



Délégation océan Indien
Le Port - La Réunion

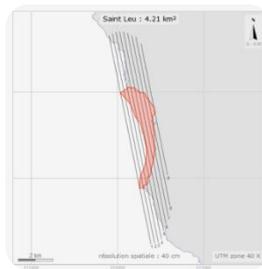
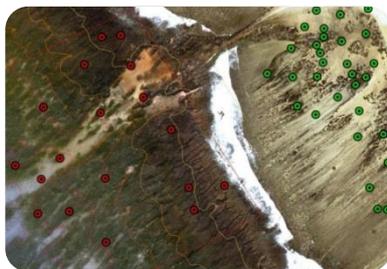
UMR 6538 - LDO
Brest

Office de l'Eau Réunion
Saint Denis – La Réunion

Rapport Ifremer n° :RST-DOI/ 2015-14

Pascal MOUQUET, Michel ROPERT, Touria BAJJOUK, Christophe DELACOURT

HYSCORES : Cartographies hyperspectrales appliquées aux écosystèmes coralliens et à leur état de santé



Rapport intermédiaire de fin de campagne d'acquisition

15 octobre 2015

Partenaires scientifiques et techniques :



Partenaires financiers :



HYSCORES

Cartographies hyperspectrales appliquées aux
écosystèmes coralliens et à leur état de santé

Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : RST-DOI/2015-14 Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>		date publication : 15/10/15 nombre de pages : 33 bibliographie : oui illustration(s) : oui langue du rapport : Fr
Validé par Office de l'eau Réunion, Ifremer, LDO-UBO		
Titre de l'article HYSCORES : Cartographies hyperspectrales appliquées aux écosystèmes coralliens et à leur état de santé Rapport intermédiaire de fin de campagne d'acquisition		
Contrat n° Rapport intermédiaire <input checked="" type="checkbox"/> Rapport définitif <input type="checkbox"/>		
Auteur(s) principal(aux) : Pascal MOUQUET, Michel ROPERT, Touria BAJJOUK, Christophe DELACOURT		Organisme / Direction / Service, laboratoire LDO-UBO, Brest / Seas-OI, Saint-Pierre Délégation Ifremer océan Indien, Le Port Ifremer, DYNECO/AG, Brest LDO-UBO, Brest
Cadre de la recherche : Convention de collaboration de Recherche HYSCORES (Office de l'Eau, UBO, Ifremer) – ref Ifremer n° 15/1212082		
Résumé <p>En 2013, les résultats des travaux menés dans le cadre des projets "Spectrhabent-OI" (2009-2012), étendus au projet "Bioindication" (2012-2013) ont permis d'illustrer le potentiel important représenté par les nouvelles techniques d'imagerie aérienne hyperspectrale appliquées sur les plateformes récifales de l'île de La Réunion. Au-delà de l'apport de l'hyperspectral dans une dimension descriptive, il a été montré que la combinaison d'indices de couverture algale et corallienne permettait d'envisager l'élaboration d'un indice surfacique d'état, adapté aux plateformes récifales, appelé "vitalité corallienne hyperspectrale" (VCH). L'objectif principal du projet HYSCORES (2015-2016) est de consolider ces premiers résultats tout en évaluant les possibilités de mise en œuvre opérationnelle de ces nouvelles méthodes dans le cadre de la DCE (directive-cadre européenne sur l'eau (2000/60/CE)). Pour cela 3 axes de recherche sont proposés : 1) l'étude et l'évaluation de la pertinence de l'indicateur VCH proposé en 2012 ; 2) la capacité de l'indicateur à mettre en évidence une évolution de l'état global entre 2009 et 2015 ; 3) mieux cerner et quantifier les moyens et les ressources nécessaires à la mise en œuvre de ces nouvelles techniques en routine. Le projet s'appuie pour cela sur une nouvelle campagne d'acquisition de données brutes hyperspectrales couvrant les 4 principaux récifs frangeants de La Réunion.</p> <p>Faisant suite à la 1ère réunion du comité de pilotage du projet HYSCORES, ce rapport intermédiaire présente le projet et ses objectifs dans leur globalité. Il dresse le bilan de la nouvelle campagne d'acquisition de données (images hyperspectrales et "vérités terrain") et ajuste les perspectives et jalons pour les phases de traitements, d'analyses et d'exploitations de données pour en vue de finaliser le projet.</p>		
Mots-clés Océan Indien, La Réunion, récifs coralliens, hyperspectral, imagerie, cartographie, indicateur, vitalité corallienne, recouvrements, algues, corail, sable, herbiers,		

Table des matières

1. Préambule	1
2. Rappel du contexte et objectifs du projet Hyscores	1
3. Actions réalisées et en cours (début septembre 2015)	3
3.1. Acquisition des données	3
3.1.1. Campagne d'acquisition aériennes d'images hyperspectrales :.....	3
3.1.2. Recrutement du CDD ingénieur "analyse d'image"	4
3.1.3. Contrôles de "vérité terrain"	4
3.2. Particularités hydro-climatiques de la période	5
3.2.1. Fortes houles	5
3.2.2. Anomalie marégraphique.....	5
4. Etat d'avancement et jalons :	6

1. Préambule

Ce rapport intermédiaire du projet Hyscores fait suite à la première réunion de projet du 23 septembre 2015. Il en reprend les grandes lignes, en intégrant les différents commentaires faits durant la réunion.

Personnes présentes le 23/09/2015 (salle de réunion Ifremer le Port) :

- Léonard Durasnel (Office de l'Eau Réunion)
- Pascal Mouquet (UBO/Seas-OI)
- Michel Ropert (Ifremer)

En visioconférence (Brest) :

- Touria Bajjouk (Ifremer)
- Christophe Delacourt (LDO/UBO)

Invités à titre d'expert :

- Gwenaëlle Pennober (Université de la Réunion)
- Aurélie Sand (SEAS-OI)
- Pascal Talec (DEAL Réunion)

Sont reportés en annexe de ce rapport intermédiaire les documents supports de cette réunion du 25 septembre 2015 :

- le rapport de mission de l'ENSSAT, partenaire métropolitain ayant effectué les acquisitions aériennes hyperspectrales dans le cadre du projet HYScores,
- la présentation Powerpoint de cette réunion.

2. Rappel du contexte et objectifs du projet Hyscores

En 2013, les résultats des travaux menés dans le cadre des projets "Spectrhabet-OI" (DEAL Réunion / Ifremer/ AAMP / TAAF), étendus au projet "Bioindication" (Ifremer/ONEMA pour la DCE) ont permis d'illustrer le potentiel important représenté par les nouvelles techniques d'imagerie aérienne hyperspectrale appliquées sur les plateformes récifales de l'île de La Réunion. Les résultats, présentés lors du séminaire ONEMA inter-DOM de mars 2014, ont révélé l'intérêt de ces nouvelles techniques pour appréhender l'hétérogénéité spatiale et temporelle des écosystèmes récifaux de faible profondeur.

Au-delà de l'apport de l'hyperspectral dans une dimension descriptive (bathymétrie très haute résolution, géomorphologie, nature des fonds, habitats, ...), il a été montré que la combinaison d'indices de couverture algale et corallienne permettait d'envisager l'élaboration d'un indice surfacique, adapté aux plateformes récifales, appelé "vitalité corallienne hyperspectrale" (VCH). Il reprend le principe de l'indice de "vitalité corallienne" retenu et mesuré *in situ* dans le cadre du réseau de suivi DCE "benthos de substrat durs" (mis en œuvre à partir de 2015 sur les pentes externes des récifs frangeants de l'île de La Réunion), en lui apportant une dimension supplémentaire de nature surfacique absente de l'approche stationnelle.

Les nouvelles données acquises dans le cadre du projet HYScores, ont vocation à venir alimenter et enrichir les travaux déjà initiés dans le cadre de l'action Bioindication (Ifremer/ONEMA, 2012) en intégrant une dimension temporelle nouvelle. Ces travaux qui s'étaleront entre 2015 et 2016 se focaliseront en priorité sur 3 axes :

- l'étude et l'évaluation de la pertinence de l'indicateur VCH proposé en 2012 : indicateur surfacique d'état de santé complémentaire à celui retenu pour la DCE et potentiellement mieux adapté à l'hétérogénéité des habitats qui caractérisent les écosystèmes coralliens sur les plateformes récifales de La Réunion,
- capacité de l'indicateur à mettre en évidence une évolution de l'état global : appréhendée et évaluée par analyse diachronique avec les résultats déjà publiés en 2012 (Bioindication),
- dans la perspective de pouvoir identifier, quantifier et chiffrer l'ensemble des étapes, des ressources et des moyens nécessaires à la mise en œuvre de ces nouvelles méthodes d'évaluation dans un contexte opérationnel en routine : comparaison approche stationnelle (campagne DCE BSD 2015) et surfacique / hyperspectrale (Hyscores).

L'ensemble des actions envisagées dans le cadre du projet s'articulent selon différents axes :

- ✓ *Acquisition d'un nouveau jeu de données hyperspectrales couvrant l'ensemble des 4 zones récifales de La Réunion, sur le même principe que celui acquis en 2009-2010 lors des campagnes Litto3D (IGN/SHOM pour le compte de la DEAL Réunion).*
- ✓ *Réalisation synchrone des contrôles terrains.*
- ✓ *Développement, reprise et mise à jour des méthodes et algorithmes de traitements issus de Spectrhabet / Bioindication en regard des avancées réalisées depuis 2012*
- ✓ *Traitement et exploitation des données en vue de confirmer la pertinence de l'indicateur de type surfacique (VCH) en intégrant les résultats et les améliorations issues des travaux de R&D les plus récents ;*
- ✓ *Mise à jour des cartographies hyperspectrales des zones récifales : indicateur VCH consolidé (cartes + niveau global de représentativité), images du fond, topographie haute résolution, nature des fonds (4 principales composantes : sable, algue, corail, herbier). Ces cartes seront accessibles et disponibles à la diffusion via le portail SEXTANT océan Indien.*
- ✓ *Comparaison analytique des résultats des deux campagnes et des deux traitements (2009 et 2015), pour déterminer une tendance.*
- ✓ *Une évaluation détaillée des moyens et des ressources nécessaires dans la perspective d'une intégration de cette méthode d'évaluation dans le cadre du RCS de la DCE.*
- ✓ *Mise à disposition des algorithmes et scripts de traitement de la donnée.*

3. Actions réalisées et en cours (début septembre 2015)

3.1. Acquisition des données

3.1.1. Campagne d'acquisition aérienne d'images hyperspectrales :

Dans le cadre de la convention de collaboration de recherche "HYSCORES" entre l'Office de l'Eau Réunion, l'UBO et l'Ifremer, les acquisitions aériennes ont été organisées selon le planning prévisionnel initial, entre le 21 et le 23 mai 2015.

A noter que dans un contexte incertain quant à la mise en œuvre opérationnelle de cette mission (confirmée 1 mois avant l'échéance), le partenaire technique TSI2M (Université de Rennes) a fait preuve d'une grande réactivité pour anticiper et mener avec succès l'ensemble de la campagne aérienne.

L'ensemble des surfaces théoriques a ainsi été couvert avec une parfaite superposition entre les lignes de vol (sans trous dans les données). Les conditions météorologiques particulièrement favorables ont permis d'obtenir une très bonne qualité des images livrées.

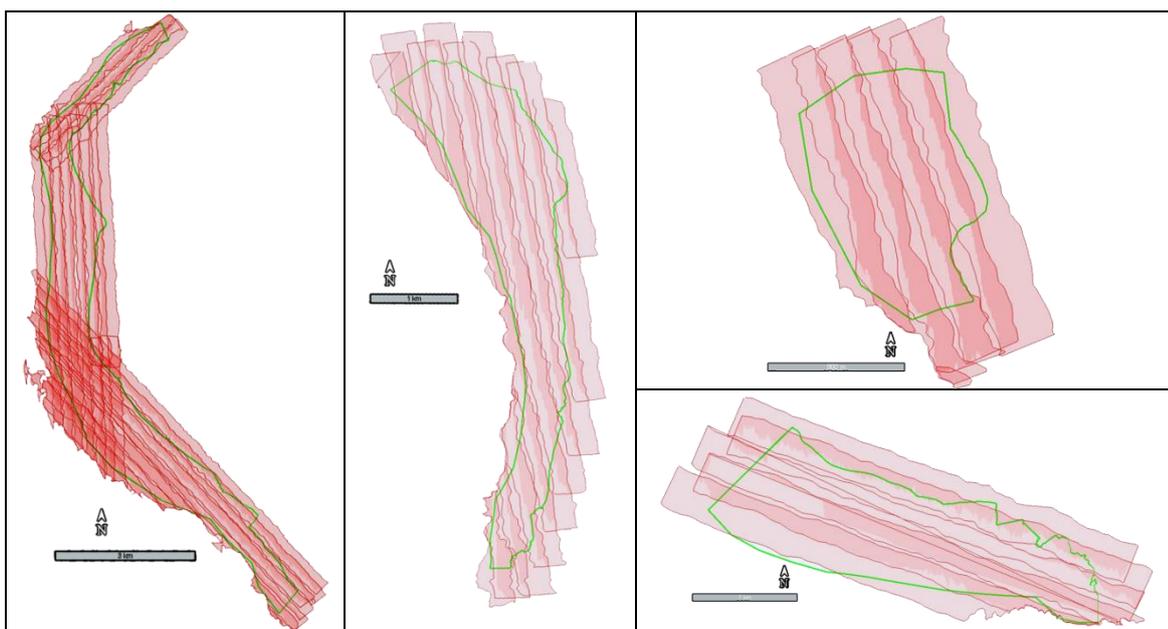


Figure 1. Les emprises réelles d'acquisition (polygones rouges) se superposent sans trou et couvrent l'ensemble des zones d'acquisition théoriques (polygones verts). De gauche à droite et de haut en bas : Saint Gilles, Saint Leu, Etang Salé et Saint Pierre.

Les détails des zones acquises, des caractéristiques des images, des conditions météo et atmosphériques, ainsi que tous les informations techniques inhérentes à la mission de l'équipe TSI2M sont présentés dans les deux annexes jointes (présentation PPT et rapport de mission PDF).

Les données ont été récupérées sous format numérique entre juillet et septembre 2015, mises à disposition directement depuis les serveurs de l'ENSSAT et téléchargées au fil des mises à disposition. Elles représentent un volume de plus de 300Go pour environ 1400 fichiers numériques.

3.1.2. Recrutement du CDD ingénieur "analyse d'image"

La mise en œuvre et le recrutement du CDD ingénieur prévu pour l'acquisition, le traitement et l'analyse des données, n'ont pu être réalisés par l'UBO que le 17 août 2015. Il a cependant pu participer à l'organisation et au déroulement des différentes campagnes de terrain grâce à un mois de CDD anticipé proposé par l'UBO / CNRS entre mai et juin 2015.

La signature d'une convention d'accueil entre l'UBO et l'Université de la Réunion, prévue mi-octobre 2015 permettra de consolider l'affectation du CDD dans le locaux de Seas-OI. Dans le cadre du projet deux stations de travail de type PC sont mises à disposition par l'Ifremer, financées via une subvention versée par l'Office de l'Eau Réunion, ainsi que les licences et logiciels nécessaires pour mener à bien les différents traitements et analyses sur les données. La licence d'utilisation du logiciel de traitement d'images IDL+ENVI est fournie par l'UBO et SEAS-OI.

3.1.3. Contrôles de "vérité terrain"

Le travail de vérité-terrain, nécessaire aux différentes analyses de données depuis l'élaboration des chaînes de traitement jusqu'à la validation des résultats finaux, a été réalisé entre la mi-juin et mi-septembre 2015. Il est à ce jour pratiquement achevé, et rassemble 255 points sur les plateformes récifales et 73 points sur les pentes externes.

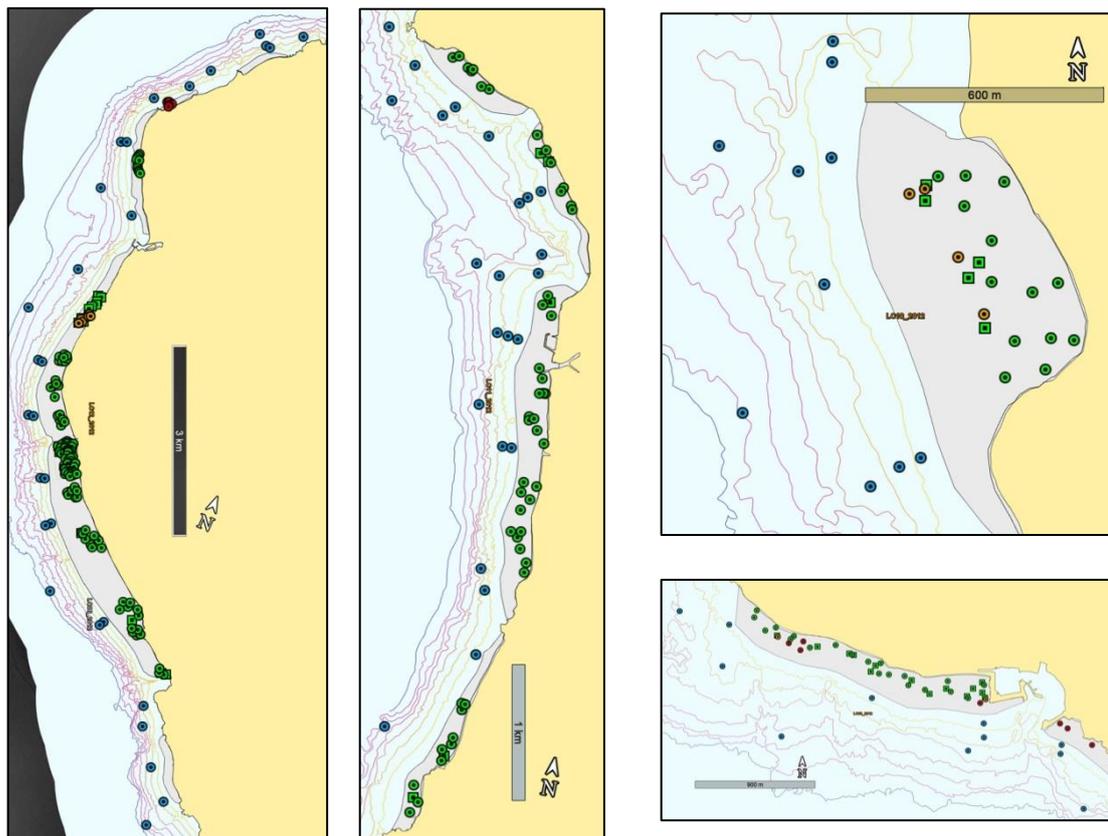


Figure 2. Localisation des points de VT. En bleu pente externe, autres couleurs platier. De gauche à droite et de haut en bas : Saint Gilles, Saint Leu, Etang Salé et Saint Pierre.

La réalisation de ces "vérités terrain" a été contrainte par les délais de mise en œuvre des conventions contractuelles. Initialement prévues avant, pendant et après les acquisitions aériennes, ces opérations de terrain ont malheureusement dû

être repoussées pour pouvoir être menée et coordonnées par l'ingénieur en charge du traitement des images (CDD UBO). Ce retard a eu des conséquences sur le planning prévisionnel des vérités terrain du fait :

- de la baisse du nombre de personnel "terrain" mobilisable sur le projet après le mois d'août,
- de conditions hydro-climatiques de plus en plus défavorables liées à l'arrivée de la saison estivale (voir chapitre suivant).

3.2. Particularités hydro-climatiques de la période

Au cours des mois de juin à septembre 2015, plusieurs évènements marégraphiques et météorologiques particuliers, de forte amplitude et imprévisibles se sont produits, avec des conséquences probables sur les recouvrements biologiques de la plateforme récifale. Ils concernent donc directement les résultats de cette étude.

3.2.1. Fortes houles

Ainsi, plusieurs épisodes de forte houle (>3m) ont touché les côtes réunionnaises ([données archives WindGuru, modèle GFS 27km](#)) :

- 31/05 – 03/06 : 3,5m
- 07/06 – 09/06 : 4,2m
- Journée du 15/06 : 3m
- 22/06 – 25/06 : 3,5m
- 05/07 – 06/07 : 3m
- 08/07 – 10/07 : 3,8m
- 02/08 – 03/08 : 3,4m

Ce type d'évènement peut avoir des conséquences notables sur les recouvrements. Ils sont principalement mécaniques, liés à l'impact des vagues dans la zone de déferlement et à l'augmentation ponctuelle globale de l'hydrodynamisme et être à l'origine notamment (liste non exhaustive) de :

- casse corallienne,
- arrachages algaux,
- modification de l'ensablement

3.2.2. Anomalie marégraphique

La Réunion a subi dans le même temps une décote importante et prolongée du niveau marin moyen (baisse de 35cm entre mi-avril et début mai), du même ordre de grandeur que le marnage habituel, avec pour effet immédiat l'exondation prolongée d'une grande partie de la plateforme récifale et des différents organismes la colonisant (dont coraux).

Les principales conséquences de cet évènement, relevées sur le terrain lors des VT, montrent une forte mortalité corallienne de la partie apicale des colonies localisées sur la plateforme récifale (mortalité proche de 100%, quel que soit le type corallien). Cette mortalité récente est systématiquement associée avec une augmentation en parallèle des espèces colonisatrices à développement rapide comme les turfs algaux¹.

Ces phénomènes n'ont pas d'impact direct sur les traitements qui seront réalisés à partir des images hyperspectrales qui sont antérieures à l'évènement. En effet les

¹ Cf diapo n° 20 à 24 en annexe pour le détail.

images brutes acquises représentent l'état des plateformes récifales à un instant de leur acquisition. Le phénomène étant postérieur à la campagne aérienne, aucune incidence n'est perceptible sur les données numériques acquises. La plus grande attention sera cependant portée sur les interprétations des vérités terrain. En effet ces dernières ayant été, pour la plupart, réalisées pendant ou après l'évènement, le risque de voir des divergences entre les images acquises et les observations *in situ* ne peut être exclu. Un certain nombre de points de validation terrain peuvent donc apparaître "douteux" et devra certainement être écarté.

Toutefois, la mutualisation des données d'observation *in situ*, avec deux autres projets de cartographie récifale sur la Réunion (*Fiches Habitats et Cartographies Associées* de la DEAL / Ecomar et *Hypercoral* Ifremer / CNRS / UBO)², devrait permettre de pouvoir étendre le nombre de points exploitables en "vérité terrain". En effet, de nombreuses observations ont été réalisées juste avant ou pendant la campagne d'acquisition aérienne, permettant de disposer de points de contrôles complémentaires à ceux acquis dans le cadre de HYScores (au total plus de 500 points ont été relevés).

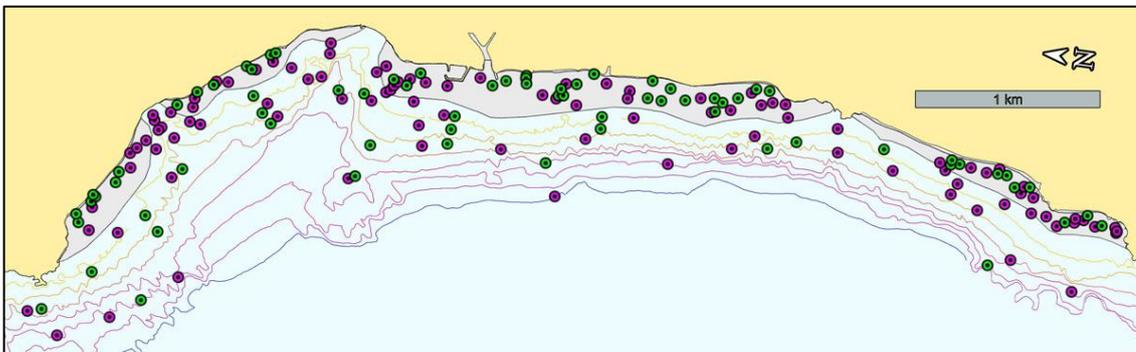


Figure 3. Exemple sur Saint Leu de points de VT supplémentaires dont pourra bénéficier le projet Hyscores : en rose les points de VT du projet Fiches Habitats permettent de densifier le réseau de points Hyscores (verts).

4. Etat d'avancement et jalons :

Au stade actuel du projet, un certain nombre d'objectifs ont d'ores et déjà été réalisés parmi lesquels :

- Acquisition nouveau jeu de données hyperspectrales sur les 4 zones récifales
- Contrôles "vérité terrain"

Les prétraitements des données brutes (conversion / formatage des données brutes) sont en cours avec pour objectif d'optimiser les volumes de données générés.

² Les protocoles d'observation *in situ* de ces différentes actions ont fait l'objet d'une intercalibration préalable. Cette démarche volontaire et non inscrite dans un cadre conventionnel a été initiée par les responsables opérationnels de ces actions dans une perspective de partage et de mutualisation des "vérités terrain", hors cadre contractuel les liants.

Les algorithmes de traitements (scripts IDL/ENVI) initiés dans le cadre des projets spectrhabet/Bioindication sont également en cours de reprise pour y intégrer les ajustements et optimisations survenus récemment.

La validation des résultats issus des traitements (confrontations images / "vérités terrain") pourra alors être envisagée avec 1) une attention particulière liée à l'impact possible des anomalies marégraphiques survenues ces derniers mois, 2) des bénéfices à attendre des observations complémentaires réalisées dans le cadre des projets "fiches habitats" et "Hypercoral" qui ont d'ores et déjà été récupérées.

C'est alors que les productions cartographiques pourront être envisagées. Cette phase importante intégrera la mise à jour de l'Atlas cartographique Spectrhabet/Bioindication existant (<http://dx.doi.org/10.13155/29653>), l'analyse diachronique des 2 campagnes successives 2009/2015 ainsi que l'archivage/diffusion des résultats sous Sextant.

En regard des contraintes rencontrées et des retards accumulés, le chronogramme du projet a pu être ajusté (Figure 4).

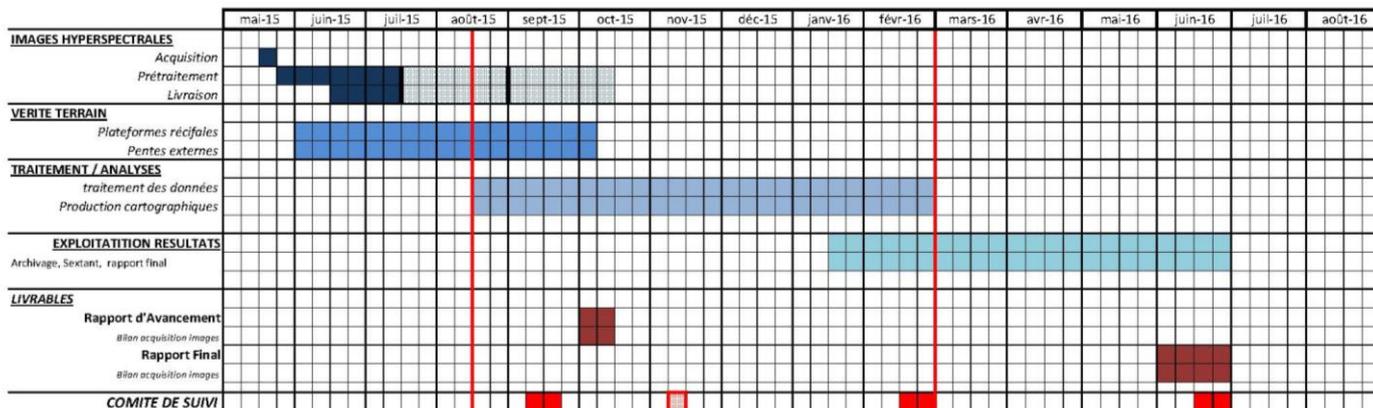


Figure 4 : chronogramme du projet HYSCORES ajusté au terme de la première réunion du comité de suivi (septembre 2015)

Annexes :

- **Rapport de fin de mission d'acquisition des données hyperspectrales** :
"Acquisition et fourniture des images de télédétection hyperspectrales de l'île de la Réunion, TSI2M, Compte rendu d'opération, contrat Ifremer n° 15/1211954, 17 pages
- **Diaporama de support de la première réunion de suivi du projet Hyscores** :
Réunion Office de l'Eau, UBO, Ifremer, SEAS-OI, Université de la réunion, le 23 septembre 2013 dans les locaux de la Délégation ifremer OI.

Table des matières

1- Contexte et rappel du cahier des charges	1
1.1 Contexte	1
1.2 Rappel du cahier des charges	1
2- Compte rendu de l'opération d'acquisition	3
2.1 Préparation des missions	3
2.2 Collecte des données de terrain	3
2.3 Acquisition des images hyperspectrales aériennes	4
- Journée du 21 mai 2015	4
- Journée du 22 mai 2015	4
- Journée du 23 mai 2015	5
3- Livrables	5
3.1 Organisation des données	5
3.2 Description des données livrées	6
3.2.1 VT : Spectres des invariants	6
3.2.2 Att_Cor : Correction atmosphérique	6
3.2.3 Attitude_Data : Données d'attitude de l'acquisition	7
3.2.4 Downwelling_Irradiance : spectre du flux incident	7
3.2.5 DTM : modèle numérique de terrain	7
3.2.6 Flight_Plan : Plans de vol utilisés pour l'acquisition	7
3.2.7 Mosaic : Mosaïque 4 canaux	8
3.2.8 Orthorectification : Orthorectification des images	8
3.2.9 Quick_Looks : Aperçus couleur	8
3.2.10 Radiance_Images : Images en luminance	9
3.2.11 Reflectance_Images : Images en réflectance	9
3.2.12 RVB_Subsets : Echantillons RVB+IR	9
3.2.13 Sensor Data : Images brutes	9
Annexes	10
Annexe 1 : Plans de vol	10
Annexe 2 : Carte de l'emplacement des invariants	11
Annexe 3 : Conditions météorologiques observées pendant les acquisitions aériennes	13
Annexe 4 : Heure de survol des axes	15

Index des tables

Tableau 1: Répartition des invariants sur l'ensemble des sites	4
Tableau 2: Coordonnées géographiques de l'emplacement des invariants	12



Acquisition et fourniture des images de télédétection hyperspectrales de l' le de la Réunion

2015

Compte rendu d'opération

Contrat IFREMER Ile de la Réunion
Ref. IFREMER 15/1211954

J. Lefèvre, C. Cariou, B. Vozel, K. Chehdi
Equipe TSI2M

IETR-UMR CNRS

1- Contexte et rappel du cahier des charges

1.1 Contexte

Les travaux réalisés dans le domaine de l'hyperspectral depuis 2009 sur l'île de la Réunion ont contribué à mettre en évidence le potentiel important de ces nouvelles techniques d'imagerie aérienne pour la cartographie des récifs coralliens.

Pour permettre une réactualisation des différentes cartographies, de consolider les développements méthodologiques et les résultats obtenus sur la base des images acquises en 2009, une nouvelle campagne d'acquisition de données hyperspectrales a été planifiée sur les zones récifales de la Réunion en 2015, sur la période allant d'avril à mai.

Cette nouvelle campagne d'acquisition a été confiée à l'équipe TSI2M de l'IETR dans le cadre d'une convention de prestation intitulée « **acquisition et fourniture des images de télédétection hyperspectrales non traitées de la Réunion** ».

Les zones d'acquisition et les livrables sont rappelés ci-dessous.

1.2 Rappel du cahier des charges

- Zones d'acquisition

Le cahier des charges définit 4 sites distincts d'une superficie totale estimée de 21 km². Ils sont situés en zone littorale à proximité de Saint Gilles-les Bains, Étang Salé, Saint Leu et Saint Pierre à l'île de la Réunion (Fig. 1).

Les caractéristiques des images à acquérir sont :

- résolution spatiale : 40cm
- résolution spectrale : 10nm
- plage spectrale : [400nm ; 970nm]

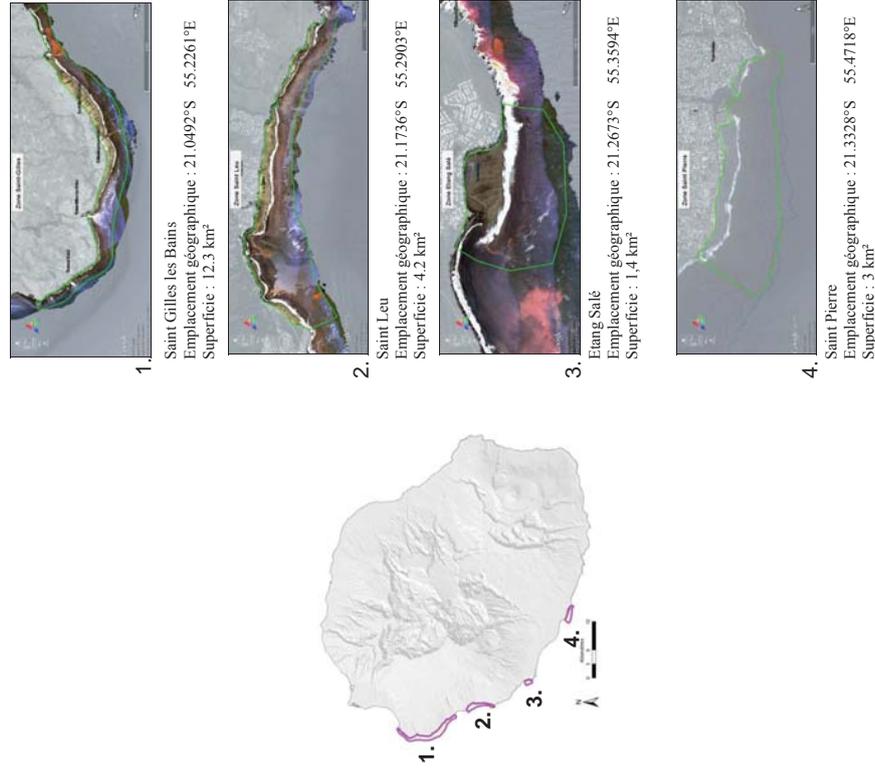


Figure 1. Localisation des 4 zones d'acquisition.

Les plans de vol associés à chaque zone sont donnés en annexe I.

- Délivrables

Les données prétraitées à fournir correspondent aux images acquises sur les zones précisées ci-dessous :

- Les images en **luminances non rectifiées** au format ENVI Standard (16 bits non signés), SRU : $1000 = 1\mu W / (cm^2 \cdot sr \cdot nm)$.
- Les images en **réflectance non rectifiées** au format ENVI Standard (float).
- Les images en **réflectance orthorectifiées et géoréférencées** au format ENVI Standard (float), géoréférencement : UTM - WGS84.
- **Les données d'attitude** enregistrées au cours de l'acquisition.
- **La carte d'affectation** des pixels pour la **géorectification** des images brutes (Grid Lookup Tables) au format ENVI Standard.
- **Les observations météorologiques et conditions atmosphériques** liées aux jours d'acquisition.

2- Compte rendu de l'opération d'acquisition

2.1 Préparation des missions

Chaque site à acquérir est constitué de surfaces immergées situées à faible et moyenne profondeur (0 à 30m). C'est pourquoi, une meilleure condition d'acquisition aérienne optimisant leur observation nécessite d'intervenir au moment ou l'éclairage et l'état de surface de la mer sont les plus favorables. Le mariage correspondant à ce secteur géographique (environ 40cm maximum) sera considéré comme négligeable.

Même par beau temps, le profil météorologique d'une journée type sur le littoral sud-ouest de l'île peut se résumer de la façon suivante : le ciel clair en début de matinée évolue progressivement vers un ciel chargé en milieu et fin de matinée. La stratégie d'intervention consiste donc à choisir le site et l'heure d'intervention les plus appropriés en fonction de la météo, de l'état de la mer et de l'ordre de priorité des acquisitions pour chaque site.

Pour réduire le temps d'approche des sites, les membres de l'équipe TS12M et l'avionneur (équipe aéroportée) chargés de la mise en œuvre de la campagne d'acquisition aérienne ont choisi l'aéroport de Pierrefonds situé au sud de l'île près de Saint Pierre.

Des moyens de téléphonie mobile avant le vol et, par radio VHF (fournie par le pilote) pendant les phases de vol ont été immobilisés pour la synchronisation des opérations entre l'équipe aéroportée et l'équipe de terrain (IFEMER). Ceci permet un contact permanent.

Cette stratégie permet à l'équipe de terrain de décrire les conditions météorologiques exactes sur les sites choisis et de connaître les heures de décollage et d'arrivée sur site de l'avion.

2.2 Collecte des données de terrain

La correction atmosphérique des images aériennes hyperspectrales nécessite la connaissance du spectre de plusieurs matériaux visibles sur les images. Ces matériaux de type invariant doivent avoir de faibles propriétés spéculaires. La réflectance spectrale de ces différents matériaux est mesurée sur le terrain à l'aide d'un spectroradiomètre de type ASD handHeld. La mesure est faite les jours qui précèdent l'acquisition. Pour chaque point, la mesure est effectuée de la manière suivante :

- vérification de l'état des matériaux (propre, sec, plat)
- vérification du bon éclairage (ciel clair sans nuage, pas d'ombre portées, pas de

réverbérations)

- calibration de l'appareil à l'aide du spectralon fourni par l'équipe TS12M
- mesure de la réflectance du matériau en cinq points rapprochés distribués aléatoirement dans un cercle de 1m de diamètre. Les cinq mesures sont réalisées successivement dans un laps de temps court (moins de 10 secondes). Pour assurer une bonne mesure, l'opérateur se positionne pieds joints, le bras tendu horizontalement devant lui, le spectroradiomètre orienté verticalement vers le sol, laissant le soleil sur sa gauche ou sa droite.
- prise d'au moins deux photos l'une montrant le matériau vue du dessus, l'autre intégrant le point de mesure dans un environnement plus large.

Le tableau suivant donne la répartition des 53 points relevés par site.

Sites	St Gilles-les-bains	Boucan Canot	L'Hermitage	La saline	St Leu	Etiang Salé	St Pierre
Nombre de points	12	16	5	2	8	4	6

Tableau 1: Répartition des invariants sur l'ensemble des sites

Le positionnement exact des points est précisé en annexe 2.

2.3 Acquisition des images hyperspectrales aériennes

- Journée du 21 mai 2015

- Portion acquise : **Étiang Salé, Zone Nord de Saint Gilles-les-Bains** (Boucan Canot).
- Conditions météorologiques : favorables (voir observations météo en annexe 3)
- Résolution spatiale/spectrale des images acquises : 40cm/10nm, plage [400nm ; 970nm]
- Axes de vol survolés : Étiang Salé : 1 à 5, St Gilles Nord : 1 à 4 (voir plan de vol en annexe 1)
- Plage horaire d'intervention : 10:23:40 à 11:22:00
- Heure de survol de chaque axe : (voir détail en annexe 4)
- Invariants survolés : [WPT_07 - WPT_10] et [WPT_26 - WPT_41] (voir emplacement des invariants en annexe 2)

- Journée du 22 mai 2015

- Portion acquise : **Saint Leu, Zone Centre de Saint Gilles-les-Bains**
- Conditions météorologiques : favorables (voir observations météo en annexe 3)
- Résolution spatiale/spectrale des images acquises : 40cm/10nm, plage [400nm ; 970nm]
- Axes de vol survolés : Saint Leu : 1 à 9, St Gilles Centre : 1 à 7 (voir plan de vol en annexe 1)
- Plage horaire d'intervention : 09:36:26 à 11:12:08
- Heure de survol de chaque axe : (voir détail en annexe 4)
- Invariants survolés : [WPT_11 - WPT_18], [WPT_21 - WPT_25] et [WPT_42 - WPT_53] (voir emplacement des invariants en annexe 2)

- Journée du 23 mai 2015

- Portion acquise : **Saint Pierre, Zone Sud de Saint Gilles-les-Bains** (La saline).
- Conditions météorologiques : favorables (voir observations météo en annexe 3)
- Résolution spatiale/spectrale des images acquises : 40cm/10nm, plage [400nm ; 970nm]
- Axes de vol survolés : Saint Pierre : 1   5, St Gilles Sud: 1 à 8 (voir plan de vol en annexe 1)
- Plage horaire d'intervention : 09:17:24 à 10:36:10
- Heure de survol de chaque axe : (voir détail en annexe 4)
- Invariants survolés : [WPT_01 - WPT_06] et [WPT_19 – WPT_25] (voir emplacement des invariants en annexe 2)

3- Livrables

3.1 Organisation des données

Le détail de l'organisation des données fournies est précisé pour la zone "Saint-Gilles-les-Bains". Pour les autres zones les données sont organisées de manière similaire.

	Livrables
	Saint Gilles-les-Bains
	At_Corr <i>Passage en réflectance</i>
	Attitude_Data <i>Données d'attitude utilisées pour l'orthorectification</i>
	Downwelling_Irrad. <i>Luminance spectrale du flux incident au niveau de l'avion</i>
	DTM <i>Modèle numérique de terrain utilisé pour l'orthorectification</i>
	Flight_Plan <i>Plans de vol utilisés pour la mission</i>
	Mosaic <i>Mosaïque virtuelle 4 canaux (RVB+IR)</i>
	Orthorectification <i>Carte d'affectation des pixels pour l'orthorectification des images</i>
	Quick_Looks <i>Aperçus couleur au format png � différentes résolutions spatiales</i>
	Radiance_Images <i>Images en luminance non rectifiées</i>
	Reflectance_Images <i>Images en réflectance non rectifiées</i>
	RVB_Subsets <i>Subsets RVB+IR des images en luminance</i>
	Sensor_Data <i>Données brutes issues du capteur</i>
	Saint Leu
	Etang Salé
	Saint Pierre
	VT <i>Spectres des invariants</i>
	Photos
	Spectres_Binaires

3.2 Description des données livrées

3.2.1 VT : Spectres des invariants

Données issues de la campagne de terrain menée avant l'acquisition le 15, 16 et 18 mai 2015. Les données fournies sont organisées comme suit.

Le dossier "Photos" regroupe l'ensemble des photos prises sur le terrain. Alors que le dossier "Spectres_binaires" contient tous les spectres en réflectance au format binaire ASD. De plus, les fichiers listés ci-dessous apportent les informations suivantes :

- VT_Invariants_mai_2015.shp : emplacement des points de mesure au format shapefile
- VT_Invariants_mai_2015.sli : librairie spectrale au format envi-Standard
- VT_Invariants_mai_2015.resampled.sli : librairie spectrale au format envi-Standard r -échantillonnée selon l'échantillonnage spectrale des images aérienne
- VT_Invariants_mai_2015.ods 1 : ensemble des meta-données (wpt, GPS, Lieu, Opérateur, Date, Heure (UTC+4), Num Spectre, Nb Photos, Lat Long, Matériau, Observations) au format OpenOffice tableur
- VT_Invariants_mai_2015.kml : ensemble des meta-données au format xml pour Google Earth.

3.2.2 Atf_Cor : Correction atmosphérique

Fichiers résultant du processus de passage en réflectance.

Fichiers résultat :

IFREMER_track-xx.cff : fichier permettant de réaliser la correction atmosphérique à l'aide d'ENVI

Pour cela, à partir du menu principal d'ENVI, sélectionner :

Basic Tools -> Preprocessing -> Calibration Utilities -> Empirical Line -> Calibrate Using Existing Factors

Indiquer à présenter le fichier à traiter (fichier en luminance) par exemple

IFREMER_track-01_r.dat

Indiquer ensuite le fichier de coefficients IFREMER_track-01.cff

Indiquer finalement le fichier de sortie IFREMER_track-01_ra.dat

Lancer le processus

Les fichiers suivants sont également disponibles :

- Spectres_terrain.txt : spectres issus du terrain couvrant le site traité au format ASCII.
- Spectres_Nom-de-l'image-source.txt : spectres issus de l'image correspondante au format ASCII.
- At_Corr_Nom-du-Site.ods : mise en correspondance des spectres image avec les spectres terrain et calcul des paramètres de correction atmosphérique.

3.2.3 Attitude_Data : Données d'attitude de l'acquisition

Données d'attitudes utilisées par le processus d'orthorectification. Pour chaque ligne d'image non rectifiée le vecteur de paramètres suivant est disponible :

Row index : numéro de la ligne d'image dans l'image raw
 UTC Time : heure GPS
 Roll (rad) : roulis en radians
 Pitch (rad) : tangage en radians
 Head (rad) : lacet en radians
 East (meters) UTM WGS-84 : position du centre optique de la caméra en X
 North (meters) UTM WGS-84 : position du centre optique de la caméra en Y
 ASL Altitude (meters) : altitude en mètre
 Look direction (x y z) : vecteur supportant l'axe optique de la caméra

Attention l'heure indiquée est l'heure GPS.

Cette heure est légèrement différente (15s) de l'heure UTC.

http://fr.wikipedia.org/wiki/Synchronisation_GPS

3.2.4 Downwelling_Irradiance : spectre du flux incident

Enregistrement du flux incident au niveau du capteur (données corrigées en luminance). Ce signal est produit à l'aide d'un capteur spécifique situé sur le toit de l'avion. Chaque image contenue dans ce répertoire est à mettre en vis à vis de l'image en luminance correspondante. Pour chaque ligne de l'image en luminance correspond un pixel de l'image du flux incident.

Format : ENVI Standard

SRU : $1000 = 1\mu W/(cm^2.sr.nm)$

Codage : uint (16 bits non signés)

Règle de nommage : IFREMER_track-xx_r_fodis.dat (xx : numéro de l'axe de vol sur 2 chiffres)

3.2.5 DTM : modèle numérique de terrain

Modèle numérique d'élevation utilisé pour l'orthorectification des images. Il s'agit de données produites par le SHOM dans le cadre du programme Litto3D.

Source : <http://diffusion.shom.fr>

Format : ENVI Standard

Codage : float 32 bits

Système géographique : UTM WS-84

Règle de nommage : MNT_Nom-du-site_UTM_WGS-84.Dat

3.2.6 Flight_Plan : Plans de vol utilisés pour l'acquisition

Ce dossier contient les fichiers suivants :

- Nom-du-site.kml : plan de vol au format vectoriel pour GoogleEarth
- Nom-du-site.png : image du plan de vol sur fond de carte satellite
- Nom-du-site_map : image du plan de vol sur fond de carte vectoriel

3.2.7 Mosaic : Mosaïque 4 canaux

Mosaïques 4 canaux (visible + infrarouge) obtenues par sous échantillonnage spatial de la mosaïque hyperspectrale pleine résolution. Les canaux retenus sont les suivants : B (450.60nm), V (549.26nm), R (651.27nm), IR (753.80nm).

Format : ENVI Standard

Codage : uint (16 bits non signés)

Système géographique : UTM WS-84

Règle de nommage : Nom-du-site_r_rvbi.mos

Les fichiers suivants son disponibles :

- Nom-du-site_r_rvbi.mos : mosaïque virtuelle
- Nom-du-site_r_rvbi.dat : mosaïque réelle
- IFREMER_track-xx_r_rvbi_g.dat :  chantillons rvbi orthorectifi s
- IFREMER_track-xx.ann : Lignes de séparation utilisées pour le mosaïquage des images

3.2.8 Orthorectification : Orthorectification des images

Cartes d'orthorectification précalculées. L'algorithme d'orthorectification utilisé implémente un modèle de réfraction pour un meilleur positionnement des pixels sous-marin. Les indices de réfraction utilisés sont : 1.000277 pour l'air et 1.3388 pour l'eau de mer. Ces cartes permettent de g corriger rapidement les images non rectifiées à l'aide d'ENVI.

La procédure à suivre est la suivante :

A partir du menu principal d'ENVI sélectionner :

Map -> Georeference from Input Geometry -> Georeference from GLT

Indiquer à présent la carte d'orthorectification précalculée par exemple IFREMER_track-01_GLT.dat

Indiquer ensuite le fichier à g corriger correspondant par exemple IFREMER_track-01_ra.dat

Indiquer le fichier de sortie puis lancer le processus.

Format : ENVI Standard

Codage : uint (16 bits non signés)

Système géographique : UTM WS-84

Règle de nommage : IFREMER_track-xx_GLT.dat (xx : résolution spatiale sur 1 ou 2 chiffres)

3.2.9 Quick_Looks : Aperçus couleur

Aperçus couleur produits par redimensionnement spatial (agrégation des pixels) de la mosaïque RVB pleine résolution. Les différentes réolutions spatiales disponibles sont : 4m, 2m, 1m et 0.4m. La composition RVB est réalisée comme suit : R 651.27nm, V 549.26nm, B 450.60nm

Format : png

Règle de nommage : Nom-du-site_xxuu.png (xx : résolution spatiale sur 1 ou 2 chiffres, uu : unité sur 1 ou 2 caractères)

3.2.10 Radiance_Images : Images en luminance

Image en luminance non rectifiées
 Format : ENVI Standard
 Codage : uint (16 bits non signés)
 SRU : 1000 = 1 μ W/(sr.mm.cm²)
 Règle de nommage : IFREMER_track-xx_r.dat (xx : numéro de l'axe de vol sur 2 chiffres)

3.2.11 Reflectance_Images : Images en réflectance

Image non rectifiées calibrées en réflectance par la méthode de la ligne empirique
 Format : ENVI Standard
 Codage : float (32 bits)
 Règle de nommage : IFREMER_track-xx_ra.dat (xx : numéro de l'axe de vol sur 2 chiffres)

3.2.12 RVB_Subsets : Echantillons RVB+IR

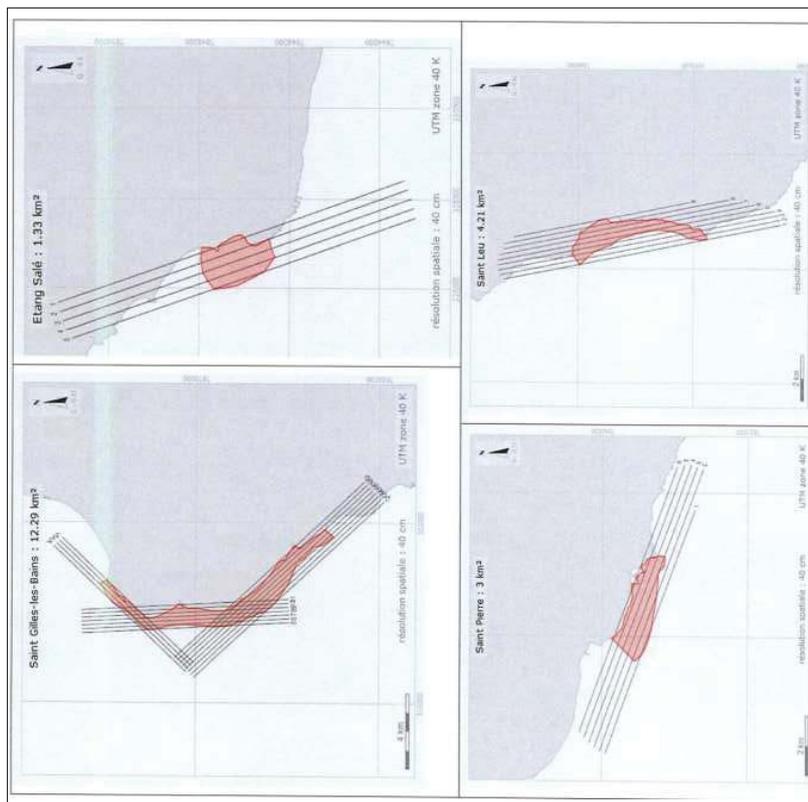
Images en luminance sous-échantillonnées spectralement (seules les bandes R VB + IR ont été retenues)
 L'échantillonnage est réalisé comme suit : B (450.60nm), V (549.26nm), R (651.27nm), IR (753.80nm)
 Format : ENVI Standard
 Codage : uint (16 bits non signés)
 Règle de nommage : IFREMER_track-xx_r_rvbi.dat (xx : numéro de l'axe de vol sur 2 chiffres)

3.2.13 Sensor Data : Images brutes

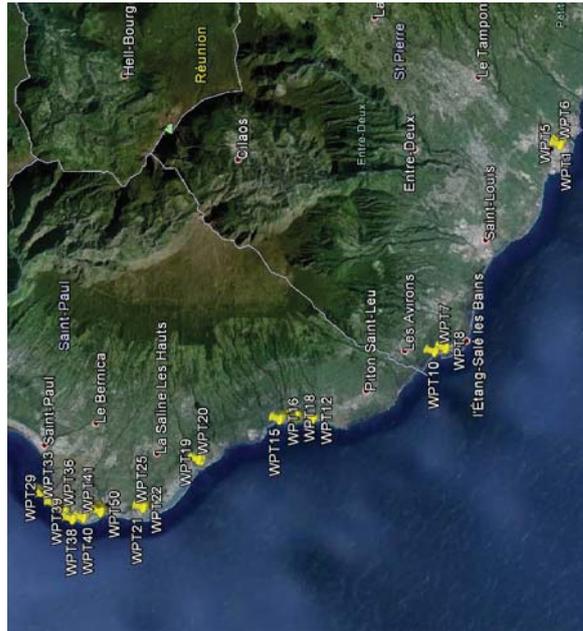
Image brutes non rectifiées
 Format : ENVI Standard
 Codage : uint (16 bits non signés)
 Règle de nommage : IFREMER_track-xx.raw (xx : numéro de l'axe de vol sur 2 chiffres)

Annexes

Annexe 1 : Plans de vol



Annexe 2 : Carte de l'emplacement des invariants



Way point	Coordonnées GPS	Vue aérienne	Way point	Coordonnées GPS	Vue aérienne	Way point	Coordonnées GPS	Vue aérienne
1	21,345299°S 55,475008°E		19	21,11846°S 55,257601°E		37	21,032191°S 55,222417°E	
2	21,346182°S 55,475096°E		20	21,11663°S 55,25797°E		38	21,037167°S 55,217139°E	
3	21,345881°S 55,475402°E		21	21,08191°S 55,22543°E		39	21,037059°S 55,217125°E	
4	21,34455°S 55,475159°E		22	21,081572°S 55,22499°E		40	21,043995°S 55,218016°E	
5	21,344632°S 55,475199°E		23	21,08393°S 55,22613°E		41	21,043995°S 55,218016°E	
6	21,344343°S 55,477898°E		24	21,08315°S 55,22641°E		42	21,053436°S 55,227124°E	
7	21,272241°S 55,333868°E		25	21,081433°S 55,225062°E		43	21,053704°S 55,22719°E	
8	21,272292°S 55,333798°E		26	21,018756°S 55,238332°E		44	21,053505°S 55,225965°E	
9	21,272457°S 55,334266°E		27	21,019354°S 55,23776°E		45	21,053505°S 55,225965°E	
10	21,2653°S 55,3315°E		28	21,020818°S 55,234004°E		46	21,055439°S 55,22454°E	
11	21,180024°S 55,286773°E		29	21,020727°S 55,233313°E		47	21,055738°S 55,224483°E	
12	21,188779°S 55,286071°E		30	21,020673°S 55,233654°E		48	21,065546°S 55,223043°E	
13	21,173772°S 55,286665°E		31	21,026499°S 55,228793°E		49	21,064798°S 55,222118°E	
14	21,179987°S 55,287592°E		32	21,026565°S 55,227477°E		50	21,064876°S 55,222123°E	
15	21,1686°S 55,28575°E		33	21,025983°S 55,227893°E		51	21,064707°S 55,222121°E	
16	21,1678°S 55,28534°E		34	21,033138°S 55,223112°E		52	21,065532°S 55,225584°E	
17	21,17538°S 55,28717°E		35	21,03479°S 55,223025°E		53	21,065999°S 55,222461°E	
18	21,17804°S 55,28783°E		36	21,032061°S 55,22406°E				

Tableau 2: Coordonnées géographiques de l'emplacement des invariants

Annexe 3 : Conditions météorologiques observées pendant les acquisitions aériennes

Source : <http://meteocentre.com>

STN	DD/HHH	VIS	PRESS	ALTMTR	TMP	TD	HREL	DIR	VIT	RAF	TEMPS	NUAGES	REMARQUES
FMETP	21/0500	6.2	1021.0		26.0	20.0	70%	120	17				
FMETP	21/0530	6.2	1021.0		26.0	20.0	70%	130	20				
FMETP	21/0600	6.2	1021.0		27.0	21.0	70%	130	20				
FMETP	21/0630	6.2	1021.0		27.0	20.0	66%	130	20				
FMETP	21/0700	6.2	1020.0		27.0	21.0	70%	130	19				
FMETP	21/0730	6.2	1020.0		27.0	21.0	70%	130	22				
FMETP	21/0800	6.2	1020.0		27.0	20.0	66%	130	23				
FMETP	21/0830	6.2	1019.0		27.0	20.0	66%	130	26				
FMETP	21/0900	6.2	1019.0		27.0	21.0	70%	130	26				
FMETP	21/0930	6.2	1018.0		27.0	21.0	70%	140	24				
FMETP	21/1000	6.2	1018.0		26.0	21.0	74%	130	26				
FMETP	21/1030	6.2	1018.0		27.0	20.0	66%	130	26				
FMETP	21/1100	6.2	1018.0		25.0	20.0	74%	130	26				FEW068
FMETP	21/1130	6.2	1018.0		26.0	21.0	74%	120	27				FEW076
FMETP	21/1200	6.2	1019.0		25.0	20.0	74%	120	26				FEW078 BKN140
FMETP	21/1230	6.2	1019.0		25.0	20.0	74%	120	23				FEW068 BKN092 OVC130
FMETP	21/1300	6.2	1019.0		25.0	19.0	69%	120	23				FEW076 BKN096 BKN130
FMETP	21/1330	6.2	1019.0		24.0	21.0	83%	130	23				SCT092 BKN130
FMETP	21/1400	6.2	1019.0		24.0	20.0	78%	130	21				FEW094
FMETP	21/1430	6.2	1019.0		24.0	19.0	74%	120	19				
FMETP	21/1500	6.2	1020.0		24.0	20.0	78%	130	20				

STN	DD/HHH	VIS	PRESS	ALTMTR	TMP	TD	HREL	DIR	VIT	RAF	TEMPS	NUAGES	REMARQUES
FMETP	22/0500	6.2	1021.0		24.0	19.0	74%	100	10				FEW041 SCT058 OVC068
FMETP	22/0530	6.2	1020.0		26.0	19.0	65%	110	12				FEW052 BKN068
FMETP	22/0600	6.2	1020.0		26.0	19.0	65%	120	16				BKN064
FMETP	22/0630	6.2	1020.0		26.0	21.0	74%	120	22				FEW066
FMETP	22/0700	6.2	1019.0		26.0	21.0	74%	130	24				
FMETP	22/0730	6.2	1019.0		26.0	20.0	70%	130	21				
FMETP	22/0800	6.2	1019.0		27.0	20.0	66%	120	20				
FMETP	22/0830	6.2	1019.0		26.0	20.0	70%	130	23				
FMETP	22/0900	6.2	1018.0		26.0	20.0	70%	130	23				
FMETP	22/0930	6.2	1018.0		27.0	20.0	66%	130	23				FEW052 BKN064
FMETP	22/1000	6.2	1018.0		26.0	20.0	70%	130	22				FEW060
FMETP	22/1030	6.2	1018.0		27.0	20.0	66%	120	21				FEW022
FMETP	22/1100	6.2	1018.0		26.0	19.0	65%	130	21				FEW022
FMETP	22/1130	6.2	1018.0		26.0	20.0	70%	130	22				FEW022
FMETP	22/1200	6.2	1018.0		25.0	19.0	69%	120	21				FEW023
FMETP	22/1230	6.2	1018.0		25.0	20.0	74%	130	18				
FMETP	22/1300	6.2	1018.0		25.0	20.0	74%	130	18				
FMETP	22/1330	6.2	1018.0		24.0	20.0	78%	120	17				
FMETP	22/1400	6.2	1018.0		24.0	19.0	74%	120	15				FEW042
FMETP	22/1430	6.2	1018.0		24.0	19.0	74%	110	12				FEW043
FMETP	22/1500	6.2	1019.0		24.0	19.0	74%	110	10				SCT025

STN	DD/HHH	VIS	PRESS	ALTMTR	TMP	TD	HREL	DIR	VIT	RAF	TEMPS	NUAGES	REMARQUES
FMETP	23/0500	6.2	1019.0		25.0	13.0	47%	020	5				
FMETP	23/0530	6.2	1019.0		26.0	15.0	51%	040	3				
FMETP	23/0600	6.2	1018.0		26.0	16.0	54%	240	4				
FMETP	23/0630	6.2	1018.0		26.0	16.0	54%	230	5				
FMETP	23/0700	6.2	1018.0		26.0	17.0	58%	200	4				
FMETP	23/0730	6.2	1018.0		27.0	16.0	51%	180	6				
FMETP	23/0800	6.2	1018.0		27.0	18.0	58%	190	5				
FMETP	23/0830	6.2	1017.0		27.0	19.0	62%	180	6				
FMETP	23/0900	6.2	1017.0		27.0	19.0	62%	180	6				
FMETP	23/0930	6.2	1017.0		26.0	19.0	65%	200	7				FEW027
FMETP	23/1000	6.2	1016.0		26.0	18.0	61%	190	7				BKN029
FMETP	23/1030	6.2	1016.0		26.0	19.0	65%	180	6				FEW036 BKN049
FMETP	23/1100	6.2	1016.0		26.0	19.0	65%	170	7				FEW036 BKN049
FMETP	23/1130	6.2	1016.0		25.0	19.0	69%	180	6				SCT029 BKN036 BKN042
FMETP	23/1200	6.2	1016.0		26.0	19.0	65%	170	7				BKN031 BKN038 BKN044
FMETP	23/1230	6.2	1016.0		25.0	18.0	65%	180	6				BKN035
FMETP	23/1300	6.2	1016.0		25.0	18.0	65%	180	7				BKN035
FMETP	23/1330	6.2	1017.0		24.0	18.0	69%	180	5				SCT033 BKN041
FMETP	23/1400	6.2	1017.0		24.0	18.0	69%	180	6				BKN033 OVC044
FMETP	23/1430	6.2	1017.0		24.0	18.0	69%	150	4				BKN032
FMETP	23/1500	6.2	1017.0		23.0	18.0	73%	999	3				BKN031

Légende :
 STN : Code OACI de la station de mesure
 DDHHHHH : date et heure UTC
 VIS : visibilité en km
 PRESS : pression atmosphérique en hPa
 TMP : température au sol en  C
 TD : point de rosé en  C
 HREL : humidité relative en %
 DIR : direction du vent en à VRAI
 VIT : vitesse du vent en nœuds
 RAF : rafales de vents en nœuds
 NUAGES : voir section ci-dessous

Comment décoder les METAR :

source : http://www.ivao.fr/dep/instruction/Manuels/tpack-FR_V2.pdf/MTO_METAR.pdf

Couverture nuageuse :

Chaque couverture nuageuse est composée de trois lettres donnant la surface couverture nuageuse ou le pourcentage de ciel couvert exprimé en octats. Leur hauteur est indiquée en centaines de pieds avec trois chiffres. Il s'agit bien de la hauteur des nuages par rapport à l'aéroport concerné. Plusieurs couvertures nuageuses peuvent être définies dans ce groupe classées par ordre de hauteur de nuages. Le groupe de trois lettres indique la proportion de ciel couvert par la couverture nuageuse.

FEW = PEU NOMBREUX / FEW = 1/8 A 2/8
 SCT = EPART / SCATTERED = 3/8 A 4/8
 BKN = FRAGMENTÉ / BROKEN = 5/8 A 7/8
 OVC = COUVERT / OVERCAST = 8/8

NSC = AUCUN NUAGE SOUS 5000 PIEDS ET PAS DE CUMULONIMBUS OU CUMULUS BOURGEONNANTS (NO SIGNIFICANT CLOUDS)

NCD = PAS DE NUAGE DETECT  (NO CLOUD DETECTED)

SKC = SKY CLEAR - CIEL CLAIR, PAS DE NUAGES

Annexe 4 : Heure de survol des axes

<p>--- Saint Gilles-les-Bains Nord --- Acquisition du 21 mai 2015 Heures de survol des axes</p> <p>axe 01 (UTC Time) : 07:04:02.9900 à 07:05:38.0000 axe 02 (UTC Time) : 07:11:54.9900 à 07:13:24.9900 axe 03 (UTC Time) : 07:16:07.0000 à 07:17:41.9800 axe 04 (UTC Time) : 07:20:27.9900 à 07:21:59.9800</p>	<p>--- Saint Leu --- Acquisition du 22 mai 2015 Heures de survol des axes</p> <p>axe 01 (UTC Time) : 06:36:08.7000 à 06:36:50.6800 axe 02 (UTC Time) : 06:39:29.6900 à 06:41:05.6900 axe 03 (UTC Time) : 06:43:30.6800 à 06:45:13.6800 axe 04 (UTC Time) : 06:47:19.6900 à 06:49:22.6900 axe 05 (UTC Time) : 06:51:43.6900 à 06:53:50.6900 axe 06 (UTC Time) : 06:56:52.6700 à 06:58:08.6900 axe 07 (UTC Time) : 07:00:45.6700 à 07:03:01.6800 axe 08 (UTC Time) : 07:04:54.6800 à 07:07:13.6900 axe 09 (UTC Time) : 07:09:53.6900 à 07:12:08.6500</p>
<p>--- Saint Gilles-les-Bains Centre --- Acquisition du 22 mai 2015 Heures de survol des axes</p> <p>axe 01 (UTC Time) : 06:11:40.0300 à 06:12:52.0400 axe 02 (UTC Time) : 06:15:14.0200 à 06:16:30.9900 axe 03 (UTC Time) : 06:18:30.9900 à 06:19:58.0500 axe 04 (UTC Time) : 06:22:37.0300 à 06:24:04.0500 axe 05 (UTC Time) : 06:27:59.0300 à 06:29:18.0500 axe 06 (UTC Time) : 06:33:03.0300 à 06:34:27.0300 axe 07 (UTC Time) : 06:39:13.0400 à 06:40:36.0400</p>	<p>--- Etang Salé --- Acquisition du 21 mai 2015 Heures de survol des axes</p> <p>axe 01 (UTC Time) : 06:23:40.0200 à 06:24:38.1600 axe 02 (UTC Time) : 06:27:22.0100 à 06:28:17.7400 axe 03 (UTC Time) : 06:31:40.0200 à 06:32:36.0200 axe 04 (UTC Time) : 06:35:45.0200 à 06:36:40.0000 axe 05 (UTC Time) : 06:39:40.0000 à 06:40:35.9900</p>
<p>--- Saint Gilles-les-Bains Sud --- Acquisition du 23 mai 2015 Heures de survol des axes</p> <p>axe 01 (UTC Time) : 05:57:30.1500 à 06:00:49.1500 axe 02 (UTC Time) : 06:03:21.1700 à 06:06:52.1600 axe 03 (UTC Time) : 06:08:43.1500 à 06:11:57.1400 axe 04 (UTC Time) : 06:13:52.5700 à 06:17:25.6100 axe 05 (UTC Time) : 06:19:05.6100 à 06:22:13.6000 axe 06 (UTC Time) : 06:24:34.6000 à 06:27:54.6100 axe 07 (UTC Time) : 06:29:23.6000 à 06:32:14.5900 axe 08 (UTC Time) : 06:34:27.6000 à 06:36:10.6100</p>	<p>--- Saint Pierre --- Acquisition du 23 mai 2015 Heures de survol des axes</p> <p>axe 01 (UTC Time) : 05:17:24.1100 à 05:18:54.1000 axe 02 (UTC Time) : 05:20:58.1100 à 05:22:33.1000 axe 03 (UTC Time) : 05:24:42.1000 à 05:26:18.0900 axe 04 (UTC Time) : 05:29:02.1100 à 05:30:43.1000 axe 05 (UTC Time) : 05:33:11.1000 à 05:34:49.1000</p>

HYSCORES

Cartographies hyperspectrales appliquées aux écosystèmes coralliens et à leur état de santé

23 septembre 2015



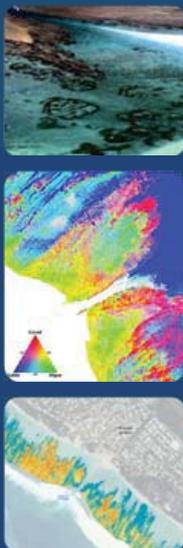

Projet *Hyscores*

Cadre conventionnel

- Conventions : Office de l'Eau Réunion - UBO / CNRS - Ifremer (signature 28/07/2015) et collaboration Seas-OI
- Coordination / mutualisation (vérité-terrain, dévelpt méthodo, données, ...) :
 - Projet "Fiches Habitats" : DEAL / Université de la Réunion / Ecomar (PARETO-MAREX)
 - Projet "HYPERCORAL (Dyneo Brest / UBO LDO)
- Durée : 2015 – 2016 (18 mois : mars 2015 – août 2016)
 - CDD Ingénieur (traitement et analyses) : 2 périodes Mai 2015 – Aout 2015 à Février 2016)

Contexte

- Travail réalisé depuis 2009 dans le domaine du traitement d'images hyperspectrales sur les récifs coralliens à la Réunion
- Résultats des projets **Spectrhabet-OI / BioIndication / Hypercoral / Fiches Habitats**
 - Intérêt de l'hyperspectral pour appréhender l'hétérogénéité spatiale des récifs coralliens.
 - Développement d'un indice de vitalité corallienne hyperspectrale VCH, proposé comme indicateur surfacique d'état de santé récifal.



Objectifs Hyscores

Cartographies hyperspectrales appliquées aux écosystèmes coralliens et à leur état de santé

Objectifs :

Evaluation du potentiel opérationnel de l'imagerie hyperspectrale dans le cadre de la DCE

- ✓ Etude et l'évaluation de la **pertinence de l'indicateur VCH** proposé en 2012 : **indicateur surfacique d'état de santé** complémentaire et potentiellement mieux adapté à l'**hétérogénéité** des habitats qui caractérisent les **écosystèmes coralliens**
- ✓ Capacité de l'indicateur à mettre en évidence une **évolution** de l'état global : appréhendée et évaluée par **analyse diachronique avec les résultats** déjà publiés en **2012** (Bioindication)
- ✓ **Evaluation des moyens, des ressources et des coûts** associés des deux méthodes dans une **perspective** de mise en œuvre **opérationnelle** : comparaison approche stationnelle (campagne DCE BSD 2015) et surfacique / hyperspectrale (Hyscores).

3

Attendus

Cartographies hyperspectrales appliquées aux écosystèmes coralliens et à leur état de santé

- ✓ Acquisition d'un **nouveau jeu de données hyperspectrales** couvrant l'ensemble des **4 zones récifales** de La Réunion.
- ✓ Réalisation synchrone des **contrôles terrains**.
- ✓ **Développement**, reprise et mise à jour des méthodes et **algorithmes de traitements** issus de Spectrhabent / Bioindication en regard des avancées réalisées depuis 2012
- ✓ de son traitement et son exploitation en vue de **confirmer la pertinence de l'indicateur de type surfacique (VCH)** en intégrant les résultats et les améliorations issues des travaux de R&D les plus récents ;
- ✓ **Mise à jour des cartographies hyperspectrales** des zones récifales : indicateur VCH consolidé (cartes + niveau global de représentativité), images du fond, topographie haute résolution, nature des fonds (4 principales composantes : sable, algue, corail, herbier). Ces cartes seront **accessibles et disponibles** à la diffusion via le portail **SEXTANT océan Indien**.
- ✓ **Comparaison** analytique **des résultats des deux campagnes** et des deux traitements (2009 et 2015), pour déterminer une **tendance**.
- ✓ Une **évaluation détaillée des moyens et des ressources** nécessaires dans la perspective d'une intégration de cette méthode d'évaluation **dans le cadre du RCS de la DCE**.
- ✓ **Mise à disposition des algorithmes et scripts de traitement** de la donnée.

4

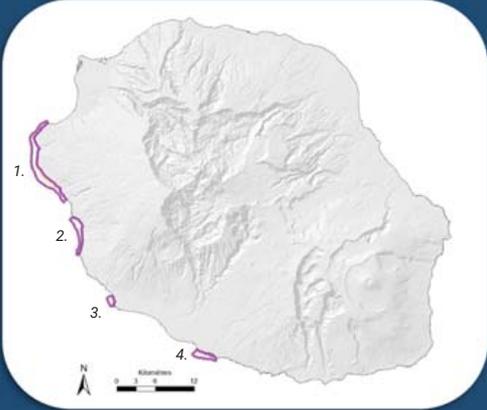
Zone d'étude

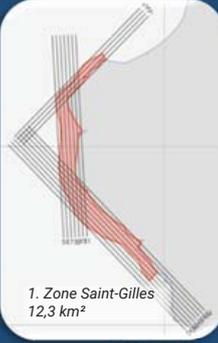
>> 4 plateformes récifales et les pentes externes (jusqu'à l'isobathe -35m)

- 39 lignes de vol
- 21 km²

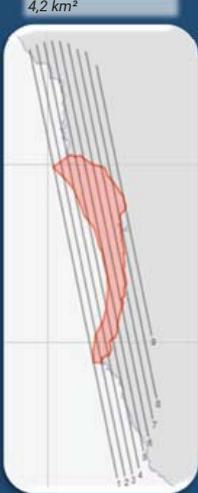
>> Période d'acquisition

- Météo favorable
- 21-23 mai 2015

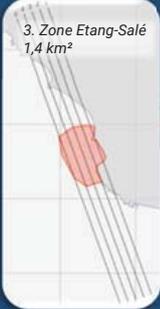




1. Zone Saint-Gilles
12,3 km²



2. Zone Saint-Leu
4,2 km²



3. Zone Etang-Salé
1,4 km²



4. Zone Saint-Pierre
3 km²

5

Images aériennes

Livraison des données

Téléchargement sur les serveurs de l'ENSSAT des données sous format numérique :

- 184 Go du 21 au 28 juillet (données brutes)
- 50 Go le 1^{er} septembre (prétraitements)
- + Rapport d'opération ENSSAT



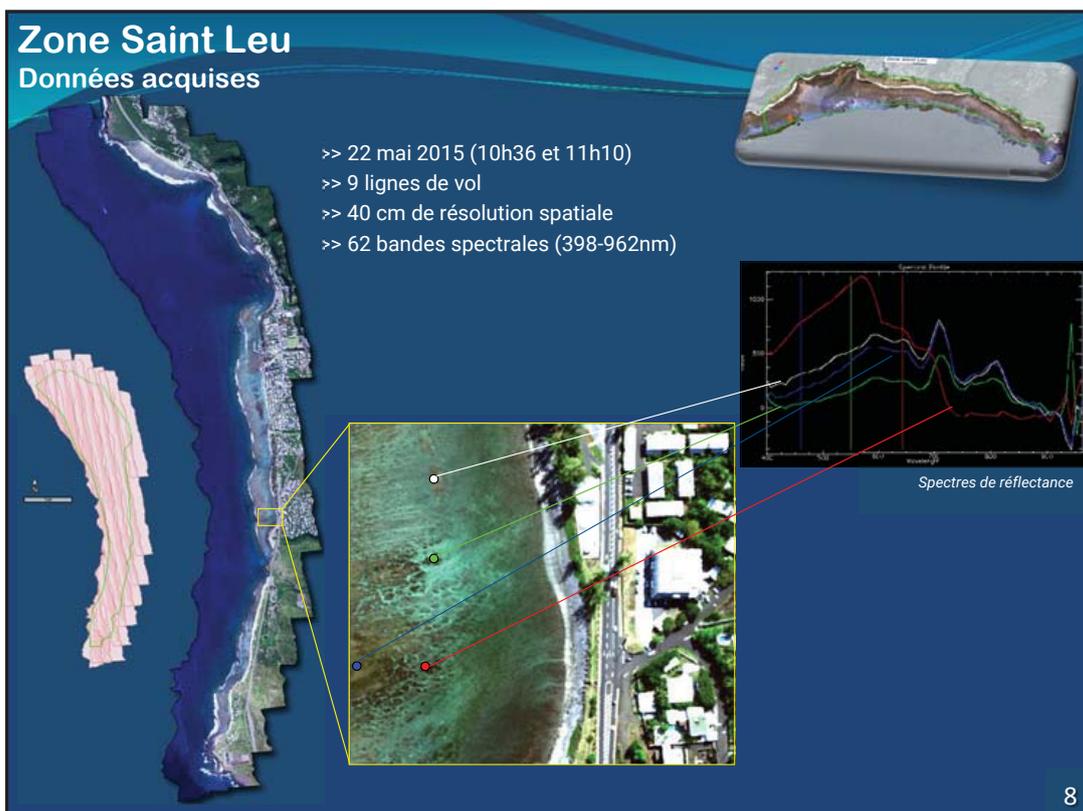
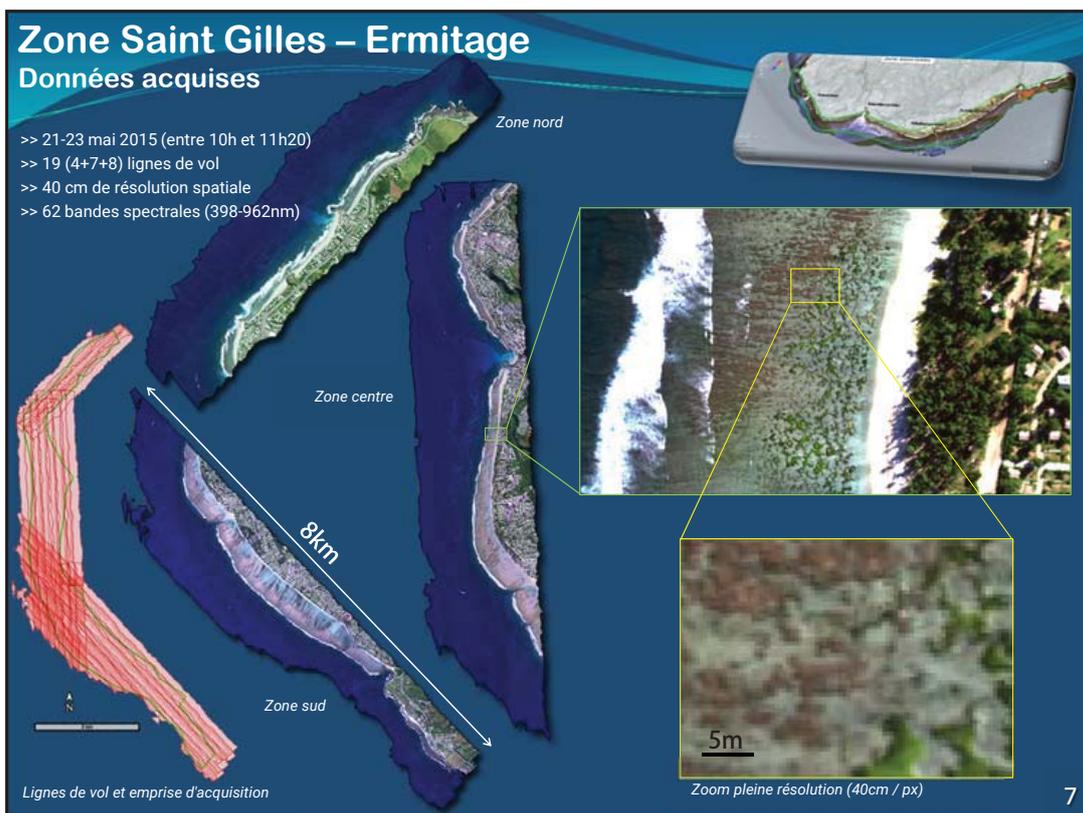
>> Fichiers numériques

- Données brutes (images, données navigation)
- Données prétraitées
 - -> Réflectance
 - -> Orthorectification
 - -> Quicklooks
 - -> Mosaïques RVB
- Données spectro de terrain
 - Points GPS
 - Spectres
 - Photos

Livrables	
Saint Gilles-les-Bains	
At_Corr	Passage en réflectance
Attitude_Data	Données d'attitude utilisées pour l'orthorectification
Downwelling_Irad	Luminance spectrale du flux incident au niveau de l'enton
DTM	Modèle numérique de terrain utilisé pour l'orthorectification
Flight_Plan	Plan de vol utilisé pour la mission
Mosaic	Mosaïque virtuelle 4 canaux (RVB+IR)
Orthorectification	Carte d'affectation des pixels pour l'orthorectification des images
Quick_Looks	Aperçus couleur au format png à différentes résolutions spatiales
Radiance_Images	Images en luminance non rectifiées
Reflectance_Images	Images en réflectance non rectifiées
RVB_Subsets	Subsets RVB+IR des images en luminance
Sensor_Data	Données brutes issues du capteur
Saint Leu	
Etang Salé	
Saint Pierre	
VT	Spectres des invariants
Photos	
Spectres_Binaires	

Détail de l'arborescence des répertoires

6



Zone Etang Salé

Données acquises



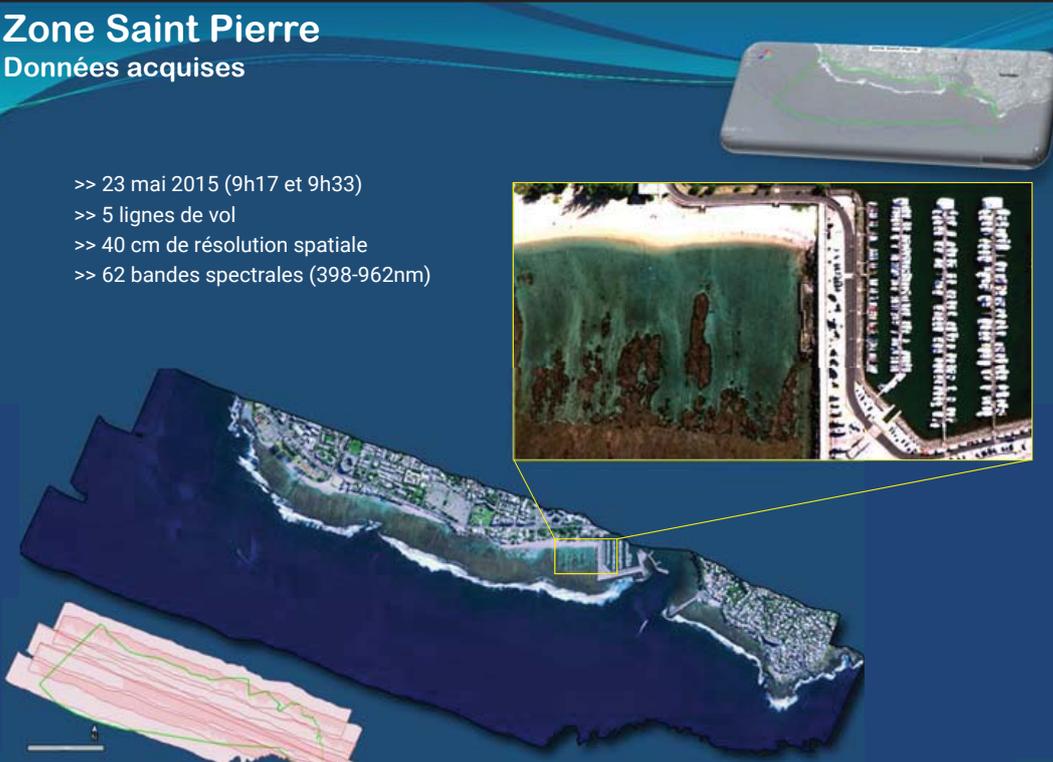
- >> 21 mai 2015 (10h23-39)
- >> 5 lignes de vol
- >> 40 cm de résolution spatiale
- >> 62 bandes spectrales (398-962nm)

Lignes de vol et emprise d'acquisition

9

Zone Saint Pierre

Données acquises



- >> 23 mai 2015 (9h17 et 9h33)
- >> 5 lignes de vol
- >> 40 cm de résolution spatiale
- >> 62 bandes spectrales (398-962nm)

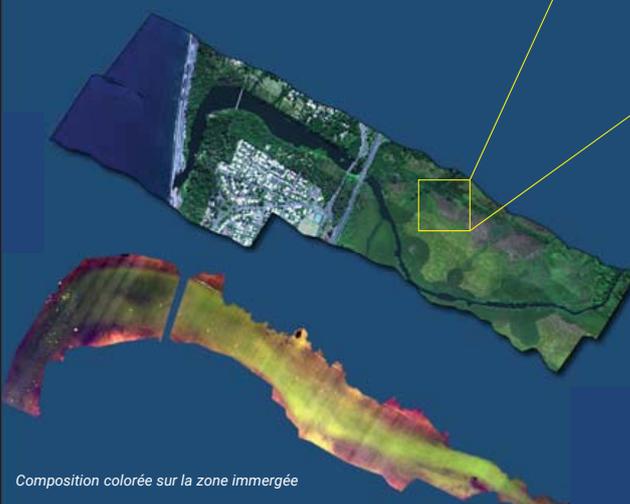
Lignes de vol et emprise d'acquisition

10

Zone Saint Paul

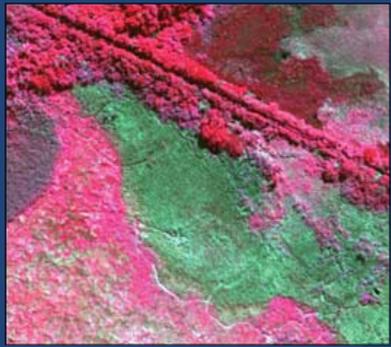
Données acquises

- >> 23 mai 2015 (matin)
- >> 3 lignes de vol
- >> 40 cm de résolution spatiale
- >> 62 bandes spectrales (398-962nm)



Composition colorée sur la zone immergée



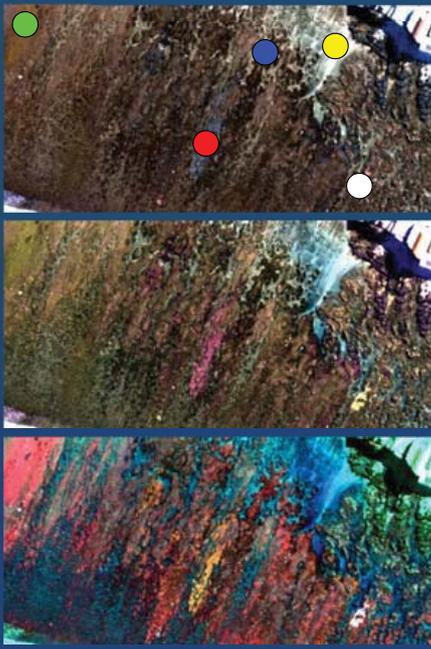


11

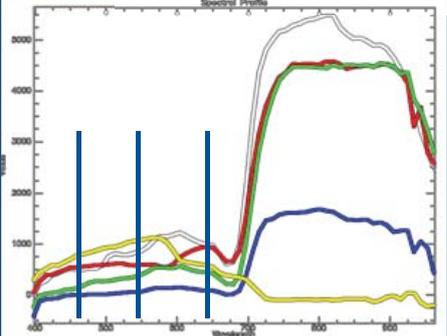
Analyse spectrale

Intérêt de l'information hyperspectrale

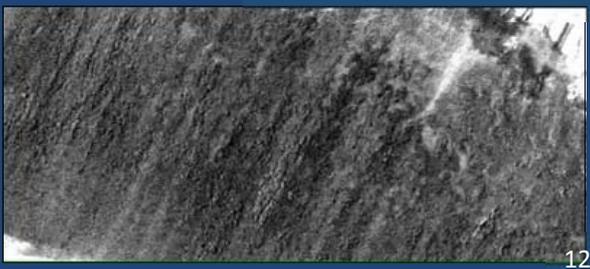
Représentation RVB



Spectres de réflectance (cibles image)



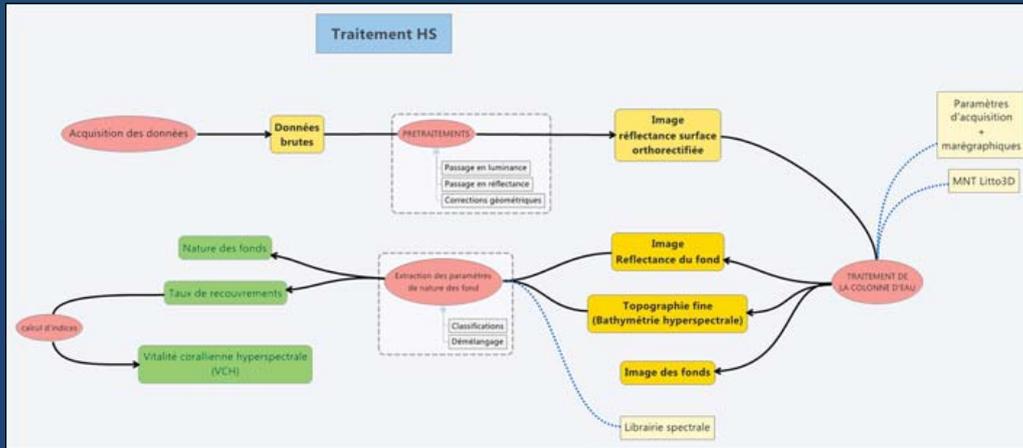
Animation spectrale (réflectances relatives)



12

Traitement des données hyperspectrales

Différentes étapes de traitement des images HS

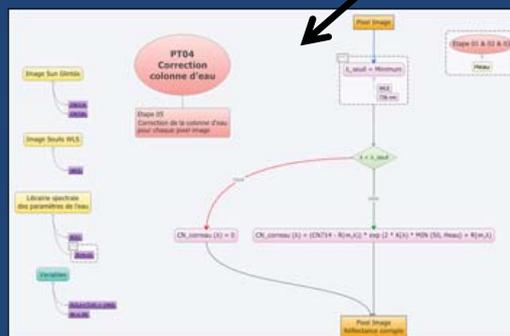
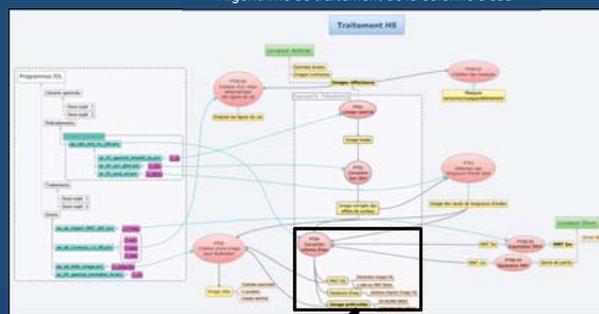


13

Traitement des données hyperspectrales

Algorithme / ex logiciel de traitement (IDL + ENVI)

Algorithme de traitement de la colonne d'eau

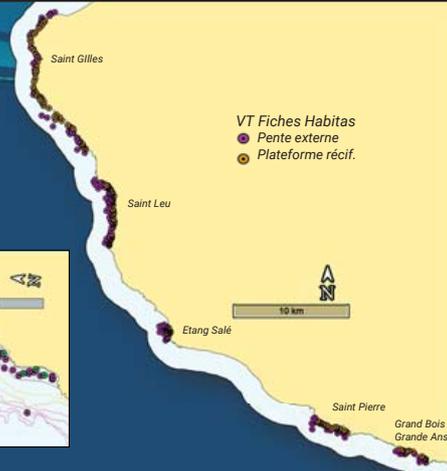
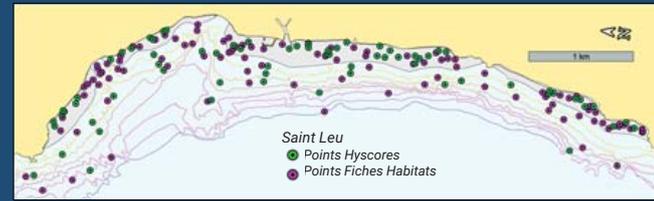


14

Mutualisation des données terrain

>> **Projet Fiches Habitats (DEAL / Ecomar)**

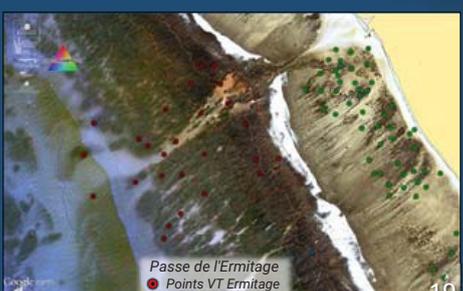
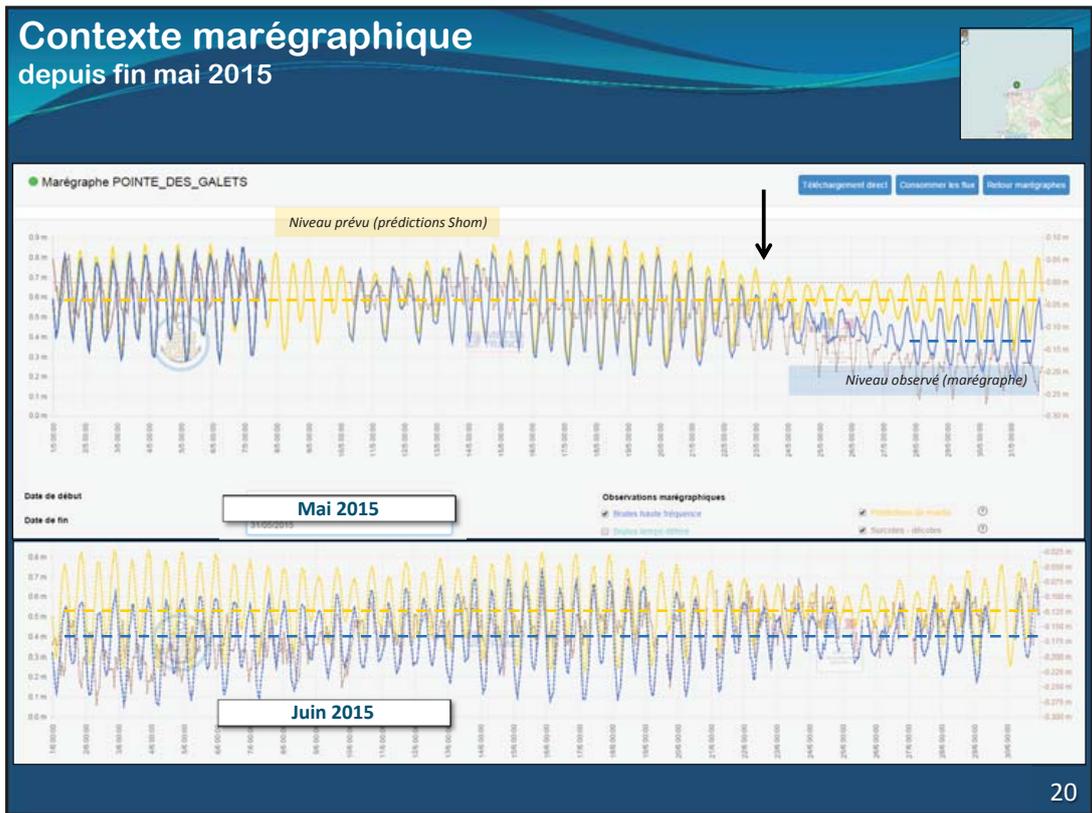
- Opérateur terrain : JBN / ST / LB (MAREX / PARETO / ECOMAR)
- Secteur : Zones récifales (Cap Lahoussaye -> Grande Anse)
- 312 points (190 plateforme / 122 pente externe)
- 18 jours de terrain (2014 / 2015)

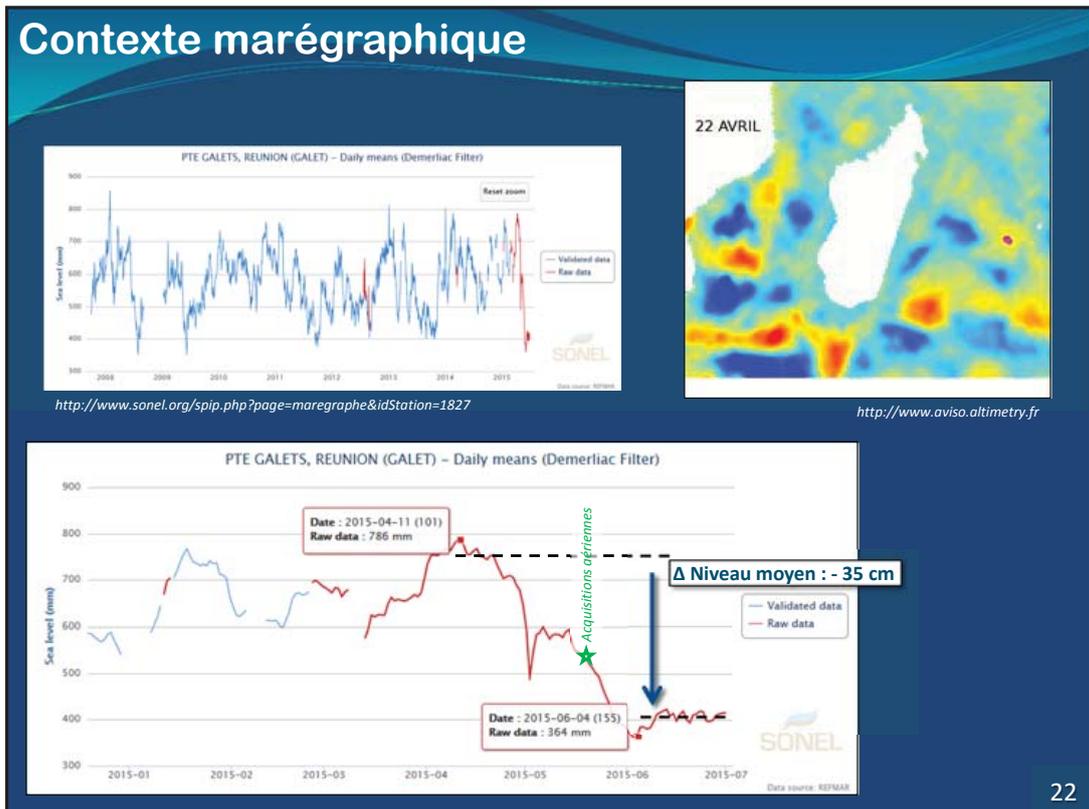
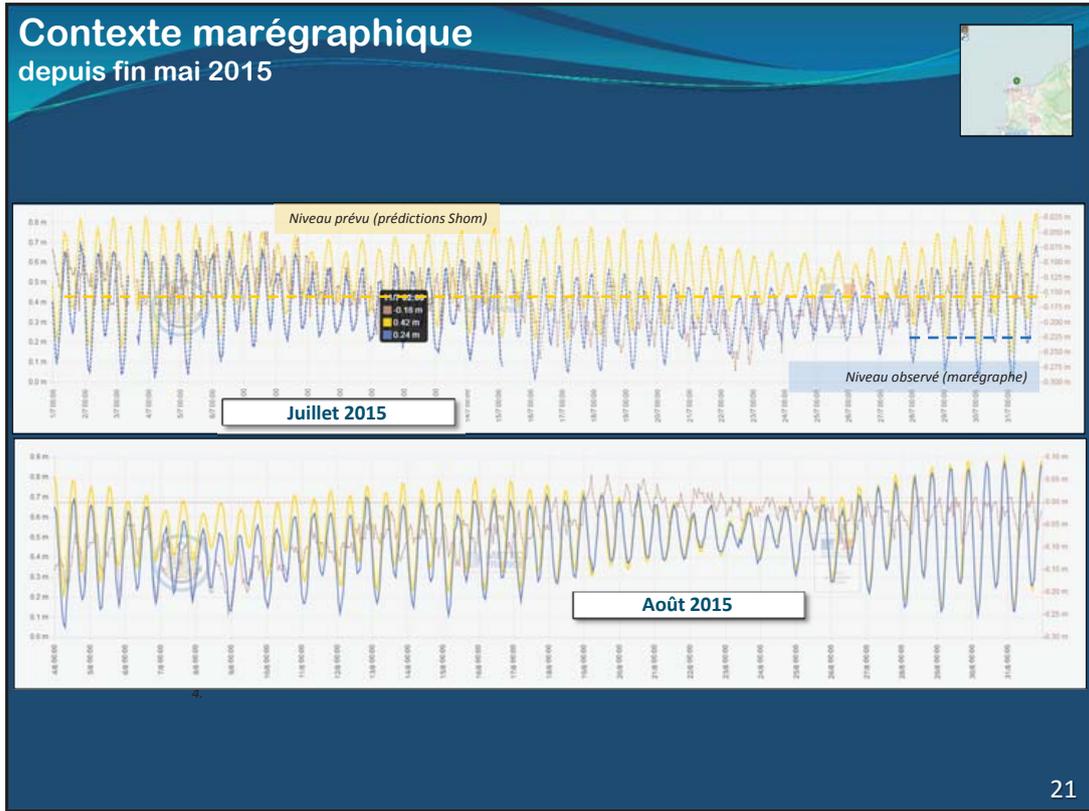



>> **VT Hypercoral (T. Bajjouk - Ifremer)**

- Opérateur terrain : JBN (PARETO)
- Passé de l'Ermitage
- 26 points (2014 / 2015)

- Optimisation des plan d'échantillonnage
- Maximisation du nombre de points
- Réduction des coûts
- Amélioration de la précision des cartes produites



Contexte marégraphique

Observations terrain

Porites rus – Saint Leu – 07/09/2015

Basse mer Saint Leu – 20/07/2015

ACB récemment morts
ACB blanchis
ACB

Passe de l'Ermitage – 29/07/2015

Acropores branchus – Saint Pierre – 11/09/2015

23

Contexte marégraphique

Observations terrain

Porites rus – Saint Leu – 07/09/2015

Basse mer Saint Leu – 20/07/2015

ACB récemment morts

- ▶ Effets sur les recouvrements coralliens et algaux
- ▶ Exploitation de ces points de VT pour les validations ?
- ▶ Importance de la mutualisation des acquisitions avec les autres projets pts VT Fiches Habitats antérieurs aux vols et décotes

Passe de l'Ermitage – 29/07/2015

Acropores branchus – Saint Pierre – 11/09/2015

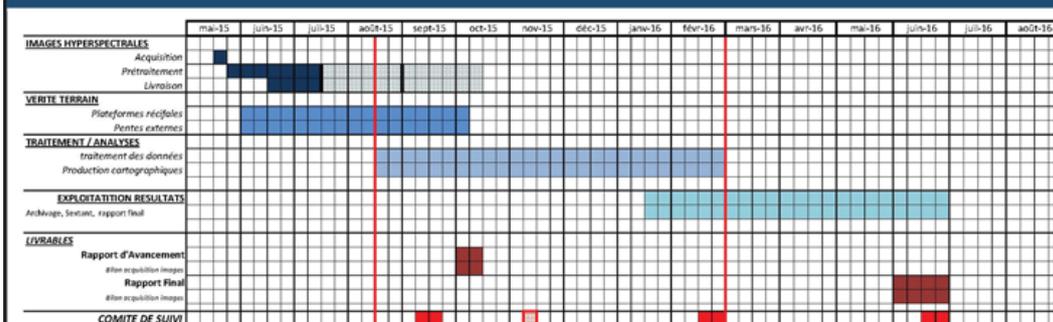
24

Etat d'avancement et jalons:

Acquisition <i>nouveau jeu de données hyperspectrales sur les 4 zones récifales</i>	Finalisé et homogène + <u>bonus</u> St Gilles x2 (temps expo) Etang st Paul
Contrôles terrain	En cours finalisation (déb. Oct.)
Prétraitements (conversion / formatage des données brutes)	En cours (optimisation volumes générés)
Reprise et maj des algorithmes de traitements (spectrhabet / bioindication)	En cours (intègre les ajustements et optimisation apportées depuis spectrhabet)
Traitement des données (taux de recouvrement, VCH, nature des fonds, topographie haute résolution)	pas de prb identifié, réinitialisation des paramètres de calculs
Validation des résultats (Confrontation aux VT + cartes "fiches Habitats", points GCRMN, dire d'experts)	incertitudes liés à l'impact possible des anomalies marégraphiques / Bénéfices VT "Fiches habitats" antérieures aux anomalies
Production des cartographies hyperspectrales 2015	Mise à jour atlas ArcGis existant, production PDF et autre formats (JP2, KMZ, etc)
Analyses diachronique des 2 campagnes 2009/2015 et productions cartographiques	Représentation spatialisée des gains ou pertes selon les paramètres
Bancarisation des données et des résultats	Archivage pérennes données brutes/traitées (Iframer/SeasO), des résultats cartographiques (Sextant) et des algorithmes (ARCHIMER ou solution collaborative à préciser)
Rapport de synthèse	Evaluation du potentiel opérationnel / chiffrage

25

Calendrier prévisionnel



26