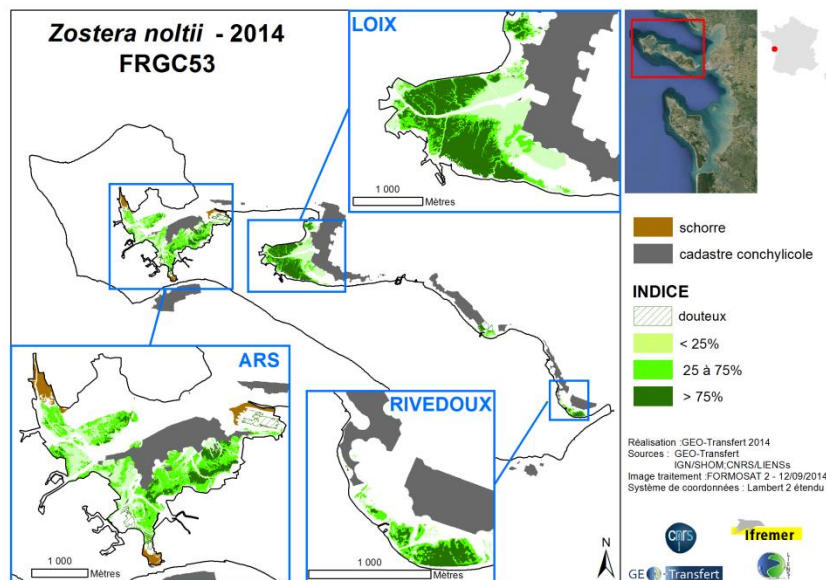


**Cartographie de l'herbier à *Zostera noltei*
de l'île de Ré – masse d'eau FRGC53 par
télédétection spatiale**



Rapport Final



GEO-Transfert/ADERA

24 décembre 2014

FICHE DOCUMENTAIRE

Type de rapport : Rapport	
Diffusion : Libre, restreinte, interdite	Date de publication : 24 décembre 2014
Titre : Cartographie de l'herbier à <i>Zostera noltei</i> de la baie de l'île de Ré – masse d'eau FRGC53 - par télédétection spatiale – Rapport final	
Auteur(s) principal(aux) : LAFON Virginie DEHOUCK Aurélie CURTI Cécile	Organisme(s)/Service(s) : GEO-Transfert Avenue des Facultés, 33405 Talence cedex
	Responsable de l'étude : LAFON Virginie
Organisme commanditaire : IFREMER Centre de Nantes Rue de l'île d'Yeu BP 21105 44311 NANTES CEDEX 03	

Sommaire

1	<u>CONTEXTE ET OBJECTIFS DE LA PRESTATION</u>	<u>5</u>
2	<u>DONNEES EXPLOITEES.....</u>	<u>5</u>
2.1	CAMPAGNE DE TERRAIN	5
2.1.1	DEROULEMENT DE LA MISSION.....	5
2.1.2	METHODOLOGIE	5
2.1.3	MOYEN MATERIEL MIS EN ŒUVRE	6
2.1.4	BILAN DES RELEVES GEO-TRANSFERT.....	6
2.1.5	BILAN DE LA CAMPAGNE ILE DE RE 2014	9
2.2	IMAGE SATELLITE	11
2.2.1	ACQUISITION ET CARACTERISTIQUES DE LA DONNEE SATELLITE	11
2.2.2	PRETRAITEMENT	11
2.2.3	APPLICATION DE MASQUES	11
3	<u>METHODE D'ANALYSE.....</u>	<u>13</u>
4	<u>PRESENTATION DE LA STRATEGIE DE CARTOGRAPHIE</u>	<u>14</u>
4.1	CONSTRUCTION DE L'ARBRE DE DECISION	14
4.1.1	MASQUE DE L'EAU	14
4.1.2	DISTINCTION ENTRE VASES, VASES SABLEUSES ET VEGETATION	14
4.1.3	CARACTERISATION DES DIFFERENTS TAUX DE RECOUVREMENT	16
4.1.4	DISCRIMINATION DES SABLES.....	17
4.1.5	ARBRE DE DECISION	17
4.2	PRESENTATION DES RESULTATS	18
5	<u>RESULTATS.....</u>	<u>19</u>
5.1	APPLICATION DE L'ARBRE DE DECISION.....	19
5.1.1	RIVEDOUX	19
5.1.2	SAINTE-MARTIN.....	20
5.1.3	FIER D'ARS	20
5.1.4	VALIDATION GLOBALE	21
5.2	VALIDATION DES SHAPE LIVRES	22
5.2.1	ASPECTS METHODOLOGIQUES.....	22
5.2.2	ANALYSE DE VALIDATION	24
5.2.3	DETAILS DES POLYGONES CLASSES « DOUTEUX »	29
5.2.4	CARTE DE QUALITE	30
6	<u>EVOLUTION 2006 – 2014.....</u>	<u>30</u>
7	<u>CONCLUSIONS ET ELEMENTS DE DISCUSSION</u>	<u>31</u>

<u>8</u>	<u>LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX</u>	<u>33</u>
<u>9</u>	<u>LISTE DES REFERENCES.....</u>	<u>35</u>

1 Contexte et objectifs de la prestation

Les herbiers à *Zostera noltei* de l'île de Ré font l'objet d'un suivi surfacique (emprise maximale colonisée pour 3 classes de recouvrement par la végétation) réalisé tous les six ans dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau. Une première cartographie a été effectuée en 2006 en s'appuyant sur la télédétection spatiale associée à une approche terrain (Harin et al., 2009). En 2014, l'IFREMER et l'Agence de l'Eau Adour Garonne confient la réalisation de la cartographie de l'herbier de l'île de Ré à GEO-Transfert.

Dans ce contexte, quatre objectifs sont fixés :

- La réalisation d'une carte de l'enveloppe globale de l'herbier ;
- La distinction, sur cette carte, des trois classes de taux de recouvrement DCE ;
- La validation de cette carte à partir de données de terrain ;
- L'édition d'une carte de qualité.

Ce rapport a pour objectif de dresser un bilan des activités liées à la réalisation de ce contrat et d'exposer les résultats, à savoir :

- les relevés de terrain réalisés par GEO-Transfert ;
- le traitement des données spatiales ;
- l'analyse des données cartographiques issues du traitement des données spatiales.

2 Données exploitées

2.1 Campagne de terrain

2.1.1 Déroulement de la mission

La mission s'est déroulée le 10 septembre 2014, pour un coefficient de marée de 115 afin de bénéficier d'une bonne accessibilité de l'ensemble de l'estran intertidal. Préparée par Virginie LAFON et Cécile CURTI (GEO-Transfert) avec l'appui de Pierre-Guy SAURIAU (LIENSs), elle a été réalisée par Cécile CURTI et Aurélie DEHOUCQ de GEO-Transfert. Une mission réalisée par le laboratoire LIENSs s'est déroulée en parallèle.

2.1.2 Méthodologie

Un ensemble de sites représentatifs de la variabilité naturelle de la couverture des estrans par la végétation a été considéré en s'appuyant sur la carte de 2006, ainsi que l'ortho-photographie (ortho littorale) de 2012. Ces observations seront exploitées en partie pour calibrer l'algorithme de cartographie de l'herbier et en partie pour valider la carte des herbiers et établir une carte de qualité. Le protocole de mesure suivant a été déployé par les équipes au cours du cheminement effectué en suivant le contour d'herbiers :

- Relevé d'un point GPS dans l'herbier sur une zone homogène ;
- Estimation visuelle du taux de recouvrement sur 1 à 3 quadrats (50 x 50 cm) suivant l'homogénéité du recouvrement autour du point GPS et prise photographique des quadrats ;
- Levé de contours de l'herbier.

Le plan de campagne est défini sur la Figure 1.



Figure 1. Plan de campagne programmé

2.1.3 Moyen matériel mis en œuvre

Un GPS Trimble GEOXT a été utilisé sur le terrain afin de localiser les relevés (Annexe 1). La précision du positionnement de ce type de GPS est de l'ordre de 50 cm. Un quadrat (50x50 cm) et un appareil de photographie numérique complètent l'équipement des binômes de terrain.

2.1.4 Bilan des relevés GEO-Transfert

La mission a permis de réaliser la presque totalité des radiales initialement prévues (Figure 2). Seules trois radiales courtes n'ont pas été parcourues par le binôme GEO-Transfert : elles étaient semblables aux radiales voisines.

Au total, GEO-Transfert a réalisé 45 stations (Tableau 1, Figure 3 à gauche) et 3 contours (Tableau 2, Figure 3 à droite). La distribution des observations en fonction des taux de recouvrement est synthétisée dans les Tableau 1 et Tableau 2 et représentée dans les Figure 4 (exemple de photographies des quadrats), Figure 5 (représentation spatiale des stations en fonction du taux de recouvrement) et Figure 6 (représentation spatiale des contours en fonction du taux de recouvrement).

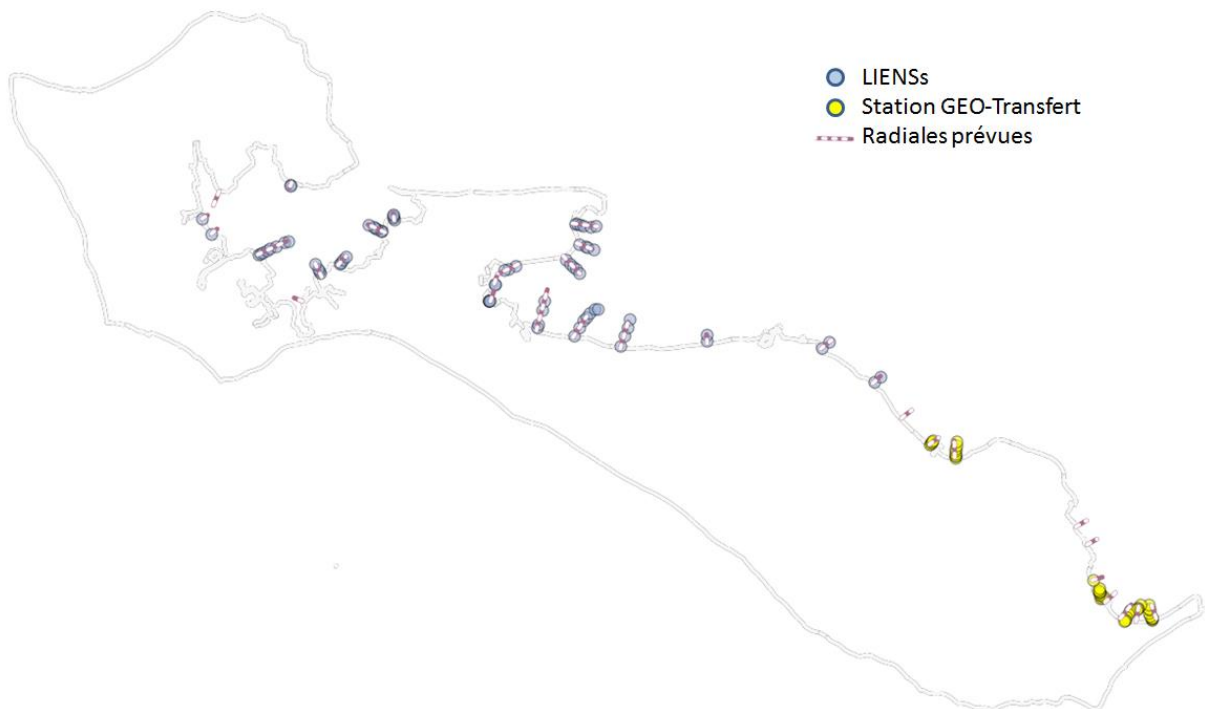


Figure 2. Bilan des stations réalisées par GEO-Transfert (en jaune) et LIENSs (en bleu), comparaison avec les radiales prévues (en rose)

Tableau 1. Bilan des stations relevées par GEO-Transfert en fonction du taux de recouvrement

Recouvrement	N°	%	Présence d'algues (N°)	%
0	17	38%	8	47%
0-25	9	20%	3	33%
25-75	11	24%	5	45%
75-100	8	18%	3	38%
Total	45	100%	19	42%



Figure 3. Relevé d'une station (à gauche) et d'un contour (à droite)



Figure 4. Photos de quadrats (13/08/2014). De gauche à droite : sable vaseux nu, *Zostera noltei* 0-25%, 25 – 50%, 50 - 75%, 75 – 100%

Tableau 2. Bilan des limites relevées par GEO-Transfert en fonction du taux de recouvrement

Limite	N°	%
0 / 0-25	1	33,3%
0 / 25-75	0	0,0%
0 / 75-100	1	2,2%
0-25 / 25-75	1	2,2%
25-75 / 75-100	0	0,0%
0-25 / 75-100	0	0,0%
Total	3	7%

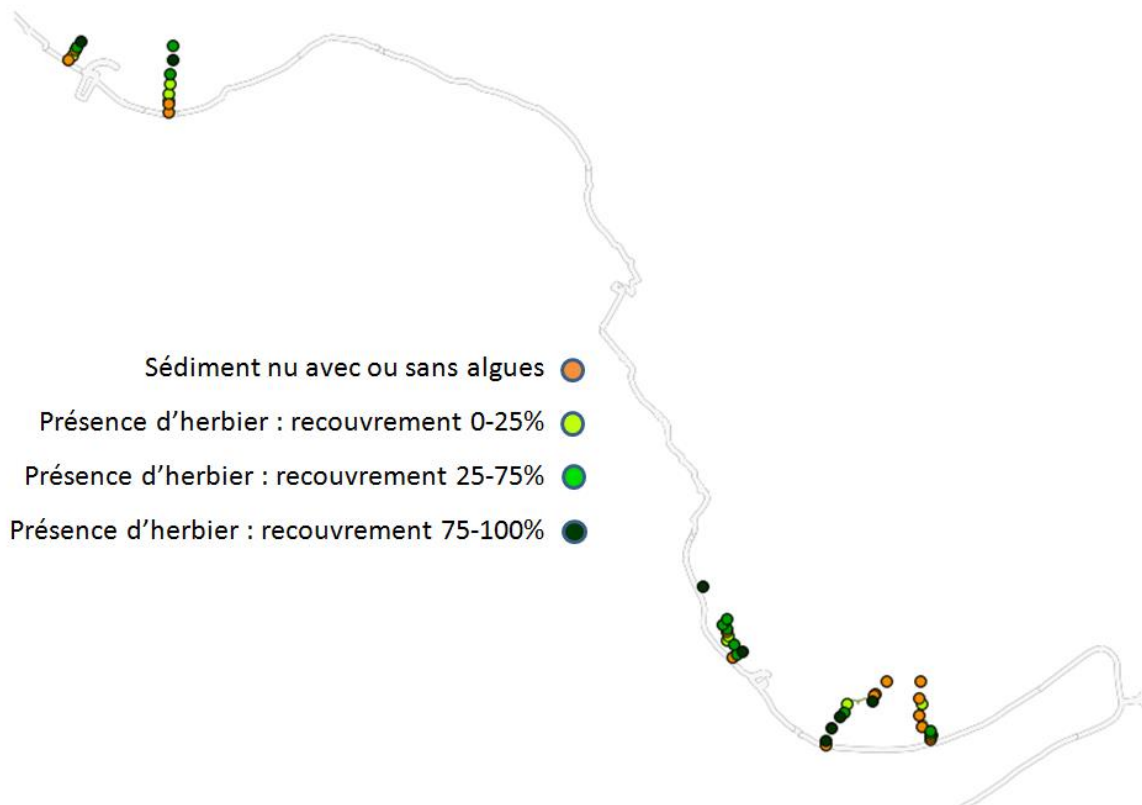


Figure 5. Bilan des stations relevées par GEO-Transfert en fonction du taux de recouvrement de l'herbier à l'île de Ré

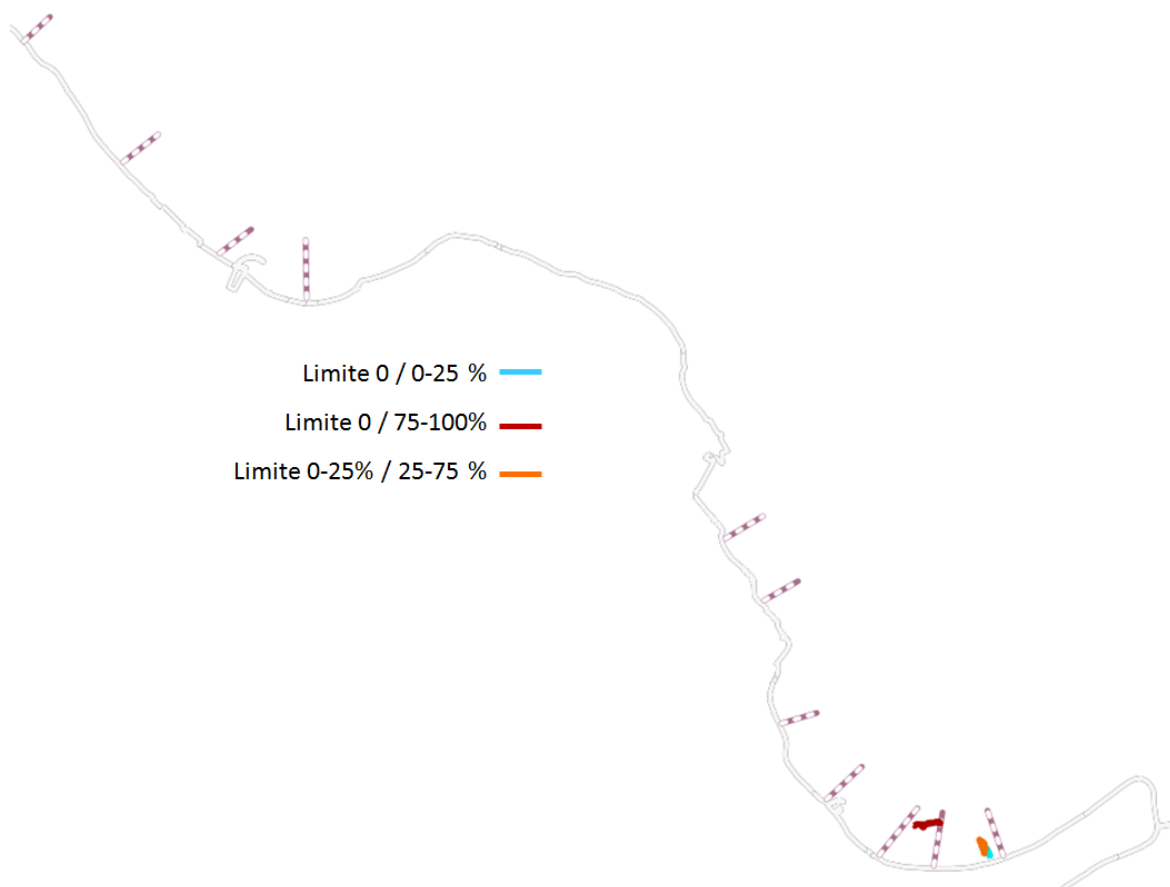


Figure 6. Bilan des contours relevés par GEO-Transfert en fonction du taux de recouvrement de l'herbier à l'île de Ré

2.1.5 Bilan de la campagne ile de Ré 2014

L'ensemble des radiales réalisées par les deux équipes (LIENSs et GEO-Transfert) sont cartographiées sur la Figure 7. Une synthèse des stations et contours pour les missions LIENSs et GEO-Transfert sont reportées dans le Tableau 3 et le Tableau 4. Ce sont au total 120 stations et 10 contours qui ont été relevés.

Tableau 3. Bilan des stations relevées par GEO-Transfert et LIENSs en fonction du taux de recouvrement

Recouvrement	N°	%	Présence d'algues (N°)	%
0	46	38%	36	78%
0-25	24	20%	17	71%
25-75	27	23%	21	78%
75-100	23	19%	17	74%
Total	120	100%	91	76%

Tableau 4. Bilan des contours relevés par GEO-Transfert et LIENSs en fonction du taux de recouvrement

Limite	N°	%
0 / 0-25	2	20,0%
0 / 25-75	3	2,5%
0 / 75-100	1	0,8%
0-25 / 25-75	2	1,7%
25-75 / 75-100	1	0,8%
0-25 / 75-100	0	0,0%
75-100 / 100	1	0,8%
Total	10	8%

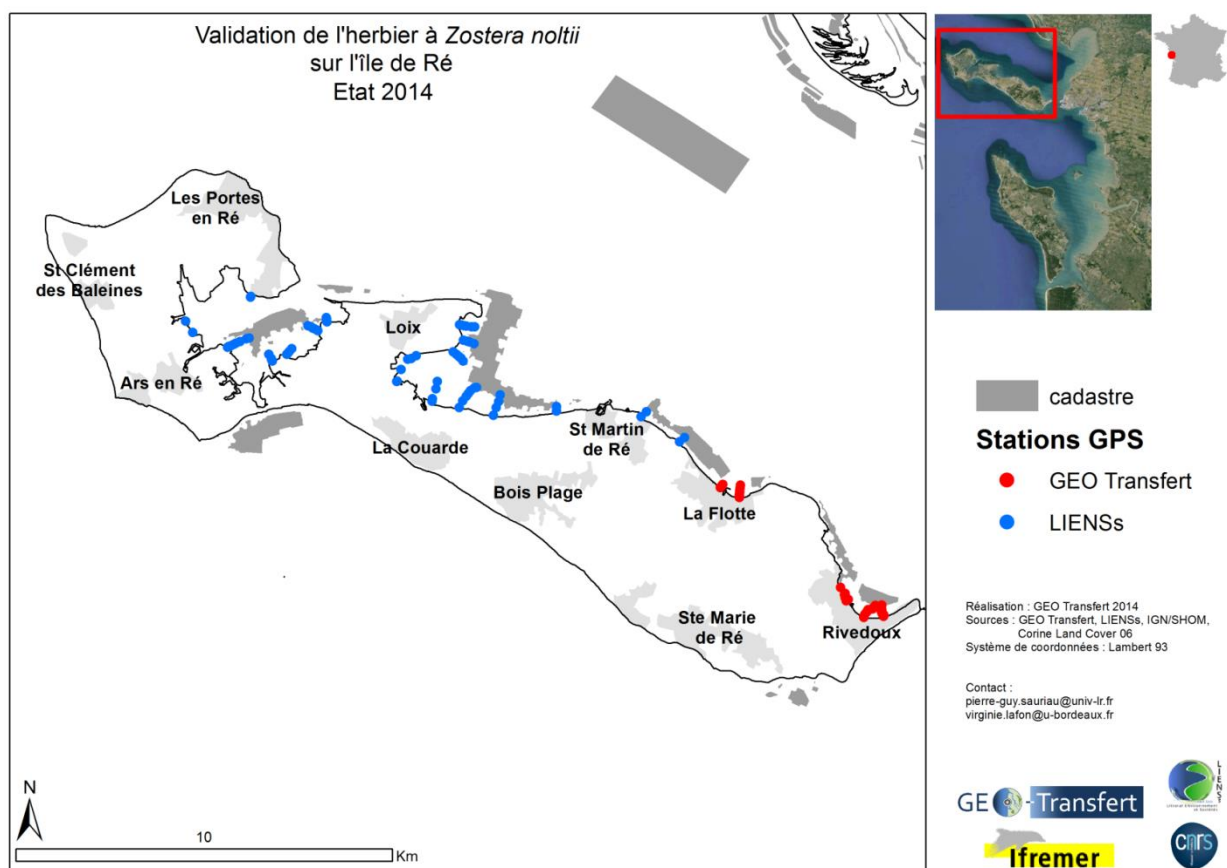


Figure 7. Compilation des radiales réalisées lors de la campagne de septembre

2.2 Image satellite

2.2.1 Acquisition et caractéristiques de la donnée satellite

L'image satellite a été programmée à notre demande par la société Astrium Defence and Space auprès du NSPO qui gère le satellite Formosat-2. La programmation couvrait l'ensemble des créneaux de masse mer à l'heure du passage du satellite entre fin juillet et fin septembre. L'image a finalement été acquise le 12/09/2014 à 10h34 TU, à basse mer (Figure 8) pour un coefficient de 106, dans des conditions de prise de vue optimales.

La donnée livrée a d'une résolution au sol de 2 m (Figure 9). La scène satellite consiste en quatre images acquises simultanément dans quatre gammes de longueurs d'onde : le bleu (0,45 – 0,52 nm), le vert (0,52 – 0,60 nm), le rouge (0,63 – 0,69 nm) et le proche infrarouge (0,76 – 0,90 nm).

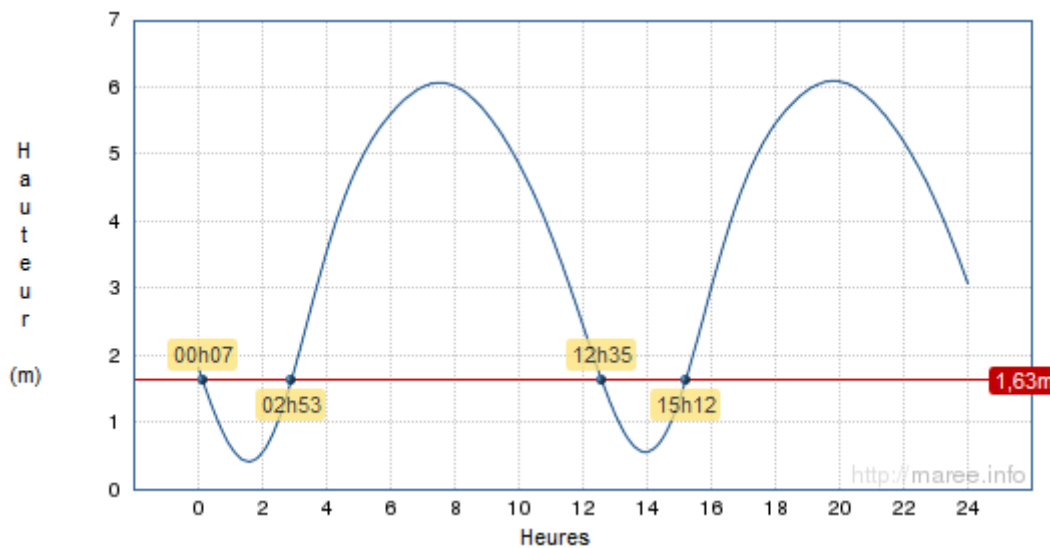


Figure 8. Hauteur du plan d'eau au moment de l'acquisition Formosat au Port de Saint Martin de Ré (source maree.info)

2.2.2 Prétraitement

La scène Formosat, pour unique prétraitement, a été géoréférencée et projetée en Lambert 93. Trente points d'appui ont été sélectionnés pour ce géoréférencement, réalisé à l'aide d'ArcGis 10.2, par alignement du raster (image) sur des points de contrôle sélectionnés sur l'ortholittorale V2. La méthode de transformation polynomiale de 3^{ième} ordre et un rééchantillonnage par interpolation bilinéaire ont été choisis pour géoréférencer et projeter la donnée. Les pixels sont localisés avec une erreur quadratique moyenne (RMS) de 1,44 m.

2.2.3 Application de masques

Avant de traiter l'image pour en extraire les herbiers, plusieurs entités sont masquées : l'eau, le schorre, les parcs et friches ostréicoles. Pour ces derniers, nous avons utilisé les couches Natura 2000 en mer et le cadastre ostréicole. Pour éviter de masquer des zones d'herbier en bas d'estran, la couche cadastrale a été modifiée en s'appuyant sur l'ortholittorale V2 pour la reconnaissance des concessions. Pour les chenaux, le masque a été établi grâce au seuillage de l'image proche infrarouge. En effet, comme le démontre la Figure 10, les valeurs de pixels (radiométrie) proche infrarouge de l'eau sont très faibles par rapport à celles des terres émergées. Cette propriété, liée à l'absorption du rayonnement proche infrarouge par les molécules d'eau, permet de définir un seuil radiométrique en deçà duquel tous les pixels seront considérés comme de l'eau.



Figure 9. Emprise de l'image Formosat-2 sur le site de l'île de Ré et détails de l'image

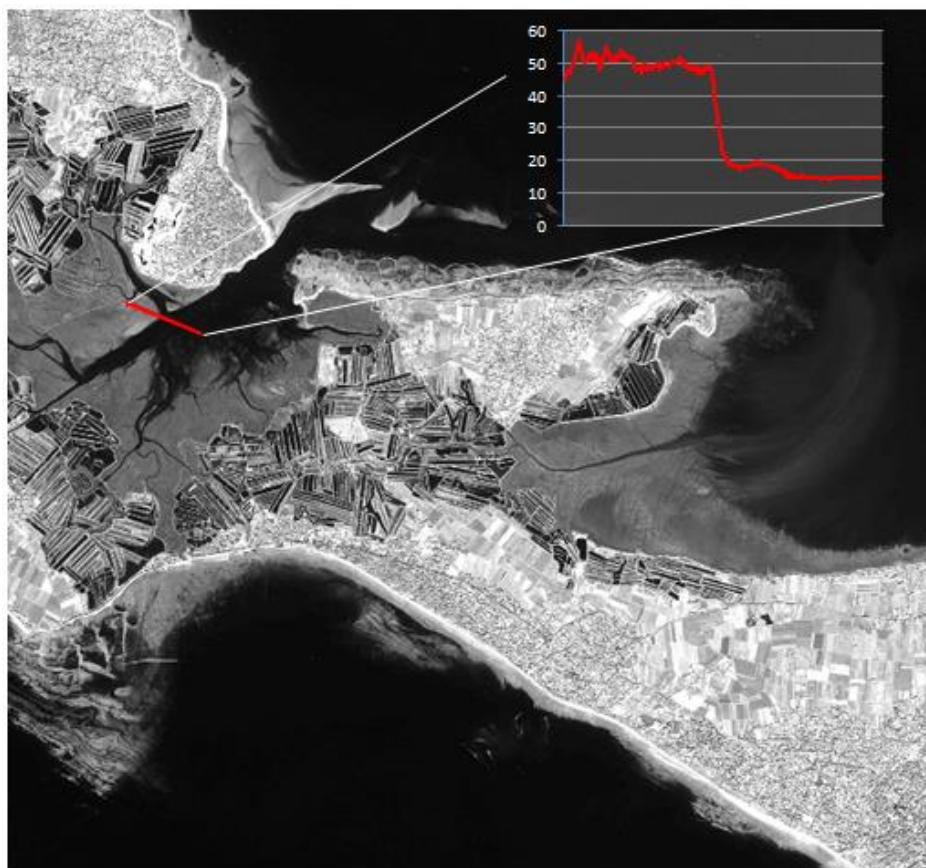


Figure 10. Extrait de l'image proche infrarouge Formosat-2

3 Méthode d'analyse

Une méthode d'analyse en sept étapes est appliquée :

1. La stratégie de cartographie est basée sur un arbre de décision adapté à la zone de Ré, et dont le but est de discriminer, sur l'estran, les sédiments nus de l'herbier de zostères naines ainsi que les 3 classes de recouvrement de l'herbier. L'adaptation de l'algorithme de classification hiérarchique est construit sur la base des observations de terrain (Lafon et al., 2013) ;
2. Cette classification hiérarchique est appliquée à l'image ;
3. La carte est validée avec les observations de terrain et appréciée à l'aide du calcul d'un indicateur de qualité. Les points/contours utilisés pour calibrer l'algorithme de traitement de l'image satellite ne seront pas réutilisés pour la validation de la carte des herbiers. Nous validerons la carte avec au minimum cent vérités terrain (*i.e.* cent observations distinctes) distribuées entre les trois classes de taux de recouvrement ;
4. Les enveloppes de l'herbier sont extraites automatiquement et des statistiques simples sont calculées, en particulier la superficie couverte par l'herbier et la superficie par classe de recouvrement ;
5. Les polygones générés par l'analyse de l'image satellite sont croisés avec les données de terrain. Cette ultime validation nous permet de qualifier la qualité de la couche herbier en fonction d'effets locaux (biomasse de microphytobenthos importante, dépôts d'algues le jour de la prise de vue), ainsi qu'en fonction de difficultés de détection liées à la méthode de traitement (détection des très faibles taux de recouvrement par exemple) ;
6. Les polygones seront traités sous SIG, restitution en format shape avec un indice de qualité dans la table attributaire ;
7. Une analyse comparative des données est enfin réalisée en comparant la carte 2014 à celle de 2006 dans le but de déterminer l'évolution surfacique de l'herbier à *Zostera noltei* et l'évolution des 3 différentes classes de recouvrement. Dans ce but, les précédentes couches SIG de 2006 seront reprises et analysées dans le même référentiel que les couches produites en 2014.

4 Présentation de la stratégie de cartographie

4.1 Construction de l'arbre de décision

4.1.1 Masque de l'eau

Pour masquer l'eau, d'après la Figure 10, on peut utiliser une valeur seuil comprise entre 22 et 40. Ces valeurs extrêmes ont été testées. La première ne met que partiellement en évidence les petits chenaux visibles sur les estrans, l'eau profonde étant bien marquée toutefois. Un seuil de 40, au contraire, est trop élevé, car l'humidité est caractérisée comme une surface d'eau. Ainsi, les estrans seraient presque entièrement masqués en appliquant ce seuil. Il ressort, dans notre cas, qu'un seuil de 25 caractérise l'interface émergé-immersé de façon optimale. Ainsi, tous les pixels dont le compte numérique est supérieur ou égal à 25 dans le proche infrarouge seront considérés comme une surface émergée.

4.1.2 Distinction entre vases, vases sableuses et végétation

Une analyse statistique a été menée afin d'étudier les caractéristiques spectrales des différents types de surface. Des zones représentatives ont été sélectionnées en s'appuyant sur les contours réalisés sur le terrain. Pour différencier les sédiments nus de la végétation, l'indice NDVI (Normalised Difference Vegetation Index, $\text{PIR-R} / \text{PIR+R}$, Rouse, 1973) semble suffisamment discriminant¹. En effet, les valeurs de NDVI des sédiments nus, en tout cas des vases et vases sableuses, sont globalement plus faibles que celles des sols présentant de très faibles taux de recouvrement (Tableau 5). Les valeurs de NDVI se distribuent suivant deux modes relativement distincts présentant toutefois des zones de recouvrement (Figure 11).

Pour expliquer cette confusion, nous ne pouvons exclure que certains pixels sélectionnés pour cette approche statistique n'appartiennent pas à la classe à laquelle ils sont affectés. D'autres part, des travaux très poussés menés à Arcachon ont permis de montrer que, dans certains cas, les propriétés optiques des surfaces ne permettaient pas toujours de les différencier. C'est par exemple le cas de sédiments couverts de biofilm et de zostères présentant un très faible taux de recouvrement (Dehouck et al., 2012).

Malgré ces effets, les deux groupes s'individualisent autour de pics pour lesquels la moyenne et la médiane ont des valeurs très proches (-0,6 pour les sédiments nus et -0,535 sur la végétation). D'après la Figure 11, les valeurs de NDVI inférieures à -0,58 représentent les sédiments fins nus (83% des pixels sont alors bien classés), et au-dessus les zostères présentant un faible taux de recouvrement. Ce seuil, testé sur un site où une limite a été relevée sur le terrain semble assez convainquant sans être toutefois parfait. La limite cartographique ne se superpose pas parfaitement à celle levée sur terrain : on perçoit à la fois une sous-estimation et une surestimation (Figure 12). Le seuil de -0,58 est donc conservé.

¹ Dans notre cas, les valeurs de NDVI sont relatives, en effet, nous n'avons pas pratiqué de correction atmosphérique permettant de calcul réaliste des valeurs de NDVI.

Tableau 5. Statistique de l'indice de végétation des sols nus et couverts de zostères 0-25%

	Sol Nu (NDVI)	Zostera noltei -0-25% de recouvrement
N° pixels	2 721	6 273
Minimum	-0,648	-0,667
Maximum	-0,515	-0,377
Moyenne	-0,600	-0,533
Médiane	-0,603	-0,538

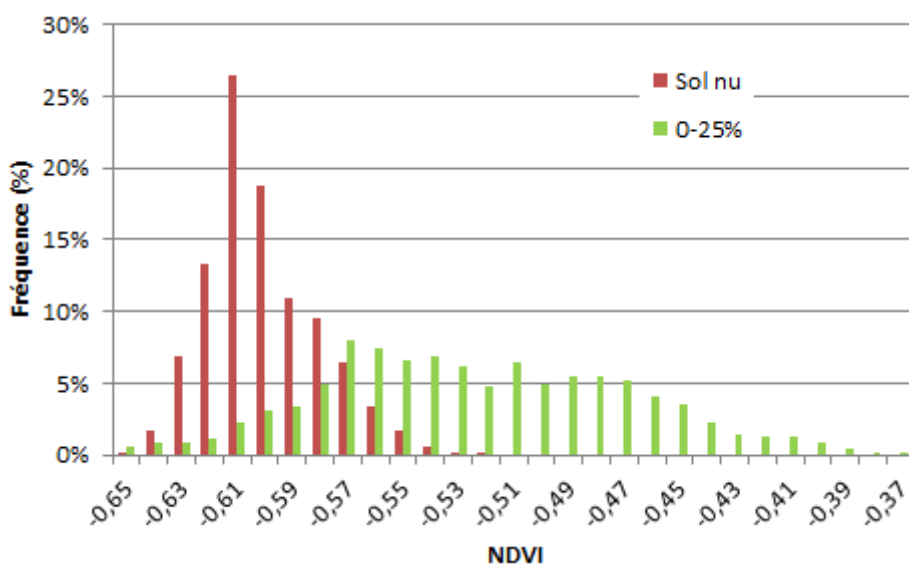


Figure 11. Distribution statistique des valeurs de NDVI des sols nus et sols présentant un très faible taux de recouvrement sur les estrans de l'île de Ré

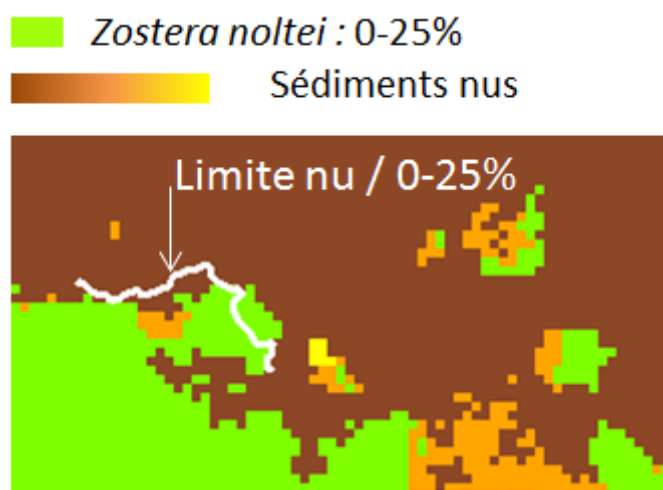


Figure 12. Représentation des seuils de NDVI entre les sols nus et un herbier présentant un recouvrement compris entre 0 et 25% comparés à une limite levée sur le terrain

4.1.3 Caractérisation des différents taux de recouvrement

A l'instar du seuil déduit de l'analyse de la radiométrie des pixels pour la discrimination entre sol nu et végétation à faible taux de recouvrement, une analyse statistique des NDVI des différentes classes de recouvrement a été menée. Le NDVI est en effet un indice très sensible à la couverture végétale ainsi qu'à la biomasse des herbiers de *Zostera noltei* (Froidefond et al., 2012).

L'analyse des valeurs de NDVI montre que trois classes se distinguent statistiquement, même si des recouvrements existent (Figure 13), en particulier entre les classes 0-25% et 25-75%.

Afin de placer des seuils entre les classes, nous nous sommes appuyés à la fois sur la distribution statistique des valeurs de NDVI dans chaque classe, mais également sur les limites levées sur le terrain.

D'après la Figure 13, un seuil de -0,28 s'impose pour différencier les couverts 25-75% et 75-100%.

La limite entre les recouvrements 0-25% et 25-75% est plus complexe à extraire des seules informations statistiques, un seuil compris entre -0,53 et -0,48 pouvant être choisi. Le seuil de -0,53 n'est toutefois pas adapté car il est égal à la moyenne et la médiane de la classe 0-25 % (Tableau 6). D'après cette distribution statistique, afin que la classe 0-25% contienne au moins les 2/3 de la distribution, il est nécessaire de fixer un seuil de -0,49. Ce seuil permet en outre de regrouper près des 2/3 des pixels de la classe 25-75% entre -0,49 et -0,28.

Nous avons appliqué ce seuil à l'image de l'île de Ré et comparé le résultat à une limite levée sur le terrain (Figure 14). Le seuil de -0,49 (en vert sur la figure) semble un peu surestimer l'enveloppe de l'herbier pour le recouvrement 25-75%. Un seuil de -0,44 serait plus adapté sur ce secteur, mais il écrête bien trop la classe 25-75% (cf. Figure 13). Il semble donc plus justifié de conserver un seuil de -0,49, nous contrôlerons à partir des données de terrain s'il conduit à une surestimation de la classe 25-75% en défaveur de la classe 0-25%.

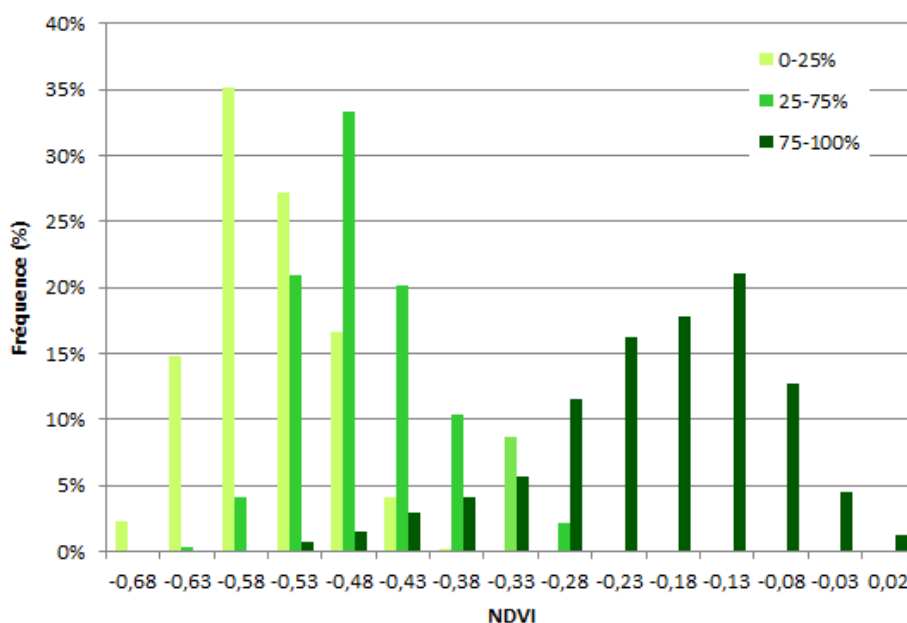


Figure 13. Distribution statistique des valeurs de NDVI des couverts de zostère en fonction du taux de recouvrement

Tableau 6. Statistique de l'indice de végétation des couverts de zostère en fonction du taux de recouvrement

	0-25%	25-75%	75-100%
N° pixels	6 273	5 099	5 848
Minimum	-0,667	-0,515	-0,565
Maximum	-0,377	0,029	0,045
Moyenne	-0,533	-0,456	-0,198
Médiane	-0,538	-0,47	-0,185

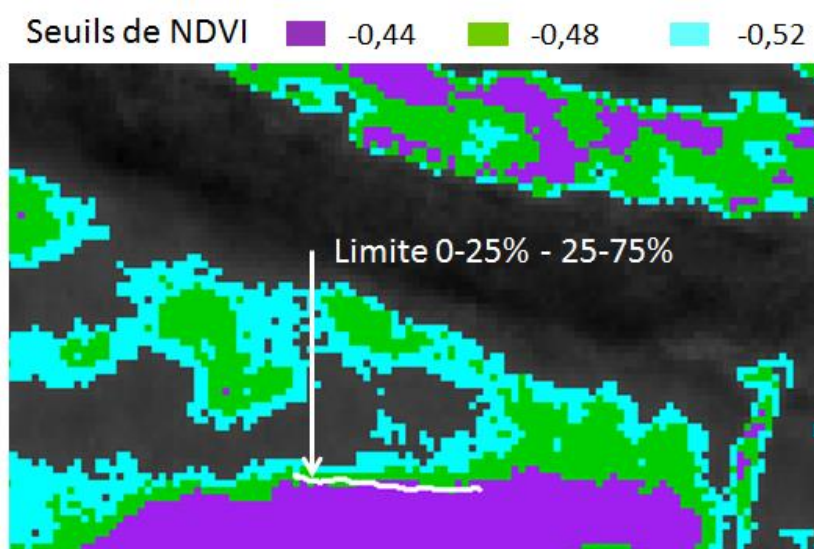


Figure 14. Représentation des seuils de NDVI pour une limite d'herbier comprise entre les recouvrement 0-25% et 25-75%. La classe 25-75% est représentée pour 3 seuils potentiels comparés à une limite levée sur le terrain

4.1.4 Discrimination des sables

Lors des travaux de cartographie de l'herbier réalisés à Arcachon en 2012 (Lafon et al., 2013). Nous avons montré que les sables présentaient des valeurs de NDVI parfois confondues avec la végétation, en particulier en présence de biofilms mais pas uniquement. Ainsi, après avoir discriminé la végétation des sédiments nus les plus cohésifs, il est nécessaire de définir un critère avancé pour différencier les sables et sables vaseux des herbiers.

Un seuil dans le canal rouge, couplé à un seuil sur le rapport de bandes rouge/bleu était parfaitement adapté et a été repris dans le cadre de la cartographie des herbiers à *Zostera noltei* de l'île de Ré. Quelques stations montrant des étendues de sable ont été utilisées afin de caler des seuils appropriés au site.

4.1.5 Arbre de décision

L'arbre de décision développé utilisé pour la cartographie est présenté sur la Figure 15.

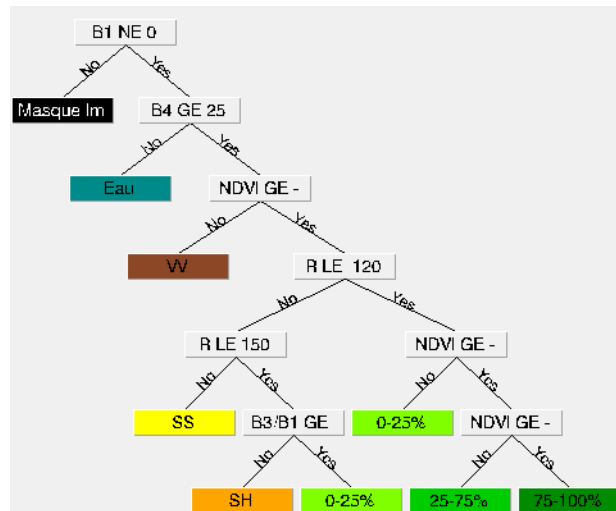


Figure 15. Arbre de décision mis en œuvre pour la cartographie de l'herbier à *Zostera noltei* de l'île de Ré.

4.2 Présentation des résultats

Pour faciliter l'analyse critique des résultats cartographiques, ceux-ci seront présentés en trois secteurs : Fier d'Ars, Saint-Martin et Rivedoux. Le découpage proposé est montré sur la Figure 16. Un bilan global sera également calculé.



Figure 16. Découpage de la masse d'eau FRGC53 proposé pour la validation de la cartographie

5 Résultats

Nous rappelons que pour cet exercice de validation, l'ensemble des stations GPS présentées sur la Figure 7 ont été utilisées.

5.1 Application de l'arbre de décision

5.1.1 Rivedoux

❖ Détails des données de validation

Au total, 48 levés GPS ont été réalisés sur ce secteur, distribués, en fonction du taux de recouvrement, comme indiqué sur la Figure 17. Sur ce secteur, le faciès sédiment nu domine les stations réalisées. Dans 12 cas sur les 21 considérés, les sédiments sont couverts d'algues. Des taux de recouvrement faibles à moyens ont été notés sur le terrain.

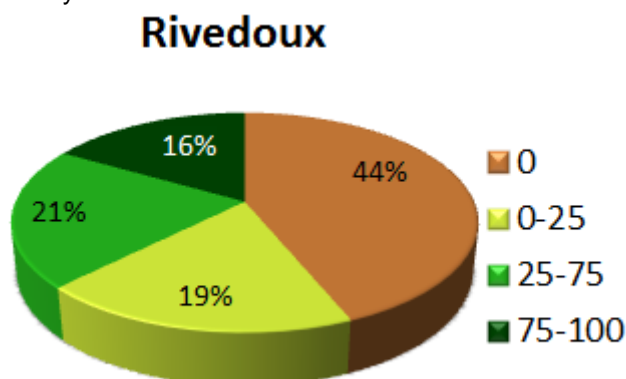


Figure 17. Distribution des stations sur le secteur Rivedoux

❖ Résultats

La précision de la classification est, dans ce secteur, d'une relativement bonne qualité : 65% globalement (Tableau 7). Les sédiments nus, malgré la présence d'algues, sont remarquablement bien discriminés, les principales erreurs montrent une sous-estimation du couvert pour les trois classes de recouvrement. Du fait de cette sous-estimation, la carte est relativement imprécise, en particulier pour la classe 25-75%. Seule la classe 75-100% est très bien représentée.

Tableau 7. Précision de la classification sur le secteur Rivedoux

		Observations				Total	Précision carte
		0	0-25	25-75	75-100		
Carte	0	19	5	5		29	66%
	0-25	1	4	1		6	67%
	25-75	1		4	4	9	44%
	75-100				4	4	100%
	Total	21	9	10	8	48	
Précision classification		90%	44%	40%	50%		65%

5.1.2 Saint-Martin

❖ Détails des données de validation

Dans le secteur de Saint-Martin, 38 stations GPS permettent d'évaluer la précision de la carte spatiale, distribués, en fonction du taux de recouvrement, comme indiqué sur la Figure 18. Là encore, le faciès sédiment domine, mais en proportion moindre que pour Rivedoux. Douze stations sur les 14 sédiments nus montrent un couvert d'algue de recouvrement faible à moyen. Le recouvrement 25-75% des *Zostera noltei* est le moins représenté.

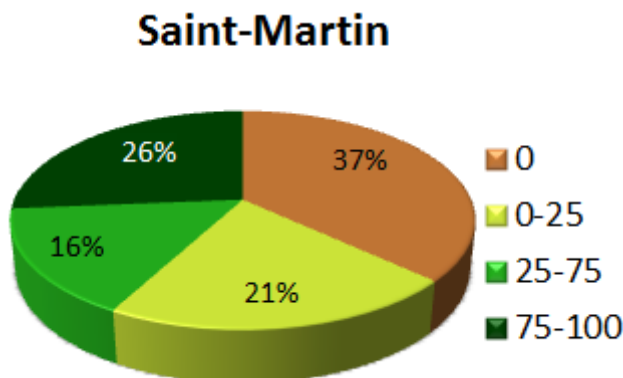


Figure 18. Distribution des stations sur le secteur Saint-Martin

❖ Résultats

Le score est un peu meilleur que celui obtenu à Rivedoux : 71% globalement (Tableau 8). L'effet des algues sur la radiométrie est ici beaucoup plus présent, conduisant à une moindre précision de la procédure de classification pour les sédiments nus par rapport aux trois autres classes. La carte, quant à elle, est de bonne qualité à l'exception de la classe 25-75%, représentée pourtant par 10 points de contrôle.

Tableau 8. Précision de la classification sur le secteur Saint-Martin

		Observations				Total	Précision carte
		0	0-25	25-75	75-100		
Carte	0	9	1	2		12	75%
	0-25	1	6			7	86%
	25-75	3	1	4	2	10	40%
	75-100	1			8	9	89%
	Total	14	8	6	10	38	
Précision classification		64%	75%	67%	80%		71%

5.1.3 Fier d'Ars

❖ Détails des données de validation

Ce sont cette fois 30 stations qui ont été utilisées, distribuées, en fonction du taux de recouvrement, comme indiqué sur la Figure 19. Dans tous les cas (9 observations), les sédiments de l'estran sont couverts d'algues, avec des taux de recouvrement variables.

Fier d'Ars

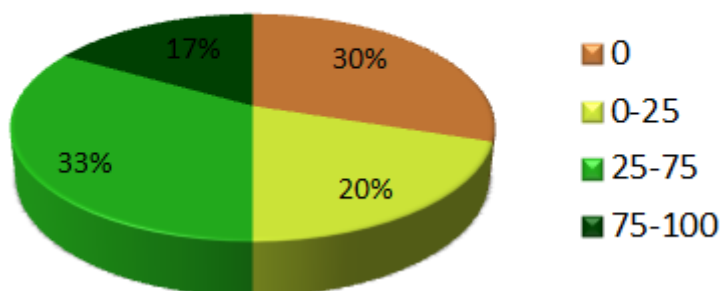


Figure 19. Distribution des stations sur le secteur Fier d'Ars

❖ Résultats

A l'instar du secteur précédent, les couverts d'algues sont largement confondus avec les herbiers (7 cas sur 9), ce qui affecte largement la qualité de la procédure de classification pour les sols nus (Tableau 9), la classe 0-25% n'est pas non plus parfaitement discriminée contrairement aux deux recouvrements supérieurs. Ces mauvais scores de classification se traduisent sur la carte du secteur Fier d'Ars par une cartographie médiocre à la fois des sols nus et des zostères à faible taux de recouvrement (cf. Tableau 9). Globalement, pourtant, la précision de 63% n'est pas insatisfaisante.

Tableau 9. Précision de la classification sur le secteur Fier d'Ars

		Observations				Total	Précision carte
		0	0-25	25-75	75-100		
Carte	0	2	1	1		4	50%
	0-25	5	4	1		10	40%
	25-75	2	1	8		11	73%
	75-100				5	5	100%
	Total	9	6	10	5	30	
Précision classification		22%	67%	80%	100%		63%

5.1.4 Validation globale

Au total, 116 observations de terrain permettent de valider ces travaux de classification, distribués de façon homogène sur les quatre classes cartographiées (Figure 20). Ce sont 4 points de moins que ceux acquis lors des campagnes réalisées en 2014, ces quatre points étant couverts d'eau au moment de la prise de vue.

Tous secteurs confondus, la précision de la carte spatiale est de 66% (Tableau 10), approchant les scores de 65% et 70% obtenu en 2014 à Marennes Oléron (Lafon et al., 2014) et 2012 à Arcachon (Lafon et al., 2013), respectivement. Dans ce dernier cas, le meilleur score était essentiellement lié à des conditions un peu plus favorables au moment de l'acquisition : on notait en effet des dépôts d'algues peu étendus et moins fréquents. Le score obtenu ici est donc tout à fait correct. Les faiblesses de la carte portent essentiellement sur :

- la détection des algues confondues avec des zostères pour des taux de recouvrement faibles à moyens, cette problématique reste très classique au traitement d'images pour la cartographie des herbiers intertidaux ;
- la sous-détection dans un nombre de cas représentatif de la classe 25-75%, attribuée à la classe sédiment nu voire 0-25% ;
- la sous-estimation régulière du taux de recouvrement 0-25 %.

Toutes stations

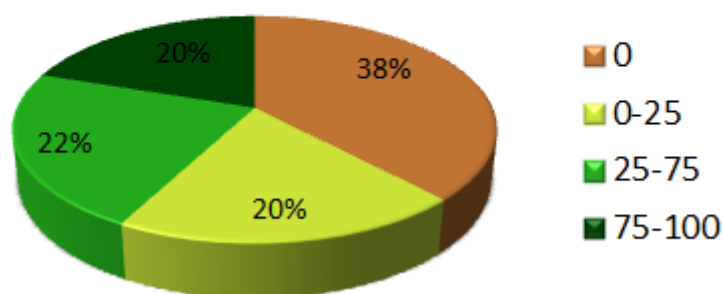


Figure 20. Distribution des stations sur l'ensemble de l'île de Ré

Tableau 10. Précision de la classification sur l'ensemble de l'île de Ré

		Observations				Total	Précision carte
		0	0-25	25-75	75-100		
Carte	0	30	7	8	0	45	67%
	0-25	7	14	2	0	23	61%
	25-75	6	2	16	6	30	53%
	75-100	1	0	0	17	18	94%
	Total	44	23	26	23	116	
Précision classification		68%	61%	62%	74%		66%

5.2 Validation des shape livrés

5.2.1 Aspects méthodologiques

❖ Validation des shape produits par traitement d'image

La carte satellite est transformée en polygones. Les très petits polygones de taille 2 m x 2 m (1 pixel image) sont systématiquement filtrés. Le cas échéant, aux polygones « eau » a été affecté l'attribut de l'enveloppe qui les contient. La pertinence des polygones est contrôlée ensuite par différents moyens et à dire d'expert. Le contrôle des contours s'effectue en zoomant sur la couche à une échelle comprise entre le 1/3000 et 1/4000. Les polygones sont comparés aux données de terrain afin de contrôler leur exactitude. Le cas échéant, certains polygones ont été retirés de la couche et d'autres dessinés. Dans certains cas, l'indice du taux de recouvrement déduit par traitement d'image a été modifié. Enfin, en bas d'estran des pixels masqués de l'image ont pu être réintégrés dans la couche herbier, la transparence de l'eau permettant la photo-interprétation de l'image satellite. Des exemples d'extension des couches herbiers en bas d'estran sont présentés sur la Figure 21. Ces dernières modifications concernent le secteur du Fier d'Ars, exclusivement.

❖ Cartographie des sols nus

La reconnaissance des sols nus, comme nous l'avons vu précédemment, pose fréquemment des difficultés, notamment du fait de la détection des couverts et dépôts d'algues. Afin de pallier la sur-détection de végétation, et de retirer les polygones qui ne doivent pas être retenus dans la couche herbier, l'interprète s'est appuyée à la fois sur la carte spatiale, les données de terrain, mais

également sur l'orthophotographie V2 de 2012 et sur la cartographie Natura 2000 des habitats intertidaux, en particulier les polygones validés par des données de terrain. Les dalles photographiques de 2012 ne permettent pas de définir les contours d'herbier de 2014 mais de déceler les zones supposées couvertes d'algues lorsqu'un trop fort contraste apparaît entre la photographie aérienne et la carte satellite. La carte Natura est, elle, informative pour les ceintures d'algues et permet d'éviter des confusions majeures entre herbier et algues. Dans ces deux cas (présence de ceinture d'algues sur la carte et fort contraste photo/image), les polygones générés par traitement d'image ont été retirés de la couche herbier.

Parfois également, la présence de biofilm perturbe la détection des sols nus, car les micro-algues peuvent dans certains cas être confondues avec les zostères. L'arbre de décision permet toutefois de bien classer les estrans couverts de biofilm, les erreurs constatées sont exceptionnelles dans le cas de l'île de Ré. La superposition de l'image satellite à la carte spatiale, couplée à la connaissance du terrain, permettent de très efficacement corriger ces erreurs et de retirer les polygones erronés.

Résultats de la classification

0-25% 25-75% 75-100%

Couches herbiers

0-25% 25-75% 75-100%

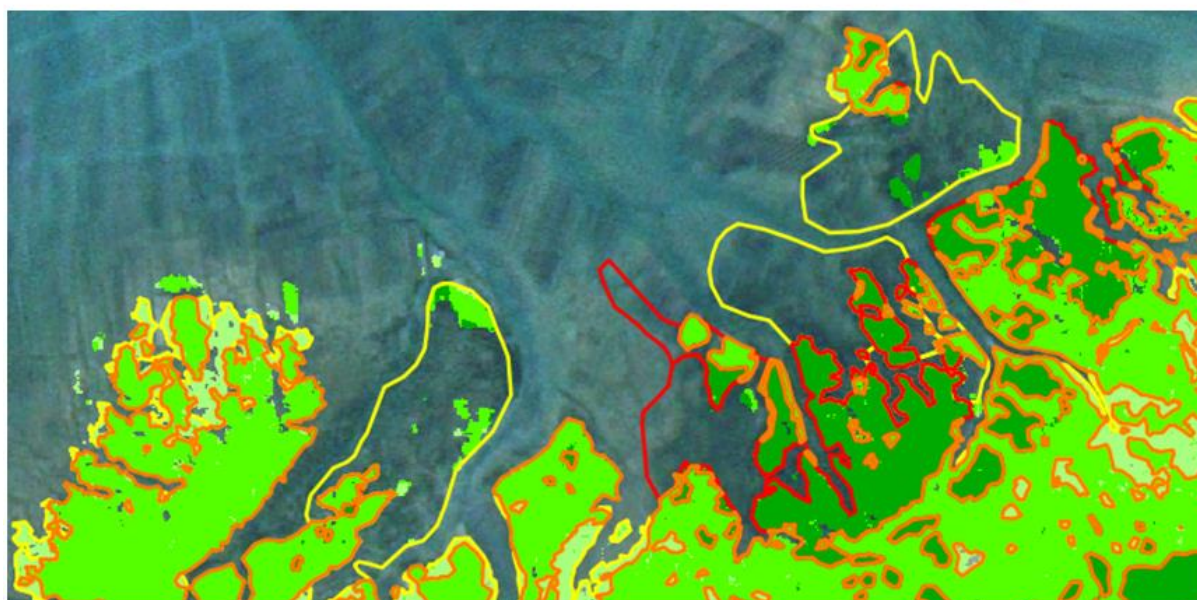


Figure 21. Photo-interprétation de l'herbier non classé, masqué du fait de la présence d'eau.

❖ Cartographie des très faibles taux de recouvrement

En comparant les polygones aux données de terrain, on retrouve souvent dans les zones de faible recouvrement une importante fragmentation du couvert. Dans ce cas, lorsque le terrain révèle un herbier, les polygones ont été regroupés dans une enveloppe plus vaste, en prenant pour limite les polygones les plus isolés du groupe. Certains de ces polygones redessinés ont été notés comme douteux dans la table attributaire, lorsqu'on ne peut s'appuyer sur aucune donnée de terrain pour en évaluer la limite inférieure. Ces polygones douteux seront discutés dans le paragraphe 5.2.3, p. 29.

❖ Table attributaire

La table attributaire associée au shape détaille pour chaque polygone sa taille (attribut « surf_m2 »). S'il a fait l'objet d'un levé de terrain, l'attribut « Terrain » est renseigné « OUI » et la structure qui l'a réalisé est détaillée par l'attribut « Terrain_op ». La table indique également le taux de recouvrement du polygone (attribut « INDICE ») ainsi la masse d'eau dans lequel il se situe (attribut « Masse_eau »), la donnée satellite sur laquelle se base le traitement (attribut « Satellite »), la date d'acquisition de l'image (attribut « Date_image »), l'auteur du traitement de la donnée satellite et de la production du

polygone (attributs « Traitement » et « Analyse », respectivement). Un extrait de la table attributaire est reporté en annexe 2.

❖ Fiche de métadonnées

Une fiche de métadonnées « METADATA_FRGC53_Herbier_2014 » inspirée du modèle issu du GéoCatalogue est livrée avec les couches herbiers. Il s'agit d'un formulaire permettant de répondre aux exigences de la Directive INSPIRE.

5.2.2 Analyse de validation

Nous proposons de détailler cette analyse secteur par secteur afin de bien mettre en évidence les modifications qui ont pu être apportées à la couche herbier initialement produite afin de la rendre plus juste et également d'expliquer les défauts qui subsistent malgré ce travail d'interprétation.

❖ Rivedoux

Dans le secteur de Rivedoux, les shape livrés sont très représentatifs de l'herbier (Tableau 11), le score de la validation atteignant maintenant 94%. Pour améliorer le résultat initial (score de 65%), nous avons dû, dans ce secteur, procéder :

- Ponctuellement, à la création de shape, en s'appuyant sur la connaissance terrain, et la donnée satellite lorsque les herbiers étaient mal détectés lors de l'étape de classification. Deux polygones 0-25% ont ainsi été créés (Figure 22) ;
- A la définition de contours en regroupant des pixels de la classe 0-25% ou 25-75% isolés les uns des autres. Plusieurs exemples de regroupement sont présentés sur la Figure 22 ;
- A la suppression de polygones représentant non des zostères mais des ceintures (Figure 23) ou dépôts d'algues (Figure 24) ;
- A la modification de l'indice de recouvrement d'un polygone (Figure 24) ;
- A la création de polygones en bas d'estran, dont le contour n'est que très relativement fiable (Figure 24).

Sur la carte, l'herbier dont le taux de recouvrement est intermédiaire est l'enveloppe la moins précise, les trois autres étant d'excellente qualité.

Tableau 11. Précision des contours de l'herbier sur le secteur Rivedoux

		Observations					
		0	0-25	25-75	75-100	Total	Précision carte
Carte	0	21				21	100%
	0-25		8			8	100%
	25-75		1	10	2	13	77%
	75-100				6	6	100%
	Total	21	9	10	8	48	
Précision classification		100%	89%	100%	75%		94%

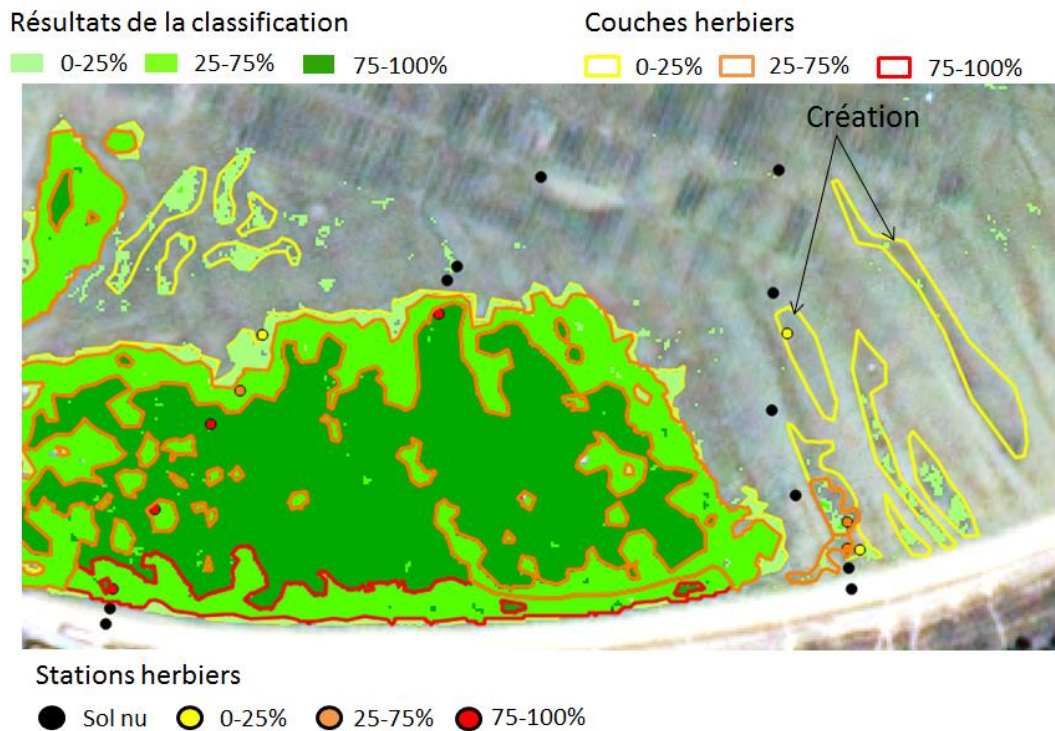


Figure 22. Génération de polygones herbier à 0-25% en s'appuyant (i) les observations de terrain (notés création) et (ii) sur les résultats de la classification et les observations de terrain (regroupement de pixels)

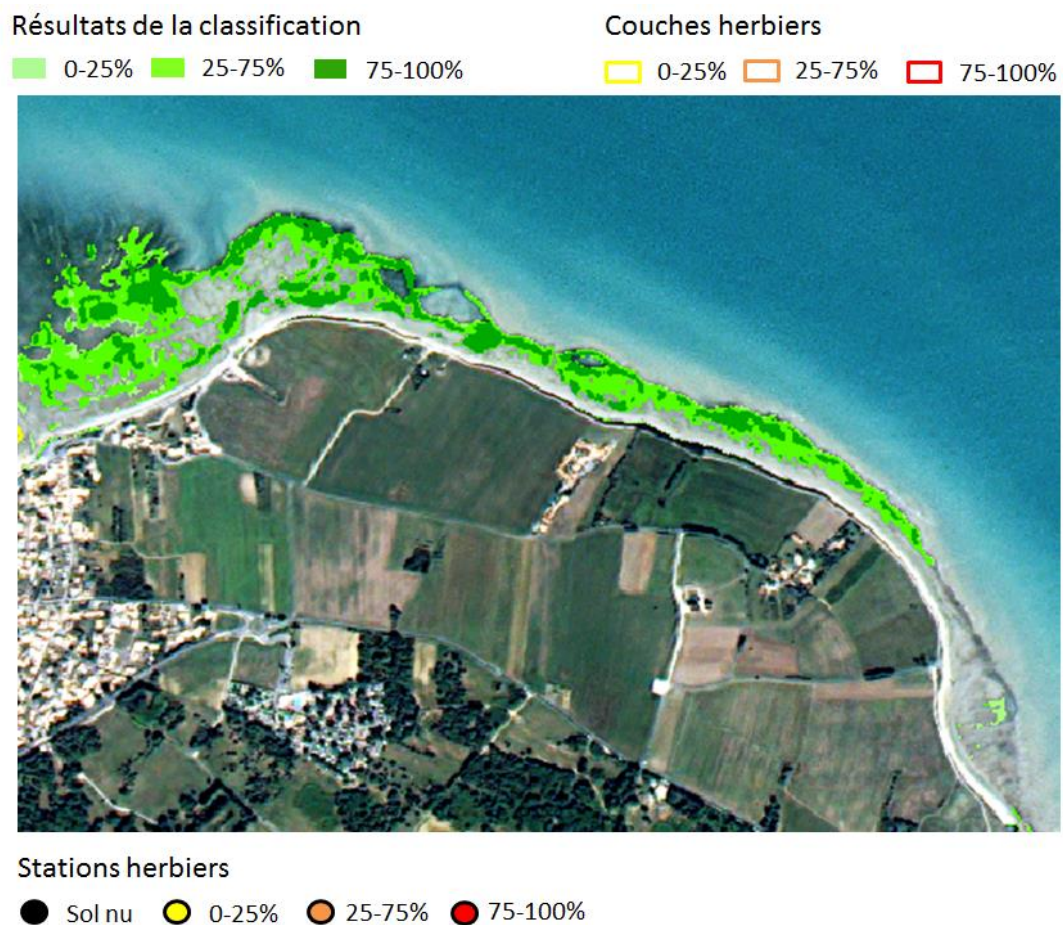


Figure 23. Suppression de polygones représentant des ceintures d'algues

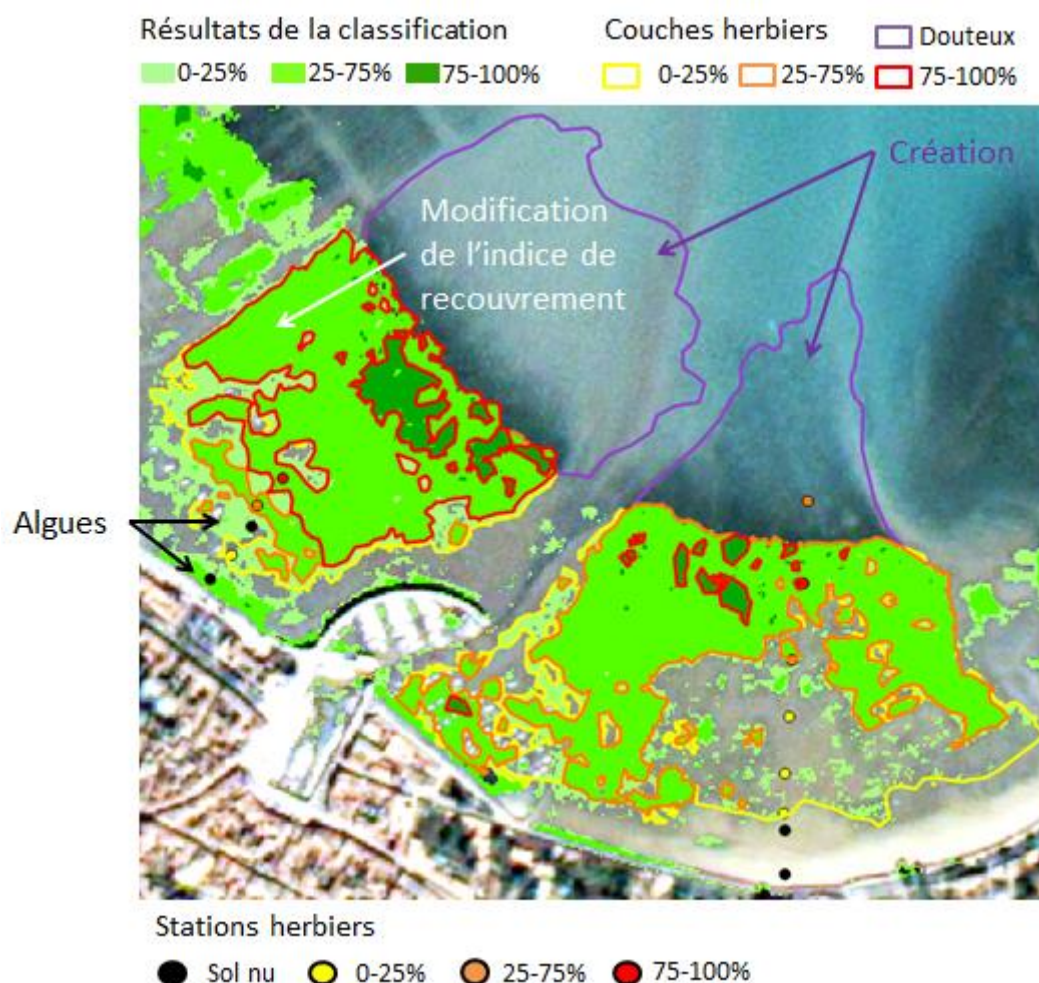


Figure 24. Suppression de polygones représentant des dépôts d'algues, modification de l'indice de recouvrement d'un polygone de 25-75 % à 75-100% et création de polygones « douteux » à dire d'expert avec l'appui partiel de données de terrain

❖ Saint-Martin

Dans le secteur de Saint-Martin, la qualité de la couche herbier est également très satisfaisante (Tableau 12). Ces bons résultats sont liés en partie à la qualité de la classification. En effet, sur certains secteurs, les polygones générés à partir de la classification ont été validés sans aucun traitement, comme on le voit en particulier sur la Figure 25.

Tableau 12. Précision des contours de l'herbier sur le secteur Saint-Martin

		Observations				Total	Précision carte
		0	0-25	25-75	75-100		
Carte	0	13				13	100%
	0-25	1	7			8	88%
	25-75		1	6		7	86%
	75-100				10	10	100%
	Total	14	8	6	10	38	
Précision classification		93%	88%	100%	100%		95%

Pour autant, même sur des secteurs très bien classés, il a parfois été nécessaire de supprimer de polygones lorsqu'un couvert d'algues était connu ou repéré sur les images (cf. Figure 25, en haut) ou de construire des enveloppes homogènes regroupant des tâches d'herbier peu dense situées à proximité des unes des autres (cf. Figure 25, au centre).

Ces procédures ont été répétées sur les secteurs de Saint-Martin, à des endroits où la classification était un peu moins performante concernant la détection de l'herbier à très faible taux de recouvrement et les confusions entre *Zostera noltei* et algues (Figure 26). On note également la création d'un polygone herbier 25-75% en s'appuyant à la fois sur les résultats de la classification (tâches d'herbier), l'image et le terrain (cf. Figure 26).



Figure 25. Suppression de polygones représentant des dépôts d'algues, regroupement de tâches d'herbiers à faible recouvrement dans des enveloppes homogènes

❖ Fier d'Ars

Sur ce dernier secteur, la couche herbier générée est également de très bonne qualité (Tableau 13). Toutes les procédures d'amélioration détaillées pour les secteurs de Rivedoux et Saint-Martin ont été mises en œuvre afin d'améliorer la qualité des résultats de la classification obtenus initialement.

Tableau 13. Précision des contours de l'herbier sur le secteur Fier d'Ars

		Observations				Total	Précision carte
		0	0-25	25-75	75-100		
Carte	0	9		1		10	90%
	0-25		5			5	100%
	25-75		1	9		10	90%
	75-100				5	5	100%
	Total		9	6	10	5	30
Précision classification		100%	83%	90%	100%		93%

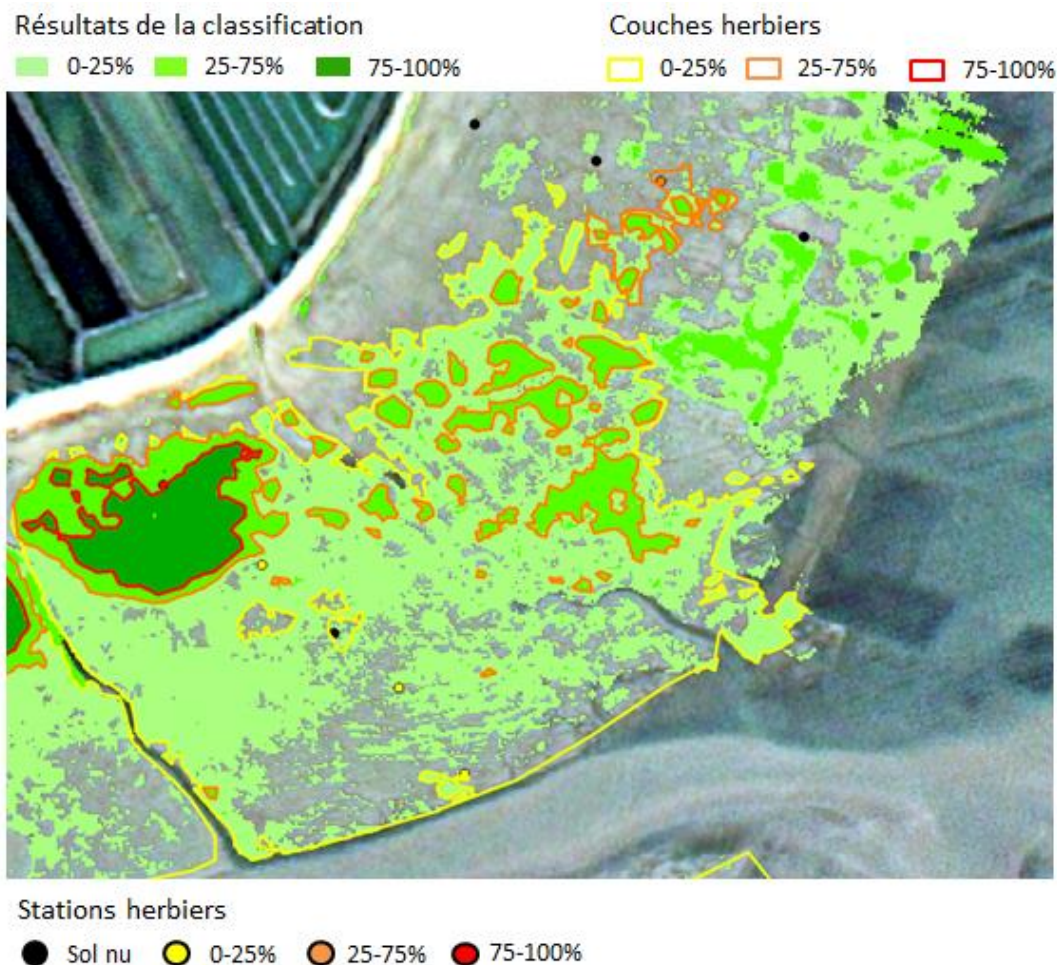


Figure 26. Suppression de polygones représentant des dépôts d'algues, regroupement de tâches d'herbiers à faible recouvrement dans des enveloppes homogènes (0-25%) et création d'un polygone 25-75% en s'appuyant sur les résultats de la classification, une observation de terrain et l'image.

❖ Validation globale

Au total, 58 polygones ont été vérifiés grâce aux données de terrain, soit environ 3% des entités que contient la couche herbier. Ce faible nombre représente toutefois une proportion significative en termes de surface. En effet, les polygones visités sur le terrain représentent 37 % de la surface totale de la couche herbier. Cette valeur démontre la robustesse de cette étape de validation et montre également que l'effort de terrain consolide très efficacement l'approche cartographique mise en œuvre dans cette étude.

La précision globale de la couche herbier, évaluée à partir de 116 observations est de 94% (Tableau 14), score supérieur à ceux obtenus pour la cartographie des herbiers d'Arcachon en 2012 (85,7%, Lafon et al., 2013) et dans la baie de Marennes Oléron en 2014 (86,1%, Lafon et al., 2014).

Du point de vue de la procédure de cartographie, on remarque que toutes les classes sont obtenues de façon très satisfaisante (score proche ou supérieur à 90%). La carte montre également une très bonne précision en général, la classe 25-75% étant la moins bien représentée, pour un score toutefois légèrement supérieur à 80%, le couvert étant tantôt surestimé, tantôt sous-estimé. Nous retrouvons exactement le même défaut dans la Baie de Marennes Oléron en 2014. Nous remarquons qu'aucune tendance lourde à la surestimation ou la sous-estimation, qui pouvait transparaître après l'étape de classification, ne persiste dans la couche herbier finale.

La carte de l'herbier de l'île de Ré est présentée sur la Figure 27.

Tableau 14. Précision des contours de l'herbier sur l'ensemble de la baie de l'île de Ré

		Observations				Total	Précision carte
		0	0-25	25-75	75-100		
Carte	0	43	0	1	0	44	98%
	0-25	1	20	0	0	21	95%
	25-75	0	3	25	2	30	83%
	75-100	0	0	0	21	21	100%
	Total	44	23	26	23	116	
Précision classification		98%	87%	96%	91%		94%

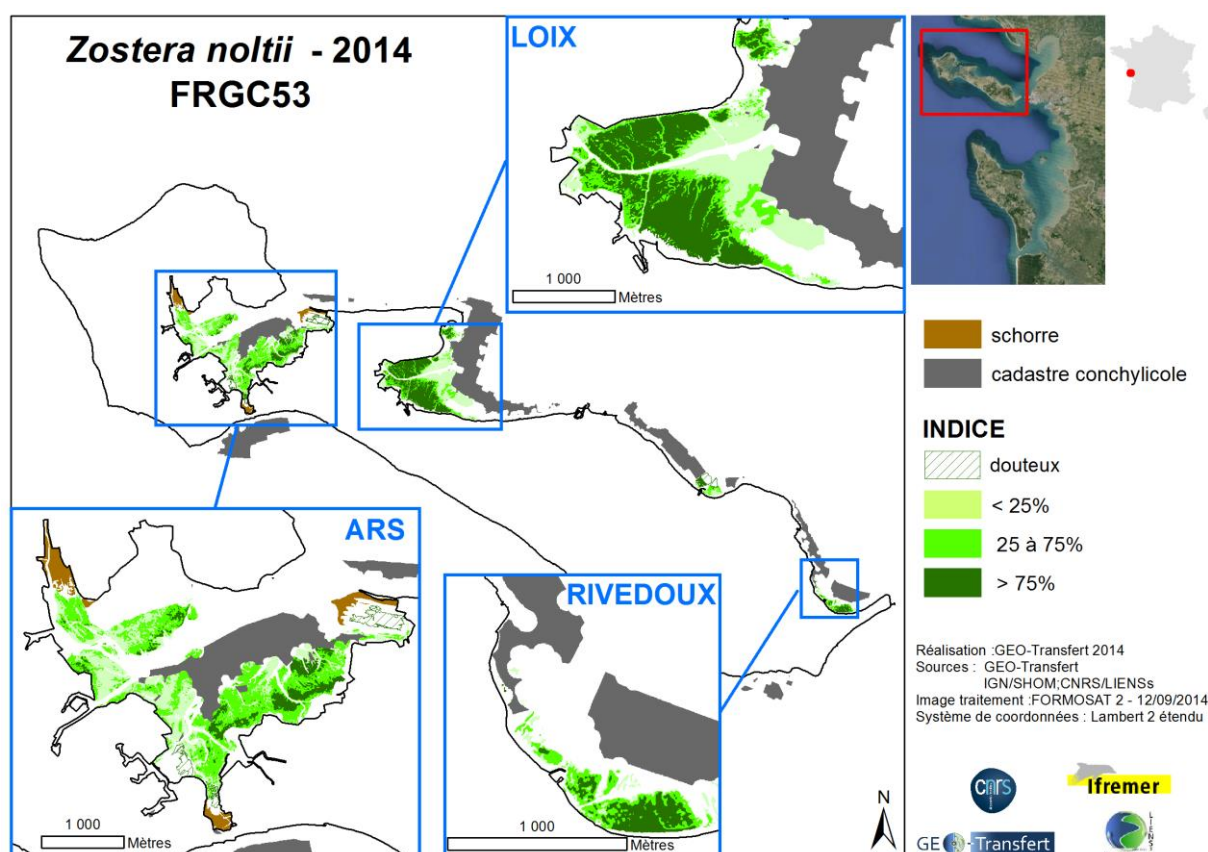


Figure 27. Cartographie de l'herbier de la masse d'eau FRGC53

5.2.3 Détails des polygones classés « douteux »

On retrouve ces polygones sur la cartographie de la masse d'eau (cf. Figure 27).

La surface totale d'herbier déclaré « douteux » dans la table attributaire est d'un peu plus de 23 ha, répartis en 6 polygones entièrement redessinés à dire d'expert. Cette surface représente environ 4% de la superficie totale de la couche herbier, valeur peu significative.

Ces polygones ont été générés sur l'ensemble de la masse d'eau pour prendre en compte des zones de couvert très hétérogène et généralement de couvert faible détectés par traitement de l'image satellite et également visibles sur l'image Formosat. Ils apparaissent fréquemment en bas d'estran et sont pris en compte lorsque la réponse radiométrique de l'estran, semblable à celle de l'herbier, ne peut être négligée.

5.2.4 Carte de qualité

Nous proposons une carte de qualité (Figure 28) divisée en trois indicateurs :

- Qualité très élevée (en vert sur la Figure 28) : il s'agit des polygones qui ont été validés grâce aux données de terrain (37% de la surface totale) ;
- Qualité élevée (en orange sur la Figure 28) : il s'agit des polygones générés par classification. Non validés, ils ont toutefois été révisés en s'appuyant sur l'expérience tirée des modifications réalisées sur les polygones montrant des points de validation. Ainsi, leur qualité doit être comparable ou légèrement inférieure à celle des polygones validés grâce aux données de terrain. Ces polygones représentent 69% de la surface totale de l'herbier ;
- Qualité médiocre (en rouge sur la Figure 28) : il s'agit des polygones entièrement générés à dire d'expert et déclarés « douteux ». Ils représentent 4% de la surface totale de la couche herbier.

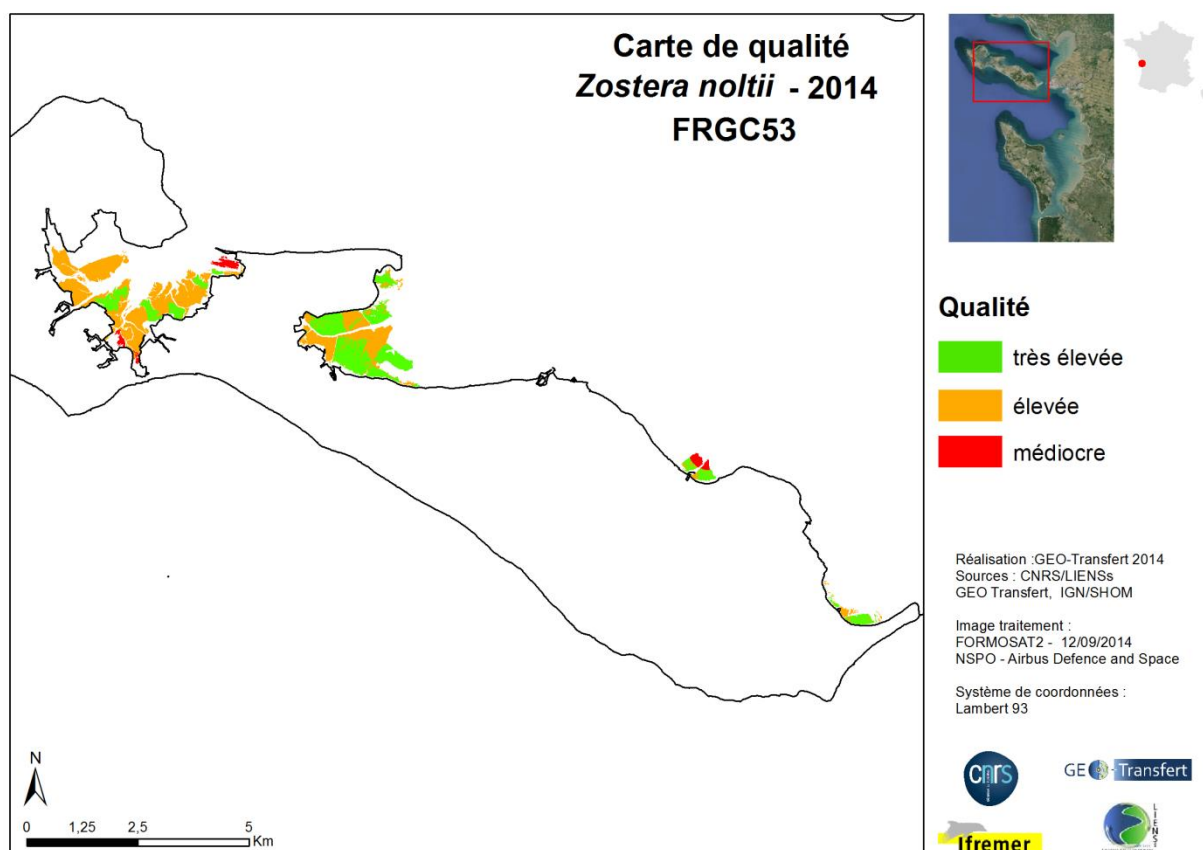


Figure 28. Carte de qualité de la couche herbier de la baie de l'île de Ré de 2014

6 Evolution 2006 – 2014

La couche générée en 2014 a été comparée à celle de 2006 (Auby et al., 2010a, 2010b ; Barillé et al., 2007 ; Sauriau et al., 2011). Entre 2006 et 2014, nous constatons une diminution globale de la superficie de l'herbier de la masse d'eau FRGC53, de l'ordre de 16% de la superficie mesurée en 2006 (Tableau 15). Cette diminution affecte tous les secteurs de l'île de Ré et différents étages topographiques de l'estran, comme le montrent les zooms de la Figure 29. En revanche, cette diminution de couvert se manifeste pour les taux de recouvrement faibles à moyens, l'enveloppe des plus forts taux de recouvrement ayant tendance, au contraire, à légèrement s'étendre spatialement (cf. Tableau 15).

Au regard de la précision de la carte établie grâce aux relevés de terrain, ces évolutions peuvent être considérées comme significatives, à l'exception peut-être de la très légère diminution de l'enveloppe

de l'herbier de recouvrement intermédiaire dont la diminution entre 2006 et 2014 approche la précision estimée (cf. Tableau 14).

Tableau 15. Evolution surfacique pour les différentes classes de recouvrement entre 2006 et 2014

	2006 (surface ha)	2014 (surface ha)	Bilan (surface ha)	Bilan (%)
0-25%	321,1	211,5	-109,6	-34%
25-75%	216,6	201,5	-15,1	-7%
75-100%	134,9	153,2	+18,3	+14%
Enveloppe globale	672,6	566,2	-106,4	-16%

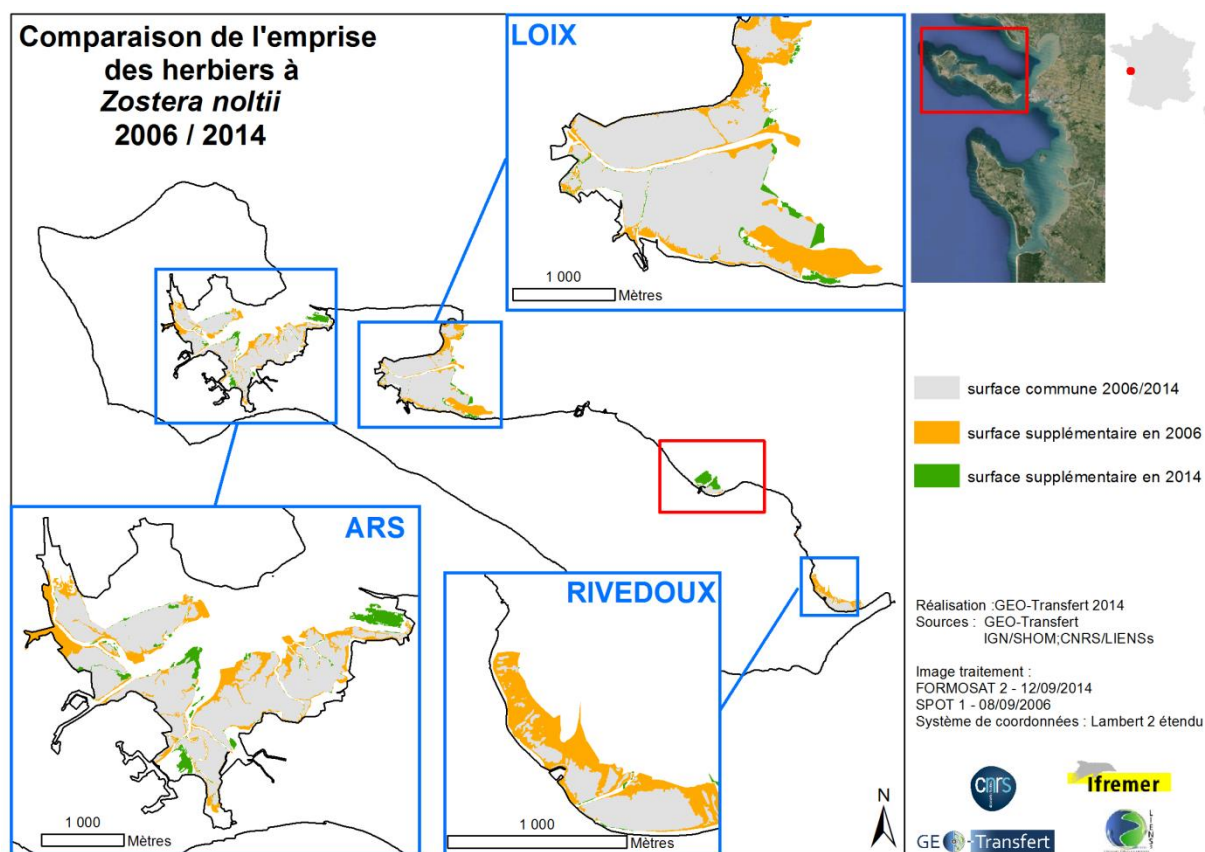


Figure 29. Principaux sites présentant des changements significatifs entre 2006 (Sauriau et al., 2011) et 2014

7 Conclusions et éléments de discussion

La méthode de classification d'image (cf. Tableau 10) est, dans le cas de l'île de Ré, performante pour l'ensemble des classes détectées, puisqu'on atteint un score de 66% pour la validation de la carte spatiale à partir des 116 observations exploitables.

Bien que la performance de la méthode de classification soit plutôt bonne, la carte présente des défauts concentrés sur les classes 25-75%, sols nus et 0-25%. Pour la classe 25-75%, on constate par endroit que le couvert est surestimé et à d'autre qu'il est sous-estimé. Des modifications d'indice de recouvrement sont nécessaires au cas par cas pour améliorer cette enveloppe 25-75%. Dans les deux autres cas, (i) des couverts d'algues apparaissent sur la carte comme des herbiers et (ii) le couvert 0-25% est dans certains cas surestimé, *i.e.* que la classe 0-25 incorpore des couverts typiques de la classe sol nu (près de 50% des cas). En revanche, les herbiers dont le taux de recouvrement est très élevé sont très réalistes, même s'ils sont sans doute légèrement sous-représentés.

La présence d'algues reste donc un écueil majeur pour la méthode de cartographie par arbre de décision, elle peut toutefois être efficacement levée en couplant deux prises de vue suffisamment éloignées dans le temps : les algues apparaissant exclusivement sur l'un des deux clichés. Dans notre cas, nous nous sommes appuyés sur une photographie aérienne couplée à l'image Formosat-2 de 2014. Alternativement, nous aurions pu coupler deux clichés satellites.

Malgré ces défauts, et grâce à différents moyens de requalification de la couche herbier issue de la classification, la qualité des couches livrées est globalement bonne (précision estimée à 94% à partir de 116 vérités terrain), d'autant que des polygones représentant 37% de la surface globale ont pu être validés grâce à des données de terrain. Ce taux important démontre la robustesse de l'approche cartographique et, en dehors des polygones vraiment douteux présents dans la couche d'herbier et représentant 4% de la surface totale de la couche, démontre également la qualité d'ensemble de la cartographie même pour les secteurs non validés *in situ*.

Ces résultats concluants permettent de comparer les couches d'herbiers produites en 2006 et 2014. Au cours de cette période nous constatons une diminution surfacique de l'enveloppe globale de l'herbier de la masse d'eau FRGC53 qui s'exprime essentiellement au niveau des zones de recouvrement les plus faibles. Les recouvrements moyens sont marqués par une diminution faible, voire une stabilité relative quand les plus forts taux de recouvrement montrent une enveloppe en légère expansion. Cette dernière ne parvient pas à contrebalancer toutefois la tendance générale de diminution de surface occupée par l'herbier entre 2006 et 2014.

8 Liste des figures et des tableaux

Figure 1. Plan de campagne programmé	6
Figure 2. Bilan des stations réalisées par GEO-Transfert (en jaune) et LIENSs (en bleu), comparaison avec les radiales prévues (en rose)	7
Figure 3. Relevé d'une station (à gauche) et d'un contour (à droite).....	7
Figure 4. Photos de quadrats (13/08/2014). De gauche à droite : sable vaseux nu, <i>Zostera noltei</i> 0-25%, 25 – 50%, 50 - 75%, 75 – 100%	8
Figure 5. Bilan des stations relevées par GEO-Transfert en fonction du taux de recouvrement de l'herbier à l'île de Ré.....	8
Figure 6. Bilan des contours relevés par GEO-Transfert en fonction du taux de recouvrement de l'herbier à l'île de Ré.....	9
Figure 7. Compilation des radiales réalisées lors de la campagne de septembre	10
Figure 8. Hauteur du plan d'eau au moment de l'acquisition Formosat au Port de Saint Martin de Ré (source maree.info).....	11
Figure 9. Emprise de l'image Formosat-2 sur le site de l'île de Ré et détails de l'image	12
Figure 10. Extrait de l'image proche infrarouge Formosat-2	13
Figure 11. Distribution statistique des valeurs de NDVI des sols nus et sols présentant un très faible taux de recouvrement sur les estrans de l'île de Ré	15
Figure 12. Représentation des seuils de NDVI entre les sols nus et un herbier présentant un recouvrement compris entre 0 et 25% comparés à une limite levée sur le terrain	15
Figure 13. Distribution statistique des valeurs de NDVI des couverts de zostère en fonction du taux de recouvrement	16
Figure 14. Représentation des seuils de NDVI pour une limite d'herbier comprise entre les recouvrement 0-25% et 25-75%. La classe 25-75% est représentée pour 3 seuils potentiels comparés à une limite levée sur le terrain.....	17
Figure 15. Arbre de décision mis en œuvre pour la cartographie de l'herbier à <i>Zostera noltei</i> de l'île de Ré.	18
Figure 16. Découpage de la masse d'eau FRGC53 proposé pour la validation de la cartographie	18
Figure 17. Distribution des stations sur le secteur Rivedoux	19
Figure 18. Distribution des stations sur le secteur Saint-Martin	20
Figure 19. Distribution des stations sur le secteur Fier d'Ars	21
Figure 20. Distribution des stations sur l'ensemble de l'île de Ré	22
Figure 21. Photo-interprétation de l'herbier non classé, masqué du fait de la présence d'eau.	23
Figure 22. Génération de polygones herbier à 0-25% en s'appuyant (i) les observations de terrain (notés création) et (ii) sur les résultats de la classification et les observations de terrain (regroupement de pixels).....	25
Figure 23. Suppression de polygones représentant des ceintures d'algues	25
Figure 24. Suppression de polygones représentant des dépôts d'algues, modification de l'indice de recouvrement d'un polygone de 25-75 % à 75-100% et création de polygones « douteux » à dire d'expert avec l'appui partiel de données de terrain	26
Figure 25. Suppression de polygones représentant des dépôts d'algues, regroupement de tâches d'herbiers à faible recouvrement dans des enveloppes homogènes.....	27
Figure 26. Suppression de polygones représentant des dépôts d'algues, regroupement de tâches d'herbiers à faible recouvrement dans des enveloppes homogènes (0-25%) et création d'un polygone 25-75% en s'appuyant sur les résultats de la classification, une observation de terrain et l'image.....	28
Figure 27. Cartographie de l'herbier de la masse d'eau FRGC53	29
Figure 28. Carte de qualité de la couche herbier de la baie de l'île de Ré de 2014	30
Figure 29. Principaux sites présentant des changements significatifs entre 2006 (Sauriau et al., 2011) et 2014	31
Tableau 1. Bilan des stations relevées par GEO-Transfert en fonction du taux de recouvrement	7
Tableau 2. Bilan des limites relevées par GEO-Transfert en fonction du taux de recouvrement	8
Tableau 3. Bilan des stations relevées par GEO-Transfert et LIENSs en fonction du taux de recouvrement.....	9
Tableau 4. Bilan des contours relevés par GEO-Transfert et LIENSs en fonction du taux de recouvrement	10
Tableau 5. Statistique de l'indice de végétation des sols nus et couverts de zostères 0-25%	15
Tableau 6. Statistique de l'indice de végétation des couverts de zostère en fonction du taux de recouvrement .	17
Tableau 7. Précision de la classification sur le secteur Rivedoux	19

<i>Tableau 8. Précision de la classification sur le secteur Saint-Martin.....</i>	<i>20</i>
<i>Tableau 9. Précision de la classification sur le secteur Fier d'Ars.....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 10. Précision de la classification sur l'ensemble de l'île de Ré.....</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 11. Précision des contours de l'herbier sur le secteur Rivedoux.....</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 12. Précision des contours de l'herbier sur le secteur Saint-Martin.....</i>	<i>26</i>
<i>Tableau 13. Précision des contours de l'herbier sur le secteur Fier d'Ars.....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 14. Précision des contours de l'herbier sur l'ensemble de la baie de l'île de Ré.....</i>	<i>29</i>
<i>Tableau 15. Evolution surfacique pour les différentes classes de recouvrement entre 2006 et 2014.....</i>	<i>31</i>

9 Liste des références

Auby, I., Oger-Jeanneret, H., Sauriau, P.-G., Hily, C., Barillé, L. (2010a). Angiospermes des côtes françaises manche-Atlantique. Propositions pour un indicateur DCE et premières estimations de la qualité. Rapport Ifremer RST/LER/MPL/10-15 : 72 p.

Auby, I., Oger-Jeanneret, H., Sauriau, P.-G., Hily, C., Barillé, L. (2010b). Angiospermes des côtes françaises manche-Atlantique. Propositions pour un indicateur DCE et premières estimations de la qualité. Annexe 2. Fiches contenant les données sur les herbiers des différentes masses d'eau suivies dans le cadre de la DCE. Rapport Ifremer RST/LER/MPL/10-15 : 152 p.

Barillé, A.-L., Harin, N., Sauriau, P.-G., Truhaut, N., Oger-Jeanneret, H. (2007). Mise en place de la DCE dans les masses d'eau côtières des pays de la Loire. Prospection de la flore et de la faune benthiques et propositions d'un réseau de surveillance. Rapport convention Ifremer/AELB n° 0320030592 : 63 pp. + annexes.

Dehouck A., Lafon V., Lubac, B., Kervella, S. Bru, D., Schmelz, M., Roubache, A. (2012). Hyperspectral field database in support to coastal wetland mapping. IGARSS 2012. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, München, Germany, 2649-2652.

Froidefond, J.-M., Lafon, V., de Montaudouin, X., 2012. Variations saisonnière et annuelle de l'indice NDVI en relation avec les herbiers de zostères (*Zostera noltii*) par images satellites SPOT. Exemple du Bassin d'Arcachon (France). Revue Française de Photogrammétrie et Télédétection, 197, 52-63.

Harin, N., Lafon, V. et Sauriau, P.-G. (2009) Dynamique temporelle [1989-2006] des herbiers intertidaux à *Zostera noltei* de la masse d'eau Pertuis Breton (FRGC53) dans le cadre de la DCE. Rapport d'Etude IFREMER/AELB. Biolittoral, Université de Nantes, 29p.

Lafon., V., Dehouck, A, Curti, C. (2013). Cartographie de l'herbier à *Zostera noltei* du Bassin d'Arcachon par télédétection spatiale, Rapport d'étude GEO-Transfert pour le compte de l'Agence de l'Eau Adour Garonne et de l'IFREMER 36 p.


Lafon., V., Dehouck, A, Curti, C. (2014). Cartographie de l'herbier à *Zostera noltei* de la baie de Marennes Oléron par télédétection spatiale, Rapport d'étude GEO-Transfert pour le compte de l'Agence de l'Eau Adour Garonne et de l'IFREMER, 36p.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. (1973) 'Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS', Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317.

Sauriau, P.-G., Paticat, F., Harin, N., Curti, C. (2011). Réalisation : P.-G. Sauriau, C. Curti, 2011 ; produit numérique LIENSs / CNRS / Université de la Rochelle / Ifremer / AELB ».

Annexe 1

Fiche technique du GPS Trimble GeoXT

	GPS portable
	Trimble
	GeoXT 2008 Series
INFORMATIONS TECHNIQUES	
<ul style="list-style-type: none"> • Les performances du GPS : Récepteur GPS haute performance à la précision submétrique intégrant la technologie SBAS et la technologie de rejet des multi-trajets EVEREST. Utilisation possible des corrections WAAS, EGNOS ou MSAS. Connectivité Bluetooth et WLAN. 14 canaux (12 code et porteuse L1, 2 SBAS) Fréquence d'acquisition : 1 Hz Température de fonctionnement : -20° à +60° • Caractéristiques de navigation : équipé d'un puissant processeur de 520 MHz, de 128 Mo de RAM et d'une mémoire embarquée de 1 Go et emplacement carte SD. Le terminal GeoXT est équipé de Windows Mobile version 6 • Interface : écran VGA, 10 touches de contrôle matériel, logiciel de reconnaissance d'écriture • Autonomie : batterie interne rechargeable d'une autonomie d'une journée (interne-ion lithium 7500 mAh 27.8 Watt-heures) Taille : 21.5 cm 9.9 cm 7.7 cm Poids : 0.80 kg avec la batterie Boitier : étanche à la poussière et résistant aux pluies poussées par des vents violents, conformément à la norme IP 65, aux chocs et aux vibrations, bande anti-dérapante pour une meilleure prise en main 	
APPLICATIONS	
Positionnement des instruments Trajet parcouru Vitesse du bateau Réalisation de polygones, polylignes en plus des waypoints à intégrer directement sous SIG	

Annexe 2

Détail de la table attributaire

INDICE	Masse_eau	Satellite	Date_image	Traitement	Terrain	Terrain_op	Surface
25 à 75%	FRGC53_PERTUIS_BRETON	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO- Transfert_2014	NON		5
25 à 75%	FRGC53_PERTUIS_BRETON	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO- Transfert_2014	OUI	CNRS/LIENSs_GEO-Transfert_2014	91864
> 75%	FRGC53_PERTUIS_BRETON	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO- Transfert_2014	OUI	CNRS/LIENSs_GEO-Transfert_2014	13816
< 25%	FRGC53_PERTUIS_BRETON	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO- Transfert_2014	NON		12
< 25%	FRGC53_PERTUIS_BRETON	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO- Transfert_2014	NON		37585
< 25%	FRGC53_PERTUIS_BRETON	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO- Transfert_2014	NON		45421
25 à 75%	FRGC53_PERTUIS_BRETON	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO- Transfert_2014	NON		32599
< 25%	FRGC53_PERTUIS_BRETON	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO- Transfert_2014	OUI	CNRS/LIENSs_GEO-Transfert_2014	0
< 25%	FRGC53_PERTUIS_BRETON	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO- Transfert_2014	OUI	CNRS/LIENSs_GEO-Transfert_2014	13808