Suivi de cordons dunaires par télédétection synchronisée Hyperspectrale et LiDAR à retour d'onde complet

Giovanni FRATI ^{1,3}, Patrick LAUNEAU¹, Manuel GIRAUD¹, Saïd MOUSSAOUI⁴, Marc ROBIN², Dimitri LAGUE⁵, Cyril MICHON³

- ¹ Laboratoire de Planétologie et Géodynamique (LPG) CNRS : UMR6112, INSU, Université de Nantes, OSUNA, Université d'Angers 2 Rue de la Houssinière BP 92208 44322 NANTES CEDEX 3 2 bd Lavoisier 49045 Angers cedex France. giovanni.frati@univ-nantes.fr
- ² Institut de Géographie et d'Aménagement Régional de l'Université de Nantes (IGARUN/Géolittomer-UMR6554, LETG CNRS) CNRS : UMR6554 Chemin de la Censive du Tertre BP 81227 44312 NANTES Cedex France.
- ³ **GEOFIT-expert**, 1 route de Gachet 44307 NANTES CEDEX 3 France
- ⁴ Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes École Centrale de Nantes, Ecole Centrale de Nantes 2 Chemin de la Houssinière (Bâtiment 34) BP 92208, 44322 Nantes Cedex 3 France
- ⁵ Géosciences Rennes, UMR CNRS 6118, Université de Rennes 1, Campus Beaulieu, 35042 Rennes, France



Introduction – 1

- Littoral: interface terre-mer (Dolan et al., 1980)
- Contexte climatique:
 - → montée du niveau marin et déstabilisation du système climatique
 - → augmentation de l'énergie moyenne des vagues et des tempêtes
 - → impact sur la dynamique littorale (Zhang et al., 2004)
- Risques:

forte anthropisation de la scène littorale induisant une augmentation des risques

Besoins:

nécessité d'un suivi systématique à grande échelle pour la mise en place de plans adaptés (Douglas and Crowell, 2000)

- Télédétection:
 - permet la couverture rapide à grande échelle spatiale aboutissant à des données précises.
 - → plateforme aéroportée pour suivit de 250 km de littoral.

Introduction – 2

Cartographie suivant deux aspects:

Morphologique: évaluation des stocks sédimentaires

Végétation: proxy des variations de conditions environnementales

proxy de la morphologie

rôle de stabilisateur morphologique

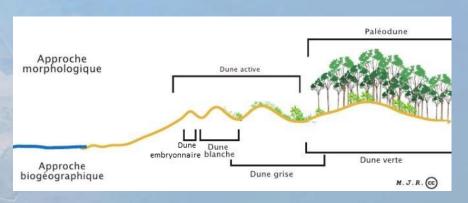
- Oyat (Ammophila arenaria)Chiendent (Elymus farctus)
- = proxy de dune blanche + rôle de stabilisateur
- = proxy de dune embryonnaire
- Fusion de données LiDAR-HSI à posteriori:

Utilisée dans de nombreuses études pour caractériser la végétation (Asner et al., 2007; Dalponte et al., 2012; Alonzo et al., 2014; Brell et al., 2017)

force: complémentarité des informations

limites: géométries d'acquisition différentes

- → adapté au LiDAR
- → adapté à la spectro-imagerie Hyperspectrale (HSI)



Synchronisation LiDAR-HSI (sans fusion à posteriori):

acquisition et projection suivant une même géométrie permettant ainsi l'association directe des données LiDAR et HSI

→ information télémétrique LiDAR informe sur le chemin lumineux HSI.

Matériel et méthodes – les acquisitions aéroportées

- Cohérence d'enregistrement de l'information : le FOV LiDAR est calé sur les FOV HSI.
- Concordance des résolutions d'informations :

pixels_{HSI} réechantillonnées à 1m/1m (au lieu de 0,5m/1m en VNIR1600) pour concorder avec la couverture minimale LiDAR

• Cohérence de la géométrie d'acquisition du signal : la caméra est placée juste derrière le LiDAR de manière à ce que les angles d'acquisitions soient similaires

Base et géométrie commune :

ici base pixellaire les lancés de rayons permettent le rattachement des FWF-LiDAR sur des pixels sur les pixels HSI correspondant, en conservant les angles d'incidence.

Calibration sur référence commune :

ici le sable est un très bon diffuseur avec une forte réflectance (composante spéculaire négligeable)

→ même bilans d'énergie pour le LiDAR et l'HSI (en diffusion).

Matériel utilisé:

- Caméras Hyspex VNIR₁₆₀₀ et SWIR₃₂₀m-e

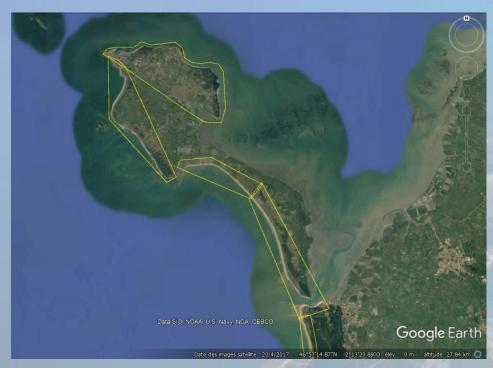


- LiDAR Optech Titan

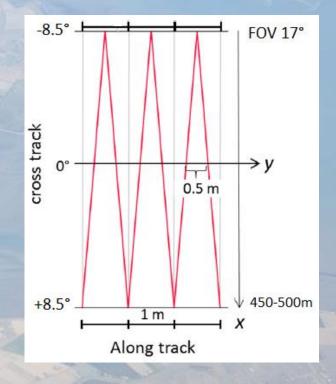


Matériel et méthodes – les acquisitions aéroportées – plans de vol et patterns

- Pour raisons économiques les acquisitions sont faites:
 - en aller-retour
 - suivant l'orientation de la côte
- → Limitation des effets de BRDF par :
 - faible FOV
 - 30% de recouvrement entre chaque ligne
 - corrections ATCOR efficaces



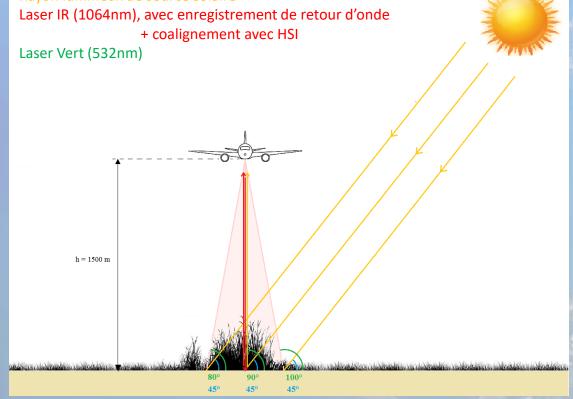
- Synchronisation des patterns d'acquisition:
 - synchronisation des FOV LiDAR-HSI
 - un aller-retour de balayage LiDAR par ligne de pixel HSI
 - résolution LiDAR de 50cm au nadir et 1m aux bords résolution HSI de 1m

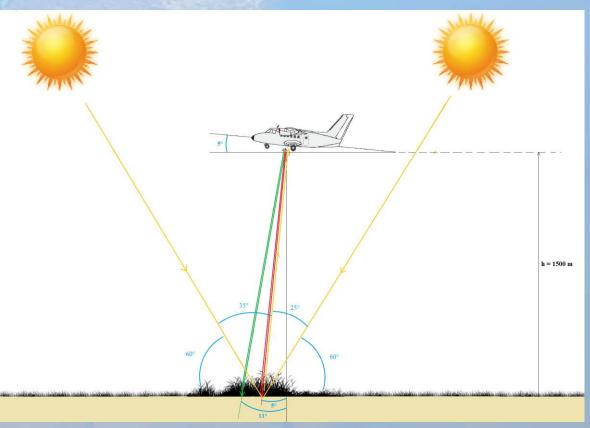


Matériel et méthodes – les acquisitions aéroportées – géométries d'enregistrement

Vol perpendiculaire à la direction solaire, à droite ou à gauche

Vol parallèle à la direction solaire, en avant ou en arrière Rayon lumineux de source solaire + coalignement avec HSI





Le signal LiDAR fonctionne par impulsion tandis que le signal enregistré par l'HSI est un rayonnement continu!

1- Vue de face sur les angles d'acquisition. montre que les **angles d'incidences sont différents** mais les angles d'émergence sont similaires.

2- Vue de profil sur les angles d'acquisition. Montre: écart entre les laser V et PIR, cohérence des angles d'acquisition HSI et LiDAR-IR, effets de BRDF.

Matériel et méthode – Spectro-imagerie hyperspectrale (HSI) - 1

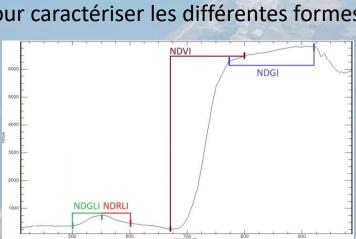
capteur	Gamme spectrale (nm)	Résolution spectrale (nm)	FOV (°)
Hyspex VNIR 1600	400 - 1000	3,7	17°

DUNE BLANCH

- Végétation:
 - = proxy de la dynamique sédimentaire
- On s'axe sur:
 - Oyat (rôle stabilisateur)
 - Chiendent (zone embryonnaire)
- Etape 1:

Utilisation d'indices spectraux pour caractériser les différentes formes des spectres de végétation de la scène.

DUNE EMBRYONNAI



• Etape 2:

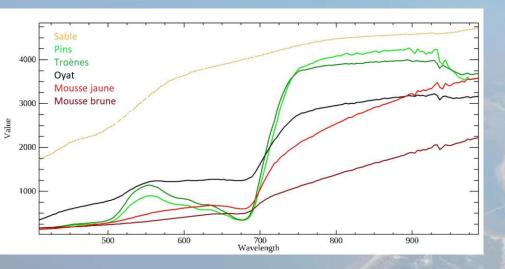
Spectral Angle Mapping (SAM) pour caractériser la distance angulaire entre les 160 canaux d'un pixel et d'une libraire de référence acquise sur le terrain an juin 2017

Méthode et résultats – Spectro-imagerie hyperspectrale (HSI) – Indices spectraux

→ détermination des grands ensembles de la scène par indices spectraux



Spectres acquis sur le terrain en Juin 2017



NDGI: pente du plateau IR

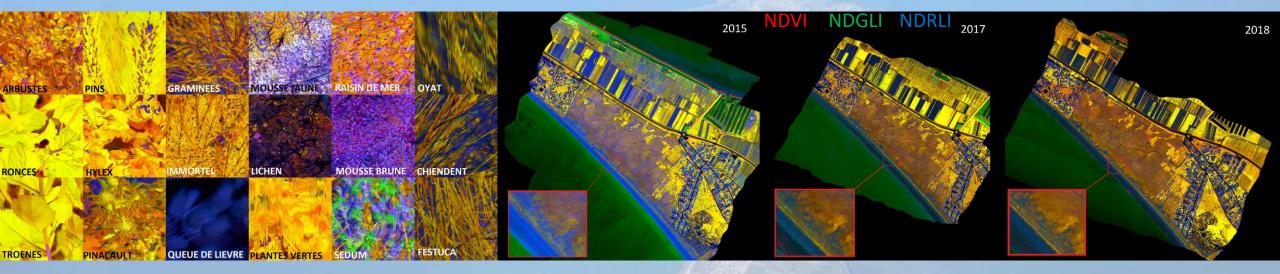
NDGI forts: mousses et lichens (proxy de la dune grise)

NDGI moyen: graminées

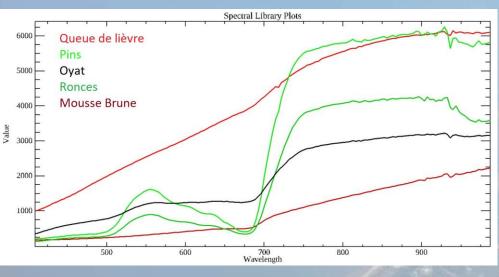
NDGI faibles: arbustes, ronces, pins, troènes... et sable.

Méthode et résultats - Spectro-imagerie hyperspectrale (HSI) - Indices spectraux

→ détermination des grands ensembles de la scène par indices spectraux



Spectres acquis sur le terrain en Juin 2017



Gap R-IR; Vert des feuilles; Rouge des feuilles (évaluation du jaunissement)

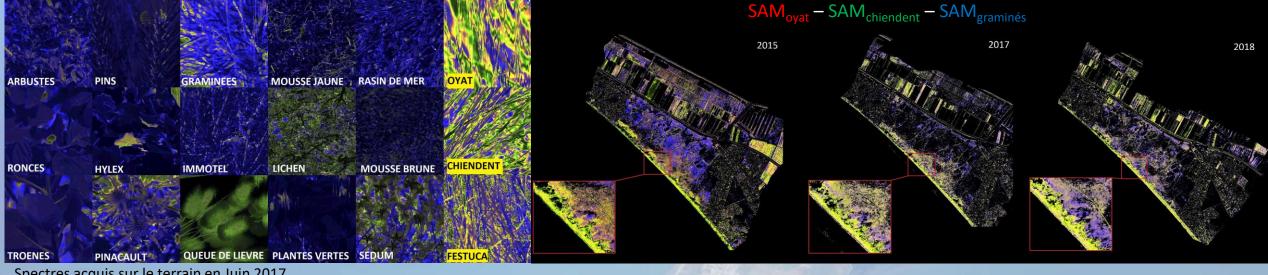
Jaune vif: Arbustes, ronces, troènes, pins, etc. (NDVI + feuilles vertes)

Sombre: végétation basse (dune gris)

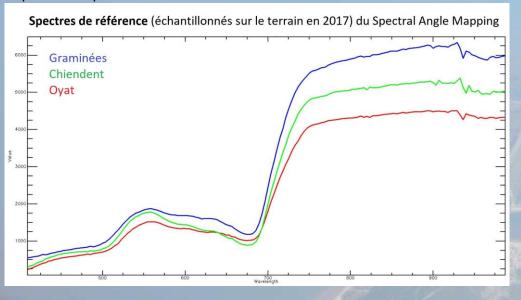
Magenta: mousses (NDVI + feuilles brunes)

Méthode et résultats – Spectro-imagerie hyperspectrale (HSI) – SAM

→ affinage de la discrimination par Spectral Angle Mapping







Dist. Oyat, Dist Chiendent, Dist. Graminées:

Jaune-vert: Oyat et Chiendent (dune embryonnaire et dune blanche)

Vert-terne: lichen et gueue de lièvre (arrière-dune blanche)

Bleu-violet: graminées (dune grise)

Distinction réussie entre le groupe Oyat/Chiendent et les autres graminées.

Bilan - Spectro-imagerie hyperspectrale (HSI)

• L'Hyperspectral permet donc la distinction de grands ensembles végétaux.

• Mais la variabilité spectrale rend difficile une discrimination plus fine (Oyat –

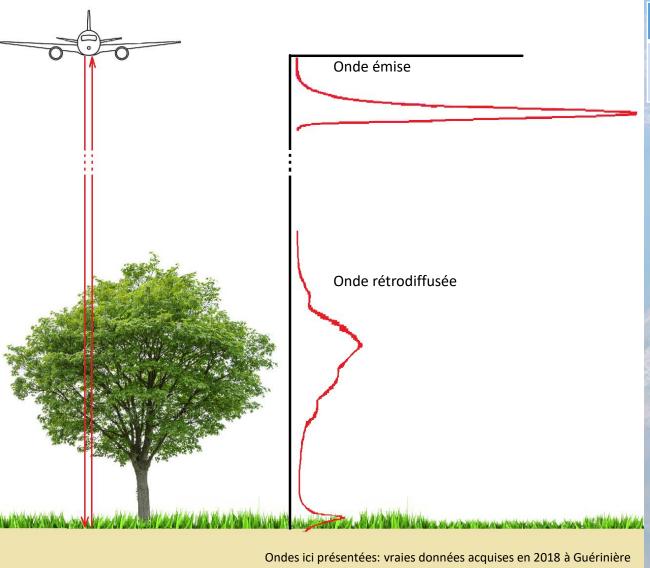
Chiendent, par exemple).



- 2015: Chiendent terne
 Oyat vert
- 2018: Chient vert Oyat bruni

• Le LiDAR peut apporter une catégorie d'informations supplémentaire.

Matériel et méthode - LiDAR à retour d'onde complet - définition



Lidar	channels	div. (mrad)	PRF (kHz)	FOV (°)
Optech- Titan	1064 nm	0,35	50-300	0-60

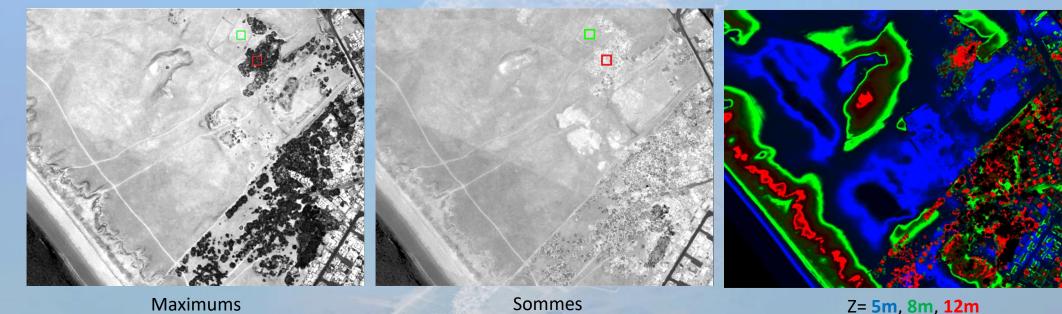
- Télédétection active
- Fonctionne sur le principe de télémétrie, signal laser
- Retour d'onde complet:
 - émission d'une onde (et non un dirac)
 - interaction de l'onde avec un volume
 - enregistrement d'une onde déformée par

l'interaction

→ l'analyse de la forme de l'onde retour nous informe sur l'architecture et les propriétés de diffusion de la cible.

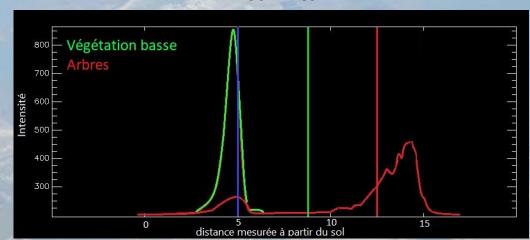
Méthode - LiDAR à retour d'onde complet – interactions volumiques

- La quantité d'énergie est proportionnelle à la surface de l'onde et non à son intensité!
 - → Un gros volume d'interaction étalera l'énergie sur une grande distance d'interaction → faible intensité



Végétation basse:

- faible volume d'interaction
- faible étalement
- forte intensité
- Arbres:
 - gros volume d'interaction
 - fort étalement
 - faible intensité



Méthode - LiDAR à retour d'onde complet – interactions volumiques

• Difficulté 1:

Un seul pic qui se forme sur la rétrodiffusion du sommet de la végétation sans avoir la base (≠ des arbres).

> Focalisation sur la déformation (damping) du rétro-signal.

Méthode - LiDAR à retour d'onde complet - exploitation

→ Objectif : bilan sur la quantité de végétation + bilan sédimentaire

Méthode d'analyse de la forme des retours d'onde:

(D'après Launeau et al., 2018/2019)

1 - Centrer à zéro :

permet de s'affranchir des effets de l'altitude. Focalise l'analyse sur les amplitudes.

2 - Passer en cumulatif:

Facilite l'études et la **comparaison des intensités relatives** de chaque onde en s'affranchissant des effets d'amplitudes.

3 - Normaliser à la somme (fin de la courbe cumulative) :

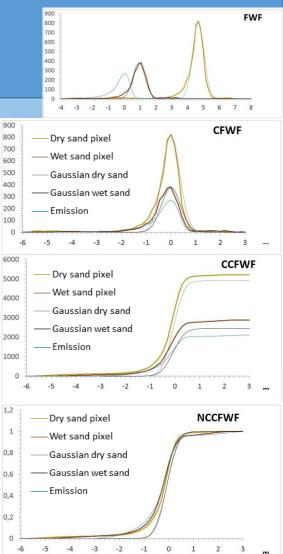
Permet de s'affranchir des variations d'intensités relatives pour donner plus de poids aux variations de formes.

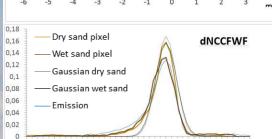
4 - Dériver le tout :

Permet de retourner dans un système similaire à celui du début, sauf qu'entre temps on a pu s'affranchir de plusieurs facteurs ce qui permet maintenant d'axer l'analyse sur les variations de formes des ondes

5 - Déviation par rapport à un référentiel :

ici le référentiel est donc le sable. Permet d'accentuer de manière non négligeable les variations de formes des ondes.





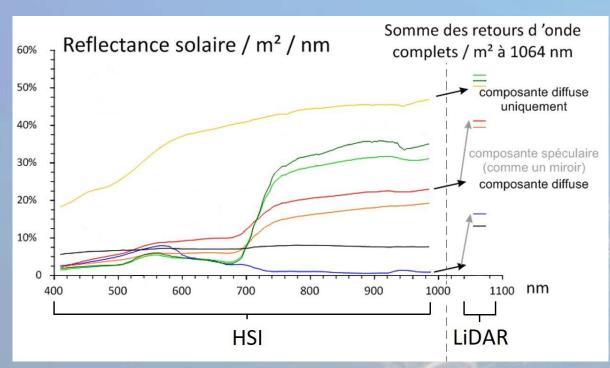
Méthode - LiDAR à retour d'onde complet - exploitation

→ Objectif : bilan sur la quantité de végétation + bilan sédimentaire

Méthode d'analyse de la forme des retour d'onde:

(D'après Launeau et al., 2018/2019)

Pourquoi le sable en tant que référence de calibration ?



- meilleur diffuseur des scènes d'intérêt: permet bilan énergétique LiDAR – HSI
- calibration HSI se fait aussi au sable sec:
 synchronisation LiDAR HSI
- forte réflectance (bon rapport signal/bruit)
- surface la plus répandue des scènes d'intérêt

LiDAR: angle d'incidence = angle d'émergence → bilan d'énergie fortement affecté par la composante spéculaire.

HSI: angle d'incidence ≠ angle d'émergence → bilan d'énergie moins affecté par la composante spéculaire.

→ Sable: forte composante diffuse → lien possible entre les bilans d'énergie LiDAR et HSI.

Méthode - LiDAR à retour d'onde complet – interactions volumiques

• Difficulté 2 :

Autres facteurs affectant la forme de l'onde rétrodiffusée: la pente (Mallet et al., 2009) (Distinction entre Oyat et effet de pente de la dune blanche rendue difficile).

Méthode et résultats - LiDAR à retour d'onde complet

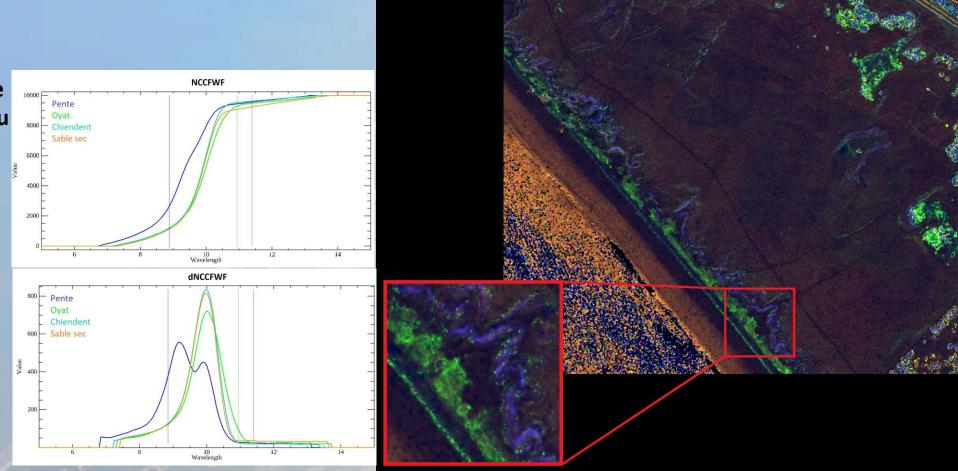
• Cumul de deux footprints de 45cm dans un pixel de 1 m²: distinction damping_{oyat} - doublet_{pente} rendue possible.

Tout comme en HSI on joue sur l'asymétrie des bandes d'absorption, en LiDAR-fwf on joue sur l'asymétrie des bandes de

rétrodiffusion.

 L'architecture des feuilles de l'oyat induit une diffusion du signal vers le haut. Ce qui permet de la distinguer du Chiendent.

Cumul sur pente forme un doublet d'échos.



Conclusion et perspectives

Conclusions:

- L'hyperspectral permet la distinction entre les grands ensembles de floristiques, grâce à l'analyse de leur signature spectrale.
 - Toutefois, la variabilité spectrale des plantes, en fonction de leur état, ne permet pas une discrimination plus fine (oyat/chiendent par exemple).
- Le LiDAR à retour d'onde complet nous à permit d'accéder aux informations d'architecture de la végétation et ainsi permettre la distinction Oyat chiendent.

Perspectives:

- évaluer la hauteur des oyats pour corriger les profils topographiques des dunes mais aussi estimer le volume d'Oyat
- faire une sélection parmi tous les spectres de végétation d'une librairie de référence en fonction de la stratification de la végétation pour:
 - améliorer les classifications (SAM, maximum de vraisemblance, ...) d'images hyperspectrales
 - améliorer les démélanges en ne cherchant à combiner que des spectres de végétaux compatibles avec les hauteurs mesurées.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Références bibliographiques:

Définition et détection du trait de côte:

- Boak, E., Turner, I., 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. Journal of Coastal Research, 21(4), 688-703
- -Dolan, R., Hayden, B.P., May, P., MAY, S.K., 1980. The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. Shore and Beach, 48(4), 22–29.

• Lien réchauffement climatique – érosion côtière:

- Zhang, K., Douglas, B.C., Leatherman, S.P., 2004. Global warming and coastal erosion. Climatic Change, 64, 41–58.

• Suivi et prédiction des variations côtières:

- Douglas, B.C., Crowell, M., 2000. Long-term shoreline position prediction and error propagation. Journal of Coastal Reshearch. 16, 145-152.

Fusion LiDAR-HSI:

- Alonzo, M., Bookhagen, B., Roberts, D.A., 2014. Urban tree species mapping using hyperspectral and lidar data fusion. Remote Sens. Environ. 148, 70–83.
- Asner, G.P., 2007. Carnegie airborne observatory: in-flight fusion of hyperspectral imaging and waveform light detection and ranging for three-dimensional studies of ecosystems. J. Appl. Remote Sens. 1, 013536.
- Dalponte, M., Bruzzone, L., Gianelle, D., 2008. Fusion of hyperspectral and LIDAR remote sensing data for classification of complex forest areas. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 46, 1416–1427.
- Dalponte, M., Bruzzone, L., Gianelle, D., 2012. Tree species classification in the Southern Alps based on the fusion of very high geometrical resolution multispectral/hyperspectral images and LiDAR data. Remote Sens. Environ. 123, 258–270.
- Brell, M., Rogass, C., Segl, K., Bookhagen, B., 2016. Improving Sensor Fusion: A Parametric Method for the Geometric Coalignment of Airborne Hyperspectral and Lidar Data. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 54, 3460-3474.
- Brell, M., Segl, K., Guanter, L., Bookhagen, B., 2017. Hyperspectral and Lidar Intensity Data Fusion: A Framework for the Rigorous Correction of Illumination, Anisotropic Effects, and Cross Calibration. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 46, 2799-2810.

• Distinction d'espèces végétales par indices spectraux:

- Launeau, P., Kassouk, Z., Debaine, F., 2017. Airborne hyperspectral mapping of trees in an urban area. Inter. Journal of Remote Sens. 38(5), 1277-1311.

Notre approche du traitement LiDAR-fwf:

- Launeau, P., Giraud, M., Ba, A., 2018. Full-waveform LiDAR pixel analysis for low-growing vegetation mapping of coastal foredunes in western France. Remote Sens. 10, 669.
- Launeau, P., Giraud, M., Robin, M., 2019. Full-waveform LiDAR fast analysis of moderately turbid bay in western France. Remote Sens. 11, 117.