



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

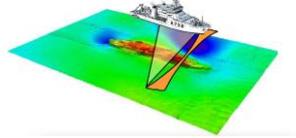
*Liberté
Égalité
Fraternité*



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 :

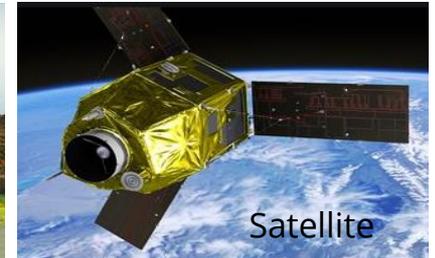
- Moyens conventionnels pour les levés bathymétriques par petits fonds : vedettes hydrographiques équipées de sondeurs multifaisceaux
- Zones de **petits fonds**
 - Difficiles voire impossible d'accès
 - Zones éloignées
 - Nombreux dangers pour la navigation de surface (roches, remontées de fond, vagues)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



Levés traditionnels



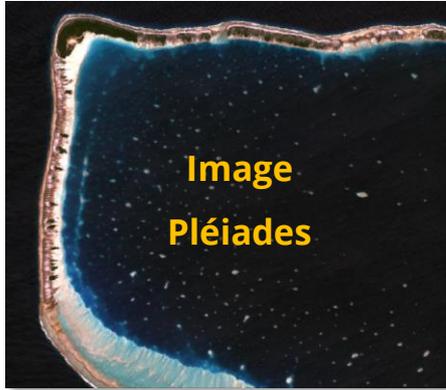
Levés lidar



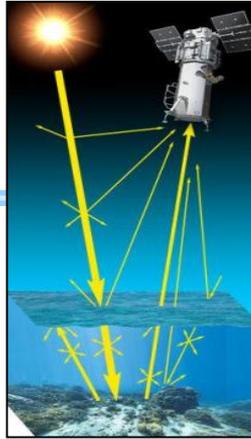
Satellite

Satellite derived bathymetry (SDB)

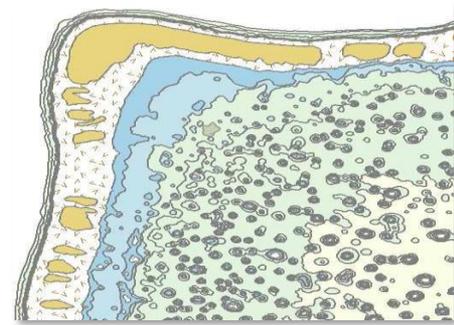
Historique en télédétection : cas de la SDB



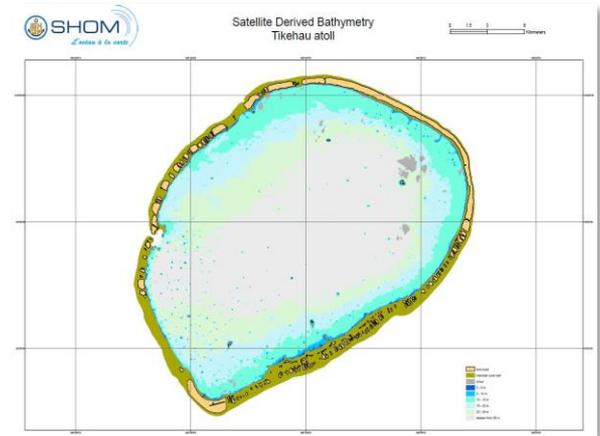
Imagerie multispectrale



Méthode empirique



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



Spatiocarte: topographie littorale et carte marine

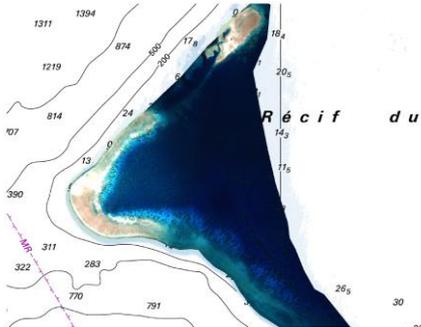
Mise à jour de la chaîne de traitement

→ 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)

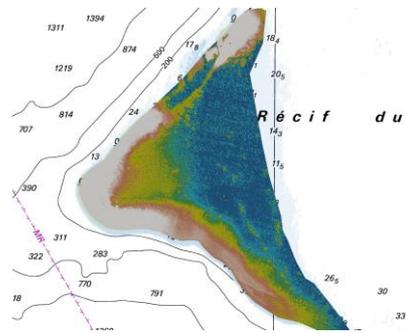
PARAMÈTRES ESTIMÉS
geotiff

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



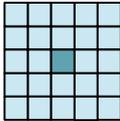
Apport des contraintes spatiales et temporelles

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



Sans contrainte :

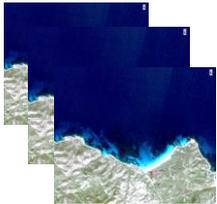
Estimation du Z d'un pixel à partir d'une valeur de réflectance unique



Contrainte spatiale :

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

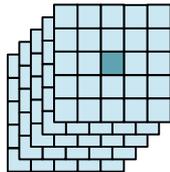
Fixation des paramètres de la colonne d'eau dans le voisinage du pixel pour contraindre le problème d'optimisation



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

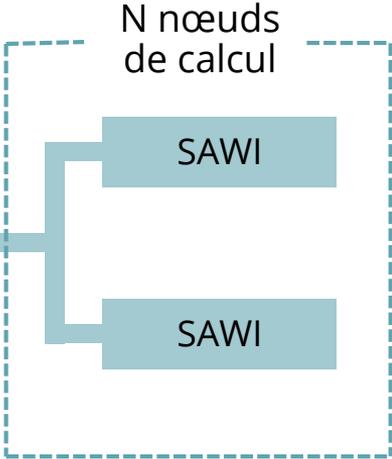
Plugin QGIS BATHYSAT

or

command line option for batch processing

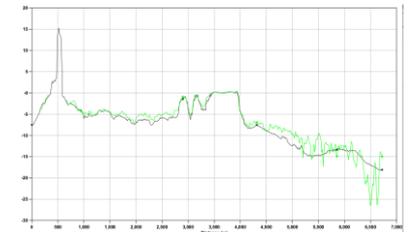
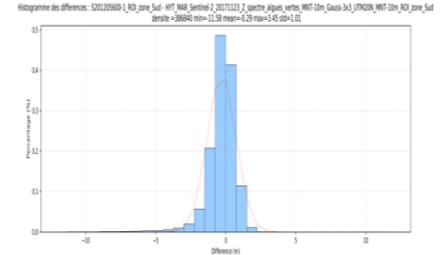
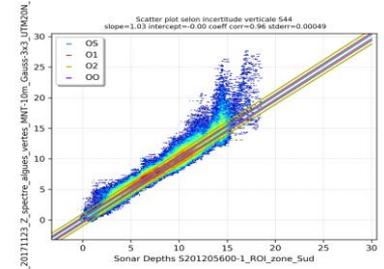
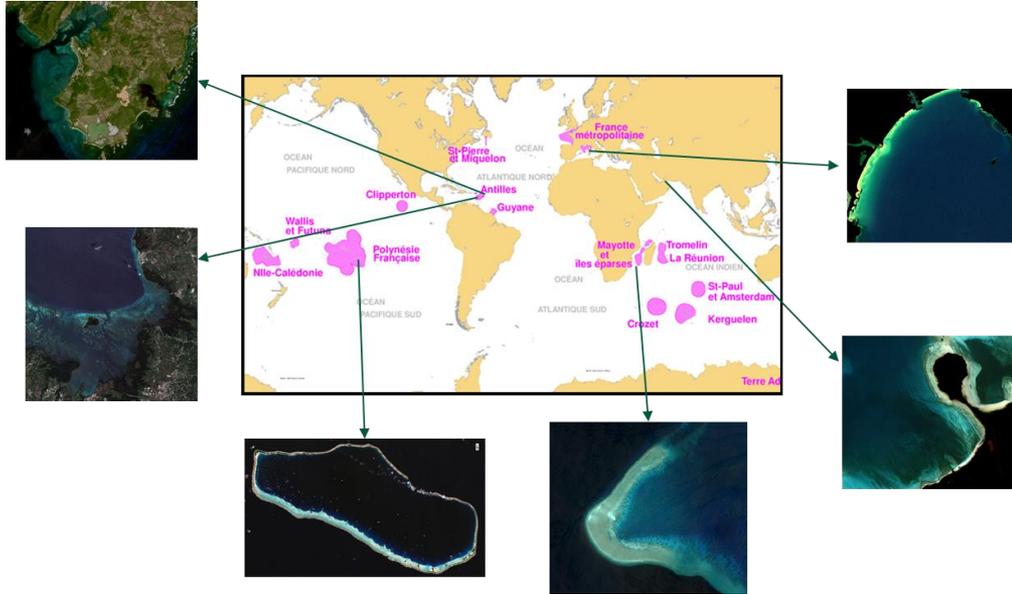
Application BATHYSAT-cli

SERVER



Database

Performances globales

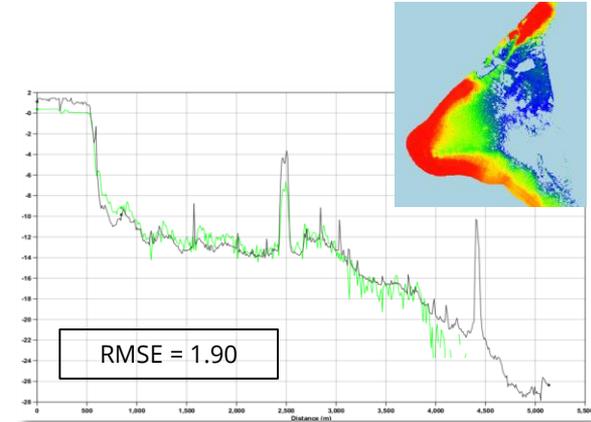
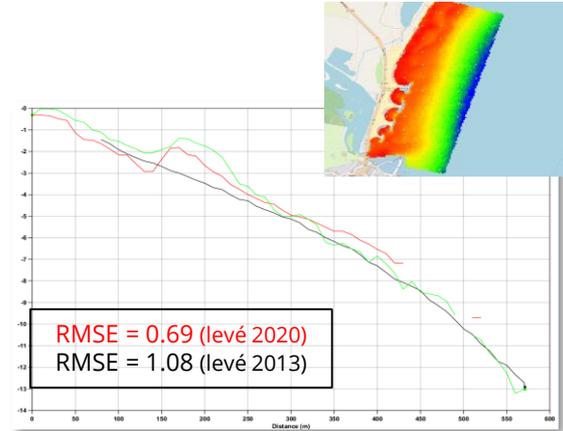
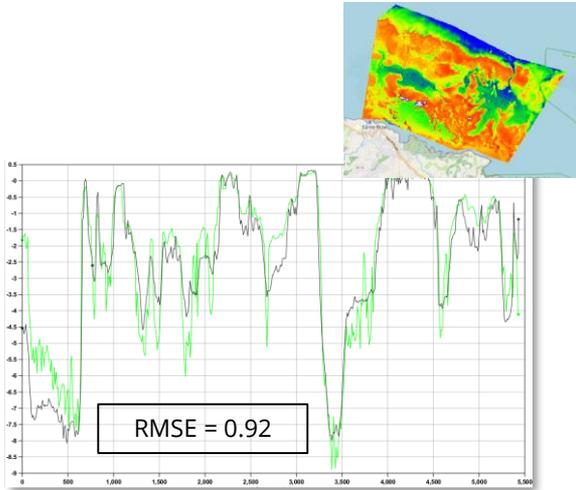


⇒ Sur des sites ciblés par comparaison avec des données de terrain (calculs des écarts verticaux avec les connaissances in-situ)

⇒ Comprendre les points de fonctionnement et les limitations

Performances globales

Lidar – MBES – SDB



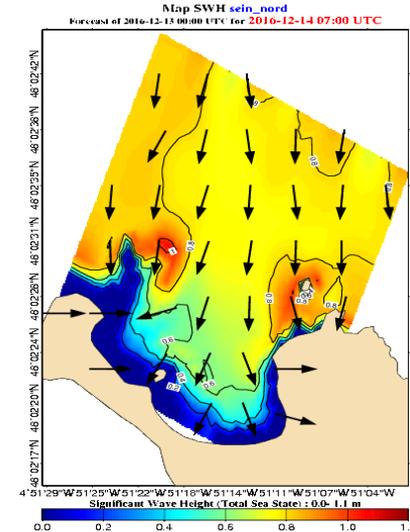
- Validation du concept de production de SDB sans données bathymétriques in-situ : selon certaines conditions (meilleurs résultats obtenus : $rmse < 2m$)
- Définition d'un cadre d'application pour atteindre de bonnes performances (Priorité au traitement multi-image / Images Sentinel-2 privilégiées quand 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



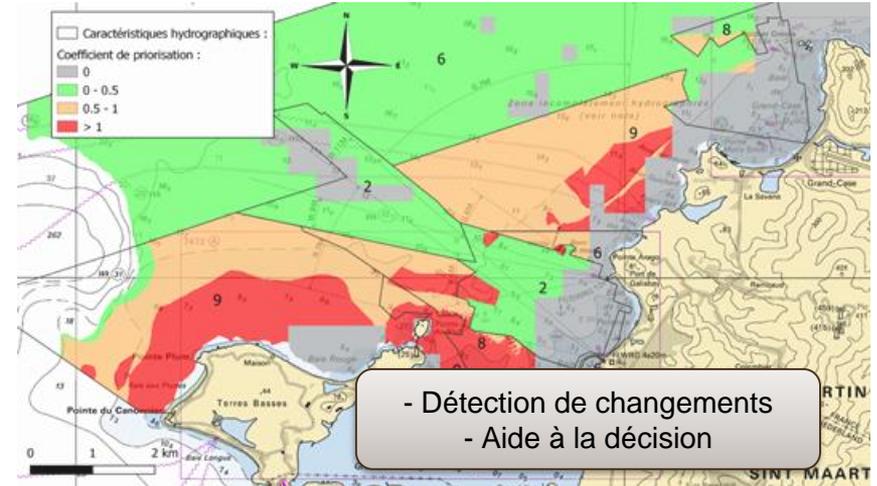
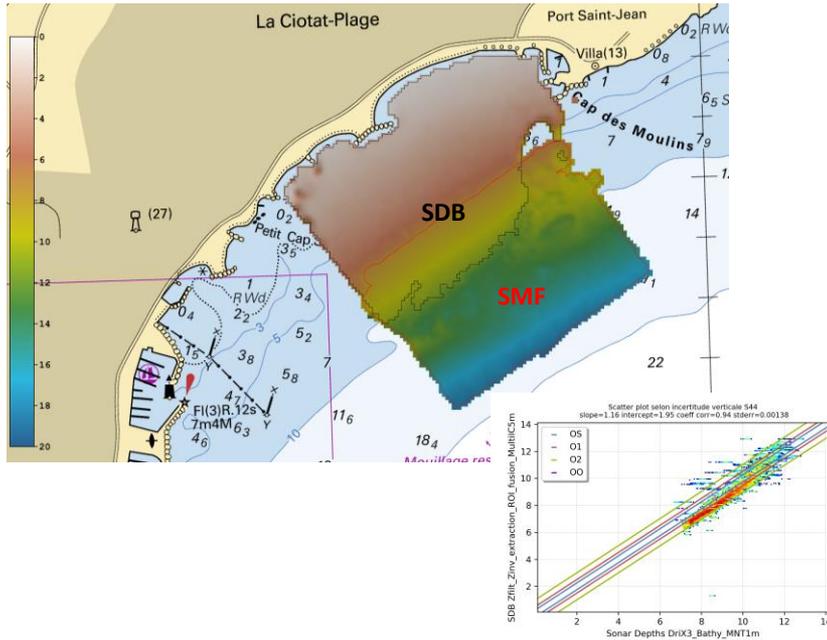
Soutien à la connaissance bathymétrique dans les zones éloignées

- 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

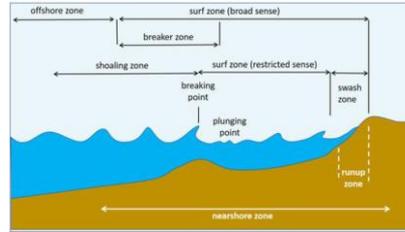
Forçages

Courants et marée
Vagues
Transport sédim

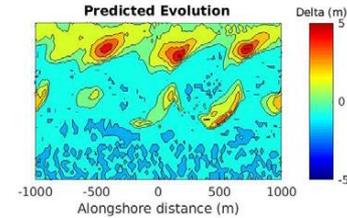
MNT



Modèle court terme

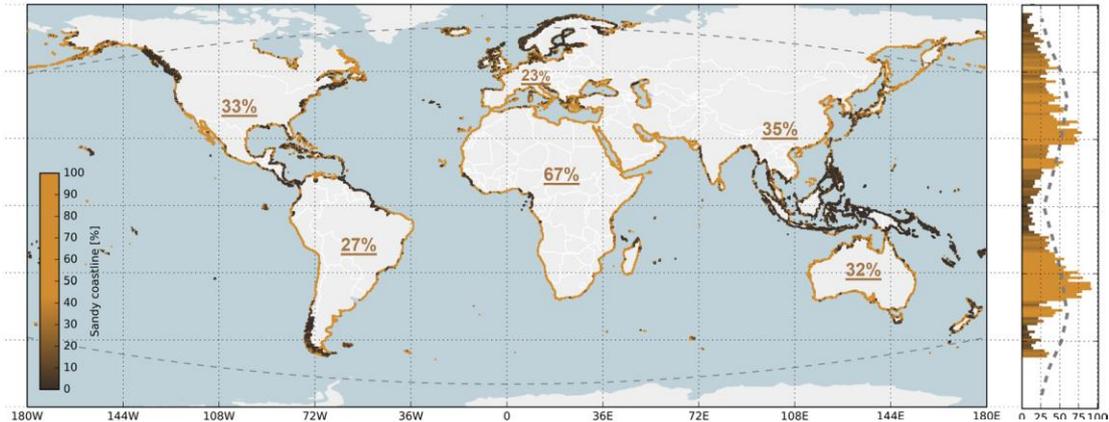


Résultats



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

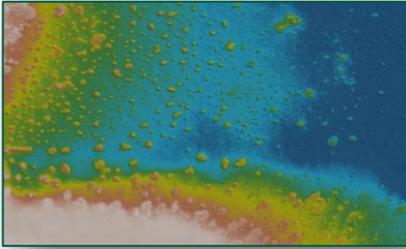
→ Distribution des côtes sableuses



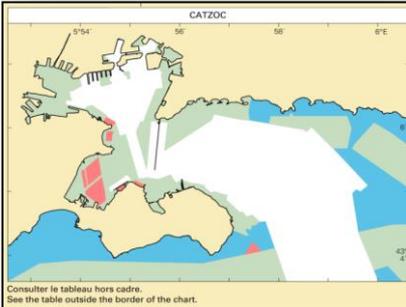
Limitation pour un service hydrographique

- Normes internationales : importance de la qualification des produits

S-44 Orders pour les levés bathymétriques



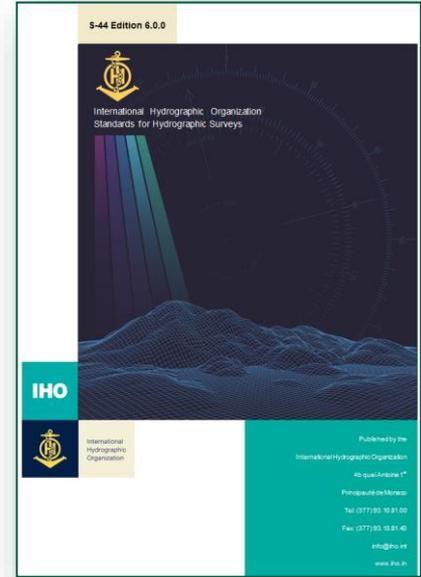
S-57 CATZOC utilisée par les cartographes



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

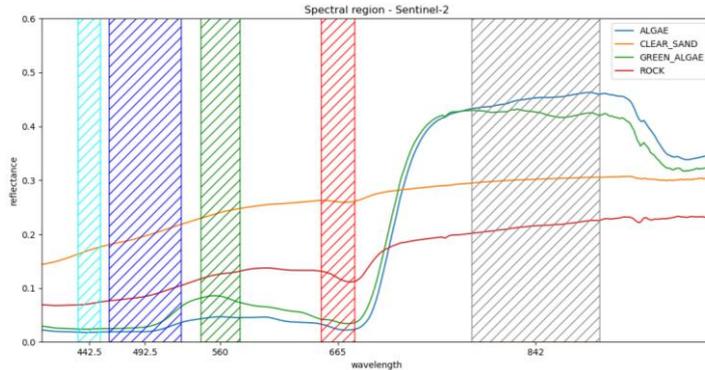
- Le positionnement horizontal
- Les calculs de hauteurs d'eau
- La capacité de détection
- Le taux de couverture totale

⇒ 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

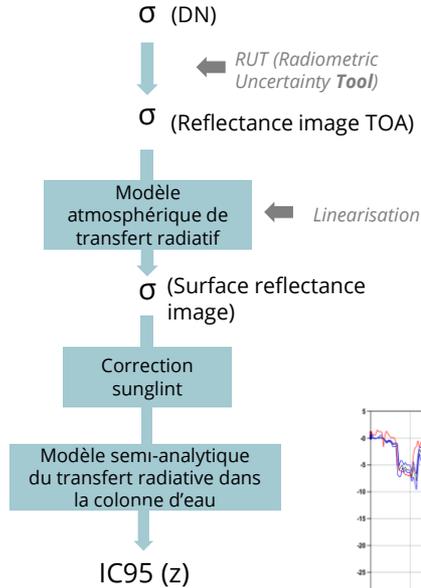


$$\rho = \alpha \cdot \rho_{min} + (1 - \alpha) \cdot \rho_{veg} \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

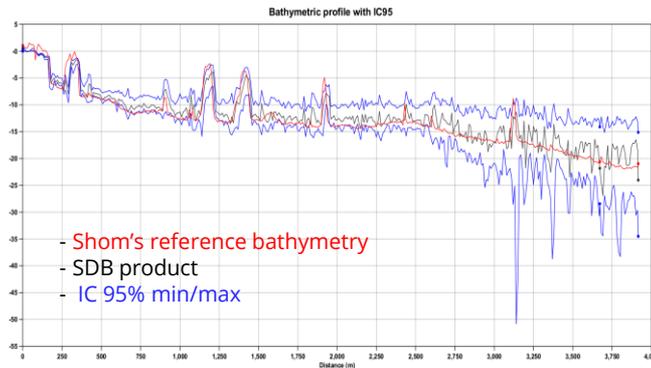
- Quantification des incertitudes verticales

Contrôle qualité

Modèle analytique

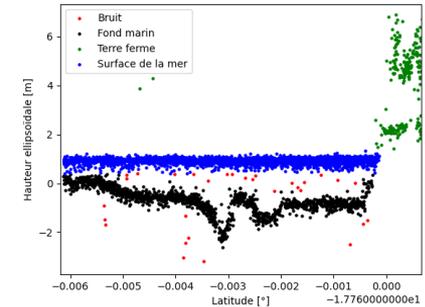
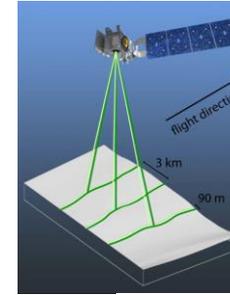


Estimateur = Max de vraisemblance
Incertitudes et IC = rapport de vraisemblance et profil de vraisemblance (étude sur z)



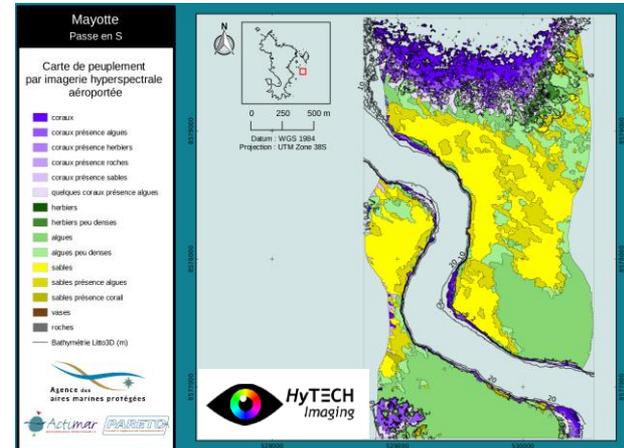
Données externes

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

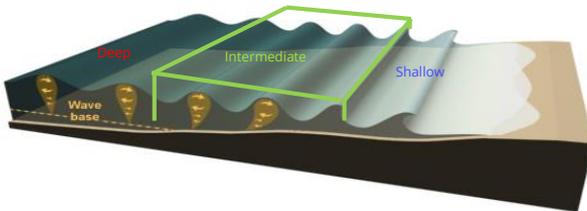


- Complexité du milieu marin côtier (apport de l'hyperspectral)

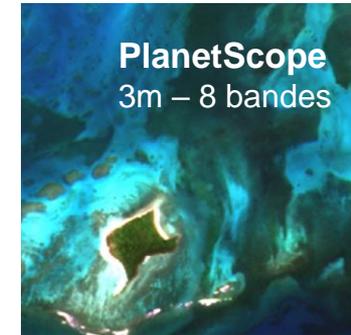
Poursuite des développements

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

Wave-Based Inversion



Imagerie VHR



MERCI !

