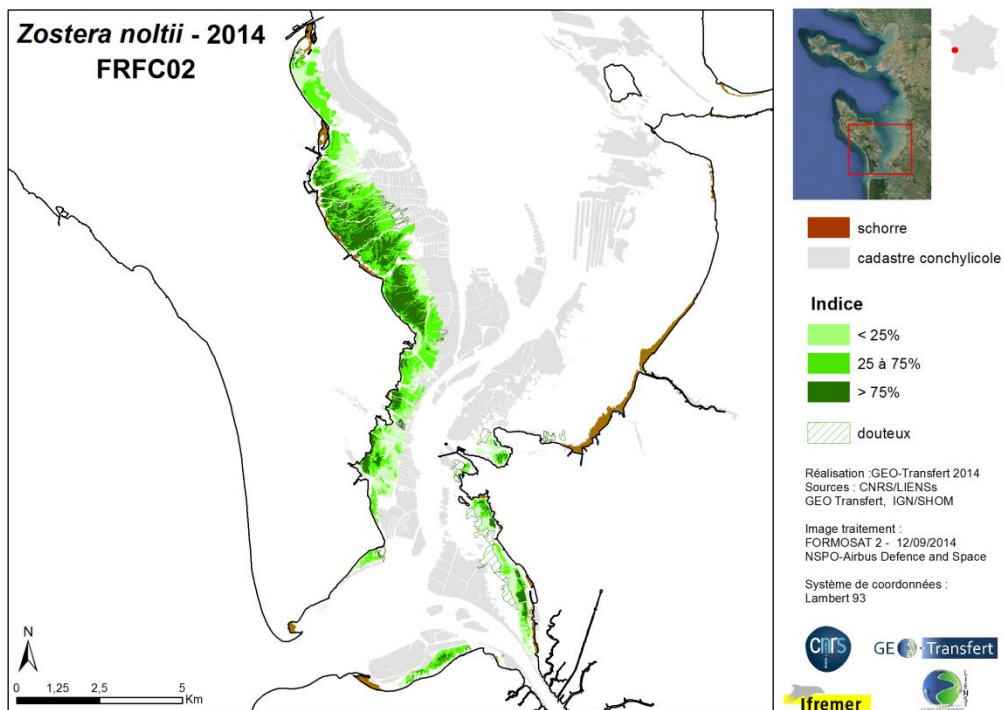


Cartographie de l'herbier à *Zostera noltii* de la baie de Marennes Oléron - masse d'eau FRFC02 - par télédétection spatiale



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 Marennes Oléron 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 MARENNES OLERON 2014	11
2.2	IMAGE SATELLITE	13
2.2.1	ACQUISITION ET CARACTERISTIQUES DE LA DONNEE SATELLITE	13
2.2.2	PRETRAITEMENT	13
2.2.3	APPLICATION DE MASQUES	13
3	<u>METHODE D'ANALYSE.....</u>	<u>15</u>
4	<u>PRESENTATION DE LA STRATEGIE DE CARTOGRAPHIE</u>	<u>16</u>
4.1	CONSTRUCTION DE L'ARBRE DE DECISION	16
4.1.1	MASQUE DE L'EAU	16
4.1.2	DISTINCTION ENTRE VASES, VASES SABLEUSES ET VEGETATION	16
4.1.3	CARACTERISATION DES DIFFERENTS TAUX DE RECOUVREMENT	17
4.1.4	DISCRIMINATION DES SABLES.....	19
4.1.5	ARBRE DE DECISION	19
4.2	PRESENTATION DES RESULTATS	20
5	<u>RESULTATS.....</u>	<u>21</u>
5.1	APPLICATION DE L'ARBRE DE DECISION.....	21
5.1.1	BOURCEFRANC	21
5.1.2	MARENNES.....	22
5.1.3	RONCE.....	23
5.1.4	SAINT-TROJAN	24
5.1.5	SUD BOYARDVILLE.....	24
5.1.6	VALIDATION GLOBALE	25
5.2	VALIDATION DE LA COUCHE HERBIER	26
5.2.1	ASPECTS METHODOLOGIQUES.....	26
5.2.2	ANALYSE DE VALIDATION	27
5.2.3	DETAILS DES POLYGONES CLASSES « DOUTEUX »	36
5.2.4	CARTE DE QUALITE	38
6	<u>EVOLUTION 2006 - 2014.....</u>	<u>38</u>

<u>7</u>	<u>CONCLUSIONS ET ELEMENTS DE DISCUSSION</u>	<u>40</u>
<u>8</u>	<u>LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX</u>	<u>41</u>
<u>9</u>	<u>LISTE DES REFERENCES.....</u>	<u>43</u>

1 Contexte et objectifs de la prestation

Les herbiers à *Zostera noltei* de la Baie de Marennes Oléron 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 (Lafon 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 Marennes Oléron 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'en 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 du 11 au 15 août 2014, pour des coefficients de marée supérieurs à 90 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, en partie par Cécile CURTI et Aurélie DEHOUCK de GEO-Transfert, et en partie par une équipe du laboratoire LIENSs.

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 2007, 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 des 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 deux radiales n'ont pas été parcourues par le binôme GEO-Transfert : elles étaient homogènes aux radiales voisines. En revanche, des relevés non prévus ont été réalisés à Ronce-les-Bains, les seules radiales prévues paraissaient, une fois sur le site, insuffisantes.

Au total, GEO-Transfert a réalisé 168 stations (Tableau 1, Figure 3 à gauche) et 18 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 et Figure 6 (représentation spatiale des stations en fonction du taux de recouvrement) et Figure 7 (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	57	34%	29	51%
0-25	34	20%	27	79%
25-75	50	30%	37	74%
75-100	27	16%	7	26%
Total	168	100%	100	60%

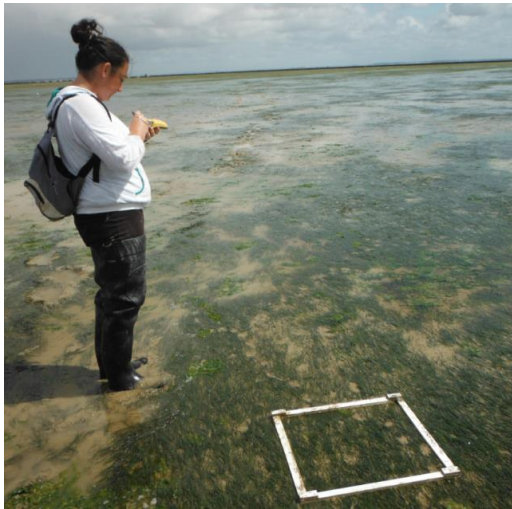


Figure 3. Relevé d'une station le 13/08/2014 (à gauche), d'un contour le 12/08/2014 (à droite)



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

Tableau 2. Bilan des contours relevés en fonction du taux de recouvrement

Limite	N°	%
0 / 0-25	5	27,8%
0 / 25-75	11	5,2%
0 / 75-100	1	0,5%
0-25 / 25-75	1	0,5%
25-75 / 75-100	0	0,0%
0-25 / 75-100	0	0,0%
Total	18	8%

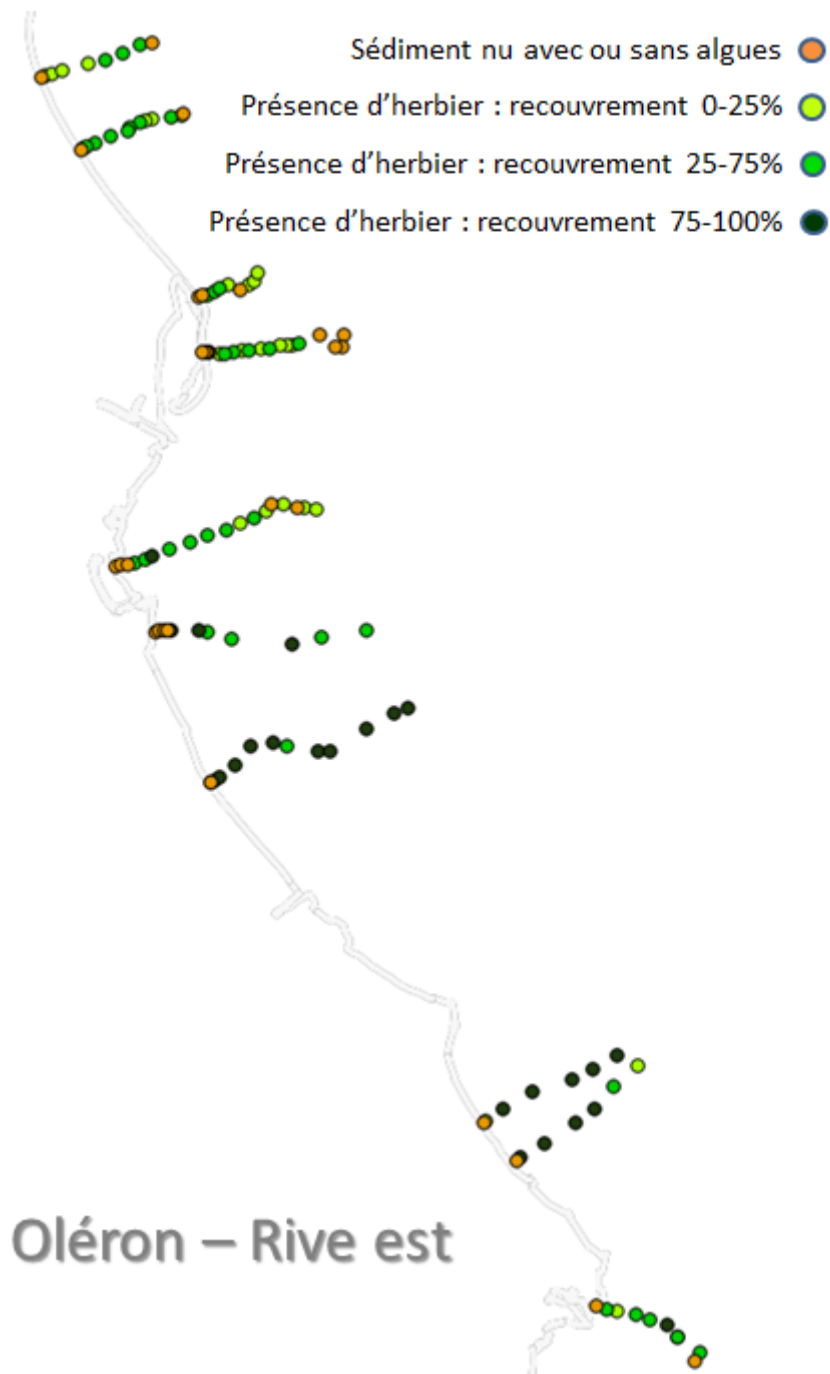


Figure 5. Bilan des stations relevées par GEO-Transfert en fonction du taux de recouvrement de l'herbier sur la rive est de l'île d'Oléron

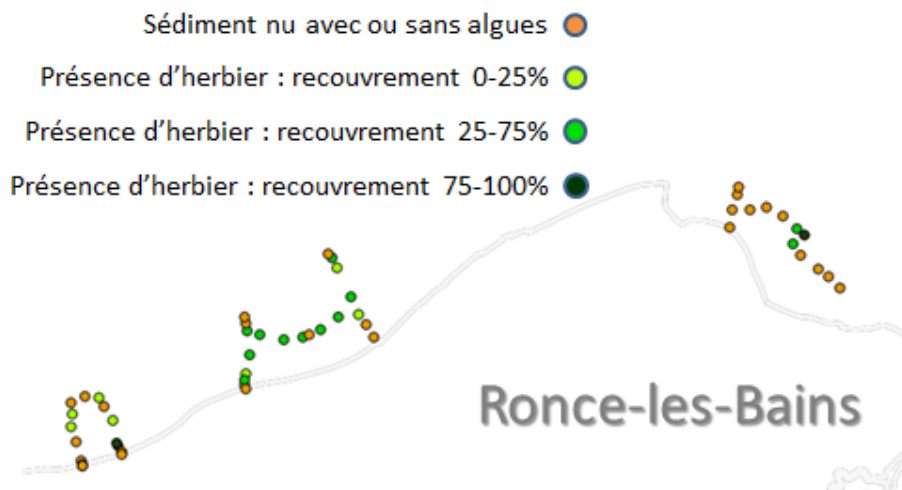


Figure 6. Bilan des stations relevées par GEO-Transfert en fonction du taux de recouvrement de l'herbier à Ronce-les-Bains

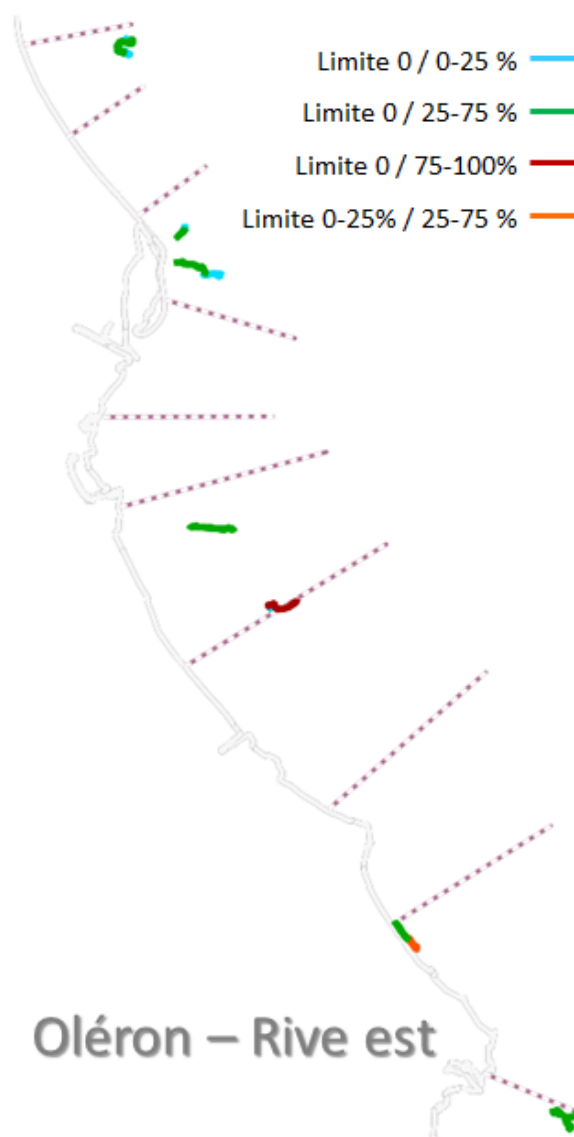


Figure 7. Bilan des contours relevés par GEO-Transfert en fonction du taux de recouvrement de l'herbier sur la rive est de l'île d'Oléron

2.1.5 Bilan de la campagne Marennes Oléron 2014

Une synthèse des stations et contours pour les missions LIENSs et GEO-Transfert sont reportées dans le Tableau 3, la Figure 8 et le Tableau 4. Ce sont au total 266 stations et 32 contours qui ont été relevés. L'ensemble des radiales réalisées par les deux équipes (LIENSs et GEO-Transfert) sont cartographiées sur la Figure 9.

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

Recouvrement	N°	%	Présence d'algues (N°)	%
0	88	33%	53	60%
0-25	59	22%	43	73%
25-75	73	27%	55	75%
75-100	46	17%	20	43%
Total	266	100%	171	64%

Répartition des observations en fonction du taux de recouvrement

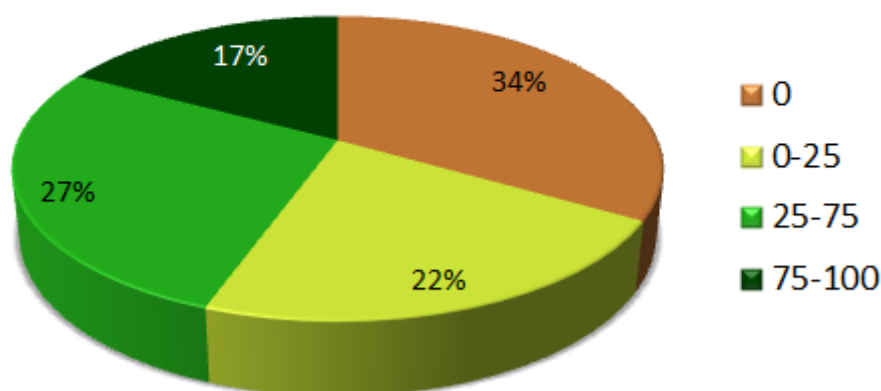


Figure 8. Répartition des observations en fonction du taux de recouvrement

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

Limite	N°	%
0 / 0-25	7	21,9%
0 / 25-75	18	6,8%
0 / 75-100	4	1,5%
0-25 / 25-75	2	0,8%
25-75 / 75-100	0	0,0%
0-25 / 75-100	1	0,4%
Total	32	12%

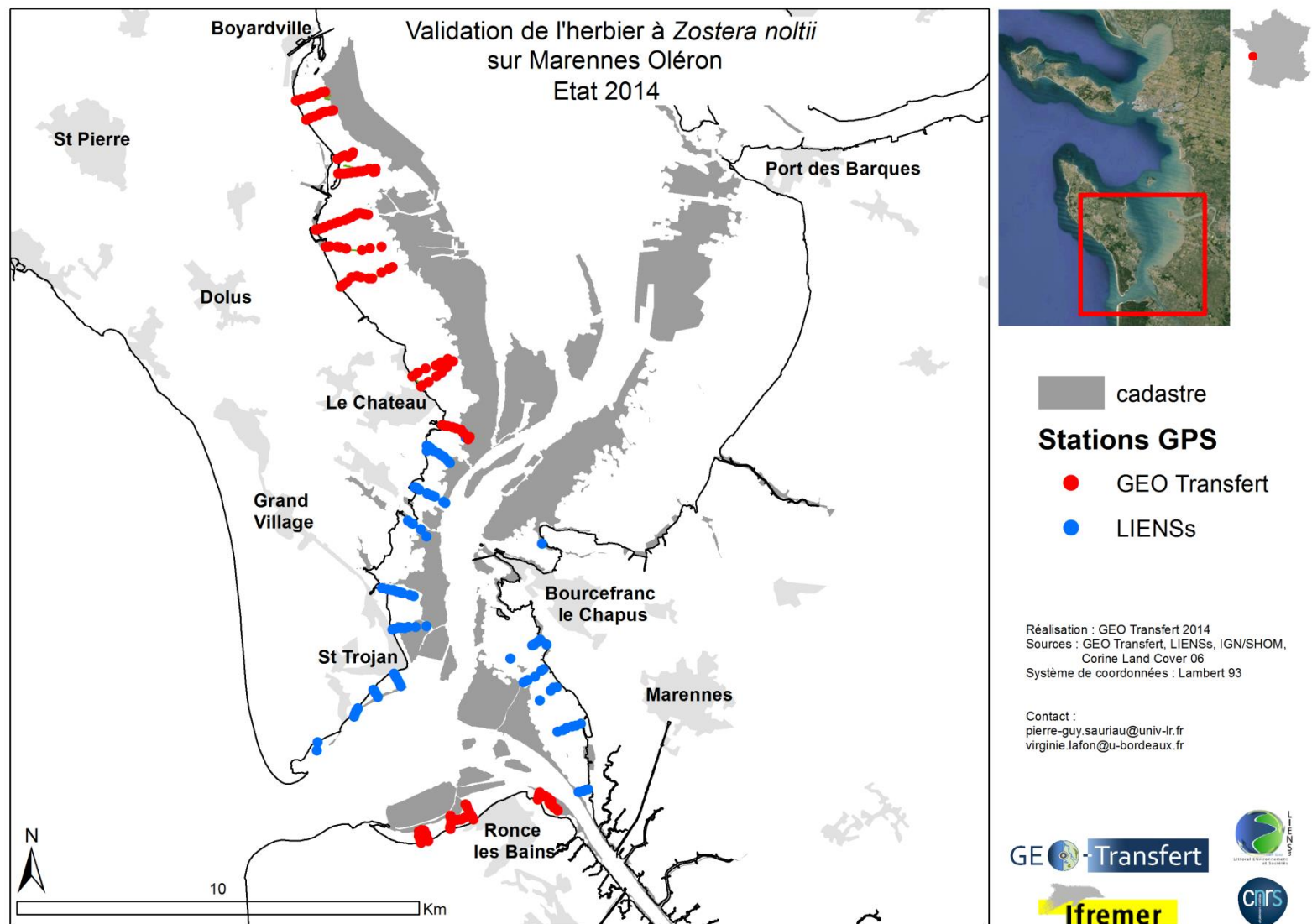


Figure 9. Compilation des radiales réalisée lors de la campagne du mois d'août

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 marée à l'heure du passage du satellite entre fin juillet et fin septembre. L'image a été acquise le 12/09/2014 à 10h34 TU, à basse mer pour un coefficient de 106 (Figure 10)



Figure 11), dans des conditions de prise de vue optimales. La donnée livrée, d'une résolution au sol de 2 m (produit fusionné couleur) est présentée sur la (Figure 11). La scène satellite consiste en quatre images acquises simultanément dans quatre gammes de longueurs d'onde : le bleu (B : 0,45 – 0,52 nm), le vert (V : 0,52 – 0,60 nm), le rouge (R : 0,63 – 0,69 nm) et le proche infrarouge (PIR : 0,76 – 0,90 nm).

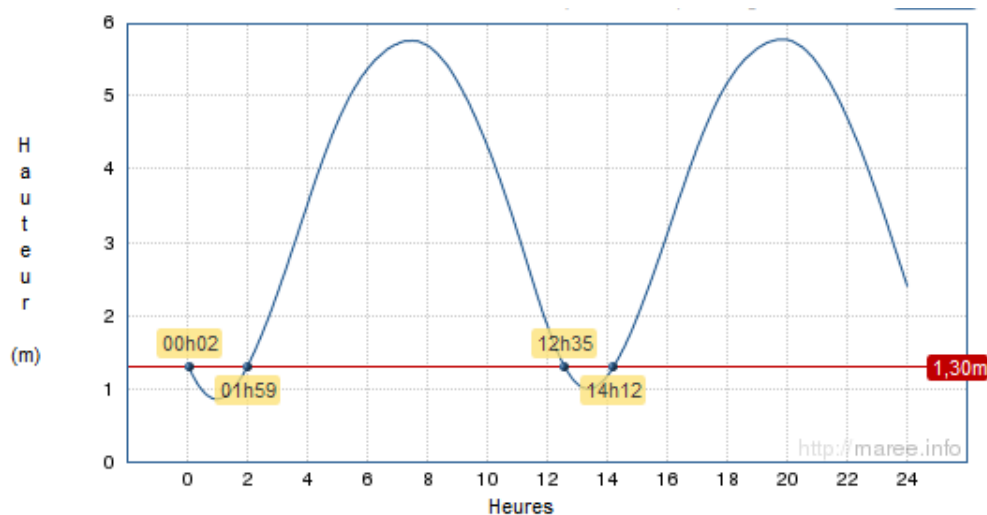


Figure 10. Hauteur du plan d'eau au moment de l'acquisition Formosat au niveau du port de la Cotinière (source maree.info)

2.2.2 Prétraitement

La scène Formosat, pour unique prétraitement, a été géoréférencée et projetée en Lambert 93. Trente-quatre points d'appuis 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 la donnée. Les pixels sont localisés avec une erreur quadratique moyenne (RMS) de 1,31 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 12, 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 11. Emprise de l'image Formosat-2 sur le site de l'île d'Oléron et détails de l'image

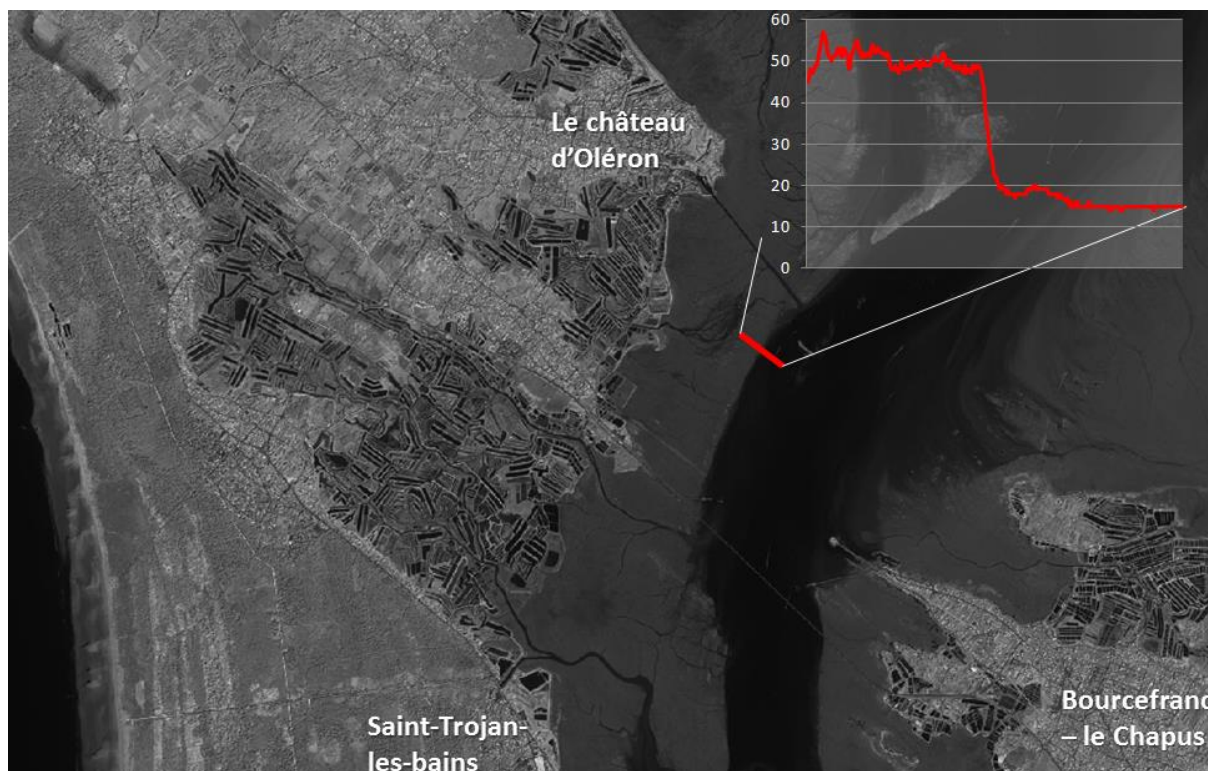


Figure 12. Extrait de l'image proche infrarouge Formosat-2

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 d'Oléron, 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 spatiale 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 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 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 12, on peut utiliser une valeur seuil comprise entre 20 et 45. Ces valeurs extrêmes ont été testées. La première ne met en évidence que l'eau profonde, excluant les petits chenaux ainsi que la plupart des bassins que l'on retrouve sur les rivages de la baie. Un seuil de 45, 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 40 caractérise l'interface émergé-immersé de façon optimale. Ainsi, tous les pixels dont le compte numérique est supérieur ou égal à 41 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 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, $PIR-R / PIR+R$, 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 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 13).

Pour expliquer cette confusion, nous ne pouvons exclure que certains pixels sélectionnés pour cette approche statistiques 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 permettraient 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 d'un seuil de -0,52, valeur minimale conservée pour la végétation. Les pixels dont le NDVI présente une valeur de -0,53 sont toutefois sujets à caution. Sédiments nus et zostères à faible taux de recouvrement ont une représentation significative dans cette classe de valeur. Elle sera donc analysée précautionneusement, pour éviter d'affecter un seuil qui pourrait être localement trop contraignant, même s'il est sans doute le plus représentatif à l'échelle de la baie.

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)	<i>Zostera noltei</i> -0-25% de recouvrement
N° pixels	47 478	12 015
Minimum	-0,605	-0,549
Maximum	-0,466	-0,076
Moyenne	-0,536	-0,462
Médiane	-0,539	-0,505

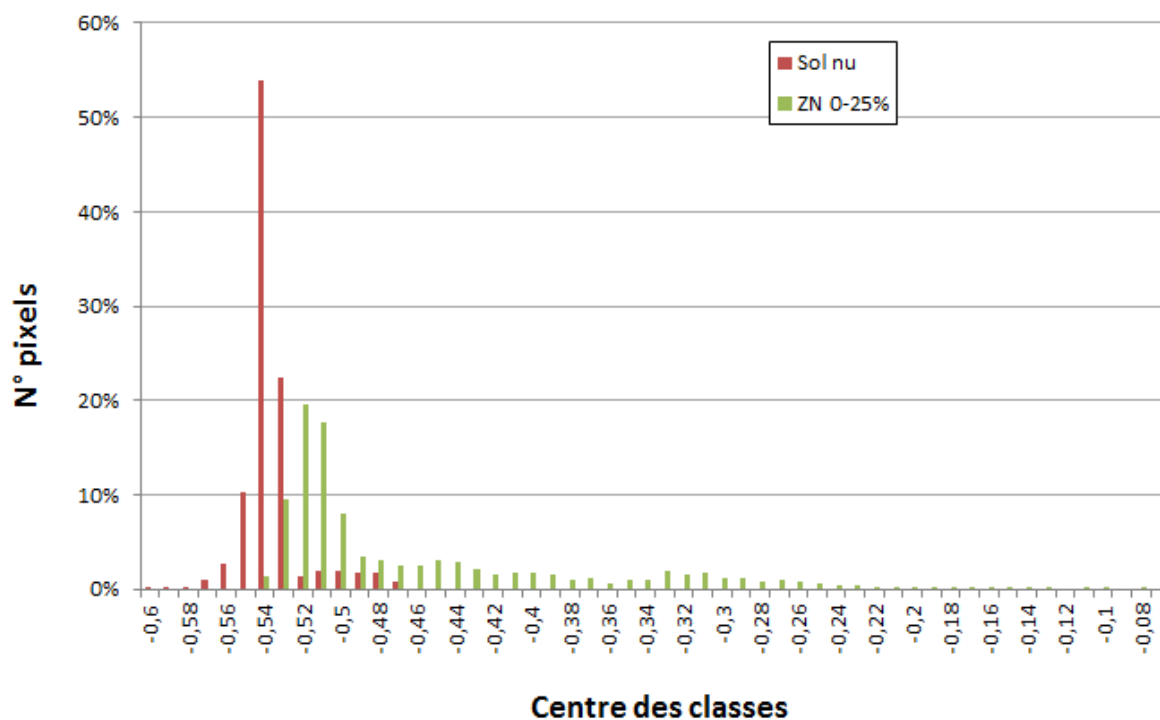


Figure 13. Distribution statistique des valeurs de NDVI des sols nus et sols présentant un très faible taux de recouvrement dans la baie de Marennes Oléron

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 14). Afin de placer des seuils entre les classes, 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 14, des seuils inter-classes compris entre -0,44 et -0,39 (limite 0-25% - 25-75%) et -0,14 et -0,09 (limite 25-75% - 75-100%) permettent de discriminer correctement les trois classes de recouvrement.

Les deux seuils de -0,44 et -0,39 ont été comparés à des limites d'herbier relevées sur le terrain. Sur le Tableau 7, un exemple montre la limite levée sur le terrain (en bleue) aux recouvrements d'herbier déduits à partir de l'image. A gauche le seuil de -0,39 surestime largement la classe 0-25% au détriment de celle 25-75%. Le seuil de -0,44 (au centre sur le Tableau 7) est un peu meilleur. Puis, nous avons successivement testé des seuils décroissants pour définir le plus adapté. Une valeur de -0,46 a été ainsi déterminée (à droite sur le Tableau 7). D'après la distribution statistique, entre les seuils de -0,53 et -0,46 pris pour bornes de la classe 0-25%, on retrouve plus de 63% des pixels de la classe, ce qui reste très représentatif.

Pour affiner le seuil 25-75 / 75-100%, nous ne disposons pas de levés de terrain. Nous ne pouvons nous baser que sur un critère statistique, ou encore en utilisant les stations, approche peu satisfaisante car notre démarche consiste à utiliser ces stations pour valider notre carte et non pour développer la méthode de traitement. Le cas échéant, nous apporterons une rectification au seuil choisi sur des critères statistiques s'il s'avère trop inadapté.

Statistiquement, en choisissant un seuil de -0,14, les deux classes 25-75% et 75-100% sont représentées à 90% de leur distribution totale (Figure 15). Ce seuil paraît donc, du moins théoriquement, le plus juste pour représenter correctement ces deux classes de recouvrement.

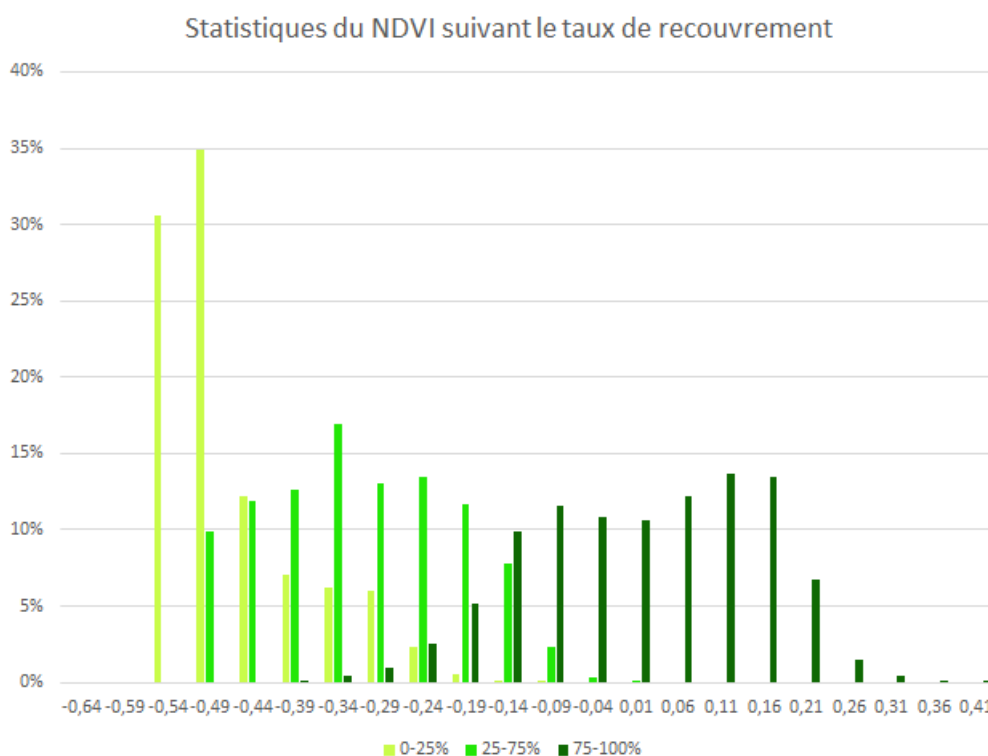


Figure 14. Distribution statistique des valeurs de NDVI des couverts de zostère en fonction du taux de recouvrement

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	12 015	6 771	39 015
Minimum	-0,549	-0,515	-0,569

Maximum	-0,076	0,029	-0,076
Moyenne	-0,462	-0,313	0,015
Médiane	-0,505	-0,320	0,023

Tableau 7. Représentation des seuils de NDVI pour une limite d'herbier comprise entre les recouvrement 0-25% (vert clair) et 25-75% (vert foncé), en bleu figure une limite levée sur le terrain

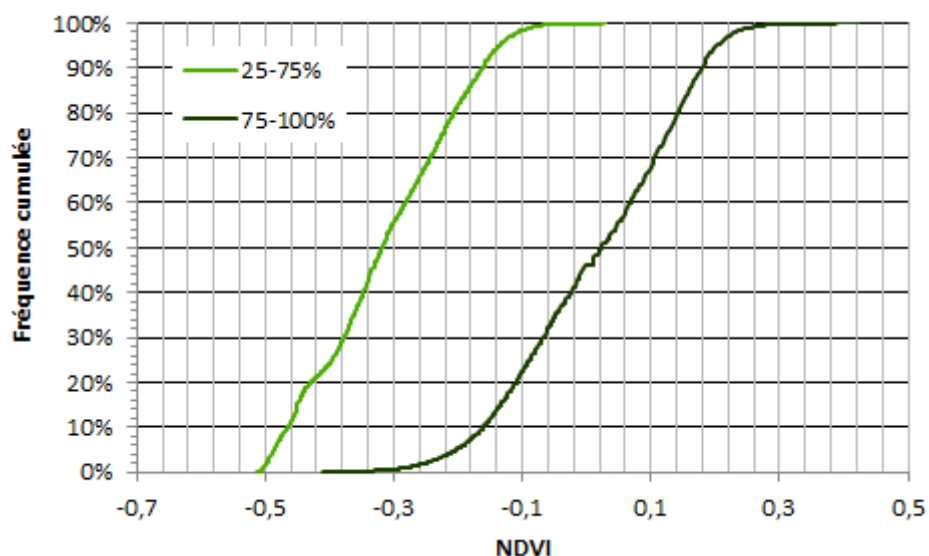
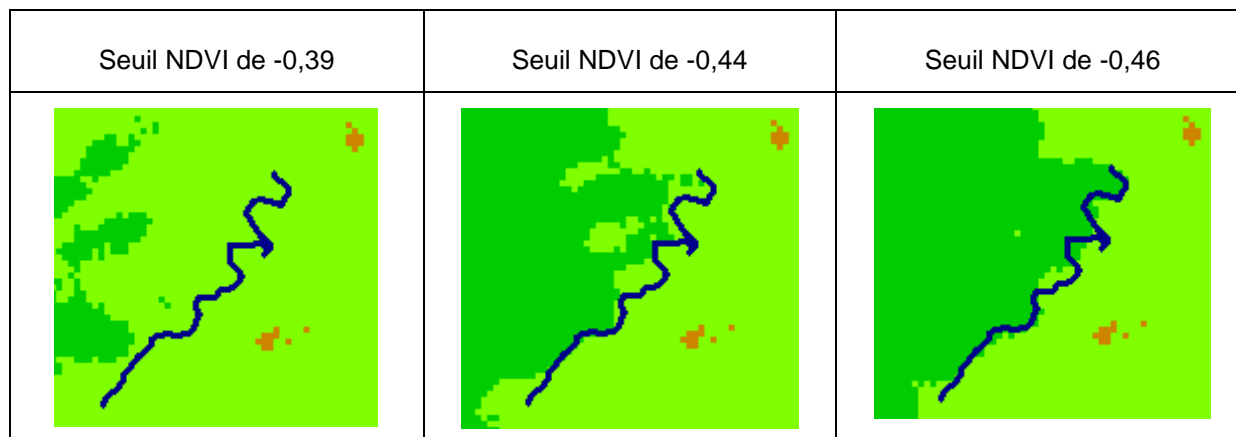


Figure 15. Fréquences cumulées des NDVI pour les recouvrements 27-75% et 75-100%

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 de la baie de Marennes Oléron. 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 16.

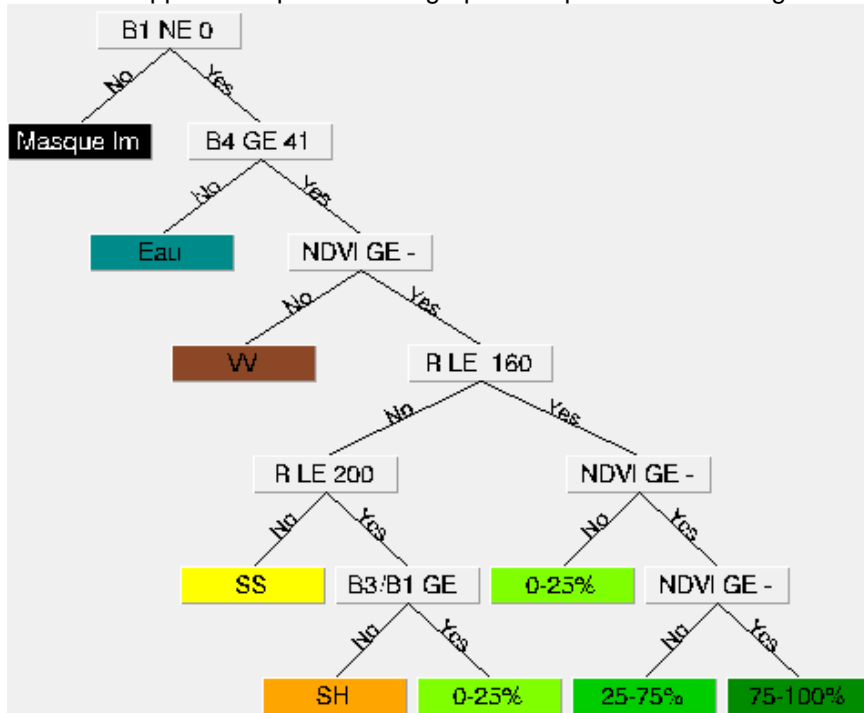


Figure 16. Arbre de décision mis en œuvre pour la cartographie de l'herbier à *Zostera noltei* de la baie de Marennes Oléron.

4.2 Présentation des résultats

Pour faciliter l'analyse critique des résultats cartographiques, ceux-ci seront présentés en cinq secteurs : Bourcefranc, Marennes, Ronce, Saint –Trojan et Sud Boyardville. Le découpage proposé est montré sur la Figure 17. Un bilan global sera également calculé.

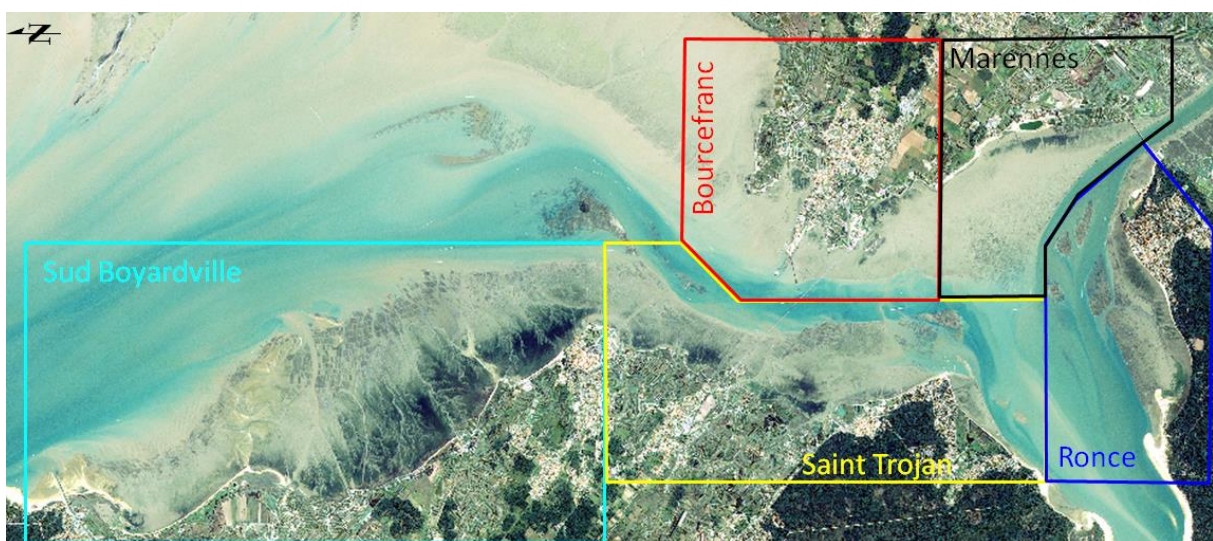


Figure 17. Découpage du secteur Oléron proposé pour la validation de la cartographie

5 Résultats

Nous rappelons que pour cet exercice de validation, l'ensemble des stations GPS présentées sur la Figure 9 ont été utilisées.

5.1 Application de l'arbre de décision

5.1.1 Bourcefranc

❖ Détails des données de validation

Au total, 7 levés GPS ont été réalisés sur ce secteur. Un sur le schorre et 6 sur l'estran, distribués, en fonction du taux de recouvrement, comme indiqué sur la Figure 18. On ne note pas de dépôts d'algues sur le sédiment nu.

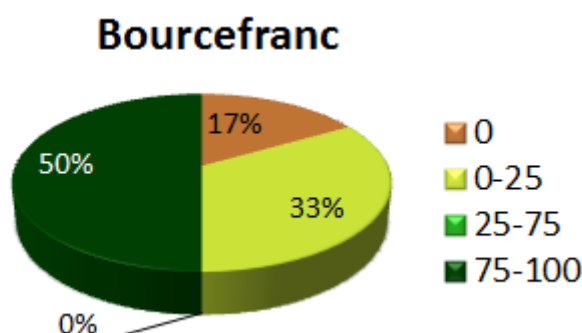


Figure 18. Distribution des stations sur le secteur Bourcefranc

❖ Adaptation de l'arbre de décision

Sur ce secteur, nous n'avons procédé à aucune adaptation de l'arbre de décision.

❖ Résultats

La précision obtenue dans ce secteur est médiocre : 50% globalement (Tableau 8).

Tableau 8. Précision de la classification dans le secteur de Bourcefranc

		Observations				Total	Précision carte
		0	0-25	25-75	75-100		
Carte	0	1	-	-	-	1	100%
	0-25	-	2	-	-	2	100%
	25-75	-	-	0	3	3	0%
	75-100	-	-	-	0	-	-
	Total	1	2	-	3	6	
Précision classification		100%	100%	-	0%		50%

Ce résultat, pour 6 points de validation, n'est pas très représentatif, il donne toutefois deux indications importantes qui seront considérées lors de la production des enveloppes d'herbier :

- La représentation correcte des sédiments nus et très faibles taux de recouvrement, résultat souvent difficile à obtenir en traitement d'images ;
- La sous-estimation du taux de recouvrement de la classe 75-100% pour les trois stations réalisées sur ce site.

5.1.2 Marennes

❖ Détails des données de validation

Ce sont cette fois 21 stations qui ont été utilisées, distribuées, en fonction du taux de recouvrement, comme indiqué sur la Figure 19. Dans tous les cas (3 observations), les sédiments de l'estran sont couverts d'algues. Dans deux des cas, il s'agit d'algues rouges présentant un recouvrement compris entre 25 et 75%.

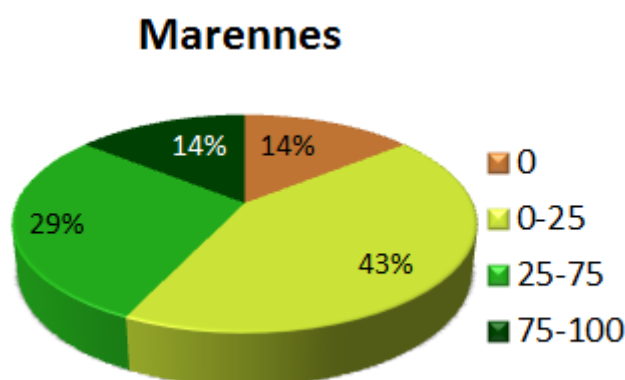


Figure 19. Distribution des stations sur le secteur Marennes

❖ Adaptation de l'arbre de décision

Sur ce secteur, le seuil sédiment nu végétation a été fixé à -0,53 et non -0,52.

❖ Résultats

La précision obtenue dans ce secteur est un peu supérieure : 57% globalement (Tableau 9). Ce résultat, pour 21 points de validation, est un peu plus représentatif et il confirme la détection très performante des très faibles taux de recouvrement sur l'ensemble du secteur. Ici, les très forts taux de recouvrement sont mieux représentés qu'à Bourcefranc.

Tableau 9. Précision de la classification dans le secteur de Marennes

		Observations				Total	Précision carte
		0	0-25	25-75	75-100		
Carte	0	1	1	-	-	2	50%
	0-25	1	8	5	-	14	57%
	25-75	1	-	1	1	3	33%
	75-100	-	-	-	2	2	100%
	Total	3	9	6	3	21	
Précision classification		33%	89%	17%	67%		57%

Deux défauts majeurs du produit cartographique sur Marennes seront considérés lors de la production des enveloppes d'herbier :

- Les couverts d'algues, cachant les sédiments nus sont détectés comme de l'herbier ;
- Le taux de recouvrement de la classe 25-75% est presque systématiquement sous-estimé.

5.1.3 Ronce

❖ Détails des données de validation

Quarante-sept stations ont été utilisées à Ronce, distribuées, en fonction du taux de recouvrement, comme indiqué sur la Figure 20. Dans ce secteur, des dépôts d'algues ont été très fréquemment notés sur le terrain, couvrant parfois très densément l'estran.

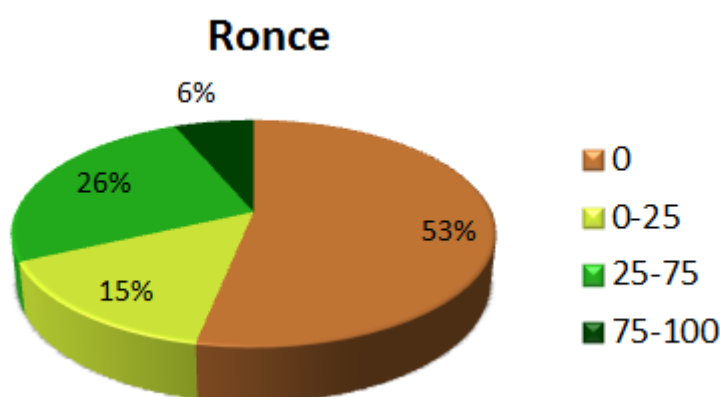


Figure 20. Distribution des stations sur le secteur Ronce

❖ Adaptation de l'arbre de décision

Sur ce secteur, nous n'avons procédé à aucune adaptation de l'arbre de décision.

❖ Résultats

La précision obtenue dans ce secteur est de 51% globalement (Tableau 10). Ce résultat, un peu plus représentatif et moyennement performant montre un résultat emblématique : la difficulté à discriminer les dépôts d'algues des zones d'herbier. Celle-ci est matérialisée par le faible score de la méthode de classification pour l'estran nu (36%) et les scores médiocres obtenus pour la qualité de la carte sur les recouvrements 0-25% (40% de fiabilité) et 25-75% (55% de fiabilité). Dans ce secteur, les enveloppes d'herbier seront traitées avec beaucoup d'attention pour exclure les dépôts d'algues.

Tableau 10. Précision de la classification dans le secteur de Ronce

		Observations				Total	Précision carte
		0	0-25	25-75	75-100		
Carte	0	8	-	-	-	8	100%
	0-25	9	5	-	-	14	36%
	25-75	9	2	9	-	20	45%
	75-100	-	-	3	2	5	40%
	Total	26	7	12	2	47	
Précision classification		31%	71%	75%	100%		51%

5.1.4 Saint-Trojan

❖ Détails des données de validation

Dans le secteur de Saint-Trojan, 63 stations ont été suivies, distribuées, en fonction du taux de recouvrement, comme indiqué sur la Figure 21. Les dépôts d'algues sont fréquents dans ce secteur.

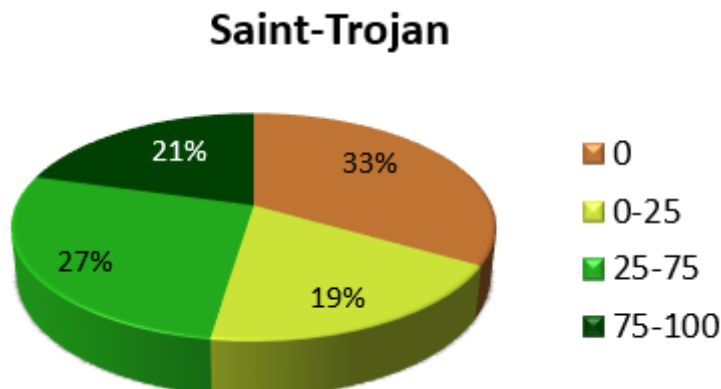


Figure 21. Distribution des stations sur le secteur Saint-Trojan

❖ Adaptation de l'arbre de décision

Sur ce secteur, le seuil sédiment nu végétation a été fixé à -0,53 et non -0,52.

❖ Résultats

La précision obtenue dans ce secteur est ici de 57% globalement (Tableau 11). Ce résultat reste encore relativement moyen, trop de dépôts d'algues étant confondus avec l'herbier. De plus, on note une fois encore la sous-estimation des couverts de zostère 25-75%, trop souvent intégrés à la classe 0-25%.

Tableau 11. Précision de la classification dans le secteur de Saint-Trojan

		Observations				Total	Précision carte
		0	0-25	25-75	75-100		
Carte	0	9	-	-	-	9	100%
	0-25	5	11	9	1	26	42%
	25-75	7	1	8	4	20	40%
	75-100	-	-	-	8	8	100%
	Total	21	12	17	13	63	
Précision classification		43%	92%	47%	62%		57%

5.1.5 Sud Boyardville

❖ Détails des données de validation

Au sud de Boyardville, ce sont 104 stations repérées qui ont été utilisées pour valider la carte des herbiers. Les stations sont distribuées en fonction du taux de recouvrement, comme indiqué sur la Figure 22.

Sud Boyardville

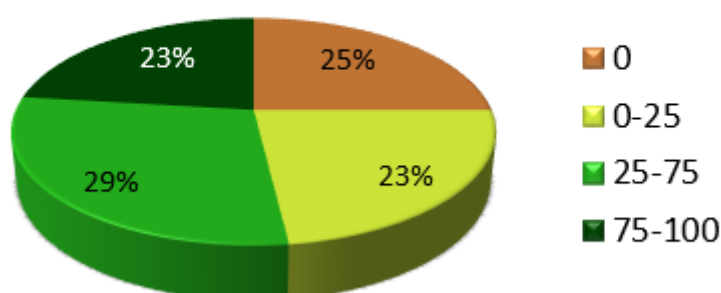


Figure 22. Distribution des stations sur le secteur Sud Boyardville

❖ Adaptation de l'arbre de décision

Sur ce secteur, nous n'avons procédé à aucune adaptation de l'arbre de décision.

❖ Résultats

La précision obtenue est ici de 78% globalement (Tableau 12). Ce résultat est cette fois-ci à la fois très représentatif et très bon. On note toujours une certaine confusion entre les algues et les herbiers. Pour le reste des classes, l'approche cartographique donne de très bons résultats, ce qui est d'autant plus remarquable que le secteur Sud Boyardville est le plus vaste visé par notre classification et ainsi le plus représentatif de la qualité des résultats obtenus.

Tableau 12. Précision de la classification dans le secteur de Sud Boyardville

		Observations				Total	Précision carte
		0	0-25	25-75	75-100		
Carte	0	15	3			18	83%
	0-25	5	19	3		27	70%
	25-75	4	1	26	3	34	76%
	75-100	2	1	1	21	25	84%
	Total	26	24	30	24	104	
Précision classification		58%	79%	87%	88%		78%

5.1.6 Validation globale

Au total, 241 relevés de terrain permettent de valider ces travaux de classification, distribués de façon homogène sur les quatre classes cartographiées (Figure 23). Ce sont 25 points de moins que ceux acquis lors des campagnes réalisées en 2014, certains étant situés dans des zones masquées à posteriori comme le schorre, d'autres trop loin sur l'estran, étant couverts d'eau au moment de la prise de vue.

Toutes stations

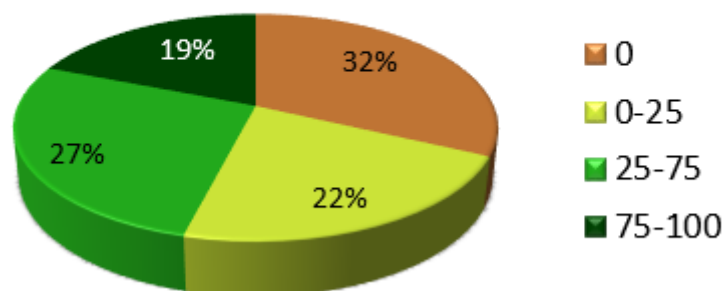


Figure 23. Distribution des stations sur l'ensemble de la baie de Marennes Oléron

Tous secteurs confondus, la précision de la carte spatiale est de 65% (Tableau 13), approchant les scores de 66% et 70% obtenus en 2014 à Marennes Oléron (Lafon et al., 2014) et en 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 moyen, 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 0-25%.

Tableau 13. Précision de la classification sur l'ensemble de la baie de Marennes Oléron

		Observations				Total	Précision carte
		0	0-25	25-75	75-100		
Carte	0	34	4	0	0	38	89%
	0-25	20	45	17	1	83	54%
	25-75	21	4	44	11	80	55%
	75-100	2	1	4	33	40	83%
	Total	77	54	65	45	241	
Précision classification		44%	83%	68%	73%		65%

5.2 Validation de la couche herbier

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 moyen 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, d'autres

dessinés. Enfin, dans certains cas, l'indice du taux de recouvrement déduit par traitement d'image a été modifié. La forme des polygones générés par traitement d'image n'est, elle, jamais retouchée.

❖ *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 parfois être confondues avec les zostères. L'arbre de décision permet toutefois de bien classer les estrans couverts de biofilm, les erreurs constatées sont rares (moins de 10% des cas). 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.

❖ *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. 36.

❖ *Table attributaire*

La table attributaire associée au shape détaille pour chaque polygone sa taille (attributs « surf_m2 » et « Surf_ha »). 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_FRFC02_Herbier_201.pdf » 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.

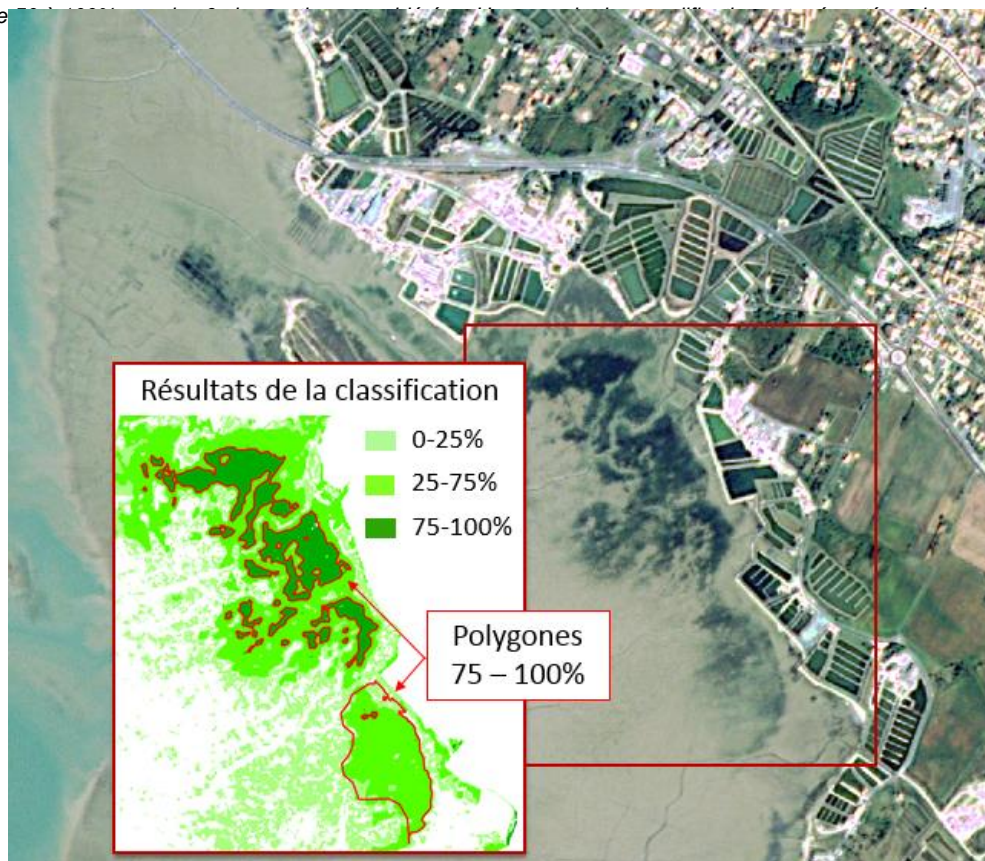
5.2.2 Analyse de validation

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.

❖ Bourcefranc

Dans le secteur de Bourcefranc, les shape livrés sont très représentatifs de l'herbier (Tableau 14). Pour améliorer le résultat initial, nous avons dû, dans ce secteur, procéder :

ponctuellement à une requalification de l'indice de recouvrement des shape à fort taux de recouvrement. Cette transformation recouvrement. Cette transformation permet de multiplier par deux le score de la validation passe de 50 à 100% pour les 6 passe de



présenté sur la

- Figure 24 qui montre en incrustation sur l'image satellite la carte spatiale et les contours définitifs (rouge) sans modification pour les polygones vert foncé en haut et après changements de la valeur d'indice sur le polygone vert vif du bas ;
- à la définition de contours de l'herbier dans la zone basse de l'estran en regroupant des pixels de la classe 0-25% isolés les uns des autres. Un exemple de regroupement est présenté sur la Figure 33 qui montre la méthode d'interprétation de la carte spatiale pour produire un polygone à dire d'expert.
-

Tableau 14. Précision de la couche herbier dans le secteur de Bourcefranc

		Observations				Total	Précision carte
		0	0-25	25-75	75-100		
Carte	0	1	-	-	-	1	100%
	0-25	-	2	-	-	2	100%
	25-75	-	-	0	-	0	-
	75-100	-	-	-	3	3	100%
	Total	1	2	0	3	6	
Précision classification		100%	100%	-	100%		100%

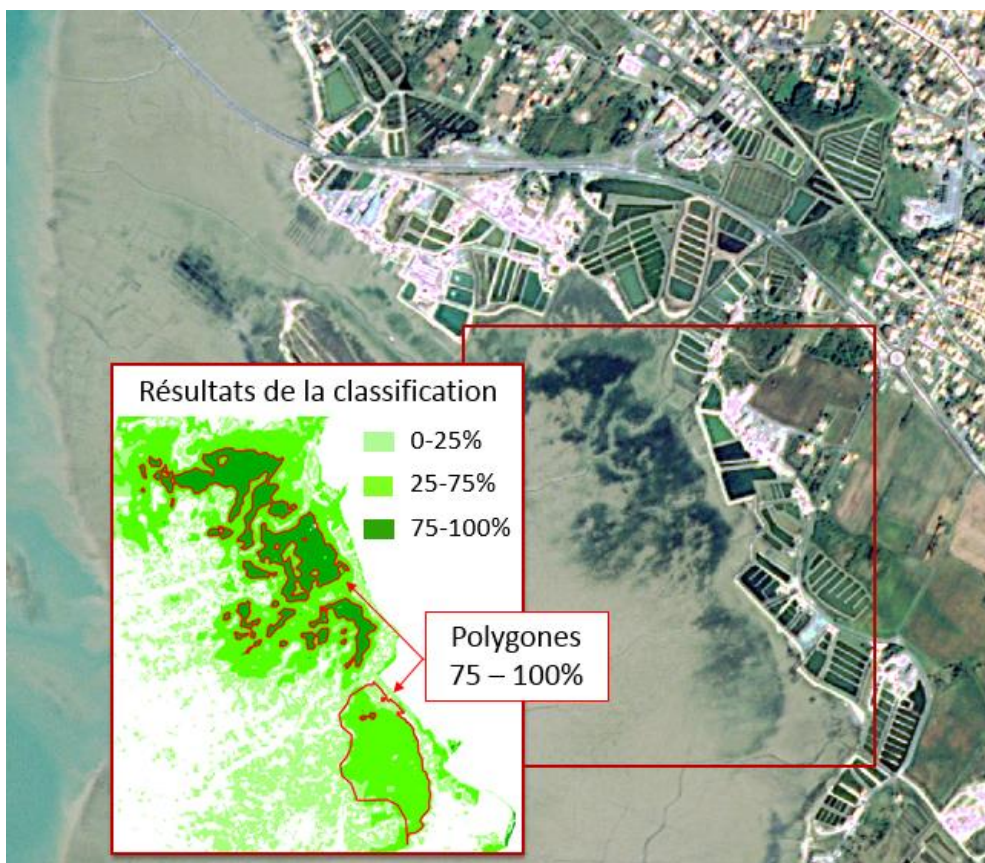


Figure 24. Changement de l'indice de recouvrement d'un polygone 25-75 % mal caractérisé par traitement d'image et requalifié à dire d'expert à l'aide des observations de terrain

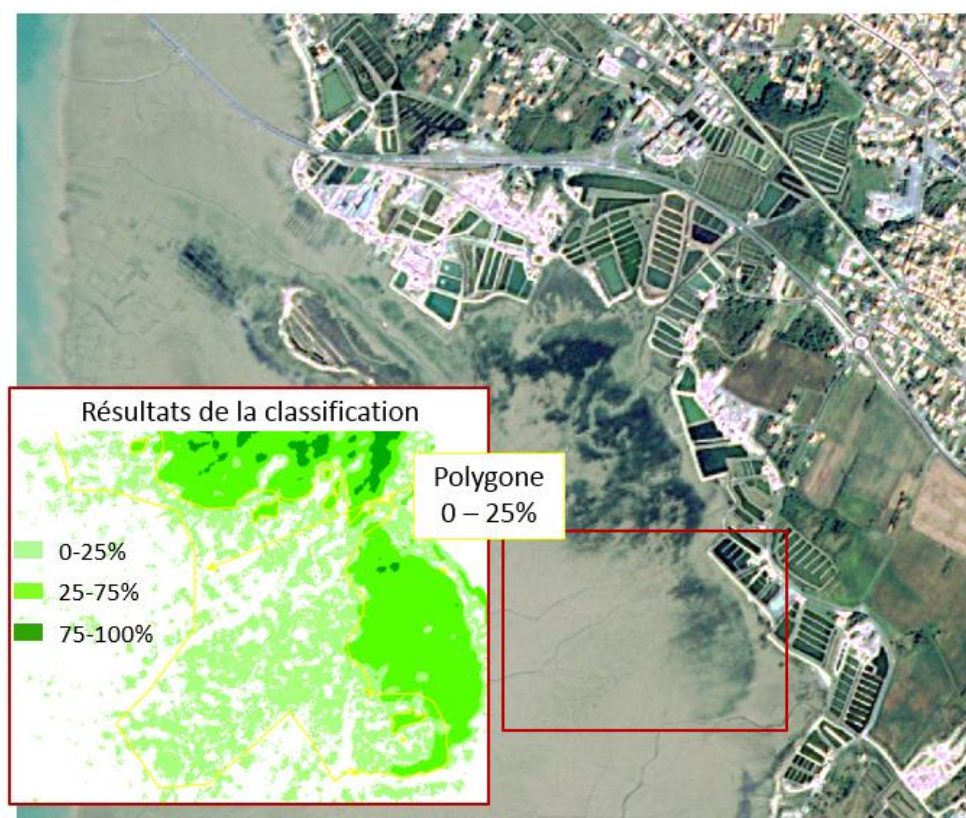


Figure 25. Définition d'une polygone 0-25% par regroupement de tâches d'herbier spatialement concentrées

❖ Marennnes

Dans le secteur de Marennnes, nous avons montré que la classification sous-estimait le couvert, en particulier la classe 25-75%. A l'instar de l'exemple précédent, nous avons, dans ce secteur, dû ponctuellement modifier l'indice de certains polygones afin de rectifier la couche et de la rendre plus juste. Cet exercice ne permet pas toutefois d'obtenir des résultats parfaits, car les enveloppes déterminées par traitement d'image ne sont pas déformées ou redessinées. Certaines stations montrent donc que, pour une tiers, une sous-estimation persiste pour l'enveloppe 25-75% (Tableau 15). Celle-ci se manifeste sur la carte par une certaine imprécision de la couche 0-25%. La précision globale pour ce secteur restant toutefois très élevée, de l'ordre de 90% globalement.

Un exemple de modification des indices de recouvrement est détaillé sur la Figure 26. On voit tout en haut de la figure un grand polygone auquel l'attribut 25-75% a été affecté alors que la classification lui avait attribué un taux de recouvrement de 0-25%. Dans la partie centrale il a été nécessaire d'augmenter les taux de recouvrement à la fois des classes 0-25% et 25-75%. Au sud enfin, les résultats de la classification n'ont pas subi de modification.

Tableau 15. Précision de la couche herbier dans le secteur de Marennnes

		Observations				Total	Précision carte
		0	0-25	25-75	75-100		
Carte	0	3	-	-	-	3	-
	0-25	-	9	2	-	11	82%
	25-75	-	-	4	-	4	100%
	75-100	-	-	-	3	3	100%
	Total	3	9	6	3	21	
	Précision classification	100%	100%	67%	100%		90%

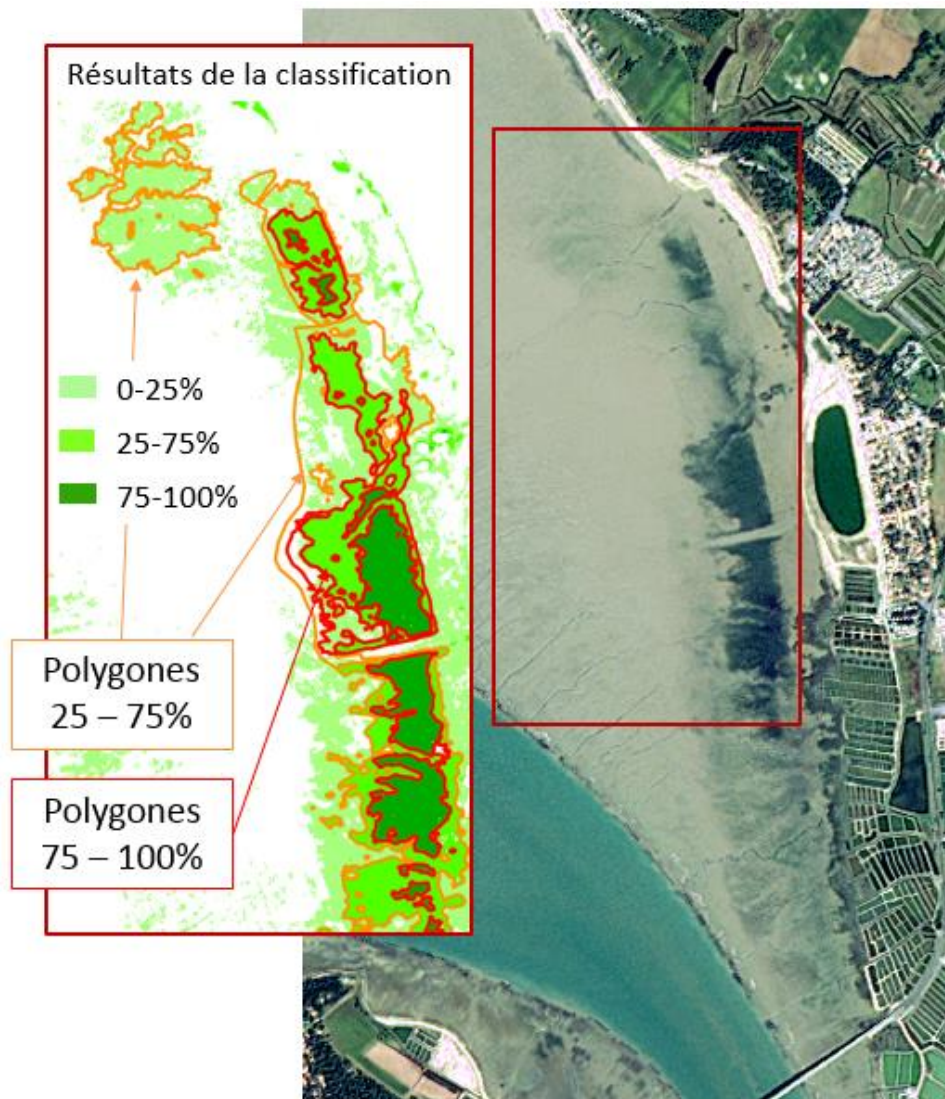


Figure 26. Changement de l'indice de recouvrement d'un polygone 0-25 % mal caractérisé par traitement d'image et requalifié à dire d'expert à l'aide des observations de terrain

❖ Ronce

Dans le secteur de Ronce, les couverts d'algues s'étaient avérés particulièrement problématiques car interprétés comme des couverts d'herbier. Dans ce secteur, il a donc été nécessaire, en s'appuyant sur les données de terrain et la comparaison avec l'ortho 2012 et la couche Natura 2000, de supprimer les polygones représentant les ceintures et dépôts d'algues. Ainsi, sur toute la partie orientale de ce secteur le couvert d'herbier établi par la couche herbier est bien plus réduit que celui initialement obtenu par classification. Ainsi tous les polygones 0-25% ont été supprimés, les deux polygones 25-75% et 75-100%, ont, eux été conservés sans modifications, comme le montre la Figure 27. Malgré ces rectifications, le score obtenu pour la validation des couches herbiers dans ce secteur reste limité à 75% (Tableau 16).

On voit notamment sur la carte des sols nus correspondant à de l'herbier pour des taux de recouvrement aussi forts que 25-75% et 75-100%. De même un faible taux de recouvrement sur la carte correspond en fait sur le terrain à un très fort taux de recouvrement. Ces trois erreurs ne sont pas liées à des défauts de classification, mais à des décalages spatiaux entre la mesure GPS de terrain et la localisation des herbiers sur l'image. Comme il s'agit de très petits herbiers, même de faibles erreurs de positionnement, soit du GPS soit de l'image conduisent à la production d'une erreur lors de la validation. L'écart entre les stations de terrain et l'herbier 75-100% est montré sur la Figure 28. Cette erreur a été conservée, elle fait partie des erreurs dont il faut tenir compte pour ce genre

d'exercice cartographique, erreur liée à la méthode de validation et non à l'approche cartographique en l'occurrence.

Résultats de la classification

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



Couches herbiers

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

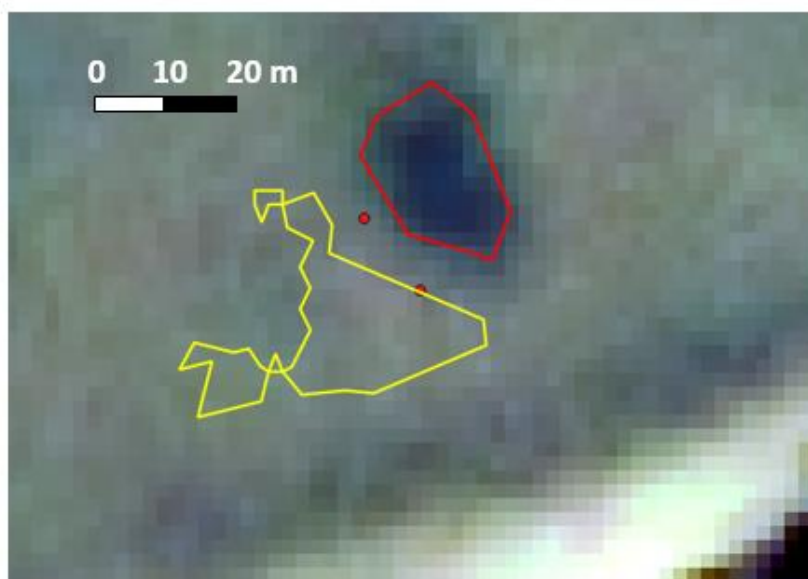
Figure 27. Suppression des polygones 0-25% sur le secteur de Ronce pour rectifier un défaut de classification : la confusion fréquente entre algues et zostères

Tableau 16. Précision de la couche herbier dans le secteur de Ronce

		Observations				Total	Précision carte
		0	0-25	25-75	75-100		
Carte	0	27	2	1	1	31	87%
	0-25	-	3	-	1	4	75%
	25-75	-	4	7	-	11	64%
	75-100		1	3	1	5	20%
	Total	27	10	11	3	51	
	Précision classification	100%	30%	64%	33%		75%

Couches herbiers

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



Stations herbiers

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

Figure 28. Comparaison entre deux stations acquises sur le terrain sur un herbier de recouvrement 75-100% et la couche herbier produite à partir du traitement d'image

❖ Saint-Trojan

Dans le secteur de Saint-Trojan, la présence d'algues sur l'estran ainsi que la sous-estimation d'une partie du recouvrement étaient les principales erreurs décelées, elles ont pu être en parties rectifiées en suivant les mêmes approches que pour le secteur de Ronce. Les modifications apportées à la couche herbier ont permis de passer d'une précision globale de 57 à 78%.

Tableau 17. Précision de la couche herbier dans le secteur de Saint-Trojan

		Observations				Total	Précision carte
		0	0-25	25-75	75-100		
Carte	0	23	-	2	1	26	88%
	0-25	-	9	5	1	15	60%
	25-75	-	3	11	3	17	65%
	75-100	-	-	-	9	9	100%
	Total	23	12	18	14	67	
Précision classification		100%	75%	61%	64%		78%

❖ Sud-Boyardville

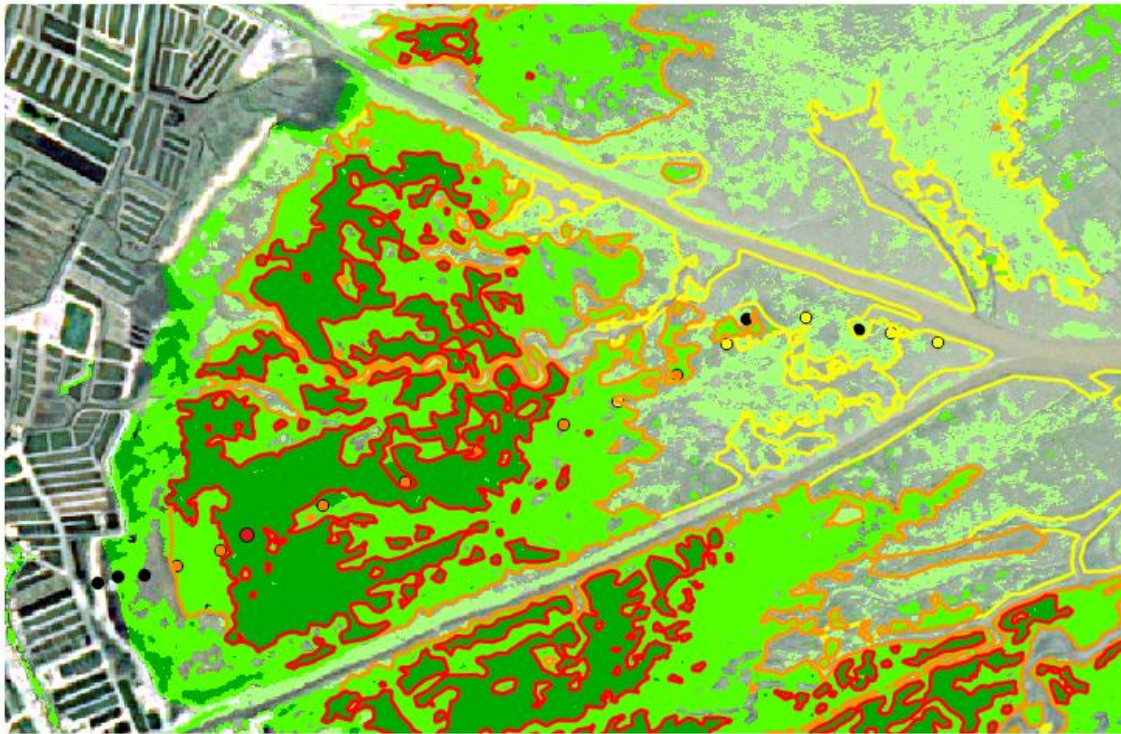
Le secteur de Boyardville était dès le départ le mieux classé de la baie, bénéficiant d'une bonne détection pour l'ensemble des classes. Dans ce secteur toutefois, l'herbier à très faible taux de recouvrement n'était pas très bien détecté, des polygones ont pu être générés grâce aux données de terrain (Figure 29), mais dans certains cas, les contours apparaissant peu fiables, les polygones générés ont été notés « douteux » dans la table attributaire (Figure 30).

Résultats de la classification

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

Couches herbiers

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



Stations herbiers

● Sol nu ● 0-25% ● 25-75% ● 75-100%

Figure 29. Génération des polygones herbier à 0-25% (en jaune) en s'appuyant sur les résultats de la classification et les observations de terrain

Résultats de la classification

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

Couches herbiers

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

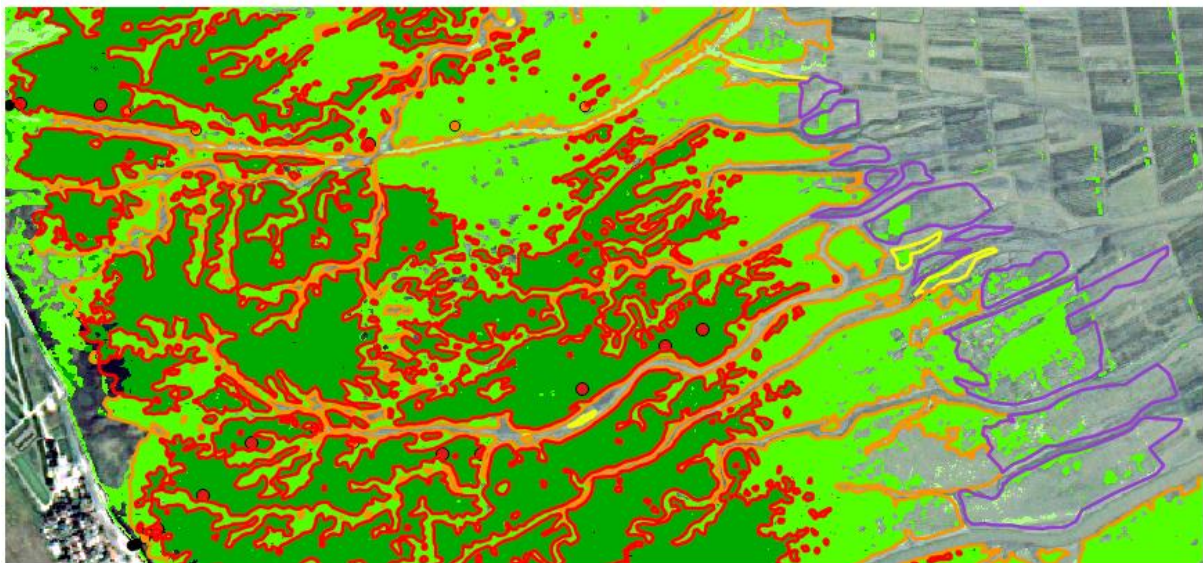


Figure 30. Génération des polygones herbier « douteux » de recouvrement approximatif 0-25% (en mauve)

Les modifications appliquées dans ce secteur permettent d'améliorer la qualité de la couche herbier dont la précision globale dans ce secteur atteint maintenant le score de 95 pour 106 stations de validation (Tableau 18).

Tableau 18. Précision de la couche herbier dans le secteur de Sud Boyardville

		Observations					
		0	0-25	25-75	75-100	Total	Précision carte
Carte	0	27	-	-	-	27	100%
	0-25	-	22	-	-	22	100%
	25-75	-	2	30	2	34	88%
	75-100	-	1	-	22	23	96%
	Total	27	25	30	24	106	
	Précision classification	100%	88%	100%	92%		95%

❖ Validation globale

Au total, 104 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 importante proportion en termes de surface. En effet, les polygones visités sur le terrain représentent près de 47 % de la surface totale de la couche herbier. Cette valeur approchant les 50% de la couche livrée renforce considérablement 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 251 observations est de 86,1% (Tableau 19), score comparable à celui (85,7%) obtenue pour la cartographie des herbiers d'Arcachon en 2012 (Lafon et al., 2012).

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 80%). La carte montre également une très bonne précision en général, la classe 25-75% étant la moins bien représentée, pour un score toutefois proche de 80%, le couvert étant tantôt surestimé, tantôt sous-estimé. Nous retrouvons exactement le même défaut sur les estrans de l'île de Ré en 2014. Plus généralement, sous-estimation et surestimation apparaissent pour l'ensemble des classes de recouvrement, démontrant que des confusions existent, mais qu'aucune tendance lourde à la surestimation ou la sous-estimation, qui transparaissent après l'étape de classification, ne persiste dans la couche herbier finale.

La carte de l'herbier de Marennes Oléron est présentée sur la Figure 31.

Tableau 19. Précision de la couche herbier sur l'ensemble de la baie de Marennes Oléron

		Observations					
		0	0-25	25-75	75-100	Total	Précision carte
Carte	0	81	2	3	2	88	92%
	0-25	-	45	7	2	54	83%
	25-75	-	9	52	5	66	79%
	75-100	-	2	3	38	43	88%
	Total	81	58	65	47	251	
	Précision classification	100%	78%	80%	81%		86,1%

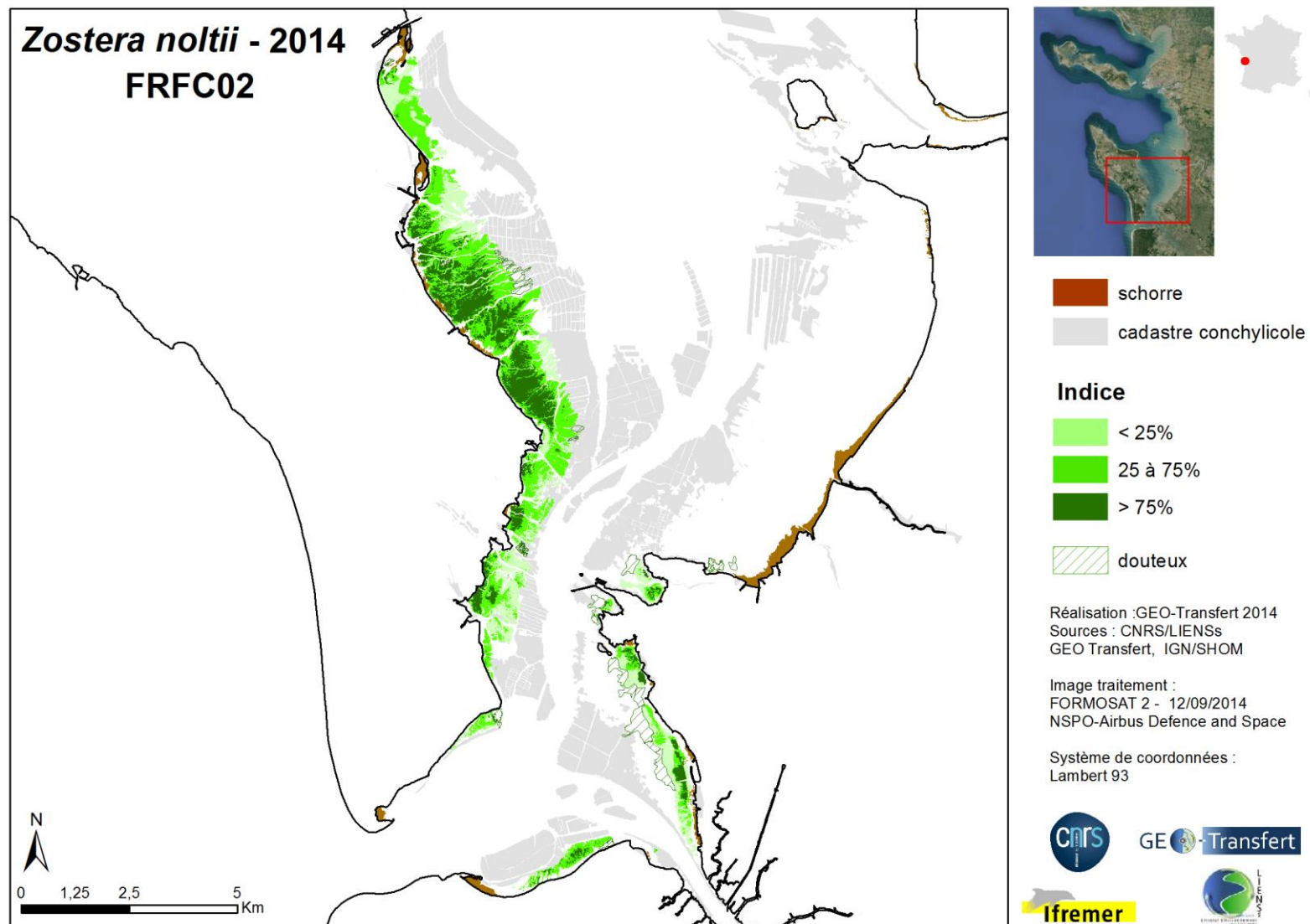


Figure 31. Cartographie de l'herbier de la masse d'eau FRFC02

5.2.3 Détails des polygones classés « douteux »

La surface totale d'herbier déclaré « douteux » dans la table attributaire est de 145 ha, répartis en 47 polygones entièrement redessinés à dire d'expert. Cette surface représente près de 9% de la superficie totale de la couche herbier, valeur relativement 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. C'est dans les secteurs Bourcefranc, Marennes et sud Boyardville que les polygones créés sont les plus nombreux et les plus vastes, comme on peut le voir sur les Figure 32 et Figure 33.

Dans le cas de sud Boyardville (cf. Figure 32), ces polygones ont été générés en bas d'estran, entre le bord de l'herbier connu et les parcs à huîtres (cf. Figure 30). Cette zone montre à la fois une réponse radiométrique d'herbier qui ne peut être négligée, très comparable à celles de tâches proches placées dans la même situation géographique.

Plus au sud, au nord de la commune de Bourcefranc-le-Chapus (cf. Figure 33), deux polygones ont été générés sans point d'appui, en tenant compte à la fois de l'image, de la radiométrie des pixels et du résultat de la classification (Figure 34).

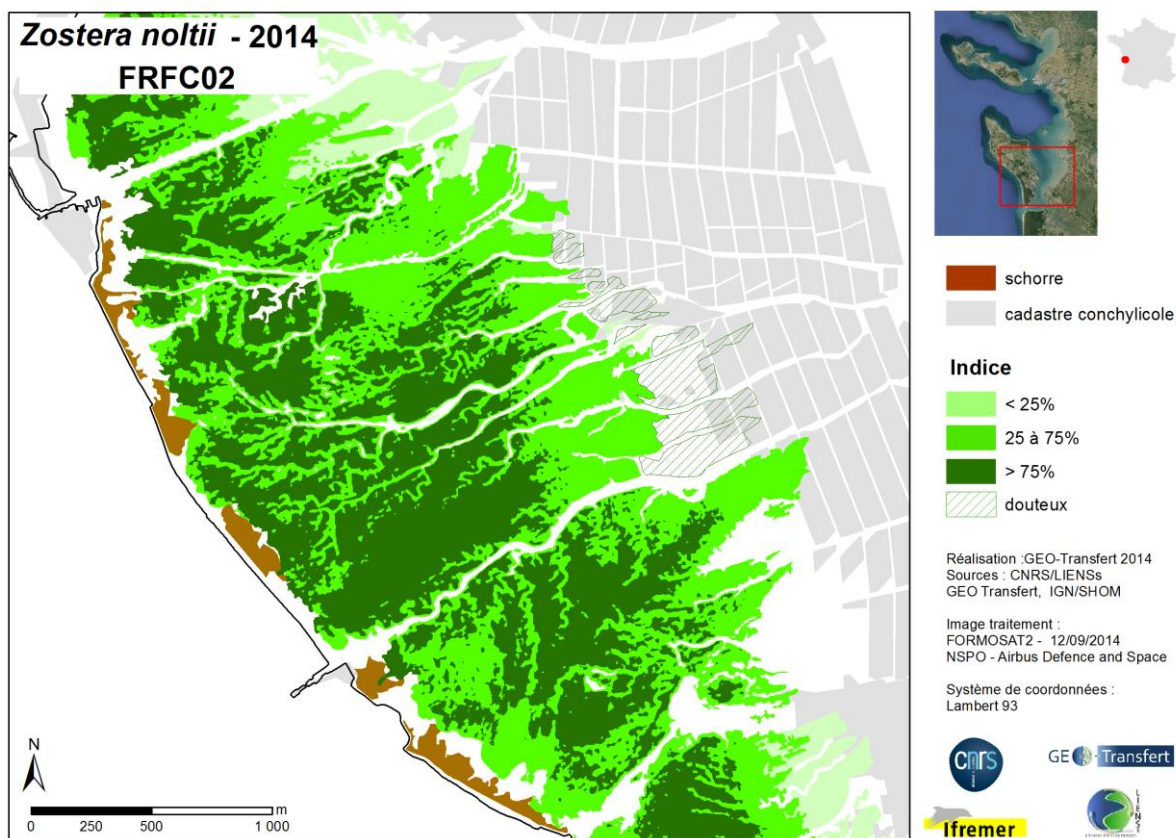


Figure 32. Mise en évidence des polygones classés comme « douteux » - secteur nord

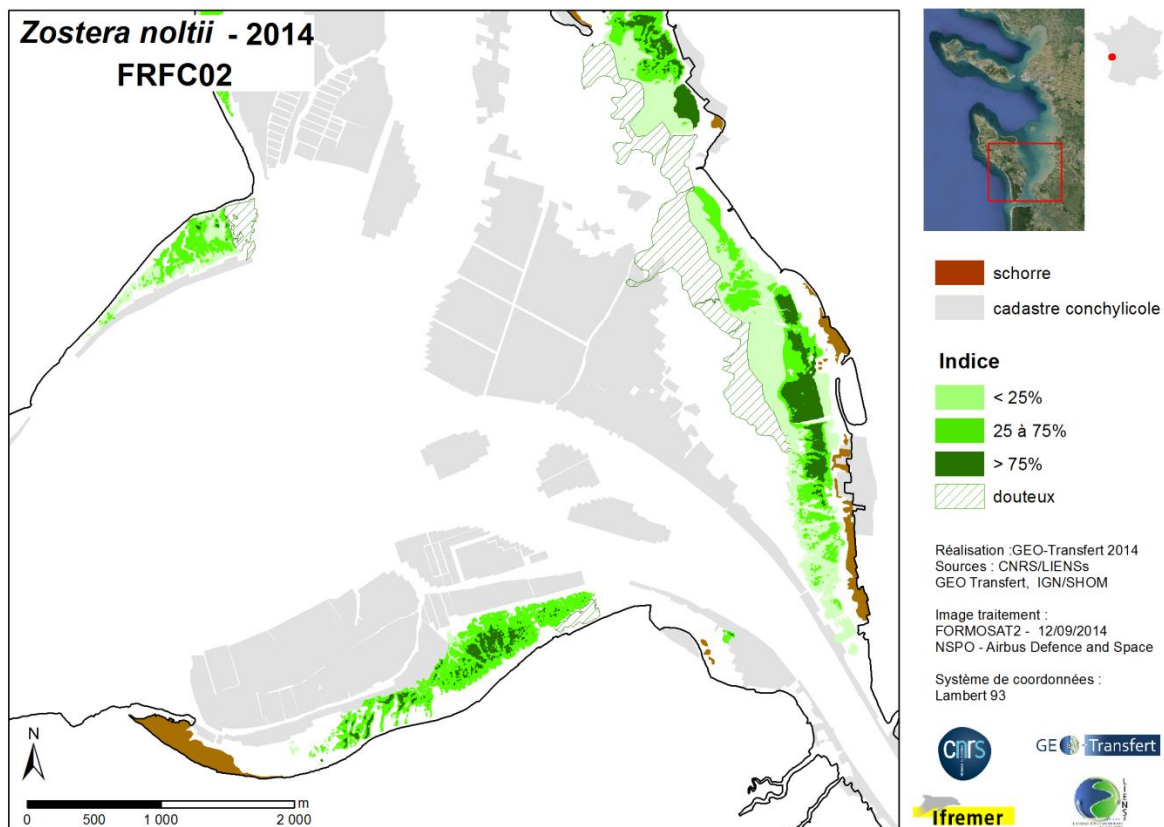


Figure 33. Mise en évidence des polygones classés comme « douteux » - secteurs sud

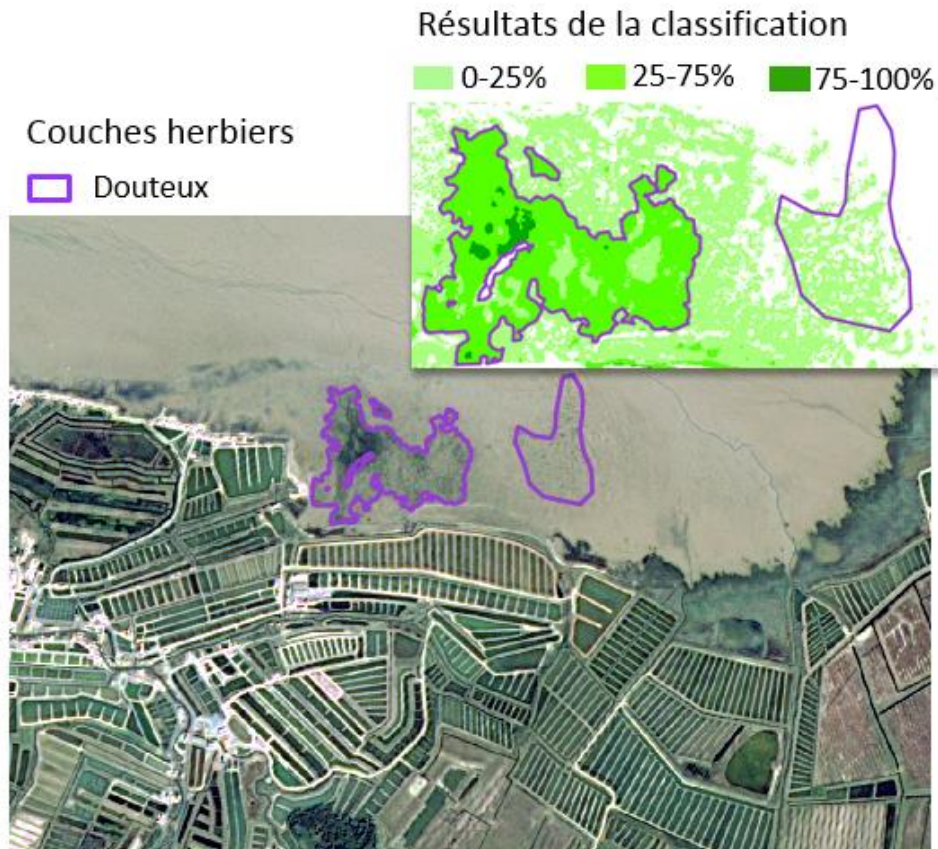


Figure 34. Génération de polygones herbiers « douteux » au nord de Bourcefranc-le-Chapus

5.2.4 Carte de qualité

Nous proposons une carte de qualité (Figure 35) divisée en trois indicateurs :

- Qualité très élevée (en vert sur la Figure 35) : il s'agit des polygones qui ont été validés grâce aux données de terrain (47% de la surface totale) ;
- Qualité élevée (en orange sur la Figure 35) : 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 44% de la surface totale de l'herbier ;
- Qualité médiocre (en rouge sur la Figure 35) : il s'agit des polygones entièrement générés à dire d'expert et déclarés « douteux ». Ils représentent 9% de la surface totale de la couche herbier.

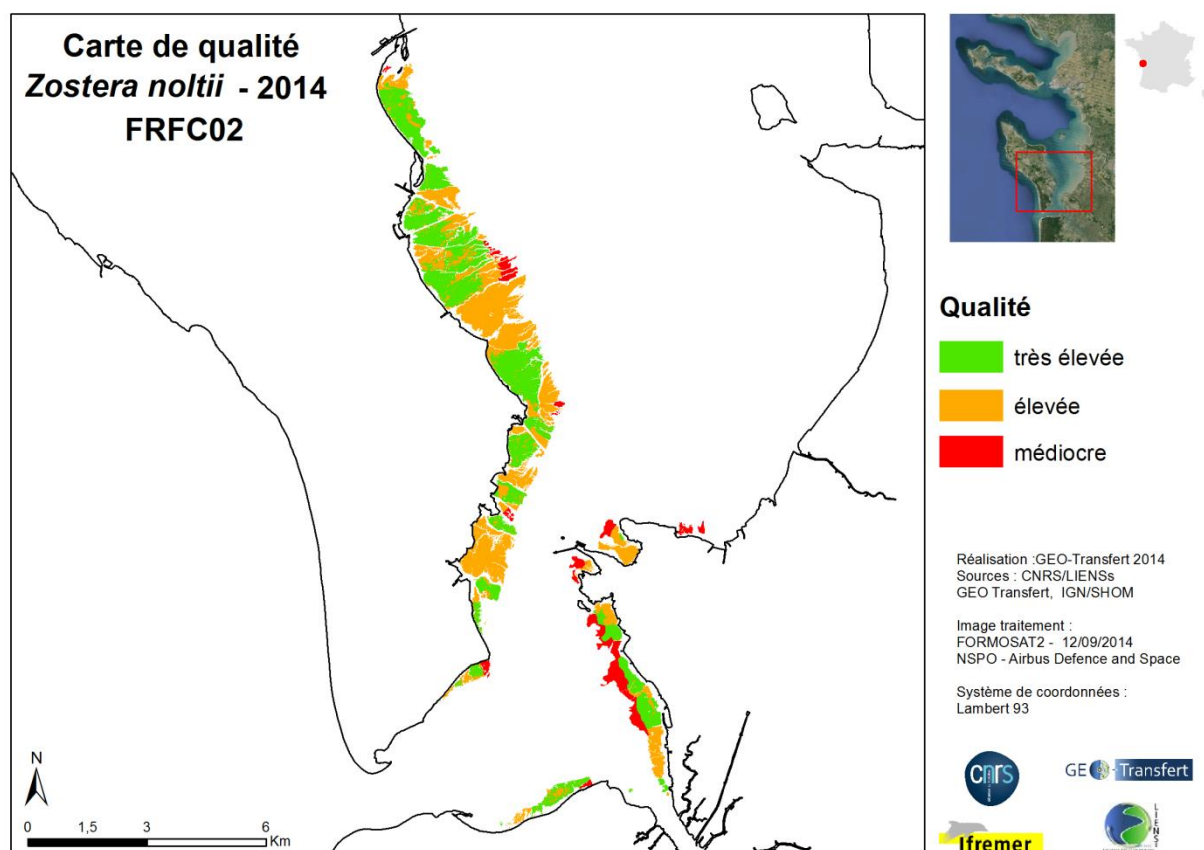


Figure 35. Carte de qualité de la couche herbier de la baie de Marennes Oléron de 2014

6 Evolution 2006 - 2014

Entre 2006 et 2014, nous constatons une augmentation globale de la superficie de l'herbier de la masse d'eau FRFC02, de l'ordre de 22% de la superficie mesurée en 2006 (Tableau 20).

Cette augmentation est partiellement expliquée par la récupération en bas d'estran d'herbiers jusqu'alors masqué par le cadastre ostréicole. Toutefois, ce n'est pas le seul facteur d'évolution. On constate également que cette dernière est variable en fonction du taux de recouvrement (cf. Tableau 20) et du secteur géographique, avec, par endroits, des pertes entre 2006 et 2014 et à d'autres endroits, au contraire, des gains, comme le montre la Figure 36.

Ainsi, nous remarquons une augmentation très importante des herbiers de recouvrement faible à moyen et une diminution de la superficie de l'herbier de très fort taux de recouvrement.

En ce qui concerne les herbiers à très faible taux de recouvrement, ce constat d'augmentation surfacique considérable doit être pondéré par deux éléments :

- La fiabilité de la couche herbier qui est imparfaite, de l'ordre de 83% toutefois pour le recouvrement 0-25% ;
- En 2014, des polygones ont été générés, qui ne sont pas ou peu étayés par des données de terrain et dont la fiabilité est très faibles (polygones « douteux »). La superficie de ces derniers représente 42% de l'augmentation totale de la surface de l'herbier à très faible taux de recouvrement.

Mais malgré ces éléments, l'augmentation de la surface de l'herbier de recouvrement compris entre 0 et 25% reste significative.

L'augmentation de la superficie de l'herbier dont le taux de recouvrement est intermédiaire est également significative bien que ce soit cette couche qui soit la moins fiable, d'après l'analyse de validation (cf. Tableau 19).

Tableau 20. Evolution surfacique pour les différentes classes de recouvrement entre 2006 et 2014 (ha)

	2006 (surface ha)	2014 (surface ha)	Bilan (surface ha)	Bilan (%)
0-25%	13,32	252,27	+ 238,95	+ 1794 %
25-75%	242,84	389,66	+ 146,82	+ 60 %
75-100%	1 114,26	1 029,85	- 84,41	- 8 %
Enveloppe globale	1 370,42	1 671,78	+ 301,31	+ 22 %

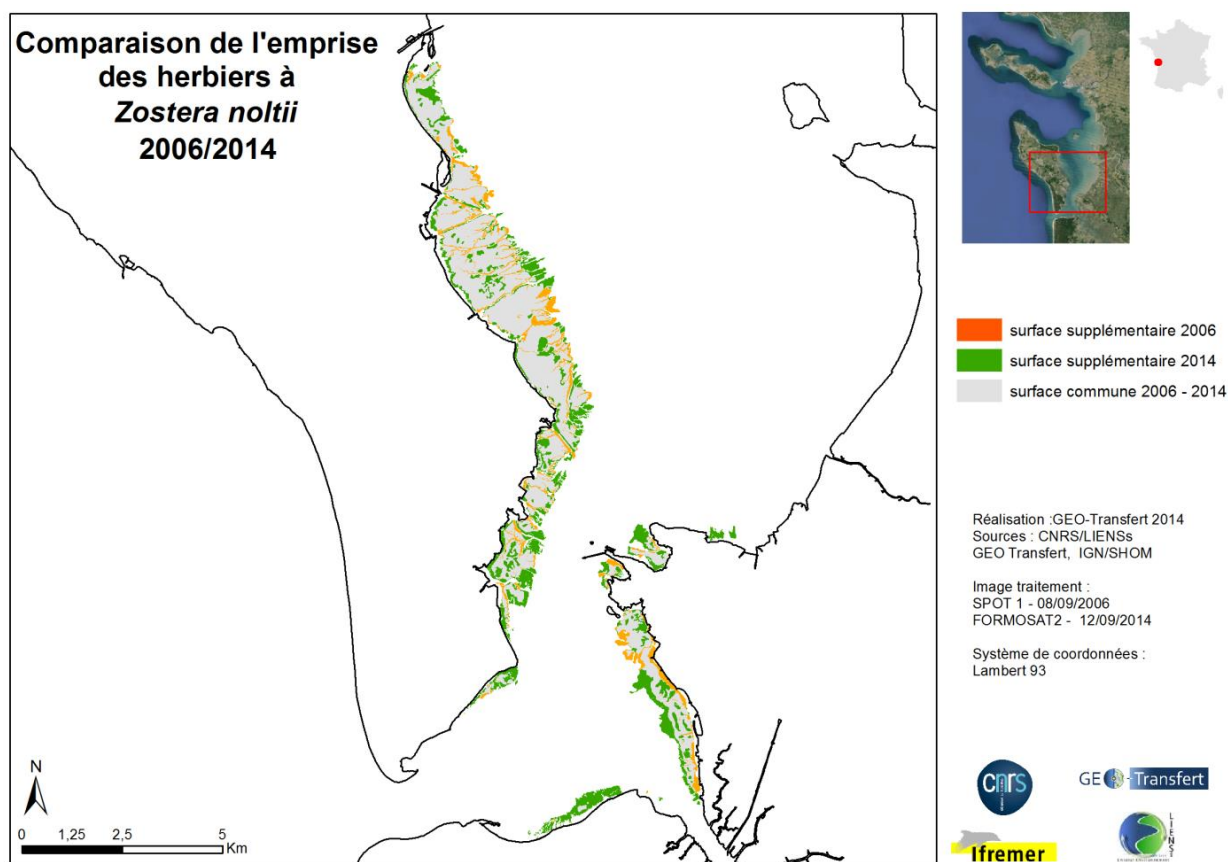


Figure 36. Principaux sites présentant des changements significatifs entre 2006 et 2014

Enfin, la diminution de l'herbier à très fort taux de recouvrement, relativement faible, peut entrer dans la marge d'erreur de la couche herbier, d'autant que nous avons montré que ce taux de recouvrement était sans doute un peu sous-estimé (cf. Tableau 19).

En conclusion, malgré les imprécisions évaluées pour la couche de 2014, l'augmentation de l'enveloppe globale reste significative. En dehors des zones de bas d'estran, le secteur de Ronce apparaissant comme l'un des plus significativement bénéficié de cette augmentation.

7 Conclusions et éléments de discussion

La méthode de classification d'image (cf. Tableau 13) est, dans le cas de Marennes Oléron, très performante à l'exception de la détection des sols nus. Ceux-ci, couverts d'algues dans 60% des cas, comme le montre le Tableau 3, sont interprétés comme de l'herbier. Les trois classes d'herbier sont en revanche très correctement détectées, y compris la classe 0-25%, souvent pourtant mal appréhendée en classification d'images spatiales.

Afin d'améliorer la discrimination entre les sols nus et l'herbier à faible taux de recouvrement, nous avons dû, en fonction des secteurs, utiliser alternativement un seuil de -0,52 ou -0,53 pour discriminer les sédiments nus cohésifs de la végétation. Statistiquement, nous avons montré que les caractéristiques radiométriques des sols nus ne pouvaient être toujours très distinctement différenciées des très faibles taux de recouvrement, en tout cas à l'échelle de la baie. En travaillant par secteur des différences plus nettes apparaissent qui vont imposer l'un ou l'autre seuil comme le plus pertinent. Deux explications à cela : une colorimétrie ou une humidité des sédiments différentes et entraînant des caractéristiques radiométriques distinctes.

La présence d'algues reste 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.

Bien que la performance de la méthode de classification soit plutôt bonne, la carte présente des défauts concentrés sur les classes 0-25% et 25-75%. Dans les deux cas, (i) des couverts d'algues apparaissent sur la carte comme des herbiers et (ii) le couvert est dans certains cas sous-estimé, *i.e.* que la classe 0-25 incorpore des couverts typiques de la classe 25-75 (20% des cas) et la classe 25-75% des recouvrements de la classe 75-100% (14% des cas). Les sols nus et à forts taux de recouvrement sont en revanche réalistes, même s'ils sont sans doute légèrement surreprésentés dans le premier cas et sous-représentés dans le second.

Malgré ces défauts, la qualité des couches livrées est globalement bonne, d'autant que des polygones représentant 47% 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 9% 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 ont permis de comparer les couches d'herbiers produites en 2006 et 2014. Au cours de cette période, nous constatons une augmentation surfacique de l'enveloppe globale de l'herbier de la masse d'eau FRF C02 significative surtout pour les taux de recouvrement faibles à moyens. Cette augmentation est très visible en bas d'estran, notamment sur des zones qui étaient précédemment masquées par le cadastre ostréicole, mais également dans d'autres secteurs, comme le littoral de Ronce-les-Bains

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 le 13/08/2014 (à gauche), d'un contour le 12/08/2014 (à droite)	8
Figure 4. Photos de quadrats (13/08/2014). De gauche à droite : sable nu, <i>Zostera noltei</i> 0-25%, 25 – 75%, 75 – 100%, ulves.....	8
Figure 5. Bilan des stations relevées par GEO-Transfert en fonction du taux de recouvrement de l'herbier sur la rive est de l'île d'Oléron.....	9
Figure 6. Bilan des stations relevées par GEO-Transfert en fonction du taux de recouvrement de l'herbier à Ronce-les-Bains	10
Figure 7. Bilan des contours relevés par GEO-Transfert en fonction du taux de recouvrement de l'herbier sur la rive est de l'île d'Oléron.....	10
Figure 8. Répartition des observations en fonction du taux de recouvrement.....	11
Figure 9. Compilation des radiales réalisée lors de la campagne du mois d'août.....	12
Figure 10. Hauteur du plan d'eau au moment de l'acquisition Formosat au niveau du port de la Cotinière (source maree.info).....	13
Figure 11. Emprise de l'image Formosat-2 sur le site de l'île d'Oléron et détails de l'image	14
Figure 12. Extrait de l'image proche infrarouge Formosat-2	15
Figure 13. Distribution statistique des valeurs de NDVI des sols nus et sols présentant un très faible taux de recouvrement dans la baie de Marennes Oléron	17
Figure 14. Distribution statistique des valeurs de NDVI des couverts de zostère en fonction du taux de recouvrement	18
Figure 15. Fréquences cumulées des NDVI pour les recouvrements 27-75% et 75-100%	19
Figure 16. Arbre de décision mis en œuvre pour la cartographie de l'herbier à <i>Zostera noltei</i> de la baie de Marennes Oléron.	20
Figure 17. Découpage du secteur Oléron proposé pour la validation de la cartographie	20
Figure 18. Distribution des stations sur le secteur Bourcefranc	21
Figure 19. Distribution des stations sur le secteur Marennes	22
Figure 20. Distribution des stations sur le secteur Ronce.....	23
Figure 21. Distribution des stations sur le secteur Saint-Trojan.....	24
Figure 22. Distribution des stations sur le secteur Sud Boyardville	25
Figure 23. Distribution des stations sur l'ensemble de la baie de Marennes Oléron	26
Figure 24. Changement de l'indice de recouvrement d'un polygone 25-75 % mal caractérisé par traitement d'image et requalifié à dire d'expert à l'aide des observations de terrain	28
Figure 25. Définition d'une polygone 0-25% par regroupement de tâches d'herbier spatialement concentrées .	29
Figure 26. Changement de l'indice de recouvrement d'un polygone 0-25 % mal caractérisé par traitement d'image et requalifié à dire d'expert à l'aide des observations de terrain.....	30
Figure 27. Suppression des polygones 0-25% sur le secteur de Ronce pour rectifier un défaut de classification : la confusion fréquente entre algues et zostères	31
Figure 28. Comparaison entre deux stations acquises sur le terrain sur un herbier de recouvrement 75-100% et la couche herbier produite à partir du traitement d'image	32
Figure 29. Génération des polygones herbier à 0-25% (en jaune) en s'appuyant sur les résultats de la classification et les observations de terrain	33
Figure 30. Génération des polygones herbier « douteux » de recouvrement approximatif 0-25% (en mauve)....	33
Figure 31. Cartographie de l'herbier de la masse d'eau FRFC02.....	35
Figure 32. Mise en évidence des polygones classés comme « douteux » - secteur nord.....	36
Figure 33. Mise en évidence des polygones classés comme « douteux » - secteurs sud.....	37
Figure 34. Génération de polygones herbiers « douteux » au nord de Bourcefranc-le-Chapus.....	37
Figure 35. Carte de qualité de la couche herbier de la baie de Marennes Oléron de 2014.....	38
Figure 36. Principaux sites présentant des changements significatifs entre 2006 et 2014.....	39

Tableau 1. Bilan des stations relevées par GEO-Transfert en fonction du taux de recouvrement	7
Tableau 2. Bilan des contours relevés en fonction du taux de recouvrement	8
Tableau 3. Bilan des stations relevées par GEO-Transfert et LIENSs en fonction du taux de recouvrement.....	11
Tableau 4. Bilan des contours relevés par GEO-Transfert et LIENSs en fonction du taux de recouvrement	11
Tableau 5. Statistique de l'indice de végétation des sols nus et couverts de zostères 0-25%	17
Tableau 6. Statistique de l'indice de végétation des couverts de zostère en fonction du taux de recouvrement .	18
Tableau 7. Représentation des seuils de NDVI pour une limite d'herbier comprise entre les recouvrement 0-25% (vert clair) et 25-75% (vert foncé), en bleu figure une limite levée sur le terrain	19
Tableau 8. Précision de la classification dans le secteur de Bourcefranc	21
Tableau 9. Précision de la classification dans le secteur de Marennes	22
Tableau 10. Précision de la classification dans le secteur de Ronce.....	23
Tableau 11. Précision de la classification dans le secteur de Saint-Trojan.....	24
Tableau 12. Précision de la classification dans le secteur de Sud Boyardville.....	25
Tableau 13. Précision de la classification sur l'ensemble de la baie de Marennes Oléron.....	26
Tableau 14. Précision de la couche herbier dans le secteur de Bourcefranc	28
Tableau 15. Précision de la couche herbier dans le secteur de Marennes	29
Tableau 16. Précision de la couche herbier dans le secteur de Ronce.....	31
Tableau 17. Précision de la couche herbier dans le secteur de Saint-Trojan.....	32
Tableau 18. Précision de la couche herbier dans le secteur de Sud Boyardville	34
Tableau 19. Précision de la couche herbier sur l'ensemble de la baie de Marennes Oléron	34
Tableau 20. Evolution surfacique pour les différentes classes de recouvrement entre 2006 et 2014 (ha)	39

9 Liste des références

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.

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 l'île de Ré par télédétection spatiale, Rapport d'étude GEO-Transfert pour le compte de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne et de l'IFREMER 36 p.

Lafon, V., Harin, N., Sauriau, P.-G. (2009) Dynamique temporelle [1989-2006] des herbiers intertidaux à *Zostera noltei* de la masse d'eau Pertuis Charentais (FRFC02) dans le cadre de la DCE. Rapport d'Etude IFREMER/AEAG. GEO Transfert, UMR EPOC, Université Bordeaux 1, 34 p.

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.

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 Boîtier : 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, polygones en plus des waypoints à intégrer directement sous SIG	

Annexe 2

Détail de la table attributaire

surf_m2	Terrain	INDICE	Masse_eau	Satellite	Date_image	Traitement	Analyse	Terrain_op	Surf_ha
389,5729	NON	25 à 75%	FRFC02_PERTUIS_CHARENTAIS	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO-Transfert_2014	i-Sea_2014		0,03896
36,4123	NON	> 75%	FRFC02_PERTUIS_CHARENTAIS	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO-Transfert_2014	i-Sea_2014		0,00364
54370,4970	OUI	< 25%	FRFC02_PERTUIS_CHARENTAIS	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO-Transfert_2014	i-Sea_2014	CNRS/LIENSs_GEO-Transfert_2014	5,43705
49,4947	NON	25 à 75%	FRFC02_PERTUIS_CHARENTAIS	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO-Transfert_2014	i-Sea_2014		0,00495
5748,6748	NON	< 25%	FRFC02_PERTUIS_CHARENTAIS	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO-Transfert_2014	i-Sea_2014		0,57487
68,4571	NON	< 25%	FRFC02_PERTUIS_CHARENTAIS	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO-Transfert_2014	i-Sea_2014		0,00685
1922,0020	OUI	25 à 75%	FRFC02_PERTUIS_CHARENTAIS	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO-Transfert_2014	i-Sea_2014	CNRS/LIENSs_GEO-Transfert_2014	0,19220
3695,8108	OUI	25 à 75%	FRFC02_PERTUIS_CHARENTAIS	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO-Transfert_2014	i-Sea_2014	CNRS/LIENSs_GEO-Transfert_2014	0,36958
244,5157	NON	25 à 75%	FRFC02_PERTUIS_CHARENTAIS	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO-Transfert_2014	i-Sea_2014		0,02445
77,2932	NON	> 75%	FRFC02_PERTUIS_CHARENTAIS	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO-Transfert_2014	i-Sea_2014		0,00773
342,8739	NON	> 75%	FRFC02_PERTUIS_CHARENTAIS	FORMOSAT_2	12/09/2014	GEO-Transfert_2014	i-Sea_2014		0,03429