



Muséum national d'Histoire naturelle
Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation

FOURNIER Jérôme

MNHN SJ 164-19
Ifremer Lettre-contrat n°19/2216982
Contrôle de surveillance DCE-Benthos – District Seine-Normandie

STATION MARINE
CONCARNEAU

Mai 2020

Suivi surfacique de l'herbier de *Zostera marina* de l'archipel de Chausey

Rapport final



UMR 7204 CESCO – CNRS – MNHN – SU

Destinataires

Ifremer LERBN Station de Dinard (aurelie.foveau@ifremer.fr ; nicolas.desroy@ifremer.fr)

Agence de l'Eau Seine-Normandie (joncourt.yann@aesn.fr ; sarraza.manuel@aesn.fr ;
leroy.barbara@aesn.fr)

MNHN Station de Concarneau (claire.lippens@mnhn.fr)

MNHN Station de Concarneau (nadia.ameziane@mnhn.fr)

MNHN Paris (younes.abdiche@mnhn.fr)



BANDTANG, ZOSTERA MARINA L.

Sommaire

Contexte du suivi cartographique

Contrôle qualité de la mosaïque orthophotographique 2019

Méthode de cartographie

Résultats cartographiques et statistiques descriptives

Perturbations de l'herbier d'origine anthropique

Fronts pionniers de l'herbier

Conclusion

Références



Contexte du suivi cartographique

L'état des surfaces de l'herbier de zostères marines (*Zostera marina*) de l'archipel de Chausey est connu depuis 1924 par les travaux de Godet *et al.* (2008). Des photographies aériennes prises en 1924, 1953, 1982 et 1992 aux marées basses de vives eaux et couvrant l'ensemble de l'archipel ont fait l'objet d'un travail de photogrammétrie (orthorectification, géoréférencement, mosaïquage) qui a permis de proposer une estimation précise des surfaces végétalisées par cette phanérogame marine.

Cet herbier est ainsi un des rares au Monde à faire l'objet d'une cartographie à échelle très fine.

Toutefois, le premier travail de cartographie de l'herbier de Chausey date de 2002 suite à un contrat de collaboration de recherche réalisé par J. Fournier et financé par la DIREN de Basse-Normandie. Un survol aérien avait alors été spécialement commandé pour ce travail et effectué par l'IGN. A la suite de la mise en place de la DCE, l'Ifremer et l'Agence de l'Eau ont souhaité pérenniser ces actions de cartographie impulsées par l'activité de recherche et de jeter les bases d'un observatoire de l'évolution des surfaces de cet herbier qui compte parmi les plus étendus du littoral Manche-Atlantique français. Depuis, tous les 6 ans environ, de nouveaux survols aériens sont commandés et permettent avec la méthodologie proposée par J. Fournier d'estimer avec un haut degré de précision les surfaces végétalisées par cette phanérogame marine. Cela a été le cas en 2008, 2014 et en 2019.

Tab. 1. Evolution des surfaces végétalisées de zostères marines de Chausey 1924 – 2014

(* données corrigées, Fournier, 2002, 2008, 2014 ; Godet *et al.*, 2008)

Années	Surface (ha)	Tendance
1924	763	
1953	60	↘
1982	163	↗
1992	178	↗
2002	333*	↗
2008	309*	↗
2014	381*	↗

Contrôle qualité de la mosaïque orthophotographique 2019

L'Agence de l'Eau Seine-Normandie et l'Ifremer ont souhaité connaître l'état surfacique des herbiers de l'archipel de Chausey 5 ans après le dernier état datant de 2014. L'état surfacique consiste en l'estimation de la surface totale de l'habitat « herbier » pour l'ensemble de l'archipel mais également en l'interprétation de l'évolution spatiale de cet habitat dans sa totalité et de manière sectorielle.

Un survol aérien a été effectué le 28 octobre 2019 lors d'une marée basse de vives eaux ($\pm 3/4$ h autour de la basse mer de coefficient 109 à 14h20 ; hauteur d'eau 0,77 m par rapport au référentiel

SHOM, port de référence de Granville) alors qu'il était initialement prévu en septembre. Ce retard s'explique par les conditions météorologiques défavorables rencontrées par la société 'L'Europe vue du ciel' en charge de l'acquisition des images aériennes ainsi que leur orthorectification, géoréférencement et leur montage sous forme de mosaïque.

Le survol par avion a été effectué à une altitude plus basse qu'habituellement en raison de la couverture nuageuse et les images ont été acquises via un capteur numérique calibré Phase One IXU100RS (100.000.000 pixels) – Nikon D800.

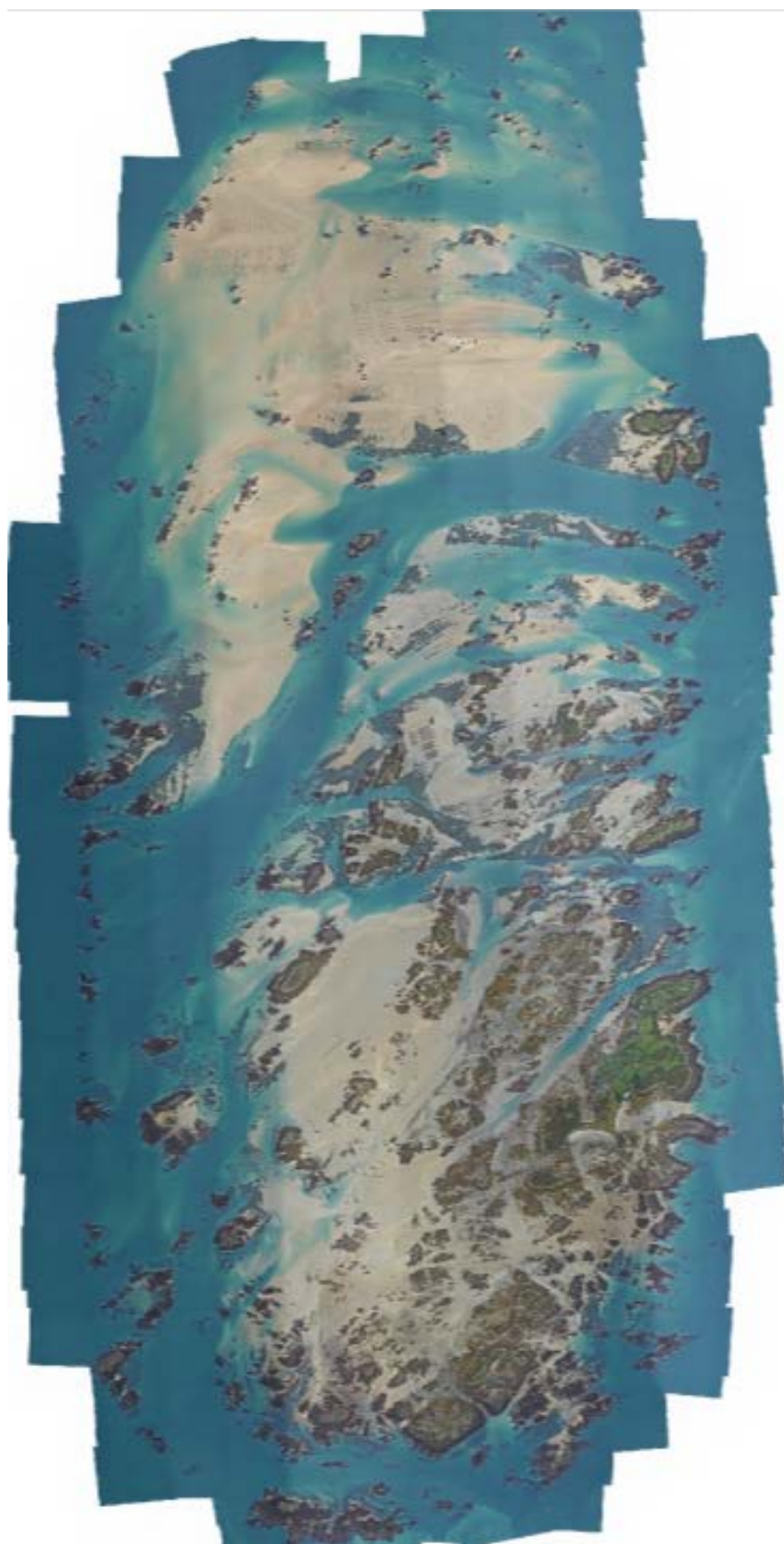
Le géoréférencement a été réalisé à l'aide de points disponibles dans le site Géoportail (www.geoportail.fr) et non par rapport à la mosaïque ortholittorale de 2014. Il n'est pas précisé si la société a utilisé les bornes géodésiques disponibles en quelques points de l'archipel (Grande-Île notamment).

Un traitement d'image a été réalisé, à savoir une atténuation de l'exposition sur la partie est de l'archipel. A noter également, un léger décalage (non mesuré) entre les couches numériques Proche IR et RVB, précisément dans les secteurs où les surfaces couvertes en eau sont nettement supérieures à celles couvertes par les terres. Le fait que l'avion ait volé plus bas, explique que les points de calage soient moins nombreux.

La résolution finale de l'image est de 6 cm. La mosaïque a été fournie en format geotiff et ECW en projection Lambert 93.

La mosaïque utilisée est en couleur visible (*i.e.* du spectre électromagnétique) ; le proche infra-rouge n'étant pas utilisable sur les surfaces humides et submergées. La qualité des couleurs, teintes et textures sont correctes et permettent de discriminer les différents isophènes (*i.e.* objets spatiaux) présents sur les portions d'espaces photographiées du domaine terrestre. La partie marine est localement peu propice à la cartographie en raison d'une forte turbidité. La surface du plan d'eau est lisse ce qui a facilité le travail de détournage des polygones d'herbiers. A cette date, les feuilles de zostères sont recouvertes d'algues rouges épiphytes ce qui renforce leur teinte, initialement déjà foncée. L'herbier présente localement un fort contraste avec le sédiment environnant, de couleur claire ; y compris les vases beiges, grises, brunâtres ou verdâtres (Glémarec *et al.*, 1996). En revanche, l'eau chargée de matières en suspension pour certains secteurs de l'archipel, rend difficile la détection et la délimitation de la limite inférieure des herbiers subtidaux.

Fig. 1. Mosaïque orthophotographique de Chausey en 2019



Méthode de cartographie

La méthode de cartographie est identique à l'ensemble des mosaïques orthophotographiques. Elle se base sur un travail standard de photo-interprétation qui se décline en 3 étapes distinctes (Bariou, 1979) :

i) la photo-détection permet d'isoler un isophène (= objet spatial possédant les mêmes caractéristiques de couleur, teinte et texture et, dans le cas des herbiers de zostères, de structure et de forme),

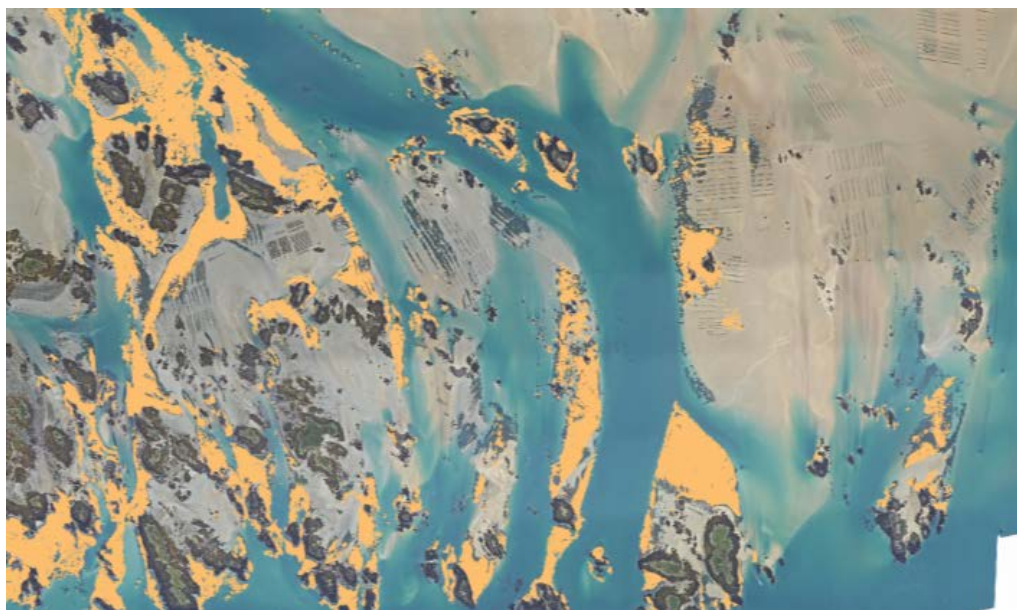
ii) la photo-identification permet d'identifier un isophène et de le rattacher à une catégorie pré-définie d'élément spatial organisée sous la forme d'une typologie. Dans le cas qui nous intéresse, seule la catégorie « herbier » est identifiée. Cette étape s'accompagne d'une validation sur le terrain ou d'une validation à dire d'expert. L'expérience de l'opérateur est alors essentielle pour ne pas confondre certaines catégories entre elles. L'erreur typique est d'identifier une couverture d'algues brunes comme un herbier de phanérogames ou vice-et-versa,

iii) la photo-interprétation permet enfin de rattacher l'ensemble des isophènes à une catégorie en s'affranchissant de l'étape de validation.

Concrètement, les objets spatiaux (= isophènes) identifiés comme appartenant à la catégorie « herbier » sont vectorisés un à un par l'opérateur en utilisant les ressources d'un système d'information géographique (QGIS 3.10) dans lequel la mosaïque orthophotographique sert de base spatiale. La mosaïque est affichée sur l'écran à l'échelle du 1:1000 avec zoom 200% et ce, quelque-soit l'échelle réelle de prise de vue/ou d'acquisition de l'image native. Les polygones possèdent l'échelle native (1:10.000 par ex) et non pas l'échelle de travail de cartographie (1:1000). Plusieurs milliers de polygones sont ainsi identifiés et vectorisés par l'opérateur. Si un « vide » existe à l'intérieur d'une tache d'herbier, il est également détourné de manière à ne pas assimiler une surface de sédiment meuble à une surface réellement végétalisée.

L'intérêt d'une cartographie à très grande échelle a été démontré par J. Fournier dans les rapports précédents. Les herbiers sont des habitats qui présentent généralement un aspect fragmenté ou en 'taches de léopard'. Les petits polygones ($> 1 \text{ m}^2$) doivent être pris en compte sous réserve de sous-évaluer la surface totale de l'herbier. D'autre part, et même sans évoquer l'intérêt de cette technique pour la recherche fondamentale, les petites taches d'herbier offrent des éléments explicatifs essentiels pour interpréter la dynamique spatiale de l'habitat « herbier » dans son ensemble. Les zones de conquête spatiale sont ainsi aisément détectées, de même que les zones en phase de contraction ou celles qui ont été perturbées par une action d'origine anthropique.

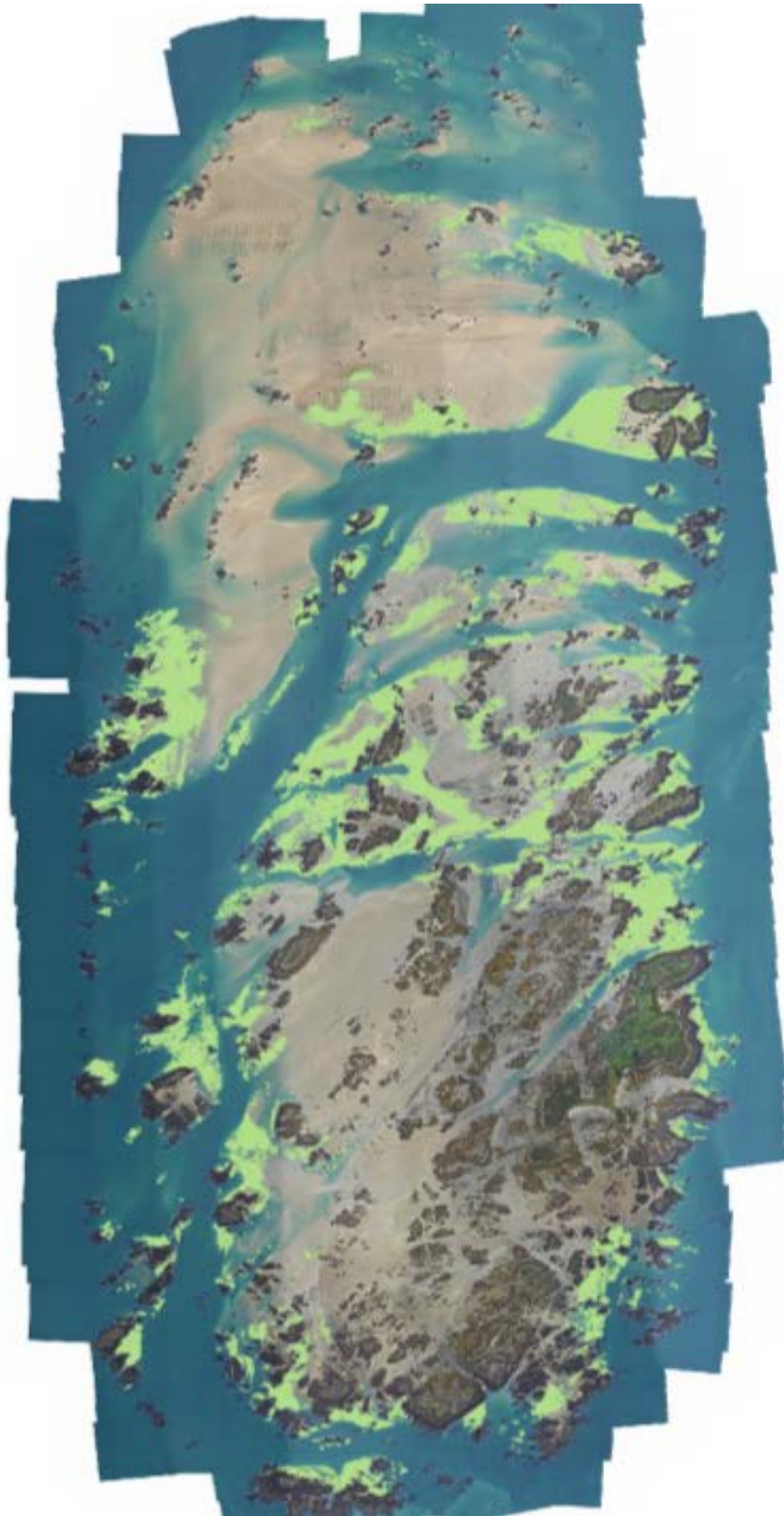
Fig. 2. Aperçu du niveau de détail d'une partie de l'herbier de Chausey en 2019



Résultats cartographiques et statistiques descriptives

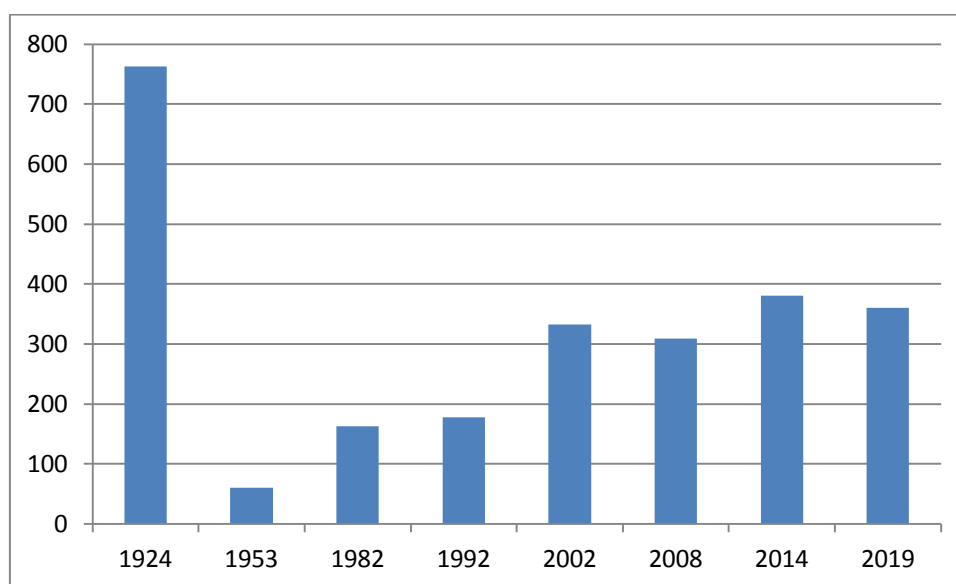
L'herbier de zostères de l'archipel de Chausey s'étend désormais sur **360 hectares** ; résultat qui confirme son extension spatiale quasi continue depuis les années 1930 suite à sa disparition presque totale en raison de la '*wasting disease*' (Blois *et al.*, 1961 ; Godet *et al.*, 2008 ; den Hartog, 1987 ; de los Santos *et al.*, 2019). Cet herbier reste le second plus étendu de France après celui du Golfe du Morbihan (2585 ha pour la période 1960-2000). Ce chiffre représente l'enveloppe spatiale des herbiers du Golfe et non la surface réellement végétalisée. Ces surfaces ne sont donc pas comparables puisque la méthode de cartographie est totalement différente. Si la méthode de cartographie des surfaces végétalisées était utilisée pour le Golfe du Morbihan, le résultat serait nettement inférieur à celui cité dans Urien *et al.* (2015) mais ne changerait toutefois rien à la hiérarchie actuelle.

Fig. 3. L'herbier de zostères marines de l'archipel de Chausey en 2019



Les résultats chiffrés présentés ci-après permettent de visualiser l'évolution spatiale des herbiers de Chausey. Néanmoins, il faut souligner le fait que les cartographies ont été réalisées avec 2 opérateurs (L. Godet pour 1924, 1953, 1982 et 1992 et formé par J. Fournier ; J. Fournier pour 2002, 2008, 2014 et 2019) à une échelle très fine ce qui a permis de limiter certains biais, mais pas tous. Les images aériennes sont également bien différentes les unes des autres d'un point de vue technique (argentique puis numériques, géométrie, échelle, taille de pixel...). Le niveau de l'eau n'est pas le même bien que les survols aient été réalisés lors de grandes marées basses de vives eaux mais jamais au même coefficient, ni aux mêmes dates. La qualité de la surface du plan d'eau diffère également entre les années, de même que la turbidité de l'eau qui était importante lors du survol de 2019. Des incertitudes existent. Il faut donc lire ces résultats avec précaution. Enfin, bien que le niveau de détail proposé par les différents opérateurs d'imagerie aérienne (IGN 2002, 2008, puis L'Europe vue du ciel 2014, 2019) aille en s'améliorant, les herbiers subtidaux restent difficiles à détecter d'une année sur l'autre en raison des caractéristiques de l'eau de mer. Les différences s'expliquent également pour cette dernière raison.

Tab. 2. Surfaces végétalisées (en hectares) de l'herbier de zostères marines de 1924 à 2019 à Chausey
(Fournier, 2002, 2008, 2014, 2019 ; Godet *et al.*, 2008)



L'herbier perd ainsi 21 hectares depuis le dernier exercice cartographique de 2014. Ce résultat est à interpréter avec précaution puisque la turbidité de l'eau a caché certains herbiers subtidaux à l'œil du cartographe ; la surface en herbiers de 2019 est sans doute sous-évaluée. La cartographie de 2014, en raison également d'imperfections de la photographie aérienne, propose un résultat qui, lui aussi, doit être interprété avec précaution. Malgré le soin apporté à ces cartographies, des confusions sont toujours possibles dans le domaine subtidal où les limites d'herbiers sont très diffuses.

Rappelons également que la diminution de la surface totale de l'herbier en 2008 est uniquement due à une action de dragage qui a détruit plusieurs dizaines d'hectares dans le secteur de la Sellière. Cette zone détruite a été partiellement recolonisée depuis lors.

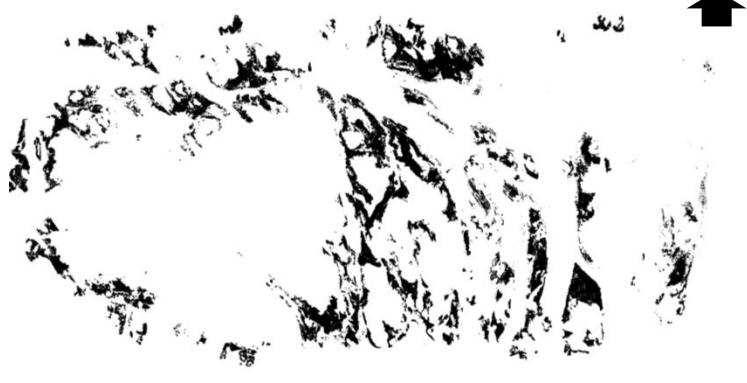
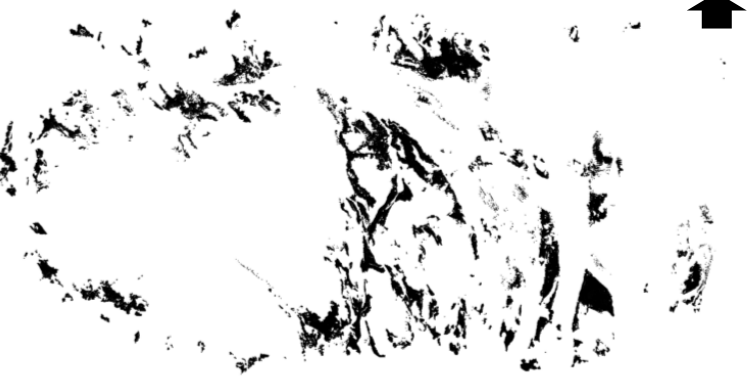
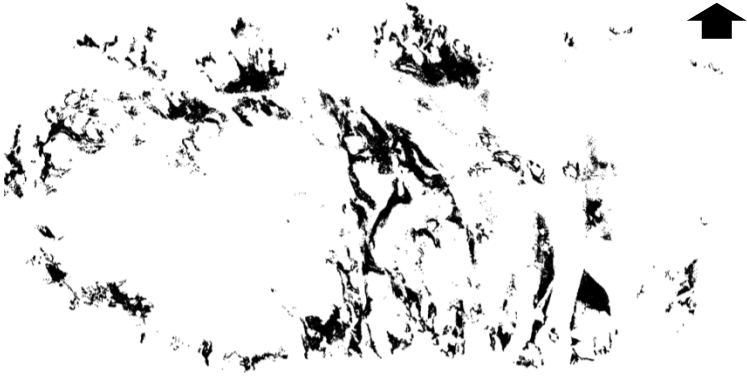
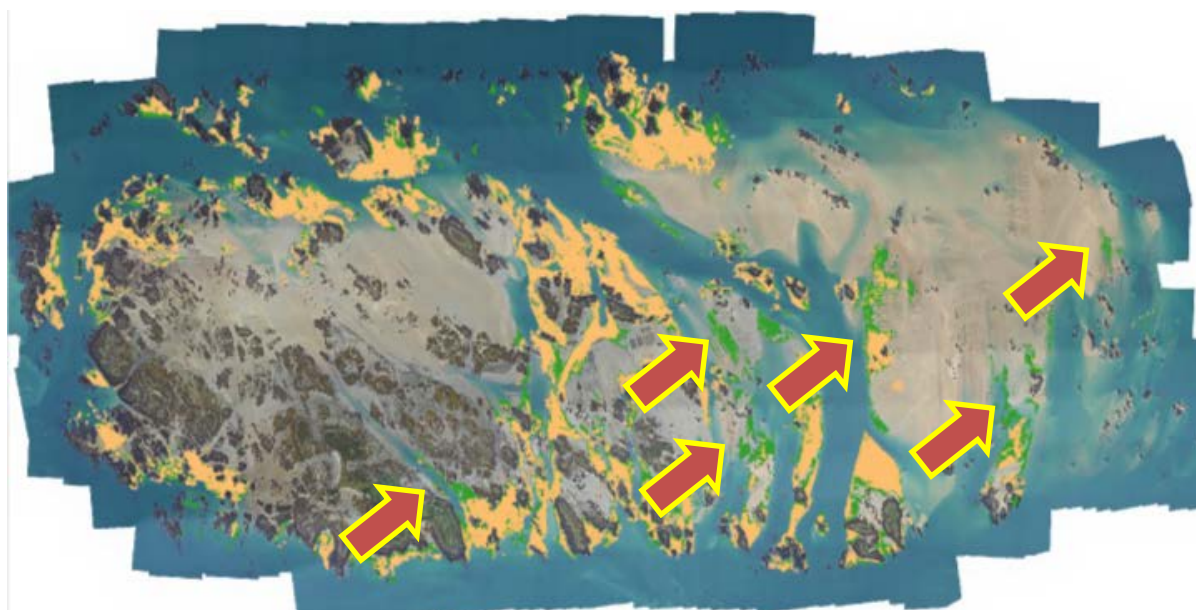
2019 360 hectares	
2014 381 hectares	
2008 309 hectares	
2002 333 hectares	

Fig. 4. L'herbier de Chausey en 2002, 2008, 2014 et 2019

Fig. 5. Progressions spatiale de l'herbier en 2019 (vert) par rapport à celui de de 2002 (orange)



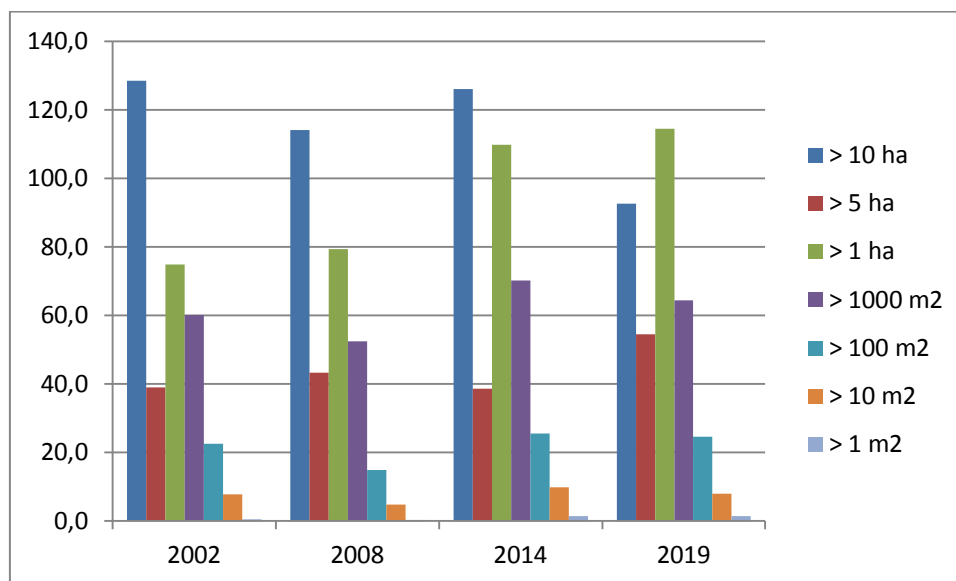
Les principaux secteurs qui ont vu l'herbier progresser se situent dans l'est de l'archipel de part et d'autre du Chenal Beauchamp, au sud de la Canue et du chenal du Sound.

Tab. 3. Progressions annuelles de l'herbier de zostères marines de Chausey par périodes de références

Périodes	Progression
1953-1982	3,5 ha / an
1982-1992	1 ha / an
1992-2002	15,5 ha / an
2002-2014	3,3 ha / an
2014-2019	-4,2 ha / an

La structure spatiale de l'herbier en 2019 est nettement différente de celle de 2002 et une tendance semble se dégager.

Fig. 6. Structures spatiales des herbiers de z zostères marines de Chausey de 2002 à 2019 révélées par les superficies des polygones de surfaces végétalisées

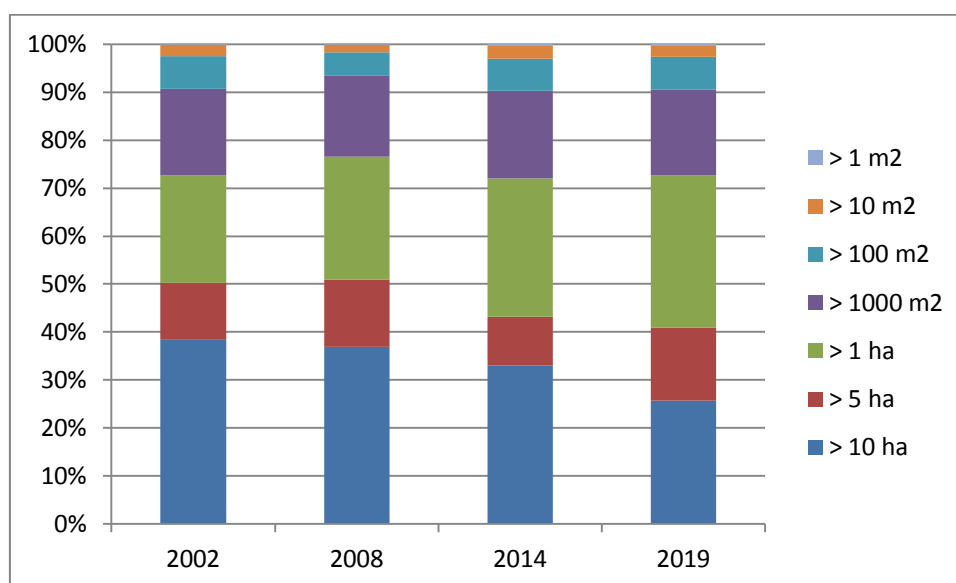


Les polygones de grandes tailles (> 10 ha) présentent une tendance à la baisse de 2002 (128 ha) à 2019 (92 ha), alors que les polygones > 5 ha et > 1 ha sont en expansion, respectivement 38 ha (2002) et 54 ha (2019 ; 74 ha (2002) et 114 ha (2019). Les autres tailles de polygones (> 1000 m²), (> 100 m²), (> 10 m²) et (> 1 m²) sont relativement du même ordre de grandeur.

Tab. 4. Surfaces cumulées des polygones de surfaces végétalisées de 2002 à 2019

Polygones	2002	2008	2014	2019	Tendance 2002-19
> 10 ha	128,4	114,1	126,1	92,6	↘
> 5 ha	38,9	43,3	38,7	54,6	↗↘
> 1 ha	74,8	79,3	109,8	114,4	↗
> 1000 m²	60,2	52,4	70,2	64,5	→
> 100 m²	22,5	14,9	25,5	24,6	→
> 10 m²	7,8	4,9	9,9	8,0	→
> 1 m²	0,5	0,4	1,5	1,5	→

Fig. 7. % relatifs des catégories de polygones de surfaces végétalisées par *Zostera marina* de 2002 à 2019



La visualisation en % relatif des classes catégorielles des polygones de surfaces végétalisées permet de confirmer la baisse relative des grands polygones > 10 ha et l'augmentation des polygones de surfaces médianes > 5 ha et > 1 ha.

Tab. 5. % relatif des classes catégorielles des polygones de surfaces végétalisées de 2002 à 2019

Polygones	2002	2008	2014	2019	Tendance 2002-19
> 10 ha	38,6	36,9	33,1	25,7	↘
> 5 ha	11,7	14,0	10,1	15,2	↗↘
> 1 ha	22,4	25,7	28,8	31,8	↗
> 1000 m²	18,1	17,0	18,4	17,9	→
> 100 m²	6,8	4,8	6,7	6,8	→
> 10 m²	2,3	1,6	2,6	2,2	→
> 1 m²	0,2	0,1	0,4	0,4	→

On observe que les petites taches d'herbier entre 1 et 100 m² ne représentent qu'une très faible proportion de la surface totale, moins de 3% dans presque tous les cas. Toutefois, il est essentiel de continuer à les identifier et cartographier car ces taches de petites tailles permettent de détecter les zones en progression. Elles sont donc riches d'enseignement et savoir interpréter ces amas de

petites taches permet de connaître à l'avance les futurs secteurs qui seront plus densément végétalisés.

Perturbations de l'herbier d'origine anthropique

L'examen attentif de la mosaïque orthophotographique a permis de constater que l'herbier semblait en bon état de conservation.

Les taches d'herbiers sont très denses ce qui suppose l'existence de feuilles longues et d'une densité de pieds au m² élevée.

Peu de traces de dégradation mécanique ont été identifiées par rapport aux années précédentes ce qui indique que les mesures de protections semblent être efficaces. Les actions de destruction mécanique de l'herbier laissent des traces qui sont visibles pendant plusieurs années et leur rareté, à défaut d'absence montre qu'elles ont diminué sensiblement. Toutefois çà et là, des traces de destruction d'herbier sont visibles et certaines sont récentes. Elles trouvent leur origine dans la pêche professionnelle et la plaisance amateur

Fig. 8. Traces récentes d'ancrage (petites embarcations), Sud-Est archipel



Fig. 9. Traces très récentes d'ancrage et chaîne, Sud-Ouest archipel



Fig. 10. Traces récentes de dragues à petits bivalves, nord de l'archipel



Fig. 11. Traces anciennes de petits chaluts (2008) en voie de colmatage, nord de l'archipel



Fronts pionniers de l'herbier

L'examen de la mosaïque orthophotographique permet de détecter les secteurs qui sont actuellement en progression et en densification.

Il s'agit pour l'essentiel de l'est de l'archipel, notamment les secteurs situés de part et d'autre du Chenal Beauchamp. Le secteur à l'est de la Culassière a vu l'herbier coloniser rapidement les zones mytilicoles. Les bouchots contribuent à stabiliser le sédiment et ralentir les courants, paramètres favorables à l'installation des herbiers.

Le secteur nord-ouest de la Roche Angot également a vu des herbiers progresser rapidement. Là encore, des installations conchylicoles sont présentes.

Le secteur situé au sud de la Petite Mauvaise a été entièrement colonisé toujours à la faveur d'installations mytilicoles. Ce secteur était totalement dépourvu de zostères en 2002.

Le secteur des Huguenants qui forme un triangle caractéristique puisque contrôlé à l'ouest comme à l'est par des chenaux, s'est densifié sur sa partie sud.

Le nord de la Conchée et le secteur du Roc à la Mauve est nettement plus fourni en herbiers que lors des années précédentes. On observe un début de colonisation des bouchots au nord du Roc à la Mauve. Il est donc possible que ce secteur continue d'être végétalisé par les zostères dans les années qui viennent. Et ce, d'autant plus que de nouvelles concessions mytilicoles ont été installées.

Au centre de l'archipel, l'herbier situé tout autour des Roches des Guernesiais, des Carniquets et du Lézard est plus dense que par le passé. Les 'trous' se sont comblés et l'herbier est désormais presque continu.

Au nord, entre Plate Île et l'Enseigne Amer, l'herbier s'est également densifié.

Conclusion

L'herbier de zostères marines à Chausey couvre une surface d'au moins 360 ha en 2019. La différence qui existe dans les résultats entre les différentes années s'explique par des expansions et des contractions de l'herbier dues à des causes naturelles et anthropiques. Elles s'expliquent également en raison de la qualité différente des images qui génère de possibles confusions ou interdit la délimitation de la limite inférieure des herbiers. Ceci est assez vrai pour les herbiers situés au nord de l'archipel, le secteur de la Sellière ou dans l'ouest vers les Rondes de l'Ouest par exemple. Des corrections ont été apportées dans certains secteurs car certains fonds colonisés par des crépidules (*Crepidula fornicata*) offrent parfois un « pattern » proche de celui d'un herbier de zostères. De même, les fonds subtidaux colonisés par les lanices (*Lanice conchilega*) peuvent également être confondus, plus rarement toutefois.

L'herbier de Chausey a perdu presque la totalité de sa surface après la maladie qui a touché l'espèce dans les années 1930. Nous savons qu'en 1924, il occupait près de 760 hectares soit plus du double

qu'actuellement. Presque un siècle plus tard, l'herbier est donc encore très loin d'avoir réoccupé les surfaces d'antan. Pourtant, les conditions hydrologiques ne semblent pas avoir changé comme en témoignent les figures morpho-sédimentaires qui les traduisent et qui sont extrêmement stables depuis 1924. La bathymétrie semble relativement inchangée même si on peut supposer que dans les secteurs occupés par les installations mytilicoles et ostréicoles, la sédimentation s'est accrue, élevant ainsi l'altitude. La carte de situation de 1924 visible dans Godet *et al.* (2008) montre que l'herbier colonisait de vastes surfaces dans tout le nord de l'archipel ainsi que dans le centre et l'extrême est. Ces espaces n'ont toujours pas été recolonisés.

L'herbier de l'archipel de Chausey est un des rares à l'échelle du littoral français et européen à suivre une trajectoire de progression. En effet la grande majorité des herbiers de zostères marines de l'Europe (soit 40770 hectares) sont en déclin ou stables depuis le milieu du XIXe siècle avec près de 22206 hectares perdus (de los Santos *et al.*, 2019 ; Waycott *et al.*, 2009). Les pertes sont essentiellement dues à la maladie causée par *Labyrinthula* sp. des années 1930 (den Hartog, 1987) et qui n'ont jamais été récupérées depuis (Orth *et al.*, 2006). Seuls 2,1% des herbiers de *Z. marina* sont en progression à l'échelle européenne (de los Santos *et al.*, 2019). L'augmentation nette des surfaces observée pendant la décennie 1990-2000 à Chausey s'observe également à l'échelle européenne. Cette progression locale des surfaces est essentiellement due à une dynamique naturelle de l'espèce elle-même favorisée par la mise en place d'installations conchylicoles. Les causes de régression s'expliquent par des dégradations mécaniques (chalutage, dragage, ancres et chaînes) et possiblement des variations dans la qualité des eaux (charge turbide surtout) et à leur température (Arias-Ortiz *et al.*, 2018 ; Ondiviela *et al.*, 2014). L'action de la pêche à pied est à exclure car aucune trace visible à l'échelle des photographies n'est décelable.

L'herbier a vu sa surface doubler entre les années 1990 et 2000 en passant de 178 hectares à 333 hectares, soit une progression annuelle de 15,5 ha/an. Les autres périodes, 1950-1990 et 2000-actuel n'ont connu qu'une progression lente entre 1 et 3 ha/an voire même de faibles régressions.

L'herbier a connu donc 4 périodes distinctes :

- Une régression extrêmement brutale après 1930 (de 760 ha à quelques hectares)
- Une progression lente, documentée seulement depuis les années 1950, jusqu'en 1990
- Une progression très rapide dans la décennie 1990-2000
- Une progression plus lente, voire une tendance à la stabilisation depuis les années 2000

La résilience de l'herbier après une perturbation majeure est donc lente à l'échelle de plusieurs générations humaines ce qui souligne la fragilité de cette formation végétale et tout l'intérêt des mesures de protection (Unsworth *et al.*, 2018, 2019).

Remerciements

L'auteur de l'étude remercie Dr Laurent Godet, directeur de recherche au CNRS, pour son travail de relecture et ses commentaires.

Références

- Arias-Ortiz A. *et al.* 2018. A marine heatwave drives massive losses from the world's largest seagrass carbon stocks. *Nature Climate Change* 8, 338–344.
- Bariou R. 1979. *Manuel de Télédétection*. Editions Sodipec, Paris. 349 p.
- Blois J.C., Francz J.M., Gaudichon M., Gaudichon S., Le Bris L. 1961. Observations sur les herbiers à zostères de la région de Roscoff. *Cahiers de Biologie Marine* 2, 223–262.
- Cullen-Unsworth L. C. , Unsworth R. F. K. 2018. A call for seagrass protection. *Science* 361, 446–448.
- Fournier J. 2002. *Cartographie des herbiers de phanérogames marines de l'archipel de Chausey*. Rapport EPHE, Dinard.
- Fournier J. 2008. Suivi surfacique des herbiers à *Zostera marina* in « *Contrôle de surveillance benthique de la Directive Cadre sur l'Eau – année 2008* ». Rapport Ifremer, Dinard
- Fournier J. 2015. Suivi surfacique des herbiers à *Zostera marina* in « *Contrôle de surveillance benthique de la Directive Cadre sur l'Eau – année 2014* ». Rapport Ifremer, Dinard
- Glémarec M., Le Faou Y., Cuq F. 1996. Long-term changes of seagrass beds in the Glenan Archipelago (South Brittany). *Oceanologica Acta* 20, 217–227.
- Godet L., Fournier J., van Katwijk M.M., Olivier F., Le Mao P., Retière C. 2008. Before and after wasting disease in common eelgrass *Zostera marina* along the French Atlantic Coasts: a general overview and first accurate mapping. *Diseases of Aquatic Organisms* 79, 249–255.
- den Hartog C. 1987. 'Wasting disease' and other dynamic phenomena on *Zostera* beds. *Aquatic Botany* 27, 3–14.
- Ondiviela B. *et al.* 2014. The role of seagrasses in coastal protection in a changing climate. *Coastal Engineering* 87, 158–168.
- Orth R. J. *et al.* 2006. A global crisis for seagrass ecosystems. *BioScience* 56, 987–996.
- de los Santos C. B., Krause-Jensen D., Alcoverro T., Marbà N., Duarte C. M., van Katwijk M. M., Pérez M., Romero J., Sánchez-Lizaso J. L., Roca G., Jankowska E., Pérez-Lloréns J. L., Fournier J., Montefalcone M., Pergent G., Ruiz J. M., Cabaço S., Cook K., Wilkes R. J., Moy F. E., Muñoz-Ramos Trayter G., Seglar Arañó X., de Jong D. J., Fernández-Torquemada Y., Auby I., Vergara J. J., Santos R. 2019. Recent trend reversal for declining European seagrass meadows. *Nature Communications* 10, 3356.
- Unsworth R. K. F. *et al.* 2019. Global challenges for seagrass conservation. *Ambio* 48, 801–815.
- Unsworth R. K. F., McKenzie L. J., Nordlund L. M., Cullen-Unsworth L. C. 2018. A changing climate for seagrass conservation? *Current Biology*. 28, R1229–R1232.

Urien M., Ballé-Béganton J., Herry J., Philippe M., Pasco R., Angst B., Bailly D., Cassé M., 2015. *Des habitats en mouvement, les herbiers de zostères du golfe du Morbihan*, Projet Interreg IVA Manche VALMER, 6p.

Waycott M. *et al.* 2009. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceeding of National Academy of Sciences USA* 106, 12377–12381.

Fig. 12. Traces de drague à petits bivalves dans l'herbier du secteur de la Sellière (2002)

