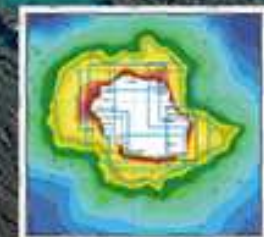


Ifremer

Potentiel de l'imagerie hyperspectrale aéroportée comme nouvel outil d'évaluation spatiale de l'état de santé d'un écosystème récifal à La Réunion.

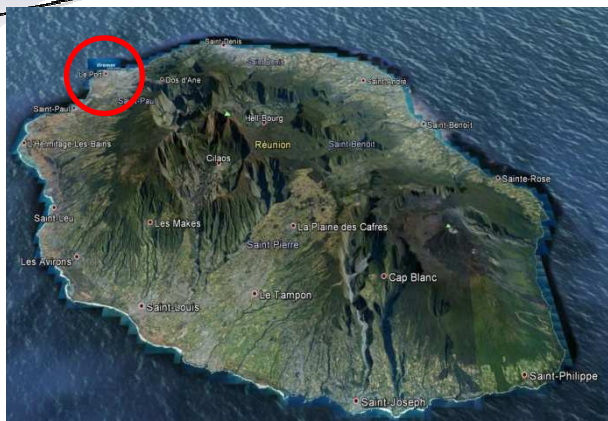


Michel ROPERT, Ifremer DOI, La Réunion
Pascal MOUQUET, La Réunion
Touria BAJJOUK, DYNECO AG, Brest
Ronan LE GOFF, Ifremer DOI, La Réunion



crédit photos : Kélonia/C. Robert ; M. Taquet ; ARVAM ; J. Bourjea ; C. Jean ; SAFECE

Localisation, effectifs



Implanté depuis les années 1980 sur la commune du Port, la Délégation dispose de 230 m², 15 bureaux, 2 laboratoires, des locaux communs.



Personnel :

- 9 permanents (5 CA, 2 TA, 2 Admin)
- 6 contractuels (VSC, CDD, Stage)

Partenariats :

- Univ. RUN (ECOMAR), Réserve nationale Marine, Parcs Marins, ARVAM, PARETO, AQUAMAY, CRPM,...
- DEAL, DMSOI, Préfectures, COI,...
- Ifremer Métropole

<http://www.ifremer.fr/lareunion>

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Image © 2012 DigitalGlobe
Image © 2012 IGN, France
© 2012 Google

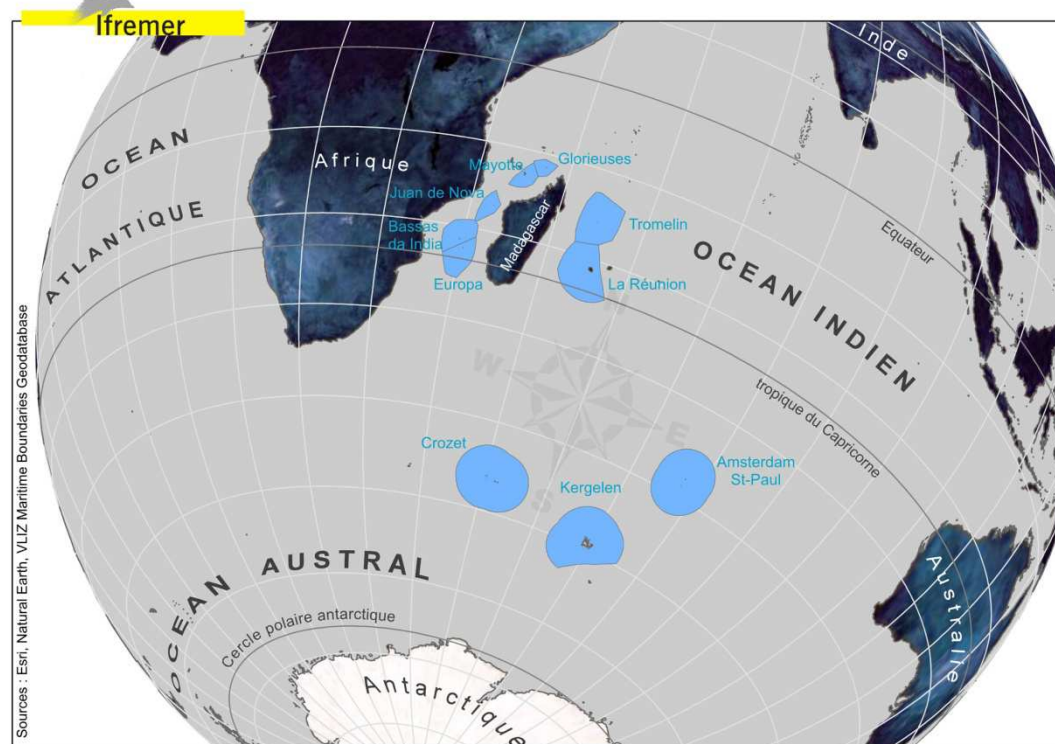
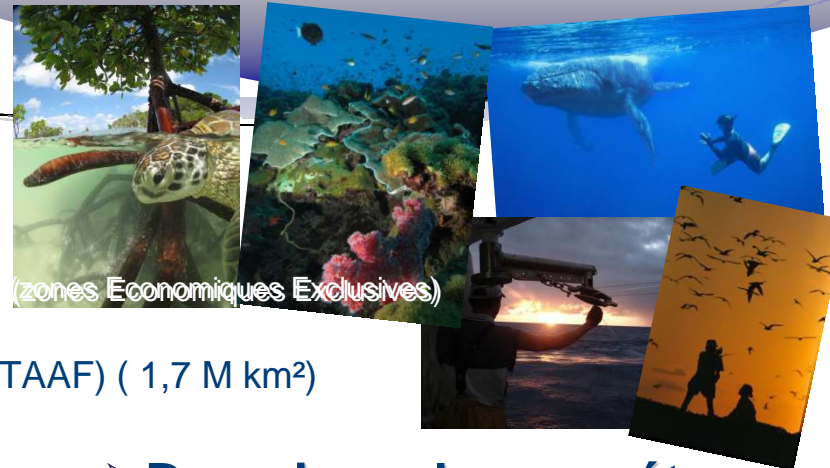
Google earth

Date des images satellite: 1/1/2008 20:12:00
20 38 677 S 55 19 644 E elev. 207 m
Altitude: 6.96 km

Aire de compétence

➤ Aire géographique de compétence :

- Ensemble de l'océan indien,
- Attention particulière pour les littoraux et les ZEE (zones Economiques Exclusives)
 - ✓ La Réunion, Mayotte, Les Îles Eparses (1 M km²)
 - ✓ Les Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF) (1,7 M km²)



Z.E.E. des terres françaises de l'océan Indien 0 400 800 1 600 Milles nautiques

➤ Domaines de compétence

- Soutien Services de l'Etat
 - ✓ Avis / expertises
 - ✓ Comité de bassin, CTOI, COI
 - ✓ Livre bleu Océan indien ...
- Halieutique (*historique*)
 - ✓ Suivi des flottilles, échantillonnages, projets DCP, expertise
- Biodiversité
 - ✓ Tortues marines , connectivité des AMP,
- Environnement (2008→)
 - ✓ Mise en œuvre de la DCE
 - ✓ Contribution au SIE / SINPMer
 - ✓ Modélisation hydrodynamique
 - ✓ Cartographies d'habitats (imagerie)
- Aquaculture(2014→)
 - ✓ Mayotte

Contexte et objectifs de Spectrhabet et de Bioindication

Cadre conventionnel

- Conventions : Préfecture/DEAL Réunion – AAMP – TAAF – ONEMA - Ifremer
- Collaborations : SHOM, ARVAM, Actimar, Université de la Réunion
- Durée : 2009 - 2012



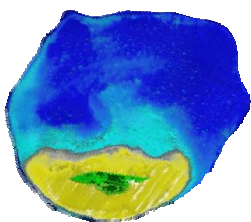
Objectif : développement méthodologique de traitement de données Lidar / hyperspectrales :

- ✓ Cartographies d'habitats benthiques des zones récifales de l'Océan indien (projet Spectrhabet-OI)
- ✓ Aide à la mise en place de la "DCE" sur l'état de qualité biologique du milieu récifal (projet Bioindication)
- ✓ Faire de l'île de la Réunion un site pilote sur cette thématique

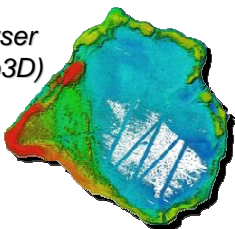
Zone d'étude



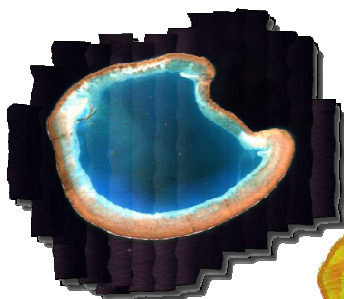
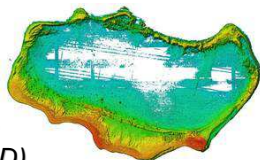
Juan de Nova
(Litto3D, Google)



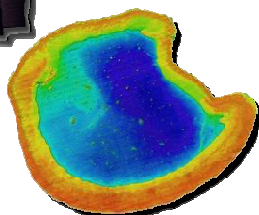
Geyser
(litto3D)



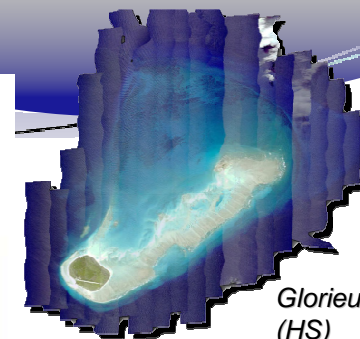
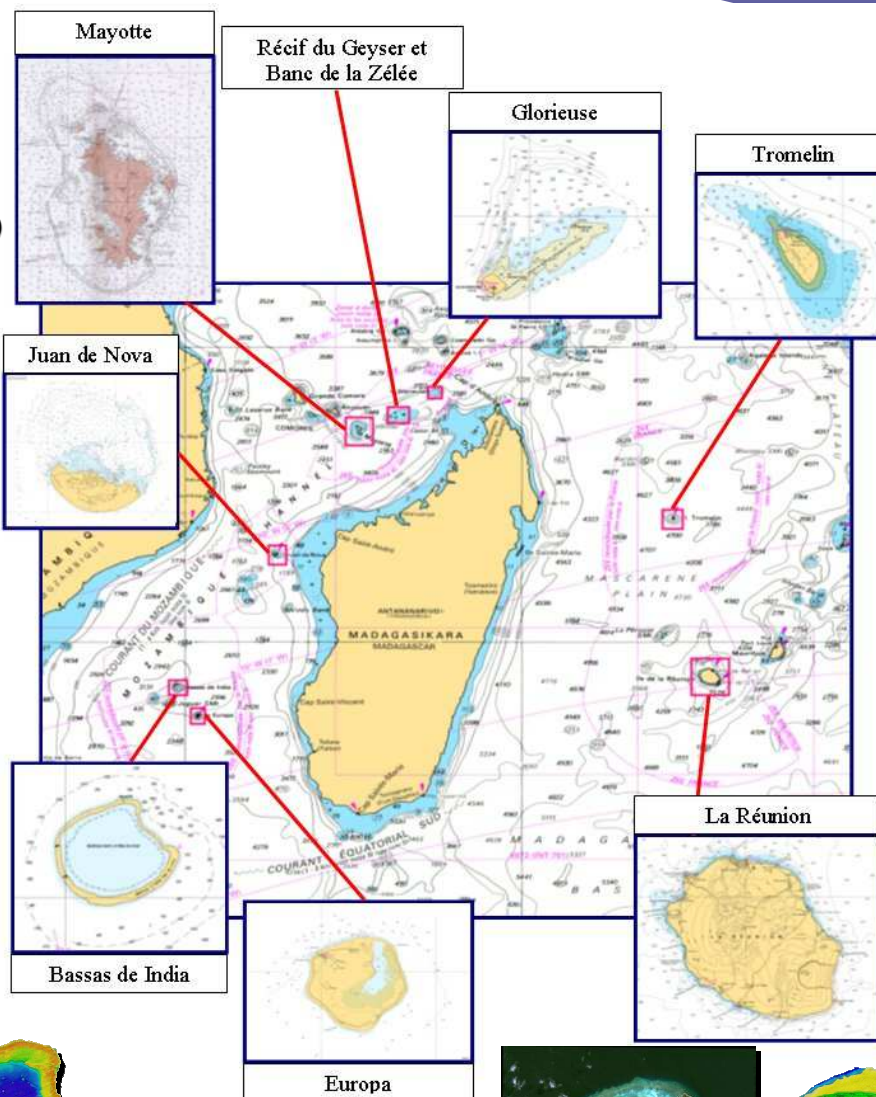
Zélée
(litto3D)



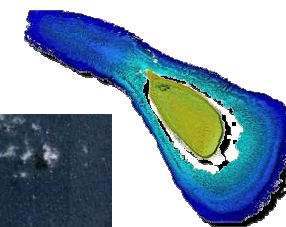
Bassa de India
(HS + Litto3D)



Europa
(Sat, Litto3D)



Glorieuses
(HS)



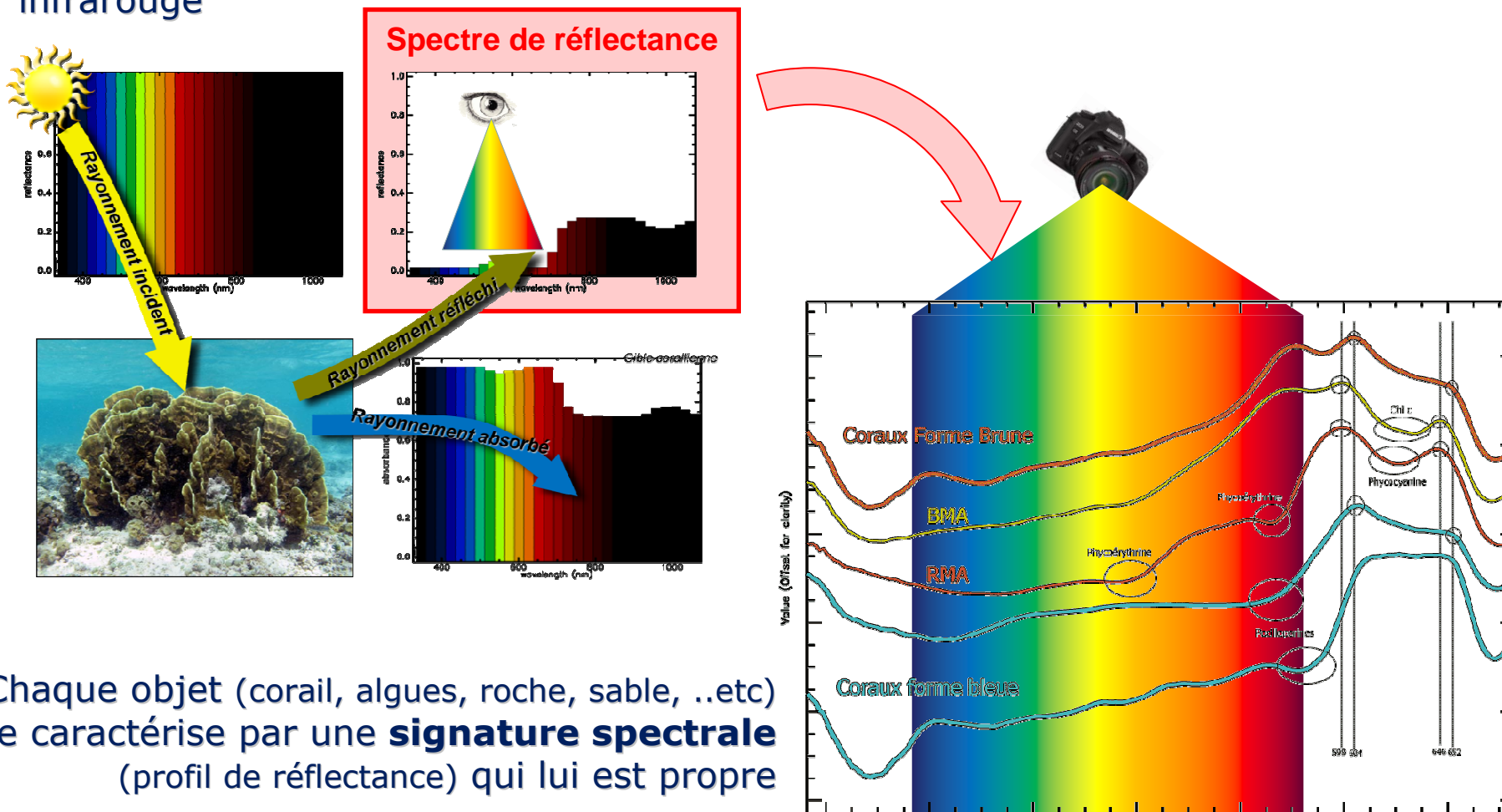
Tromelin
(Litto3D, google)



- ❖ Réunion (site Pilote)
- ❖ Mayotte
- ❖ Iles Eparses

Principe de l'imagerie hyperspectrale

Capteur hyperspectral : échantillonnage continu du spectre lumineux, sur une gamme de longueurs d'ondes s'étendant sur 160 bandes de l'ultraviolet au proche infrarouge



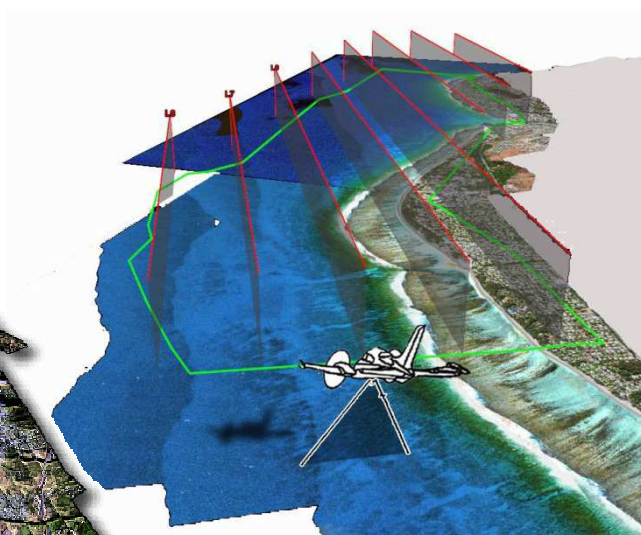
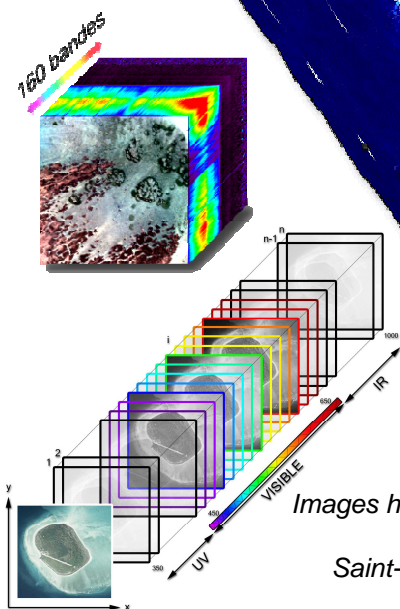
Chaque objet (corail, algues, roche, sable, ..etc) se caractérise par une **signature spectrale** (profil de réflectance) qui lui est propre

2009-2010 : acquisition données aériennes (Litto3D)

Deux types de données acquises simultanément :

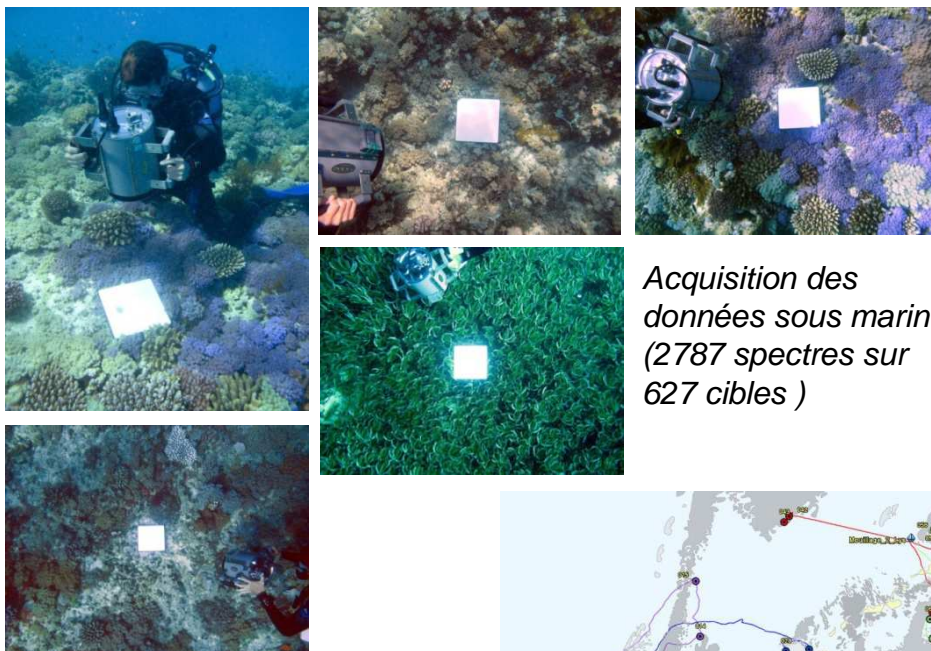
- Des données Lidar (Litto3D)
 - ✓ Une bathymétrie (x y z)
 - ✓ Les formes d'ondes (données brutes)
- 2 jeux d'images hyperspectrales (Spectrhabent-OI)
 - ✓ Basse altitude : Pixels de 20 - 40cm / 80 bandes
 - ✓ Haute altitude : Pixels de 40cm - 2m / 160 bandes

Images Hyperspectrales
haute altitude
Saint-Gilles - L'Ermitage



2009-2010 : acquisition données terrain ("vérités")

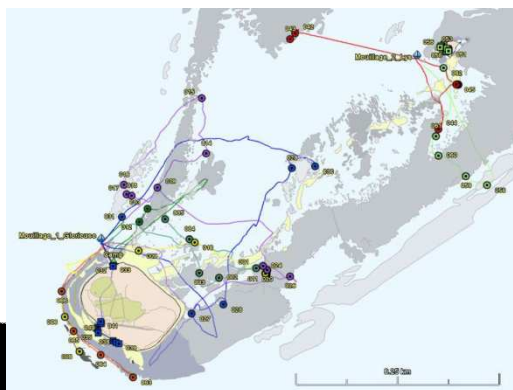
Mesurer sur le terrain le spectre de réflectance de cibles "pures" pour constituer une banque de signatures spectrales ...



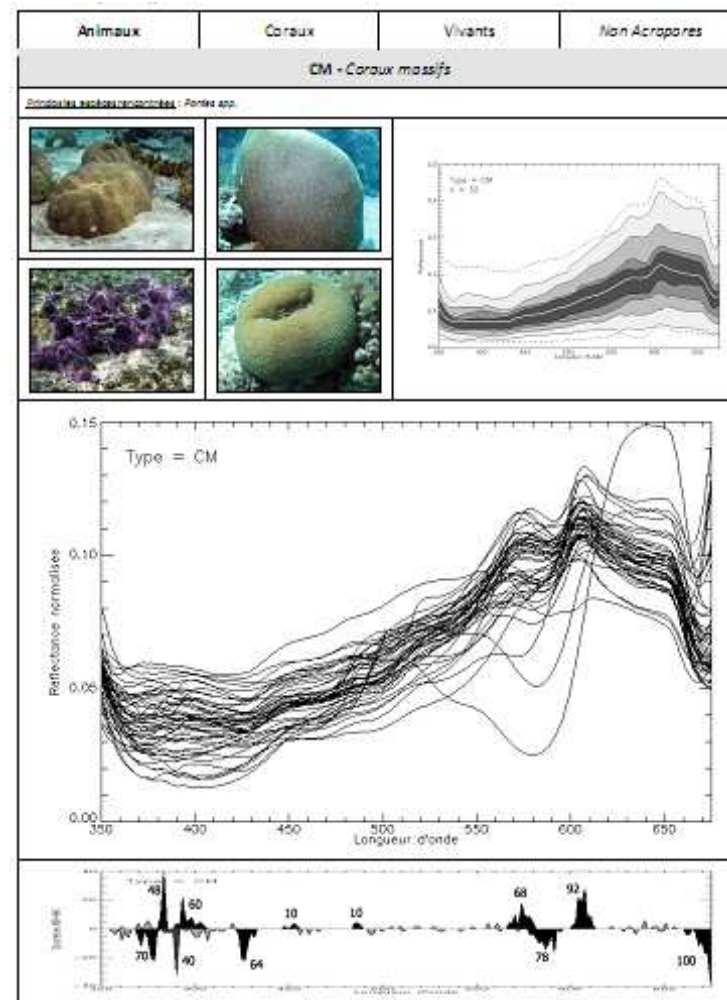
Acquisition des données sous marines (2787 spectres sur 627 cibles)

Base de données spectrale

ID	Date	Localisation	Type de cible	Profondeur (m)	Température (°C)	Humidité (%)	Pression (hPa)	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Notes
1	2009-10-01	VT Glorieuses	Corail	10	26.5	75	1013	-17.5	70.0	0	
2	2009-10-01	VT Glorieuses	Algue	10	26.5	75	1013	-17.5	70.0	0	
3	2009-10-01	VT Glorieuses	Corail	10	26.5	75	1013	-17.5	70.0	0	
4	2009-10-01	VT Glorieuses	Algue	10	26.5	75	1013	-17.5	70.0	0	
5	2009-10-01	VT Glorieuses	Corail	10	26.5	75	1013	-17.5	70.0	0	

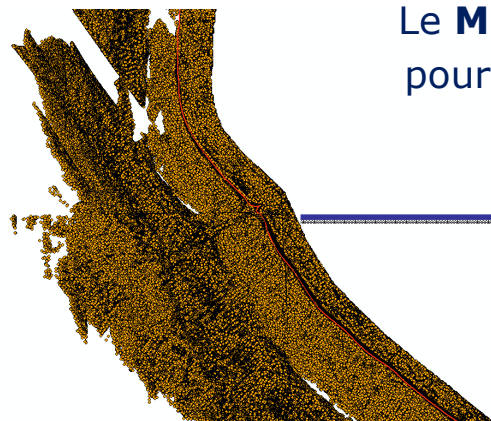


VT Glorieuses



Fiches spectrales

1) Prétraitements LIDAR

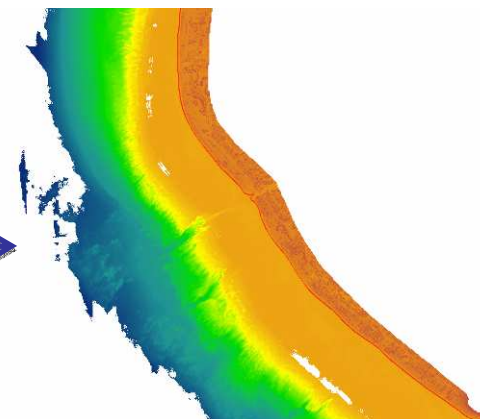


Sondes LIDAR

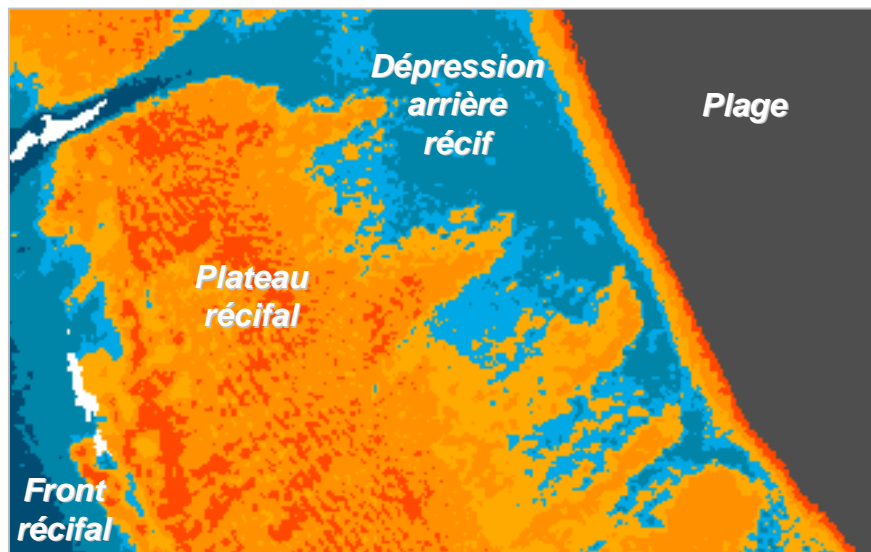
Le **MNT SHOM à 5m** peut être affiné à 1m pour appréhender la grande hétérogénéité spatiale du milieu récifal

Kriegerage sous ISATIS

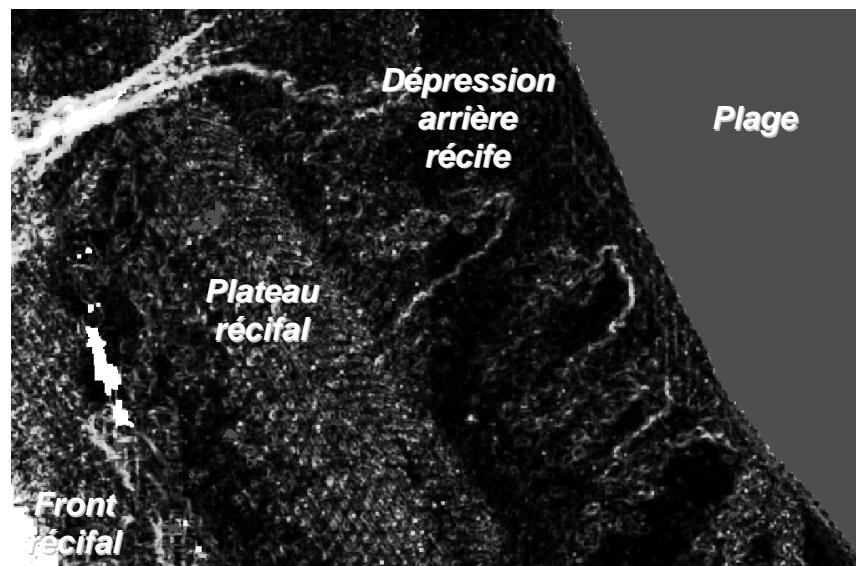
Extraction de paramètres géomorphologiques (DAR/Platier, rugosité,...)



MNT Lidar



50m



1) Prétraitements HS : correction effet colonne d'eau



Image brute

Préalable à toute exploitation des données hyperspectrales : **correction des effets de la colonne d'eau...**

perturbations liées à l'état de surface

Correction des réflexions spéculaires

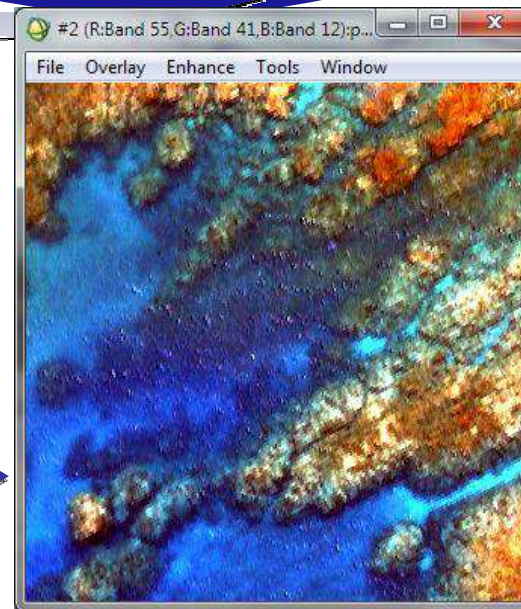


Image corrigée des effets de surface

+

l'atténuation du signal lumineux dans la colonne d'eau

Correction de la colonne d'eau

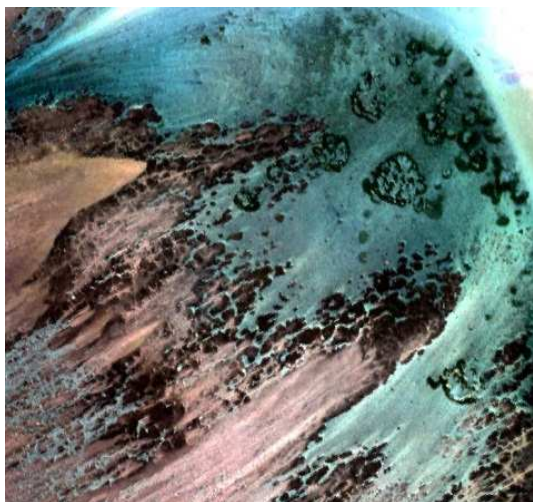


image en réflectance en surface avant correction des effets de la colonne d'eau

50m

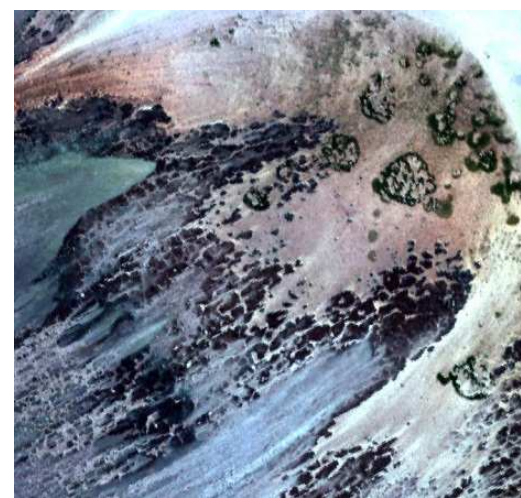


image en réflectance au fond après correction.

1) Prétraitements HS : correction effet colonne d'eau

visualisation des fonds = **1^{ère}** plus value

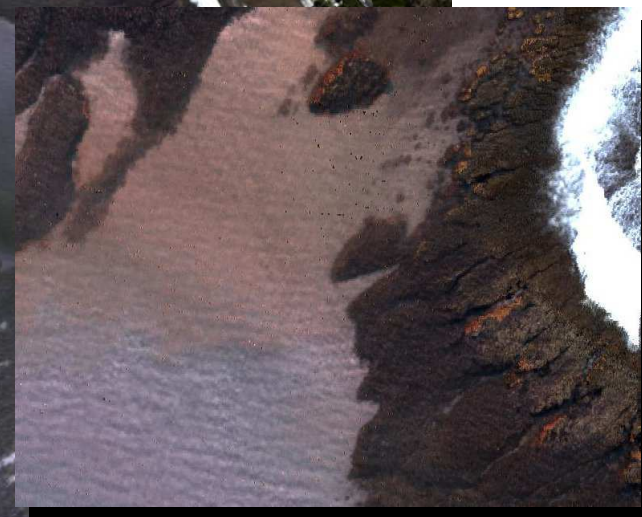
Image brute



250m



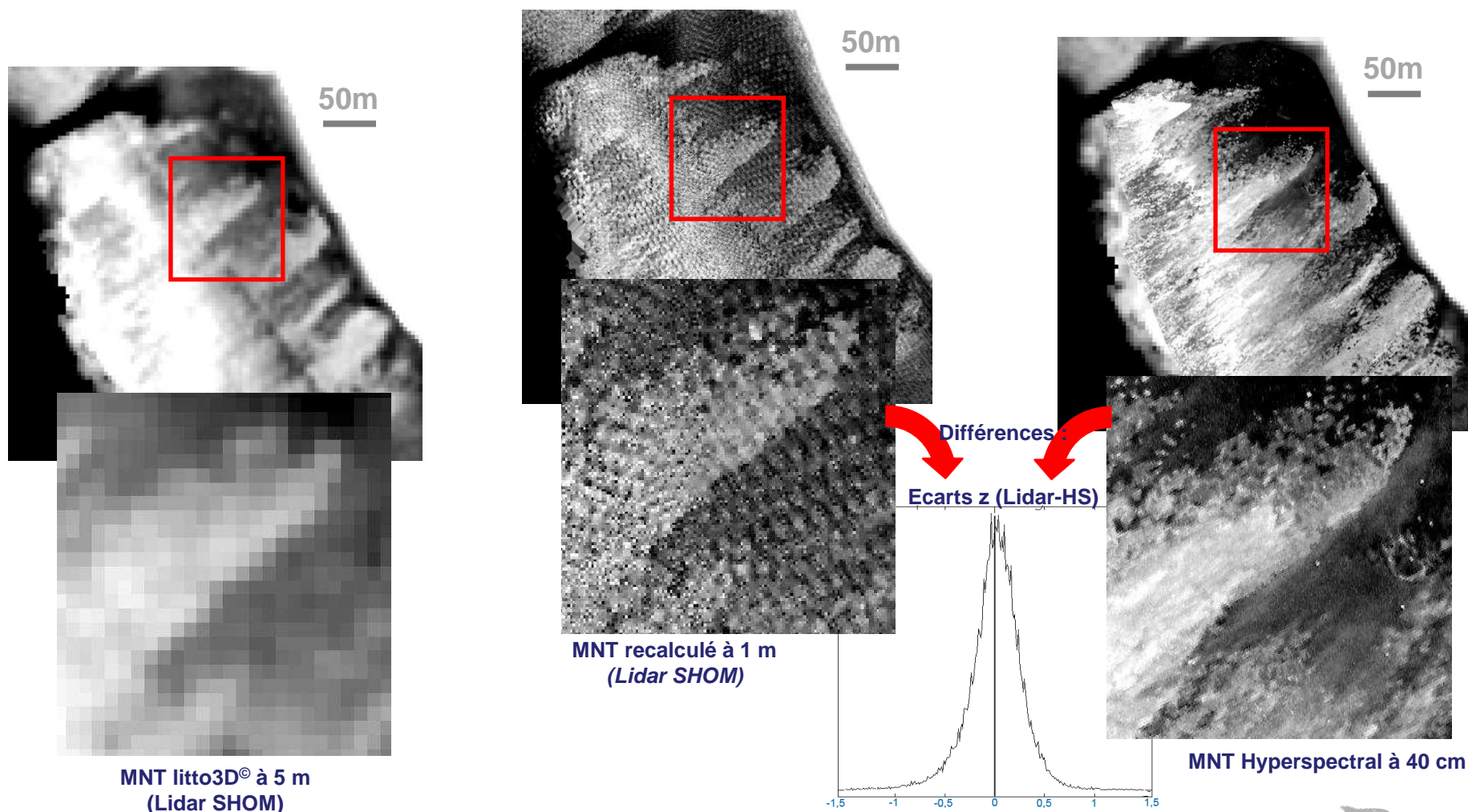
Image corrigée pour visualisation uniquement



1) Prétraitements HS : correction effet colonne d'eau

Nouveau MNT issu de l'HS = 2^{nde} plus value

Le traitement de la colonne d'eau va permettre, sur les petits fonds (plateau récifal < 2m), de générer un nouveau MNT à l'échelle de l'image HS (40cm).



1) Prétraitements HS : correction effet colonne d'eau

Nouveau MNT issu de l'HS = 2^{nde} plus value

Combinaison de l'image brute et du MNT hyperspectral...

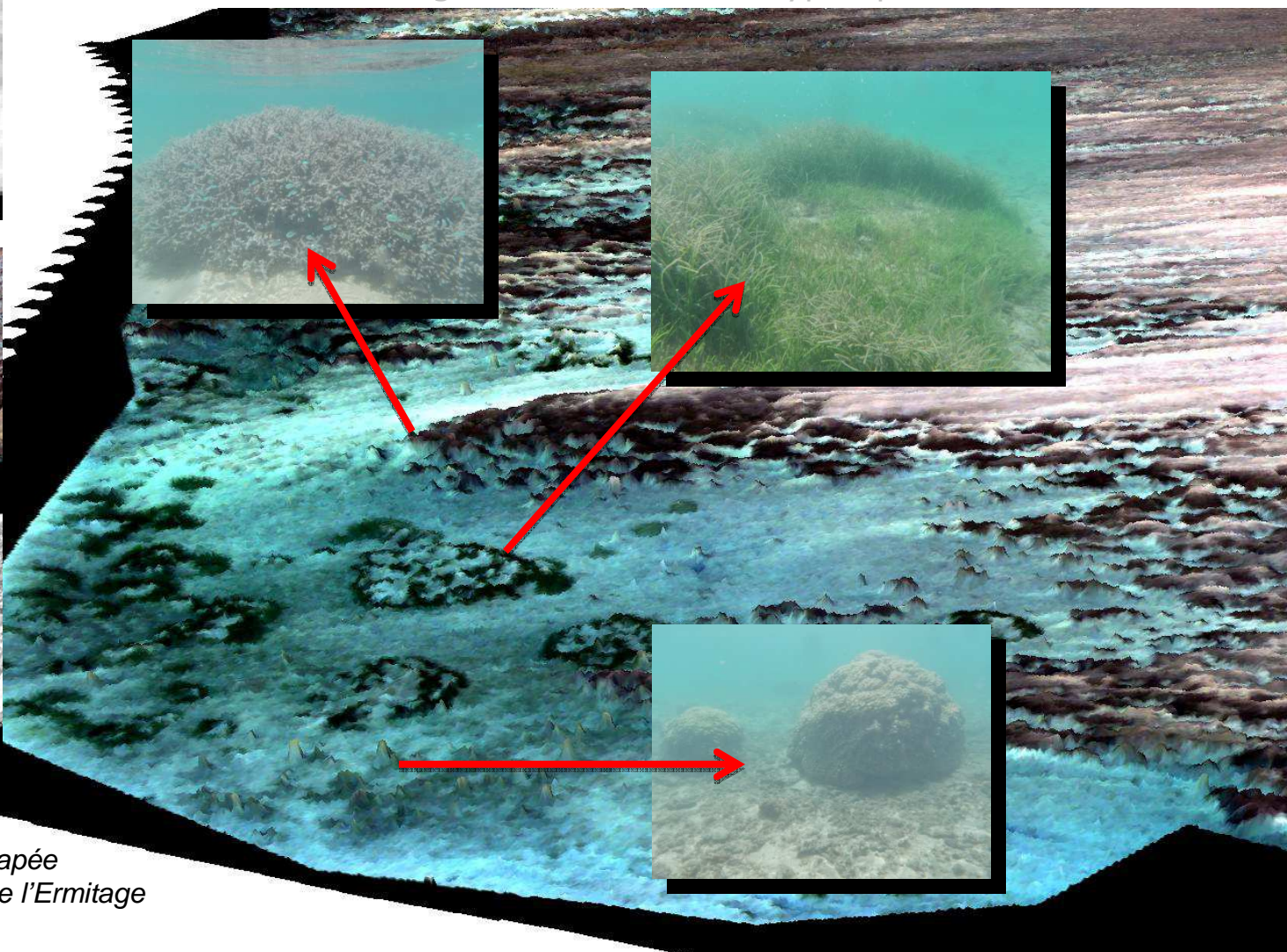
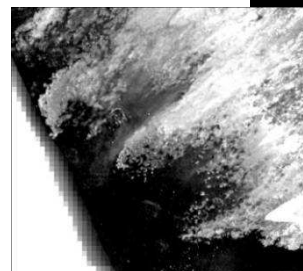
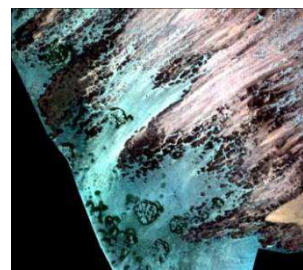


Image HS drapée
sur le MNT Passe de l'Ermitage

2) Résultats de la correction de la colonne d'eau

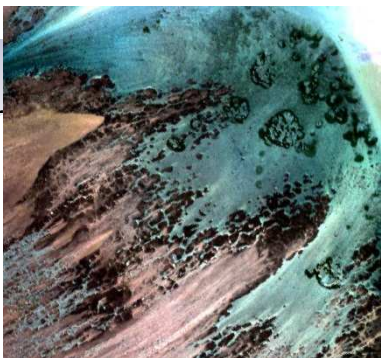


Image HS non corrigée

Au niveau spectral, on retrouve, sur les images corrigées, une signature des objets proche de celle enregistrée sur le terrain à l'aide du spectroradiomètre...

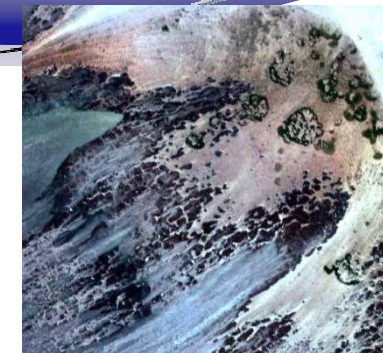
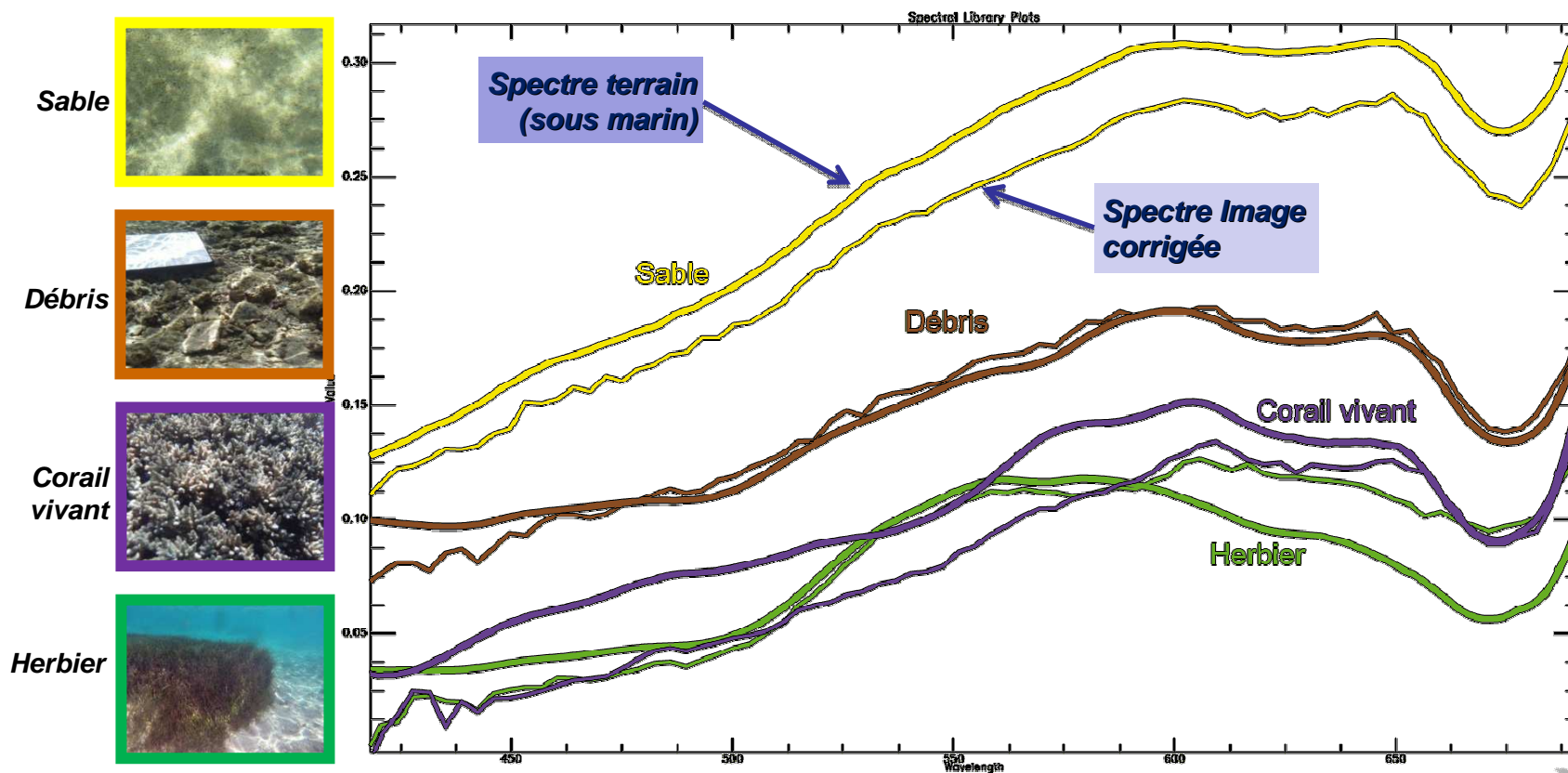


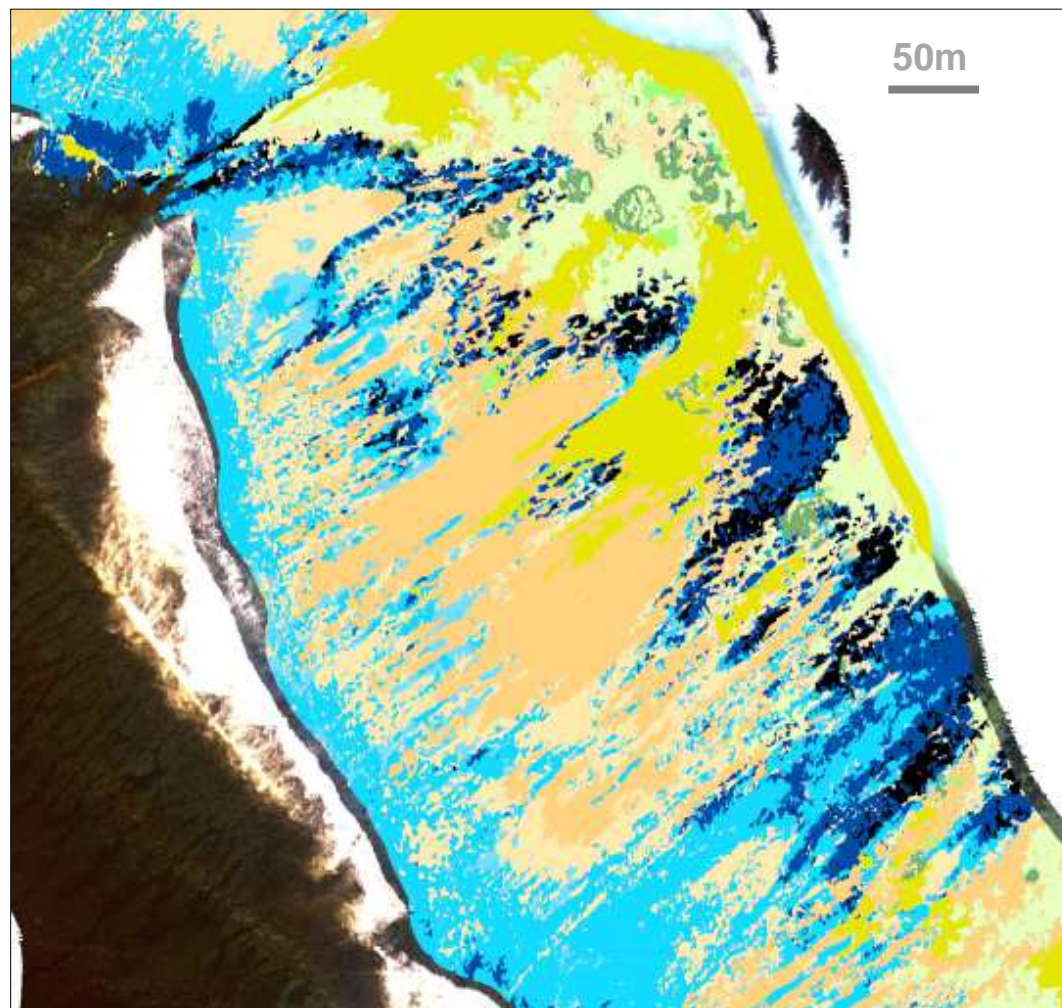
Image HS corrigée



a) Cartographie des habitats (Spectrhabet)

Techniques de classification / segmentation : croiser différentes couches d'information (substrat, géomorphologie, Biologie, ...) dans le but de générer des cartes d'habitats

	Sable1
	Sable - trace de chlorophylle
	Turf
	Turf2
	Turf majoritaires / coraux
	Coraux / Turfs
	Coraux majoritaires / Turfs
	Coraux
	Herbiers denses
	Herbiers peu denses



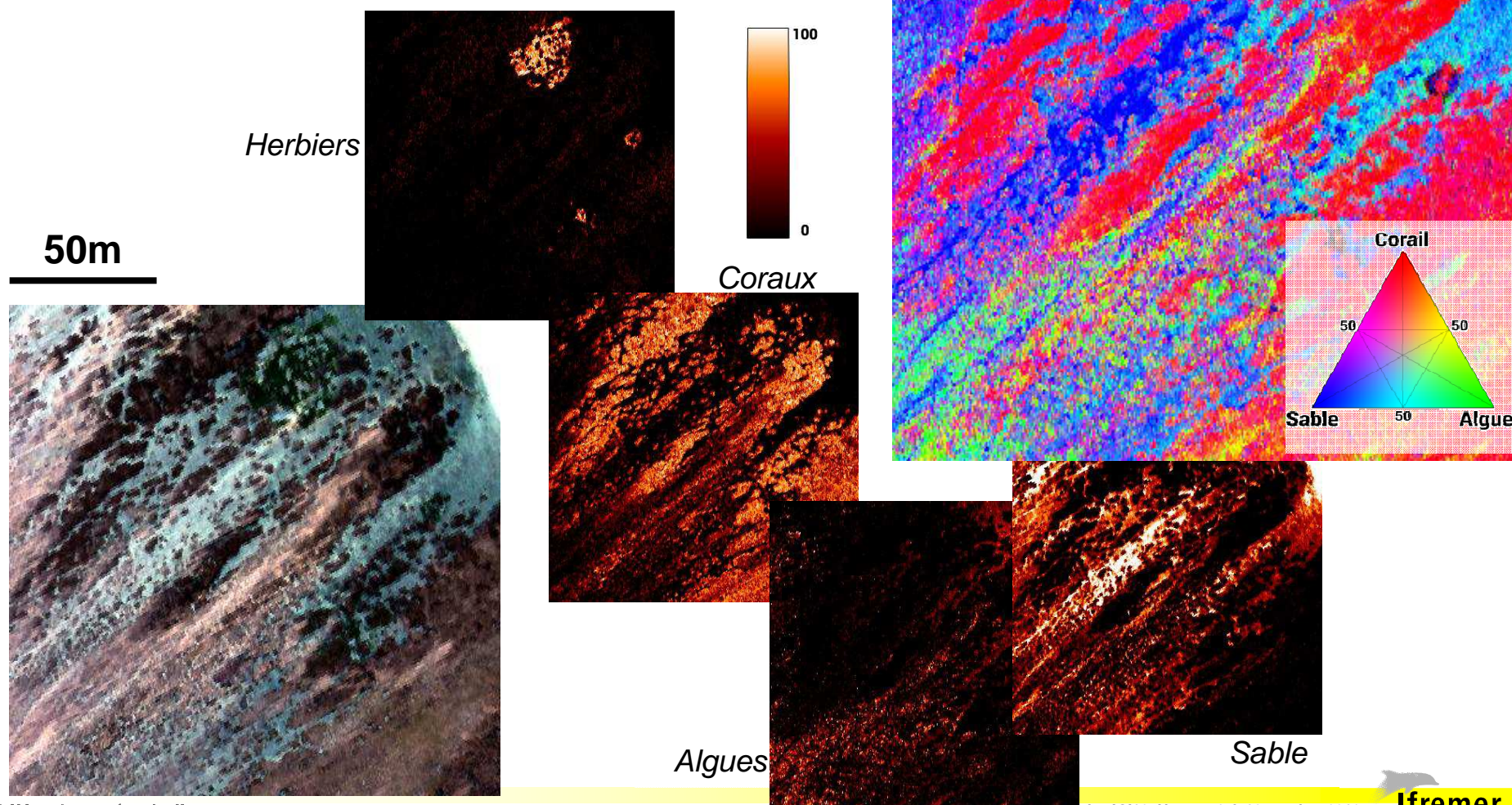
*Exemple de traitement
intermédiaire préfigurant des
cartes d'habitats*

b) Calculs de taux de recouvrement (Indices d'abondance)

Image d'abondance composite
(Sable / Algues / Corail)

Par le **démélangeage spectral**, l'information intrapixellaire va être recherchée (en s'appuyant sur des contrôles/vérités terrains) :

➤ **taux de couvertures / cartes d'abondance**



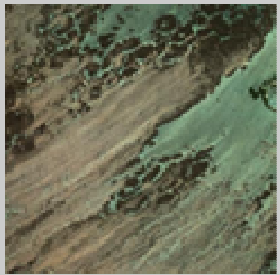
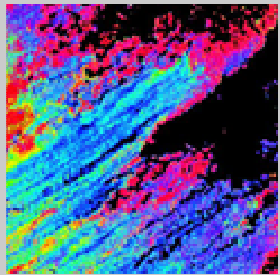
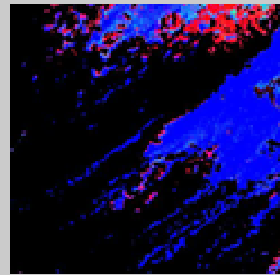
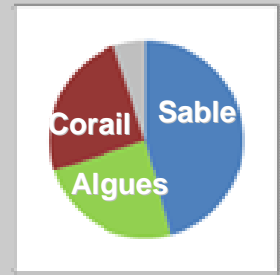
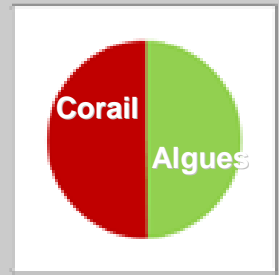
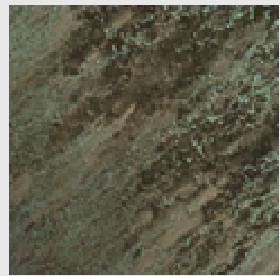
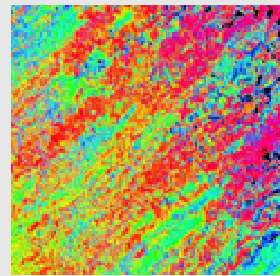
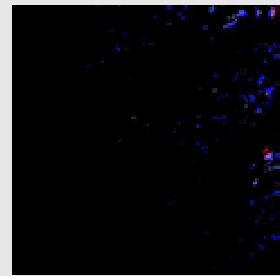
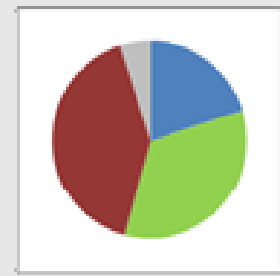
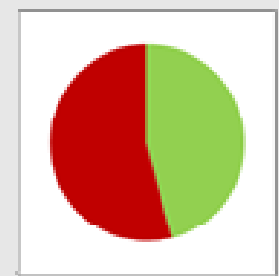
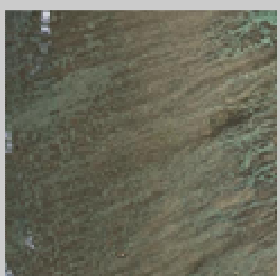
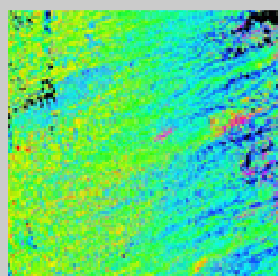
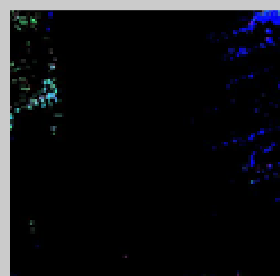
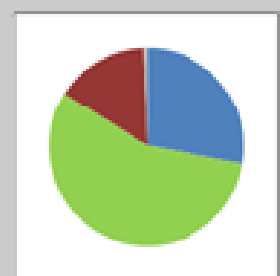
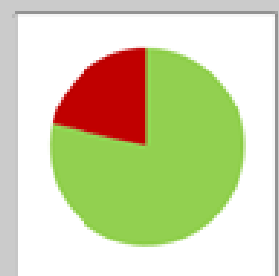
c) Vers un indice de qualité synthétique (Bioindication / DCE)

Corail : Critère de bon état de santé

Algue : critère de dégradation de l'état

Le rapport Corail / Algues peut donc être indicateur pertinent pour qualifier une état de santé...

50m

Image Brute	Platier Récifal	Dépression arr. récif (sable)	Proportions Sabl, Alg, Cor, Herb,	Corail/Algue
				
				
				

±

+

-

Adapter un indice de qualité DCE : la Vitalité Corallienne

1^{er} Indicateur DCE préconisé

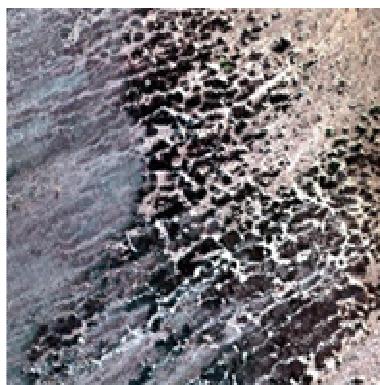
(suivi stationnel)

Vitalité Corallienne

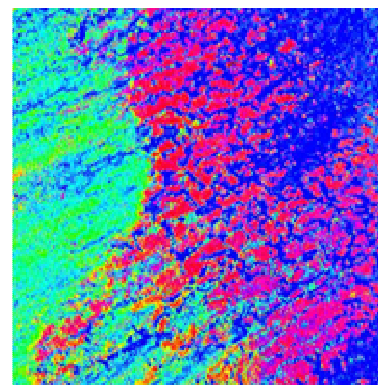
=

% corail sur substrat
potentiellement
colonisable (mesure)

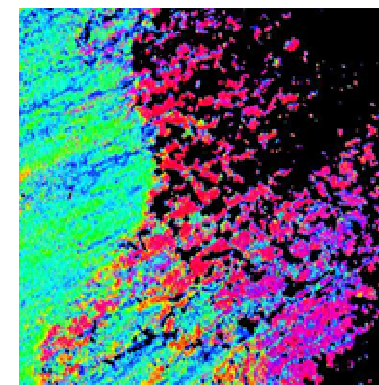
$$\text{Vitalité(HS)} = \frac{\text{TauxCorail}}{\text{TauxCorail} + \text{TauxALGUES}}$$



50m Image corrigée



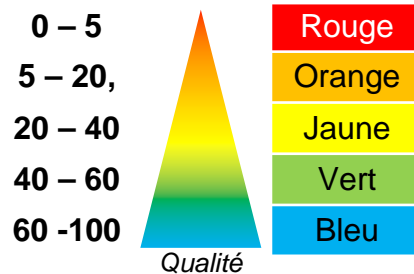
% Sable/Algues/Corail



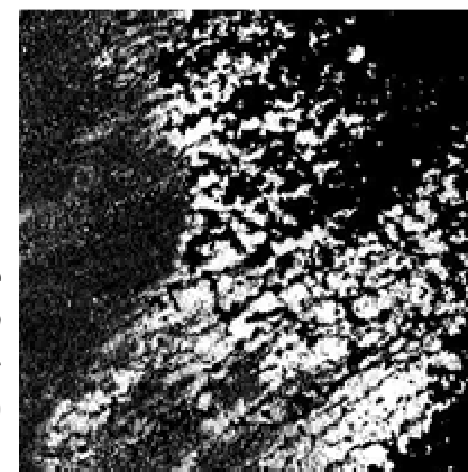
% SAC platier

Plage de valeurs de
l'indice vitalité
corallienne (en %)

Référentiel
DCE



Vitalité corallienne
hyperspectrale en
niveaux de gris
(noir 0 – blanc 100)



Adapter un indice de qualité DCE : la Vitalité Corallienne

Rouge en bordure : artefact de traitement lié à la barre de déferlement non masquée sur l'image d'origine

1^{er} Indicateur DCE préconisé

(suivi stationnel)

Vitalité Corallienne

=

% corail sur substrat potentiellement colonisable (mesure)

Méthode surfacique :

Fondamentale dans des milieux aussi mosaïqués et hétérogènes que les récifs coralliens

Complémentaire des méthodes stationnelles historiques :

GCRM (10 ans) adapté au suivi de tendances évolutives

Parfaite adéquation avec les objectifs de la DCE:

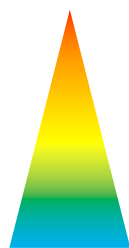
Demande à pouvoir appréhender la Masse d'eau dans sa globalité.

$$\text{Vitalité(HS)} = \frac{\text{TauxCorail}}{\text{TauxCorail} + \text{TauxALGUES}}$$

400m

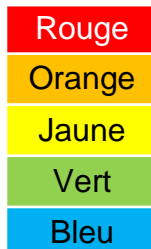
Plage de valeurs de l'indice vitalité corallienne (en %)

0 – 5
5 – 20,
20 – 40
40 – 60
60 -100



Qualité

Référentiel DCE



CONCLUSION

ATTENTION : tout cela n'est qu'un aperçu, il reste un grand nombre de méthodes de traitements à explorer et à consolider :

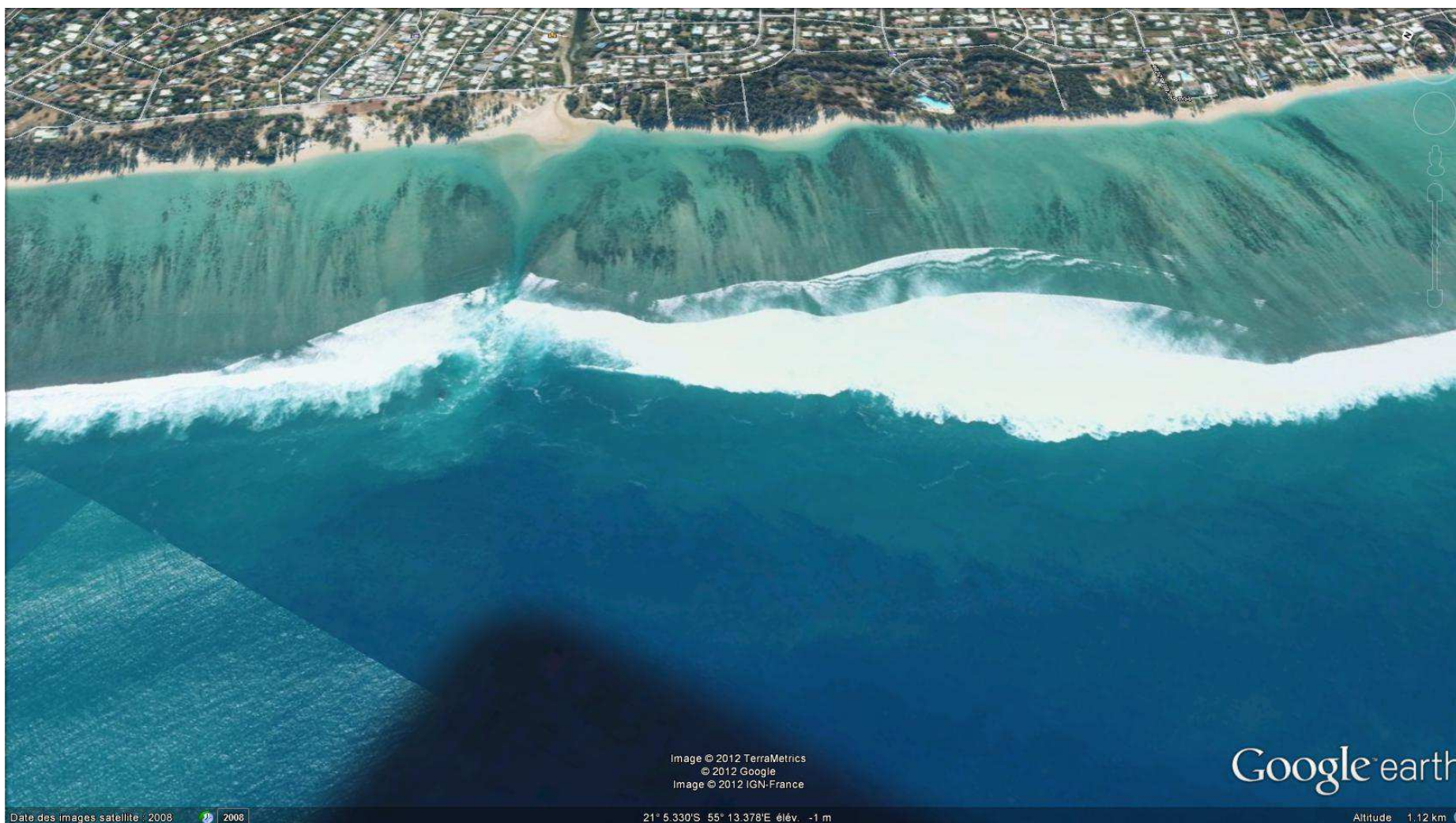
- **Amélioration des chaînes de traitement existantes**
Démélangeage/classification/segmentation, traitement des sables noirs d'origine basaltique, affiner les capacités de discrimination (μ phyto, cyanobactéries, groupes d'algues (Rouges, Vertes, Brunes), types coralliens (bleus, bruns), ...etc)
- **Explorer, tester et valider de nouvelles méthodes de traitement**
Traitement appliqués aux grands fonds (> 2m) : correction Colonne d'eau, cartographies,..etc
Extraction de nouveaux paramètres de la colonne d'eau.
- **Etendre et valider les chaînes de traitements à l'ensemble des îles de l'OI**
Mayotte et l'ensemble des îles Eparses acquises en 2009-2010 (VT en partie réalisées)
- **Préciser et améliorer le cahier des charges d'acquisition des images HS**
Limiter les variations radiométriques observées entre les lignes de vol
- **Bancariser de manière sécurisée les données brutes et les résultats**
Données brutes archivées sur bande magnétique (LTO3) au SHOM
Entre 30 et 40 To pour la seule île de La Réunion (H & B altitude)

Parallèlement, on note un intérêt grandissant pour ces nouvelles techniques

- Réduction des couts d'acquisition (allègement des vecteurs (ULM, Drones), amélioration des capteurs)
- Exploitation de l'HS/Lidar dans d'autres thématiques (Bathymétrie, Turbidité,..etc)
- Extension de l'HS aux satellites (CNES, ESA, Défense,..etc)

CONCLUSION

- **Imagerie hyperspectral = véritable potentiel**
valorisation des **résultats** mais également des "**plus values**" des prétraitements



CONCLUSION

- **Imagerie hyperspectral = véritable potentiel**
valorisation des **résultats** mais également des "**plus values**" des prétraitements



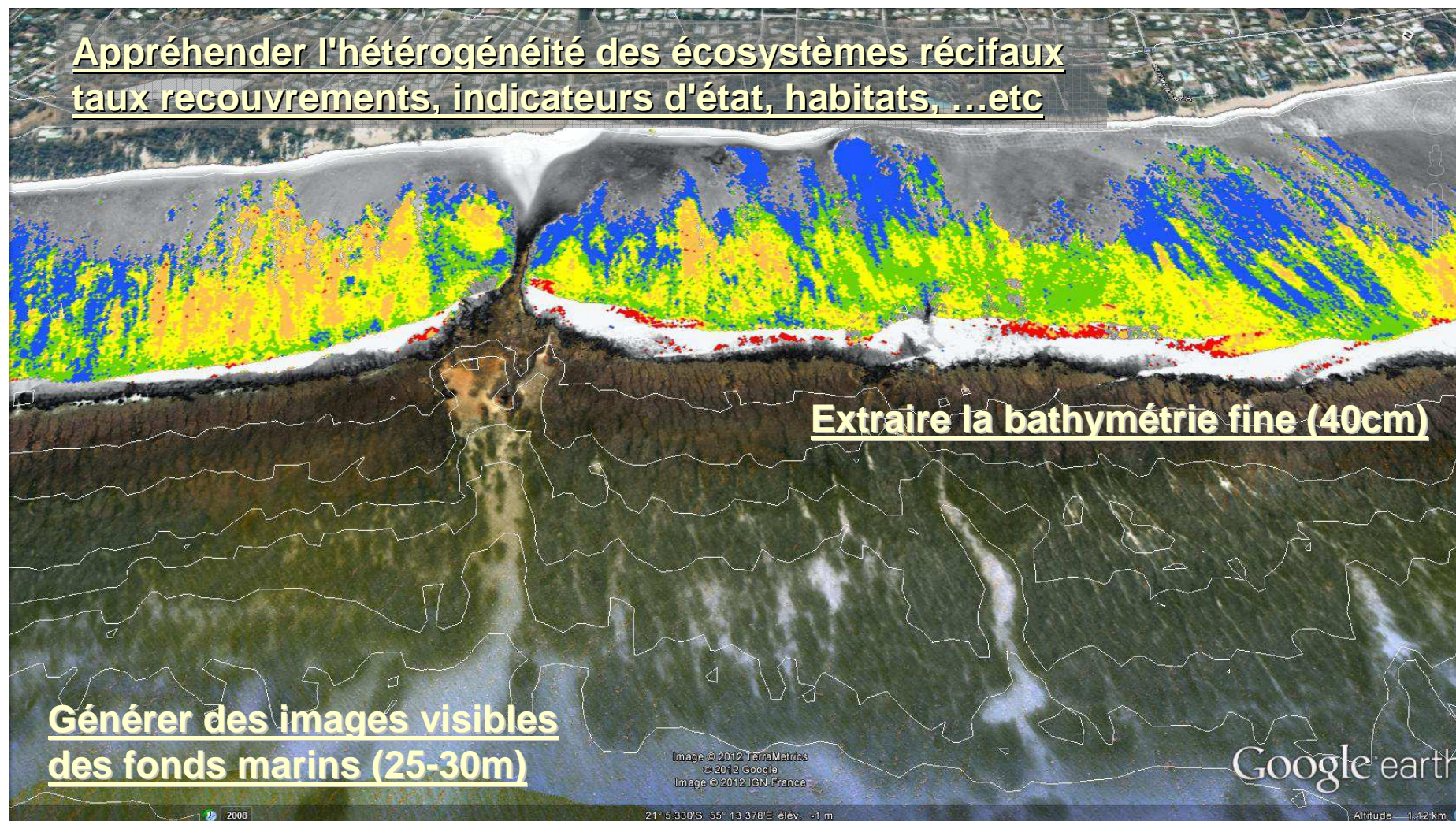
CONCLUSION

- **Imagerie hyperspectral = véritable potentiel**
valorisation des **résultats** mais également des "**plus values**" des prétraitements



CONCLUSION

- **Imagerie hyperspectral = véritable potentiel**
valorisation des **résultats** mais également des "**plus values**" des prétraitements



CONCLUSION

- **Imagerie hyperspectral = véritable potentiel**
valorisation des **résultats** mais également des "**plus values**" des prétraitements

