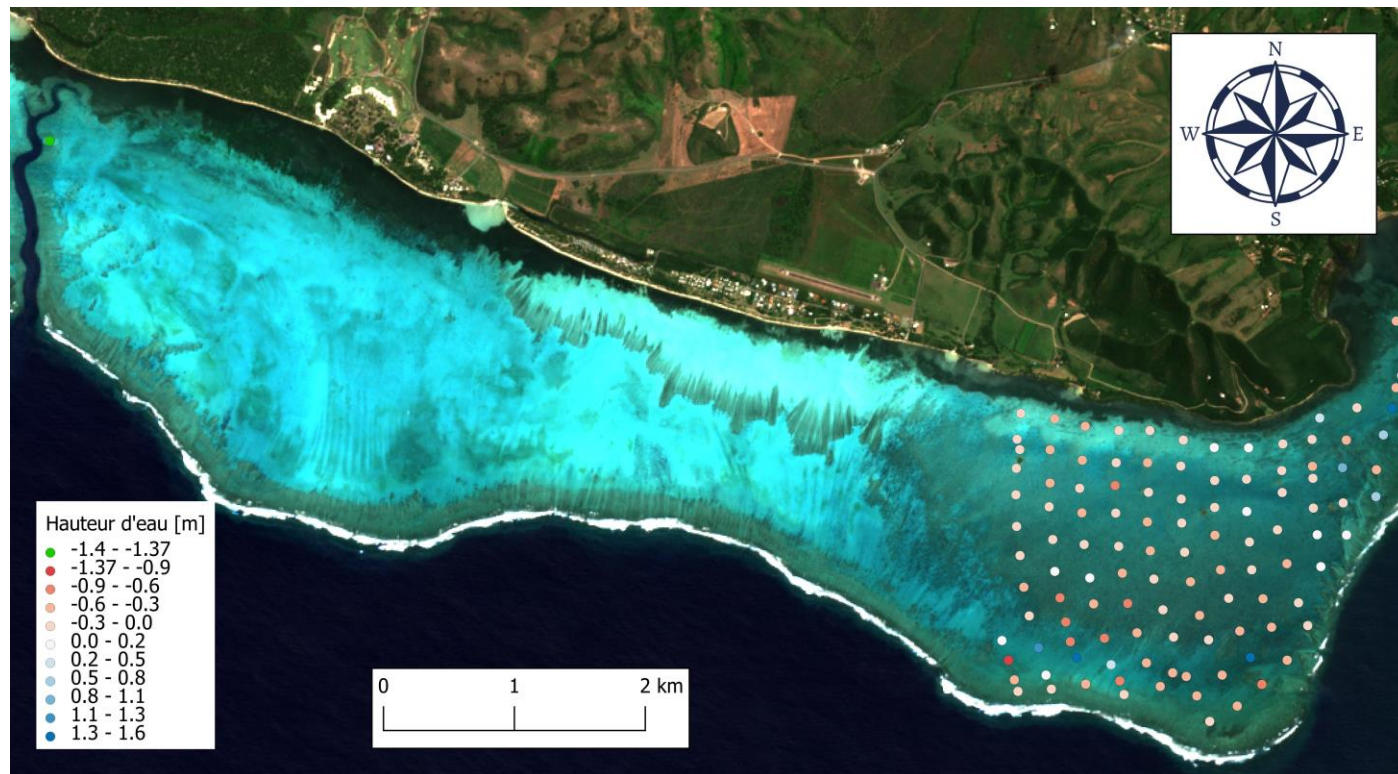
## ■ 2 ème Cas: Poe

- Un site plus restreint et mieux contrôlé:
  - Gamme de profondeurs optimales
- Nécessité d'une prédiction plus fine



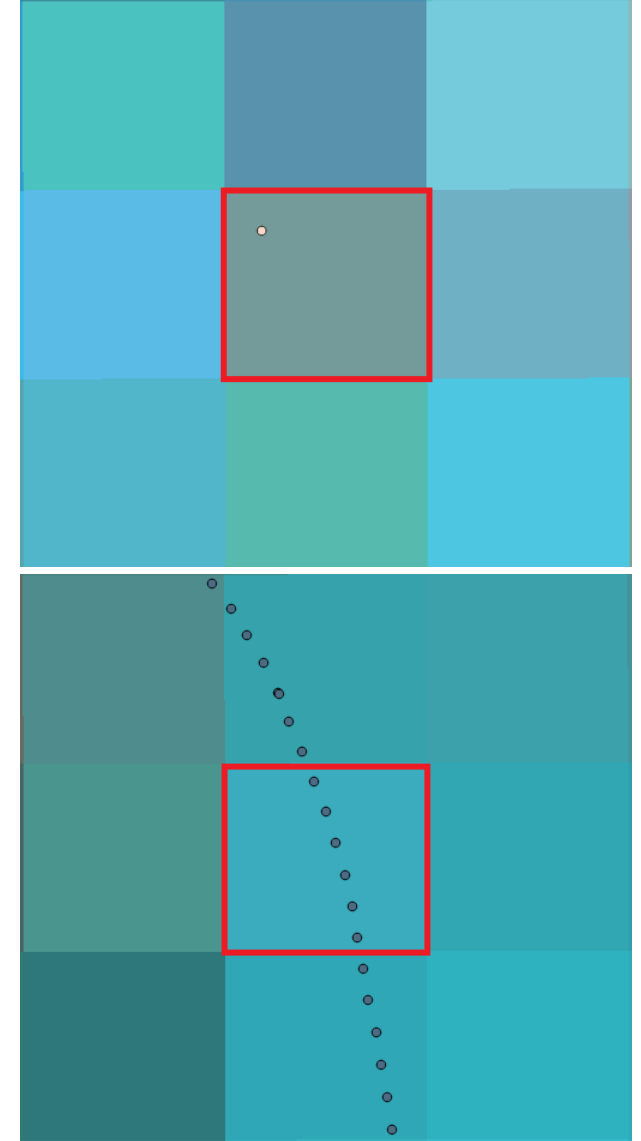
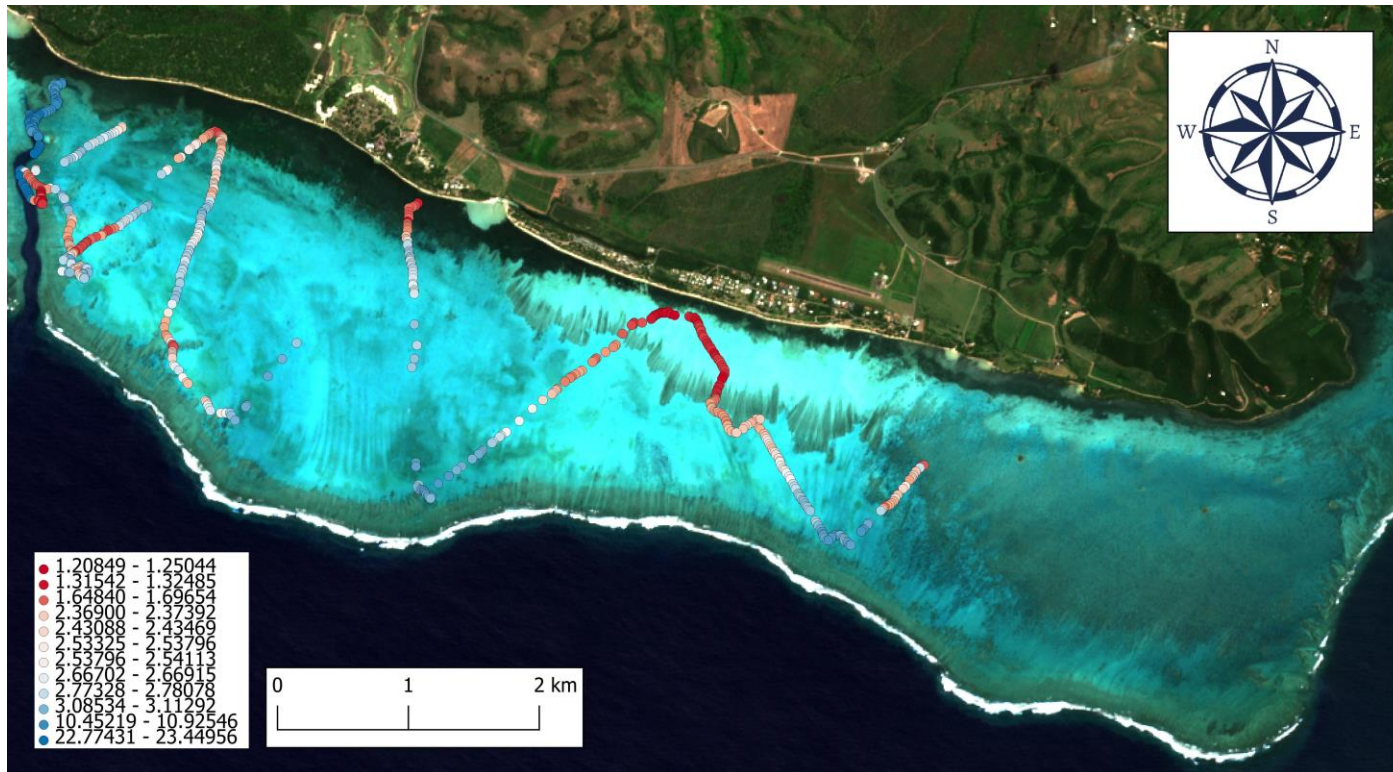
## 2 ème cas : Poe

### Sondage du SHOM dans le lagon



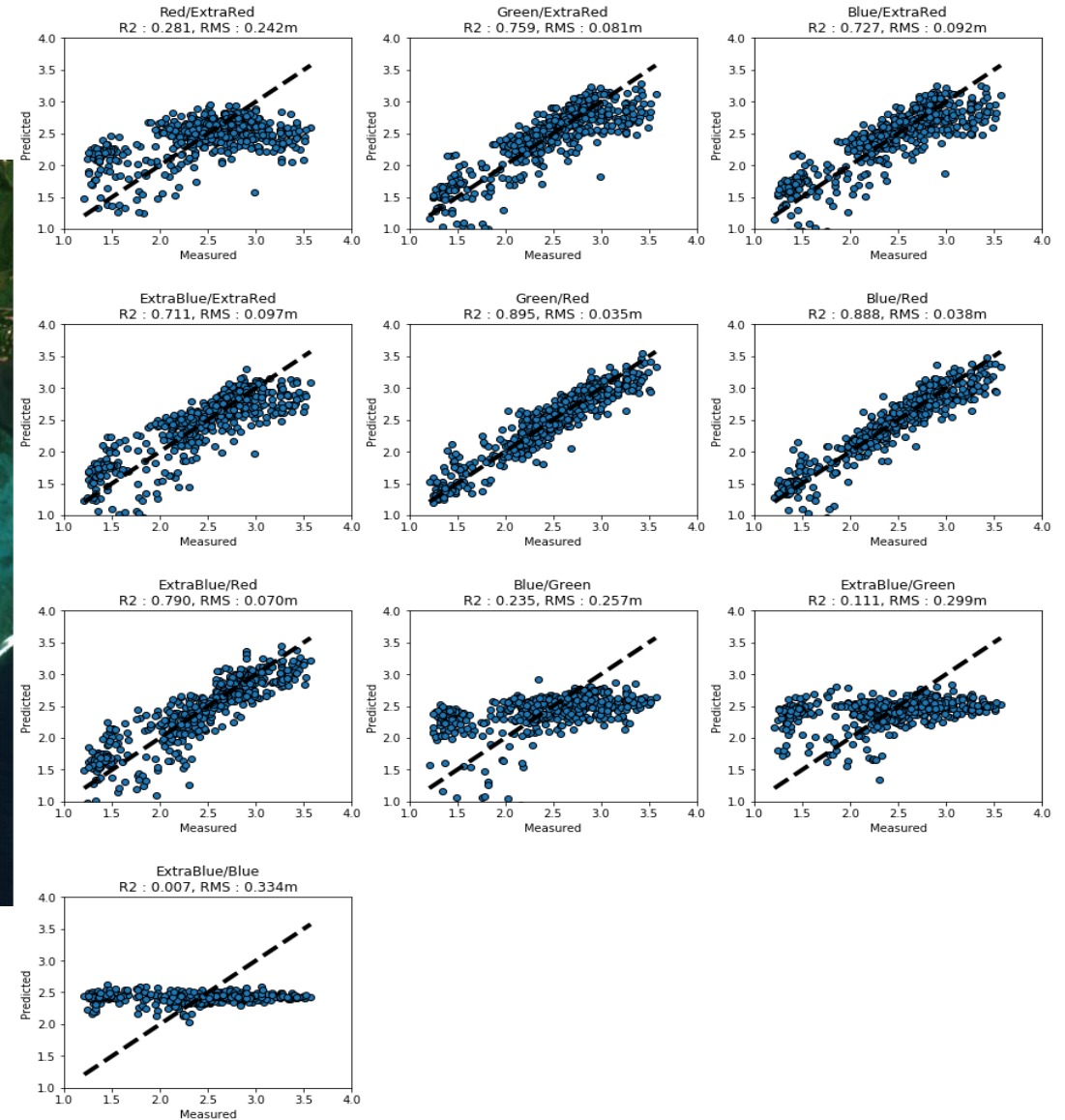
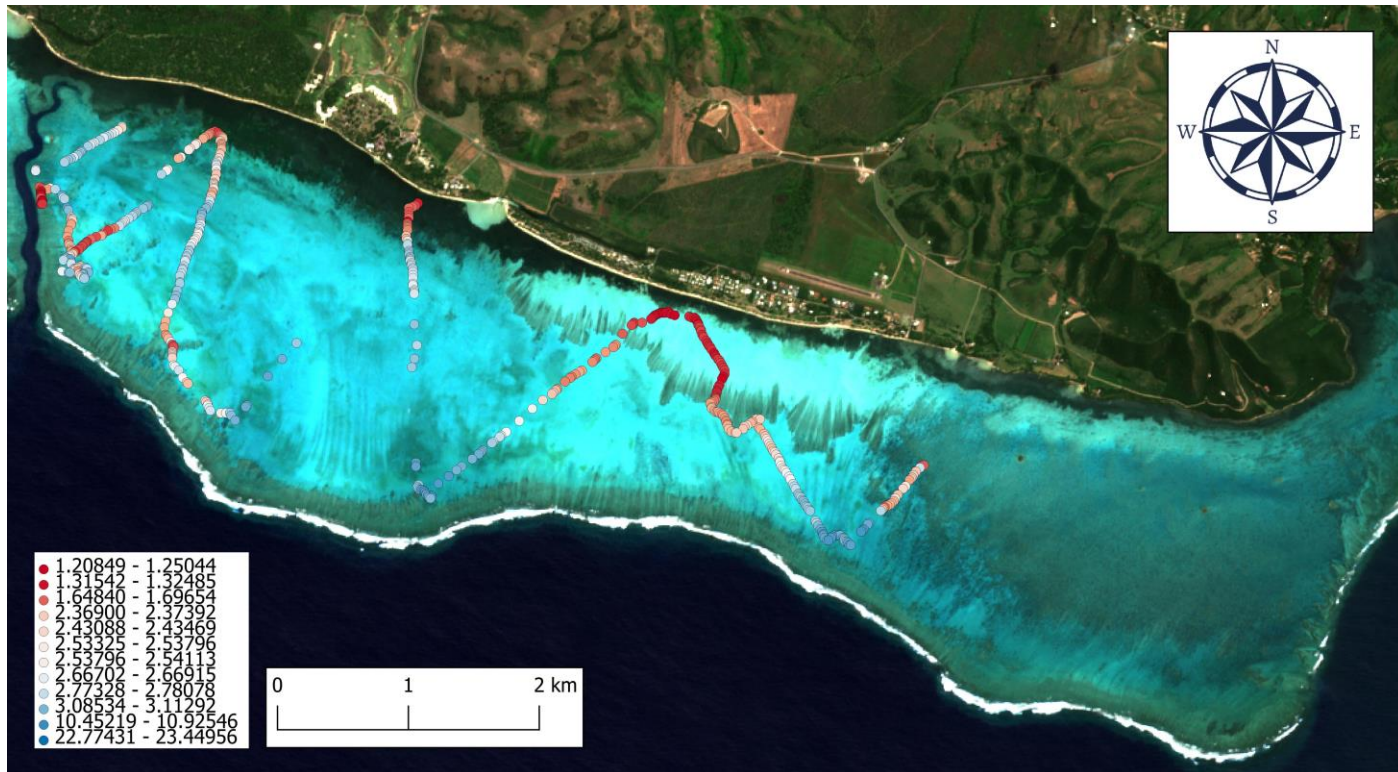
# 2 ème cas : Poe

## Mission terrain

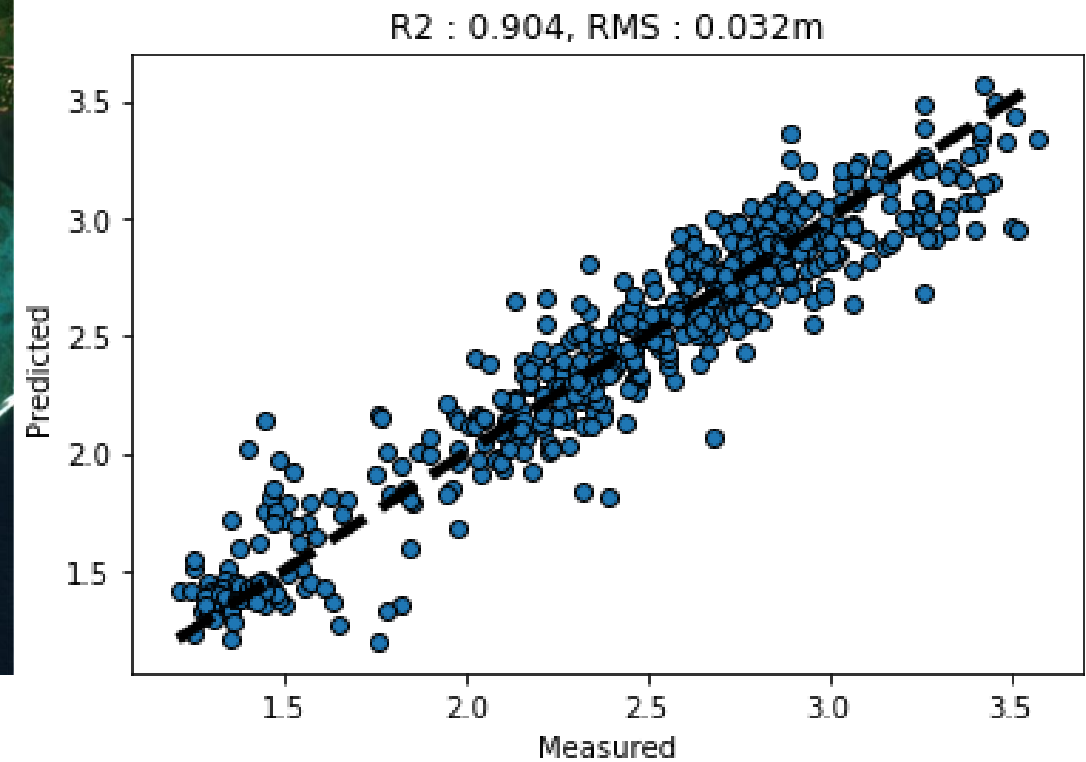
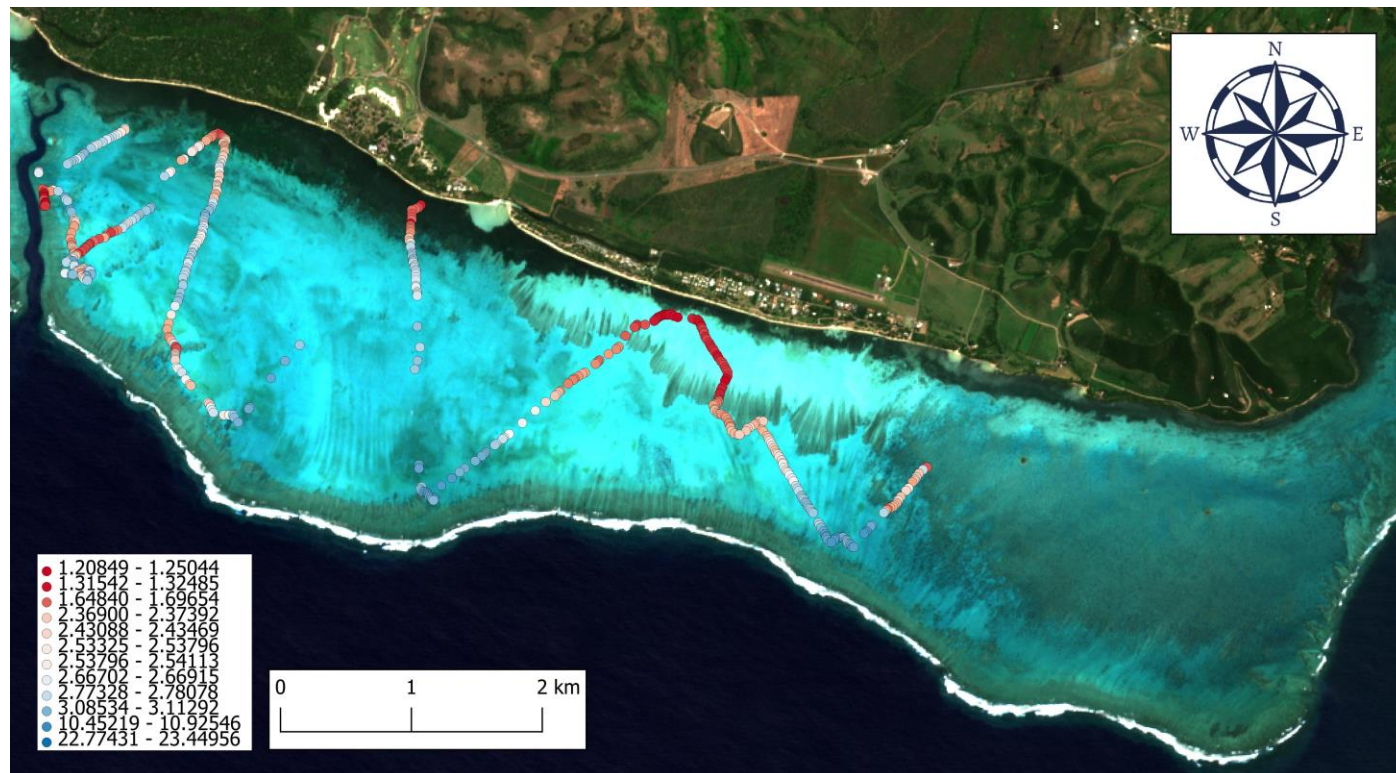




# 2 ème cas : Poe

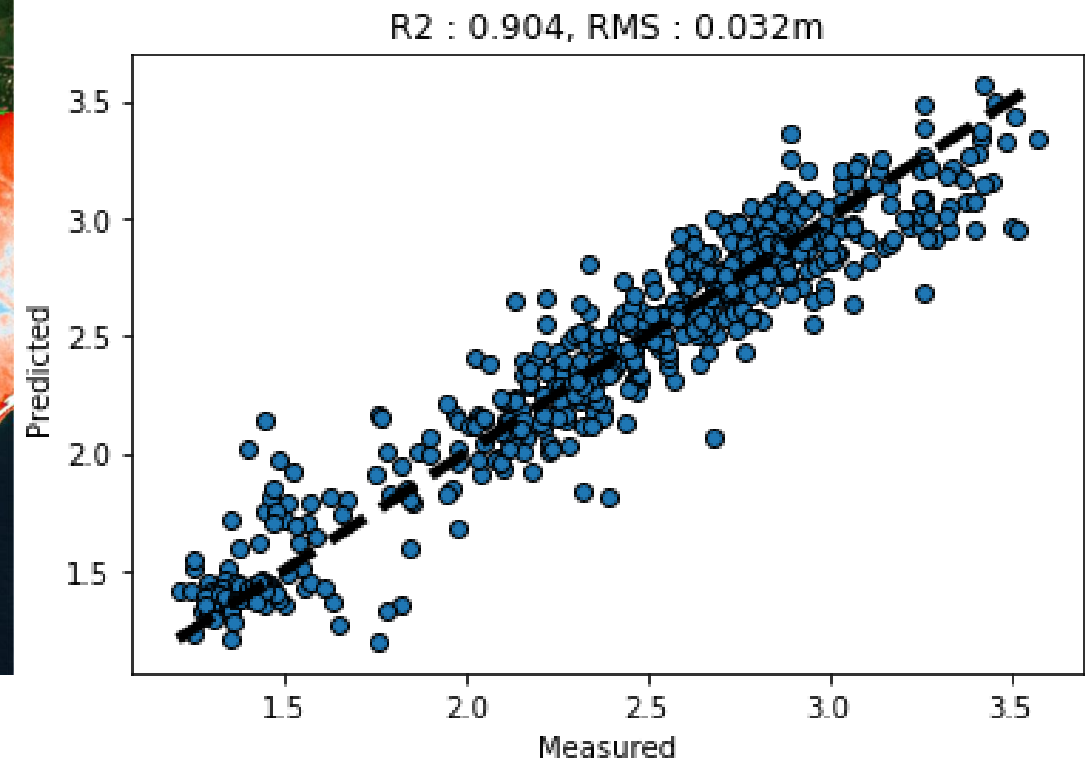
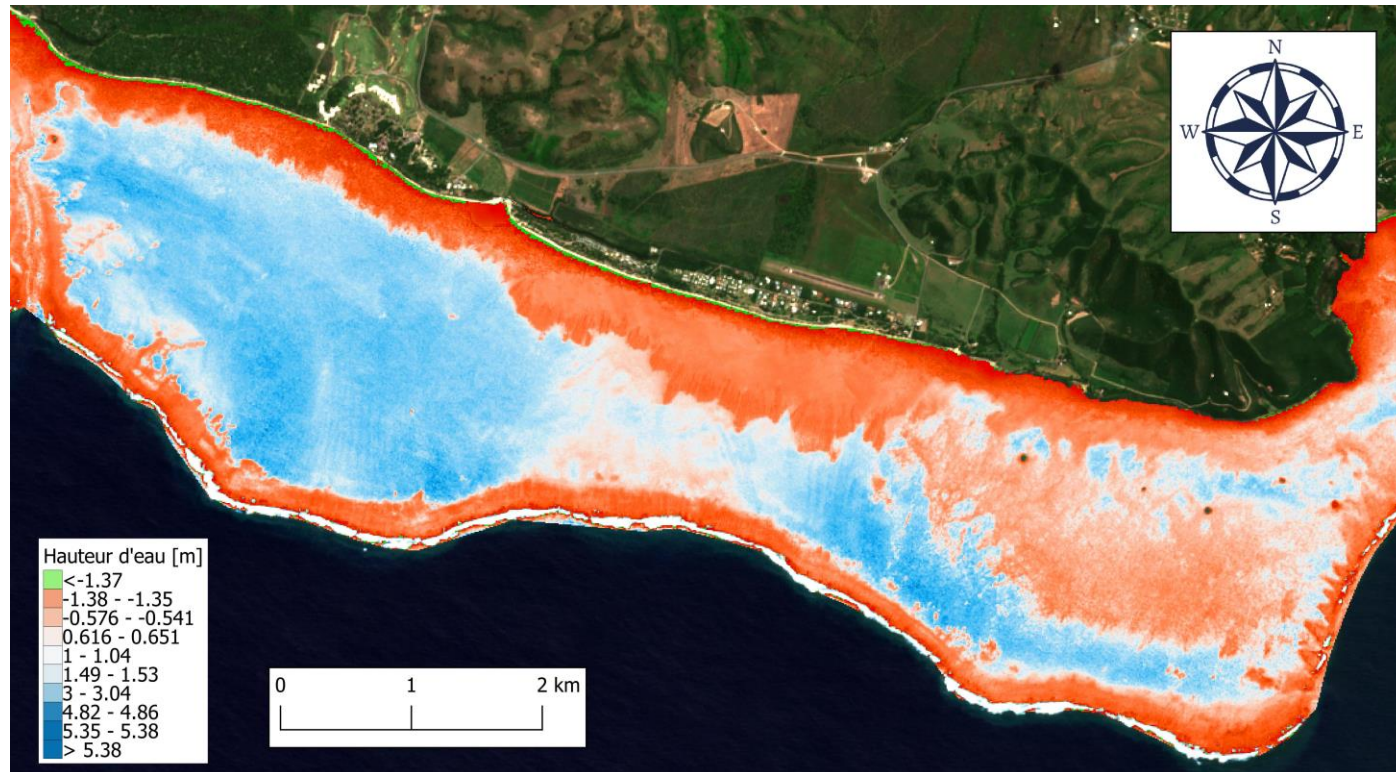


## 2 ème cas : Poe

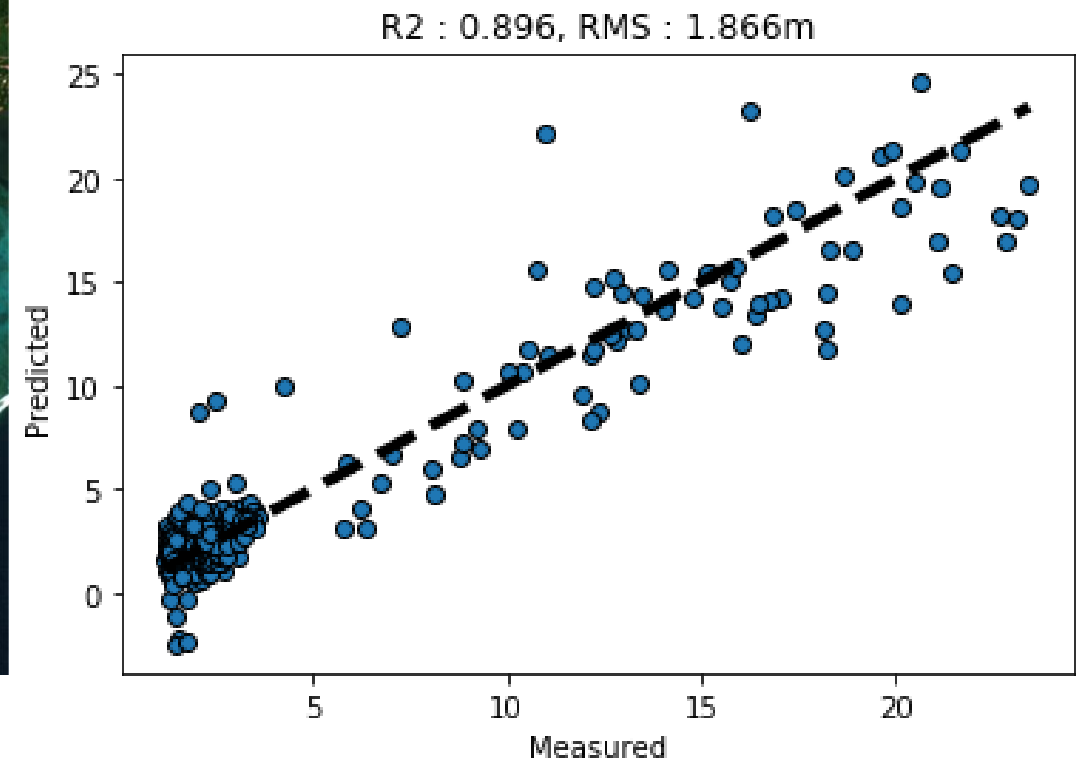
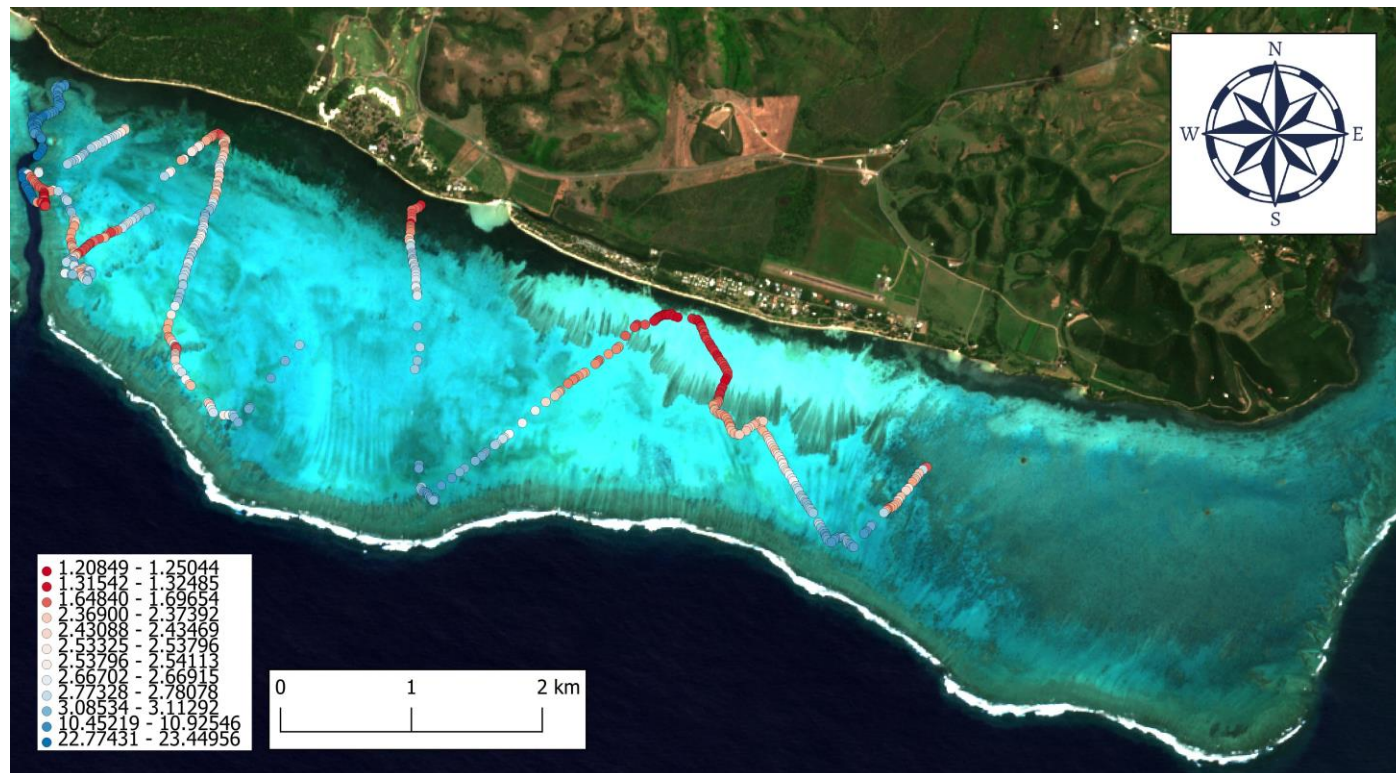




## 2 ème cas : Poe

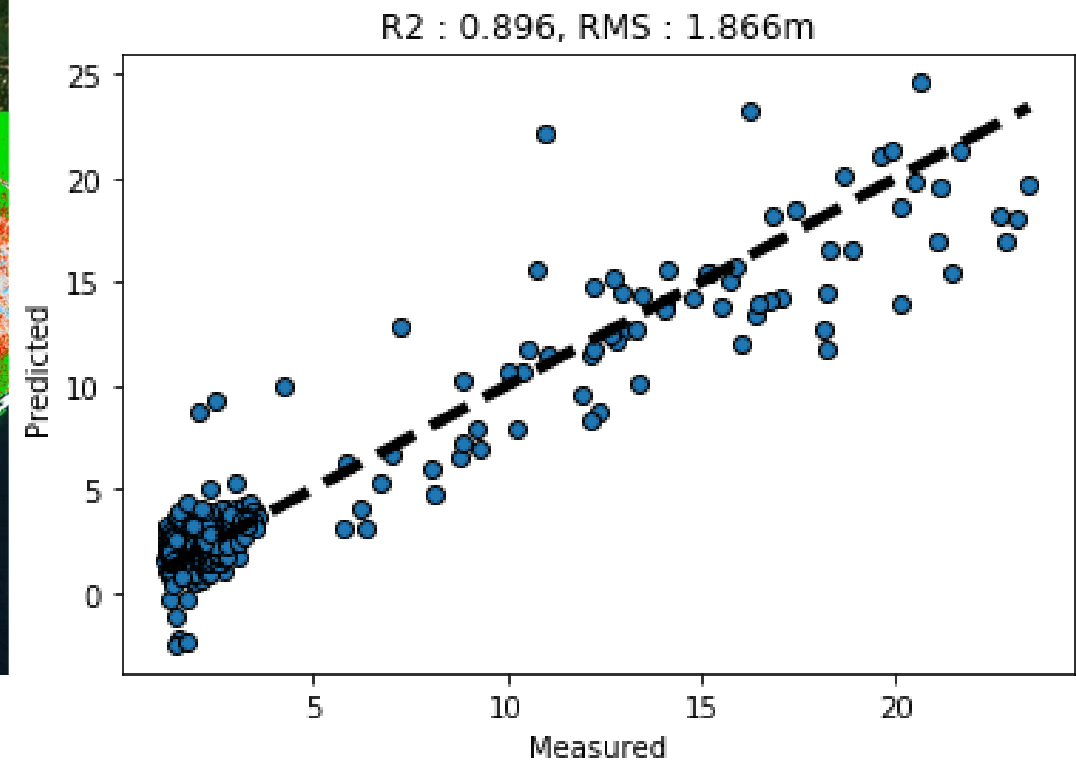
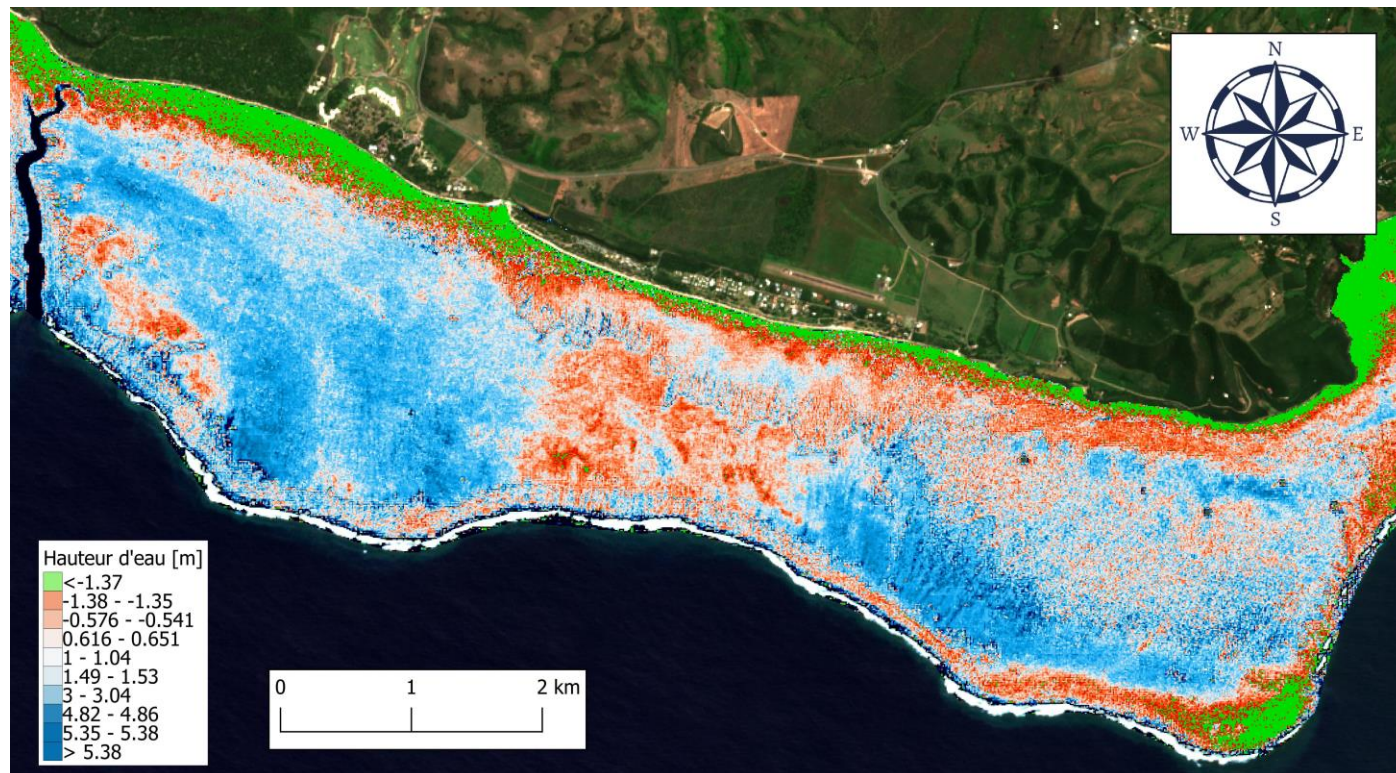


## 2 ème cas : Poe

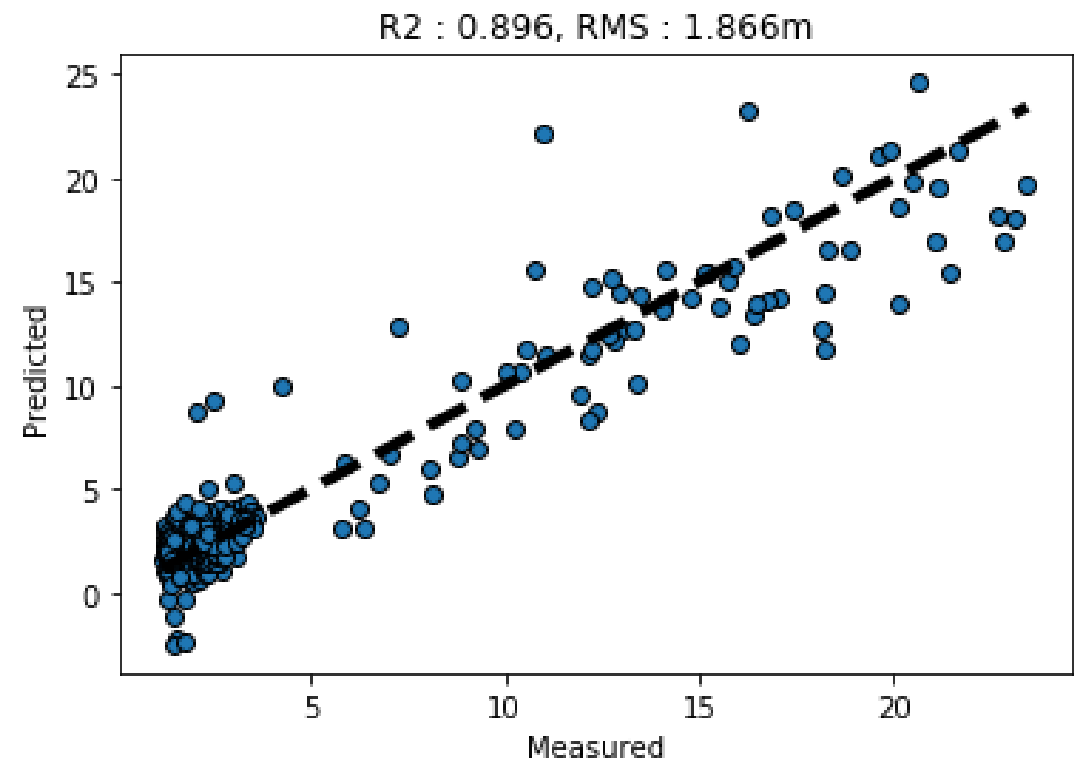
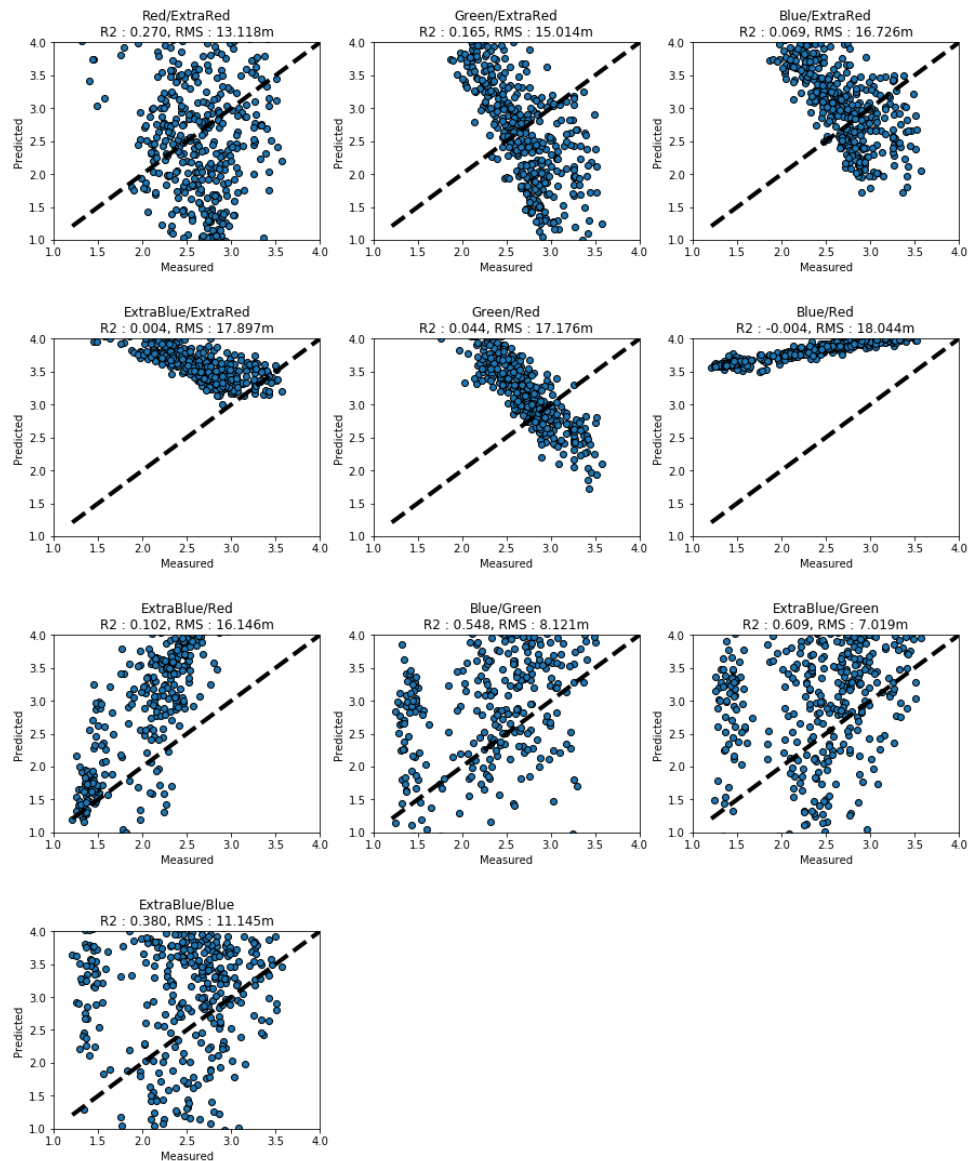




## 2 ème cas : Poe

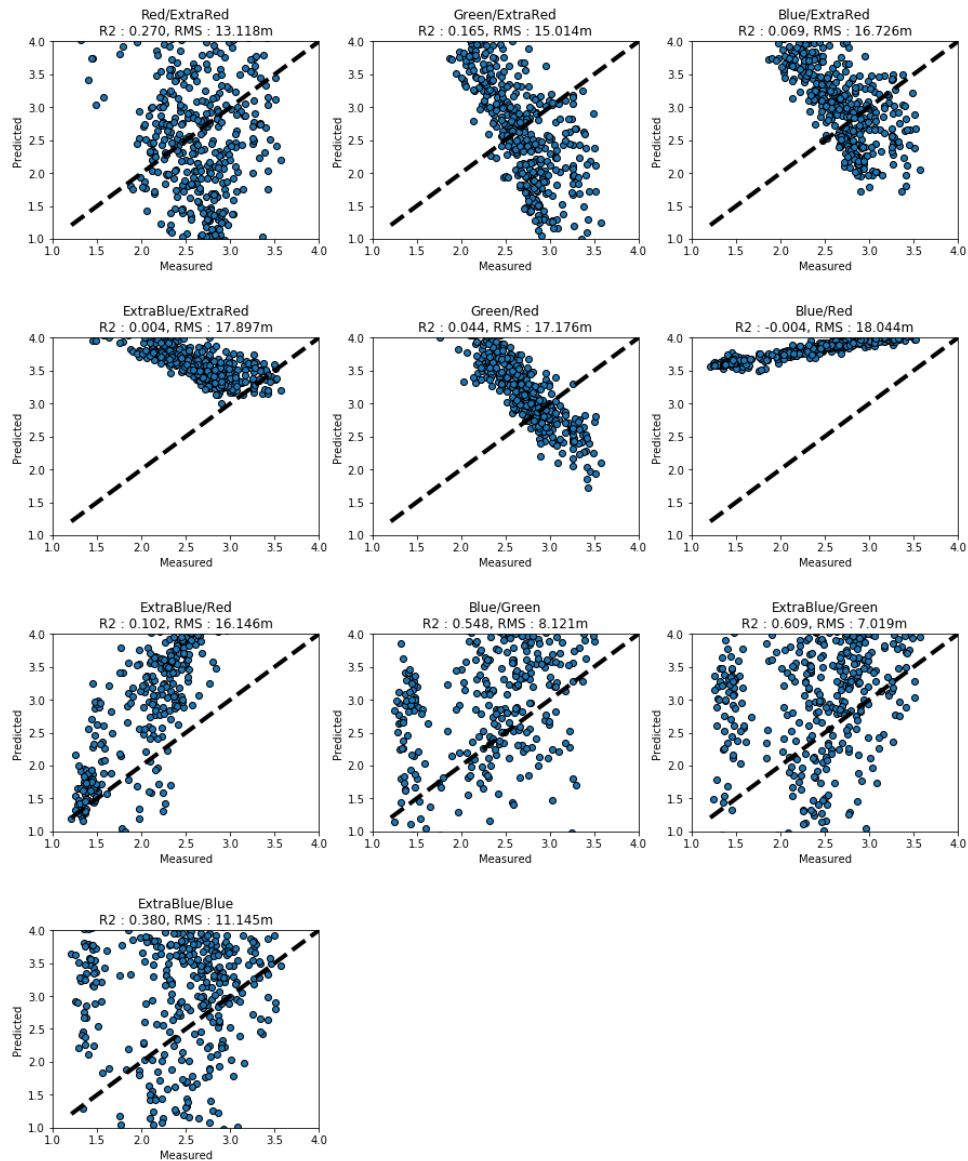


# 2 ème cas : Poe

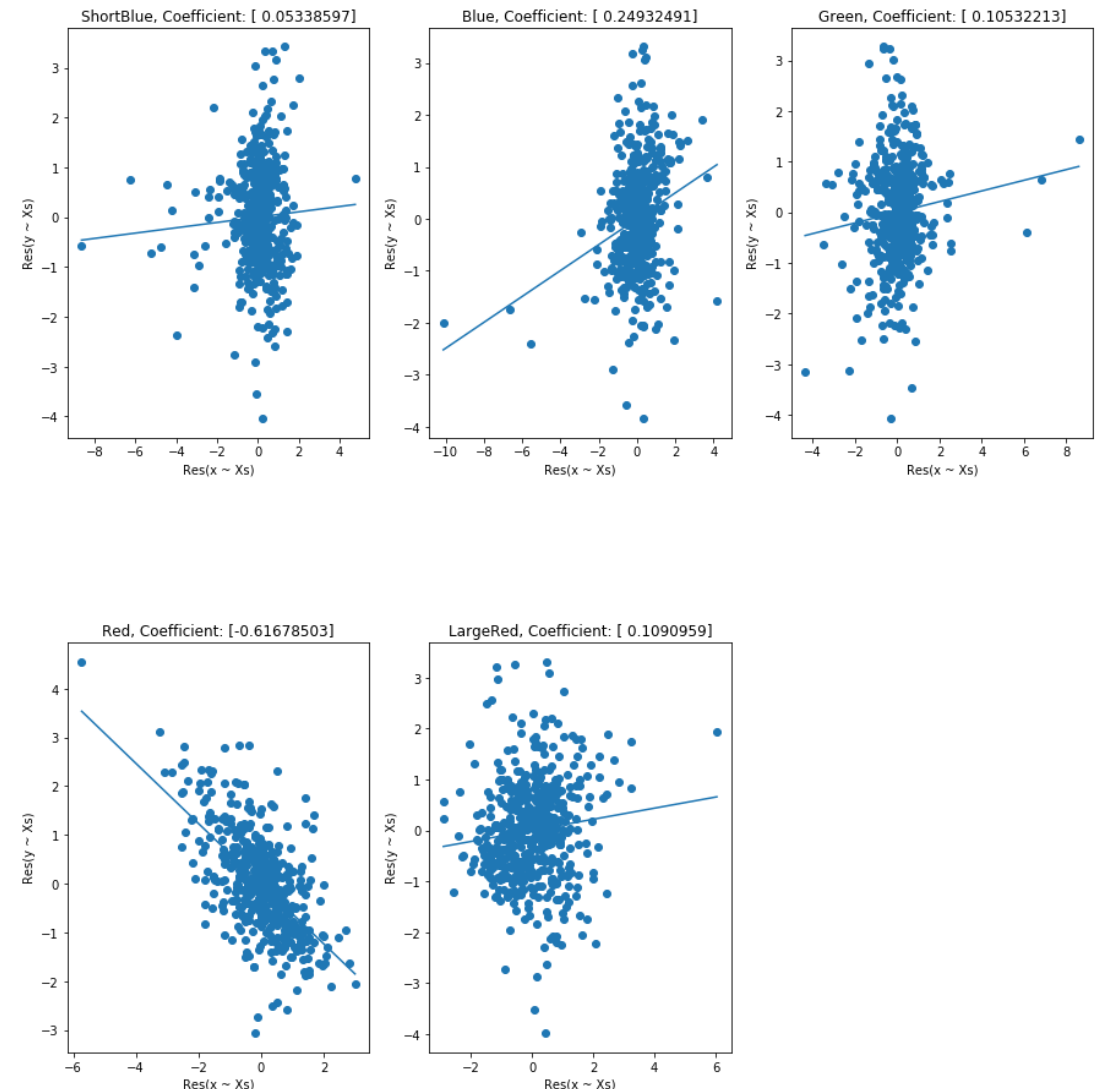




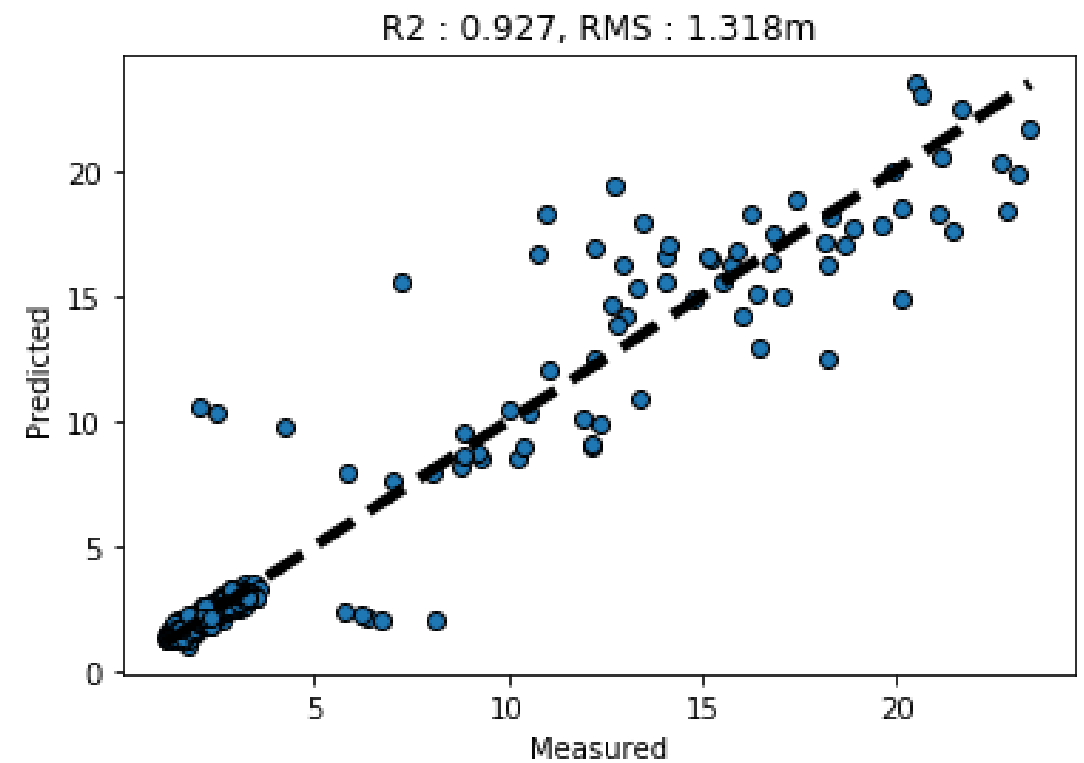
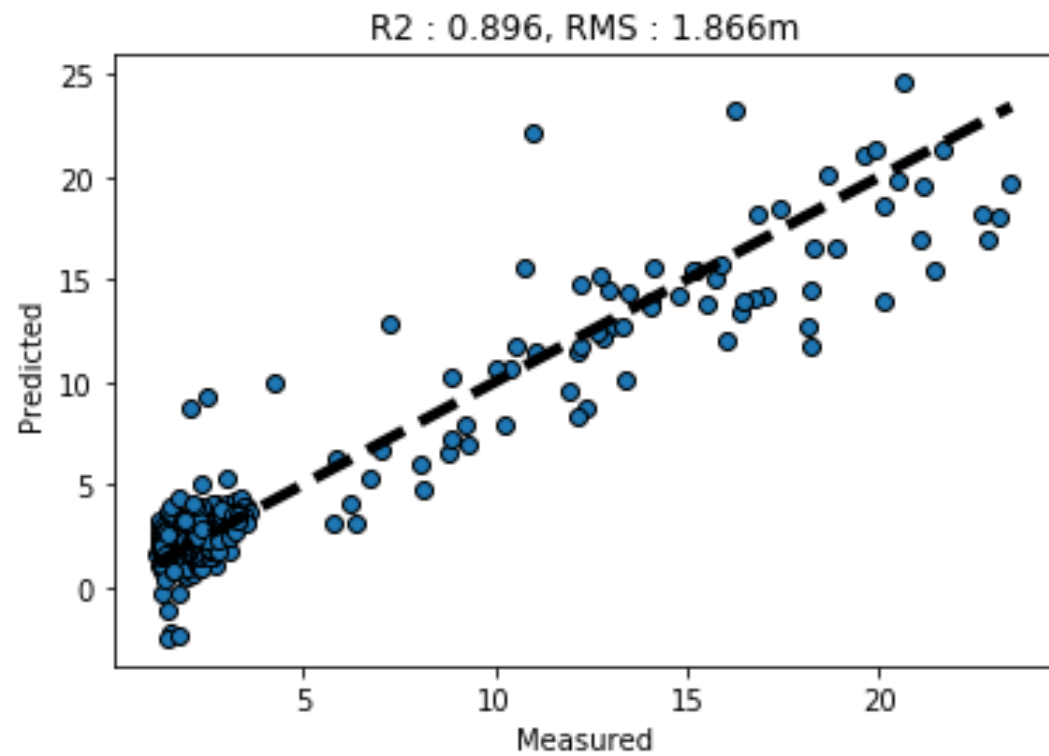
# 2 ème cas : Poe



Residual regression plots

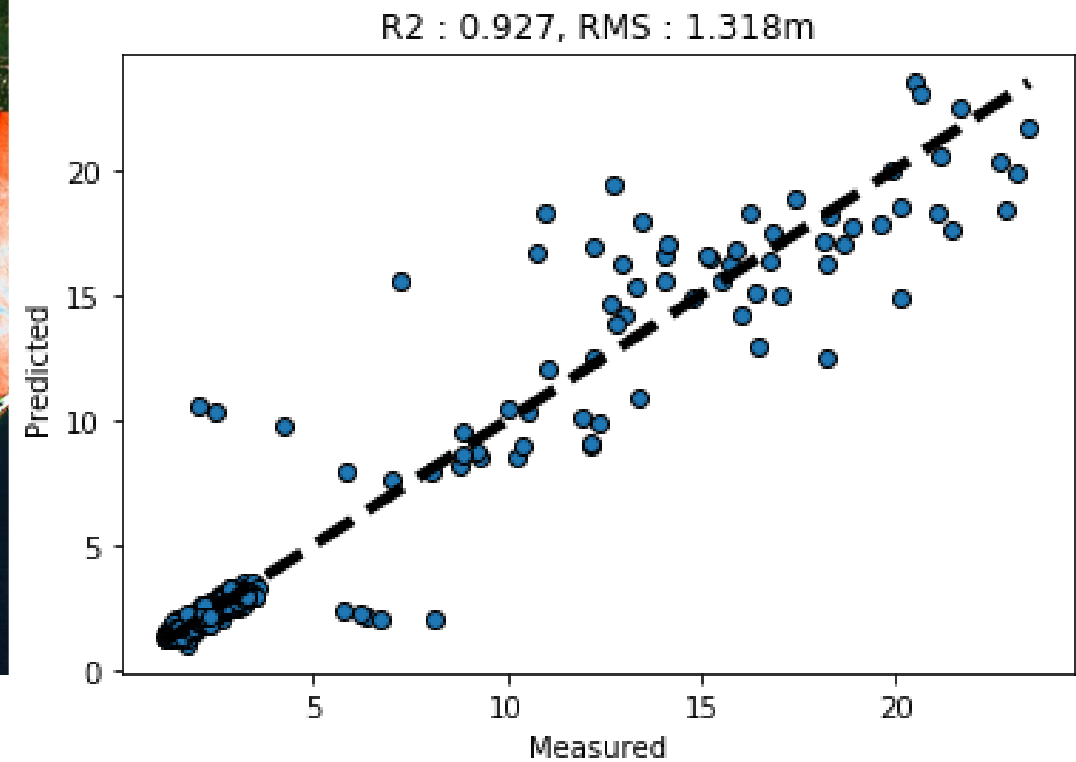
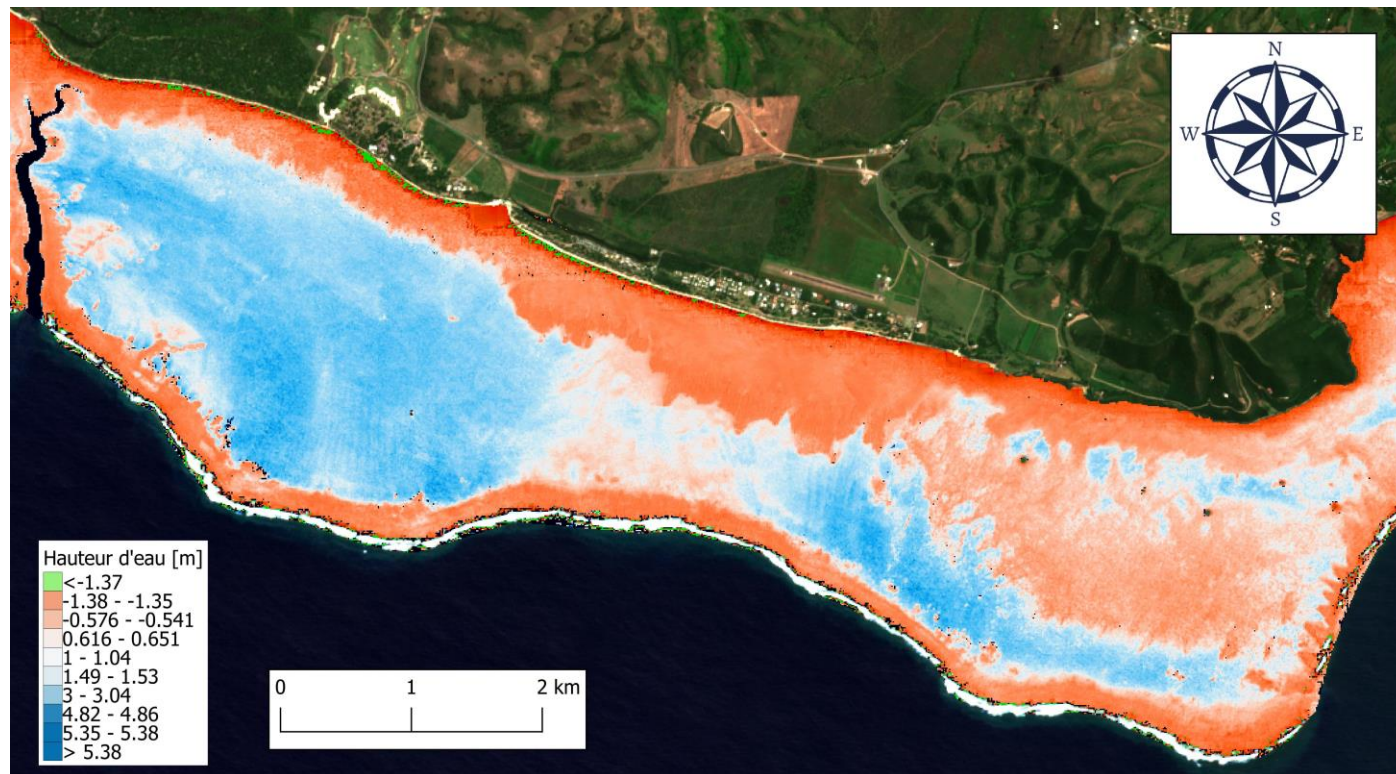


## 2 ème cas : Poe





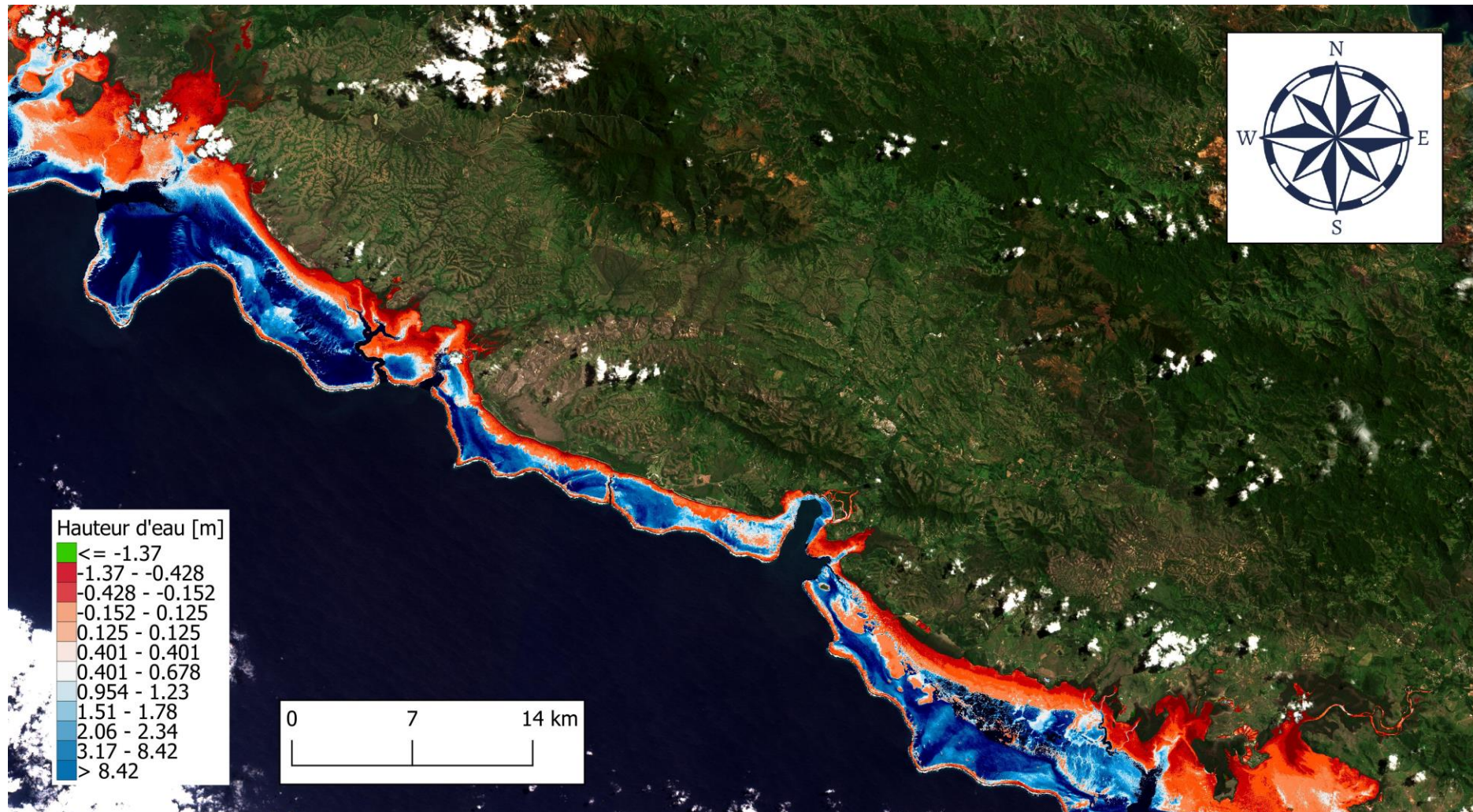
## 2 ème cas : Poe





## 2 ème cas : Poe

Extension sur l’empreinte de l’image





# Conclusion

**Merci pour votre attention**

**Ce travail à été réalisé avec la collaboration de :**

**IFERMER - LEAD NC, EPFL, SHOM**

