



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

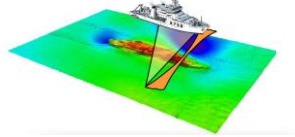


Une chaîne de traitement pour la production opérationnelle  
de bathymétrie qualifiée à grande échelle  
(Bathymétrie dérivée par satellite)

---

# Levés bathymétriques

- Bathymétrie est primordiale à un grand nombre d'applications (techniques acoustiques sur navires ou vedettes hydrographiques)



## Cas de la bande littorale :

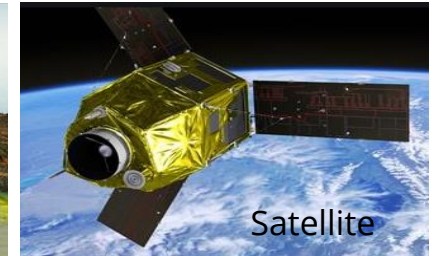
- Moyens conventionnels pour les levés bathymétriques par petits fonds : vedettes hydrographiques équipées de sondeurs multifaisceaux
- Zones de **petits fonds**
  - Difficiles voire impossible d'accès
  - Zones éloignées
  - Nombreux dangers pour la navigation de surface (roches, remontées de fond, vagues)
  - Très longues à lever



Levés traditionnels



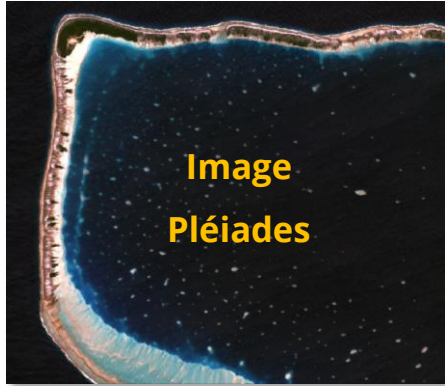
Levés lidar



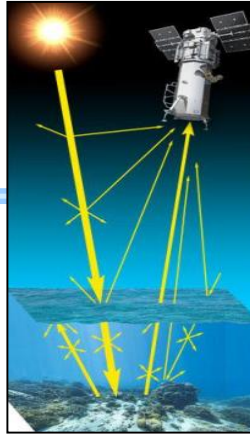
Satellite

*Satellite derived bathymetry (SDB)*

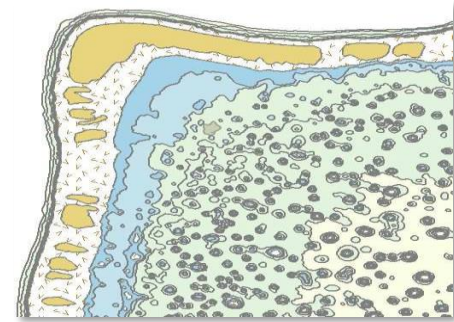
# Historique en télédétection : cas de la SDB



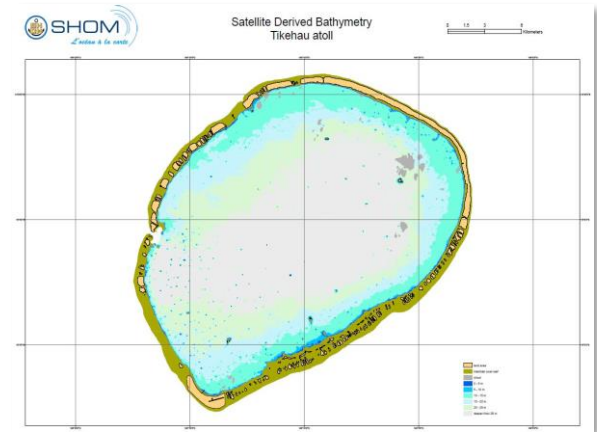
Imagerie multispectrale



Méthode empirique



Base de données « traitement d'images » (objets cartographiques)



Spatiocarte: topographie littorale et carte marine

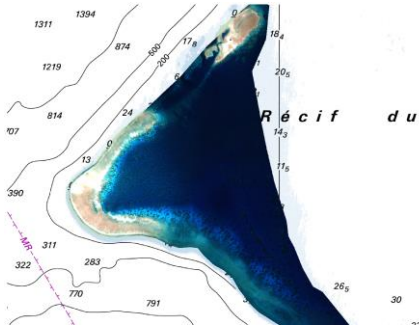
# Mise à jour de la chaîne de traitement

## → Cahier des charges de la chaîne de traitement BATHYSAT :

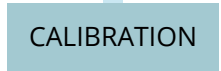
- la **plus performante** et la plus automatisée possible,
- **ne nécessitant pas obligatoirement de disposer de données terrain** issues des levés bathymétriques traditionnels
- proposant **la meilleure maîtrise possible des incertitudes** bathymétriques associées aux produits délivrés



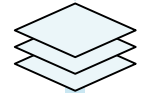
Orthorectified satellite images  
(multispectral sensor)



**IMAGES BRUTES**  
Sentinel 2A & 2B  
Pléiades 1A & 1B  
SPOT 6  
Worldview 2 & 3  
Pléiades Neo



**CALIBRATION**



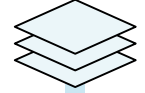
**LTOA**  
geotiff  
Luminance  
Top of  
Atmosphere

mesure radiométrique au-dessus de l'atmosphère



**CORRECTION DE L'ATMOSPHERE**

*a2cor*



**RBOA**  
geotiff  
Réflectance  
Bottom of  
Atmosphere

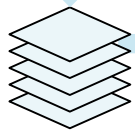
Réflectance sous la surface de l'eau



**MASQUES**

**MASQUES**  
shape

- CLOUD
- DEEP\_WATER
- NON\_WATER
- SEAFOAM
- TURBIDITY
- WATER

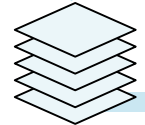


**INVERSION DE LA COLONNE D'EAU**

*SWIM*

Simple  
Spatiale  
Temporelle  
Spatiotemporelle

Modèle semi-analytique (Lee et al. 1999)

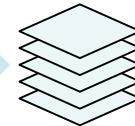


**PARAMÈTRES ESTIMÉS**  
geotiff  
z  
Rfond  
Paramètres de la colonne d'eau

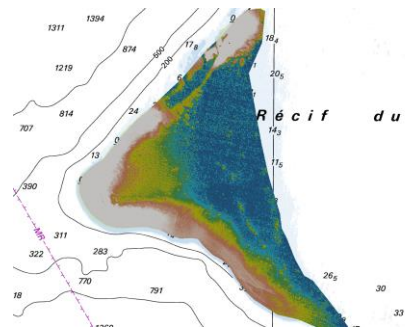


**POST TRAITEMENTS**

Filtrage  
Réduction de la marée



**PRODUITS**  
SDB  
geotiff  
MNT  
Rfond  
Paramètres de la colonne d'eau  
Incertitudes IC95



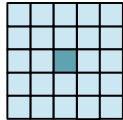
# Apport des contraintes spatiales et temporelles

→ Ajouter de l'information à l'optimiseur afin de rendre l'inversion plus robuste



**Sans contrainte :**

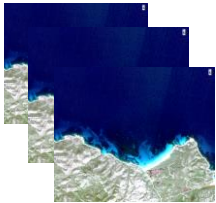
Estimation du Z d'un pixel à partir d'une valeur de réflectance unique



**Contrainte spatiale :**

Hypothèse de la **stabilité de la colonne d'eau** dans une zone donnée (n pixels)

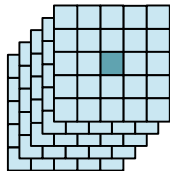
*Fixation des paramètres de la colonne d'eau dans le voisinage du pixel pour contraindre le problème d'optimisation*



**Contrainte temporelle :**

Hypothèse de la **stabilité du Z et de la réflectance du fond** sur une période donnée

*Fixation des paramètres de Z et d'abondance du fond pour contraindre le problème d'optimisation en utilisant une série multi temporelle d'images*



**Contraintes spatio temporelles :**

Fusion des contraintes spatiales et temporelles pour l'inversion spatio-temporelle

# Architecture



in-house solution

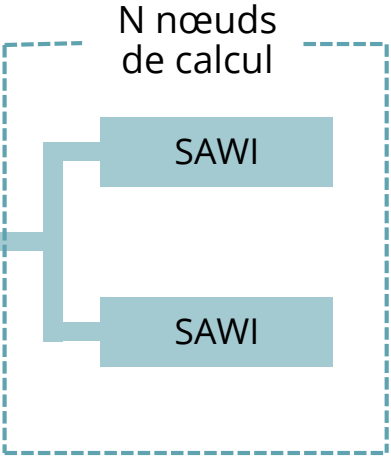
Plugin QGIS  
BATHYSAT

or

command line option  
for batch processing

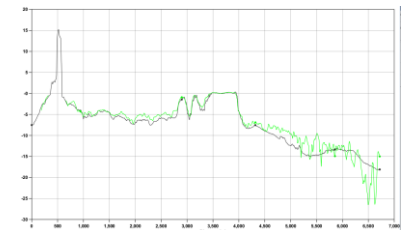
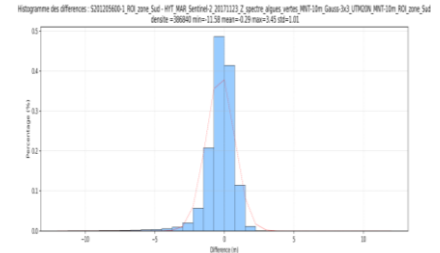
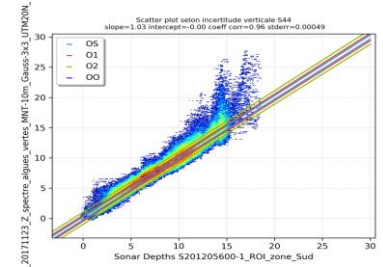
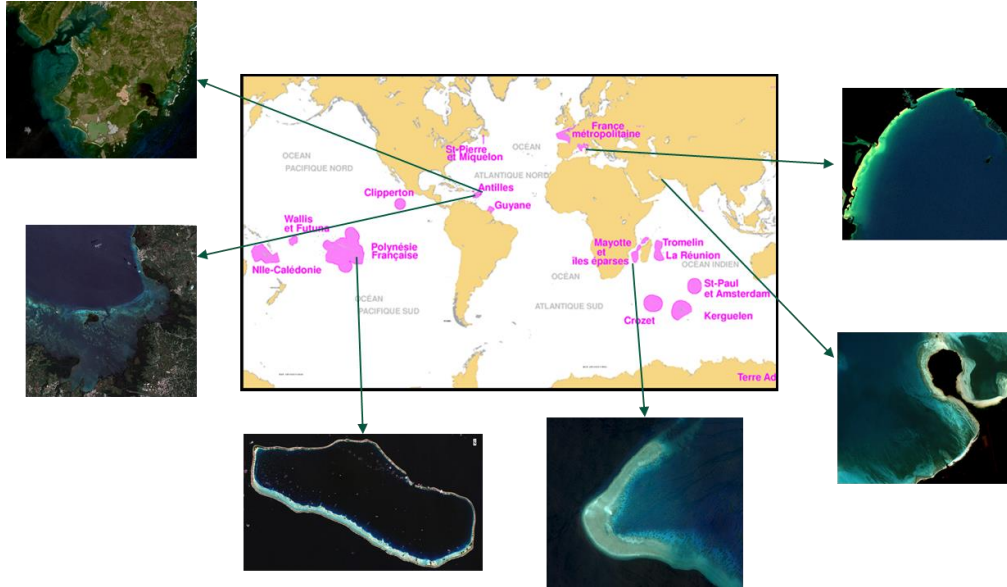
Application  
BATHYSAT-cli

SERVER



Database

# Performances globales



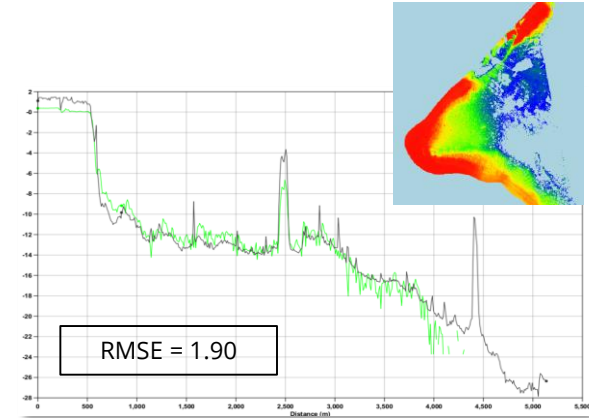
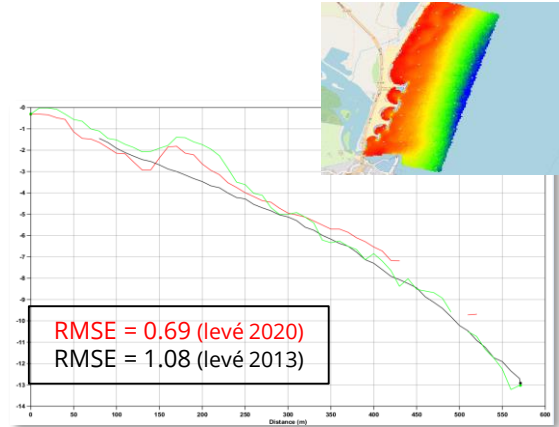
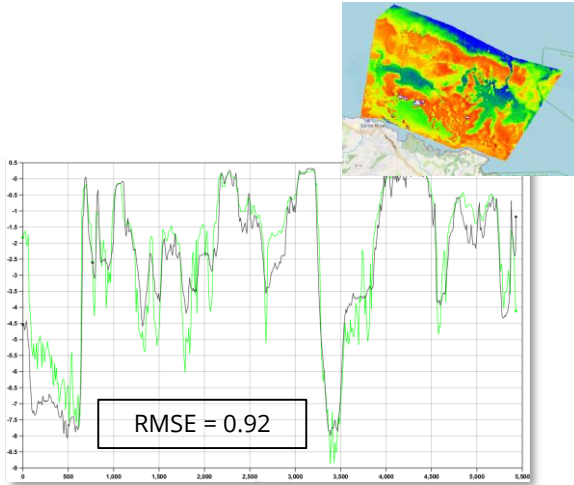
⇒ Sur des sites ciblés par comparaison avec des données de terrain (calculs des écarts verticaux avec les connaissances in-situ)

⇒ Comprendre les points de fonctionnement et les limitations



# Performances globales

Lidar – MBES – SDB



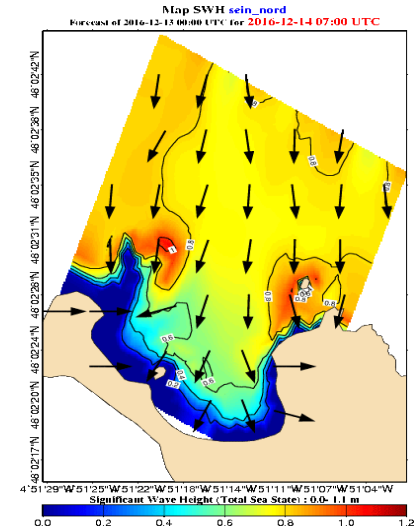
- Validation du concept de production de SDB sans données bathymétriques in-situ : selon certaines conditions (meilleurs résultats obtenus :  $rmse < 2m$ )
- Définition d'un cadre d'application pour atteindre de bonnes performances (Priorité au traitement multi-image / Images Sentinel-2 privilégiées quand la résolution de 10m est suffisante / Zones d'étude pas trop grandes / Profondeurs moyennes atteintes :  $\pm 0 - 15m$ )

# Cas d'application visés : levés de reconnaissance



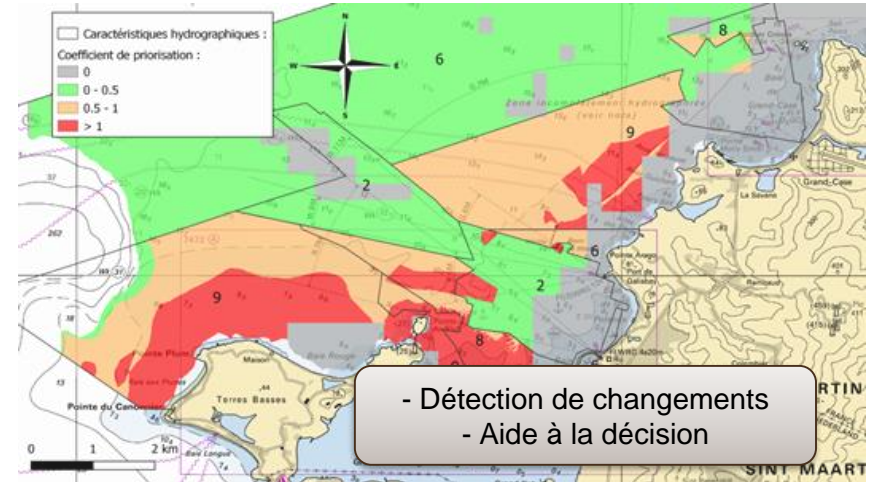
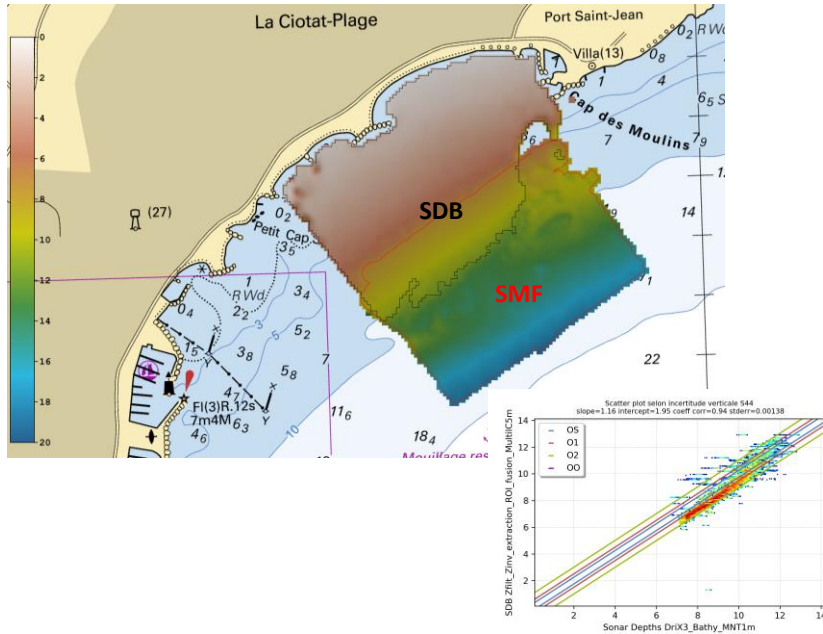
Soutien à la connaissance bathymétrique dans les zones éloignées

- Zone côtière de la ZEE



Données d'entrée pour les modèles hydrodynamiques côtiers

# Cas d'application visés : levés de reconnaissance



Description de l'environnement

- exemple d'une fusion SDB [0-12m] / SMF [6-20m]

Planification des levés

# Cas d'application visés : modèle de morphodynamique des plages

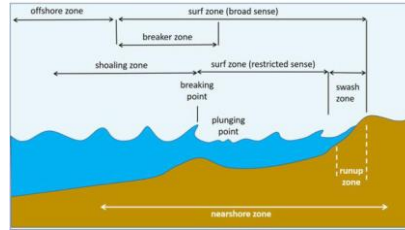
## Forçages

Courants et marée  
Vagues  
Transport sédiment

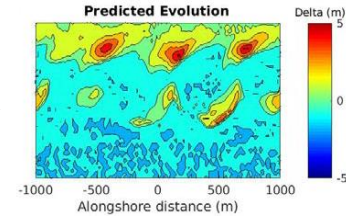
MNT



## Modèle court terme

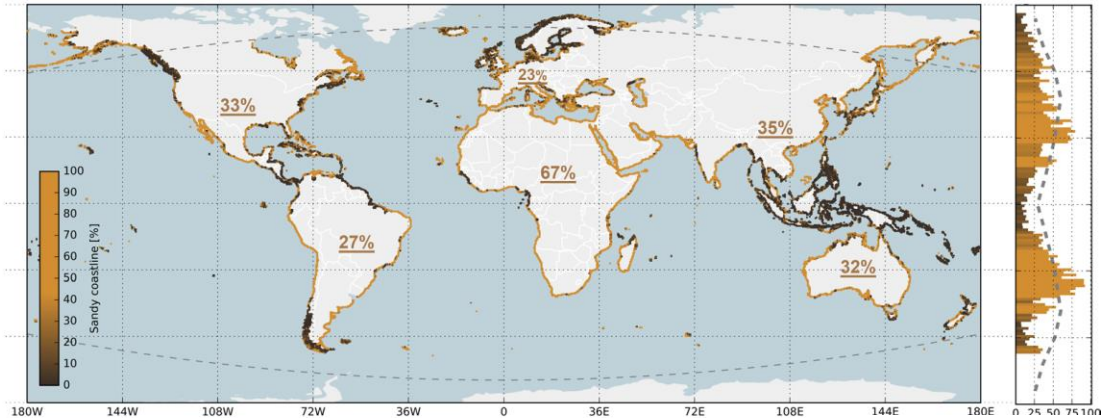


## Résultats



Prédiction de l'évolution de la bathymétrie et de la dynamique locale

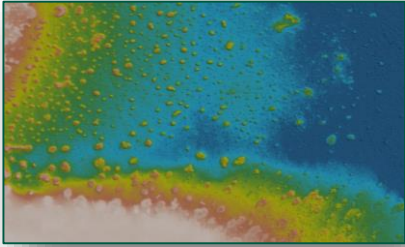
→ Distribution des côtes sableuses



# Limitation pour un service hydrographique

- Normes internationales : importance de la qualification des produits

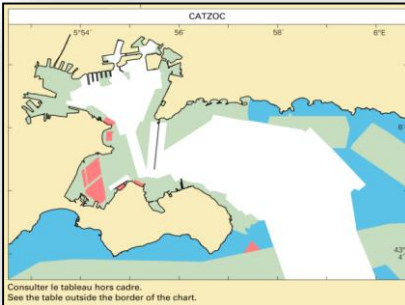
## S-44 Orders pour les levés bathymétriques



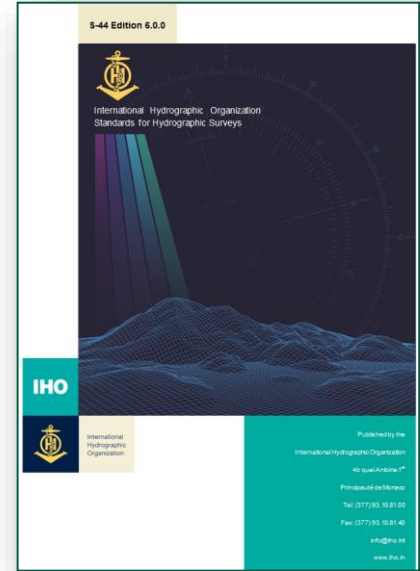
La connaissance des incertitudes et de certains critères sont obligatoires pour :

- Le positionnement horizontal
- Les calculs de hauteurs d'eau
- La capacité de détection
- Le taux de couverture totale

## S-57 CATZOC utilisée par les cartographes

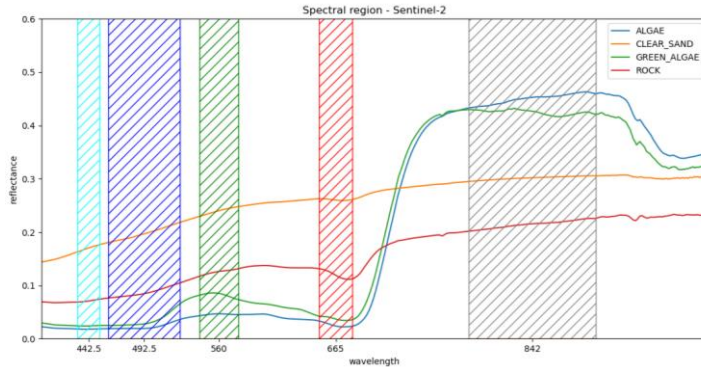


⇒ Challenges pour la SDB : identifier une solution satisfaisante pour modéliser les incertitudes (approche globale)



# Points durs en multispectrale couleur de l'eau

- Sélection des images
  - ⇒ qualité radiométrique (faible SNR)
  - ⇒ Sentinel-2 privilégiée à ce jour (qualité radiométrique, taux de revisite, gratuité)
- Correction atmosphérique et spécificités liées à l'environnement marin
  - ⇒ Effets d'adjacence, estimation des d'aérosols, traitement du glint
- Ajustement du modèle de réflectance du fond marin
  - ⇒ Limites de résolution du capteur (spatiale et spectrale)
  - ⇒ Limite du modèle implémenté

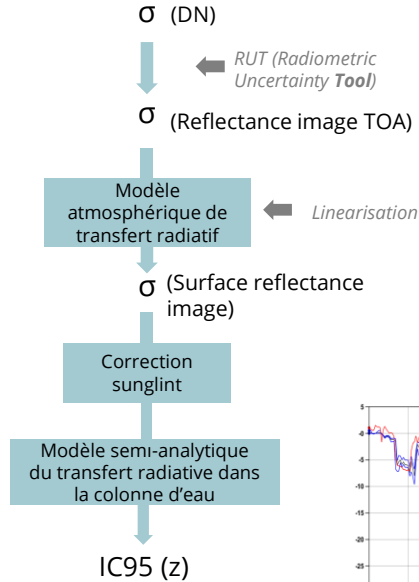


$$\rho = \alpha \cdot \rho_{min} + (1 - \alpha) \cdot \rho_{veg} \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

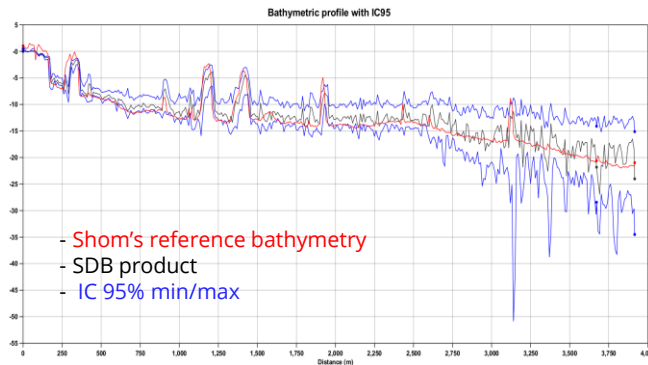
- Quantification des incertitudes verticales

# Contrôle qualité

## Modèle analytique

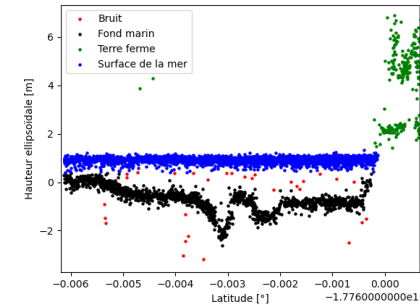
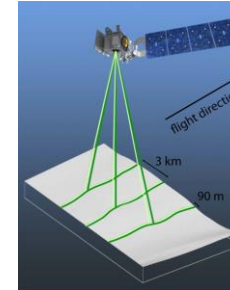


*Estimateur* = Max de vraisemblance  
*Incertitudes et IC* = rapport de vraisemblance et profil de vraisemblance (étude sur z)



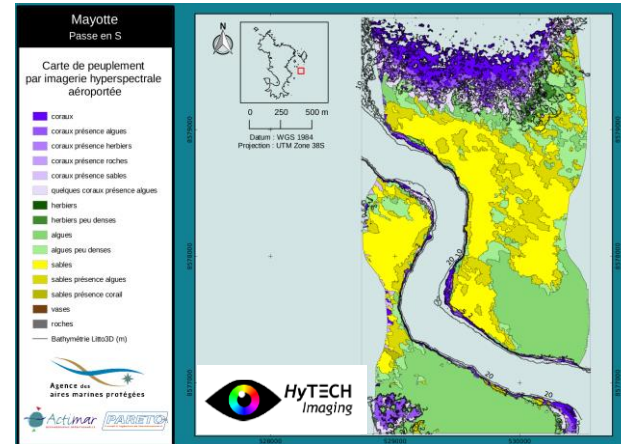
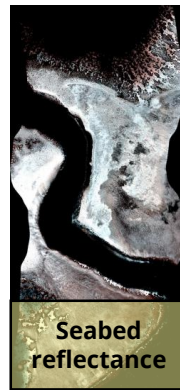
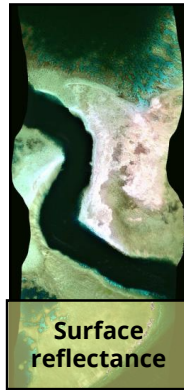
## Données externes

*Travail en cours*



# Poursuite des développements

- ⇒ Amélioration des modèles (correction atmosphérique, incertitudes)
- ⇒ Intégration de nouveaux capteurs (Pléiades Neo, données hyperspectrales, ...)
- ⇒ Automatisation de la chaîne
- ⇒ Axes sur la classification des fonds



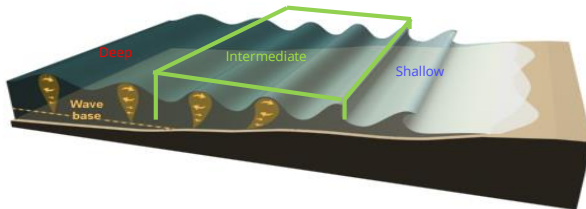
- Complexité du milieu marin côtier (apport de l'hyperspectral)



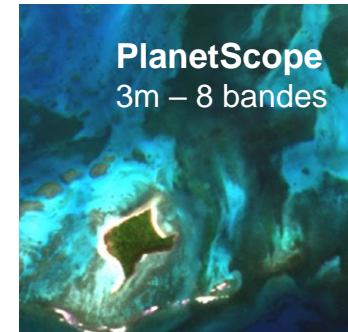
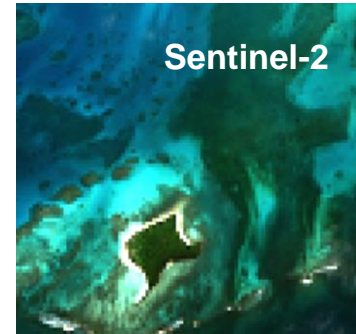
# Poursuite des développements

⇒ Complémentarité des solutions additionnelles (ex : inversion du spectre de vagues, imagerie THR)

## Wave-Based Inversion



## Imagerie VHR



**MERCI !**

