

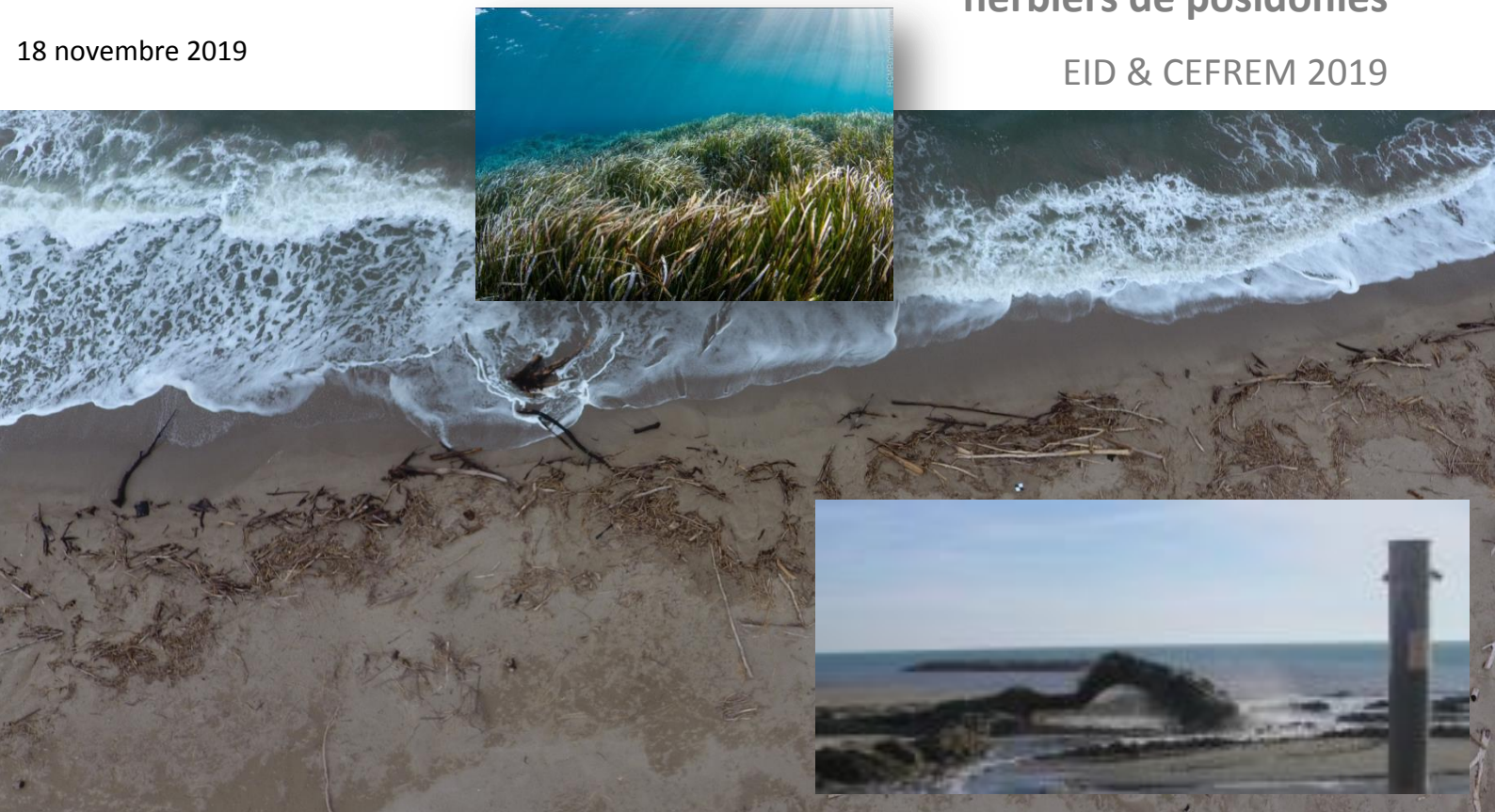
SENVISAT

Etude de faisabilité d'un Suivi
ENVironnemental par SATellite dans le
Parc naturel marin du golfe du Lion

Phase 4 : Apports de la télédétection pour l'étude des impacts anthropiques sur le littoral et la détection des bois flottés et des herbiers de posidonies

18 novembre 2019

EID & CEFREM 2019



Référence à utiliser pour toute citation du document

Richard, B., Gervais, M., Cros, M., Heurtefeux, H., Aleman, N., Robin, N., Raynal, O., Certain, R., 2019. Apports de la télédétection pour l'étude des impacts anthropiques et la détection des bois flottés et des herbiers de posidonies. Rapport phase 4 - SENVISAT.

CONTACTS

Mathieu Gervais mgervais@eid-med.org 04.30.63.67.82	EID Méditerranée Pôle Littoral 165 avenue Paul Rimbaud 34 184 Montpellier Cedex 4
Hugues Heurtefeux hheurtefeux@eid-med.org 04.67.63.72.99	
Nicolas Aleman nicolas.aleman@univ-perp.fr 04.68.66.20.57	Laboratoire CEFREM Université de Perpignan Via Domitia, Bat U 52, av. Paul Alduy 66860 Perpignan Cedex
Nicolas Robin nicolas.robin@univ-perp.fr 04.30.19.23.00	

Le pôle Littoral de l'EID Méditerranée s'investit dans la protection et la restauration des cordons dunaires et des plages. Les connaissances scientifiques et techniques accumulées sur cet espace constituent aujourd'hui un capital mis à disposition des collectivités territoriales et des établissements publics. Ainsi nous concevons et proposons aux collectivités des actions de protection et de réhabilitation des plages et des dunes, ainsi que des modalités de gestion de la fréquentation adaptées à ces sites.

Le laboratoire CEFREM (Centre de Formation et de Recherche sur les environnements Méditerranéens) de l'Université de Perpignan Via Domitia est spécialisé notamment dans l'étude détaillée des données sédimentaires et morphologiques pour la compréhension de la dynamique littorale. Son activité de recherche est focalisée sur le thème des transferts de matière et d'énergie aux interfaces du système côtier.

Apports de la télédétection pour l'étude des impacts anthropiques et la détection des bois flottés et des herbiers de posidonies

PHASE 4 – Contrat de recherche SENVISAT

Bertrand Richard

Mathieu Gervais

Myriam Cross

Hugues Heurtefeux

Nicolas Aleman

Nicolas Robin

Olivier Raynal

Raphaël Certain

TABLE DES MATIERES

PREAMBULE.....	6
1. INVENTAIRE DES OUVRAGES ET AMENAGEMENTS ANTHROPIQUES COTIERS SUR LE PERIMETRE DU PNMGL.....	6
2. SUIVI DES PANACHES DE TURBIDITE LORS D'UN DRAGAGE	8
3. LA CARTOGRAPHIE DES HERBIERS DE POSIDONIES PAR IMAGERIE SATELLITE ET AERIENNE	10
3.2 Utilisation des images Pléiades.....	10
Les posidonies visibles en couleurs naturelles	10
Les contraintes d'acquisitions.....	11
3.3 Visualisation via Google Earth	13
3.4 Ortho-photographies IGN	14
3.5 Conclusions	16
4. LA DETECTION DU BOIS FLOTTE VIA L'IMAGERIE PLEIADES	17
4.1 Résultats.....	17
Classification non-supervisée (Kmeans)	17
Classification supervisée Random Forest	18
Classification supervisée Random Forest incluant le NDVI.....	18
Classification supervisée Random Forest incluant les indices de textures	20
4.2 Conclusions.....	21
ANNEXES C – SCORES DES DIFFERENTES METHODES DE CLASSIFICATION SUPERVISEE	23
BIBLIOGRAPHIE	25

PREAMBULE

Ce rapport constitue la phase 1 du contrat de recherche " Suivi ENVlronnemental par SATellite" (SENVISAT) entre le Parc Naturel Marin du Golfe du Lion (PNMGL), l'Université de Perpignan Via Domitia (UPVD), le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), l'Observatoire de la côte sableuse catalane (OBSCAT), et l'Entente Interdépartementale pour la Démoustication (EID- méditerranée) qui a réalisé cette partie de l'étude.

1. INVENTAIRE DES OUVRAGES ET AMENAGEMENTS ANTHROPIQUES COTIERS SUR LE PERIMETRE DU PNMGL

Cette section a pour but de dresser un inventaire le plus exhaustif possible des ouvrages et aménagements anthropiques existants sur le littoral du Parc Naturel Marin du Golfe du Lion. Cet inventaire se présente sous la forme de couches SIG afin de replacer géographiquement l'ensemble des objets identifiés. L'inventaire prend en compte tout aménagement et/ou structure d'origine anthropique présent sur le littoral pouvant sensiblement impacter l'évolution morphodynamique de cet environnement. La zone d'inventaire s'étend du trait de côte jusqu'au pied de dune dans les zones naturelles (et jusqu'à la dune dans le cas de la présence de ganivelles) ou jusqu'au dernier ouvrage côtier dans les zones urbanisées (généralement matérialisé par un muret séparant la plage de l'urbanisation).

Ces critères ont permis de distinguer 10 types d'ouvrages et aménagements côtiers présents sur le territoire du parc :

- Les jetées portuaires
- Les quais portuaires
- Les épis
- Les brise-lames
- Les murets de haut de plage
- Les enrochements de haut de plage
- Les dunes artificielles fixes
- Les zones de ganivelles
- Les parkings en dur
- Les bâtiments en dur

L'inventaire a été réalisé sous le logiciel ArcGIS©10.4 à partir des images satellites Pléiades prises en octobre 2018 et mars 2019 et des vérifications de terrain. Les données se présentent sous la forme de couches de lignes (jetées, quais, épis, brise-lames, murets et enrochement) ou de polygones (dunes artificielles, ganivelles, parkings et bâtiments).

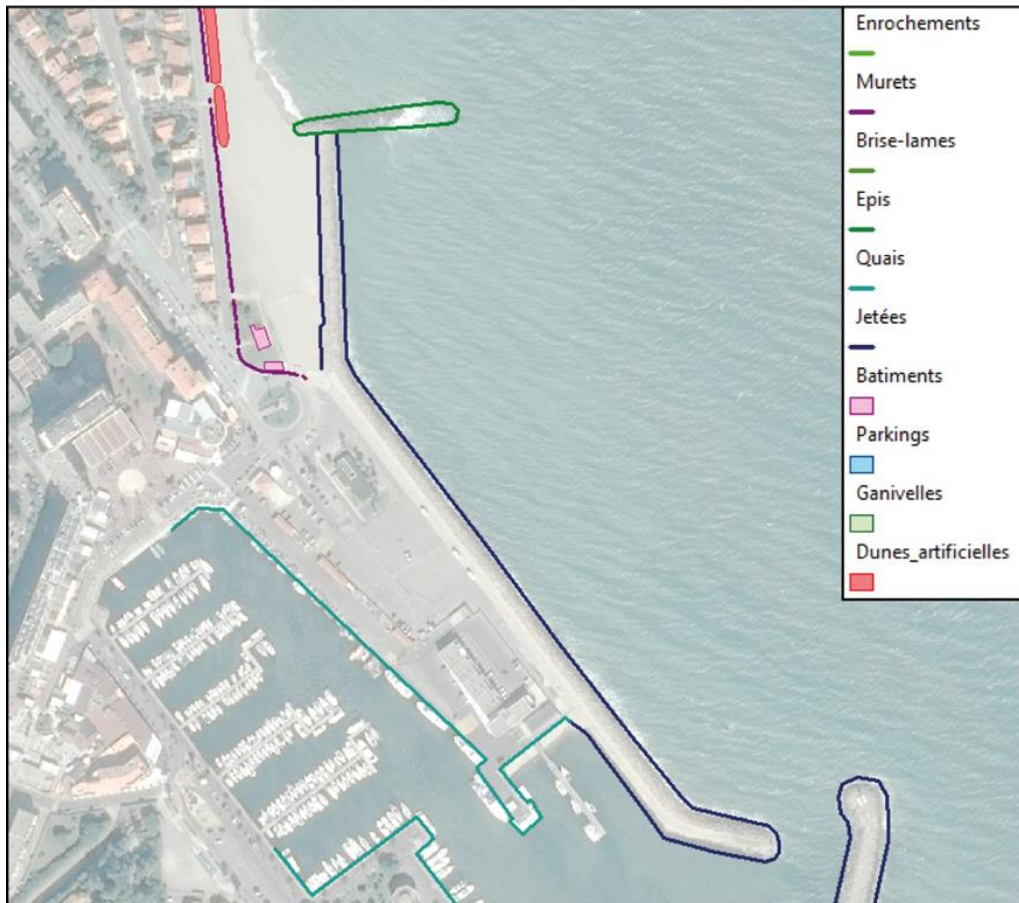


Figure 1 : Exemple de l'inventaire des ouvrages et aménagements anthropiques côtier au niveau de Saint Cyprien.

2. SUIVI DES PANACHES DE TURBIDITE LORS D'UN DRAGAGE

Cette partie présente un suivi via l'imagerie Pléiade d'un petit panache de turbidité qui a été généré suite à une opération de dragage en avril 2015 devant la plage des Orpellières à l'embouchure de l'Orb. Cet exemple a été choisi car aucuns travaux en cours n'apparaissent sur la zone du PNMGL sur la base de données d'images Pléiades. Sur la Figure 2 (en haut) **on peut voir grâce à l'image Pléiade en vraies couleurs la trace de ce panache de turbidité** composé du sable généré par son extraction par la barge. Ce panache s'étale sur environ 500 m de long pour quelques dizaines de mètres de largeur à cause visiblement du courant présent sur la zone.

La Figure 2 (en bas) est issue du calcul de l'indice de Froidefond (Froidefond et al., 2002), rapport spectral entre la bande verte et la bande bleue (voir Annexe X -Extraire la turbidité des images Sentinel-2). Cet indice est l'indicateur qui a été défini lors de la phase 3 comme étant le plus pertinent pour spatialiser la turbidité dans le PNMGL avec les images Sentinel-2. Pléiades disposant également des canaux vert et bleu il est alors possible de calculer ce même indice. **L'indice de Froidefond appliqué ainsi à Pléiades améliore la visibilité du panache de turbidité** par rapport à l'image en vraies couleurs en permettant de mettre en valeur ses contours de façon plus nette en choisissant un intervalle de valeurs adapté de manière empirique. Dans ce cas la turbidité liée au dragage se situe aux alentours de 0,8 sur l'échelle de l'indice de Froidefond allant de 0 à 5. Cette valeur est assez faible car la turbidité générée dans ce cas n'est pas comparable en termes de quantité de matière générée par rapport aux événements de crues près des embouchures.

L'utilisation de l'indice de Froidefond issu des images Pléiades, doit cependant être lu avec précaution, car comme avec les images Sentinel-2, cet indice fait également ressortir les structures morphologiques des barres d'avant côte situées à de faibles profondeurs. De plus lorsqu'il s'agit d'images où, comme dans cet exemple le vent et son clapot produisent une forte réflexion des rayons du soleil, la lecture de l'indice est perturbée. Cet effet apparait moins sur les images Sentinel-2 à cause d'une résolution plus faible (10 m).

On peut donc en conclure que, grâce à Pléiades, il est possible de suivre la turbidité générée par un événement anthropique. Ce phénomène de faible ampleur peut ainsi être visualisé finement grâce à la résolution de ce capteur. **Une acquisition d'image systématique coïncidant avec de tels travaux permettrait de donner un aperçu des impacts qui en résultent et mieux préconiser à l'avenir des mesures de réduction.**

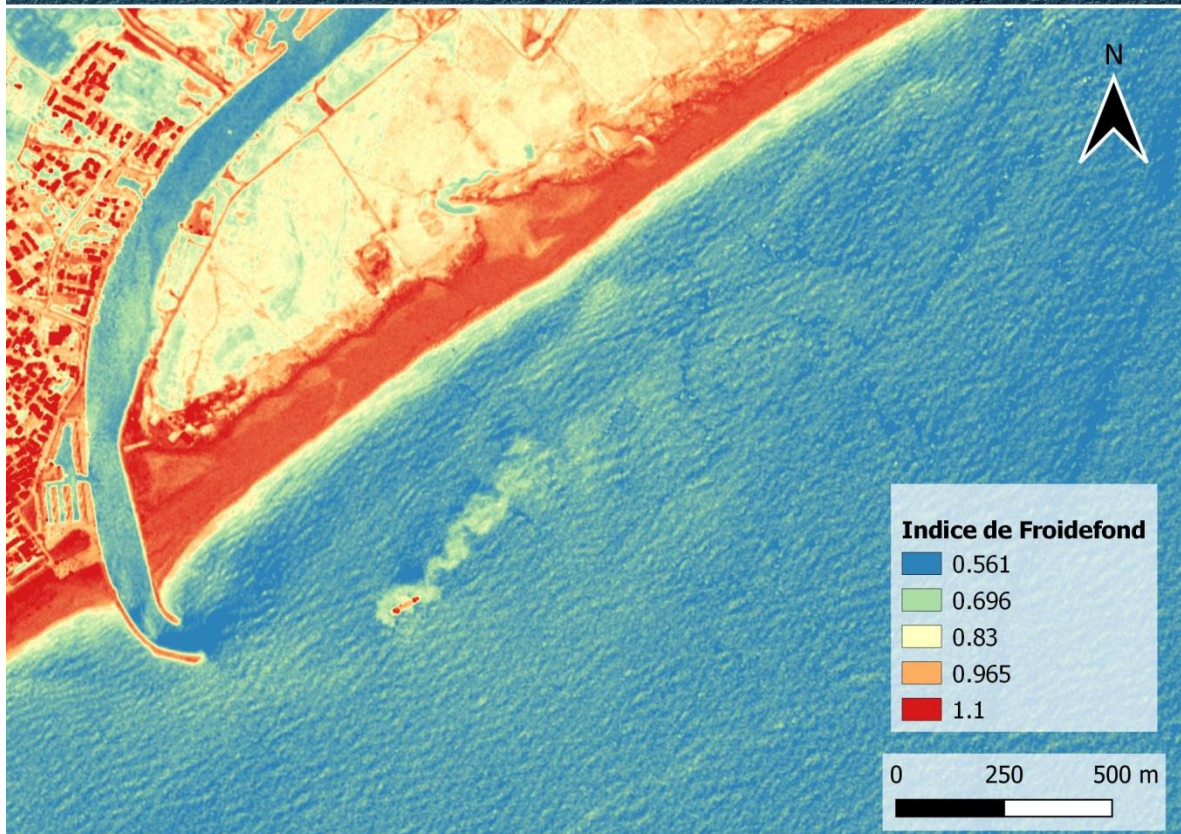


Figure 2 : Le panache de turbidité généré par le dragage aux Orpellières (embouchure de l'Orb) le 13 Avril 2015 avec l'imagerie Pléiade en vraie couleurs (en haut) et après le calcul de l'indice de *Froidefond* (en bas).

3. LA CARTOGRAPHIE DES HERBIERS DE POSIDONIES PAR IMAGERIE SATELLITE ET AERIENNE

La posidonie est une plante à fleurs monocotylédones sous-marines qui est une des cinq espèces protégées sur les côtes méditerranéennes françaises. La possibilité de suivre par imagerie satellite et aérienne les herbiers de posidonies apparaît pertinent dans le cadre d'études visant à préserver cette ressource écologique jouant un rôle important dans la protection du littoral et desservant un biotope particulier. Les posidonies se développent au fond de criques de faible profondeur, l'enjeu est donc de pouvoir comprendre si il est possible détecter les herbiers avec des sources de données prévues à la base pour les surface continentales.

3.2 Utilisation des images Pléiades

Les posidonies visibles en couleurs naturelles

Il est possible de voir sur une image Pléiades les herbiers de posidonies comme on peut le constater sur cette carte du secteur de Peyrefite (Figure 3). La résolution apparaît adaptée en comparaison des données de référence¹ qui ne sont qu'une cartographie grossière et un peu ancienne de ces herbiers. Sur l'image en vraies couleurs (Figure 3 - Carte 1). On distingue pratiquement l'ensemble des posidonies de la baie. Le canal proche infra-rouge (PIR) (Figure 3 - Carte 2) n'apporte pas d'information intéressante pour permettre une meilleure différenciation de celles-ci par rapport au canaux rouge (R), vert (V) et bleu (B). L'indice de végétation normalisé (NDVI) utilisé dans les autres phases du projet n'apporterait donc pas de plus-value contrairement à ce que l'on aurait pu penser, certainement car l'étude porte sur le milieu aquatique. En effet, les posidonies étant des plantes chlorophylliennes elles auraient théoriquement eu une réponse élevée dans le PIR, hors l'eau est un élément qui absorbe beaucoup dans le PIR atténuant ainsi la réponse spectrale de posidonies. De plus le spectre d'absorption de l'eau est également élevé dans les longueurs d'ondes du visible et va rendre la détection de plus en plus difficile au fur et à mesure que la profondeur va augmenter.

¹ Données fournies le PNM du Golfe du Lion datant d'un relevé de 2015

Les contraintes d'acquisitions

Le principal problème qui va se poser dans l'utilisation des images Pléiades est lié aux conditions d'acquisition. L'image du 26 septembre 2017 est une des acquisitions peu nombreuses (2-3 images) sur lesquelles on pouvait distinguer les posidonies avec précision sur la vingtaine d'images qui ont été consultées. Pour que les posidonies soient visibles il faut que plusieurs facteurs soient réunis. Premièrement l'eau doit être très claire car la turbidité va venir masquer la réponse spectrale des posidonies. Deuxièmement la houle doit être faible voire inexistante afin d'éviter la réverbération des rayons du soleil sur l'eau. Enfin et comme pour toutes les acquisitions d'images satellites, il ne faut évidemment pas de nuages sur la zone.

En prenant en compte tous ces facteurs il apparaît difficile de pouvoir programmer avec certitude une acquisition un jour où tous ces paramètres météorologiques incertains seront réunis. De plus comme les satellites de Pléiades passent toujours à la même heure solaire il est impossible de choisir l'heure d'acquisition.



Figure 3 : Les posidonies visibles sur une image PLEIADES le 26 septembre 2017 sur le site de Peyrefite à Cerbère (site du sentier sous-marin)

3.3 Visualisation via Google Earth

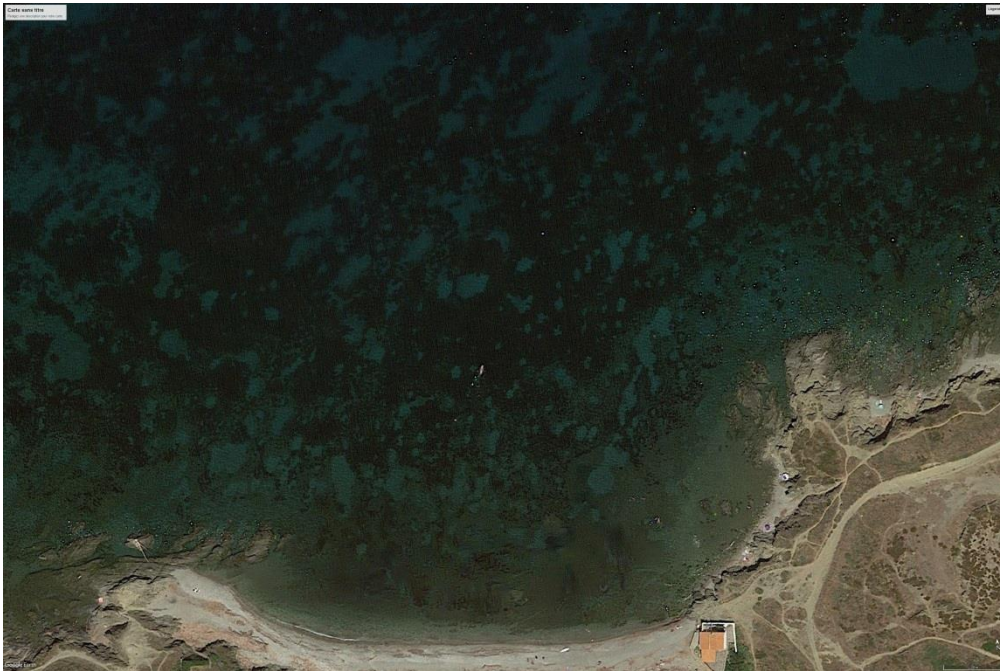


Figure 4 : Le site de Porteils à Argelès visible sur *Google Earth* (2015)

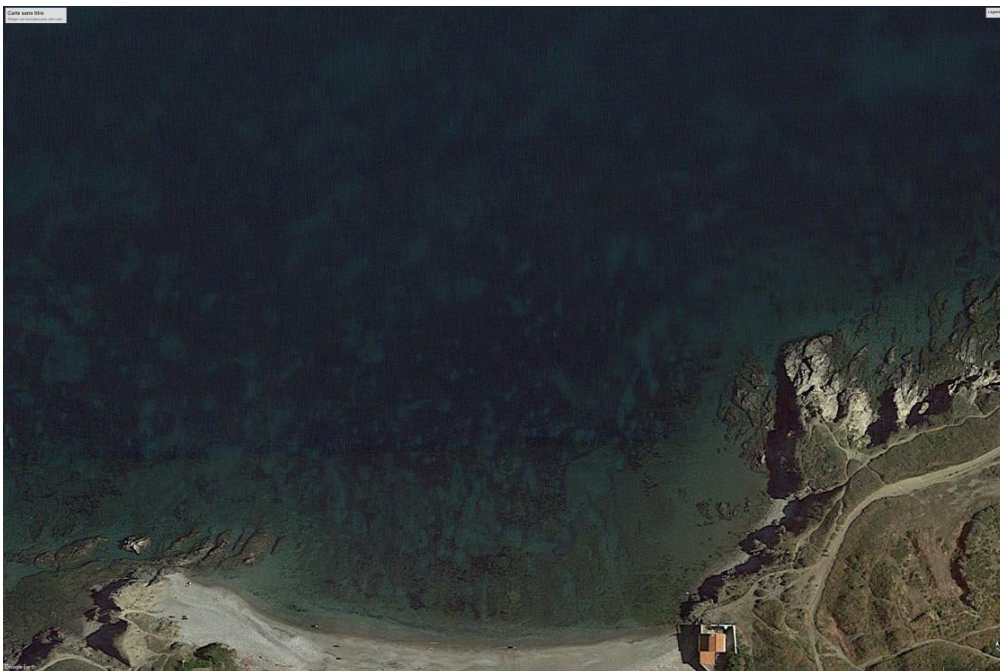


Figure 5 : Le site de Porteils à Argelès visible sur *Google Earth* (2017)

Grâce au logiciel *Google Earth*, et particulièrement à sa fonction de recherche d'image dans la base de donnée historique de Google, on peut balayer facilement les images disponibles

afin de trouver celle qui va permettre de visualiser les posidonies afin d'éviter les problèmes évoqués précédemment. Sur les exemples ci-dessous (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) un œil expert distinguera facilement les posidonies d'autant que comme il s'agit d'images aériennes ou des nouveaux satellites de la NASA (type « world-view »), la résolution est supérieure à celle de Pléiades. Il est alors possible de numériser directement les contours sombres dans *Google Earth*, ou d'exporter l'image puis de la géoréférencer dans *Qgis*. La recherche d'une image adaptée reste assez longue puisque sur la dizaine de dates disponibles, seules les dates du 29 juin 2015 et du 15 mai 2017 montraient une clarté de l'eau suffisante parmi les dates récentes.

3.4 Ortho-photographies IGN

La meilleure option trouvée reste l'utilisation des ortho-photographies de l'IGN. Leur résolution spatiale de 20 cm permet d'avoir une précision supérieure à Pléiades. Le seul problème restant la fréquence de leur mise à jour (tous les 3 ans en moyenne). Sur le périmètre du PNM la donnée la plus récente sera de 2018², mais d'autres millésimes existent notamment 2015 et 2012³, ce qui permet ainsi de remonter dans le temps.

L'utilisation de ces images n'exclut pas les problèmes liés aux conditions d'acquisitions. Cependant la donnée de 2018 permet d'avoir une bonne visibilité des posidonies sur tous les secteurs étudiés : Pauliles, Peyrefites (Figure 6 - 1), Banyuls, Racou, Cerbère et Pin Parasol. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que comme ces images sont acquises par avion, les jours de survol d'une zone sont programmés lorsque la météo est excellente (bonne visibilité du sol, vents faibles pour éviter le tremblement de l'avion lors de l'acquisition,...). Finalement le seul paramètre que l'avion ne prendrait pas en compte serait la turbidité de l'eau, mais ces survols sont souvent programmés l'été avec des eaux peu turbides.

Il devient alors possible de réaliser une classification supervisée à partir de l'information des bandes R, V et B qui va permettre de cartographier les herbiers de posidonies (Figure 6 - 2). Ce résultat plutôt précis reste quand même soumis à plusieurs sources d'erreurs. La principale erreur de classification est liée à la profondeur des posidonies. Ainsi plus la profondeur va donc augmenter plus la réponse spectrale des posidonies va être bloquée par l'eau. On arrive ainsi à une détection plus aléatoire lorsqu'on va franchir les 9 m de profondeur⁴ pour cet extrait. Les ombres sous-marines de rochers entraînent également une confusion car ce sont des zones sombres similaires aux posidonies. Cet effet est particulièrement visible au nord de la zone. Enfin les bateaux présents vont évidemment masquer les posidonies situées en dessous.

² Ortho-Express 2018 : Données fournies par l'association OpenIG (<http://www.siglr.org/>) dont l'EID-méditerranée est adhérent

³ IGN – BD Ortho

⁴ SHOM : LITTO 3D 2011

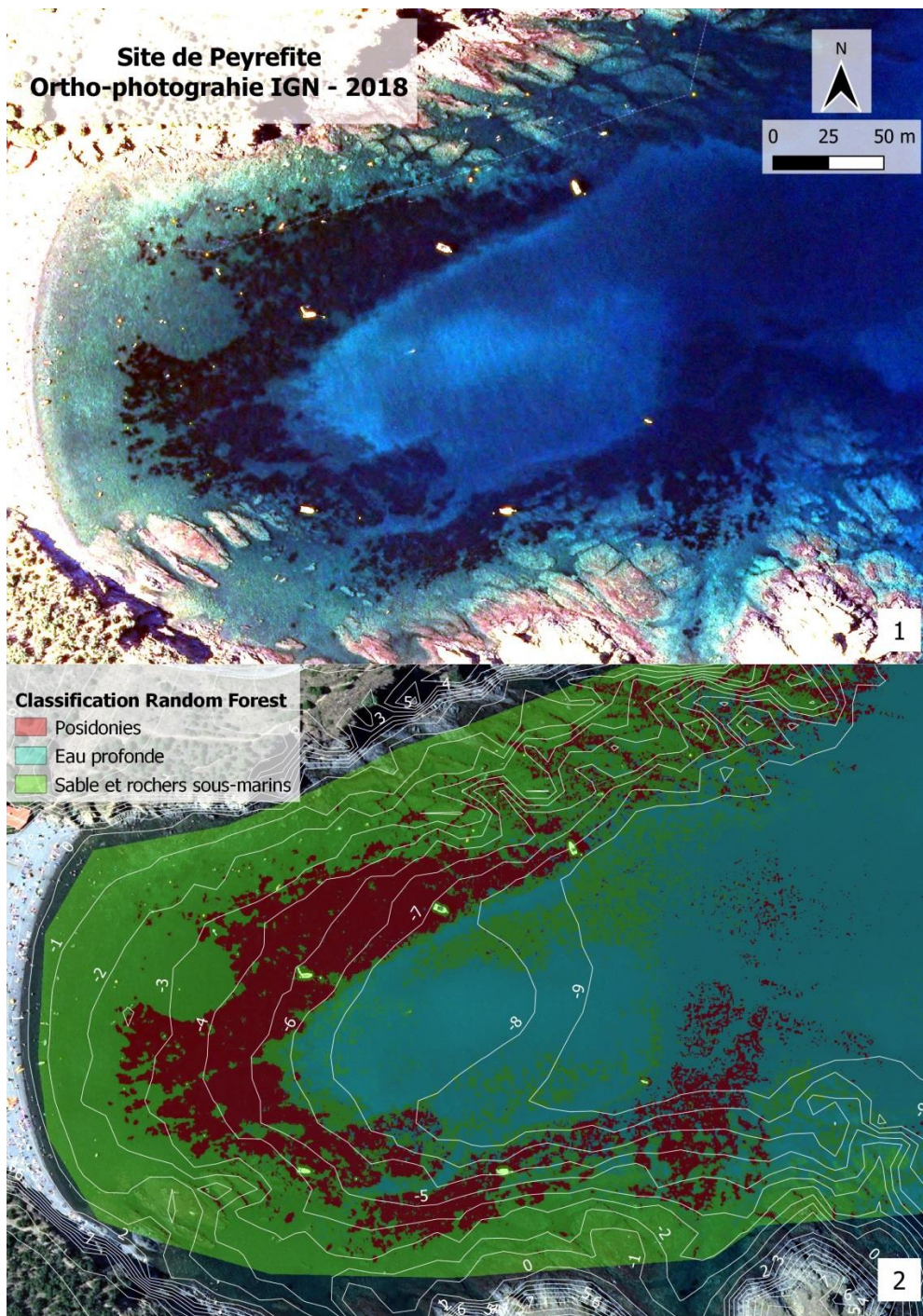


Figure 6 : Le site de Peyrefite visible sur une ortho-photographie de l'IGN en 2018 (1) et résultat d'une classification supervisée Random Forest (2)

3.5 Conclusions

Les difficultés pour programmer une acquisition d'images satellites via Pléiades dans de bonnes conditions et l'inutilité de la bande PIR dans ce cas précis font que ces données n'apparaissent pas comme les plus opportunes pour mener un suivi des posidonies. Afin d'obtenir une image correcte il faudrait probablement faire de multiples acquisitions entraînant alors un cout très élevé. Il apparait alors plus judicieux de se tourner vers d'autres sources.

Les alternatives les plus intéressantes restent les images de Google pour le nombre d'images disponibles, ainsi que la BD Ortho de l'IGN pour la qualité des acquisitions et la facilité de mise en œuvre dans un logiciel SIG. Ces ressources, en plus d'être facile d'accès, offrent une meilleure résolution spatiale que Pléiades. Cependant elles n'offrent pas la garantie de trouver une image adaptée.

La cartographie des posidonies par traitement d'image est possible et assez simple à réaliser avec une classification supervisée « *random forest* » sur les bandes R-V-B. Cependant, il est possible de faire une photo-interprétation, mais là aussi, plus les posidonies seront situées à des profondeurs importantes et moins il sera évident de les détecter avec certitude.

4. LA DETECTION DU BOIS FLOTTE VIA L'IMAGERIE PLEIADES

Les capacités d'acquisition de Pléiades permettent d'obtenir des images avec une résolution spatiale assez fine (0,5 mètre) pour distinguer visuellement le bois flotté, du moins les plus gros troncs et les amas de petits troncs. L'acquisition fréquente et sur commande rend possible de programmer le satellite afin qu'il puisse imager une zone à une date précise si les conditions le permettent. Ces deux atouts font de Pléiades une source de données satellites intéressante pour effectuer un suivi à large échelle du dépôt de bois flotté sur les plages, en particulier suite à un épisode de fortes crues, tels celles des épisodes météorologiques méditerranéens parfois intenses de l'automne.

Cette partie présente un travail qui a été mené à partir des données Pléiades du 13 avril 2015 couvrant les plages situées autour de l'embouchure de l'Aude et montrant des amoncèlements de bois flottés suite à la crue de décembre 2014 (Figure 7 - Carte 1). Afin d'explorer les possibilités d'utilisation des images Pléiades dans le but de cartographier les zones contenant du bois flotté, plusieurs méthodes de traitement d'images ont été étudiées : classification non supervisée (Figure 7 - Carte 2 et 3), supervisée (Figure 7 - Cartes 4 et 5), calcul d'indices (Figure 7 - Cartes 5 et 6) et l'utilisation de indices de textures (Figure 8 - Cartes 7 et 8).

4.1 Résultats

Classification non-supervisée (Kmeans)

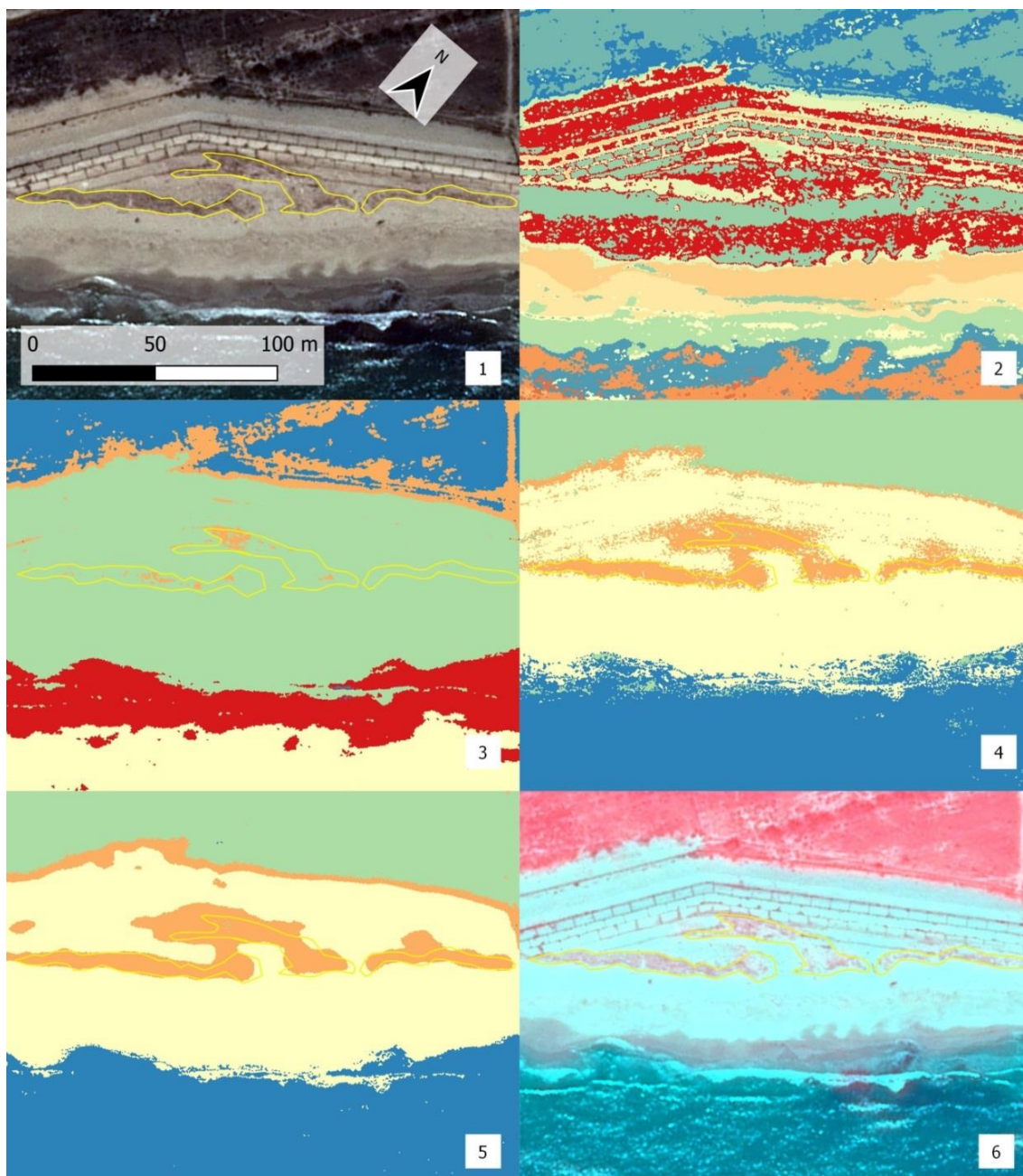
Les classifications non supervisées (Figure 7 - Cartes 2 et 3) montrent une confusion très élevée entre de nombreux éléments de l'image. Fortement mélangé à du sable, et ainsi très proche de la signature spectrale d'une végétation éparsse contenant peu de chlorophylle, le bois flotté ne ressort pas comme une classe suffisamment distincte au niveau de sa radiométrie. Ainsi, avec une contrainte fixée à 10 classes on ne distingue pas suffisamment les différents éléments de la plage. En augmentant le nombre de classes on se retrouve à l'inverse avec des classes très mixtes où le bois flotté se confond avec le sable humide, le pied de dune côté terre (limite de la zone humide), et la végétation éparsse. L'algorithme n'arrive alors pas à créer une ou plusieurs classes qui isolent le bois flotté des autres éléments de l'image. La classification non supervisée est particulièrement sensible à ce problème de similarité radiométrique élevée. Elle ne permet pas de définir toute seule une nomenclature contenant les éléments que l'on souhaite spécifiquement. L'utilisateur ne guide pas ici l'algorithme dans ces choix, et le bois flotté s'apparente aux éléments de bordure de végétation dunaire.

Classification supervisée Random Forest

Une base de données d'apprentissage permettant de définir radiométriquement les classes que l'on souhaite a été créée et soumise à l'algorithme de classification supervisée *Random Forest*. On remarque qu'après classification supervisée (Figure 7 – Carte 4) la zone constituée de bois flottés commence à ressortir sur l'image en sortie. Les contours de la zone contenant du bois flotté manquent de définition en raison des mélanges radiométriques de pixels contenant du bois flotté et du sable. La zone de bois flotté se confond également avec le pied de dune côté terre car la classe bois flotté comporte une information radiométrique proche de cette zone de la dune où la végétation contient peu de chlorophylle et comporte un mélange spectral avec le sable. L'information contenue dans les 4 canaux de l'image ne suffit apparemment pas pour distinguer le bois flotté. Afin d'améliorer les résultats, l'information peut être enrichie avec des indices calculés à partir des canaux d'origine.

Classification supervisée Random Forest incluant le NDVI

Après avoir calculé une série d'indices radiométriques, l'indice de végétation normalisé (NDVI) a été retenu comme étant un de ceux qui apporte un des meilleurs résultats visuels. La classification supervisée (Figure 7 – Carte 5) a ensuite été effectuée à partir des canaux R, V, B, PIR et le néo-canal NDVI. Les résultats permettent de constater l'intérêt du NDVI comparé à une classification sans cet indice radiométrique (Figure 7 – Carte 4). Cet indice utilisé pour la classification de végétaux lors de la phase 1 du projet montre une nouvelle fois une efficacité certaine en ce qui concerne la séparation du bois flotté des différents éléments de la plage (sable, eau et végétation). Les limites des classes radiométriques sont plus nettes et offrent des contours aux limites plus franches. On constate également beaucoup moins de pixels de la classe sable au sein de la classe bois flotté et vice-versa comme le montre les indices statistiques d'évaluation des classes (annexe C) montrant l'évaluation statistique des classifications supervisées respectivement sans et avec NDVI). Malgré cela le NDVI montre ses limites, en ne permettant pas de différencier correctement le pied de dune et le bois flotté.



- 1 : Image Pléiades R V B
- 2 : Classification Kmeans 20 classes (classes sans valeurs thématique)
- 3 : Classification Kmeans 10 classes (classes sans valeurs thématiques)
- 4 : Classification Random Forest R V B PIR
- 5 : Classification Random Forest R V B PIR NDVI
- 6 : Image Pléiades en fausses couleurs R=NDVI V=V B=B

- Bois flotté photo interprété
- Classification Random Forest (4 et 5)
- Bois flotté
- Sable
- Végétation
- Eau

Figure 7 : Bois flotté visible avec Pléiades le 13 avril 2015 en couleur naturelles, fausses couleurs, et après classification non-supervisée, supervisée, et supervisée avec NDVI.

Classification supervisée Random Forest incluant les indices de textures

Les textures sont une répétition dans une image d'éléments à intervalle spatial régulier. Sur une image Pléiades le bois flotté semblerait avoir une texture particulière (Figure 8 – encart image 8). En effet la forme allongée des morceaux d'arbres morts pourrait montrer une texture spécifique. Les indices de textures d'Haralick sont des indicateurs qui vont être utilisés pour permettre de décrire la disposition des éléments grâce à des matrices de co-occurrences. Après le calcul de ces descripteurs texturaux dans *OrfeoToolbox*, une classification *Random Forest* a été réalisée (Figure 8 – Carte 7).

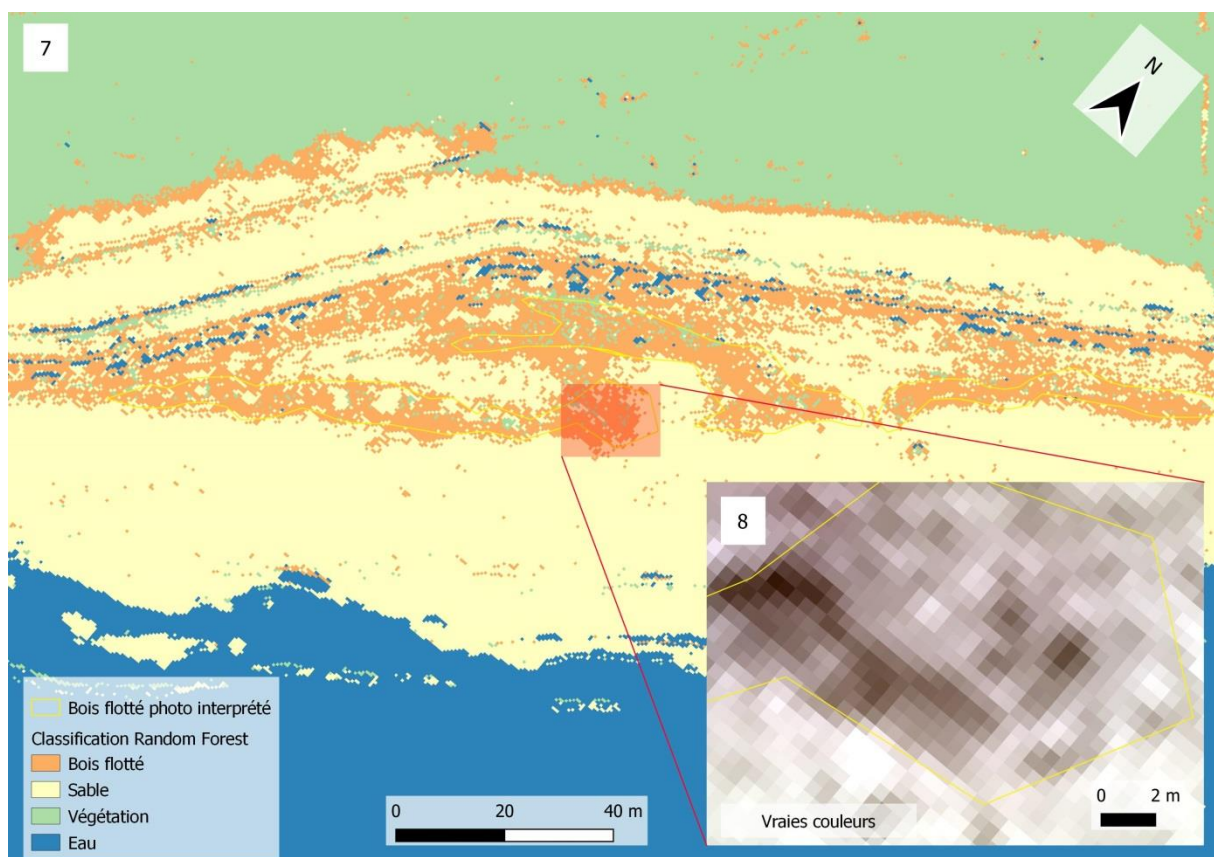


Figure 8 : Bois flotté issue d'une classification *Random Forest* incluant les indices de texture d'Haralick sur une image Pléiades le 13 avril 2015

Il en ressort que les zones contenant du bois flotté se dessinent comme des ensembles peu homogènes, avec beaucoup de confusion avec le sable et le pied de dune. Le résultat devient ainsi très bruité et n'apparaît pas très satisfaisant visuellement. Statistiquement les erreurs annoncées sont fortes avec l'échantillon d'apprentissage (Annexe C montrant l'évaluation statistique de la classification supervisée incluant les indices de textures). Une classification comportant les bandes de bases de l'image, le NDVI et les indices de textures a été réalisée également, mais donne un résultat similaire à la classification supervisée incluant le NDVI (Figure 7 – Carte 5). Ceci indique que la texture n'apporte pas d'information intéressante

pour la classification, au contraire cela aurait tendance à amener plutôt de la confusion entre les classes.



Figure 9 : Exemple d'un élément avec une texture identifiable sur Pléiades : une parcelle d'un domaine viticole

La résolution de Pléiades ne permet apparemment pas d'identifier des textures sur une zone contenant du bois flotté (Figure 8 – Carte 8). Les troncs d'un diamètre inférieur à plusieurs mètres ne sont pas visibles sur l'image car leur radiométrie se mélange à leurs voisins. De plus, l'analyse d'image via les textures des objets est impossible puisqu'il n'y a pas d'intervalle spatial assez régulier pour permettre de caractériser le bois flotté comme il le serait par exemple possible facilement sur la Figure 9 montrant une parcelle de vigne avec ces rangées caractéristiques.

4.2 Conclusions

Les différents essais de classification montrent que la cartographie du bois flotté apparaît comme envisageable. Cependant il apparaît difficile de distinguer de cette manière le bois flotté de certains autres éléments de la plage, notamment le pied de dune, à cause de leurs signatures spectrales très proches. Sur l'image qui a servi aux tests on remarque qu'une partie du bois flotté est isolé sur le milieu de la plage. Dans ce cas, il est plus facile de le séparer.

Les meilleurs résultats ont été obtenus grâce à la classification supervisée avec l'algorithme *Random Forest* en incluant la NDVI, nécessitant l'utilisation d'une base de

données d'apprentissage contenant les classes : bois flotté, eau, sable, et la végétation qui pourrait éventuellement être divisée en 2 classes : pied de dune et végétation dense, ceci afin d'améliorer la précision des résultats.

Afin d'éviter d'avantage de confusions entre les classes et notamment entre les classes pied de dune et bois flotté il faudrait au préalable découper sur l'image grossièrement la partie de la plage où se trouve le nouveau bois flotté afin de ne pas classifier les classes eau et végétation.

En définitive, un tel travail de classification comportant la création de la base de donnée, avec en plus un éventuel découpage de la zone, ne serait finalement que peu rentable en terme de temps car même si les erreurs étaient minimales lors du processus de classification, **ce temps serait mieux investi dans une photo-interprétation du bois flotté** vu qu'un œil expert peut facilement l'identifier sur une image (Figure 7 – Carte 1). Une numérisation sur SIG pourrait se faire avec **l'appui d'un indice radiométrique comme le NDVI** dans le but de faire ressortir le bois flotté sur la plage dans une composition colorée (Figure 7 – Carte 6). Procéder ainsi permettrait de mieux distinguer la végétation du bois flotté par rapport à une image en couleurs naturelles. Une autre voie possible peut être d'utiliser également l'indice de couleur d'un sol ($IC = R - V / R + V$) et la bande PIR simultanément, en complément, car ils permettent également d'améliorer la visibilité des bois flottés sur l'image.

Le bois flotté ne peut cependant pas être quantifié en volumétrie via l'imagerie satellite, car même si on peut générer des volumes grâce aux acquisitions stéréoscopiques que permettent Pléiades, la résolution du capteur ne sera pas suffisante dans ce contexte d'étude. L'acquisition stéréo de Pléiades permet une résolution de 0,5 m à 1 m d'erreur verticale, ce qui est trop important vu la hauteur des bois flottés souvent inférieure à 0,5 m. Il faudrait également un modèle numérique de terrain très précis afin de calculer la différence altimétrique entre la surface de la plage et la surface des tas de bois flottés. L'imagerie par drone offrant des résolutions de l'ordre du centimètre s'avérerait plus adaptée pour ce genre d'étude.

ANNEXE C – scores des différentes méthodes de classification supervisée

Classe	Numéro
Bois flotté	1
Sable	2
Végétation	3
Eau	4

1. Classification Random Forest R V B PIR

Confusion matrix (rows = reference labels, columns = produced labels):

```
[ 1] [ 2] [ 3] [ 4]
[ 1] 162 141 48 0
[ 2] 5 13381 0 0
[ 3] 51 2 2482 0
[ 4] 0 0 35 6685
```

Precision of class [1] vs all: 0.743119

Recall of class [1] vs all: 0.461538

F-score of class [1] vs all: 0.56942

Precision of class [2] vs all: 0.989426

Recall of class [2] vs all: 0.999626

F-score of class [2] vs all: 0.9945

Precision of class [3] vs all: 0.967641

Recall of class [3] vs all: 0.979093

F-score of class [3] vs all: 0.973333

Precision of class [4] vs all: 1

Recall of class [4] vs all: 0.994792

F-score of class [4] vs all: 0.997389

Precision of the different classes: [0.743119, 0.989426, 0.967641, 1]
Recall of the different classes: [0.461538, 0.999626, 0.979093, 0.994792]
F-score of the different classes: [0.56942, 0.9945, 0.973333, 0.997389]

Kappa index: 0.978103

Overall accuracy index: 0.987735

2. Classification Random Forest R V B PIR NDVI

Confusion matrix (rows = reference labels, columns = produced labels):

```
[ 1] [ 2] [ 3] [ 4]
[ 1] 346  5  0  0
[ 2]  0 13386  0  0
[ 3]  51  0 2484  0
[ 4]  0  0  0 6720
```

Precision of class [1] vs all: 0.871537

Recall of class [1] vs all: 0.985755

F-score of class [1] vs all: 0.925134

Precision of class [2] vs all: 0.999627

Recall of class [2] vs all: 1

F-score of class [2] vs all: 0.999813

Precision of class [3] vs all: 1

Recall of class [3] vs all: 0.979882

F-score of class [3] vs all: 0.989839

Precision of class [4] vs all: 1

Recall of class [4] vs all: 1

F-score of class [4] vs all: 1

Precision of the different classes: [0.871537, 0.999627, 1, 1]

Recall of the different classes: [0.985755, 1, 0.979882, 1]

F-score of the different classes: [0.925134, 0.999813, 0.989839, 1]

Kappa index: 0.995676

Overall accuracy index: 0.997564

3. Classification Random Forest R V B PIR et Indices de textures

Confusion matrix (rows = reference labels, columns = produced labels):

```
[ 1][ 2][ 3][ 4]
[ 1] 44 173 132  2
[ 2] 252 13104 30  0
[ 3] 129  13 2393  0
[ 4]  0  13  6 6701
```

Precision of class [1] vs all: 0.103529

Recall of class [1] vs all: 0.125356

F-score of class [1] vs all: 0.113402

Precision of class [2] vs all: 0.985041

Recall of class [2] vs all: 0.978933

F-score of class [2] vs all: 0.981978

Precision of class [3] vs all: 0.934401

Recall of class [3] vs all: 0.943984

F-score of class [3] vs all: 0.939168

Precision of class [4] vs all: 0.999702

Recall of class [4] vs all: 0.997173

F-score of class [4] vs all: 0.998436

Precision of the different classes: [0.103529, 0.985041, 0.934401, 0.999702]

Recall of the different classes: [0.125356, 0.978933, 0.943984, 0.997173]

F-score of the different classes: [0.113402, 0.981978, 0.939168, 0.998436]

Kappa index: 0.942303

Overall accuracy index: 0.96738

BIBLIOGRAPHIE

Froidefond, J.-M., Lavender, S., Laborde, P., Herbland, A., Lafon, V., 2002. SeaWiFS data interpretation in a coastal area in the Bay of Biscay. *Int. J. Remote Sens.* 23, 881–904. <https://doi.org/10.1080/01431160110040332>



LMUSCA

CEFREM – UPVD

52 avenue Paul Alduy

66860 Perpignan Cedex 9

Tél : 04 68 66 20 57



Parc Naturel Marin

du Golfe du Lion

2 impasse Charlemagne

66700 Argelès-sur-Mer

Tél : 04 68 68 40 20



EID Méditerranée

165, avenue Paul-Rimbaud

34184 Montpellier Cedex 4

Tél. 04 67 63 67 63



OBSCAT

Agence d'urbanisme catalane (AURCA)

19 Espace Méditerranée

66000 Perpignan

Tél : 04.68.87.75.52