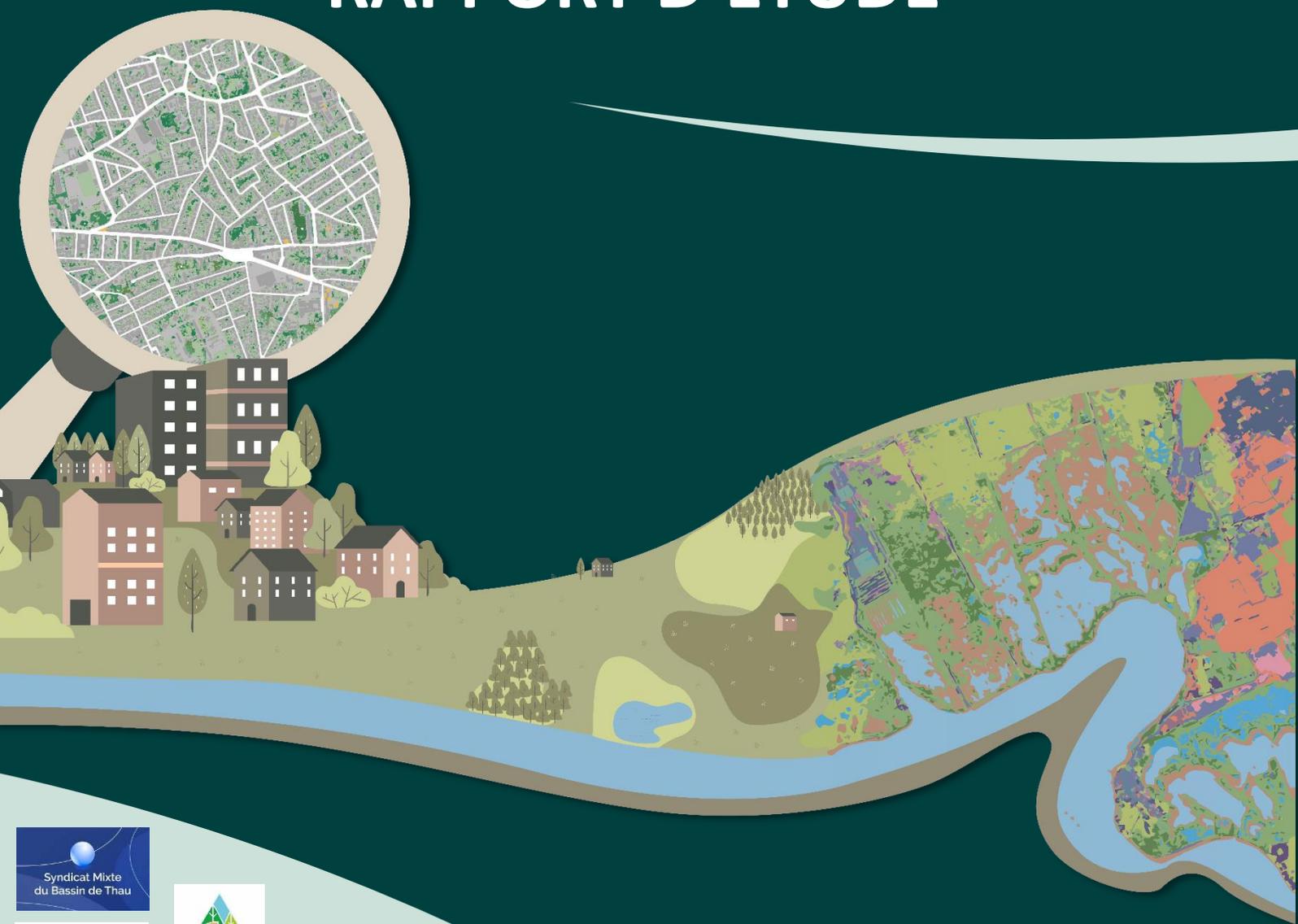


# Méthode d'évaluation de l'état de conservation des « Lagunes côtières » d'intérêt communautaire (UE 1150\*)

Etude cartographique mutualisée « Surface des herbiers » (indicateur n°3)

Marché n° 615854

## RAPPORT D'ETUDE



# FICHE DOCUMENTAIRE

<b>Date</b>	<b>11/01/2024</b>
<b>Maitre d'ouvrage</b>	Office Français de la Biodiversité 10 Cours Louis Lumière, 94000 Vincennes Site internet : <a href="https://www.ofb.gouv.fr/">https://www.ofb.gouv.fr/</a>
<b>Réalisation</b>	i-Sea 30 avenue de Canteranne 33600 Pessac Site internet : <a href="https://i-sea.fr/">https://i-sea.fr/</a>
<b>Rédacteurs</b>	Clémence Rozo : <a href="mailto:clemence.rozo@i-sea.fr">clemence.rozo@i-sea.fr</a> , Cécile Curti : <a href="mailto:cecile.curti@i-sea.fr">cecile.curti@i-sea.fr</a>
<b>Approbateur</b>	Aurélie Dehouck : <a href="mailto:aurelie.dehouck@i-sea.fr">aurelie.dehouck@i-sea.fr</a>
<b>Citation recommandée</b>	i-Sea, 2023. Méthode d'évaluation de l'état de conservation des « Lagunes côtières » d'intérêt communautaire (UE 1150*) - Etude cartographique mutualisée « Surface des herbiers » (indicateur n°3), Rapport d'étude, Office Français de la Biodiversité, Pôle-relais lagunes méditerranéennes, 72p.

**Co-financé par l'Office Français de la Biodiversité et par le programme Life de l'Union Européenne.  
Le contenu de ce rapport n'engage que son auteur et la Commission européenne ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'il contient.**

# Sommaire

1	Contexte, enjeux et objectifs.....	6
2	Méthodes et données .....	16
2.1	Cartographie par classification d'images.....	16
2.1.1	Prospections terrain .....	16
2.1.2	Cartographie par classification d'images.....	17
2.2	Données.....	19
2.2.1	Données images .....	19
2.2.2	Données terrain.....	29
2.3	Mise en œuvre pratique .....	43
2.3.1	Post-traitements automatiques .....	43
2.3.2	Post-traitements manuels.....	44
3	Résultats.....	44
3.1	Evaluation des classifications .....	44
3.2	Présentation des résultats cartographiques .....	53
4	Conclusions et perspectives .....	71
5	Remerciements .....	72
6	Bibliographie .....	72

## Liste des illustrations

Figure 1. Localisation des différents sites d'étude .....	7
Figure 2. Emprise de la zone d'étude de Salses-Leucate .....	8
Figure 3. Emprise de la zone d'étude de Vendres .....	9
Figure 4. Emprise de la zone d'étude de Bagnas.....	10
Figure 5. Emprise de la zone d'étude de Thau .....	11
Figure 6. Emprise de la zone d'étude des Palavasiens .....	12
Figure 7. Emprise de la zone d'étude de Canet.....	13
Figure 8. Emprise de la zone d'étude de la Camargue par masse d'eau .....	14
Figure 9. Emprise de la zone d'étude de Villepey .....	15
Figure 10. Sélection des zones à échantillonner sur le terrain .....	16
Figure 11. Schéma fonctionnel décrivant la méthode de traitement.....	18
Figure 12. Couverture satellitaire utilisée pour la cartographie de la lagune de Salses-Leucate .....	23
Figure 13. Couverture satellitaire utilisée pour la cartographie de la lagune de Vendres .....	24
Figure 14. Couverture satellitaire utilisée pour la cartographie de la lagune de Bagnas.....	24
Figure 15. Couverture satellitaire utilisée pour la cartographie de la lagune de Thau .....	25
Figure 16. Couverture satellitaire utilisée pour la cartographie des lagunes de Palavasiens ...	25
Figure 17. Couverture satellitaire utilisée pour la cartographie de la lagune de Canet.....	26
Figure 18. Couverture satellitaire utilisée pour la cartographie des lagunes de la Camargue	27
Figure 19. Couverture satellitaire utilisée pour la cartographie de la lagune de Villepey .....	28
Figure 20. Carte de répartition des stations terrain sur le site de Salses Leucate .....	35
Figure 21. Carte de répartition des stations terrain sur le site de Vendres.....	36
Figure 22. Carte de répartition des stations terrain sur le site de Bagnas .....	37
Figure 23. Carte de répartition des stations terrain sur le site de Thau.....	38
Figure 24. Carte de répartition des stations terrain sur le site des Palavasiens .....	39
Figure 25. Carte de répartition des stations terrain sur le site de Canet .....	40
Figure 26. Carte de répartition des stations terrain sur le site de Camargue .....	41
Figure 27. Carte de répartition des stations terrain sur le site de Villepey .....	42
Figure 28. Guide de lecture d'une matrice de confusion .....	45
Figure 29. Matrice de confusion obtenue sur l'ensemble de test pour le site de Salses-Leucate. ....	46
Figure 30. Répartition des F-scores selon les UTs pour le site de Salses-Leucate .....	46
Figure 31. Matrice de confusion obtenue sur l'ensemble de test pour le site de Vendres. ....	47
Figure 32. Matrice de confusion obtenue sur l'ensemble de test pour le site de Bagnas. ....	48
Figure 33. Répartition des F-scores selon les UTs pour le site de Bagnas.....	48
Figure 34. Matrice de confusion obtenue sur l'ensemble de test pour le site de Thau. ....	49
Figure 35. Répartition des F-scores selon les UTs pour le site de Thau.....	50
Figure 36. Matrice de confusion obtenue sur l'ensemble de test pour le site des Palavasiens. ....	51
Figure 37. Matrice de confusion obtenue sur l'ensemble de test pour le site de Canet. ....	52
Figure 38. Matrice de confusion obtenue sur l'ensemble de test pour le site de Villepey.....	53
Figure 39. Cartographie des herbiers du site de Salses-Leucate par télédétection multi-temporelle Pléiades.....	54
Figure 40. Cartographie des herbiers du site de Vendres par télédétection multi-temporelle Pléiades.....	55

Figure 41. Cartographie des herbiers du site de Bagnas par télédétection multi-temporelle Pléiades.....	56
Figure 42. Cartographie des herbiers du site de Thau par télédétection multi-temporelle Pléiades.....	57
Figure 43. Cartographie des herbiers du site des Palavasiens par télédétection multi-temporelle Pléiades.....	58
Figure 44. Cartographie des herbiers du site de Canet par télédétection multi-temporelle Pléiades.....	59
Figure 45. Cartographie des herbiers du site de Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades (vue d'ensemble) .....	60
Figure 46. Cartographie des herbiers du site de Villepey par télédétection multi-temporelle Pléiades.....	61
Figure 47. Cartographie des herbiers de la masse d'eau de Beauduc en Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades .....	62
Figure 48. Cartographie des herbiers de la masse d'eau de Carteau en Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades .....	63
Figure 49. Cartographie des herbiers de la masse d'eau d'Icard en Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades .....	64
Figure 50. Cartographie des herbiers de la masse d'eau d'Impérial, Malagroy et Monro en Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades.....	65
Figure 51. Cartographie des herbiers de la masse d'eau de Laune en Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades .....	66
Figure 52. Cartographie des herbiers de la masse d'eau de Lion Dame en Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades .....	67
Figure 53. Cartographie des herbiers de la masse d'eau de Sablons en Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades .....	68
Figure 54. Cartographie des herbiers de la masse d'eau de Sainte Anne en Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades .....	69
Figure 55. Cartographie des herbiers de la masse d'eau de Vaccares en Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades .....	70

Tableau 1. Année de réalisation des cartographies, surface, structure gestionnaire et le(s) contact(s) .....	6
Tableau 2. Tableau des données terrain pour le travail de cartographie .....	17
Tableau 3. Ensemble des images Pléiades acquises pour chaque lagune et utilisation faite .	20
Tableau 4. Utilisation des images et des échantillons de la Camargue en fonction des masses d'eau .....	28
Tableau 5. Présence des unités typologiques (UTs) en fonction de chaque lagune et leur source .....	31
Tableau 6. Synthèse des données terrain relevées sur le site de Salses Leucate .....	32
Tableau 7. Synthèse des données terrain relevées sur le site de Vendres .....	33
Tableau 8. Synthèse des données terrain relevées sur le site de Bagnas.....	33
Tableau 9. Synthèse des données terrain relevées sur le site de Thau .....	33
Tableau 10. Synthèse des données terrain relevées sur le site des Palavasiens .....	33
Tableau 11. Synthèse des données terrain relevées sur le site de Canet.....	34
Tableau 12. Synthèse des données terrain relevées sur le site de Camargue .....	34

Tableau 13. Synthèse des données terrain relevées sur le site de Villepey .....	34
Tableau 14. Précision globale obtenue pour les modèles de chaque masse d'eau du site de la Camargue.....	52

# 1 CONTEXTE, ENJEUX ET OBJECTIFS

L'Office Français de la Biodiversité (OFB) pilote le projet Life Marha 2018-2025 (LIFE 16 IPE FR001), possédant une action centrée sur l'évaluation de l'état de conservation des habitats marins (action D1). Dans le cadre du projet et de cette action, le consortium Pôle-relais lagunes méditerranéennes, constitué de la Tour du Valat, du Conservatoire d'Espaces Naturels d'Occitanie et de l'Office de l'Environnement de la Corse, accompagne et coordonne les évaluations de l'état de conservation de l'habitat « Lagune côtière » sur l'ensemble de la façade méditerranéenne en régions Corse, Occitanie et Sud. Dans ce contexte, plusieurs structures animatrices des sites N2000 littoraux des régions Occitanie et PACA ont manifesté leur intérêt à réaliser une cartographie des herbiers de macrophytes des lagunes permanentes. Cette cartographie a pour but l'évaluation de la surface des herbiers, qui constitue l'indicateur n°3 de la méthode d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat d'intérêt communautaire « Lagune côtière méditerranéenne ».

L'OFB a fait appel à l'expertise d'i-Sea pour la production de la cartographie des herbiers de magnoliophytes sur 8 sites Natura 2000 : Canet, Salses Leucate, Vendres, Grand Bagnas, Thau, les Palavasiens, Camargue et Villepey. Pour traiter le besoin d'une cartographie actuelle et exhaustive des herbiers, des données d'imagerie satellitaire à très haute résolution spatiale, combinées à des observations terrain acquises par les structures gestionnaires des sites, ont été exploitées dans un processus de traitement automatique robuste, fiable et reproductible basé sur des méthodes de machine learning (procédé Biocoast). Cette étude tient compte de la densité (ou taux de recouvrement) des herbiers, de leur présence seuls ou en mélange avec d'autres espèces (algues vertes, rouges et/ou brunes). L'étude s'est déroulée sur 2 ans, avec des millésimes de réalisation cartographique différents selon les lagunes (Tableau 1).

Le présent rapport rend compte :

- Des méthodes de traitement et des données utilisées pour caractériser l'habitat d'intérêt sur les secteurs étudiés.
- Des résultats obtenus concernant la typologie retenue ainsi que la précision de la cartographie de l'habitat naturel étudié sur les différents sites.

Les zones d'intérêt concernées par l'étude (Figure 1) couvrent une surface totale de 27 528 ha, réparties sur les 8 sites (Figure 2 à Figure 9) dont les surfaces individuelles sont détaillées dans le Tableau 1. La réalisation de la cartographie des lagunes des Palavasiens de l'année 2022 ayant une qualité insuffisante, un travail complémentaire a été effectué en 2023.

Tableau 1. Année de réalisation des cartographies, surface par site.

Millésime	Site N2000	Surface (ha)
2022	Salses-Leucate	4 869,84
	Vendres	943,51
	Bagnas	188,63
	Thau	6 803,19
	Les Palavasiens – Vic et Pierre Blanche	1 643,09
2023	Canet	640,64
	Camargue	12 410,00
	Villepey	65,23

## BASSIN MEDITERRANEEN

### Emprise des 8 lagunes méditerranéennes de l'étude

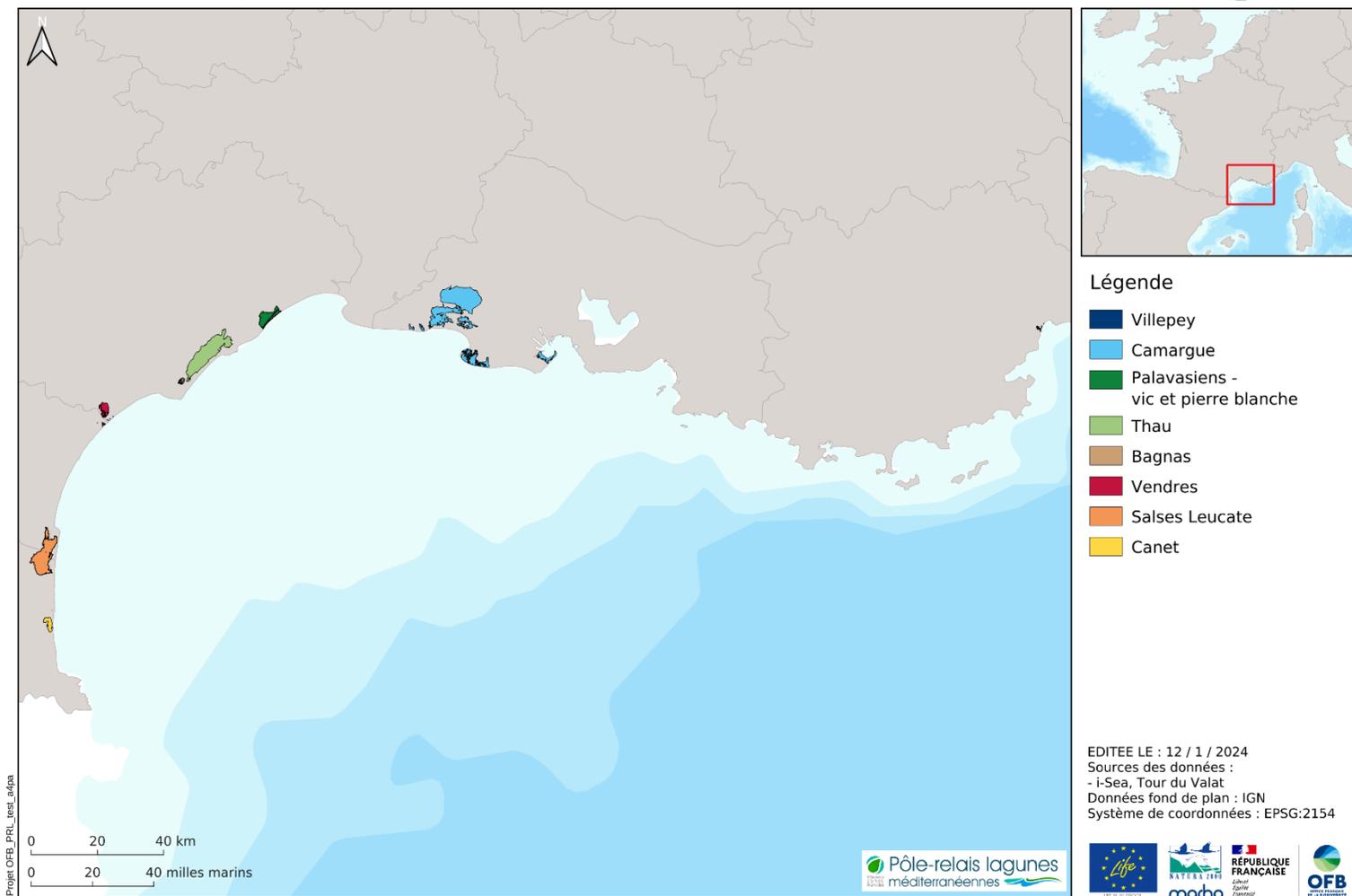


Figure 1. Localisation des différents sites d'étude

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE SALSSES LEUCATE

### Emprise du site d'étude



Figure 2. Emprise de la zone d'étude de Salses-Leucate

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE VENDRES

### Emprise du site d'étude



#### Légende

 Emprise du site d'étude

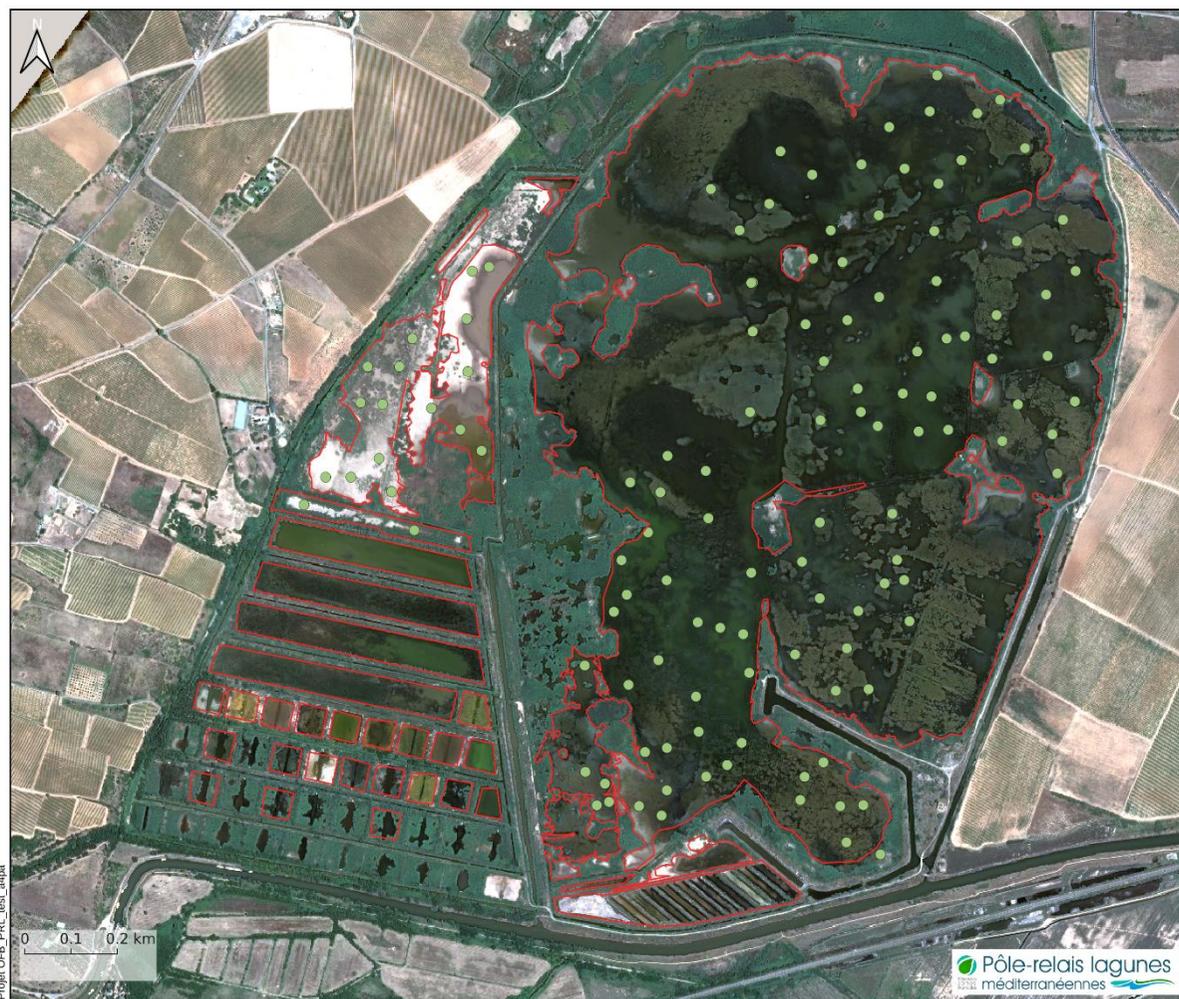
EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
 Sources des données :  
 - i-Sea, La Domitienne  
 - Images (traitement) : série temporelle Pléiades 2022  
 Fonds cartographiques : Pléiades  
 11/07/2022 ©CNES 2022, distribution AIRBUS DS  
 Données fond de plan : IGN  
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Figure 3. Emprise de la zone d'étude de Vendres

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE BAGNAS

### Localisation des relevés terrain



#### Légende

- Emprise du site d'étude
- station terrain

EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
 Sources des données :  
 - i-Sea, ADENA  
 - Images (traitement) : série temporelle  
 Pléiades 2022  
 Fonds cartographiques : Pléiades  
 12/07/2022 © CNES 2022, distribution  
 AIRBUS DS  
 Données fond de plan : IGN  
 Système de coordonnées : EPSG:2154

Projet OFB\_PRL\_Leat\_alpha



Figure 4. Emprise de la zone d'étude de Bagnas

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE THAU

### Emprise du site d'étude



#### Légende

 Emprise du site d'étude

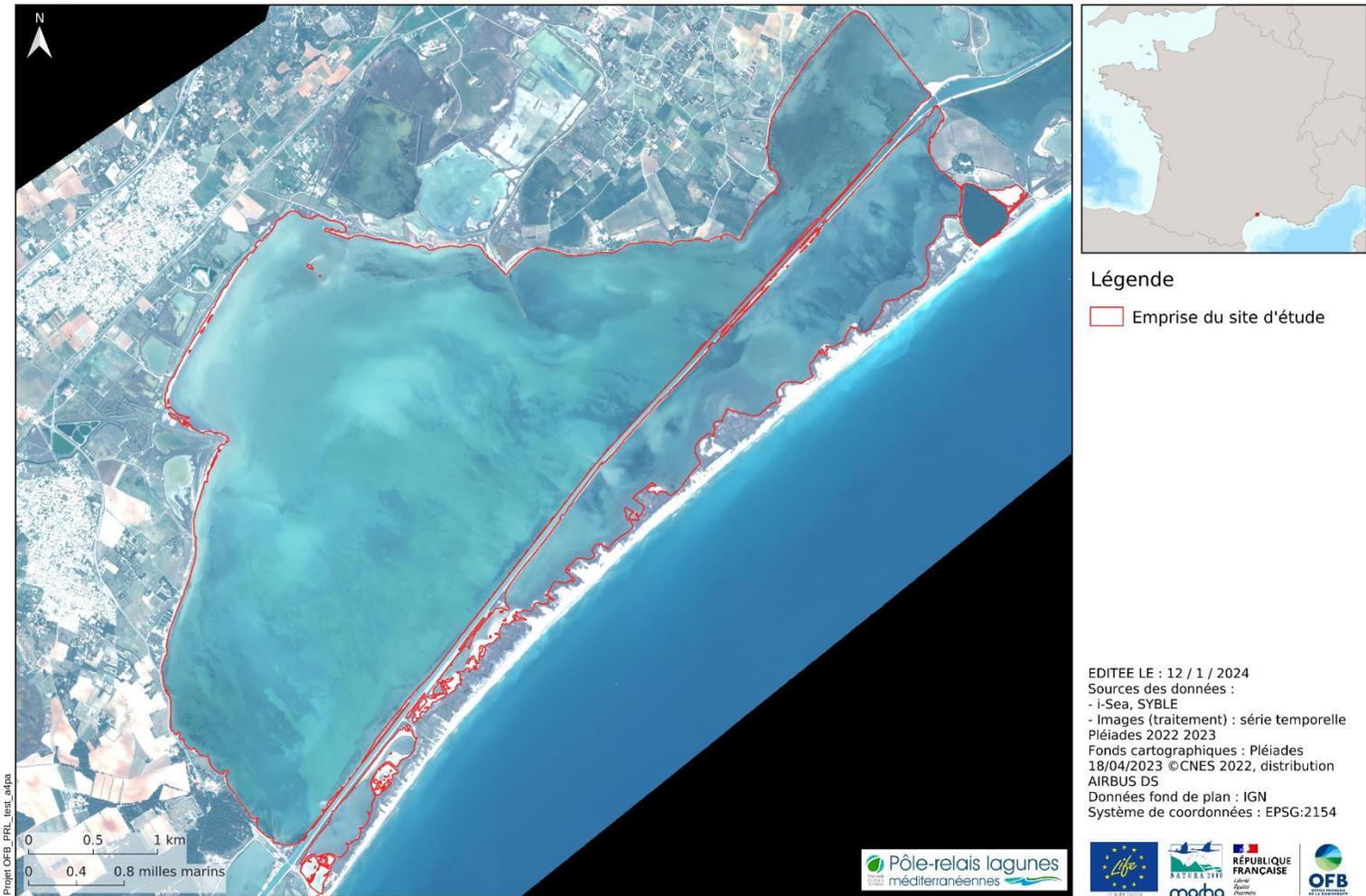
EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
 Sources des données :  
 - i-Sea, SMBT  
 - Images (traitement) : série temporelle Pléiades 2022  
 Fonds cartographiques : Pléiades 11/07/2022 ©CNES 2022, distribution AIRBUS DS  
 Données fond de plan : IGN  
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Figure 5. Emprise de la zone d'étude de Thau

## COMPLEXE LAGUNAIRE DES PALAVASIENS

### Emprise du site d'étude



Légende  
 Emprise du site d'étude

EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
 Sources des données :  
 - i-Sea, SYBLE  
 - Images (traitement) : série temporelle Pléiades 2022 2023  
 Fonds cartographiques : Pléiades 18/04/2023 ©CNES 2022, distribution AIRBUS DS  
 Données fond de plan : IGN  
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Figure 6. Emprise de la zone d'étude des Palavasiens

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE CANET

### Emprise du site d'étude



#### Légende

 Emprise du site d'étude

EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
 Sources des données :  
 - i-Sea, SMBVR  
 - Images (traitement) : série temporelle  
 Pléiades 2022 2023  
 Fonds cartographiques : Pléiades  
 17/02/2023 ©CNES 2022, distribution  
 AIRBUS DS  
 Données fond de plan : IGN  
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Figure 7. Emprise de la zone d'étude de Canet

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE CAMARGUE

### Emprise des masses d'eau du site d'étude

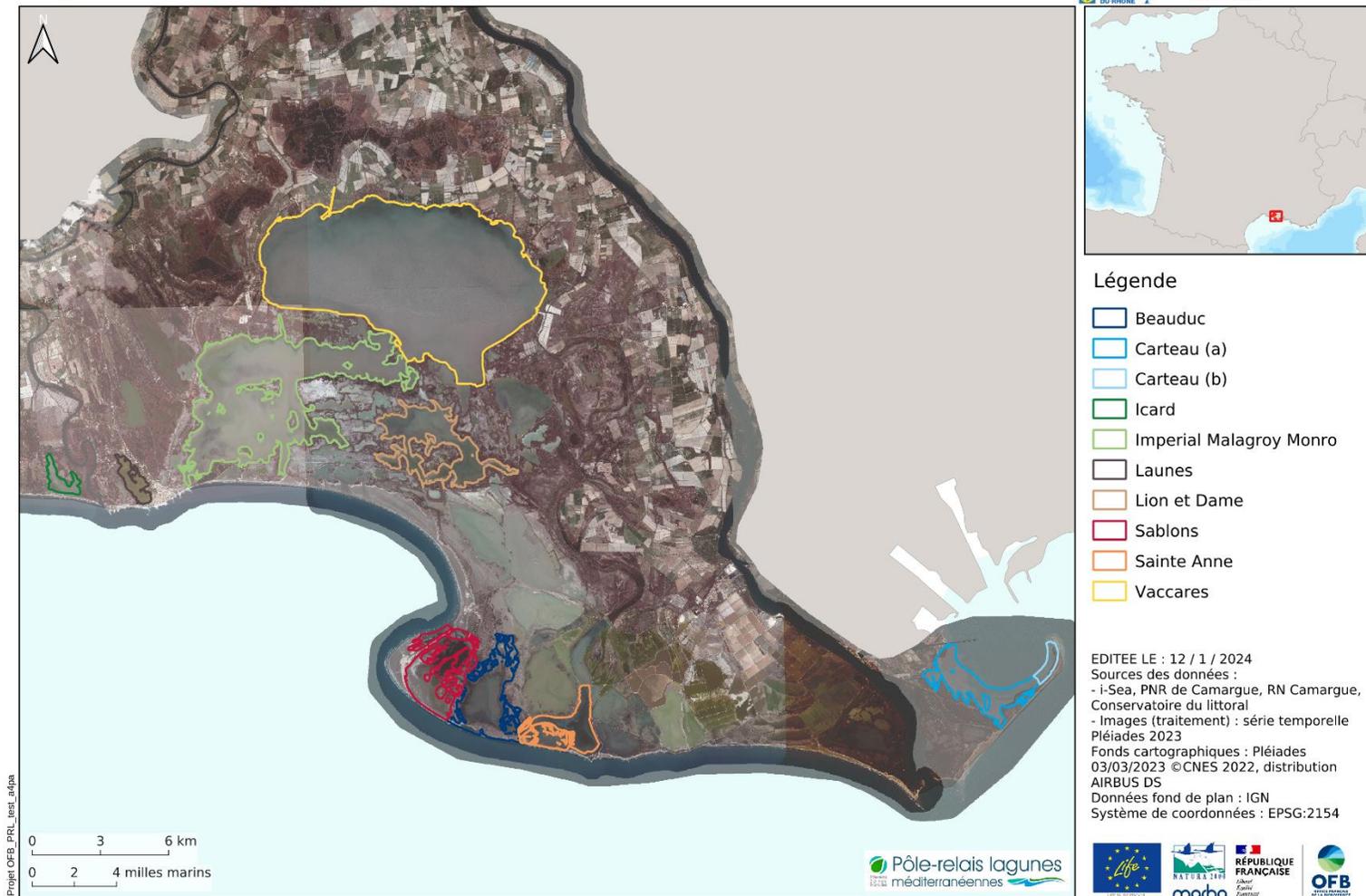
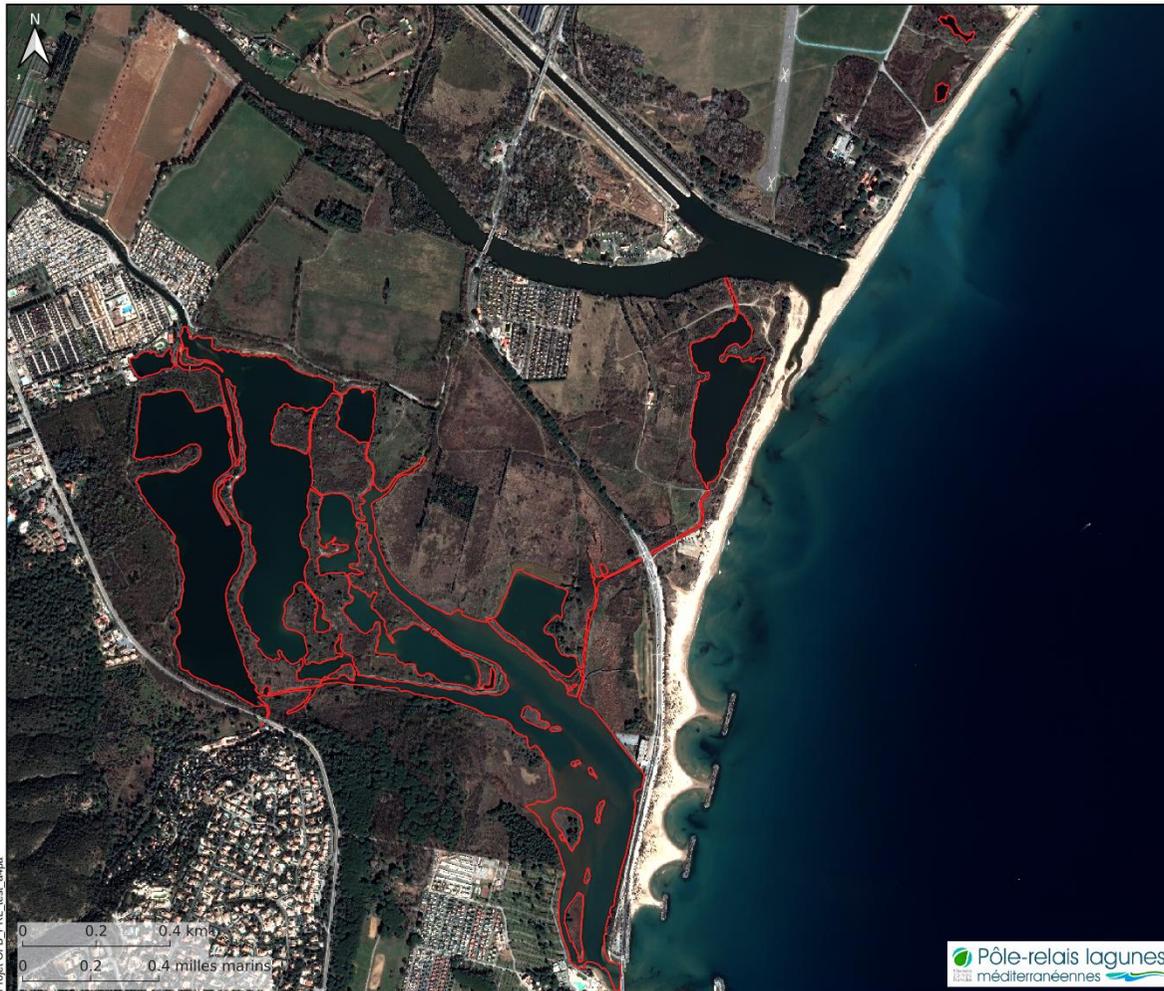


Figure 8. Emprise de la zone d'étude de la Camargue par masse d'eau

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE VILLEPEY Emprise du site d'étude



### Légende

 Emprise du site d'étude

EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
Sources des données :  
- i-Sea, Estérel côte d'azur agglomération  
- Images (traitement) : série temporelle  
Pléiades 2023  
Fonds cartographiques : Pléiades  
03/03/2023 ©CNES 2022, distribution  
AIRBUS DS  
Données fond de plan : IGN  
Système de coordonnées : EPSG:2154

Figure 9. Emprise de la zone d'étude de Villepey

## 2 METHODES ET DONNEES

La production de cartographies des végétations et des habitats naturels par le procédé Biocoast développé par la société i-Sea s'articule autour de l'usage de deux sources de données principales : des images satellites et des données de terrain. Ces deux sources de données sont injectées dans une chaîne de traitement automatisée, basée sur l'usage d'algorithmes de machine learning, permettant de produire des cartographies prédictives. La section suivante présente dans le détail la méthodologie ainsi que les données utilisées durant cette étude.

### 2.1 Cartographie par classification d'images

#### 2.1.1 Prospections terrain

L'objectif de cette collecte de données *in situ* est de relever un maximum d'observations géolocalisées, au sein des différents habitats présents sur les sites d'étude.

La Figure 10 représente un relevé de terrain respectant les conditions idéales pour le processus de cartographie Biocoast. Le centre du relevé doit être positionné à une distance de 5 fois la résolution spatiale des images utilisées, au centre d'une zone homogène. Cela garantit d'éviter des effets de bord d'une part, et d'avoir une surface échantillonnée suffisamment grande pour contenir plusieurs pixels. Cet ensemble de pixels permettra de caractériser la variabilité spatiale de la classe typologique échantillonnée dans cette surface.

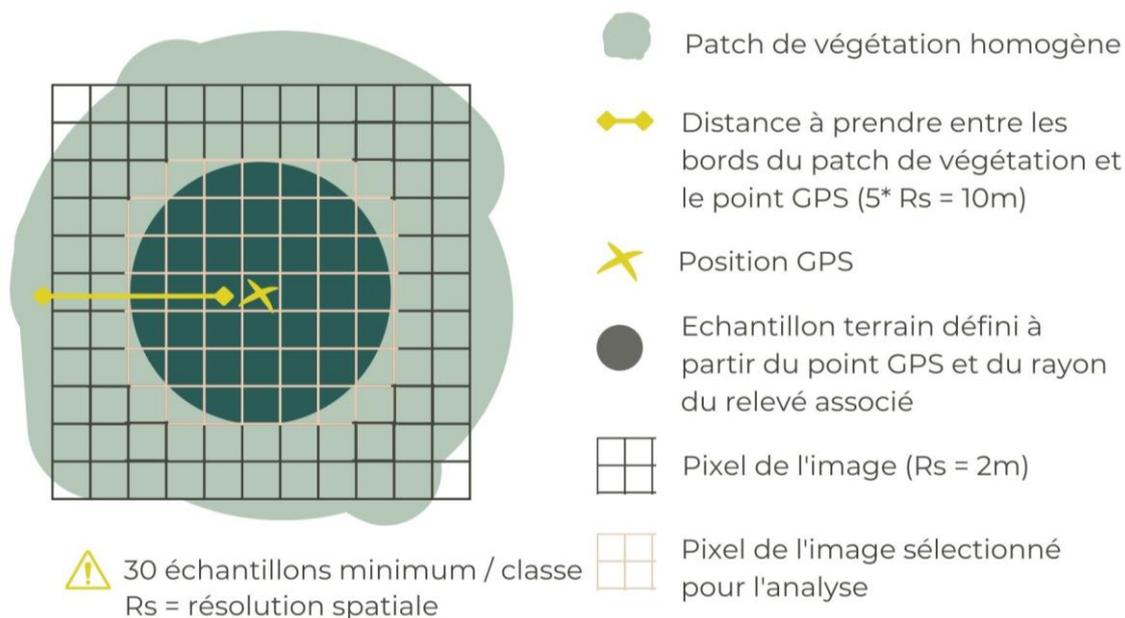


Figure 10. Sélection des zones à échantillonner sur le terrain

Dans cette étude, les points GPS ont été acquis au sein d'une zone homogène de 6 m de rayon pour s'adapter aux formations naturelles sur le terrain, en respectant une distance vis-à-vis du bord de la zone de 4 m minimum. i-Sea est chargé de l'extension du point en polygone et les informations qui lui sont fournies sont récapitulées dans le Tableau 2.

Tableau 2. Tableau des données terrain pour le travail de cartographie

ATTRIBUT	DESCRIPTION	LISTE CHOIX
<b>IDENT</b>	Identifiant unique de la station	Génération automatique
<b>DATE</b>	Date de la mission	JJ/MM/AAAA
<b>SOURCE</b>	Source de la donnée	Nom de la structure source
<b>X</b>	Coordonnée X du point GPS	Génération automatique
<b>Y</b>	Coordonnée Y du point GPS	Génération automatique
<b>SRC</b>	Système de projection dans lequel les données doivent être utilisées	Système de projection
<b>RAYON</b>	Quelle est approximativement le rayon de cette étendue (ou patch)	En mètres
<b>FORME</b>	La station est relevée au sein d'une étendue ou d'un îlot/patch (les limites de la station sont visibles sur le terrain)	Étendue ou patch
<b>CODE_TYPO</b>	Rattachement de la donnée d'apprentissage au code d'une unité typologique	Code de l'unité typologique
<b>UNITE TYPOLOGIQUE</b>	Rattachement de la donnée d'apprentissage à une unité typologique	Intitulé de l'unité typologique
<b>COMMENTAIRES</b>	Commentaires utiles à l'interprétation	Ex : remarques sur l'état de conservation de l'unité typologique concernée sur la station

Concrètement, les structures gestionnaires des sites Natura 2000 ont effectué l'ensemble des relevés terrain, qui permettent de calibrer, valider et corriger les analyses d'images satellitaires, en étroite relation avec i-Sea et la Tour du Valat. Le Cépralmar (Centre d'étude pour la promotion des activités lagunaires et maritimes) a également contribué à l'acquisition de relevés terrain dans les secteurs en eau profonde sur certaines lagunes (Salses-Leucate et Thau).

### 2.1.2 Cartographie par classification d'images

Afin de déterminer une stratégie de classification d'images adaptée au problème de la reconnaissance et de la différenciation des types d'habitats présents sur les sites étudiés, différentes approches ont été testées. La démarche méthodologique adoptée est présentée sur la Figure 11. Une fois l'acquisition des données terrain et images réalisée, le travail sur les données terrain permet d'affiner la typologie et donc d'affecter à chacune des observations (polygones) une classe (code numérique). Il est aussi essentiel de bien vérifier le positionnement de tous les polygones qui serviront à l'apprentissage et à la classification de façon à ne pas injecter dans le processus, des pixels qui ne seraient pas précisément représentatifs de la classe d'intérêt.

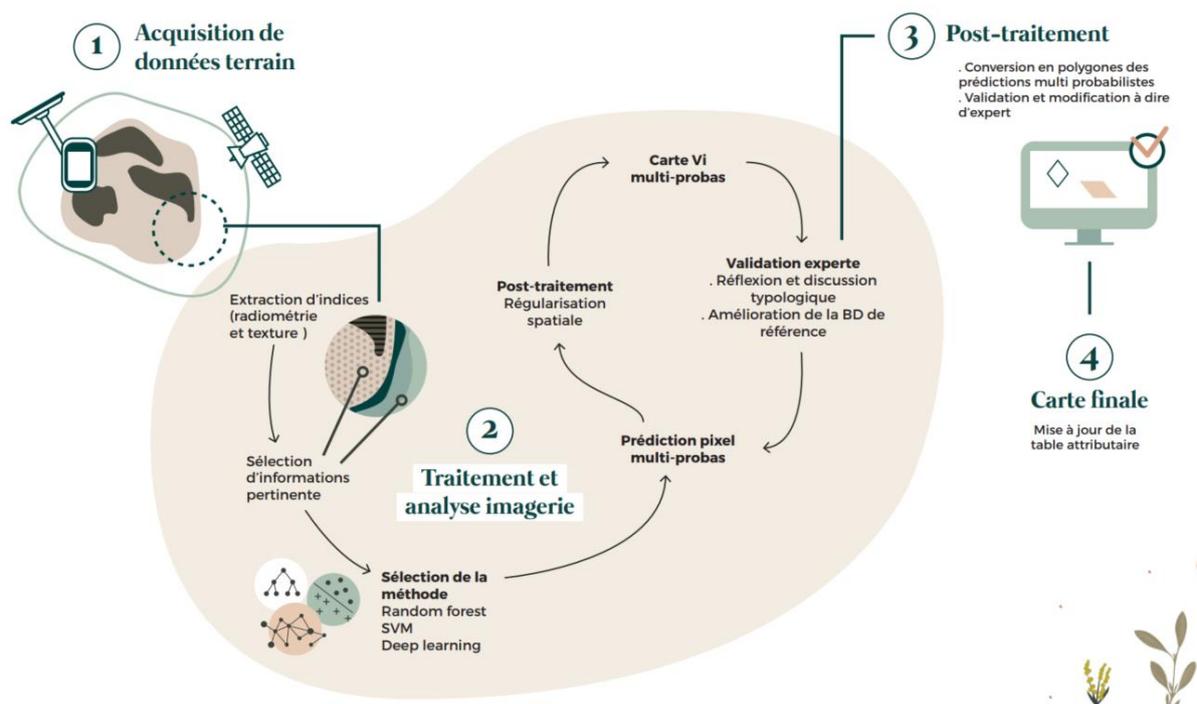


Figure 11. Schéma fonctionnel décrivant la méthode de traitement

En parallèle, une étape de prétraitement consiste à vérifier et préparer la série d'images. En effet, il faut s'assurer de la bonne coregistration de chacune des images de la série temporelle et réajuster le recalage le cas échéant. Une opération de superposition de l'ensemble de la pile d'images est ensuite appliquée afin que chacun des pixels de la série temporelle occupe le même espace physique, autrement dit que toutes les images soient parfaitement superposables.

Une fois ces pré-traitements réalisés, l'étape de traitement de données consiste à extraire des informations des images (indices radiométriques). Pour chaque image multispectrale utilisée, 6 indices radiométriques sont calculés et injectés à la classification :

- Des indices de végétation : les NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, Rouse et al., 1973), RVI (Ratio Vegetation Index, Jordan, 1969) et SAVI (Soil Adjust Vegetation Index, Huete, 1988),
- Deux indices de sol : les RI (Redness Index, Mathieu et al., 2006) et BI (Brightness Index, Gao, 1996),
- Un indice d'eau : le NDWI (Normalized Difference Water Index, Gao, 1996).

L'image multispectrale multi-temporelle est ensuite obtenue par concaténation de l'ensemble des bandes spectrales et des indices calculés pour l'ensemble des dates considérées. Cela correspond à 4 bandes spectrales + 6 indices radiométriques pour chacune des dates. Les pixels contenus dans les polygones sont ensuite extraits pour constituer une base de données (BD) de référence.

Pour cette étude, nous avons choisi de travailler avec les Random Forests (ou forêts aléatoires, Pal, 2005 ; Beguet et al., 2014) qui apportent un bon compromis entre rapidité, simplicité de paramétrisation et performance. Les Random Forests ont été introduites par Breiman (2001).

C'est un algorithme d'apprentissage statistique très performant, à la fois pour des problèmes de classification et de régression. L'algorithme appartient à la famille des méthodes d'ensemble de classifieurs. Le principe général de ces méthodes est de construire une collection de classifieurs (prédicteurs) faibles, pour ensuite agréger l'ensemble de leurs prédictions afin d'obtenir un classifieur robuste. Le classifieur faible considéré est un arbre de décision de type Classification and Regression Tree (CART) (Breiman *et al.*, 1984) dont le principe général est de partitionner récursivement l'espace d'entrée de façon dyadique, puis de déterminer une sous-partition optimale pour la prédiction.

L'étape de classification consiste à apprendre un modèle avec l'ensemble des échantillons disponibles avant de prédire l'ensemble des pixels de la série temporelle ainsi que l'indice de confiance associé. Enfin, une régularisation spatiale par filtre majoritaire est appliquée au résultat de classification. Cette régularisation consiste à affecter à chaque pixel l'étiquette (ou classe) majoritaire (en termes de nombre d'occurrences) dans son voisinage. Le rayon de ce voisinage a été fixé à 2 pixels. Cette étape de post-traitement permet d'éliminer une partie du « bruit de classification » et propose un rendu visuel plus « proche de la réalité ».

En résumé, la chaîne de traitement sélectionnée pour réaliser la cartographie des types de végétation à partir d'une série temporelle d'images satellitaires à très haute résolution spatiale est classique. Elle intègre les étapes suivantes :

- Extraction d'informations (ici, calcul d'indices radiométriques ou pseudo-canaux),
- Concaténation des bandes et indices radiométriques pour l'ensemble des dates,
- Sélection aléatoire des échantillons (au niveau pixel) pour constituer une base de données d'apprentissage (ou entraînement) et une base de données de test (qui sera utilisée pour évaluer la capacité de prédiction du modèle),
- Apprentissage du modèle,
- Evaluation du modèle,
- Prédiction à l'échelle de l'ensemble de l'emprise de l'image multi-temporelle,
- Régularisation et post-traitement

## 2.2 Données

### 2.2.1 Données images

Pour chaque lagune, une série temporelle composée d'images Pléiades (RGBPIR, 0.5 m de résolution spatiale) a été acquise durant les années 2022 et 2023 en fonction de l'année de réalisation de chaque lagune (Tableau 3). Les images ont été contrôlées visuellement afin de s'assurer de leur qualité avant de les inclure dans la série temporelle utilisée pour chaque cartographie. Il a fallu exclure certaines images de la série temporelle utilisée à cause de la présence de turbidité dans l'eau, d'effet de surbrillance à cause de la présence de vent (perturbe le signal de l'image à la surface de l'eau) ou encore lorsque que l'emprise de l'image n'est pas adaptée à l'emprise de la zone à cartographier. Dans chaque image, les polygones ont été vérifiés afin que l'information contenu dans le polygone soit juste sur toutes les images utilisées. L'idéal est d'avoir des images qui reflètent la situation optimale de l'habitat présent, mais les images hivernales aident à la représentation de la dimension temporelle de l'expression d'un habitat.

Tableau 3. Ensemble des images Pléiades acquises pour chaque lagune et utilisation faite

Lagune	Date	Nom	Usage
Salses-Leucate (SL) et Canet (C)	04/04/2022	ORT_2022040439180321_LA93.tif	Non utilisée (SL et C)
	20/05/2022	ORT_2022052038996123_LA93.tif	Non utilisée (SL et C)
	20/05/2022	ORT_2022052038998563_LA93.tif	Non utilisée (SL et C)
	11/07/2022	ORT_2022071138988824_LA93.tif	Utilisée (SL et C)
	05/08/2022	ORT_2022080539435572_LA93.tif	Non utilisée (SL et C)
	26/09/2022	ORT_2022092639456432_LA93.tif	Non utilisée (SL et C)
	04/10/2022	ORT_2022100438767824_LA93.tif	Non utilisée (SL et C)
	29/01/2023	ORT_2023012938770571_LA93.tif	Utilisée (C) / Non utilisée (SL)
	17/02/2023	ORT_2023021738996971_LA93.tif	Utilisée (C) / Non utilisée (SL)
	16/03/2023	ORT_2023031638530843_LA93.tif	Non utilisée (SL et C)
	04/04/2023	ORT_2023040438775949_LA93.tif	Non utilisée (SL et C)
	12/05/2023	ORT_2023051239189474_LA93.tif	Non utilisée (SL et C)
	12/05/2023	ORT_2023051239203951_LA93.tif	Non utilisée (SL et C)
	12/05/2023	ORT_2023051239220404_LA93.tif	Non utilisée (SL et C)
	26/06/2023	ORT_2023062639461514_LA93.tif	Non utilisée (SL et C)
Vendres	05/04/2022	ORT_2022040538735444_LA93.tif	Utilisée
	26/05/2022	ORT_2022052639181074_LA93.tif	Non utilisée
	11/07/2022	ORT_2022071138980833_LA93.tif	Utilisée
	05/08/2022	ORT_2022080539427467_LA93.tif	Utilisée
	15/09/2022	ORT_2022091538533994_LA93.tif	Non utilisée
	06/11/2022	ORT_2022110638494234_LA93.tif	Non utilisée
Bagnas (B) et Thau (T)	05/04/2022	ORT_2022040538725831_LA93.tif	Non utilisée (B) / Utilisée (T)
	26/05/2022	ORT_2022052639171697_LA93.tif	Non utilisée (B et T)
	12/07/2022	ORT_2022071238563070_LA93.tif	Utilisée (B et T)
	05/08/2022	ORT_2022080539409319_LA93.tif	Utilisée (B) / Non utilisée (T)
	27/08/2022	ORT_2022082738303830_LA93.tif	Non utilisée (B) / Utilisée (T)
20/09/2022	ORT_2022092039175076_LA93.tif	Non utilisée (B) / Utilisée (T)	
Les Palavasiens – lagunes de Vic et Pierre Blanche	05/04/2022	ORT_2022040538716959_LA93.tif	Non utilisée
	27/05/2022	ORT_2022052738764472_LA93.tif	Non utilisée
	23/06/2022	ORT_2022062338316636_LA93.tif	Non utilisée
	19/07/2022	ORT_2022071938322972_LA93.tif	Non utilisée
	12/08/2022	ORT_2022081239173084_LA93.tif	Non utilisée
	15/03/2023	ORT_2023031538970569_LA93.tif	Non utilisée
	18/04/2023	ORT_2023041838302486_LA93.tif	Utilisée
	27/05/2023	ORT_2023052738318849_LA93.tif	Non utilisée
	26/06/2023	ORT_2023062639433844_LA93.tif	Non utilisée
	17/07/2023	ORT_2023071738784953_LA93.tif	Utilisée
06/09/2023	ORT_2023090639239851_LA93.tif	Utilisée	
Camargue	03/03/2023	ORT_2023030338494533_LA93.tif	Utilisée
	03/04/2023	ORT_2023030438063574_LA93.tif	Utilisée
	03/04/2023	ORT_2023030438075486_LA93.tif	Utilisée
	01/05/2023	ORT_2023050138287944_LA93.tif	Utilisée
	02/05/2023	ORT_2023050237839074_LA93.tif	Utilisée
	08/05/2023	ORT_2023050838068359_LA93.tif	Utilisée
	08/05/2023	ORT_2023050838101702_LA93.tif	Utilisée
	26/05/2023	ORT_2023052638741326_LA93.tif	Utilisée
	01/06/2023	ORT_2023060139024951_LA93.tif	Utilisée
	15/06/2023	ORT_2023061538578824_LA93.tif	Utilisée
	29/06/2023	ORT_2023062938105919_LA93.tif	Utilisée
	03/07/2023	ORT_2023070339221324_LA93.tif	Utilisée
	03/07/2023	ORT_2023070339229574_LA93.tif	Utilisée

	04/07/2023	ORT_2023070438732071_LA93.tif	Utilisée
	04/07/2023	ORT_2023070438748569_LA93.tif	Utilisée
	04/07/2023	ORT_2023070438788069_LA93.tif	Utilisée
	05/08/2023	ORT_2023080538994459_LA93.tif	Utilisée
	05/08/2023	ORT_2023080539002731_LA93.tif	Utilisée
	05/08/2023	ORT_2023080539012824_LA93.tif	Utilisée
Villepey	31/01/2023	ORT_2023013137848944_LA93.tif	Utilisée
	31/01/2023	ORT_2023013137841569_LA93.tif	Non utilisée
	04/03/2023	ORT_2023030438051199_LA93.tif	Utilisée
	04/03/2023	ORT_2023030438043708_LA93.tif	Non utilisée
	23/03/2023	ORT_2023032338293574_LA93.tif	Non utilisée
	23/03/2023	ORT_2023032338301021_LA93.tif	Utilisée
	12/04/2023	ORT_2023041238024203_LA93.tif	Non utilisée
	13/04/2023	ORT_2023041337650985_LA93.tif	Utilisée
	02/05/2023	ORT_2023050237817532_LA93.tif	Non utilisée
	02/05/2023	ORT_2023050237810081_LA93.tif	Non utilisée
	27/05/2023	ORT_2023052738293694_LA93.tif	Non utilisée
	27/05/2023	ORT_2023052738286319_LA93.tif	Non utilisée
	23/06/2023	ORT_2023062337836970_LA93.tif	Non utilisée
	23/06/2023	ORT_2023062337829574_LA93.tif	Non utilisée
	07/07/2023	ORT_2023070737404293_LA93.tif	Non utilisée
	12/07/2023	ORT_2023071238109731_LA93.tif	Utilisée
31/07/2023	ORT_2023073138320828_LA93.tif	Non utilisée	
31/07/2023	ORT_2023073138328285_LA93.tif	Non utilisée	

La base de données images a été collectée et mise à disposition par DINAMIS<sup>1</sup> (Dispositif Institutionnel National d'Approvisionnement Mutualisé en Imagerie Satellitaire). Une transformation d'échelle (sous-échantillonnage d'un facteur 4) a été appliquée pour ré-échantillonner les images d'origine et ainsi passer de 0.5 m à 2 m de résolution spatiale.

### 2.2.1.1 Série temporelle de la lagune de Salses-Leucate

Les lagunes de Salses-Leucate et Canet étant rapprochées géographiquement, les images ont été commandées conjointement. La réalisation de ces deux lagunes étant prévues sur deux années différentes, 12 images (6 acquises en 2022 et 6 acquises en 2023) ont été commandées. Les images n'étant pas utilisables dans la majorité (turbidité et vent important), des images d'archive ont finalement été utilisées (11/02/2021 et 05/04/2021). La série temporelle utilisée pour la cartographie est ainsi composée de 3 images Pléiades, acquises entre avril 2021 et juillet 2022 (Figure 12).

### 2.2.1.2 Série temporelle de la lagune de Vendres

La commande d'images est constituée de 6 images, acquises en 2022. La série temporelle utilisée pour la cartographie est composée de 3 images, acquises en avril et août 2022. De la turbidité est présente sur les autres images de la commande (Figure 13).

<sup>1</sup> [Dinamis – Dispositif Institutionnel National d'Approvisionnement Mutualisé en Imagerie Satellitaire \(data-terra.org\)](https://data-terra.org/)

### *2.2.1.3 Série temporelle de la lagune de Bagnas*

Les lagunes de Bagnas et Thau étant également rapprochées géographiquement, leur commande d'images s'est effectuée conjointement. La réalisation de leurs cartographies étant la même année, la commande se compose de 6 images. Ainsi, la série temporelle utilisée pour la cartographie du Bagnas est composée de 2 images, acquises en juillet et août 2022. Cette série est de grande qualité avec une couverture nuageuse nulle et un niveau d'eau adéquat (Figure 14). Les quatre autres images n'ont pas été utilisées du fait de la turbidité présente.

### *2.2.1.4 Série temporelle de la lagune de Thau*

Les images commandées pour Thau sont identiques à celles de la lagune de Bagnas. La série temporelle utilisée pour la cartographie de Thau est composée de 4 images, acquises en avril et septembre 2022 (Figure 15). De la turbidité et/ou du vent sont présents sur les autres images, donc écartées.

### *2.2.1.5 Série temporelle des lagunes des Palavasiens*

La réalisation de la cartographie des lagunes des Palavasiens était initialement prévue en 2022, mais a été prolongée sur l'année 2023. Ces lagunes disposent ainsi d'une belle série de 11 images acquises entre 2022 et 2023. La série temporelle finalement utilisée pour la cartographie est composée de 3 images, acquises en avril 2022 et septembre 2023 (Figure 16). De la turbidité et/ou du vent sont présents sur les autres images commandées.

### *2.2.1.6 Série temporelle de la lagune de Canet*

Les images commandées sont identiques à celles de la lagune de Salses-Leucate. La série temporelle utilisée pour la cartographie est composée de 3 images, acquises en juillet 2022 et février 2023 (Figure 17). De la turbidité est présente sur les autres images de la commande.

### *2.2.1.7 Série temporelle des lagunes de la Camargue*

Dans le cas de la Camargue, la zone d'étude étant très étendue, la commande est composée de 6 images. La série temporelle utilisée pour la cartographie est composée de ces 6 images, acquises en mars et août 2023 (Figure 18). Les emprises différentes des acquisitions et les conditions de chaque masse d'eau étant hétérogènes au sein d'une même image (vent, turbidité, profondeur de la masse d'eau), cela a nécessité d'utiliser des images différentes par type de masses d'eau (Tableau 4).

### *2.2.1.8 Série temporelle de la lagune de Villepey*

Concernant la lagune de Villepey, la commande initialement composée de 6 images, a été prolongée dû à la mauvaise qualité des images reçues et dispose au final de 13 images. La série temporelle utilisée pour la cartographie est composée de 5 images, acquises en mars et juillet 2023 (Figure 19). De la turbidité et/ou du vent sont présents sur les autres images de la commande.



05/04/2021

11/02/2021

11/07/2022

*Figure 12. Couverture satellitaire utilisée pour la cartographie de la lagune de Salses-Leucate*

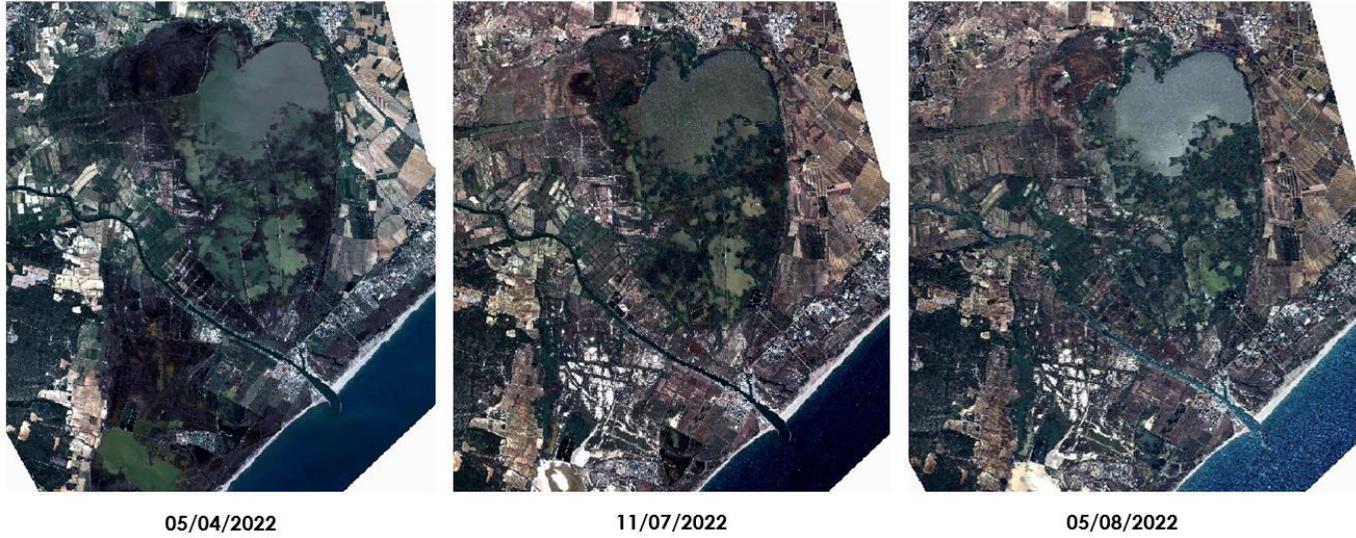


Figure 13. Couverture satellitaire utilisée pour la cartographie de la lagune de Vendres



Figure 14. Couverture satellitaire utilisée pour la cartographie de la lagune de Bagnas

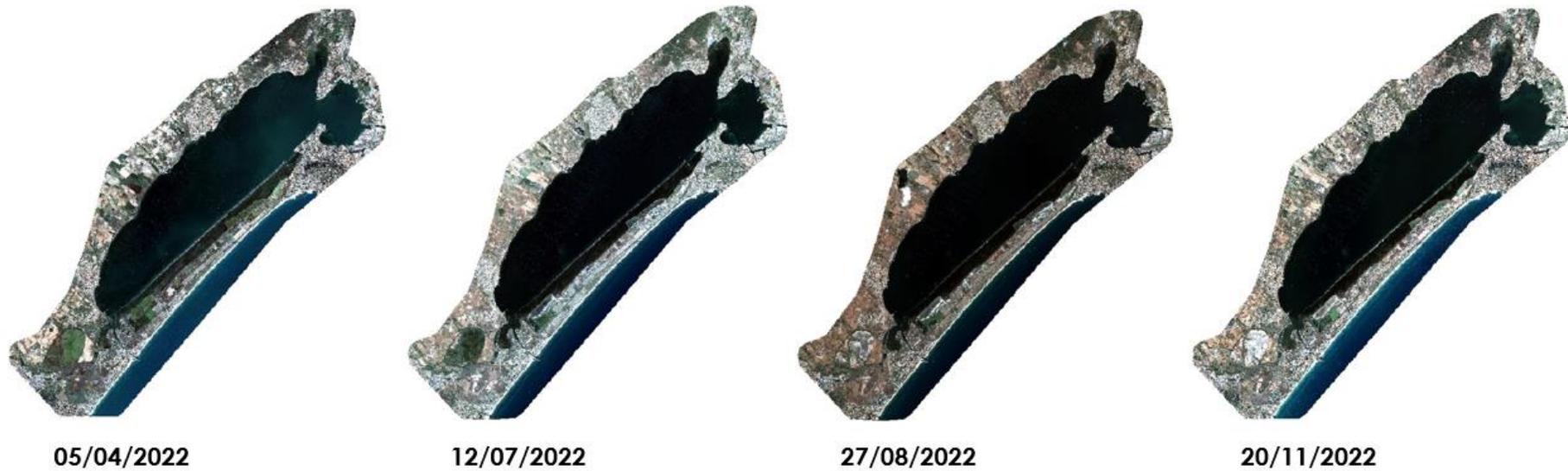


Figure 15. Couverture satellitaire utilisée pour la cartographie de la lagune de Thau



Figure 16. Couverture satellitaire utilisée pour la cartographie des lagunes de Palavasiens



**11/07/2022**



**29/01/2023**



**17/02/2023**

*Figure 17. Couverture satellitaire utilisée pour la cartographie de la lagune de Canet*

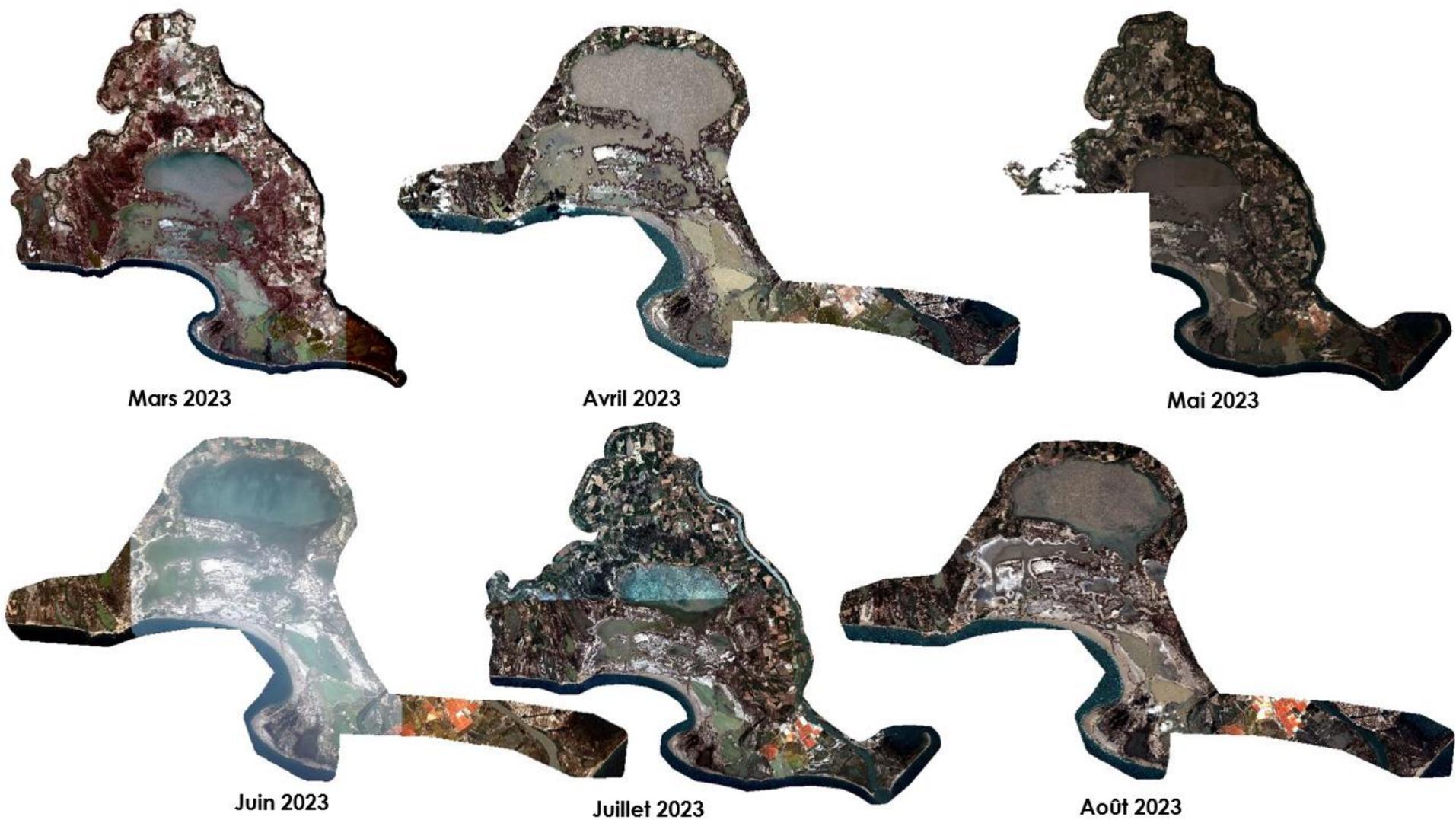


Figure 18. Couverture satellitaire utilisée pour la cartographie des lagunes de la Camargue

Tableau 4. Utilisation des images et des échantillons de la Camargue en fonction des masses d'eau

Masse d'eau	Images						Echantillons
	Mars 2023	Avril 2023	Mai 2023	Juin 2023	Juillet 2023	Août 2023	
Beauduc	oui		oui	oui	oui	11	Beauduc, Sablons
Carteau (a)		oui	oui	oui	oui	oui	Carteau (a), Sablons
Carteau (b)			oui		oui		Beauduc, Carteau (a), Carteau (b), Sablons
Icard	oui			oui	oui	oui	Icard, Sablons
Impérial Malagroy Monro				oui	oui	oui	Carteau (a), Icard, Impérial Malagroy Monro, Launes, Sablons
Launes				oui	oui	oui	Carteau (a), Icard, Impérial Malagroy Monro, Launes, Sablons
Sablons	oui	oui	oui	oui	oui	oui	Sablons
Sainte Anne	oui				oui		Beauduc, Icard, Sablons
Vaccares				oui			Beauduc, Carteau (a), Icard, Impérial Malagroy Monro, Launes, Sablons, Vaccares



Figure 19. Couverture satellitaire utilisée pour la cartographie de la lagune de Villepey

## 2.2.2 Données terrain

Les gestionnaires et leurs partenaires ont procédé à des campagnes terrain sur une période entre l'été et l'automne pour les années 2022 et 2023 en fonction des lagunes. Concernant le choix de la typologie à utiliser, la question des objets à cartographier a été posée dès le départ. En amont du projet, l'objectif et le nombre de classes réellement nécessaires à suivre dans le temps ont été mûrement réfléchis afin que le protocole convienne à tous. Une cartographie avec une classification simplifiée pour garder de la pertinence et ne pas partir sur une acquisition de données terrain trop lourde/couteuse à réaliser. La typologie a été donc co-construite avec les animateurs de site. Au fur et à mesure de l'avancement du projet, il est apparu nécessaire d'ajouter des unités typologiques (UTs) à la typologie commune fixée, en fonction de la présence de certains habitats spécifiques dans certaines lagunes (Tableau 5). Les classes avec pour intitulés « Magnoliophytes marines [...] », « Magnoliophytes dominantes [...] » et « Magnoliophytes (25-75%) [...] », correspondent à *Z. Noltii* et/ou *Z. Marina* et/ou *R. Cirrhosa*. Les classes avec les intitulés « Magnoliophytes aquatiques [...] » correspondent à la présence supplémentaire de l'espèce Potamo pectiné (*Stuckenia pectinata*), qui n'est pas à proprement parlé une espèce marine selon les gestionnaires. Les Tableau 6 à Tableau 13 indiquent la répartition des relevés terrain dans chaque UT, par lagune. La numérisation des polygones sur SIG a été réalisée par i-Sea, soit par photo-interprétation soit à partir de la géolocalisation de relevés de terrain. i-Sea a vérifié puis préparé chaque relevé pour la production cartographique. Au fur et à mesure de l'avancement du projet, i-Sea a ré-ajusté les polygones d'apprentissage selon les nouveaux envois de données.

### 2.2.2.1 Synthèse terrain de la lagune de Salses-Leucate

Le terrain effectué en 2022 par le Syndicat mixte RIVAGE et le Cedralmar, a permis de collecter un total de 227 points, répartis entre les différentes classes de la typologie initialement établie (Tableau 6). La Figure 20 présente la répartition spatiale des données de terrain ayant servi à l'apprentissage et à l'évaluation de la classification.

### 2.2.2.2 Synthèse terrain de la lagune de Vendres

Le terrain effectué en 2022 par la communauté de communes La Domitienne, a permis de collecter un total de 106 points, fournis pour analyse à i-Sea (Tableau 7). Afin d'avoir des données représentatives des habitats sur le terrain, 2 UTs ont été ajoutées pour cette lagune : « Macrophyte avec un faible taux de recouvrement » et « Macrophytes (40%) x Algues vertes (10%) ». La Figure 21 présente la répartition spatiale des données de terrain ayant servi à l'apprentissage et à l'évaluation de la classification.

### 2.2.2.3 Synthèse terrain de la lagune de Bagnas

Les relevés terrain ont été effectués par l'association ADENA en 2022. Au total, 121 stations ont été levées (Tableau 8). Pour s'assurer une bonne représentativité du terrain, 4 UTs ont été ajoutées : « Magnoliophytes aquatiques pures (75-100%) », « Magnoliophytes aquatiques pures (50-75%) », « Magnoliophytes aquatiques pures (25-50%) » et « Magnoliophytes aquatiques pures (5-25%) ». Les sansouïres n'ont pas été inclus dans l'étude. La Figure 22 présente la répartition spatiale des données de terrain ayant servi à l'apprentissage et à l'évaluation de la classification.

#### *2.2.2.4 Synthèse terrain de la lagune de Thau*

Le terrain effectué en 2022 par le Syndicat Mixte du Bassin de Thau (SMBT), le lycée de la mer et le Cepralmar a permis de collecter un total de 247 stations, réparties entre les différentes classes de la typologie initialement établie (Tableau 9). La Figure 23 présente la répartition spatiale des données de terrain ayant servi à l'apprentissage et à l'évaluation de la classification.

#### *2.2.2.5 Synthèse terrain des lagunes des Palavasiens*

Les relevés terrains ont été effectués par le Syndicat mixte du Bassin du Lez en 2021, 2022 et 2023. Au total, 118 stations ont été levées (Tableau 10). Pour assurer de meilleurs résultats, la typologie a été retravaillée et plusieurs regroupements ont été effectués (Tableau 10). La Figure 24 présente la répartition spatiale des données de terrain ayant servi à l'apprentissage et à l'évaluation de la classification.

#### *2.2.2.6 Synthèse terrain de la lagune de Canet*

Le terrain effectué en 2023 par Hugo Fontes (Tour du Valat) pour le Syndicat Mixte des Bassins Versants du Réart (SMBVR), a permis de collecter un total de 90 points, répartis entre les différentes classes de la typologie initialement établie (Tableau 11). La Figure 25 présente la répartition spatiale des données de terrain ayant servi à l'apprentissage et à l'évaluation de la classification.

#### *2.2.2.7 Synthèse terrain des lagunes de la Camargue*

Le terrain effectué en 2023 par les agents de la RNNC, Hugo Fontes et le PNRC pour la réserve nationale de Camargue, a permis de collecter un total de 771 points, répartis entre les différentes classes de la typologie initialement établie (Tableau 12). La Figure 26 présente la répartition spatiale des données de terrain ayant servi à l'apprentissage et à l'évaluation de la classification. Le Tableau 4 récapitule les données terrain utilisées pour chaque masse d'eau.

#### *2.2.2.8 Synthèse terrain de la lagune de Villepey*

Le terrain effectué en 2023 par Hugo Fontes et les gestionnaires pour l'agglomération Estérel côte d'azur, a permis de collecter un total de 41 points, réparties entre les différentes classes de la typologie initialement établie (Tableau 13). Pour assurer de meilleurs résultats, la typologie a été retravaillée et un regroupement de 2 UTs a été effectué. La Figure 27 présente la répartition spatiale des données de terrain ayant servi à l'apprentissage et à l'évaluation de la classification.

Tableau 5. Présence des unités typologiques (UTs) en fonction de chaque lagune et leur source

Typologie	Salses-Leucate	Vendres	Bagnas	Thau	Palavasiens	Canet	Camargue	Villepey	Source
Magnoliophytes marines pures ( <i>Z. Noltii</i> et/ou <i>Z. Marina</i> et/ou <i>R. Cirrhosa</i> ) (75-100%)	X	X		X			X		Typologie initiale
Magnoliophytes marines pures ( <i>Z. Noltii</i> et/ou <i>Z. Marina</i> et/ou <i>R. Cirrhosa</i> ) (25-50%)	X	X		X			X		Typologie initiale
Magnoliophytes marines pures ( <i>Z. Noltii</i> et/ou <i>Z. Marina</i> et/ou <i>R. Cirrhosa</i> ) (25-100%)					X				Regroupement palavasiens
Magnoliophytes aquatiques pures (75-100%)			X						Ajout Bagnas
Magnoliophytes aquatiques pures (50-75%)			X						Ajout Bagnas
Magnoliophytes aquatiques pures (25-50%)			X						Ajout Bagnas
Magnoliophytes aquatiques pures (5-25%)			X						Ajout Bagnas
Macrophyte avec un faible taux de recouvrement (< 25%)		X							Ajout Vendres
Magnoliophytes dominantes (> 75%) x Algues vertes	X			X			X		Typologie initiale
Magnoliophytes dominantes (> 75%) x Algues brunes et/ou rouges et vertes	X			X			X		Typologie initiale
Magnoliophytes dominantes (> 25%) x Algues brunes et/ou rouges et vertes								X	Regroupement Villepey
Magnoliophytes dominantes (> 75%) x Mélange algues brunes, rouges et vertes					X				Regroupement palavasiens
Magnoliophytes (25-75%) x Algues vertes (25-75%)	X			X			X		Typologie initiale
Magnoliophytes (25-75%) x Algues rouges et/ou brunes (25-75%)	X			X			X		Typologie initiale
Magnoliophytes (25-75%) x Algues vertes et rouges et/ou brunes (25-75%)	X			X		X	X		Typologie initiale
Magnoliophytes (25-75%) x Mélange algues vertes, rouges et/ou brunes					X				Regroupement palavasiens
Macrophytes (40%) x Algues vertes (10%)		X							Ajout Vendres
Tapis de magnoliophytes morts				X					Typologie initiale
Algues vertes pures	X			X	X		X	X	Typologie initiale

Algues rouges pures	X			X					Typologie initiale
Algues brunes pures				X					Typologie initiale
Mélange algues rouges et brunes					X				Regroupement palavasiens
Mélange algues vertes, rouges et/ou brunes	X			X	X	X	X		Typologie initiale
Sédiments meubles (sable, vase, sable coquillé, coquille, etc.)	X	X	X	X	X	X	X	X	Typologie initiale
Fonds rocheux sans algues fixées				X					Typologie initiale
Cascaïl									Supprimée
Roselières		X							Ajout Vendres
Eau profonde							X	X	Ajout Villepey, Camargue

Tableau 6. Synthèse des données terrain relevées sur le site de Salses Leucate

Typologie	Nb relevés
Magnoliophytes marines pures ( <i>Z. Noltii</i> et/ou <i>Z. Marina</i> et/ou <i>R. Cirrhosa</i> ) (75-100%)	39
Magnoliophytes marines pures ( <i>Z. Noltii</i> et/ou <i>Z. Marina</i> et/ou <i>R. Cirrhosa</i> ) (25-50%)	15
Magnoliophytes dominantes (> 75%) x Algues vertes	23
Magnoliophytes dominantes (> 75%) x Algues brunes et/ou rouges et vertes	10
Magnoliophytes (25-75%) x Algues vertes (25-75%)	18
Magnoliophytes (25-75%) x Algues rouges et/ou brunes (25-75%)	23
Magnoliophytes (25-75%) x Algues vertes et rouges et/ou brunes (25-75%)	13
Tapis de magnoliophytes morts	6
Algues vertes pures	18
Algues rouges pures	22
Algues brunes pures	2
Mélange algues vertes, rouges et/ou brunes	5
Sédiments meubles (sable, vase, sable coquillé, coquille, etc.)	33
<b>TOTAL</b>	<b>227</b>

Tableau 7. Synthèse des données terrain relevées sur le site de Vendres

Typologie	Nb relevés
Magnoliophytes marines pures ( <i>Z. Noltii</i> et/ou <i>Z. Marina</i> et/ou <i>R. Cirrhosa</i> ) (75-100%)	15
Magnoliophytes marines pures ( <i>Z. Noltii</i> et/ou <i>Z. Marina</i> et/ou <i>R. Cirrhosa</i> ) (25-50%)	19
Macrophyte avec un faible taux de recouvrement	20
Macrophytes (40%) x Algues vertes (10%)	1
Sédiments meubles (sable, vase, sable coquillé, coquille, etc.)	51
<b>TOTAL</b>	<b>106</b>

Tableau 8. Synthèse des données terrain relevées sur le site de Bagnas

Typologie	Nb relevés
Magnoliophytes aquatiques pures (75-100%)	60
Magnoliophytes aquatiques pures (50-75%)	4
Magnoliophytes aquatiques pures (25-50%)	26
Magnoliophytes aquatiques pures (5-25%)	6
Sédiments meubles (sable, vase, sable coquillé, coquille, etc.)	20
Sansouïre	5
<b>TOTAL</b>	<b>121</b>

Tableau 9. Synthèse des données terrain relevées sur le site de Thau

Typologie	Nb relevés
Magnoliophytes marines pures ( <i>Z. Noltii</i> et/ou <i>Z. Marina</i> et/ou <i>R. Cirrhosa</i> ) (75-100%)	8
Magnoliophytes marines pures ( <i>Z. Noltii</i> et/ou <i>Z. Marina</i> et/ou <i>R. Cirrhosa</i> ) (25-50%)	67
Magnoliophytes dominantes (> 75%) x Algues vertes	8
Magnoliophytes dominantes (> 75%) x Algues brunes et/ou rouges et vertes	12
Magnoliophytes (25-75%) x Algues vertes (25-75%)	10
Magnoliophytes (25-75%) x Algues rouges et/ou brunes (25-75%)	13
Magnoliophytes (25-75%) x Algues vertes et rouges et/ou brunes (25-75%)	6
Tapis de magnoliophytes morts	1
Algues vertes pures	16
Algues rouges pures	31
Algues brunes pures	1
Mélange algues vertes, rouges et/ou brunes	25
Sédiments meubles (sable, vase, sable coquillé, coquille, etc.)	45
Fonds rocheux sans algues fixées	4
<b>TOTAL</b>	<b>247</b>

Tableau 10. Synthèse des données terrain relevées sur le site des Palavasiens

Typologie regroupée	Typologie origine	Nb relevés
Magnoliophytes marines pures ( <i>Z. Noltii</i> et/ou <i>Z. Marina</i> et/ou <i>R. Cirrhosa</i> ) (25-100%)	Magnoliophytes marines pures ( <i>Z. Noltii</i> et/ou <i>Z. Marina</i> et/ou <i>R. Cirrhosa</i> ) (75-100%)	6
	Magnoliophytes marines pures ( <i>Z. Noltii</i> et/ou <i>Z. Marina</i> et/ou <i>R. Cirrhosa</i> ) (25-50%)	7
Magnoliophytes dominantes (> 75%) x Mélange algues brunes, rouges et vertes	Magnoliophytes dominantes (> 75%) x Algues vertes	8
	Magnoliophytes dominantes (> 75%) x Algues brunes et/ou rouges et vertes	6
	Magnoliophytes (25-75%) x Algues vertes (25-75%)	6

Magnoliophytes (25-75%) x Mélange algues vertes, rouges et/ou brunes	Magnoliophytes (25-75%) x Algues rouges et/ou brunes (25-75%)	4
	Magnoliophytes (25-75%) x Algues vertes et rouges et/ou brunes (25-75%)	3
Tapis de magnoliophytes morts	Tapis de magnoliophytes morts	2
Algues vertes pures	Algues vertes pures	28
Mélange algues rouges et brunes	Algues rouges pures	4
	Algues brunes pures	2
Mélange algues vertes, rouges et/ou brunes	Mélange algues vertes, rouges et/ou brunes	9
Sédiments meubles (sable, vase, sable coquillé, coquille, etc.)	Sédiments meubles (sable, vase, sable coquillé, coquille, etc.)	33
<b>TOTAL</b>		<b>118</b>

Tableau 11. Synthèse des données terrain relevées sur le site de Canet

Typologie	Nb relevés
Magnoliophytes dominantes (> 75%) x Algues brunes et/ou rouges et vertes	4
Magnoliophytes (25-75%) x Algues vertes et rouges et/ou brunes (25-75%)	16
Algues vertes pures	5
Algues rouges pures	2
Mélange algues vertes, rouges et/ou brunes	36
Sédiments meubles (sable, vase, sable coquillé, coquille, etc.)	25
Cascail	2
<b>TOTAL</b>	<b>90</b>

Tableau 12. Synthèse des données terrain relevées sur le site de Camargue

Typologie	Nb relevés
Magnoliophytes marines pures ( <i>Z. Noltii</i> et/ou <i>Z. Marina</i> et/ou <i>R. Cirrhosa</i> ) (75-100%)	48
Magnoliophytes marines pures ( <i>Z. Noltii</i> et/ou <i>Z. Marina</i> et/ou <i>R. Cirrhosa</i> ) (25-50%)	8
Magnoliophytes dominantes (> 75%) x Algues vertes	42
Magnoliophytes dominantes (> 75%) x Algues brunes et/ou rouges et vertes	145
Magnoliophytes (25-75%) x Algues vertes (25-75%)	13
Magnoliophytes (25-75%) x Algues rouges et/ou brunes (25-75%)	37
Magnoliophytes (25-75%) x Algues vertes et rouges et/ou brunes (25-75%)	131
Magnoliophytes (25-75%) x Biofilm (25-75%)	3
Algues vertes pures	73
Mélange algues vertes, rouges et/ou brunes	62
Sédiments meubles (sable, vase, sable coquillé, coquille, etc.)	198
Biofilm	11
<b>TOTAL</b>	<b>771</b>

Tableau 13. Synthèse des données terrain relevées sur le site de Villepey

Typologie regroupée	Typologie origine	Nb relevés
Magnoliophytes dominantes (> 25%) x Algues brunes et/ou rouges et vertes	Magnoliophytes marines pures ( <i>Z. Noltii</i> et/ou <i>Z. Marina</i> et/ou <i>R. Cirrhosa</i> ) (25-50%)	1
	Magnoliophytes dominantes (> 75%) x Algues brunes et/ou rouges et vertes	2
Algues vertes pures	Algues vertes pures	18
Sédiments meubles (sable, vase, sable coquillé, coquille, etc.)	Sédiments meubles (sable, vase, sable coquillé, coquille, etc.)	20
<b>TOTAL</b>		<b>41</b>

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE SALSes LEUCATE

### Localisation des relevés terrain

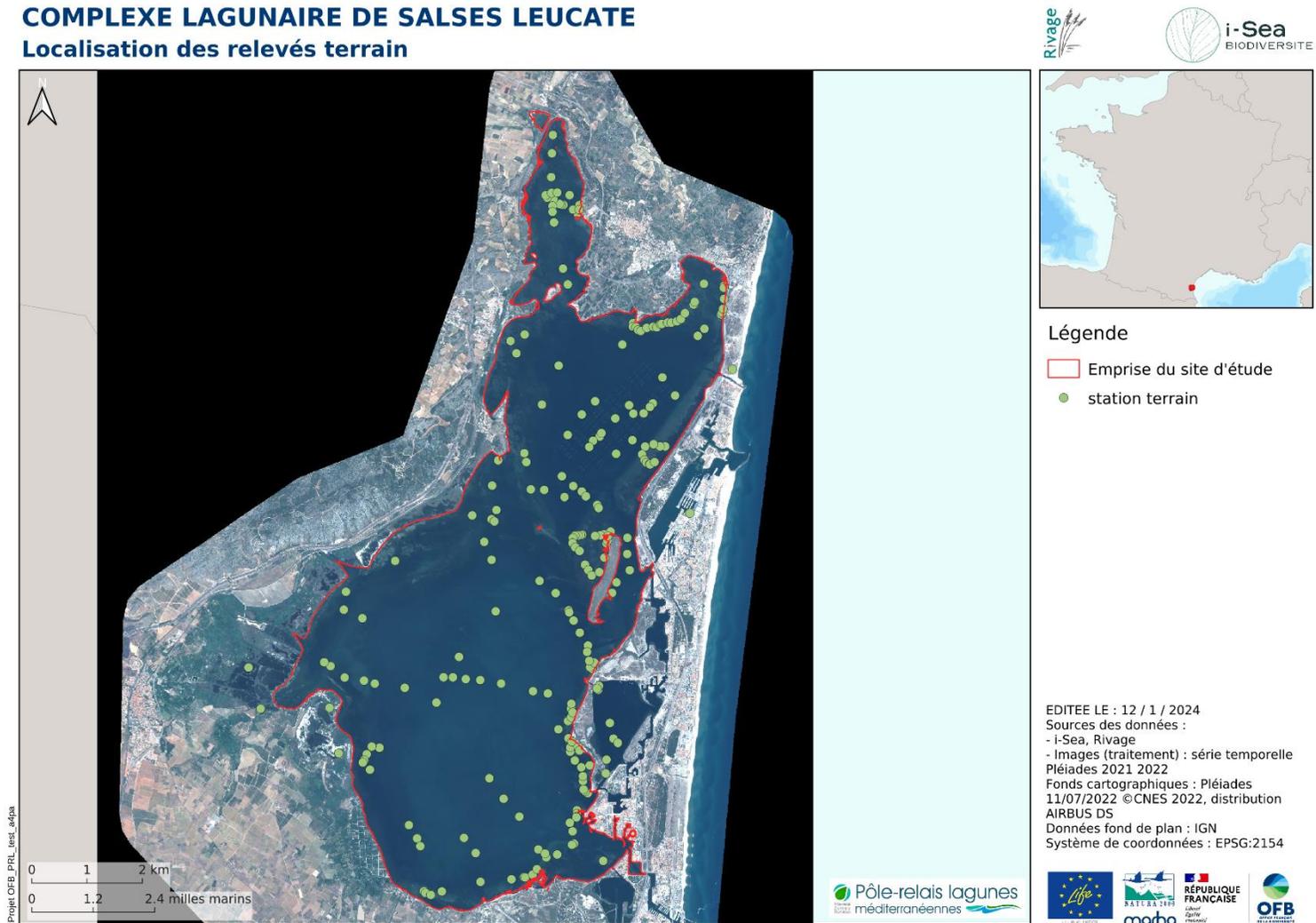
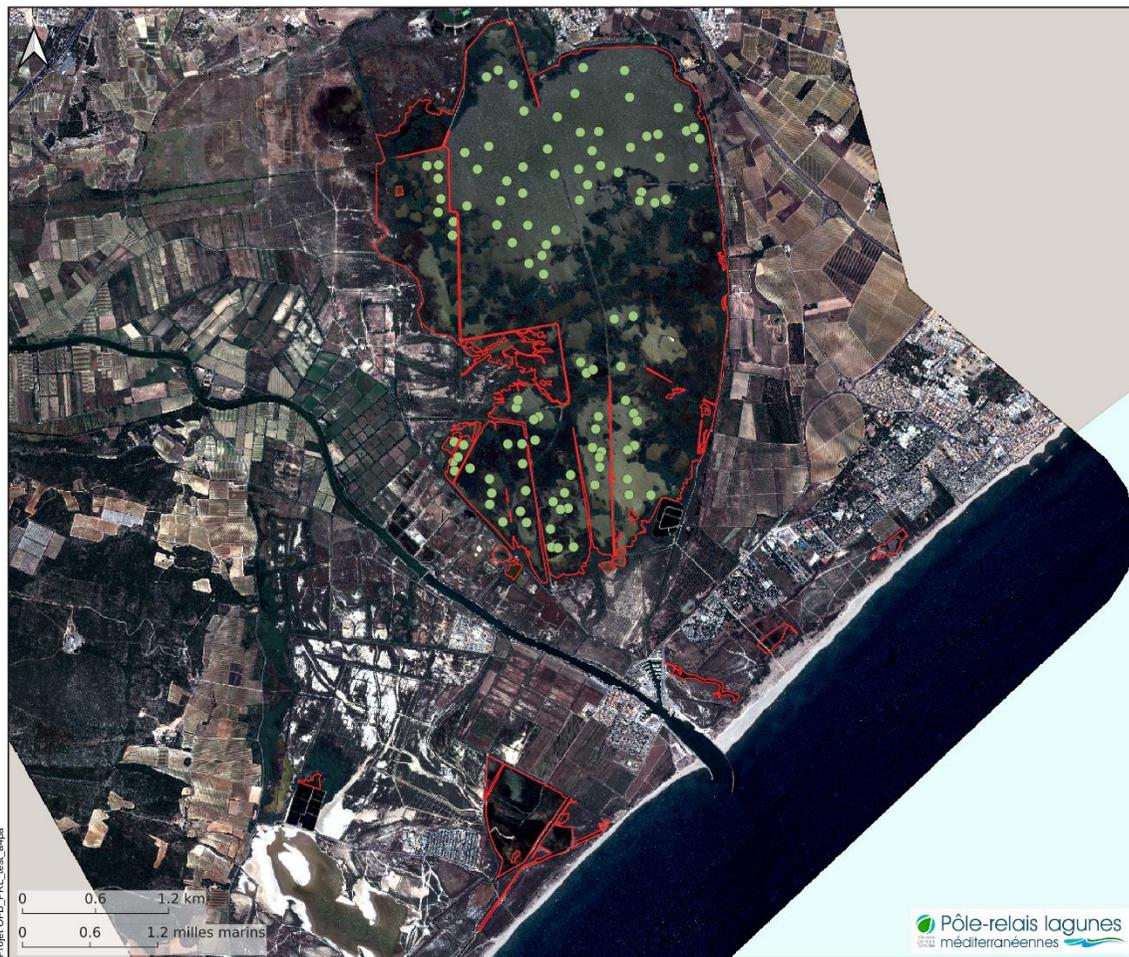


Figure 20. Carte de répartition des stations terrain sur le site de Salses Leucate

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE VENDRES

### Localisation des relevés terrain



#### Légende

- Emprise du site d'étude
- station terrain

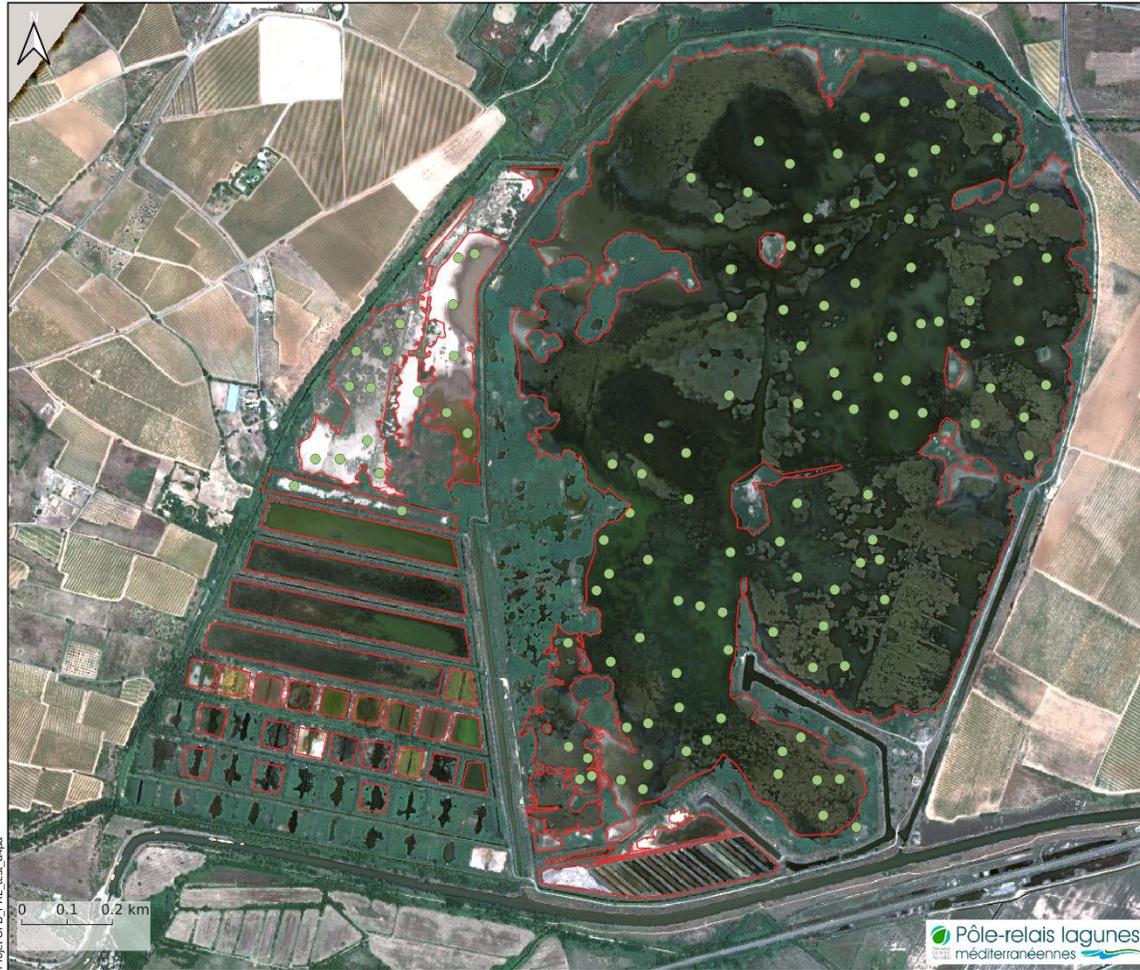
EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
 Sources des données :  
 - i-Sea, La Domitienne  
 - Images (traitement) : série temporelle Pléiades 2022  
 Fonds cartographiques : Pléiades  
 11/07/2022 ©CNES 2022, distribution AIRBUS DS  
 Données fond de plan : IGN  
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Figure 21. Carte de répartition des stations terrain sur le site de Vendres

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE BAGNAS

### Localisation des relevés terrain



#### Légende

- Emprise du site d'étude
- station terrain

EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
 Sources des données :  
 - i-Sea, ADENA  
 - Images (traitement) : série temporelle  
 Pléiades 2022  
 Fonds cartographiques : Pléiades  
 12/07/2022 © CNES 2022, distribution  
 AIRBUS DS  
 Données fond de plan : IGN  
 Système de coordonnées : EPSG:2154

Projet OCB\_PRL\_Lez\_24q3



Figure 22. Carte de répartition des stations terrain sur le site de Bagnas

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE THAU

### Localisation des relevés terrain



#### Légende

- Emprise du site d'étude
- station terrain

EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
 Sources des données :  
 - i-Sea, SMBT  
 - Images (traitement) : série temporelle Pléiades 2022  
 Fonds cartographiques : Pléiades  
 11/07/2022 ©CNES 2022, distribution AIRBUS DS  
 Données fond de plan : IGN  
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Figure 23. Carte de répartition des stations terrain sur le site de Thau

## COMPLEXE LAGUNAIRE DES PALAVASIENS

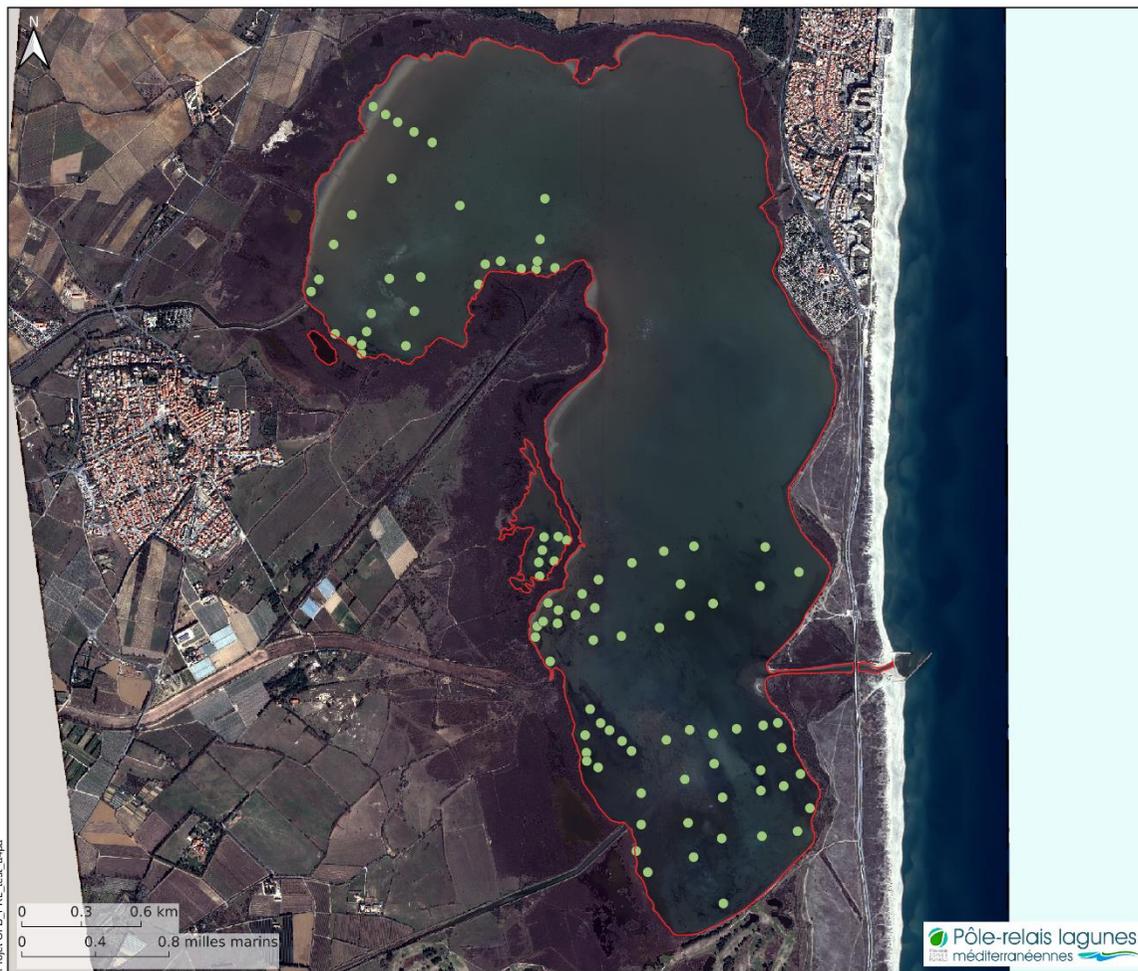
### Localisation des relevés terrain



Figure 24. Carte de répartition des stations terrain sur le site des Palavasiens

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE CANET

### Localisation des relevés terrain



#### Légende

- Emprise du site d'étude
- station terrain

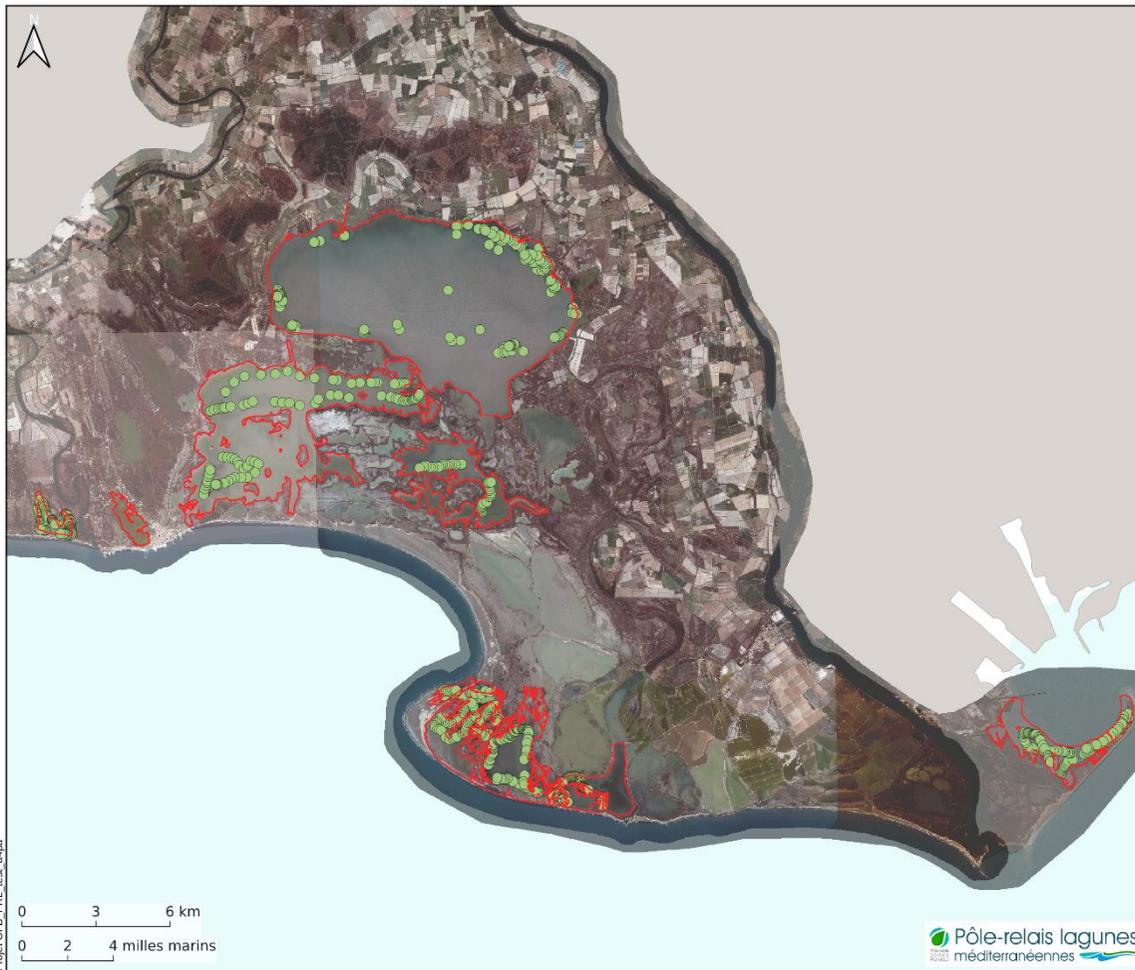
EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
 Sources des données :  
 - i-Sea, SMBVR  
 - Images (traitement) : série temporelle Pléiades 2022 2023  
 Fonds cartographiques : Pléiades 17/02/2023 ©CNES 2022, distribution AIRBUS DS  
 Données fond de plan : IGN  
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Figure 25. Carte de répartition des stations terrain sur le site de Canet

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE CAMARGUE

### Localisation des relevés terrain



#### Légende

- Emprise du site d'étude
- station terrain

EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
 Sources des données :  
 - i-Sea, PNR de Camargue, RN Camargue, Conservatoire du littoral  
 - Images (traitement) : série temporelle Pléiades 2023  
 Fonds cartographiques : Pléiades 03/03/2023 ©CNES 2022, distribution AIRBUS DS  
 Données fond de plan : IGN  
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Figure 26. Carte de répartition des stations terrain sur le site de Camargue

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE VILLEPEY

### Localisation des relevés terrain



#### Légende

- Emprise du site d'étude
- station terrain

EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
 Sources des données :  
 - i-Sea, Estérel côte d'azur agglomération  
 - Images (traitement) : série temporelle Pléiades 2023  
 Fonds cartographiques : Pléiades  
 03/03/2023 ©CNES 2022, distribution AIRBUS DS  
 Données fond de plan : IGN  
 Système de coordonnées : EPSG:2154

Figure 27. Carte de répartition des stations terrain sur le site de Villepey

## 2.3 Mise en œuvre pratique

Cette partie décrit la démarche suivie pour chaque site d'étude. Pour le site de la Camargue, il a fallu considérer de traiter chaque masse d'eau de manière indépendante.

L'ensemble des données collectées sur le terrain a été uniformisé dans le but d'attribuer une classe à chacun des échantillons. Ces échantillons sont répartis au sein de l'ensemble des classes. Les données d'apprentissage au format shape de points ont été converties automatiquement en polygones sous SIG (buffer), et superposées aux images Pléiades. Chacun des polygones a été corrigé et étendu de façon à correspondre aux limites visibles sur les supports de référence. Un certain nombre de polygones a été repris et corrigé par photo-interprétation, cela afin de ne contenir qu'une seule classe d'occupation « visible » comme par exemple la présence de sédiment nu dans un polygone de végétation. Cette étape est cruciale dans notre méthodologie de cartographie. En effet, le niveau de précision de la classification produite (d'un point de vue spatial et typologique) dépend essentiellement de la qualité et de la représentativité de cette base de données de référence.

Compte tenu de la structure de nos données de référence, nous avons choisi de travailler au niveau pixel (et non polygone) pour la détermination de pixels d'apprentissage et de test. En effet, certaines classes possèdent un nombre réduit de polygones ; séparer alors les polygones en apprentissage et test ne permet pas d'appréhender une variabilité suffisante pour bien apprendre à reconnaître la classe considérée. Cette sélection des pixels d'apprentissage et de test au sein des mêmes polygones sera à prendre en compte pour l'interprétation des résultats. La méthode appliquée pour la constitution de la base de données d'apprentissage et la base de données de test est décrite ci-dessous :

- Tirage aléatoire au sein des polygones : 50% des pixels pour l'ensemble d'apprentissage et 50% utilisés pour l'ensemble d'évaluation (test),
- Pour l'apprentissage : Equilibrage du nombre d'échantillons par classe à l'aide du nombre d'échantillons de la plus petite classe,
- Evaluation (test) sur la totalité des pixels de l'ensemble de test.

Ces évaluations ont été réalisées en mode « équilibré », c'est-à-dire en prenant en compte le même nombre de pixels de test pour chacune des classes. Le nombre de pixels de la plus petite classe a été retenu. Nous avons fait ce choix car la BD d'apprentissage était très déséquilibrée (certaines classes étaient sur-représentées et auraient pu biaiser fortement l'évaluation des classifieurs). Cette évaluation est présentée sous forme de matrices de confusion (tableau de contingence croisant prédictions et données de référence) et au calcul de la précision globale (proportion de pixels bien classés). Après l'étape d'évaluation du modèle fitté, un modèle complet, utilisant 100% des échantillons disponibles par lagune a été entraîné et appliqué pour produire la cartographie brute.

### 2.3.1 Post-traitements automatiques

Dans un premier temps, la prédiction brute (ou résultat de la classification) au niveau pixel est régularisée, un filtre majoritaire de rayon 2 pixels est appliqué. Cette première régularisation permet de lisser localement de potentiels « bruits » de classification. Le résultat régularisé de la

prédiction des classes d'intérêt au niveau pixel est ensuite converti en format vecteur. La table attributaire de ce vecteur est uniformisée et mise à jour avec notamment le calcul des surfaces des polygones.

### 2.3.2 Post-traitements manuels

Des corrections manuelles ont été appliquées afin d'éviter les erreurs grossières et de suivre les recommandations et retours critiques réalisées par les gestionnaires de chaque site. Des polygones qui étaient mal classés ont été sélectionnés puis re-labellisés dans la classe la plus logique thématiquement et en fonction de ce qui était visible en photo-interprétation. Ces règles injectent du bon sens dans la cartographie et permettent de corriger bon nombre d'erreurs observées et analysées. Dans le cas de la Camargue, les zones géographiques de turbidité constante et/ou de trop grande profondeur d'eau, ont été relabellisés en « méthode non applicable » et sont donc exclues. De plus, la masse d'eau Lion Dame n'a pas été prise en compte dans le processus de cartographie car le terrain a indiqué la présence d'une seule UT de la typologie, qui a été attribué manuellement au polygone de cette masse d'eau.

## 3 Résultats

### 3.1 Evaluation des classifications

Cette section présente les résultats obtenus pour l'évaluation des performances de classification de l'ensemble des modèles *Random Forest* utilisés pour produire les cartographies finales. Un guide de lecture des matrices de confusion est illustré par la Figure 28.

L'ensemble des matrices est fourni avec les couches cartographiques correspondantes. Il convient de les analyser classe par classe pour une interprétation fine des résultats. Les matrices permettent d'observer la dispersion des erreurs de prédiction et ainsi de comprendre de potentielles confusions dans les résultats cartographiques.

Le F-score est une métrique robuste pour évaluer les performances du modèle de classification pour la reconnaissance de chacune des classes. Il permet de mesurer la capacité d'un modèle à bien prédire les individus ou observations d'une classe donnée, en prenant en compte à la fois les erreurs omissions (prédiction d'une autre classe pour une observation de la classe considérée, sous-prédiction) et de commissions (prédiction de la classe considérée pour une observation d'une autre classe, sur-prédiction).

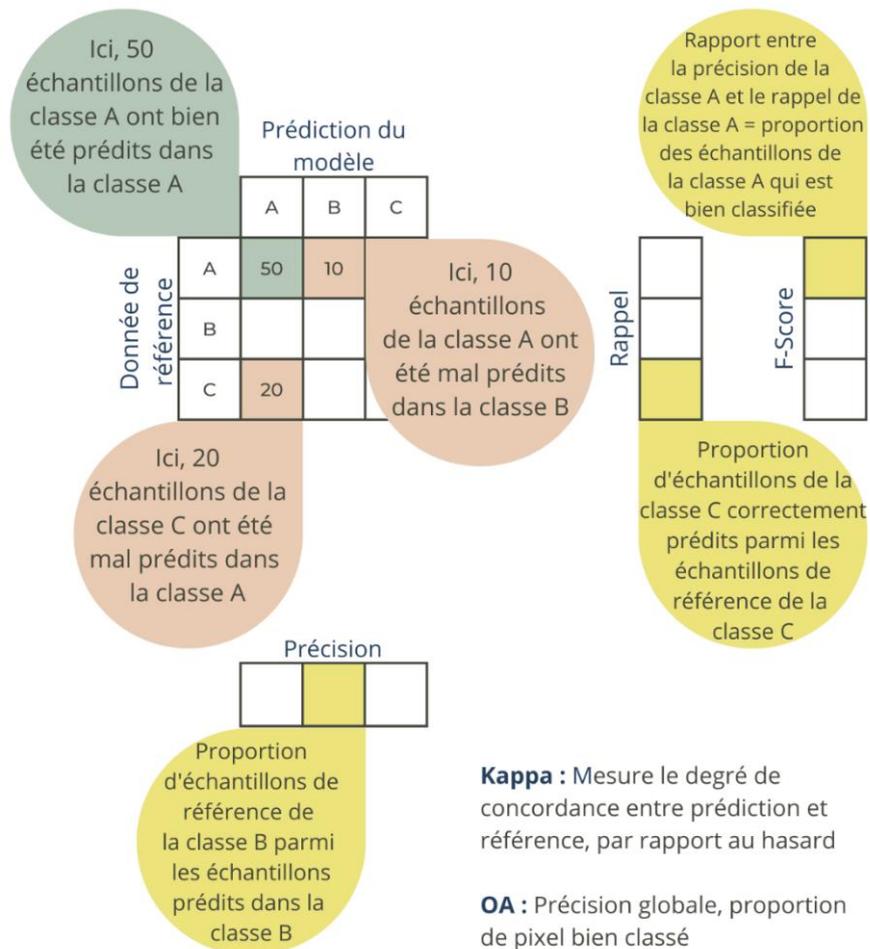


Figure 28. Guide de lecture d'une matrice de confusion

### 3.1.1.1 Evaluation cartographique de la lagune de Salses-Leucate

Une précision globale de 73,6% est obtenue pour le modèle du site de Salses-Leucate (Figure 29). Cette précision est à relativiser à l'aide du nombre d'échantillons par classe. En effet, l'UT « Mélange algues vertes, rouges et/ou brunes » possède le plus faible nombre d'échantillons (5), le jeu de données a donc été équilibré en fonction de cette UT (Tableau 6). Le score est satisfaisant et permet d'envisager avec une confiance relativement bonne l'utilisation de la cartographie produite. Les principales confusions observées se retrouvent entre des classes similaires ou très proches.

Le F-Score est un bon indicateur de la proportion des échantillons de chaque classe qui est bien classifiée (Figure 30). Les scores les moins forts concernent l'UT « Magnoliophytes (25-75%) x Algues rouges et/ou brunes (25-75%) » avec un F-Score de l'ordre de 57,14% et l'UT « Magnoliophytes marines pures (*Z. Noltii* et/ou *Z. Marina* et/ou *R. Cirrhosa*) (75-100%) » avec un F-Score de l'ordre de 58,54%.



Figure 29. Matrice de confusion obtenue sur l'ensemble de test pour le site de Salses-Leucate.

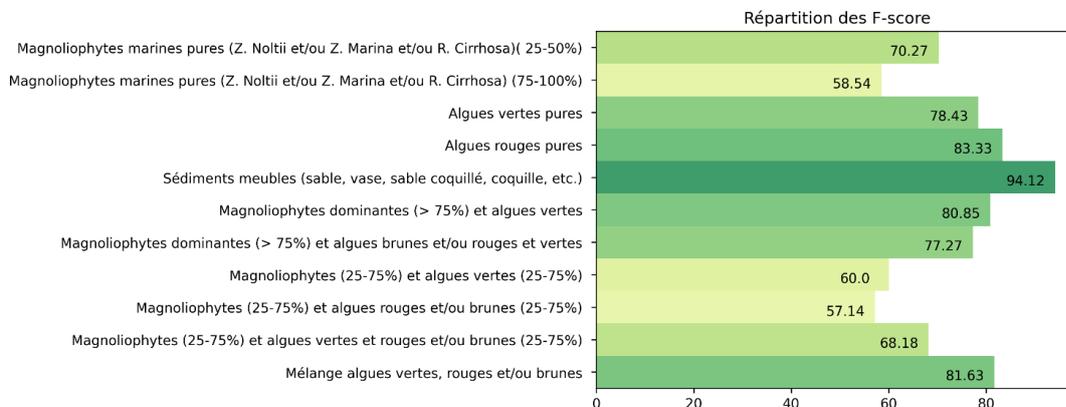


Figure 30. Répartition des F-scores selon les UTs pour le site de Salses-Leucate.

### 3.1.1.2 Evaluation cartographique de la lagune de Vendres

Une précision globale de 99,6% est obtenue pour le modèle du site de Vendres (Figure 31). Cette précision est à relativiser à l'aide du nombre d'échantillons par classe. En effet, l'UT « Magnoliophytes marines pures (*Z. Noltii* et/ou *Z. Marina* et/ou *R. Cirrhosa*) (75-100%) » possède le plus faible nombre d'échantillons (15), le jeu de données a donc été équilibré en fonction de cette UT (Tableau 7). Le score est satisfaisant et permet d'envisager avec une confiance très bonne l'utilisation de la cartographie produite.

### 3.1.1.3 Evaluation cartographique de la lagune de Bagnas

Une précision globale de 83,6% est obtenue pour le modèle du site de Bagnas (Figure 32). Cette précision est à relativiser à l'aide du nombre d'échantillons par classe. En effet, l'UT « Magnoliophytes aquatiques pures (50-75%) » possède le plus faible nombre d'échantillons (4), le jeu de données a donc été équilibré en fonction de cette UT (Tableau 8). Le score est satisfaisant et permet d'envisager avec une confiance relativement bonne l'utilisation de la cartographie produite. Les principales confusions observées se retrouvent entre des classes similaires ou très proches.

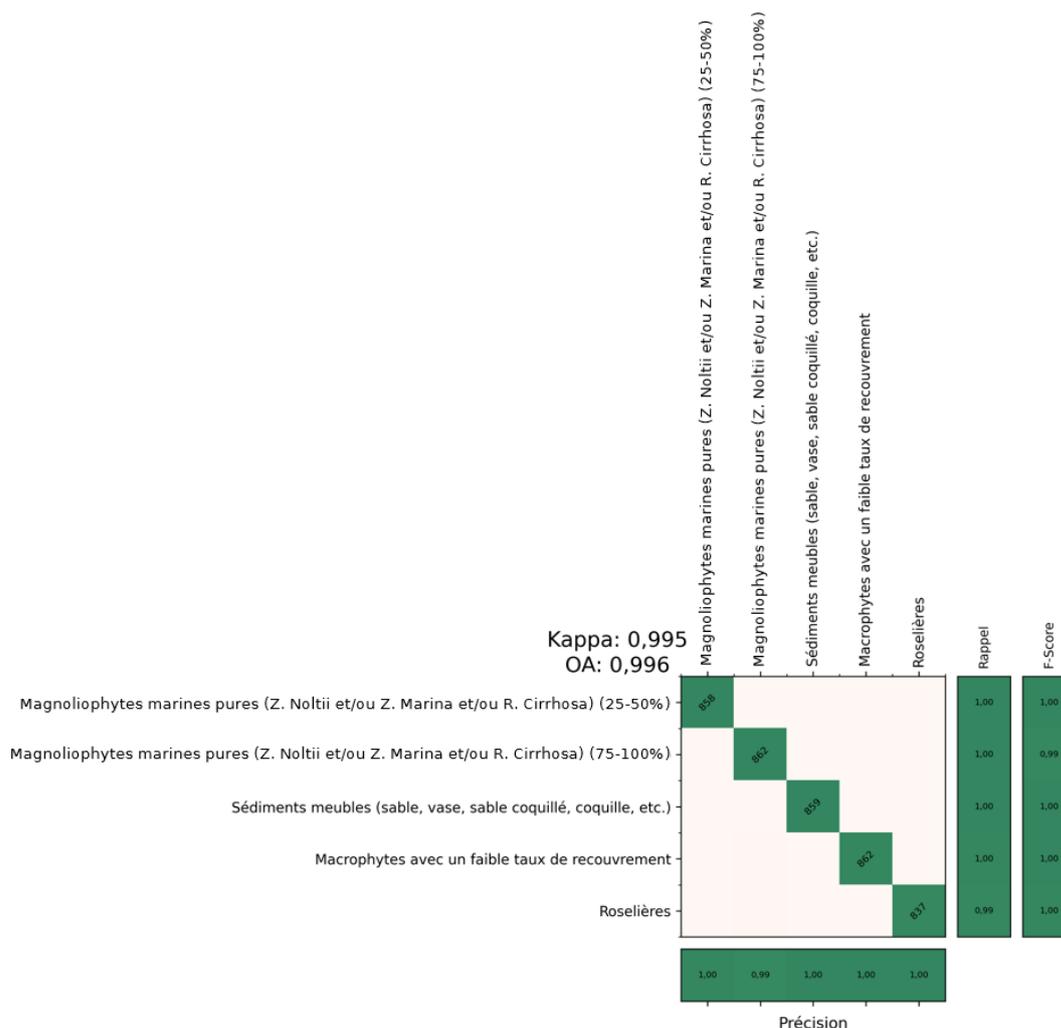


Figure 31. Matrice de confusion obtenue sur l'ensemble de test pour le site de Vendres.

Le F-Score est un bon indicateur de la proportion des échantillons de chaque classe qui est bien classifiée (Figure 33). Les scores les moins forts concernent l'UTs « Magnoliophytes aquatiques pures (25-50%) » avec un F-Score de l'ordre de 76,77% et l'UT « Magnoliophytes aquatiques pures (50-75%) » avec un F-Score de l'ordre de 77,55%.

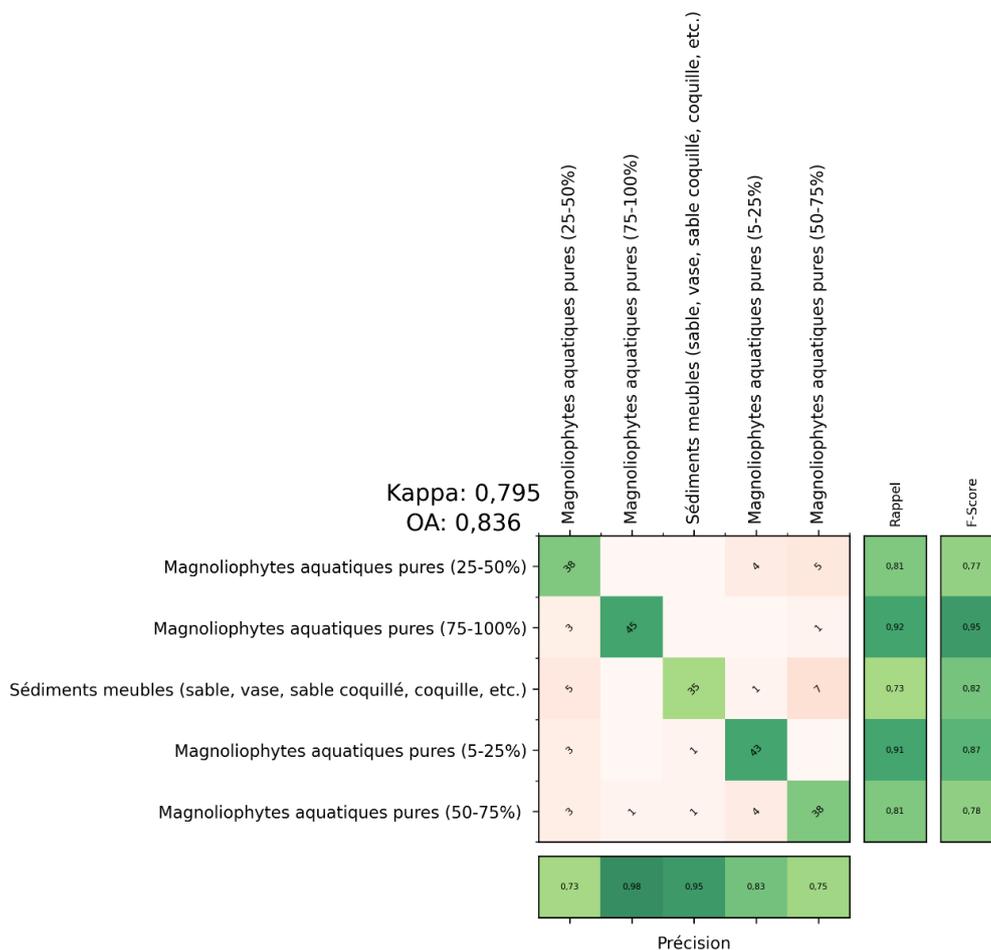


Figure 32. Matrice de confusion obtenue sur l'ensemble de test pour le site de Bagnas.

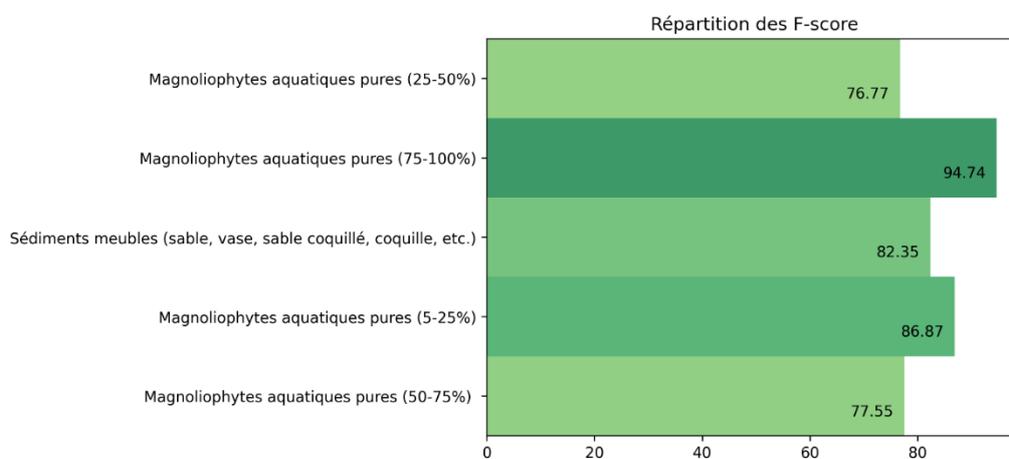


Figure 33. Répartition des F-scores selon les UTs pour le site de Bagnas.

### 3.1.1.4 Evaluation cartographique de la lagune de Thau

Une précision globale de 95,1% est obtenue pour le modèle du site de Thau (Figure 34). Cette précision est à relativiser à l'aide du nombre d'échantillons par classe. En effet, l'UT « Fonds rocheux sans algues fixées » possède le plus faible nombre d'échantillons (4), le jeu de données a donc été équilibré en fonction de cette UT (Tableau 9). Le score est satisfaisant et permet d'envisager avec une confiance relativement bonne l'utilisation de la cartographie produite par la prédiction de ce modèle de classification supervisée.

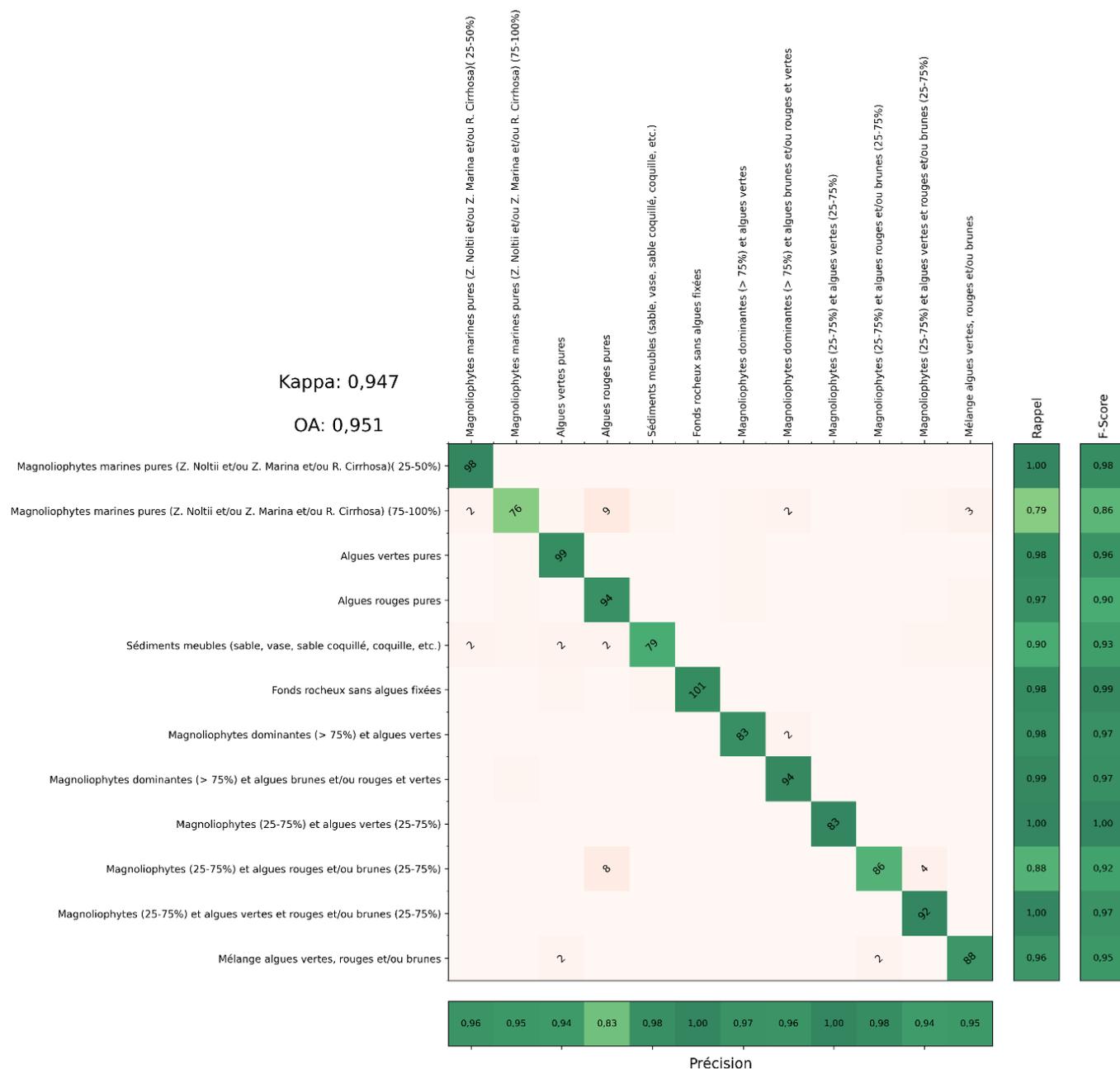


Figure 34. Matrice de confusion obtenue sur l'ensemble de test pour le site de Thau.

Le F-Score est un bon indicateur de la proportion des échantillons de chaque classe qui est bien classifiée (Figure 35). Le score le moins fort concernent l'UTs « Magnoliophytes marines pures (*Z. Noltii* et/ou *Z. Marina* et/ou *R. Cirrhosa*) (75-100%) » avec un F-Score de l'ordre de 86,36%.

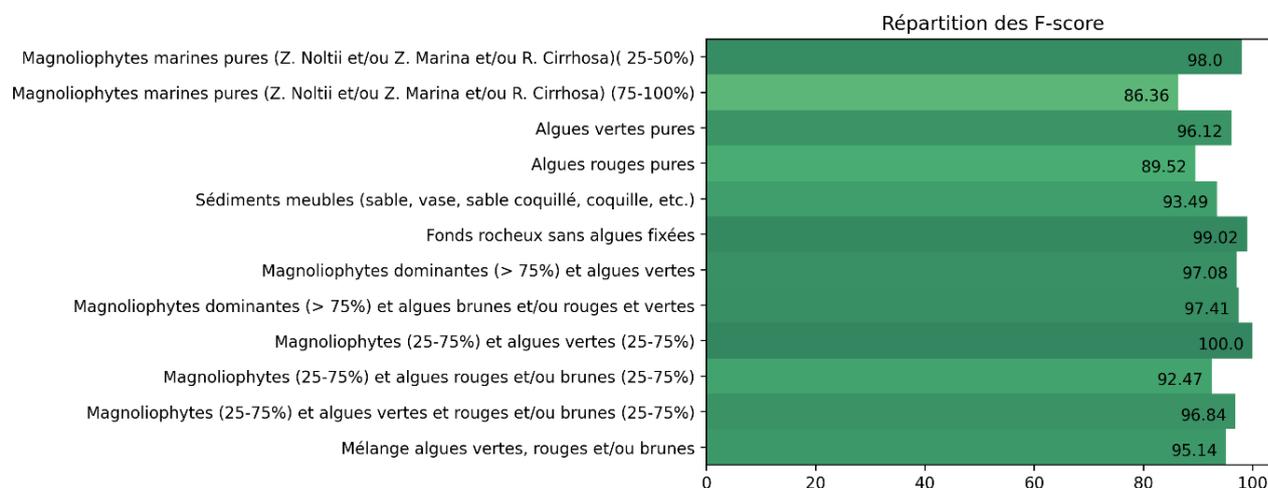


Figure 35. Répartition des F-scores selon les UTs pour le site de Thau

### 3.1.1.5 Evaluation cartographique des lagunes des Palavasiens

Une précision globale de 96,2% est obtenue pour le modèle du site des Palavasiens (Figure 36). Cette précision est à relativiser à l'aide du nombre d'échantillons par classe. En effet, l'UT « Mélange algues rouges et brunes » possède le plus faible nombre d'échantillons (6), le jeu de données a donc été équilibré en fonction de cette UT (Tableau 10). Le score est satisfaisant et permet d'envisager avec une confiance relativement bonne l'utilisation de la cartographie produit. Les principales confusions observées se retrouvent entre des classes similaires ou très proches.

### 3.1.1.6 Evaluation cartographique de la lagune de Canet

Une précision globale de 99,8% est obtenue pour le modèle du site de Canet (Figure 37). Le score est satisfaisant et permet d'envisager avec une confiance relativement bonne l'utilisation de la cartographie produite. Les principales confusions observées se retrouvent entre des classes similaires ou très proches.

### 3.1.1.7 Evaluation cartographique des lagunes de la Camargue

Un modèle a été effectué indépendamment pour les masses d'eau suivante : Beauduc, Carteau (a), Carteau (b), Icard, Sablons, Sainte Anne et Vaccares. Les masses d'eau d'Impérial, Malagroy Monro et Launes bénéficient du même jeu de données (images et échantillons), un seul modèle pour ces masses d'eau a donc été effectué. Le Tableau 14 récapitule les précisions globales obtenues pour chaque modèle. Les scores sont satisfaisants et permettent d'envisager avec une confiance relativement bonne l'utilisation de la cartographie produite. Les principales confusions observées se retrouvent entre des classes similaires ou très proches.

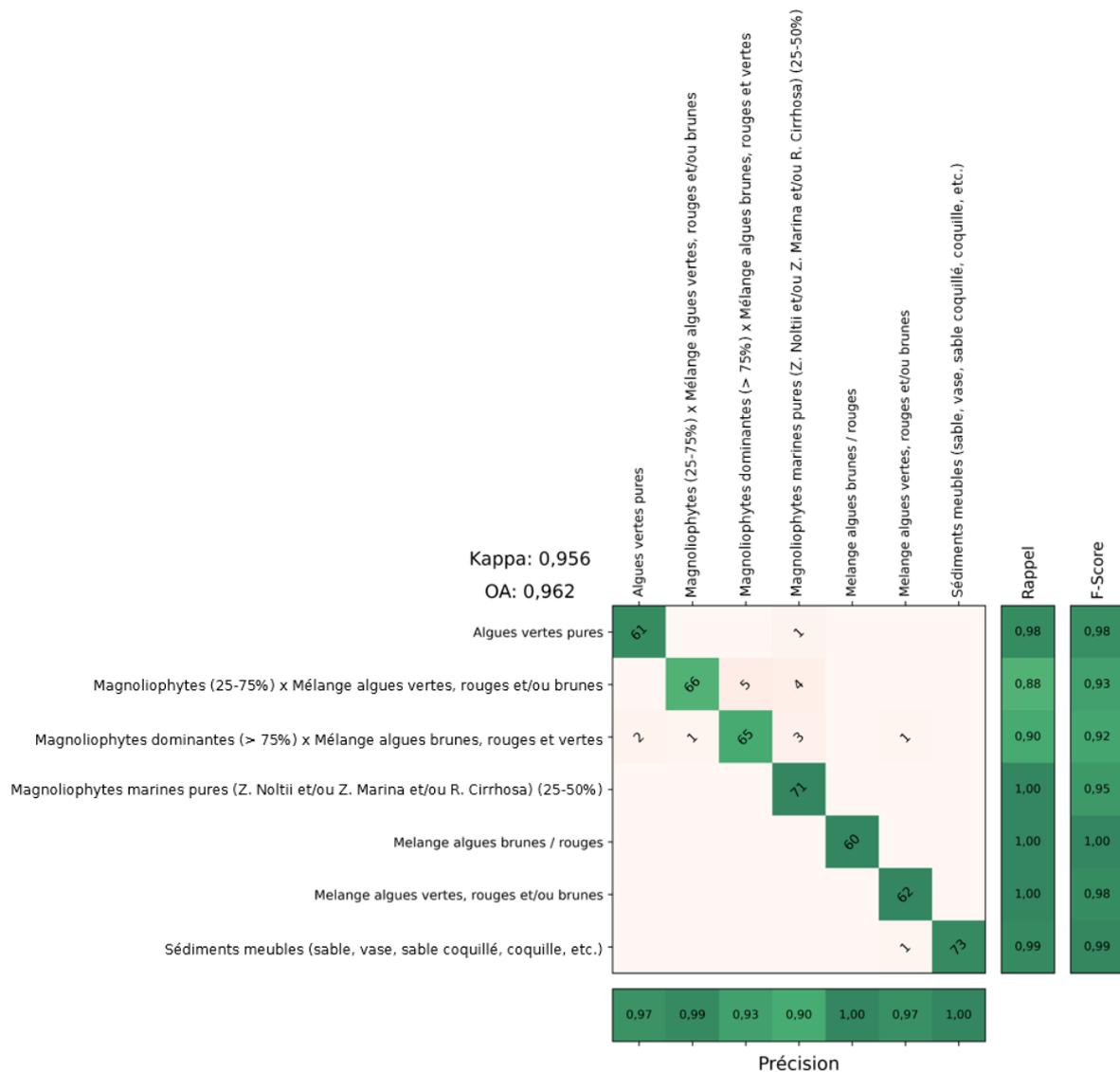


Figure 36. Matrice de confusion obtenue sur l'ensemble de test pour le site des Palavasiens.

### 3.1.1.8 Evaluation cartographique de la lagune de Villepey

Une précision globale de 95,2% est obtenue pour le modèle du site de Villepey (Figure 38). Cette précision est à relativiser à l'aide du nombre d'échantillons par classe. En effet, l'UT « Magnoliophytes dominantes (> 25%) x Algues brunes et/ou rouges et vertes » possède le plus faible nombre d'échantillons (3), le jeu de données a donc été équilibré en fonction de cette UT (Tableau 13). Le score est satisfaisant et permet d'envisager avec une confiance relativement bonne l'utilisation de la cartographie produite par la prédiction de ce modèle de classification supervisée.

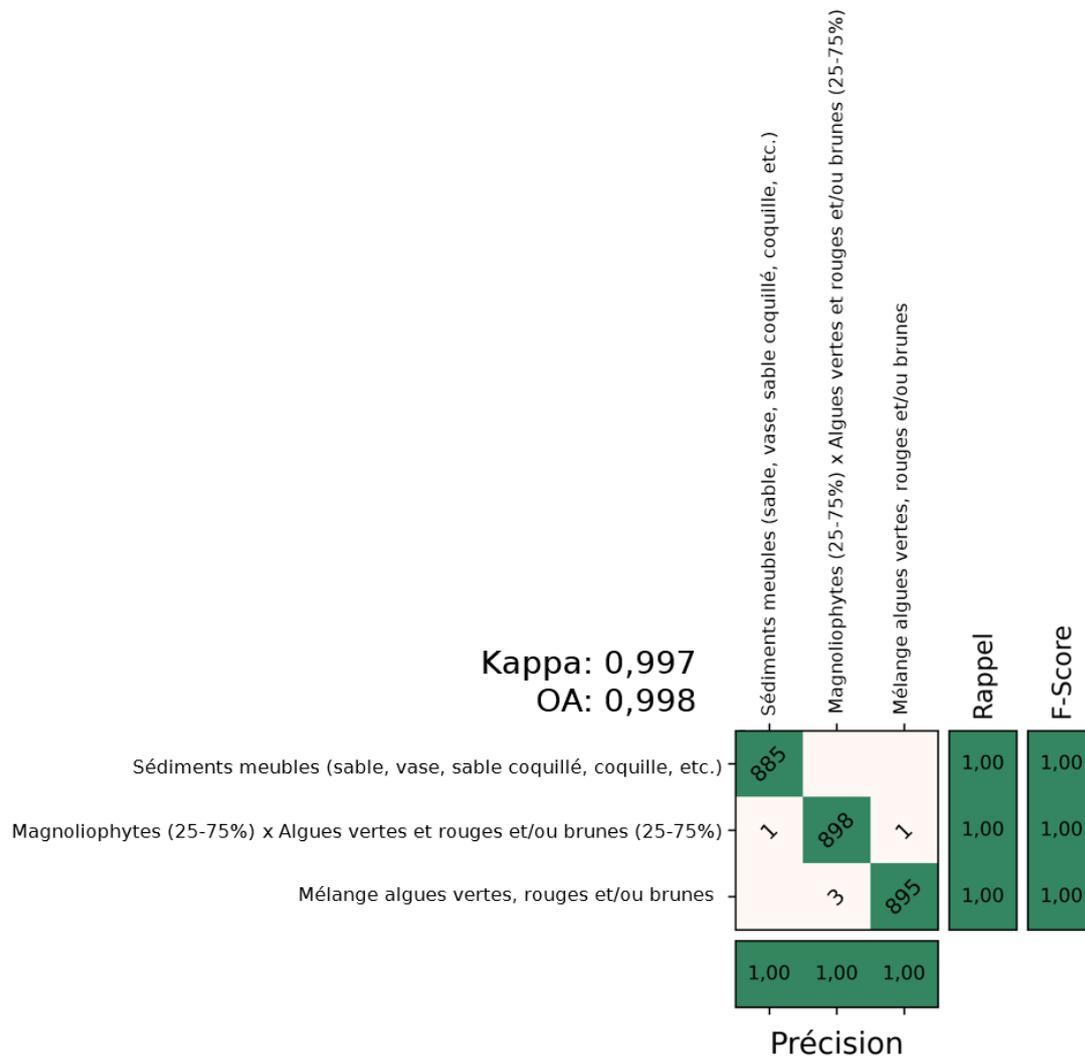


Figure 37. Matrice de confusion obtenue sur l'ensemble de test pour le site de Canet.

Tableau 14. Précision globale obtenue pour les modèles de chaque masse d'eau du site de la Camargue.

Masse d'eau	Précision globale
Beauduc	94,5 %
Carteau (a)	98,0 %
Carteau (b)	90,9 %
Icard	96,6 %
Impérial Malagroy Monro	95,9 %
Launes	99,3 %
Sablons	88,8 %
Sainte Anne	85,6%
Vaccars	85,6%

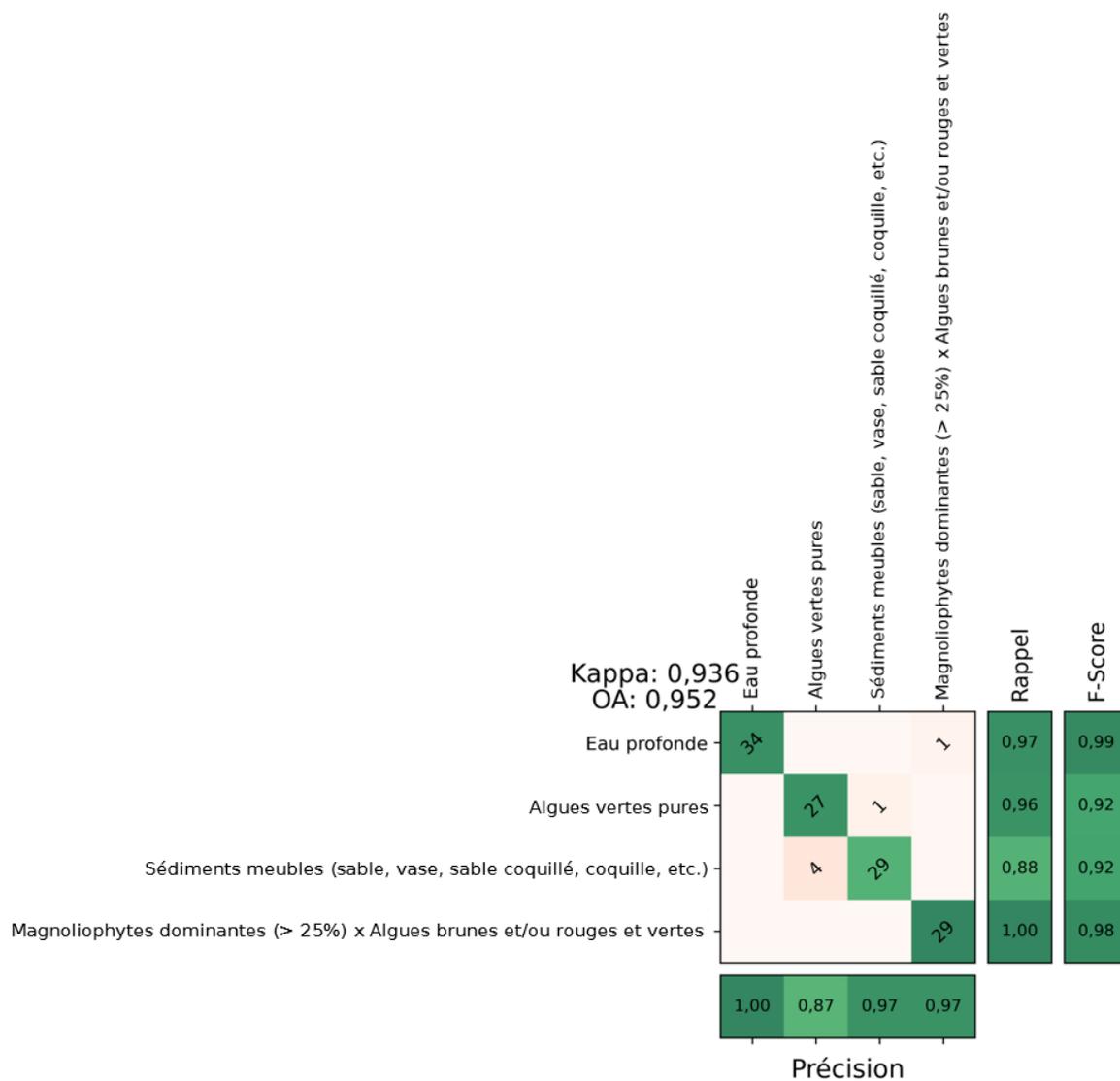


Figure 38. Matrice de confusion obtenue sur l'ensemble de test pour le site de Villepey.

### 3.2 Présentation des résultats cartographiques

Cette ultime section présente les cartographies produites pour chaque site (Figure 39 à Figure 46). Le site de Camargue étant très étendu, un export cartographique par masse d'eau a été produit (Figure 47 à Figure 55).

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE SALSSES LEUCATE

### Cartographie des herbiers des lagunes méditerranéennes par télédétection

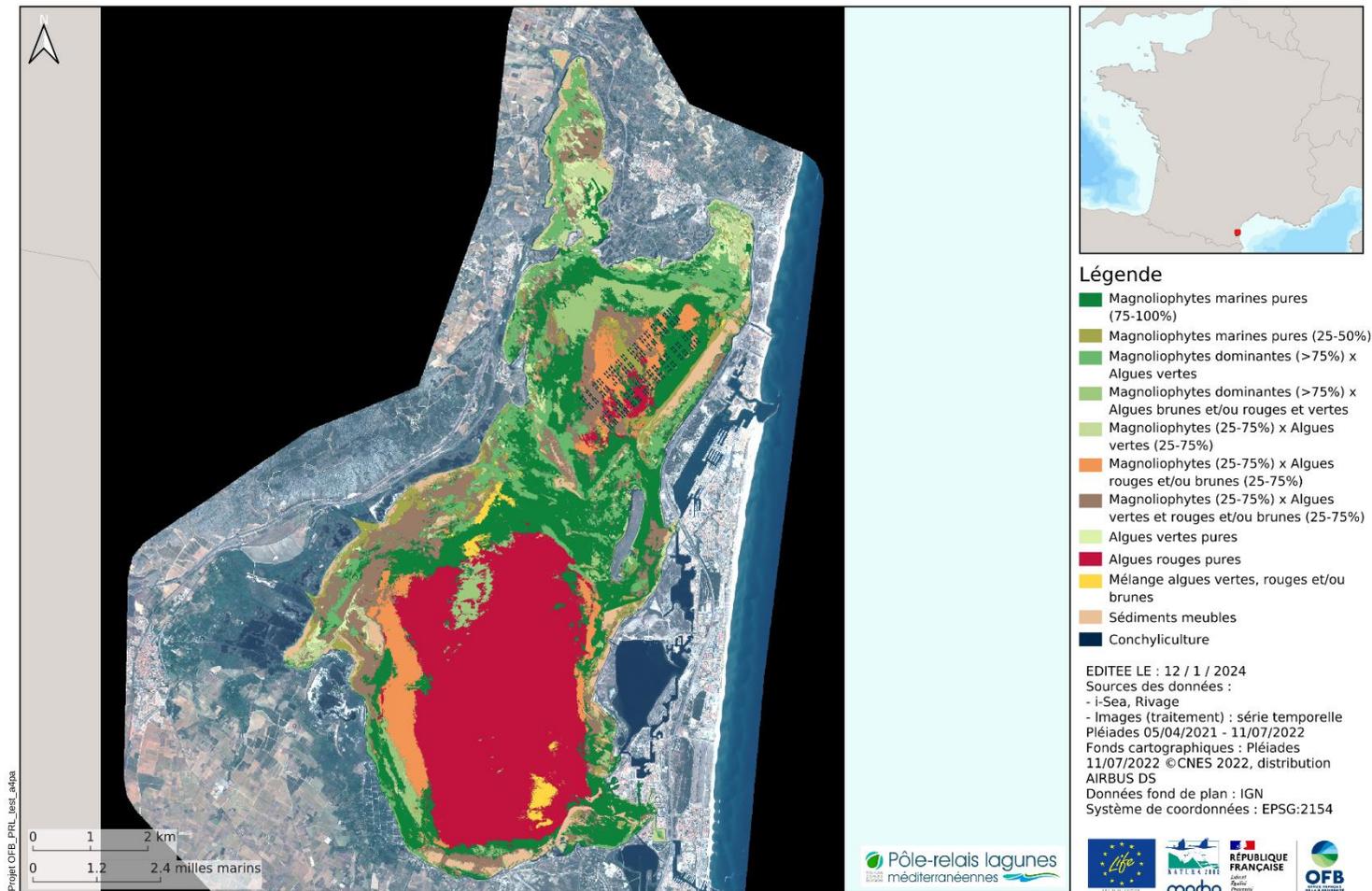
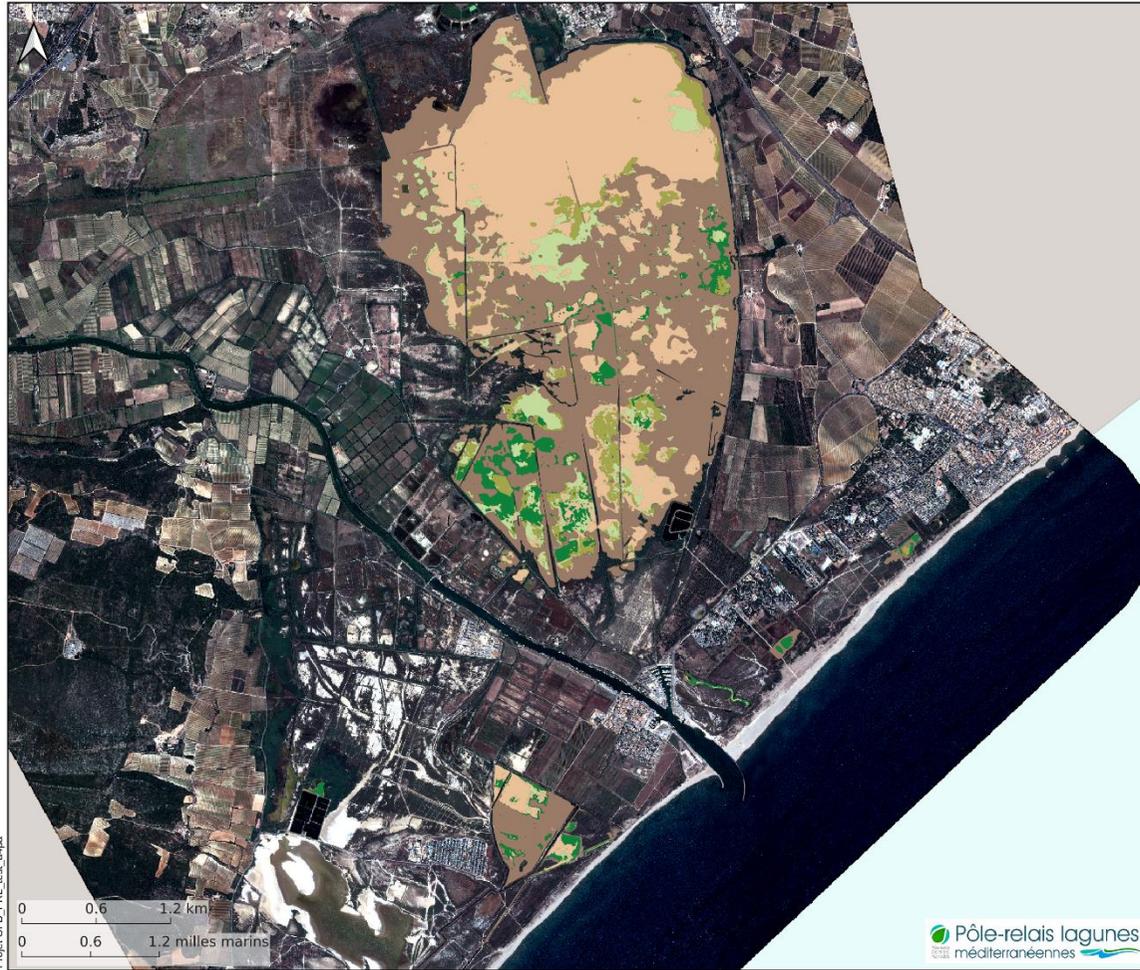


Figure 39. Cartographie des herbiers du site de Salses-Leucate par télédétection multi-temporelle Pléiades

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE VENDRES

### Cartographie des herbiers des lagunes méditerranéennes par télédétection



#### Légende

- Magnoliophytes aquatiques pures (75-100%)
- Magnoliophytes aquatiques pures (25-50%)
- Macrophytes avec un faible taux de recouvrement
- Roselière scirpe tamaris
- Sédiments meubles

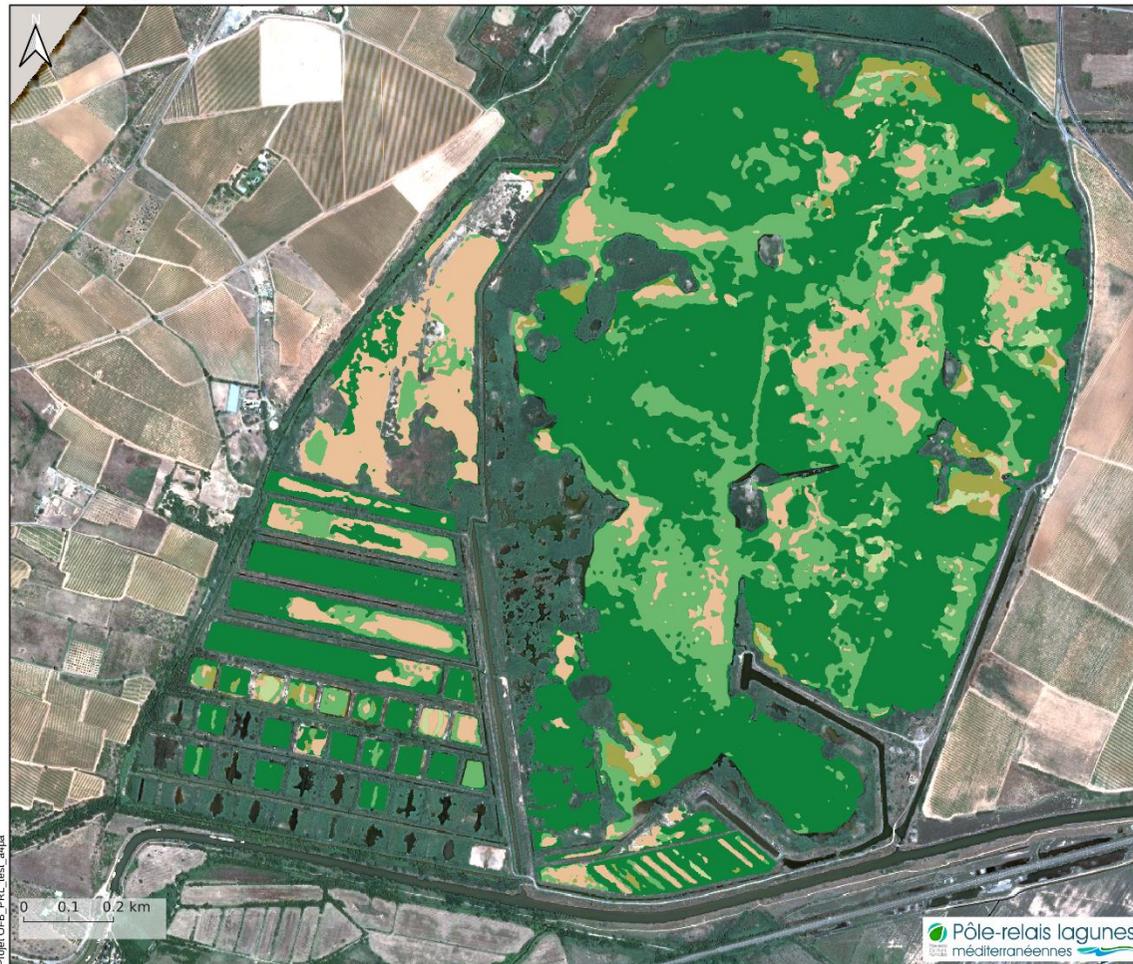
EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
 Sources des données :  
 - i-Sea, La Domitienne  
 - Images (traitement) : série temporelle Pléiades 05/04/2022 - 05/08/2022  
 Fonds cartographiques : Pléiades 11/07/2022 ©CNES 2022, distribution AIRBUS DS  
 Données fond de plan : IGN  
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Figure 40. Cartographie des herbiers du site de Vendres par télédétection multi-temporelle Pléiades

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE BAGNAS

### Cartographie des herbiers des lagunes méditerranéennes par télédétection



#### Légende

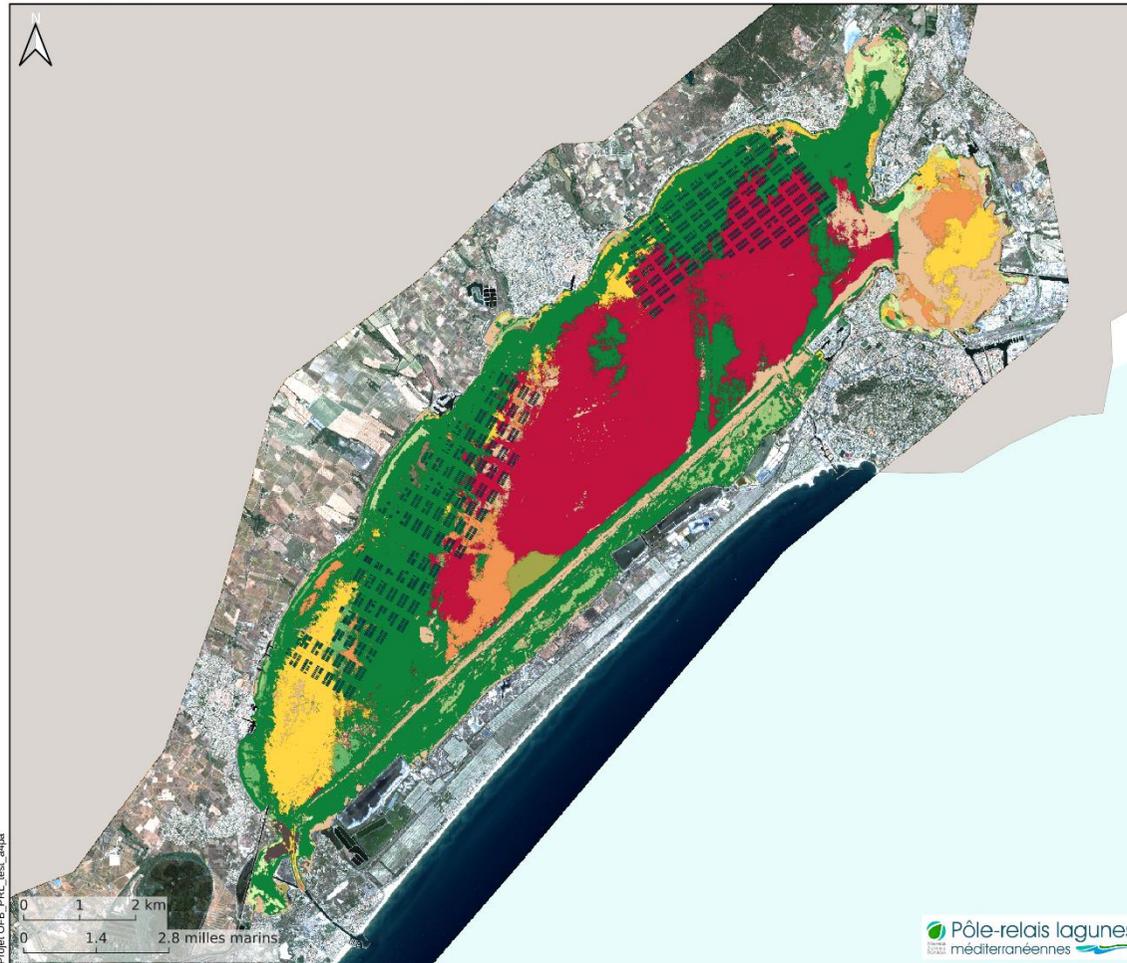
- Magnoliophytes aquatiques pures (75-100%)
- Magnoliophytes aquatiques pures (50-75%)
- Magnoliophytes aquatiques pures (25-50%)
- Magnoliophytes aquatiques pures (5-25%)
- Sédiments meubles

EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
 Sources des données :  
 - i-Sea, ADENA  
 - Images (traitement) : série temporelle Pléiades 12/07/2022 - 05/08/2022  
 Fonds cartographiques : Pléiades 12/07/2022 ©CNES 2022, distribution AIRBUS DS  
 Données fond de plan : IGN  
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Figure 41. Cartographie des herbiers du site de Bagnas par télédétection multi-temporelle Pléiades

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE THAU Cartographie des herbiers des lagunes méditerranéennes par télédétection



### Légende

- Magnoliophytes marines pures (75-100%)
- Magnoliophytes marines pures (25-50%)
- Magnoliophytes dominantes (>75%) x Algues vertes
- Magnoliophytes dominantes (>75%) x Algues brunes et/ou rouges et vertes
- Magnoliophytes (25-75%) x Algues vertes (25-75%)
- Magnoliophytes (25-75%) x Algues rouges et/ou brunes (25-75%)
- Magnoliophytes (25-75%) x Algues vertes et rouges et/ou brunes (25-75%)
- Algues vertes pures
- Algues rouges pures
- Mélange algues vertes, rouges et/ou brunes
- Sédiments meubles
- Fonds rocheux sans algues fixées
- Conchyliculture

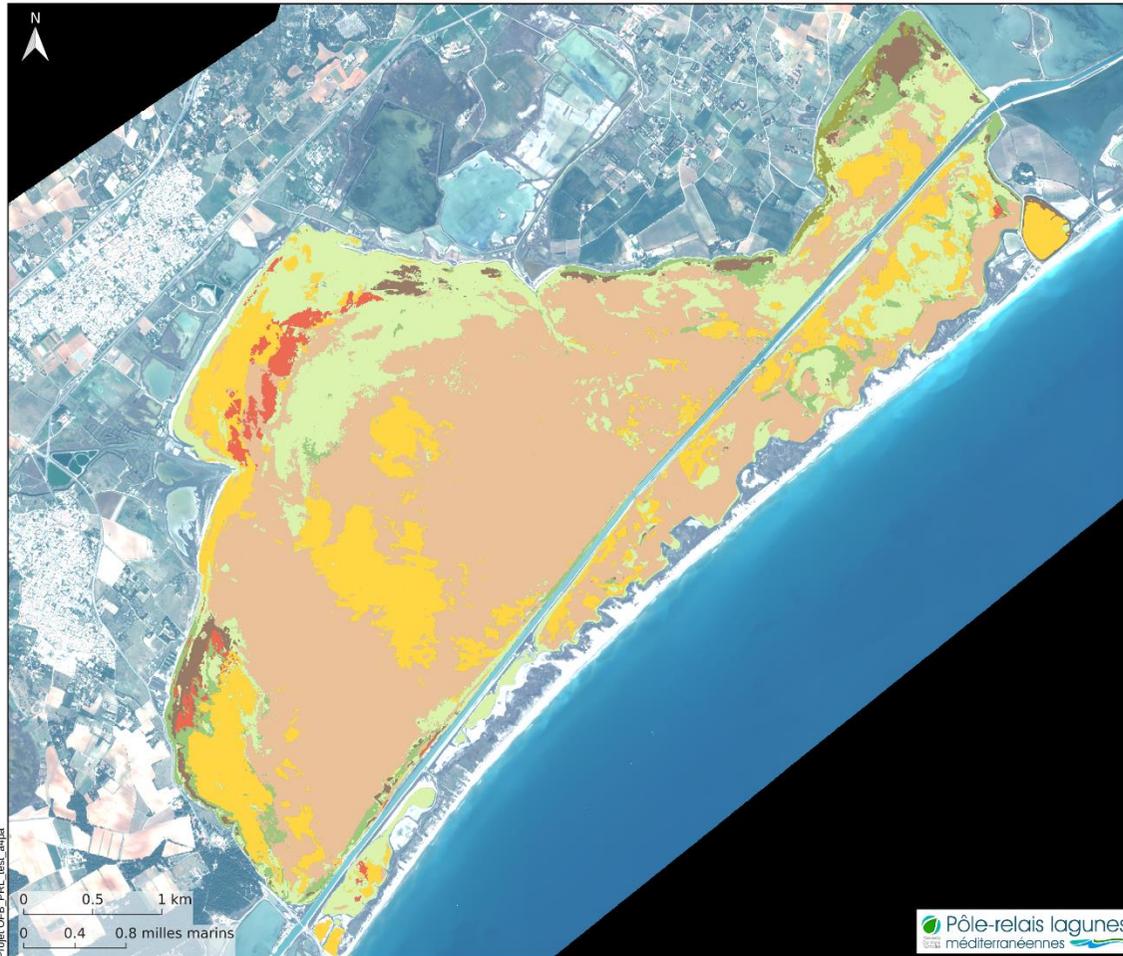
EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
 Sources des données :  
 - i-Sea, SMBT  
 - Images (traitement) : série temporelle Pléiades 05/04/2022 - 20/11/2022  
 Fonds cartographiques : Pléiades 11/07/2022 ©CNES 2022, distribution AIRBUS DS  
 Données fond de plan : IGN  
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Figure 42. Cartographie des herbiers du site de Thau par télédétection multi-temporelle Pléiades

## COMPLEXE LAGUNAIRE DES PALAVASIENS

### Cartographie des herbiers des lagunes méditerranéennes par télédétection



#### Légende

- Magnoliophytes marines pures (25-50%)
- Magnoliophytes dominantes (>75%) x Mélange algues brunes, rouges et vertes
- Magnoliophytes (25-75%) x Mélange algues vertes, rouges et/ou brunes
- Algues vertes pures
- Mélange algues brunes / rouges
- Mélange algues vertes, rouges et/ou brunes
- Sédiments meubles

EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
 Sources des données :  
 - i-Sea, SYBLE  
 - Images (traitement) : série temporelle Pléiades 18/04/2022 - 06/09/2023  
 Fonds cartographiques : Pléiades 18/04/2023 ©CNES 2022, distribution AIRBUS DS  
 Données fond de plan : IGN  
 Système de coordonnées : EPSG:2154



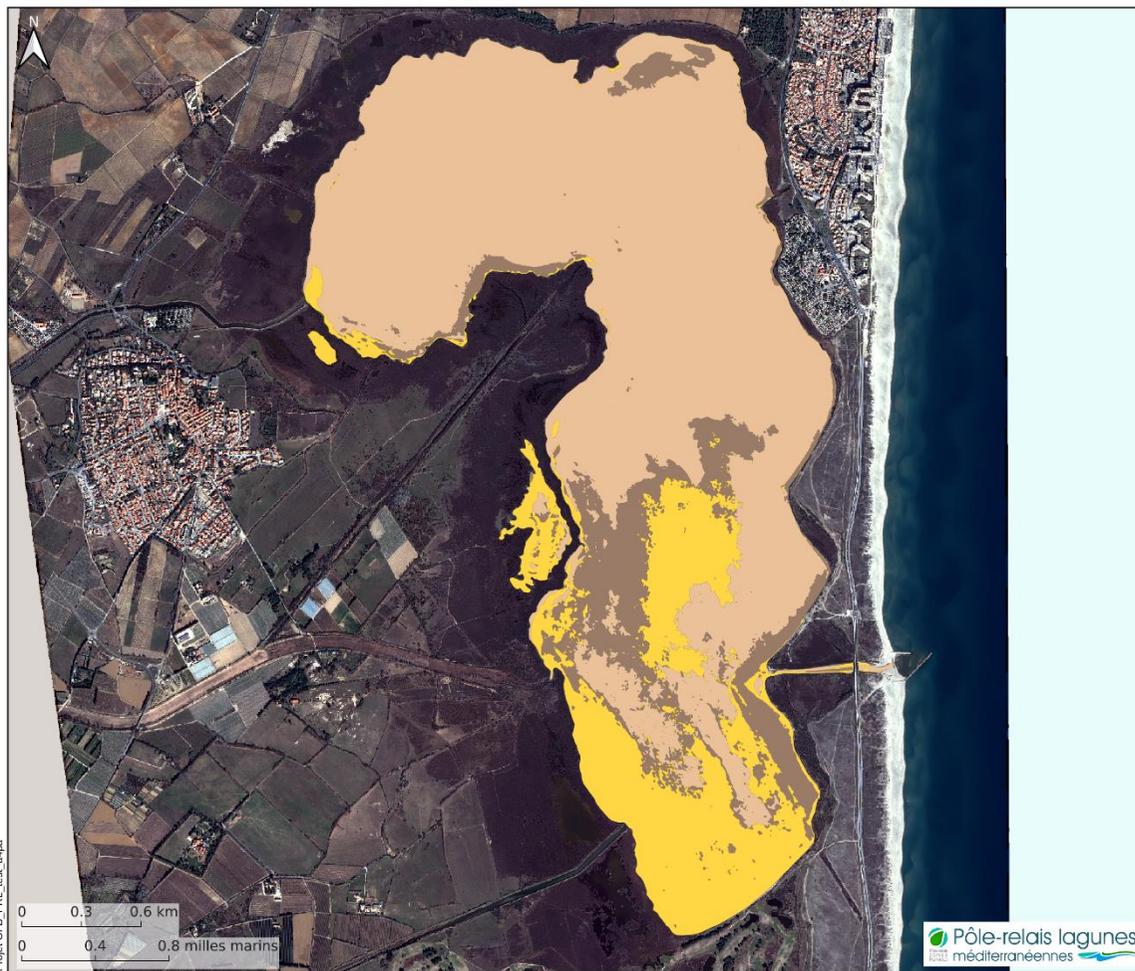
Figure 43. Cartographie des herbiers du site des Palavasiens par télédétection multi-temporelle Pléiades

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE CANET

### Cartographie des herbiers des lagunes méditerranéennes par télédétection

Réart

i-Sea  
BIODIVERSITE



#### Légende

- Magnoliophytes (25-75%) x  
Algues vertes et rouges et/ou  
brunes (25-75%)
- Mélange algues vertes, rouges  
et/ou brunes
- Sédiments meubles

EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
Sources des données :  
- i-Sea, SMBVR  
- Images (traitement) : série temporelle  
Pléiades 11/07/2022 - 17/02/2023  
Fonds cartographiques : Pléiades  
17/02/2023 ©CNES 2022, distribution  
AIRBUS DS  
Données fond de plan : IGN  
Système de coordonnées : EPSG:2154

Pôle-relais lagunes  
méditerranéennes



Figure 44. Cartographie des herbiers du site de Canet par télédétection multi-temporelle Pléiades

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE CAMARGUE

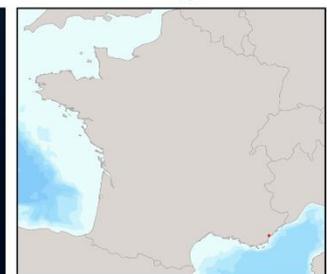
### Cartographie des herbiers des lagunes méditerranéennes par télédétection



Figure 45. Cartographie des herbiers du site de Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades (vue d'ensemble)

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE VILLEPEY

### Cartographie des herbiers des lagunes méditerranéennes par télédétection



#### Légende

- Magnoliophytes dominantes (>25%) x Algues brunes et/ou rouges et vertes
- Algues vertes pures
- Sédiments meubles
- Eau profonde

EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
 Sources des données :  
 - i-Sea, Estérel côte d'azur agglomération  
 - Images (traitement) : série temporelle Pléiades 04/03/2023 - 12/07/2023  
 Fonds cartographiques : Pléiades 03/03/2023 ©CNES 2022, distribution AIRBUS DS  
 Données fond de plan : IGN  
 Système de coordonnées : EPSG:2154

Figure 46. Cartographie des herbiers du site de Villepey par télédétection multi-temporelle Pléiades

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE CAMARGUE - BEAUDUC

### Cartographie des herbiers des lagunes méditerranéennes par télédétection

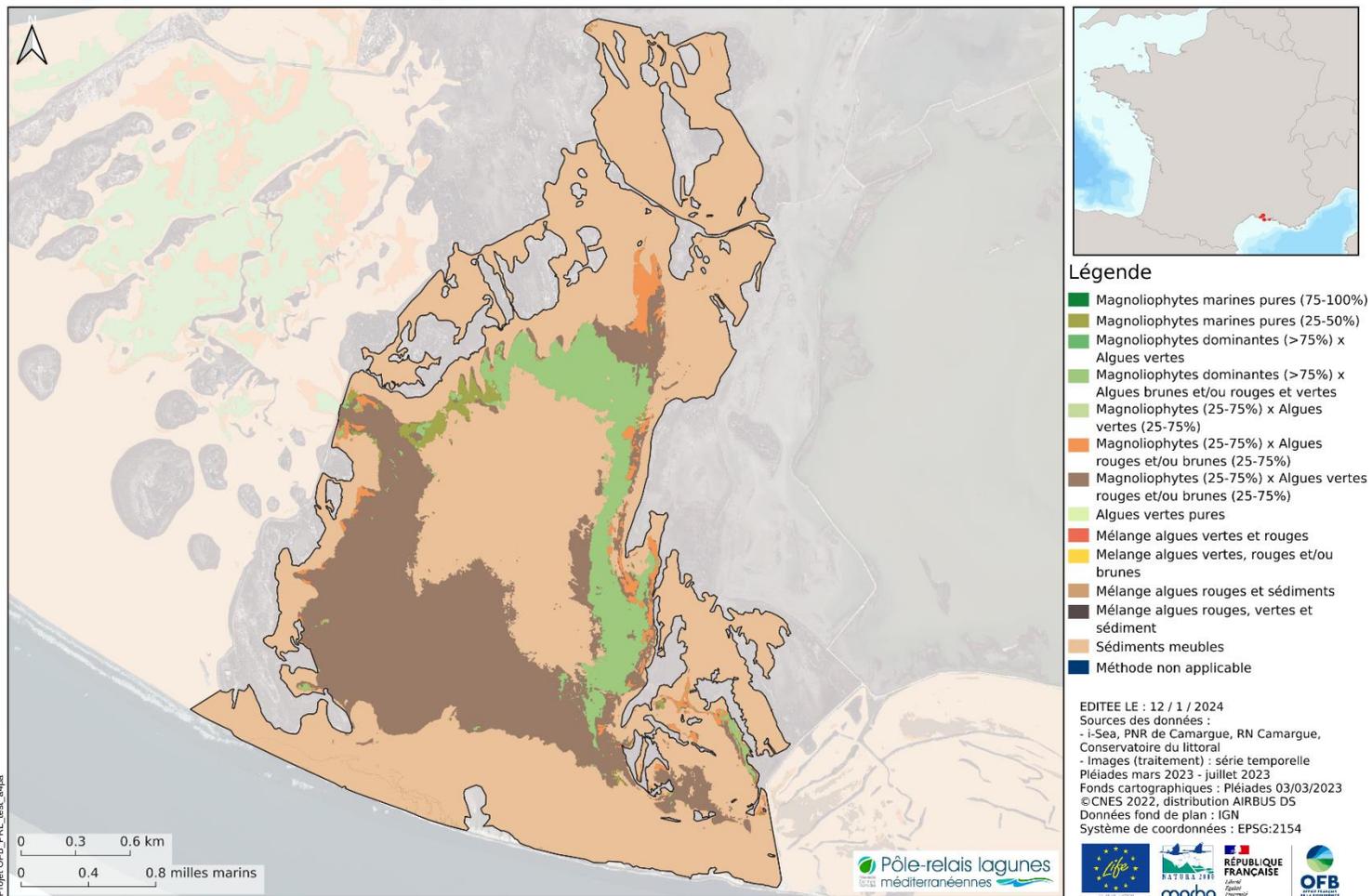


Figure 47. Cartographie des herbiers de la masse d'eau de Beauduc en Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE CAMARGUE - CARTEAU

### Cartographie des herbiers des lagunes méditerranéennes par télédétection

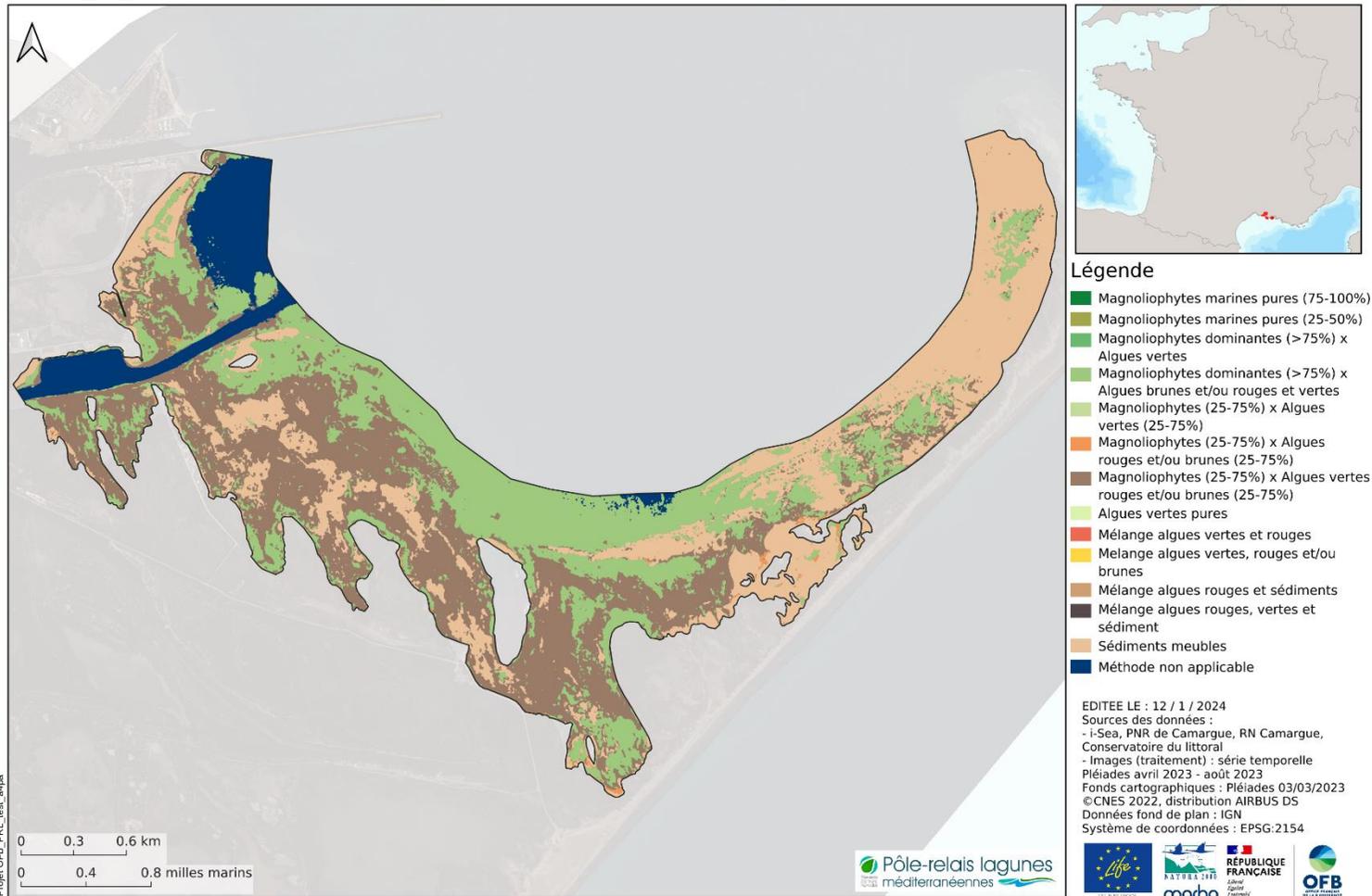


Figure 48. Cartographie des herbiers de la masse d'eau de Carteau en Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE CAMARGUE - ICARD

### Cartographie des herbiers des lagunes méditerranéennes par télédétection

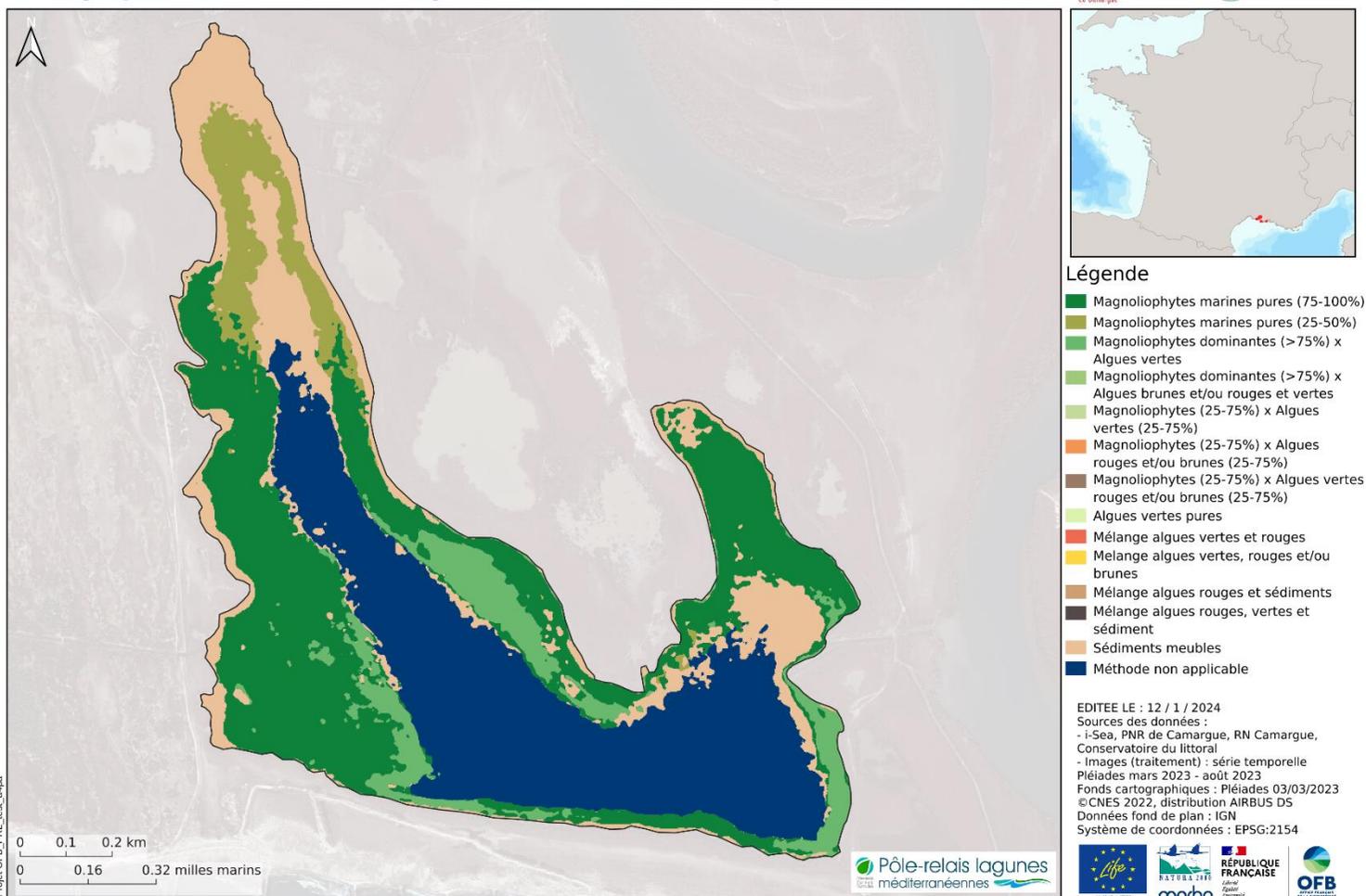


Figure 49. Cartographie des herbiers de la masse d'eau d'Icard en Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE CAMARGUE - IMPERIAL MALAGROY MONRO

### Cartographie des herbiers des lagunes méditerranéennes par télédétection

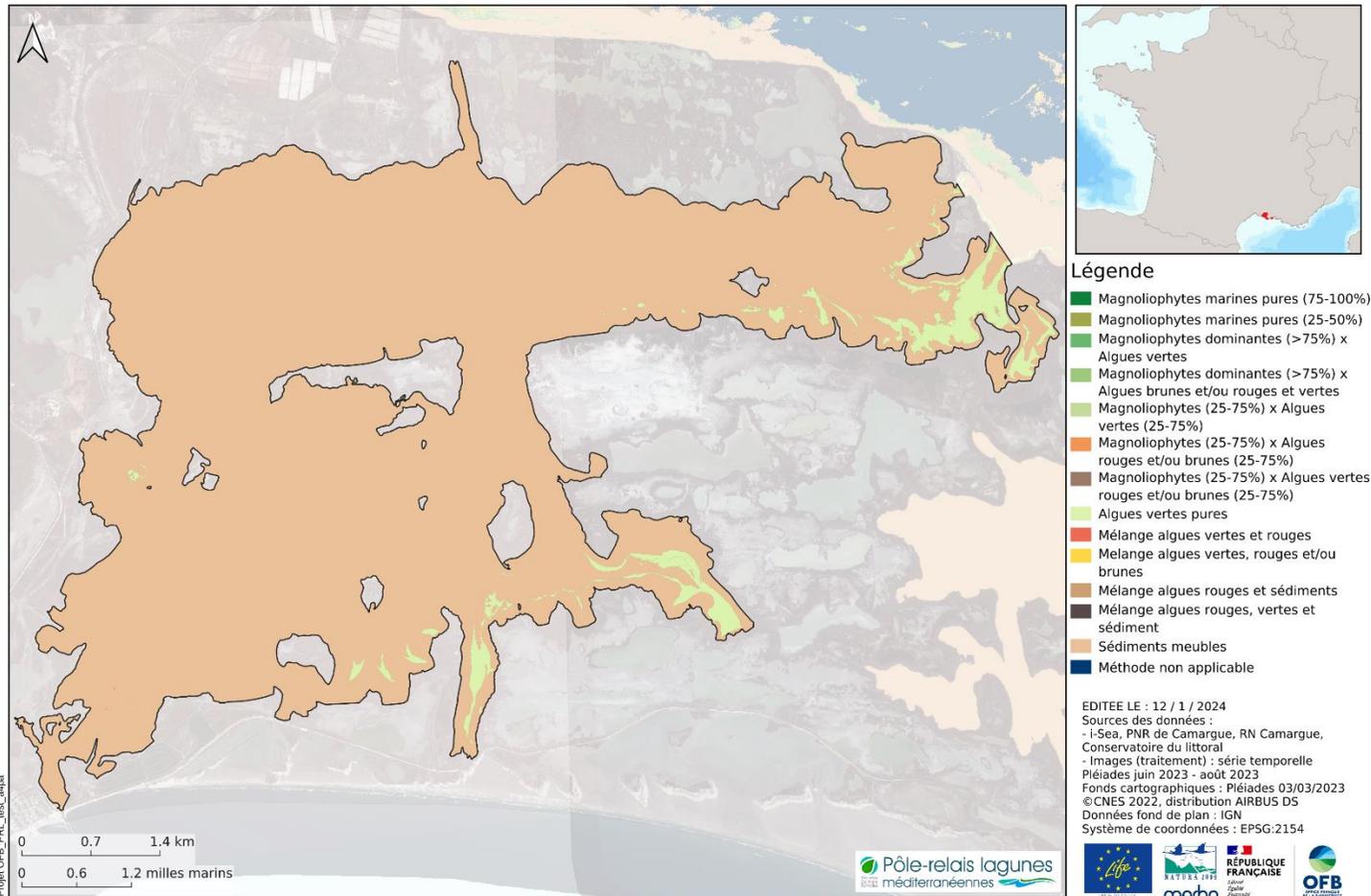


Figure 50. Cartographie des herbiers de la masse d'eau d'Impérial, Malagroy et Monro en Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE CAMARGUE - LAUNE

### Cartographie des herbiers des lagunes méditerranéennes par télédétection

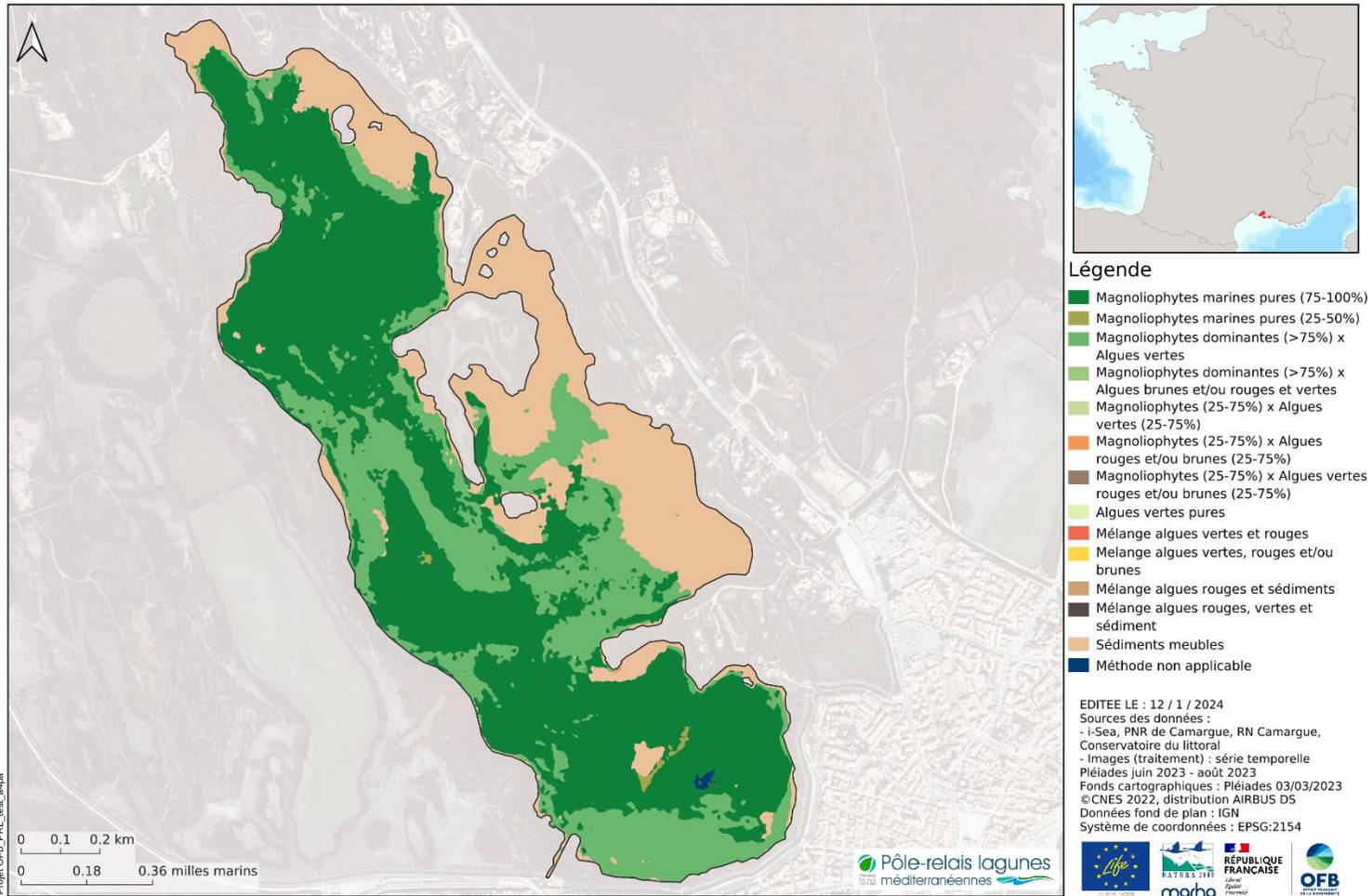
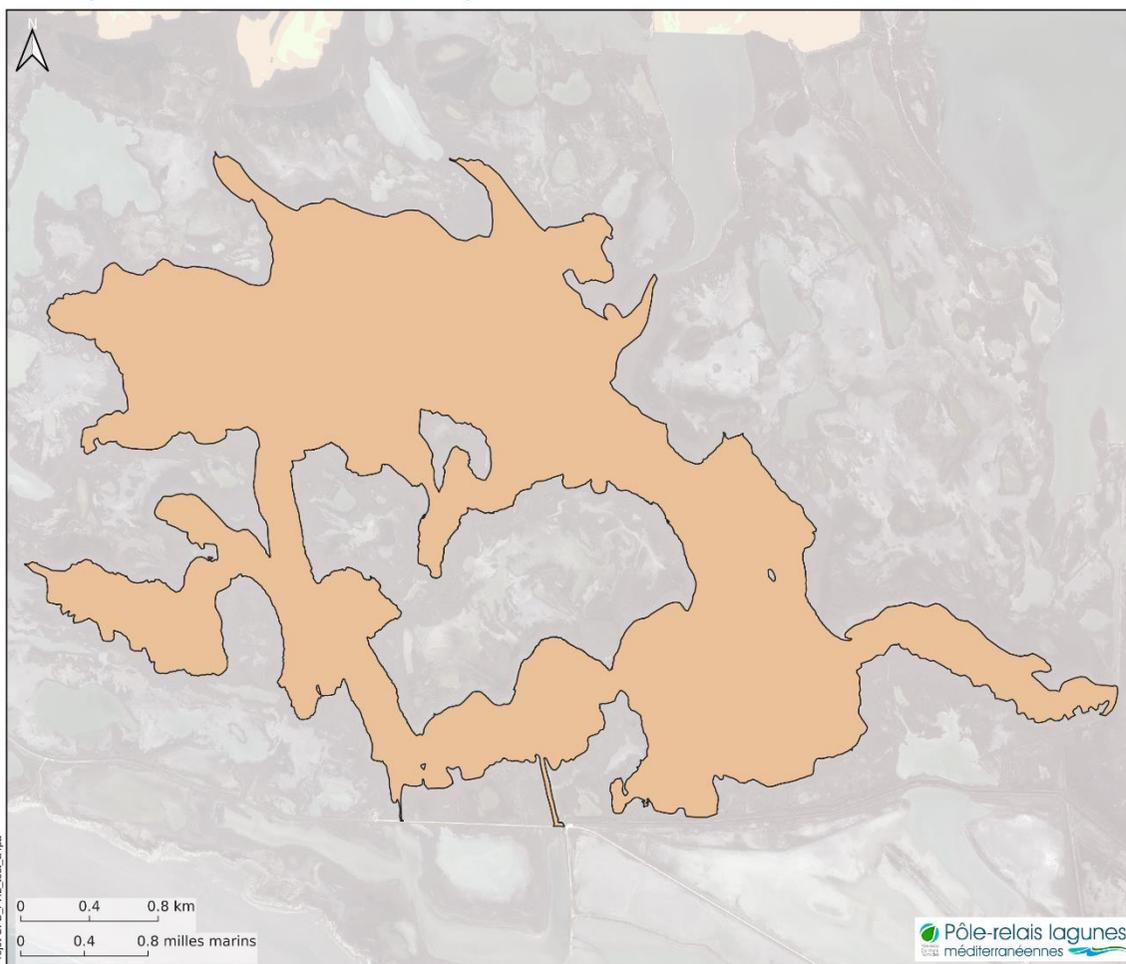


Figure 51. Cartographie des herbiers de la masse d'eau de Laune en Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE CAMARGUE - LION DAME

### Cartographie des herbiers des lagunes méditerranéennes par télédétection



#### Légende

- Magnoliophytes marines pures (75-100%)
- Magnoliophytes marines pures (25-50%)
- Magnoliophytes dominantes (>75%) x Algues vertes
- Magnoliophytes dominantes (>75%) x Algues brunes et/ou rouges et vertes
- Magnoliophytes (25-75%) x Algues vertes (25-75%)
- Magnoliophytes (25-75%) x Algues rouges et/ou brunes (25-75%)
- Magnoliophytes (25-75%) x Algues vertes rouges et/ou brunes (25-75%)
- Algues vertes pures
- Mélange algues vertes et rouges
- Mélange algues vertes, rouges et/ou brunes
- Mélange algues rouges et sédiments
- Mélange algues rouges, vertes et sédiment
- Sédiments meubles
- Méthode non applicable

EDITEE LE : 12 / 1 / 2024  
 Sources des données :  
 - i-Sea, PNR de Camargue, RN Camargue, Conservatoire du littoral  
 Fonds cartographiques : Pléiades 03/03/2023  
 ©CNES 2022, distribution AIRBUS DS  
 Données fond de plan : IGN  
 Système de coordonnées : EPSG:2154



Figure 52. Cartographie des herbiers de la masse d'eau de Lion Dame en Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE CAMARGUE - SABLONS

### Cartographie des herbiers des lagunes méditerranéennes par télédétection

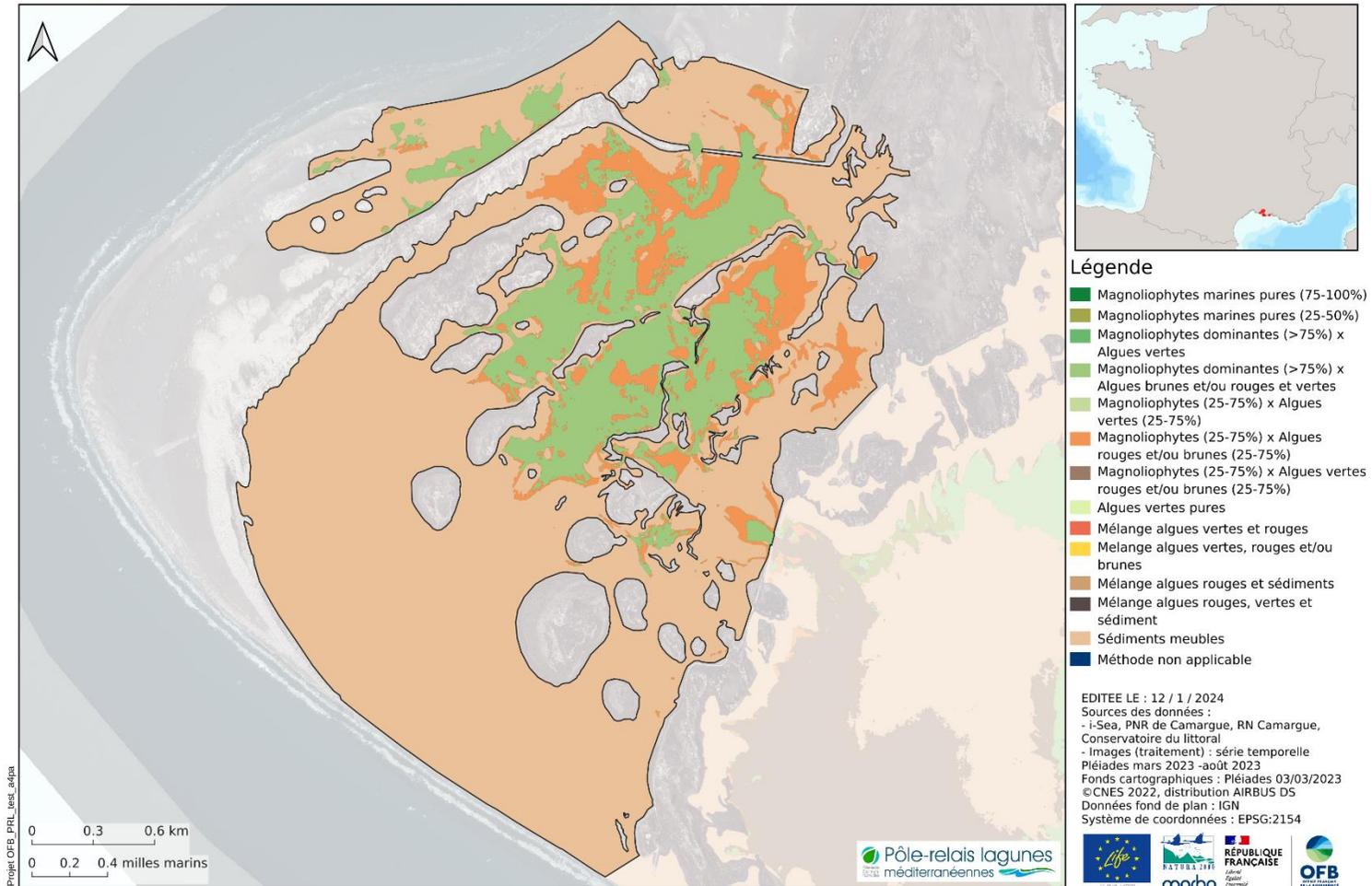


Figure 53. Cartographie des herbiers de la masse d'eau de Sablons en Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE CAMARGUE - SAINTE ANNE

### Cartographie des herbiers des lagunes méditerranéennes par télédétection

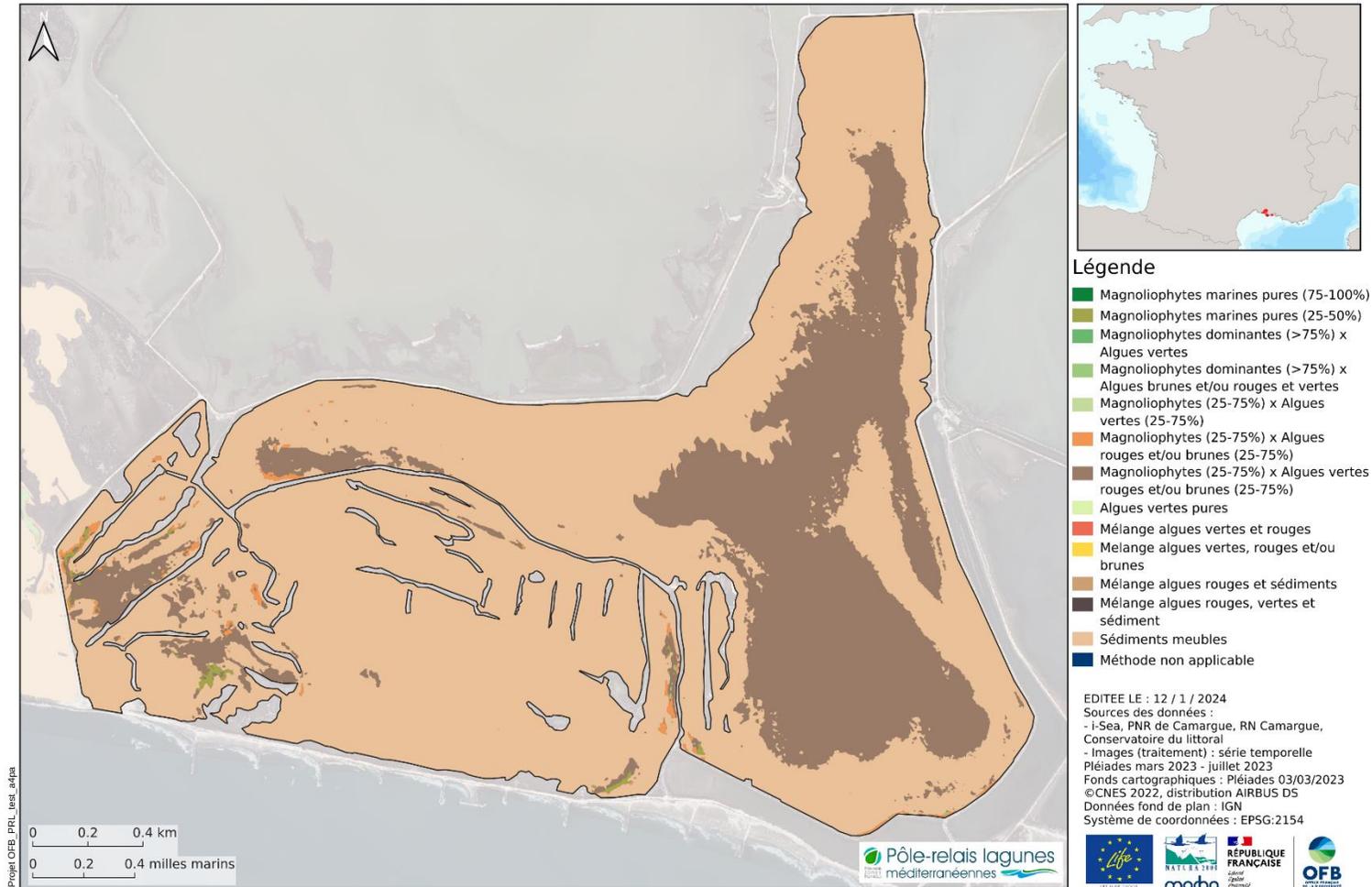


Figure 54. Cartographie des herbiers de la masse d'eau de Sainte Anne en Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades

## COMPLEXE LAGUNAIRE DE CAMARGUE - VACCARES

### Cartographie des herbiers des lagunes méditerranéennes par télédétection

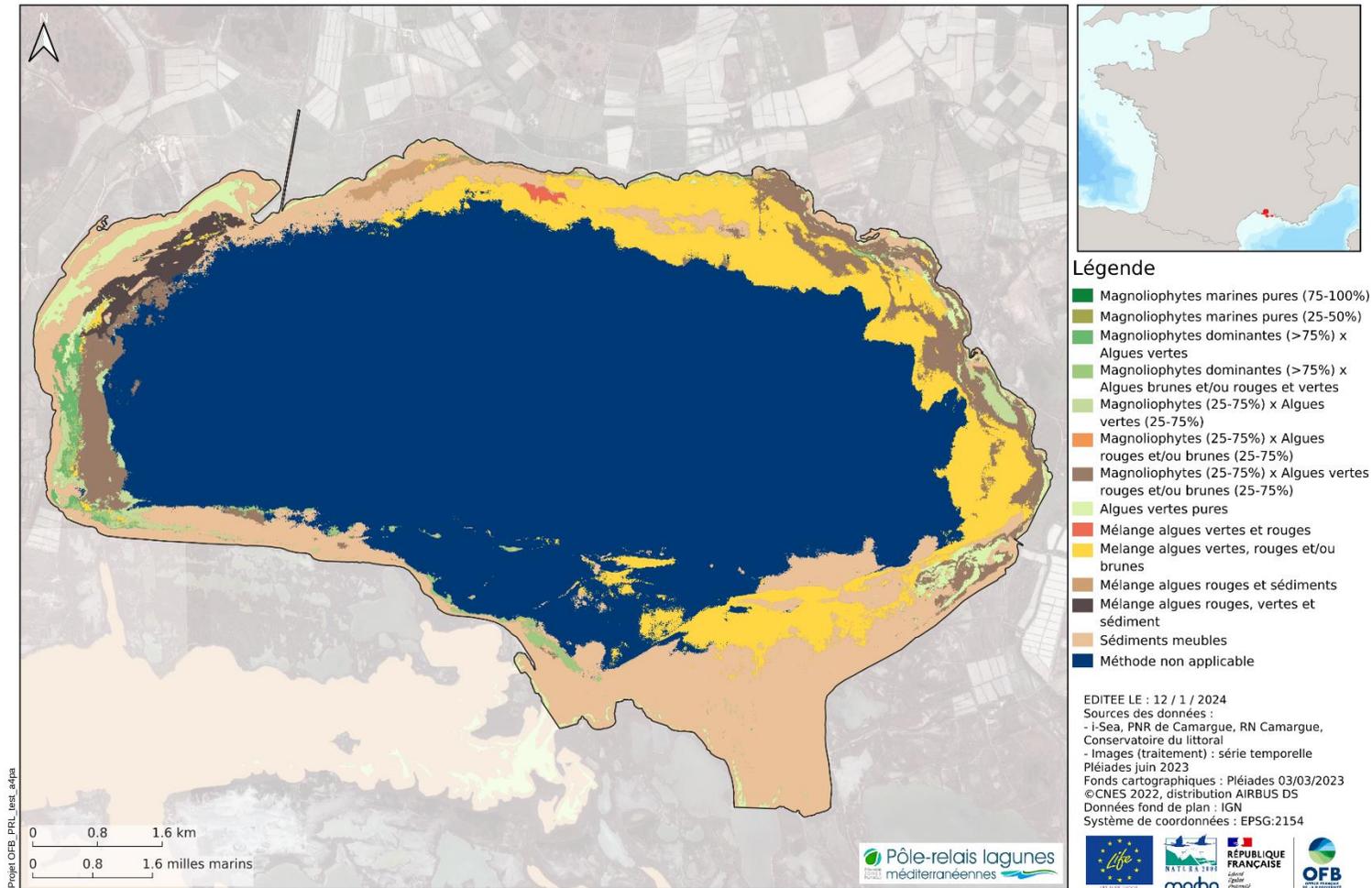


Figure 55. Cartographie des herbiers de la masse d'eau de Vaccares en Camargue par télédétection multi-temporelle Pléiades

## 4 Conclusions et perspectives

La présente étude menée en collaboration entre l'OFB, le consortium Pôle-relais lagunes méditerranéennes et la société i-Sea (par la mise en œuvre de son procédé Biocoast), avec la participation des agents gestionnaires des sites, a permis de produire une cartographie des herbiers de 8 sites Natura 2000 (Salses-Leucate, Vendres, Bagnas, Thau, Palavasiens, Canet, Camargue, Villepey) par télédétection satellitaire multi-temporelle à très haute résolution spatiale (Pléiades).

Le process Biocoast a pu être appliqué avec succès pour produire la cartographie des habitats marins occupant les lagunes. Nous avons pu bénéficier d'au minimum 2 et au maximum de 6 images Pléiades pour couvrir l'intégralité des sites d'étude, réparties entre les années de 2021 et 2023. L'absence de nuages dans ces séries temporelles, nous a permis de produire des résultats de qualité. Les campagnes de relevés terrain réalisées, par les structures animatrices, en 2022 et 2023 ont permis de produire des données d'apprentissage contemporaines aux images satellite utilisées. A la marge, quelques modifications manuelles ont été nécessaires pour compléter la cartographie et corriger certaines erreurs. Il convient de souligner que la résolution spatiale de 2m x 2m des images utilisées ne permet pas l'observation d'objets plus petits que 2 pixels (4m x 4m).

La méthodologie développée est générique et pourra être appliquée à nouveau pour produire des mises à jour cartographiques, cela en garantissant une certaine précision et une importante objectivité. La méthodologie proposée et les résultats produits fournissent, par conséquent, des outils précieux pour le suivi et la gestion des habitats naturels sous la gestion du Syndicat mixte RIVAGE (site de Salses-Leucate), la communauté de communes La Domitienne (site de Vendres), l'association ADENA (site de Bagnas), Syndicat Mixte du Bassin de Thau (SMBT - site de Thau), Syndicat du Bassin du Lez (site de Palavasiens), Syndicat Mixte des Bassins Versants du Réart (SMBVR - site de Canet), la Réserve Nationale de Camargue (site de Camargue) et l'agglomération Estérel côte d'azur (site de Villepey).

Pour aller plus loin, il serait intéressant de creuser le potentiel d'un outil récemment intégré à Biocoast, qui calcule la probabilité d'appartenance d'un pixel aux différentes classes de la typologie. Cette information peut avoir de nombreux usages, elle peut permettre de détecter des polygones incohérents (un mélange de classes aberrant) ou de comprendre plus finement certaines prédictions (mélange de classes proches ou possiblement en mosaïque). Cette méthodologie pourrait être exploitée pour étoffer la typologie existante avec des habitats plus complexes. Une donnée de validation spécifique sera nécessaire pour vérifier les résultats du déploiement d'une telle approche. L'utilisation des images à la résolution de 50 cm est également une piste d'amélioration pour la caractérisation encore plus fine des habitats visés, en particulier des habitats isolés ou mosaïqués.

## 5 REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié d'une aide du Dispositif Institutionnel National d'Approvisionnement Mutualisé d'Imagerie Satellitaire (DINAMIS <https://dinamis.data-terra.org>) et du financement du programme européen LIFE Marha.

## 6 BIBLIOGRAPHIE

Beguet, B., 2014. Characterization and mapping of forest structure from Very High-Resolution satellite images. PhD Informatics-Image Analysis., University of Bordeaux, ENSEGD-IPB / INRA.

Breiman L., 2001. Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32.

Breiman L., Friedman, J.H., Olsen, R.A., Stone, C.J., 1984. *Classification and Regression trees*. Wadsworth International Group, Belmont, CA..

Gao, B.C, 1996. A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of the Environment* 58: 257-266.

Huete, A.R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. 25 (3): 295–309. doi:10.1016/0034-4257(88)90106-X.

Jordan, Carl F., 1969. Derivation of Leaf-Area Index from Quality of Light on the Forest Floor". *Ecology*. 50 (4): 663–666. doi:10.2307/1936256. ISSN 0012-9658.

Mathieu, R., Cervelle, B., Rémy, D., Pouget, M., 2006. Field-based and spectral indicators for soil erosion mapping in semi-arid Mediterranean environments (Coastal Cordillera of central Chile). *Wiley InterScience* DOI:10.1002/esp.1343.

Pal, M., 2005. Random forest classifier for remote sensing classification. *International Journal of Remote Sensing*, 26(1), 217–222.

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

– Fin du document –