

Rapport de stage

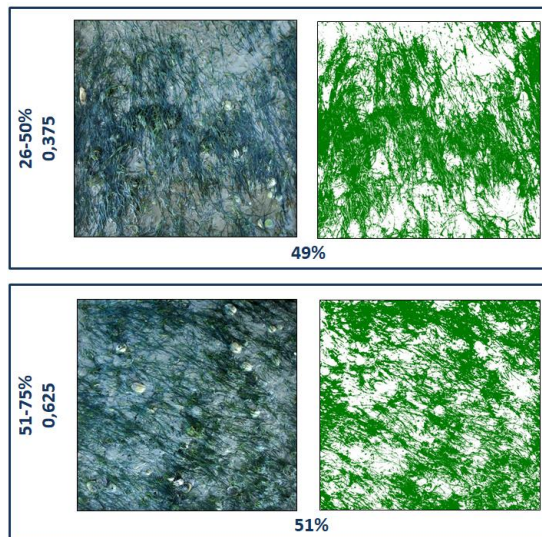
présenté par

Maya SPITERI

Promotion Andrea Marshall
2020-2023

**Contribution à la consolidation du protocole DCE pour
le suivi de l'état écologique des herbiers à *Zostera noltei***

**Création de schémas de pourcentage de recouvrement
comme aide à l'évaluation de l'abondance des plantes**



Stage de deuxième année
de la formation de
Cadre Technique
Génie de l'environnement marin

Maître (s) de stage : Mmes ROLLET Claire et AUBY Isabelle

Date de stage : du 02/05/2022 au 06/07/2022

Organisme : IFREMER Station de Dinard

38 rue du Port Blanc, 35 800 Dinard

Téléphone : 02 23 18 58 58

Courriel : Claire.Rollet@ifremer.fr / Isabelle.Auby@ifremer.fr

Remerciements

Mes premiers remerciements s'adressent à mes maîtres de stage, Claire Rollet et Isabelle Auby de m'avoir donné l'opportunité de réaliser mon stage dans leur équipe et de m'avoir encadrée avec autant de gentillesse, de bienveillance et de bons conseils.

Je tiens à remercier Aurore Lejolivet, pour sa disponibilité lors de ma formation à Quadrige. Grâce à elle, j'ai obtenu mon habilitation à l'extraction des photographies nécessaires au bon déroulement de mon stage.

Merci également à Christian Chauvin pour cet échange constructif concernant le support d'aide à l'évaluation pour les macrophytes d'eau douce.

Je remercie aussi Fabien Aubert pour la rapidité et l'aide concernant l'envoi des photographies de *Zostera noltei* des sites de suivis pour lesquels il est opérateur.

Un grand merci à toute l'équipe Ifremer du LERBN de Dinard pour son accueil, son aide, et sa bonne humeur. Ça m'a fait très plaisir de travailler avec eux.

Mes derniers remerciements vont aux personnes (Claire, Isabelle, Julie Cornet) qui ont pris le temps de corriger et relire mon rapport.

Table des matières :

Remerciements	2
Liste des Figures	4
Liste des Tableaux	4
Liste des Abréviations.....	4
Introduction.....	5
I. Matériel et méthodes.....	6
1) Contexte	6
2) Attribution des données.....	8
a) Manipulation de photographies et utilisation du logiciel de traitement d'images.....	8
b) Sortie terrain sur l'herbier de Saint-Jacut-de-la-Mer.....	8
2) Choix des photographies utilisées dans les documents d'aide à l'évaluation	10
3) Traitement d'images	11
a) ImageJ	11
b) Création de schémas de recouvrement.....	14
4) Création des documents d'aide à l'évaluation du recouvrement.....	15
a) Document d'aide à l'évaluation du recouvrement	15
b) Catalogue des classes de recouvrement des herbiers suivis pour la DCE	15
II. Résultats et discussion	16
1) Recommandations sur le terrain.....	16
2) Recommandations pour le traitement d'images en laboratoire	18
3) Utilisation des documents d'aide à l'évaluation du recouvrement	19
a) Document d'aide à l'évaluation du recouvrement.....	19
b) Catalogue des classes de recouvrement des herbiers suivis pour la DCE	20
Conclusion	21
Références bibliographiques.....	22
Base de données :	22
Liste des Annexes	22
Résumé.....	48

Liste des Figures

Figure 1 : Estimation visuelle du recouvrement de <i>Zostera noltei</i> dans le quadrat de 50x50cm sur le terrain et prise de photo pour traitement numérique de retour à la station.....	9
Figure 2 : Photographie de l'herbier d'Arcachon (à gauche) et de Saint-Jacut-de-la-Mer (à droite)....	10
Figure 3 : Photographie originale prise sur le terrain (à gauche) et discrimination des feuilles d'herbier par traitement sous ImageJ (à droite).....	11
Figure 4 : Réglage par défaut des 3 paramètres : Teinte, Saturation et Luminosité (« Dark background » décoché).....	12
Figure 5 : Exemple de traitement de l'image originale (à gauche), traitée par défaut (au centre) et avec ajustement des réglages (à droite)	13
Figure 6 : Photographie originale (à gauche) et photographie traitée avec des polygones (à droite) .	14
Figure 7 : Fréquence d'occurrence (%) des estimations inférieures (pessimistes) ou supérieures (optimistes) aux valeurs de référence pour les différents opérateurs (Rollet et Auby, 2022)	17
Figure 8 : Photographie originale prise sur le terrain avec la présence des reflets (à gauche) et discrimination des feuilles d'herbier par traitement sous ImageJ sans sélectionner les reflets (à droite).....	18
Figure 9 : Extrait de la fiche d'aide à la décision du recouvrement illustrant des schémas entre deux classes (Valeurs en % de recouvrement).....	20

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Classes de recouvrement et médianes associées (extrait de Auby <i>et al.</i> , 2018a).....	7
--	---

Liste des Abréviations

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

EIL : Essai Inter-Laboratoires

GIMP : GNU Image Manipulation Program

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER

INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

LERBN : Laboratoire Environnement Ressources de Bretagne Nord

Introduction

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) a été créée en 2000 par l'Union Européenne. Son objectif principal est l'atteinte et le maintien d'un bon état écologique et chimique des masses d'eau côtières et de transition (estuaires). Pour contrôler celui-ci, différents éléments physico-chimiques (turbidité, température...), chimiques (contaminants organiques...) et biologiques (phytoplancton, phanérogames...) sont surveillés régulièrement. Pour chacun de ces éléments, des protocoles de suivi et des règles de calcul de l'indicateur de qualité ont été établis.

Le protocole de suivi stationnel des herbiers de zostères (ou des Angiospermes) pour la DCE est mis en œuvre sur les masses d'eau des façades Manche et Atlantique, dans lesquelles leur présence est connue.

L'indicateur « Angiospermes » se calcule à partir de trois métriques (Auby *et al.*, 2010) :

- La composition taxonomique qui s'appuie sur l'évolution de la présence des deux espèces de zostères (*Zostera marina* et *Zostera noltei*) dans une masse d'eau ;
- L'extension qui correspond à l'évolution de la superficie de l'herbier dans chaque masse d'eau suivie ;
- L'abondance qui correspond pour *Zostera noltei* à l'évolution du pourcentage de recouvrement des feuilles sur le sédiment.

L'indicateur final « Angiospermes », qui agrège les résultats de ces trois métriques, permet de caractériser l'état d'une masse d'eau et de déterminer son évolution en fonction des années.

Différents essais inter-laboratoires (EIL) ont été réalisés pour juger les pratiques des opérateurs chargés des suivis des zostères. En 2016, il a été constaté une grande variabilité des résultats pour la métrique « abondance » (Auby *et al.*, 2018b). En effet, il y aurait des erreurs dans l'estimation visuelle et dans l'utilisation du logiciel de traitement d'images ImageJ.

En 2021, un nouvel EIL a été mené pour quantifier cette dispersion (Rollet et Auby, 2022) en utilisant des photographies de tous les herbiers suivis dans le cadre de la DCE en France. Certaines de ces photographies présentaient des difficultés d'estimation en raison de la présence d'eau, de reflets, d'algues ou autres éléments non végétaux (coquilles notamment).

Suite à ces EIL et leurs résultats, il a été décidé de produire pour la métrique « abondance », une aide visuelle à l'évaluation du recouvrement.

Le but d'un tel document est de fournir un support visuel pour estimer au mieux sur le terrain la classe de recouvrement à affecter aux zostères présentes dans le quadrat. De plus, un catalogue sur les herbiers suivis pour la DCE a été produit pour illustrer les grands types de recouvrement sur ces sites. Celui-ci est un complément de la fiche d'aide à l'évaluation.

Le but de mon stage est donc de réaliser une fiche d'aide à la décision qui sera utilisée sur le terrain au moment de l'étape d'estimation visuelle du pourcentage de recouvrement en *Zostera noltei*, de préciser les différentes options d'utilisation du logiciel ImageJ à l'étape d'estimation du recouvrement par traitement d'images et enfin de proposer lorsque cela est possible un catalogue de distribution des zostères naines pour les différents sites suivis dans le cadre de la DCE. Au final, tous ces éléments contribueront à la consolidation du protocole DCE pour le suivi de l'état écologique de *Zostera noltei*.

I. Matériel et méthodes

1) Contexte

Mon stage a commencé par la lecture des protocoles de suivi stationnel des herbiers de zostères pour la Directive Cadre sur l'Eau *Zostera marina* – *Zostera noltei* (Auby *et al.*, 2018a), des rapports et conclusions issues des essais inter-laboratoires (EIL) relatifs à sa mise en œuvre (Auby *et al.*, 2018b ; Rollet et Auby, 2022). Cela m'a permis de comprendre l'enjeu de mesurer correctement la métrique «abondance » utilisée pour le calcul de l'indicateur DCE « Angiospermes ».

J’ai eu accès à toutes les données photographiques des suivis DCE herbiers (*Zostera noltei*) collectées par le Laboratoire Environnement Ressources Bretagne Nord (LERBN), depuis 2012 et à la photothèque constituée dans le cadre de l’EIL de 2021, rassemblant des images de tous les sites DCE herbiers suivis en Manche et sur la côte Atlantique (Annexe 1 : Localisation des herbiers suivis pour la DCE sur la façade Manche Atlantique).

Pour calculer la métrique « abondance », on commence par une estimation visuelle sur le terrain suivie d’une estimation numérique par traitement d’images à l’aide du logiciel ImageJ, sur les photographies prises sur le terrain, afin d’avoir une valeur plus précise et surtout plus objective. Cela permet d’attribuer à chaque point de suivi une des 6 classes de recouvrement définies pour cette métrique (Tableau 1 – extrait de Auby *et al.*, 2018a). Les valeurs de recouvrement estimées vont de l’absence d’herbier au recouvrement total en passant par les classes de 1 à 25%, de 26 à 50%, de 51 à 75% et de 76 à 99%.

Tableau 1 : Classes de recouvrement et médianes associées (extrait de Auby *et al.*, 2018a)

Classe de taux de recouvrement (%)	0	1-25	26-50	51-75	76-99	100
Valeur de médiane associée	0	0,125	0,375	0,625	0,875	1

Pour faciliter l’estimation visuelle, une aide à l’évaluation du recouvrement illustrant les différentes classes de recouvrement pour les zostères naines devait être créée en s’inspirant de celle réalisée pour les macrophytes d’eau douce (INRAE, 2015). Ce document est composé de quatre groupes de schémas différents montrant plusieurs situations (Annexe 2 : Aide à l’évaluation des recouvrements de macrophytes d’eau douce). Les classes sont séparées de 10% alors que celles pour les herbiers sont espacées de 25%.

Nous avons échangé avec M. Christian Chauvin, créateur du support d’aide pour les macrophytes d’eau douce, lors d’une visioconférence, afin de discuter de la meilleure manière de créer un équivalent de ce document pour les zostères naines. Nous avons pris en compte les résultats des différents EIL, les enjeux et l’intérêt de réaliser ce document.

2) Attribution des données

a) Manipulation de photographies et utilisation du logiciel de traitement d'images

À partir des photographies mises à ma disposition, je me suis entraînée à estimer sur chacune d'elles le recouvrement en feuilles de zostères, tout d'abord visuellement, puis par traitement numérique à l'aide du logiciel ImageJ (Annexe 3 : Protocole d'utilisation d'ImageJ). Ce dernier permet d'obtenir le pourcentage de recouvrement précis en sélectionnant les feuilles de zostères pour calculer leur aire totale sur le quadrat.

J'ai ensuite comparé les résultats obtenus à partir de l'évaluation visuelle à ceux donnés par ImageJ. S'ils ne sont pas identiques, une relecture est nécessaire pour choisir la classe de recouvrement finale. Il faut donc vérifier la qualité de notre traitement d'images et parfois reconsidérer notre jugement visuel. Par conséquent, l'opérateur attribue toujours la classe de recouvrement finale qui lui semble la plus juste.

Mes résultats de mesure des recouvrements sur les photographies traitées ont été comparés avec ceux obtenus par les opérateurs chargés des suivis des zostères naines.

b) Sortie terrain sur l'herbier de Saint-Jacut-de-la-Mer

Je suis allée sur l'estran de Saint-Jacut-de-la-Mer accompagnée de Claire Rollet et d'Isabelle Auby, afin de m'entraîner à estimer visuellement le recouvrement des feuilles de zostères naines, émergées lors des basses mers. Bien qu'elle ne soit pas adaptée aux zostères, nous avons utilisé sur le terrain le support d'aide à la décision prévu pour les macrophytes d'eau douce, dans le but de réfléchir à la manière de l'adapter aux herbiers de *Zostera noltei*.

Nous avons posé le quadrat (utilisé lors des campagnes de suivi DCE - 50cm x50cm) sur l'estran en essayant de trouver des endroits qui permettent d'échantillonner plusieurs taux de recouvrement. Nous avons affecté chaque point à une classe de recouvrement et avons essayé de trouver quel schéma issu du support des macrophytes d'eau douce ressemblait le plus à notre situation (Figure 1).



Figure 1 : Estimation visuelle du recouvrement de *Zostera noltei* dans le quadrat de 50x50cm sur le terrain et prise de photo pour traitement numérique de retour à la station

De retour à la station, nous avons traité avec le logiciel ImageJ les photographies faites sur le terrain. Le résultat d'estimation visuelle de la classe de recouvrement attribuée sur le terrain et celui obtenu par traitement d'images avec le logiciel ont été comparés. Sur les 10 quadrats échantillonnés, 8 estimations concordaient, 2 étaient différentes car en limite de seuil de classes. Cela a confirmé l'importance de cette double estimation.

De plus, nous avons pu réfléchir à la construction du support d'aide à l'évaluation visuelle. En effet, nous avons décidé à la suite de cette journée, de concentrer les efforts sur les classes de 1 à 25% (centrée sur la médiane 0.125), de 26 à 50% (centrée sur la médiane 0.375), de 51 à 75% (centrée sur la médiane 0.625) et de 76 à 99% (centrée sur la médiane 0.875) (Tableau 1). Ce sont ces classes qui seront représentées sur l'aide à l'évaluation du recouvrement.

La fiche d'aide à l'évaluation doit être constituée d'une feuille recto-verso pour pouvoir être utilisée sur le terrain lors des suivis. Elle ne peut pas représenter toutes les situations possibles. Par conséquent, un catalogue a été produit en complément de celle-ci, pour montrer des exemples de classes de recouvrement sur chaque herbier suivi à l'échelle des façades Manche et Atlantique

2) Choix des photographies utilisées dans les documents d'aide à l'évaluation

Les herbiers suivis pour la DCE sont tous différents. En effet, le substrat peut-être sableux ou vaseux et plus au moins foncé (Figure 2). La présence d'eau sur certaines photographies peut rendre difficile l'estimation du recouvrement tant visuelle que par le traitement numérique sous ImageJ.

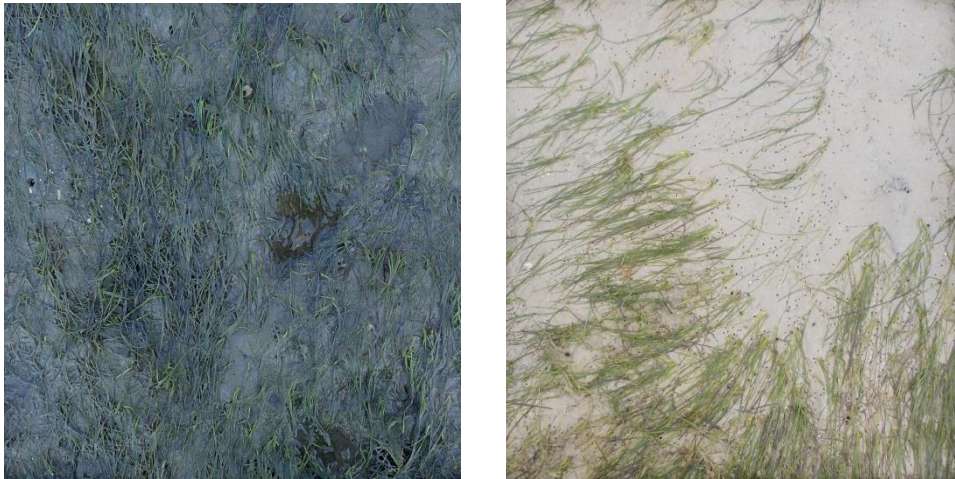


Figure 2 : Photographie de l'herbier d'Arcachon (à gauche) et de Saint-Jacut-de-la-Mer (à droite)

Par conséquent, il est nécessaire de rassembler des images des herbiers des différents sites dans chaque classe de recouvrement, pour avoir une vue globale de différentes situations possibles.

Les 30 photographies annuelles de chaque station suivie sont bancarisées sous Quadrigé. Actuellement, il existe 21 stations de surveillance pour les zostères naines, dont certaines sont échantillonnées depuis 2012 selon le protocole DCE, ce qui fait un volume d'images très importants. Pour choisir les photographies à extraire de Quadrigé, il a fallu commencer par explorer les tableaux Excel disponibles dans cette base de données pour chaque site afin de trouver celles avec un pourcentage de recouvrement sous ImageJ situé en milieu de classe et en seuil entre deux classes. De manière générale, cela a permis de récupérer 7 photographies par station. Néanmoins, il existe des herbiers sur lesquels certaines classes ne sont jamais représentées car ils sont soit très denses ou soit trop peu denses donc sans

équivoque. Dans ces cas, on sélectionne plus d'images dans les classes les plus représentées, pour montrer davantage d'exemples.

Les photographies ont donc été téléchargées et traitées sous ImageJ pour comparer nos pourcentages de recouvrement trouvés avec ceux des opérateurs.

3) Traitement d'images

a) ImageJ

L'intérêt du logiciel ImageJ est d'obtenir par traitement d'images un pourcentage de recouvrement des zostères naines. Comme vu précédemment, il permet de discriminer sur la photographie les feuilles de la plante pour calculer directement l'aire qu'elle recouvre.

Il faut régler plusieurs paramètres pour obtenir une configuration optimale et conforme à la photographie originale (Figure 3).

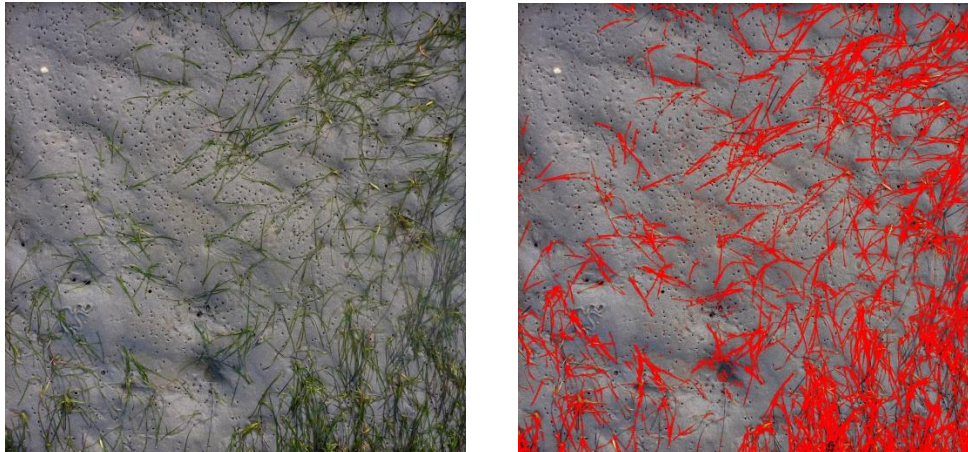


Figure 3 : Photographie originale prise sur le terrain (à gauche) et discrimination des feuilles d'herbier par traitement sous ImageJ (à droite)

Pour chaque photographie à traiter, on suit le protocole d'utilisation d'ImageJ (Annexe 3 : Protocole d'utilisation d'ImageJ). De manière générale, le traitement de l'image se fait selon le réglage défini par défaut pour la teinte (Hue), pour la saturation (Saturation) et pour la

luminosité (Brightness), tout en décochant la case « Dark background » tel que présenté en Figure 4.

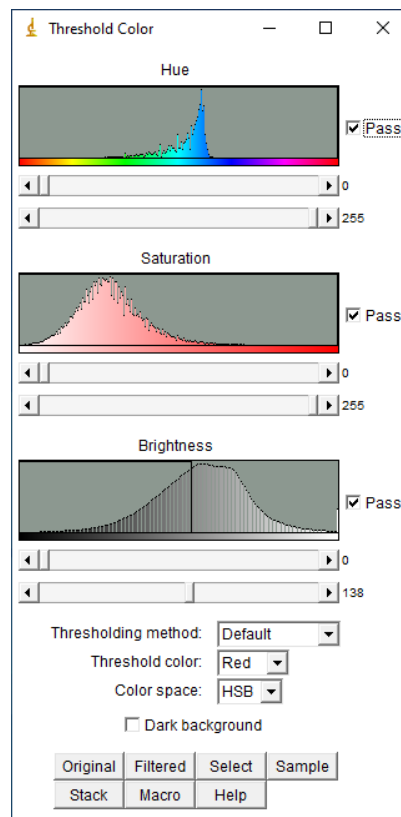


Figure 4 : Réglage par défaut des 3 paramètres : Teinte, Saturation et Luminosité (« Dark background » décoché)

On peut obtenir quatre types de résultats suite à cette manipulation :

- Le logiciel a bien discerné les brins de zostères mais il en a oublié.
- Le logiciel n'a pas bien discerné les brins de zostères.
- Le logiciel a bien discerné les zostères mais il a surévalué certains brins.
- Le logiciel a traité l'image de manière optimale.

On dispose de trois paramètres à régler pour obtenir le traitement idéal. Par conséquent, on commence par régler le paramètre « Hue » qui est la teinte. On ajuste le spectre de couleur que l'on souhaite sélectionner sur notre image. Pour cela, on fait varier le minimum et/ou le maximum sur chaque curseur présent sous le paramètre jusqu'à obtenir ce que l'on pense optimal. De la même manière, en fonction de la nouvelle sélection, on peut adapter le paramètre de la luminosité « Brightness » en augmentant ou en réduisant le maximum pour rajouter ou enlever des brins coloriés. En augmentant le minimum de ce paramètre, on perd de la brillance sur les zones foncées. Au contraire, en augmentant le maximum, on

sélectionne davantage les surfaces brillantes et claires. Si des zones sont toujours surévaluées, on peut augmenter le minimum de la « saturation » qui rétrécit la surface rouge correspondant aux pixels qualifiés comme brins de zostères.

Il est possible de régler plusieurs fois les trois paramètres. En effet, après avoir ajusté la luminosité, on peut changer les réglages de la teinte, par exemple. Le but est de trouver une configuration qui nous semble la plus juste (Figure 5).

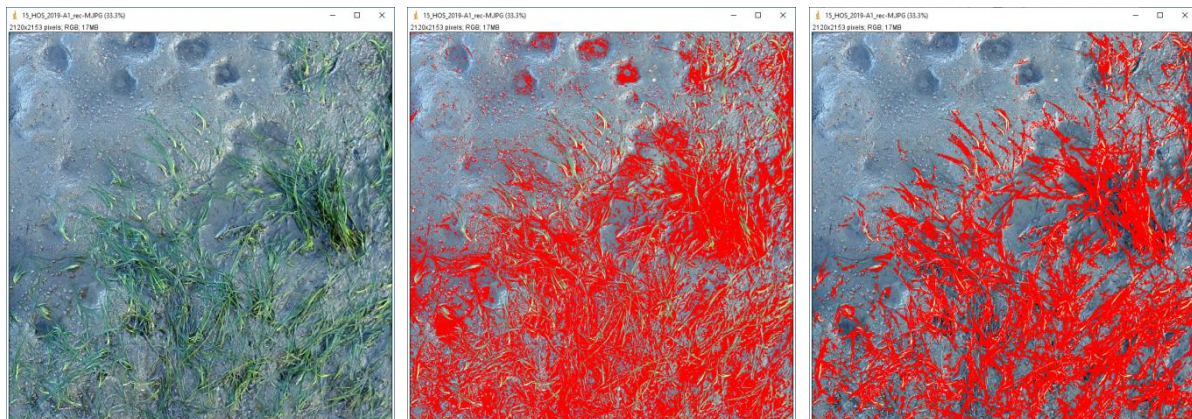


Figure 5 : Exemple de traitement de l'image originale (à gauche), traitée par défaut (au centre) et avec ajustement des réglages (à droite)

Parfois aucune configuration n'est idéale, alors on peut recommencer le traitement en cochant la case « Dark background ». Ce paramètre permet de travailler sur la discrimination du sédiment plutôt que sur celle des feuilles de zostères. On obtient ainsi l'inverse de la surface occupée par les zostères. De la même manière, on ajuste les trois paramètres (teinte, saturation et luminosité). Cette méthode peut être appliquée si le substrat est homogène.

Enfin, on peut également dessiner des polygones entourant les zostères ou le sédiment en fonction de l'abondance de la plante. Cela permet de calculer l'aire à partir de ceux-ci (Figure 6).



Figure 6 : Photographie originale (à gauche) et photographie traitée avec des polygones (à droite)

b) Création de schémas de recouvrement

À partir des traitements d'images sous ImageJ, j'ai dû trouver le moyen de transformer ces photographies traitées en schémas représentant les différentes classes. Par cela, j'ai utilisé un autre logiciel de traitement d'images : GIMP.

Pour faciliter la création des schémas de recouvrement pour lesquels on souhaite représenter les feuilles de zostères en vert et le sédiment en blanc, chaque photographie traitée sous ImageJ a été enregistrée avec la sélection des pixels en rouge issue du traitement numérique correspondant aux feuilles de zostères. Sous GIMP, il est possible de remplacer la couleur rouge par la couleur verte et d'attribuer la couleur blanche à tous les autres pixels. De la même façon, lorsque la discrimination des pixels sur la photographie originale est faite sur le sédiment, on attribue alors la couleur blanche à la sélection et la couleur verte aux autres pixels correspondant aux feuilles de zostères. Pour la création des schémas de recouvrement, je propose un protocole présenté en annexe (Annexe 4 : Protocole d'utilisation GIMP).

4) Création des documents d'aide à l'évaluation du recouvrement

a) Document d'aide à l'évaluation du recouvrement

Pour réaliser la fiche d'aide à l'évaluation du recouvrement en feuilles d'herbier, la première idée était de la construire avec des photographies et leurs schémas correspondants.

Afin de ne pas surcharger la fiche d'aide qui doit tenir, nous l'avons déjà mentionné, sur une feuille recto-verso afin de pouvoir être utilisée facilement sur le terrain, nous avons choisis d'y faire uniquement figurer des représentations schématiques pour chaque classe. La fiche ne peut pas représenter toutes les situations possibles mais sera complétée par un catalogue présenté à la section suivante.

Chaque classe est illustrée par 5 à 6 images rangées par ordre croissant de pourcentage de recouvrement. Les classes de 26 à 50% et de 51 à 75% sont représentées sur le même côté de la fiche car il s'agit des classes qui engendrent le plus d'erreurs d'estimation (Rollet et Auby, 2022). Ces schémas doivent pouvoir être utilisés sur tous les herbiers quelles que soient leurs caractéristiques.

Pour choisir certains schémas, j'ai créé un tableau récapitulatif rassemblant pour chaque station les images présentées dans le catalogue (voir section suivante) avec leur pourcentage de recouvrement associé. Le but de celui-ci est de sélectionner les schémas qui sont les plus visuels et placés au milieu d'une classe ou en limite de seuil. Cela permet d'illustrer la plupart des pourcentages possibles.

b) Catalogue des classes de recouvrement des herbiers suivis pour la DCE

Le catalogue est produit en complément du support d'aide à l'évaluation du recouvrement sur le terrain. Il offre une vue globale des types d'herbiers qui sont suivis dans le cadre de la DCE sur la façade Manche Atlantique (Annexe 1) et permet de mettre en évidence les caractéristiques propres à chaque site. Pour chacun d'eux, plusieurs exemples de recouvrement sont présentés sur des photographies de terrain couplées des représentations

schématiques pour chaque classe associée, de 1 à 25%, de 26 à 50%, de 51 à 75% et de 76 à 99%. Un accent est mis sur les cas de recouvrement en limites de classes.

Certains sites suivis pour la DCE présentent toujours des taux de recouvrement en zostères élevés et par conséquent, aucune illustration n'est disponible dans leur cas pour les classes de faible recouvrement.

Ainsi les stations situées dans le Golfe du Morbihan (1 site) et dans le Pertuis Breton (2 sites) ne sont pas représentées. En effet, ces herbiers sont très denses, avec un recouvrement supérieur à 76%, pour la majorité des points d'échantillonnage. De plus, pour ces sites, les photographies étaient difficilement voire pas du tout exploitables sous ImageJ à cause de la présence d'eau.

Si les opérateurs de ces lieux de surveillance ont un doute dans l'estimation d'un point d'échantillonnage, ils peuvent se référer à la fiche d'aide à l'évaluation qui est utilisable pour tous les herbiers suivis dans le cadre de la DCE ou aux autres sites représentés dans le catalogue.

II. Résultats et discussion

1) Recommandations sur le terrain

Au cours de mon stage, lors des premiers essais d'estimation de recouvrement par les feuilles de zostères sur le terrain et sur les photos, j'ai vu l'importance de confronter mon évaluation à celles de mes encadrantes. L'avis de plusieurs opérateurs est parfois indispensable afin d'avoir une valeur de recouvrement la plus objective possible. En effet, dans le cadre de l'EIL de 2021 (Rollet et Auby, 2022), il a été montré que certains opérateurs étaient pessimistes et d'autres optimistes par rapport à la valeur de recouvrement définie comme référence (Figure 7).

Sur le terrain lors de l'estimation visuelle du recouvrement, les risques d'erreurs seront limités si les opérateurs travaillent en binôme. Ils devront réfléchir et argumenter leur choix pour convenir ensemble de la classe à attribuer au point de suivi.

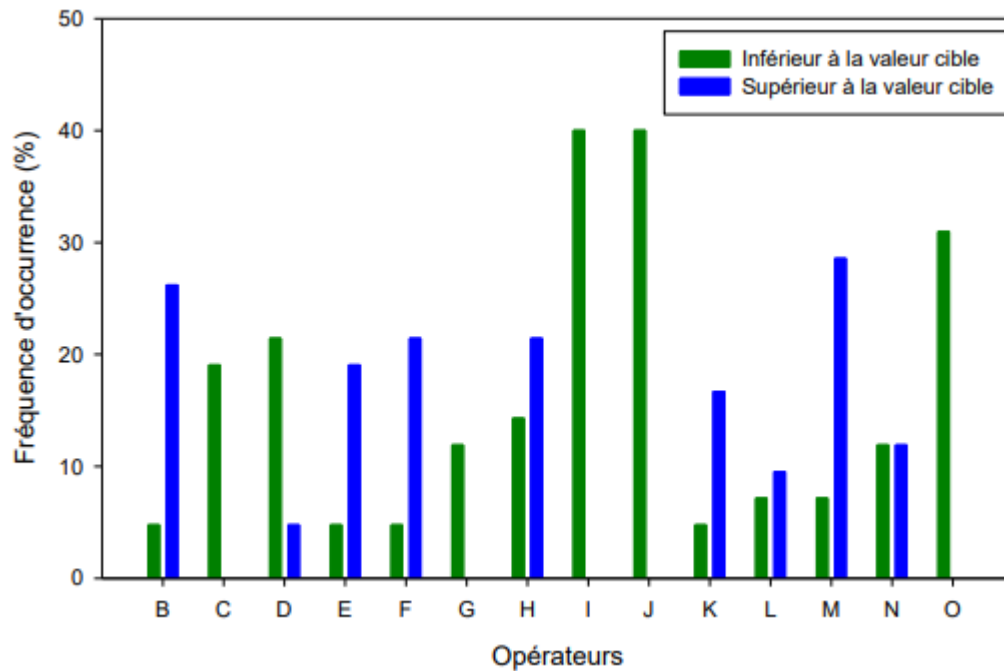


Figure 7 : Fréquence d'occurrence (%) des estimations inférieures (pessimistes) ou supérieures (optimistes) aux valeurs de référence pour les différents opérateurs (Rollet et Auby, 2022)

Concernant la prise des photos de quadrats, il est recommandé dans le protocole de suivi (Auby *et al.*, 2018a), une résolution minimale de 1600x1200 pixels. Lors de la sortie sur l'éstran de Saint-Jacut-de-la-Mer, nous avons fait de nouveaux tests avec l'appareil photo du laboratoire (Olympus Tough TG-6) et avons conclu qu'il est préférable d'appliquer le mode automatique avec une résolution d'image de 4000x3000 pixels pour permettre par la suite un bon traitement numérique des images sous ImageJ. Cette résolution permet d'obtenir une taille de stockage raisonnable.

Il faudra toutefois vérifier pour la bancarisation des photos que cette résolution soit compatible avec les règles de stockage dans la base de données Quadrige. En effet, durant mon stage, j'ai extrait certaines photographies de Quadrige. Celles-ci avaient une résolution de 800x600 pixels, trop faible pour être exploitée sous ImageJ. Le logiciel ne discriminait pas les pixels de zostères de façon optimale. J'ai su par la suite que les photos initiales avaient une trop grande résolution pour être bancarisées et que l'opérateur avait réduit leur résolution afin de pouvoir compléter la bancarisation de ses données.

L'utilisation d'un parasol ou d'un écran de tissu si le temps est ensoleillé est indispensable de manière à assurer une ombre uniforme sur le quadrat. Cette consigne est très importante car les reflets du soleil empêchent le traitement d'images sous ImageJ (Figure 8).

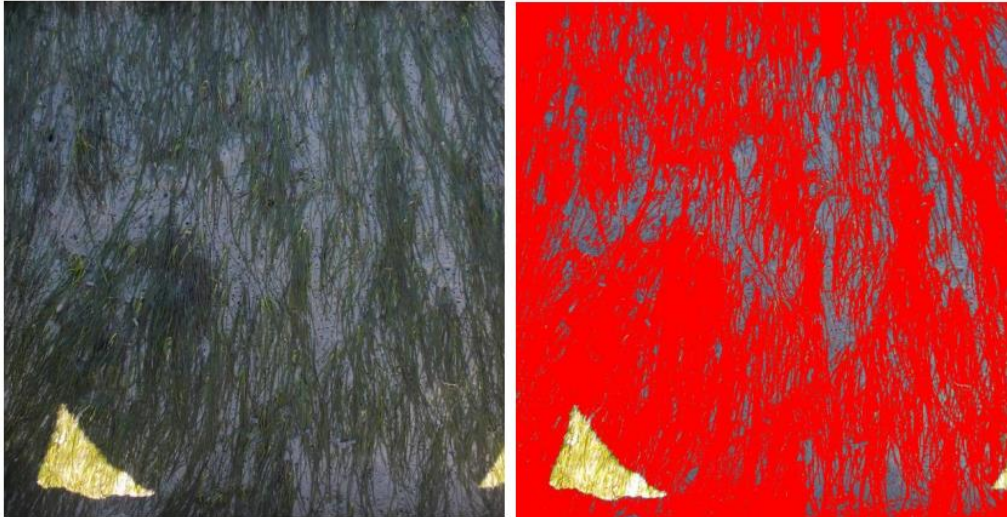


Figure 8 : Photographie originale prise sur le terrain avec la présence des reflets (à gauche) et discrimination des feuilles d'herbier par traitement sous ImageJ sans sélectionner les reflets (à droite)

Rappelons également qu'avant de prendre la photographie du quadrat, les macroalgues, les coquilles ou tous autres éléments présents dans le cadre de la photo qui ne soient pas des feuilles de zostères doivent être retirés. Ce nettoyage du quadrat facilitera le traitement numérique.

2) Recommandations pour le traitement d'images en laboratoire

Comme sur le terrain, il est recommandé de travailler en binôme pour cette étape d'estimation par traitement d'images sous ImageJ.

En effet, lorsque les estimations de recouvrement se trouvent en limite de classe, confronter différentes approches du traitement d'images aidera à limiter les erreurs en discriminant au mieux les pixels correspondants aux zostères.

Il apparaît également nécessaire que les opérateurs maîtrisent au mieux ImageJ afin d'optimiser le traitement de l'image selon les différentes options proposées par le logiciel. On passe généralement beaucoup de temps pour traiter la première image car il faut

reprenre le logiciel en main et trouver les bons réglages des trois paramètres (teinte, saturation, luminosité). On peut relever les valeurs des réglages des différents curseurs pour la première photographie, pour les utiliser sur les autres photographies de la station. Chaque site est différent comme vu précédemment (Figure 2) avec des sédiments de différentes natures et de différentes couleurs. Pour une même station, les points de suivi possèdent la plupart du temps des caractéristiques identiques ce qui permet de conserver les réglages des paramètres pour traiter la série de photos associées. Les ajustements des curseurs de la teinte sont très souvent équivalents alors qu'il faut adapter ceux de la luminosité.

Il ne faut pas hésiter à laisser une photographie de côté si son traitement est difficile pour la reprendre plus tard ou solliciter un autre opérateur. Il est possible qu'en traitant une autre image, on trouve de nouvelles façons de discriminer les feuilles de zostères et qu'on puisse l'appliquer sur les photographies plus difficiles.

L'opérateur a toujours le dernier jugement sur la classe à attribuer. Il est donc nécessaire de « s'autocritiquer » sur son estimation visuelle et numérique lorsque les résultats obtenus entre les deux sont différents. C'est pour cela que travailler en binôme est indispensable. En cas de doute, il faut demander un autre avis. Cela limitera les erreurs d'estimation.

Dans le cadre de ce stage, j'ai ainsi complété le protocole d'utilisation d'ImageJ afin de préciser différentes options d'utilisation du logiciel : augmentation des contrastes, exemples de réglages des paramètres teinte, saturation et luminosité, exemples de cas difficiles à traiter et alternatives possibles (sélection du sédiment, contourage de formes).

3) Utilisation des documents d'aide à l'évaluation du recouvrement

a) Document d'aide à l'évaluation du recouvrement

Lorsque je me suis entraînée à estimer visuellement les recouvrements en m'appuyant sur des photographies traitées pour des années passées, j'ai moi-même constaté une variabilité entre certains de mes résultats et ceux des autres opérateurs, avec parfois plusieurs classes de différence.

Le support d'aide à l'estimation visuelle du recouvrement a été créé (Annexe 5 : Aide à l'évaluation des recouvrements de *Zostera noltei*) pour compléter le protocole de suivi des herbiers de zostères naines, dans le cadre de la DCE. Il permet d'aider lors de l'estimation visuelle pour les sorties sur le terrain en donnant des exemples de taux de recouvrement afin de limiter les erreurs lors de l'attribution de la classe de recouvrement. Les schémas proposés mettent l'accent sur les cas de recouvrement en limite de seuil entre deux classes (Figure 9).

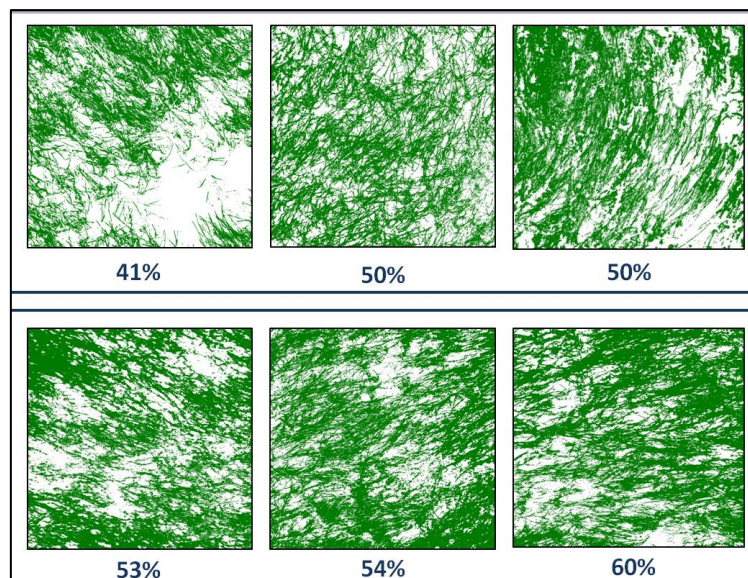


Figure 9 : Extrait de la fiche d'aide à la décision du recouvrement illustrant des schémas entre deux classes (Valeurs en % de recouvrement)

Il s'agit ici d'une première version qui sera sûrement amené à être modifiée – voire à être adaptée pour chaque site.

Lors des prochains suivis des zostères naines dans le cadre de la DCE, cette fiche d'aide à la décision (au format A4 recto-verso) sera utilisée. Les retours des opérateurs seront importants pour savoir si cette aide à l'évaluation du recouvrement a facilité l'étape d'estimation visuelle sur le terrain pour la métrique « abondance ».

b) Catalogue des classes de recouvrement des herbiers suivis pour la DCE

Ce document produit en complément de la fiche d'aide à la décision du recouvrement des zostères naines permet d'obtenir une vision globale des herbiers de zostères suivis dans le cadre de la DCE (Annexe 6 : Catalogue des recouvrements de *Zostera noltei* pour chaque

station). Il complète également le protocole DCE pour le suivi des zostères et pourra être utilisé par site en cas de doute de la classe à attribuer. Il sera amené à évoluer et complété pour certains sites. De plus, certaines stations suivies présentent toujours des abondances en zostères supérieures à 76%, il n'y a donc pas d'exemples d'images pour les classes inférieures. C'est pourquoi, j'ai choisis de ne pas représenter les sites suivis dans le Pertuis breton et dans le golfe du Morbihan. Si dans le futur, ces herbiers de zostères régressent, il sera peut-être utile de les intégrer dans le catalogue pour illustrer les différentes classes rencontrées.

Conclusion

La variabilité des résultats pour la métrique « abondance » a été démontrée lors des EIL réalisés en 2016 et 2021. Pour limiter cette dispersion, il est recommandé de travailler en binôme aussi bien pour l'estimation visuelle sur le terrain que pour le traitement d'images sous ImageJ. Chacune des deux estimations a son importance car elle permette d'avoir un double jugement et donc d'avoir des résultats plus fiables lors de l'attribution de la classe de recouvrement finale. Il s'avère que quelquefois le traitement d'images ne soit pas possible, alors la valeur de recouvrement retenue sera celle de l'estimation visuelle.

À l'issue de mon stage, la fiche d'aide à l'évaluation visuelle du recouvrement de *Zostera noltei* sur le terrain, le catalogue des grands types de recouvrement par sites d'herbiers de zostères suivis pour la DCE et la consolidation du guide d'utilisation du logiciel de traitement d'images doivent être intégrés au protocole de suivi stationnel des herbiers à zostères pour la DCE.

La fiche d'aide pour le terrain pourra être distribuée à tous les opérateurs dès la prochaine campagne de suivi en septembre 2022.

Références bibliographiques

Auby I., Oger-Jeanneret H., Gouillieux B., Grall J., Janson A.-L., Maguer M., Rigouin L., Rollet C., Sauriau P.-G., Trut G., 2018a. Protocoles de suivi stationnel des herbiers à zostères pour la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). *Zostera marina* - *Zostera noltei*. Version 3. Ifremer, France. 73p

<https://archimer.ifremer.fr/doc/00471/58250/>

Auby I., Oger-Jeanneret H., Rigouin L., Rollet C., Trut G., Grall J., Maguer M., Guigues N., Lalere B., 2018b. DCE en Manche-Atlantique : Essais inter-laboratoires sur les mesures d'abondance des zostères (*Zostera marina* et *Zostera noltei*). Validation de protocoles et recommandations. Rapport AQUAREF 2018, 74 p.

<https://archimer.ifremer.fr/doc/00483/59510>

Auby I., Oger-Jeanneret H., Sauriau P.-G., Hily C., Barille L., 2010. Angiospermes des côtes françaises Manche-Atlantique. Propositions pour un indicateur DCE et premières estimations de la qualité. Ifremer, France. 72p

<http://archimer.ifremer.fr/doc/00032/14358/>

INRAE, Hydrobio DCE, Bioindication pour l'évaluation des eaux, des outils pour les applications DCE <https://hydrobio-dce.inrae.fr/telecharger/macrophytes-rivieres-2/> ; Schéma d'aide à l'évaluation des recouvrements, V1.1, 29/07/2015 https://hydrobiodce.inrae.fr/wp-content/uploads/2015/07/Schema_recouvrements_irstea2015_1.1.pdf

Rollet C., Auby I., 2022. DCE en Manche-Atlantique: Essais inter-laboratoires sur les mesures d'abondance des zostères naines (*Zostera noltei*). AQUAREF, Ifremer, France. 39p.

<https://archimer.ifremer.fr/doc/00751/86287/>

Base de données :

Quadrige – Référentiel National de gestion des données de la surveillance littorale. Données bancarisées dans le cadre du suivi stationnel des herbiers de zostères pour la Directive Cadre sur l'eau (DCE) – Volet Herbiers à *Zostera noltei*. Accès aux données sur habilitation.

Liste des Annexes

Annexe 1 : Localisation des herbiers suivis pour la DCE sur la façade Manche Atlantique ; (Auby <i>et al.</i> , 2018b)	23
Annexe 2 : Aide à l'évaluation des recouvrements de macrophytes d'eau douce ; (INRAE, 2015).....	26
Annexe 3 : Protocole d'utilisation d'ImageJ	28
Annexe 4 : Protocole d'utilisation de GIMP	34
Annexe 5 : Aide à l'évaluation des recouvrements de <i>Zostera noltei</i>	37
Annexe 6 : Catalogue des recouvrements de <i>Zostera noltei</i>	39

**Annexe 1 : Localisation des herbiers suivis pour la DCE
sur la façade Manche Atlantique ; (Auby *et al.*, 2018b)**

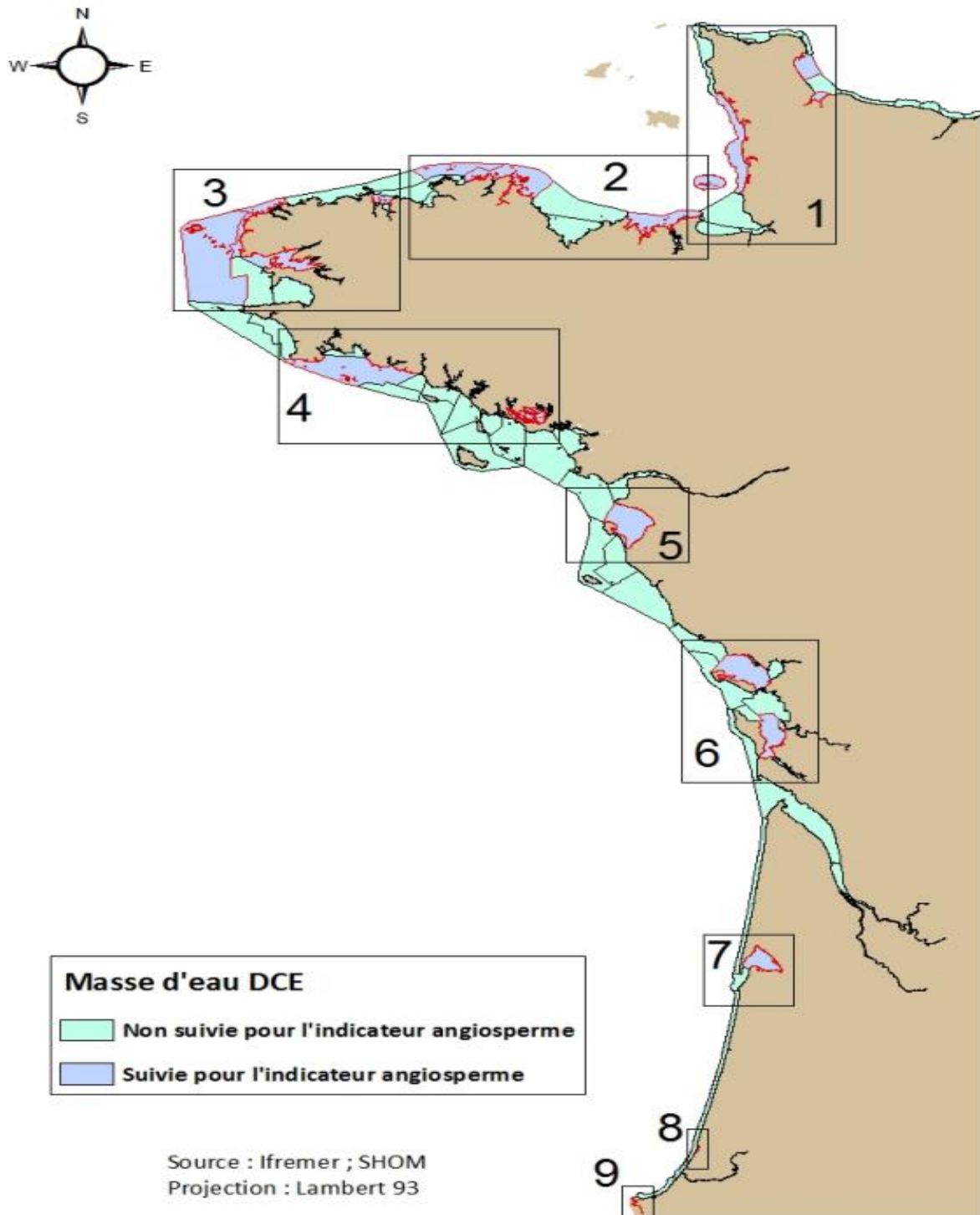


Figure 1: Localisation des sites dans lesquels les herbiers de zostères sont suivis dans le cadre de la DCE et du Rebetn Bretagne.

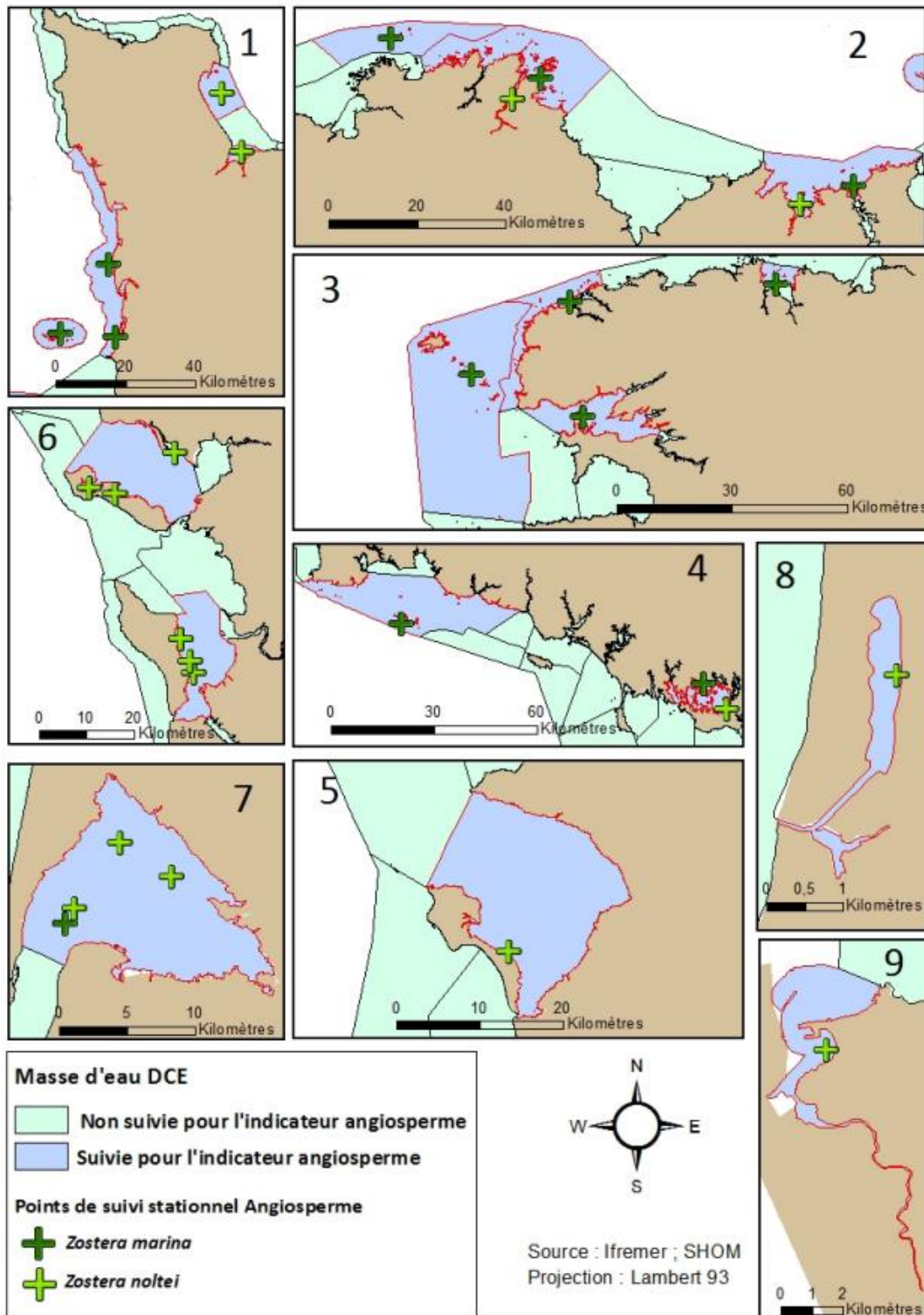


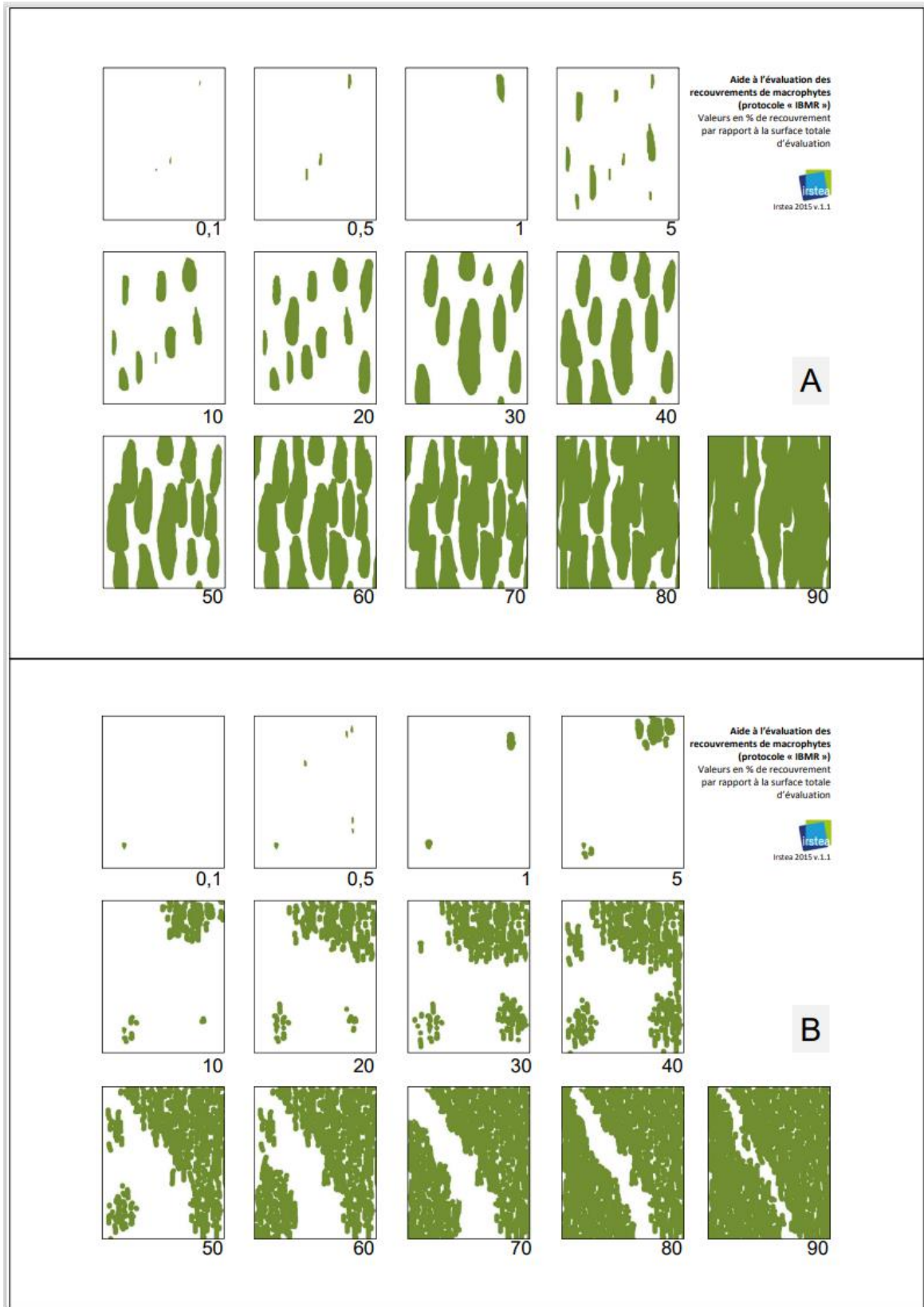
Figure 2 : Détail des points de suivi dans les masses d'eau DCE

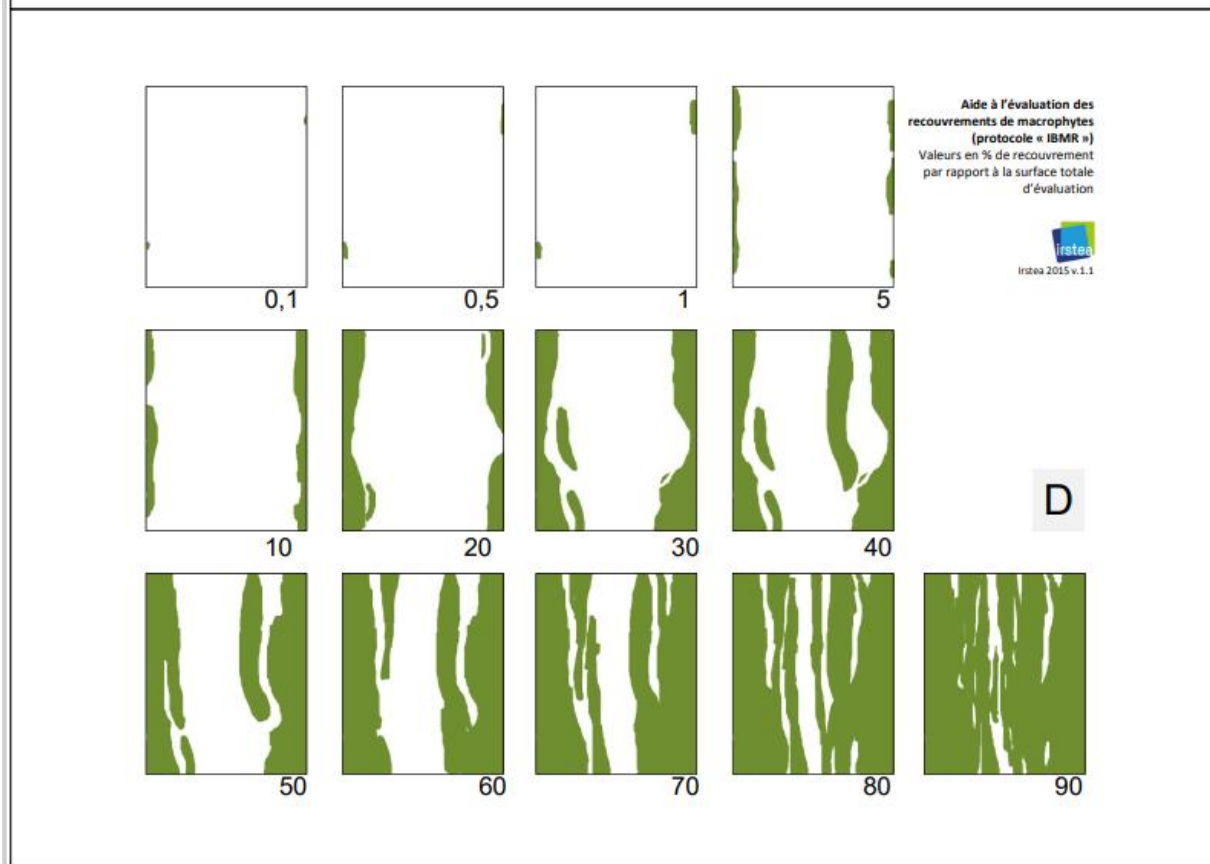
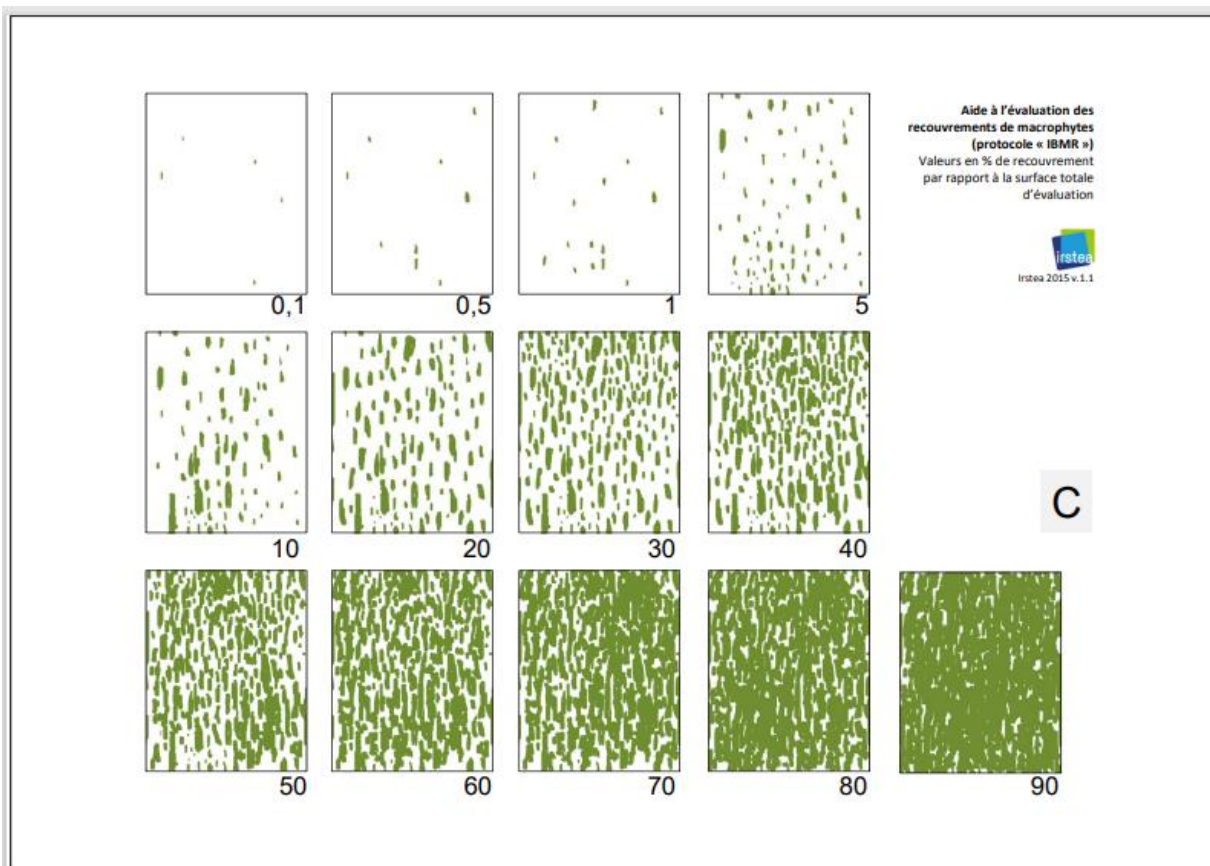
La correspondance entre les numéros et les masses d'eau suivies se trouve dans le tableau 1.

Tableau 1: Masses d'eau faisant l'objet d'un suivi des angiospermes dans le cadre de la DCE et de Rebenb Bretagne et stations de mesure des abondances.

Carte	Masse d'eau		Espèce(s) échantillonnée(s) et nom des stations suivies	
	n°	nom	<i>Zostera marina</i>	<i>Zostera noltei</i>
1	FRHT06	Baie des Veys (fond)		SIZN02 - La Pointe de Brévands HZN
1	FRHC09	Anse de St-Vaast la Hougue		SIZN01 - St Vaast la Hougue HZN
1	FRHC03	Ouest Cotentin	SIZM02 - Bréhal HZM	
			SIZM03 - Gouville HZM	
1	FRHC01	Archipel Chausey	SIZM01 – Chausey HZM SIZM01bis – Chausey HZM SIZM01ter – Chausey HZM	
2	FRGC03	Rance Fresnaye	Saint Malo Petit Bé HZM	Saint-Jacut de la Mer int HZN
2	FRGT03	Le Trieux		Le Trieux Kergrist HZN
2	FRGC07	Paimpol – Perros-Guirec	L'Arcouest HZM	
2	FRGC08	Perros-Guirec (large)	Les Sept Iles HZM	
3	FRGC11	Baie de Morlaix	Callot HZM	
3	FRGC13	Les Abers (large)	Sainte-Marguerite HZM	
3	FRGC18	Iroise (large)	Molène HZM	
3	FRGC16	Rade de Brest	Roscanvel HZM	
4	FRGC28	Concarneau (large)	Glénan HZM	
4	FRGC39	Golfe du Morbihan	Arradon HZM	Kerlevenan-Sarzeau int HZN
5	FRGC48	Baie de Bourgneuf		La Berche int HZN
6	FRGT30	Estuaire du Lay		Lay Crochon 1982 int HZN
6	FRGC53	Pertuis breton		Ars en Ré int HZN Plage de la Charge Neuve int HZN
				Les Doux int HZN Perrottine-Bellevue int HZN Le Château d'Oléron int HZN
7	FRFC06	Arcachon amont	Courbey_sub_ZM	Afrique int HZN Estey Tort int HZN Hautebelle int HZN
8	FRFC09	Hossegor		Hossegor int HZN
9	FRFT08	Estuaire Bidassoa		Bidassoa int HZN

Annexe 2 : Aide à l'évaluation des recouvrements de macrophytes d'eau douce ; (INRAE, 2015)





Annexe 3 : Protocole d'utilisation d'ImageJ

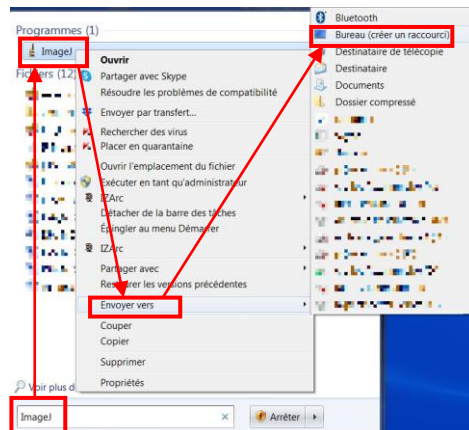
1- Télécharger et installer le logiciel

À partir du lien suivant : <https://imagej.nih.gov/ij/download.html>

Choisir la version adaptée à votre plateforme. Ce sera 'Windows' pour la plupart des opérateurs.

Télécharger le logiciel

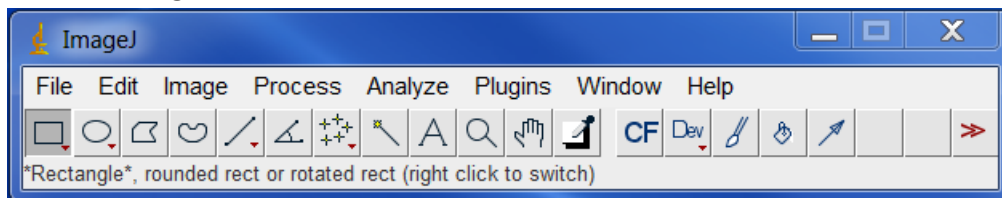
Dézipper (extraire) le fichier téléchargé [ij153-win-java8.zip], en précisant si nécessaire un répertoire défini comme C:\Program Files (x86). Vous pourrez alors créer un raccourci sur le bureau de votre PC.



→  sur votre bureau.

Si souci, vérifier que vous soyez en mode 'Administrateur' pour effectuer l'installation du logiciel.

2- Lancer ImageJ



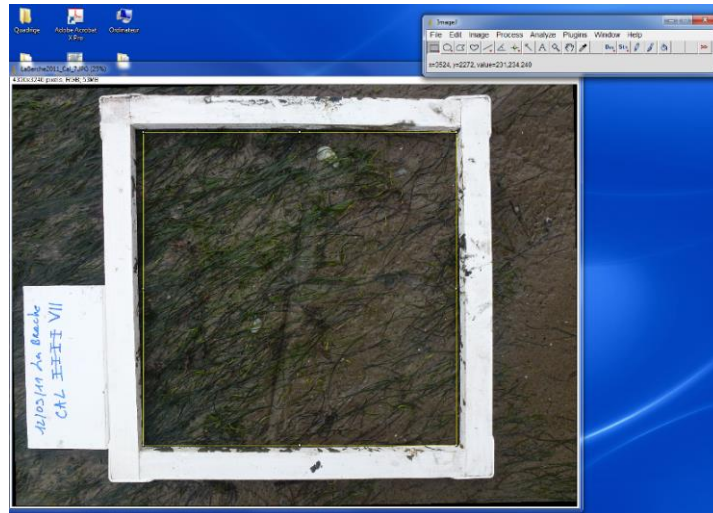
2.1- Ouverture du fichier

File / Open → Choisir le répertoire et fichier à traiter (ici une image des Doux, Oléron)

Ouvrir

2.2- Choix de la surface à traiter

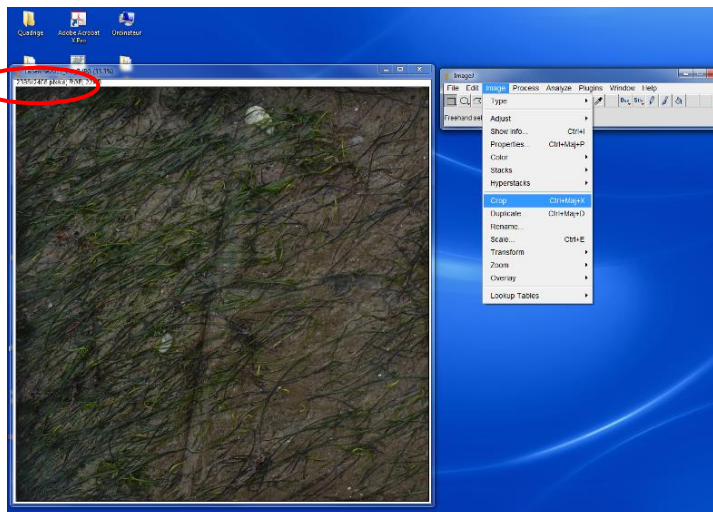
- i. Si nécessaire, commencer par redresser la photo : **Image / Transform / Rotate...**
Renseigner l' '**Angle**', positif ou négatif, de rotation → **OK**
- ii. Recadrer la photo : sélectionner l'outil ***Rectangle*** (premier icône sous la barre de menu), et tracer le rectangle le plus près possible du pourtour interne du quadrat (attention de ne pas sélectionner l'ombre du quadrat, si elle est présente- risque effet de bords). Relâcher la souris.



iii. **Valider la sélection : Image / Crop.**

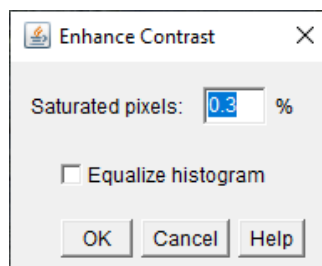
Le nombre de pixels de l'image sélectionnée s'affiche en haut de l'image et servira pour le calcul final. Dans cet exemple, il est égal à $2\,732 \times 2\,108 = 5\,759\,056$ pixels. On peut également obtenir cette valeur en faisant : **Analyse / Measure.**

Nb pixels



2.3 Augmenter les contrastes : Process / Enhance Contrast

Laisser la valeur de « Saturated pixels » à 0.3% → OK



Cette étape est primordiale pour faciliter le traitement d'images par la suite. En effet, le logiciel discerne mieux les couleurs car il élargit son spectre de couleurs.

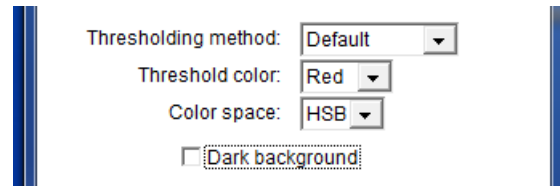
2.4 - Délimitation du recouvrement du substrat par les zostères

i. Traitement d'images classique

Lancement du traitement de la photo : **Image / Adjust / Color Threshold**

→ Le but est de colorer sur l'image tous les pixels qui correspondent à de la zostère. Ce qui revient à appliquer un filtre sur l'image d'origine.

Une fenêtre permettant d'afficher les paramètres classiques d'une photo (Teinte, Saturation et Luminosité) s'ouvre à côté de l'image à traiter. Vérifier au bas de cette fenêtre que la configuration suivante soit bien définie tel que :



(→ décocher la case 'Dark background')

Afin de sélectionner au mieux les zostères sur l'image, sous chacun des histogrammes de fréquence de pixels, ajuster à l'aide des curseurs les seuils (minimum et maximum) pour chacun des paramètres

'**Hue**' (Teinte ou nature de la couleur),

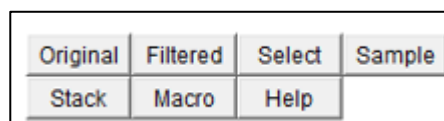
'**Saturation**' (Saturation ou intensité de la couleur)

'**Brightness**' (Luminosité ou brillance de la couleur).

De manière générale, on commence par régler le paramètre « Hue » qui est la teinte. On ajuste le spectre de couleur que l'on souhaite sélectionner sur notre image. Pour cela, on fait varier le minimum et/ou le maximum sur chaque curseur présent sous le paramètre jusqu'à obtenir ce que l'on pense optimal. De la même manière, en fonction de la nouvelle sélection, on peut adapter le paramètre de la luminosité « Brightness » en augmentant ou en réduisant le maximum pour rajouter ou enlever des brins coloriés. En augmentant le minimum de ce paramètre, on perd de la brillance sur les zones foncées. Au contraire, en augmentant le maximum, on sélectionne davantage les surfaces brillantes et claires. Si des zones sont toujours surévaluées, on peut augmenter le minimum de la « saturation » qui rétrécit la surface rouge correspondant aux pixels qualifiés comme brins de zostères.

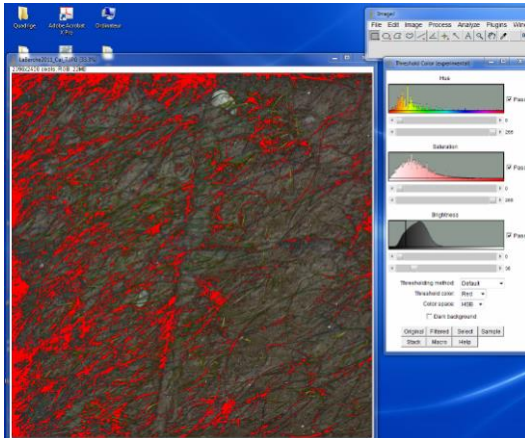
L'ajustement des paramètres se fait en comparant à plusieurs reprises l'image originale avec l'image colorée en rouge (image filtrée) :

Cliquer alternativement en bas de la fenêtre de paramétrage sur les boutons '**Original**' et '**Filtered**'.

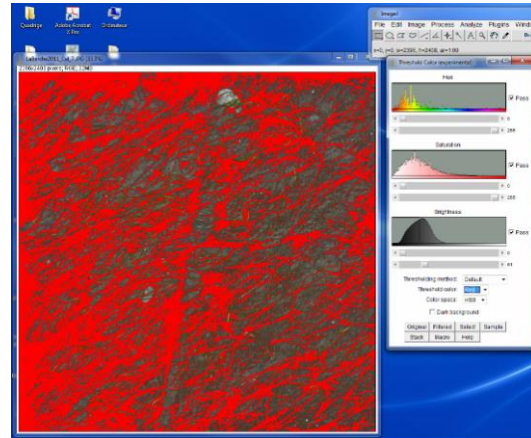


Il est possible de régler plusieurs fois les trois paramètres. En effet, après avoir ajusté la luminosité, on peut changer les réglages de la teinte, par exemple. Le but est de trouver une configuration qui nous semble la plus juste (Figure 5).

Note : En revenant à l'image filtrée (bouton « filtered »), il arrive que l'image soit en noir et blanc. Dans ce cas, actionner à nouveau « Threshold color : Red ».



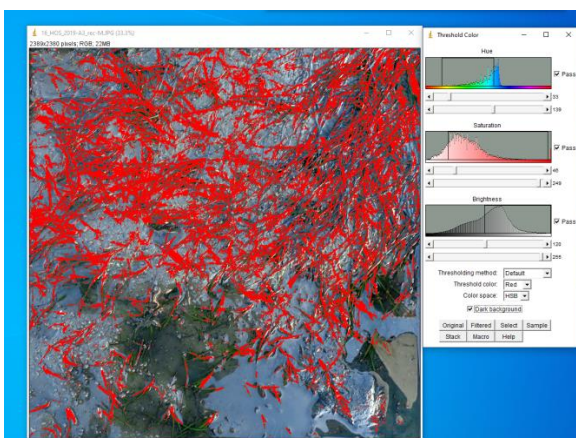
'Brightness' : valeur maximale = 38



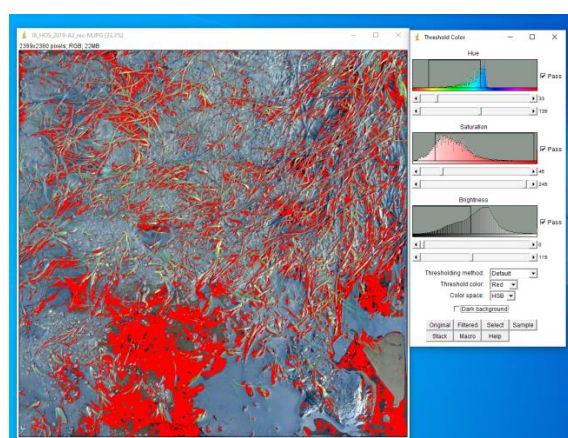
'Brightness' : valeur maximale = 61

i. Traitement d'images avec reflets d'eau ou vase sur les feuilles

La présence d'eau ou de vase sur les feuilles peut compliquer le traitement de l'image. On peut donc décocher l'un ou plusieurs des trois paramètres (Teinte, Saturation et Luminosité), afin d'obtenir une meilleure sélection. De plus, cocher la case 'Dark background' permet de faciliter le traitement en cas d'eau sur l'image.



'Dark background' coché



'Dark background' décoché

ii. Traitement d'images avec des polygones

Parfois, aucune configuration ne permet un traitement d'images. Lorsqu'il est toutefois possible d'identifier une distribution des éléments à discriminer sur la photographie, on peut tracer des polygones sur les zostères ou le sédiment en fonction de l'abondance de la plante.

Sélectionner alors l'outil ***Polygone*** ou ***Main levée*** (troisième ou quatrième icône sous la barre de menu), et entourer la surface souhaitée le plus précisément possible. Relâcher la souris.

Valider la sélection : **Edit/File**

Lancement du traitement de la photo : **Image / Adjust / Color Threshold**

→ Le but est de colorer sur l'image tous les polygones qui correspondent à de la zostère ou du sédiment.

On règle le paramètre de la teinte sur la couleur des polygones et le maximum de la luminosité à 255 pour qu'ils soient sélectionnés.



Photographie originale (à gauche)



Photographie traitée avec des polygones sur les zostères (à droite)

iii. Sélectionner la surface discriminée

Lorsque la sélection de pixels en rouge vous semble correspondre au mieux au recouvrement du substrat par la zostère visible sur l'image originale, cliquer sur le bouton **'Select'**. Les pixels entourés en jaune correspondent aux zostères.

Annexe 4 : Protocole d'utilisation de GIMP

Contexte : À partir des traitements d'images sous ImageJ, il est possible transformer ces photographies traitées en schémas représentant les différentes classes. Par cela, on utilise un autre logiciel de traitement d'images : GIMP.

Pour faciliter la création des schémas de recouvrement pour lesquels on souhaite représenter les feuilles de zostères en vert et le sédiment en blanc, chaque photographie traitée sous ImageJ a été enregistrée avec la sélection des pixels en rouge issue du traitement numérique correspondant aux feuilles de zostères. Sous GIMP, il est possible de remplacer la couleur rouge par la couleur verte et d'attribuer la couleur blanche à tous les autres pixels. De la même façon, lorsque la discrimination des pixels sur la photographie originale est faite sur le sédiment, on attribue alors la couleur blanche à la sélection et la couleur verte aux autres pixels correspondant aux feuilles de zostères. Pour la création des schémas de recouvrement, je propose un protocole présenté en annexe.

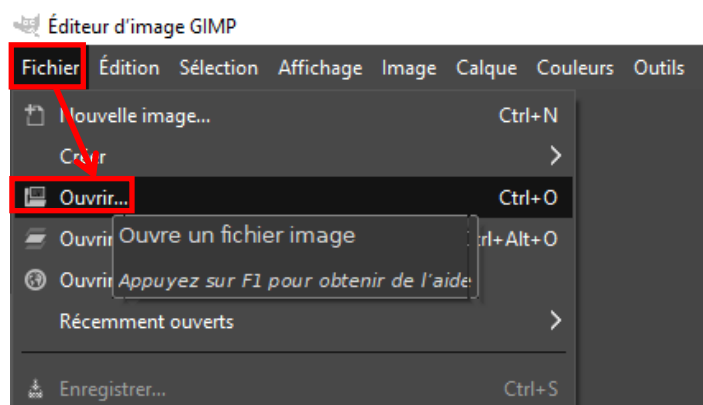
1- Télécharger et installer le logiciel

A partir du lien suivant : <https://gimp.fr.uptodown.com/windows/telecharger>

2- Lancer Gimp

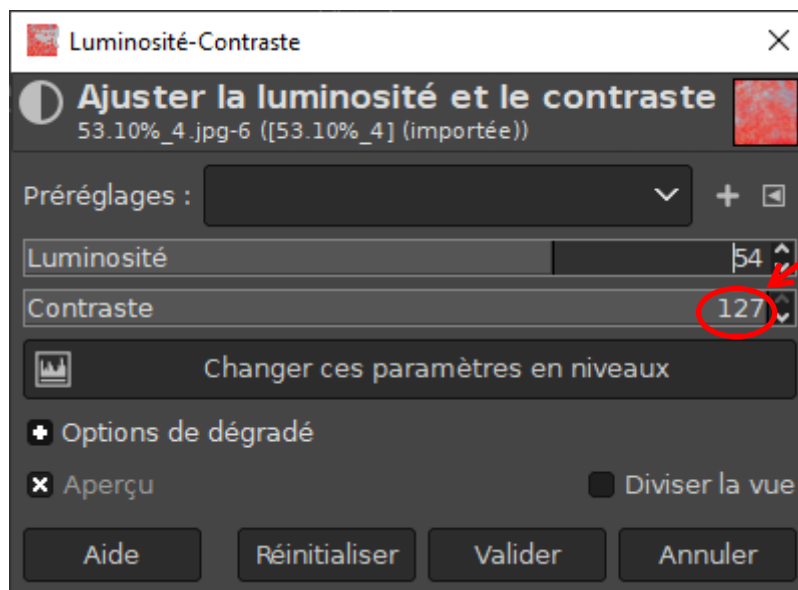
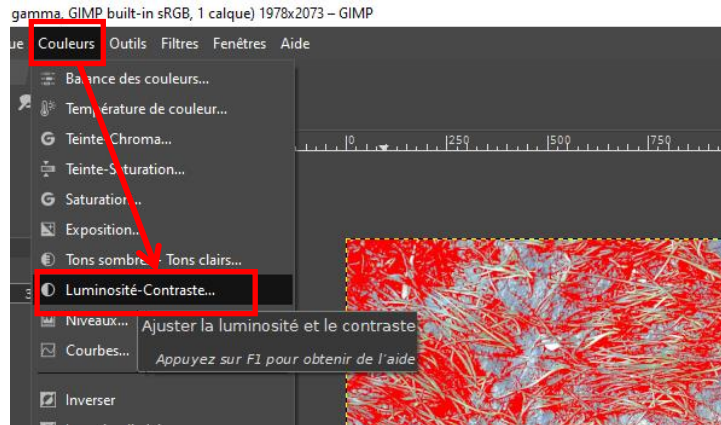
a) Ouverture du fichier

Fichier / Ouvrir -> Choisir le répertoire et fichier à traiter (prendre seulement des photographies traitées au préalable sous ImageJ)



b) Augmenter les contrastes pour obtenir deux couleurs uniformes

Couleurs / Luminosité-Contraste -> Augmenter le paramètre contraste au maximum. Faire varier le paramètre luminosité jusqu'à obtenir un rouge et un blanc uniforme (Il est possible de faire des allers-retours entre l'image traitée sous ImageJ et modifiée sous GIMP, pour ajuster au mieux le paramètre de la luminosité. Pour cela on clique sur **Aperçu**) -> **Valider**

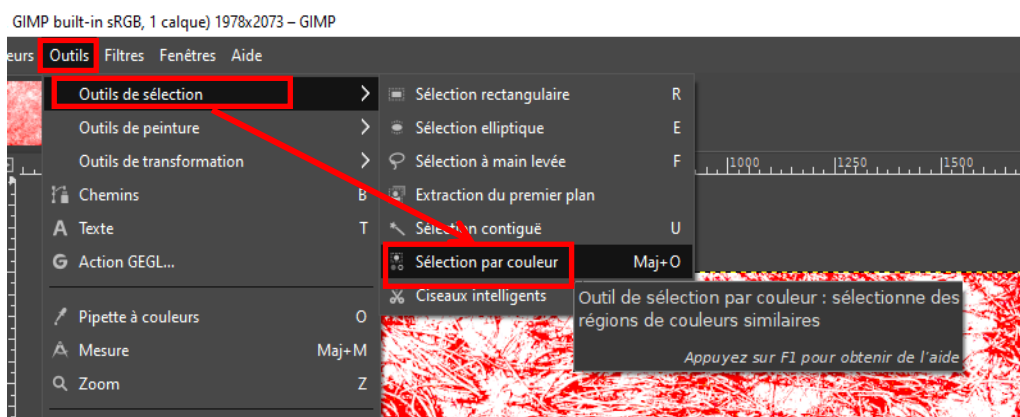


Contraste au maximum

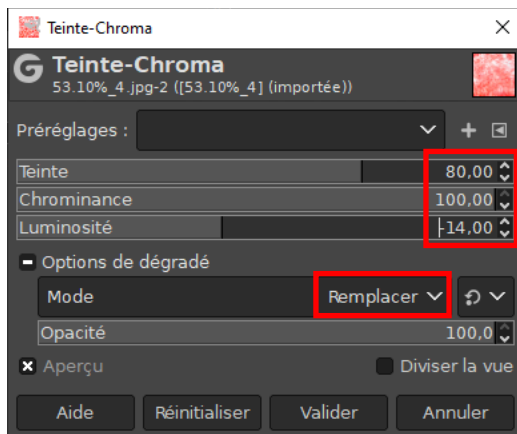
Si les zostères sont en rouges sur la photographie traitée sous ImageJ alors elles le resteront aussi avec l'augmentation des contrastes. Sinon elles seront blanches et c'est le sédiment qui est rouge.

c) Changer la couleur des zostères

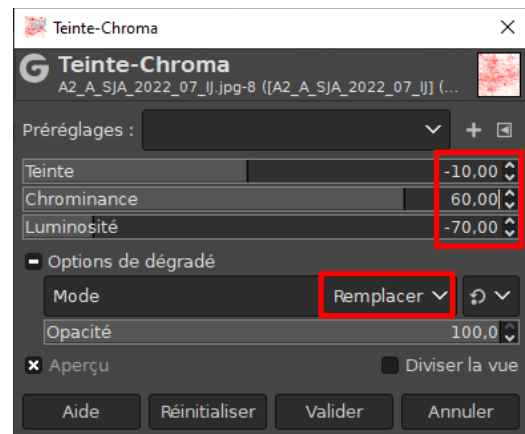
Outils / Outils de sélection / Sélection par couleur (une croix s'affiche à la place de la souris) -> Cliquer sur une zone où les zostères sont présentes (Le logiciel sélectionne toutes les zones de la même couleur donc les zostères).



Couleurs / Teinte-Chroma -> Ajuster les paramètres indiqués sur les figures ci-dessous en fonction de la couleur originale des zostères. On obtient un vert uniforme -> **Valider**



Les paramètres à appliquer si les zostères sont rouges (à gauche).

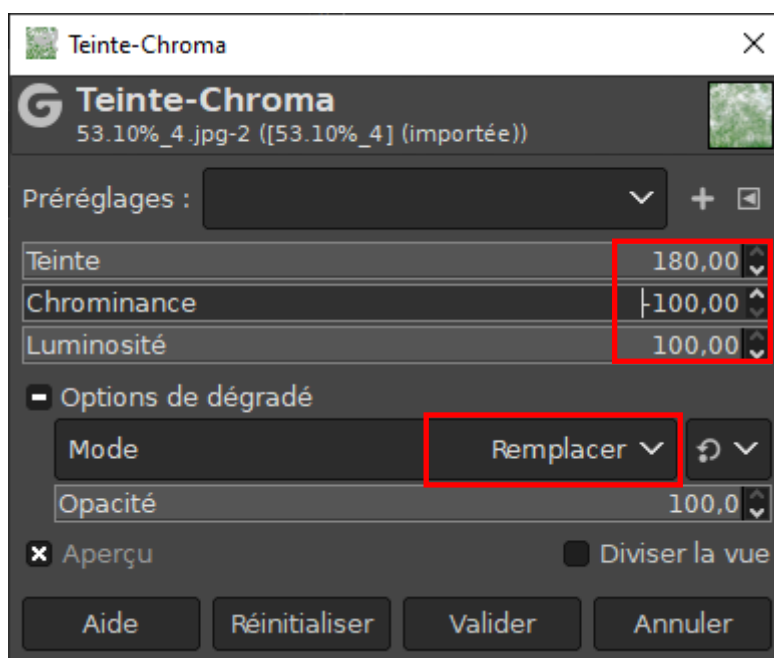


Les paramètres à appliquer si les zostères sont blanches (à droite).

d) Changer la couleur du sédiment

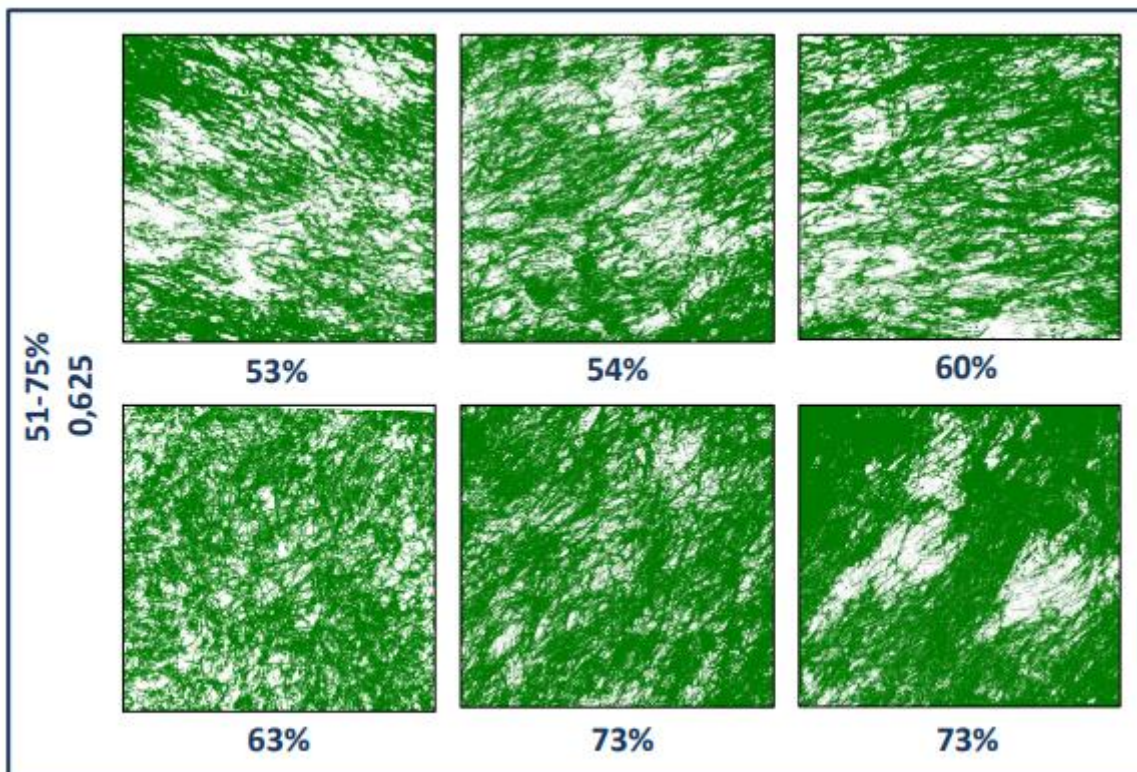
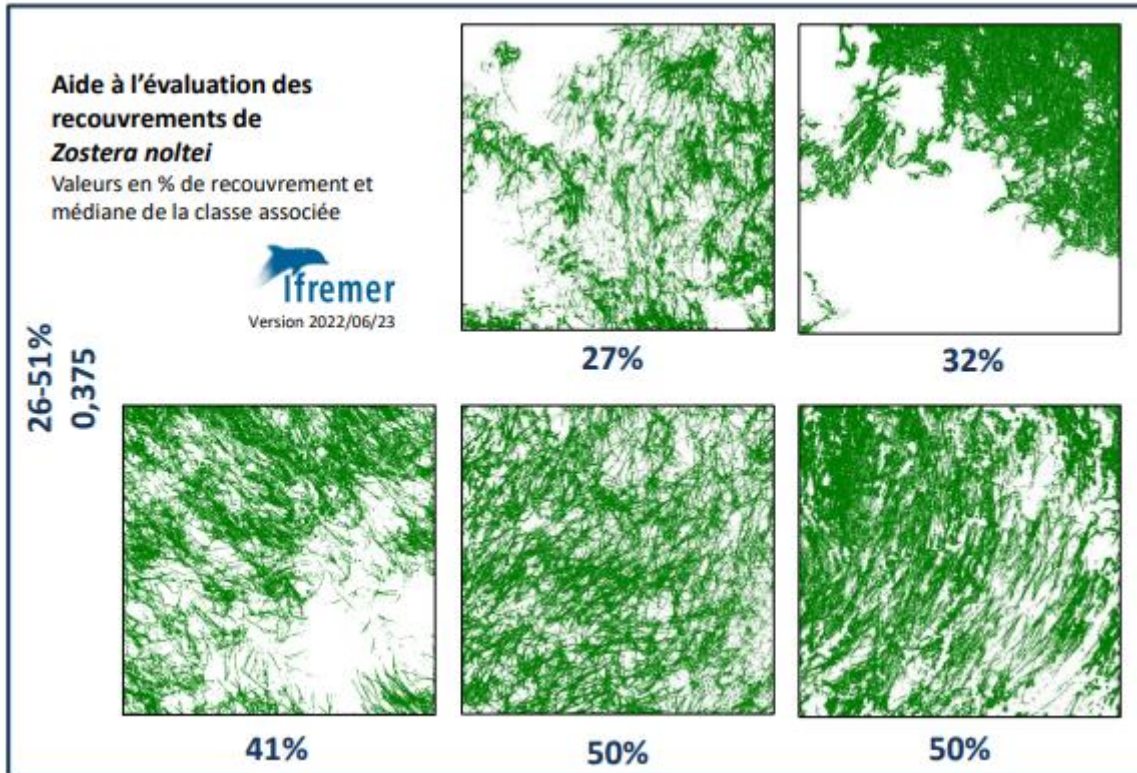
Sélectionner / Inverser -> Le sédiment est sélectionné.

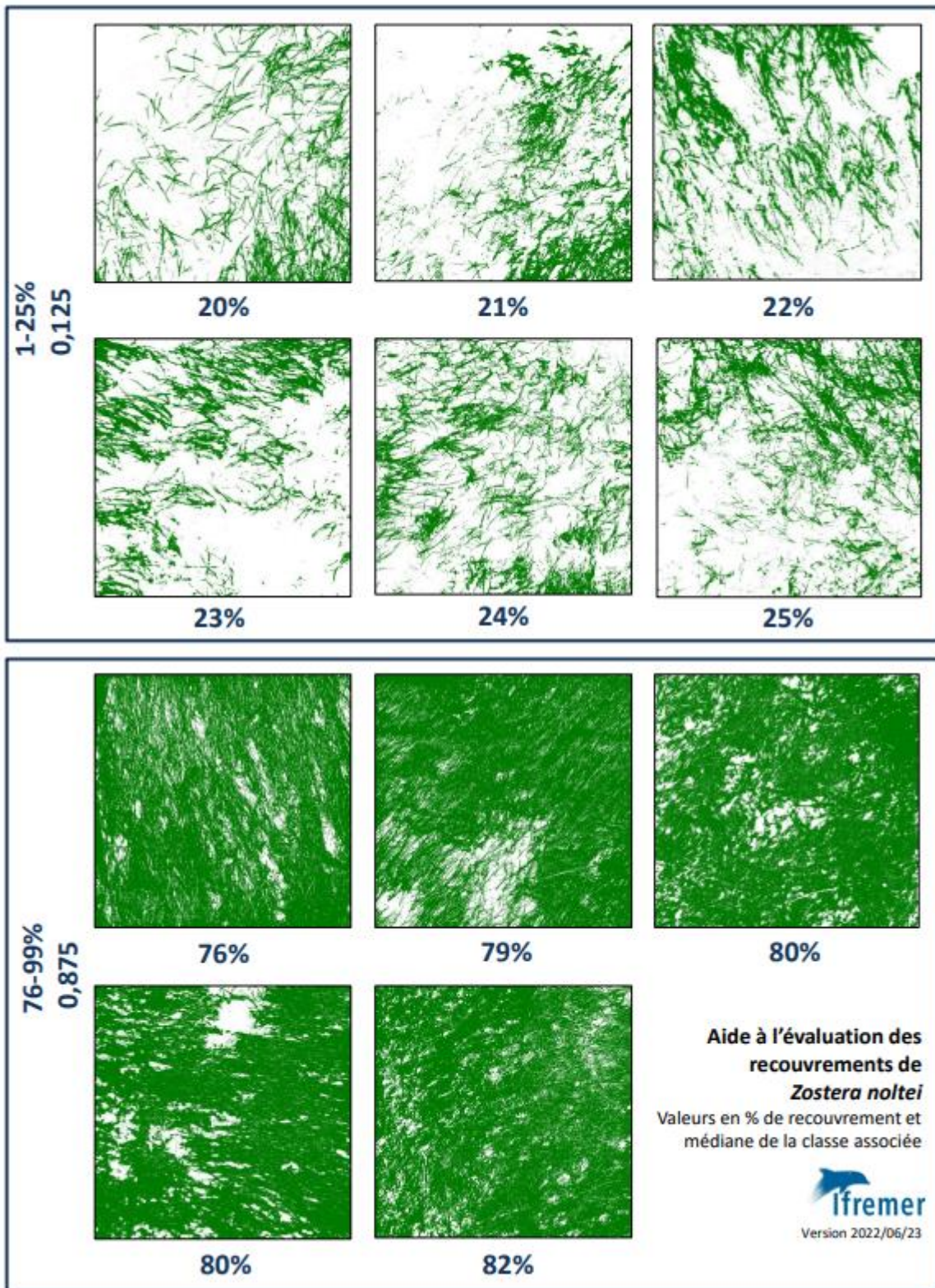
Couleurs / Teinte-Chroma -> Ajuster les paramètres indiqués sur la figure ci-dessous (mêmes réglages pour un sédiment rouge ou blanc d'origine). On obtient un blanc uniforme -> **Valider**



Sélection / Aucune -> Le résultat final s'affiche

Annexe 5 : Aide à l'évaluation des recouvrements de *Zostera noltei*





Annexe 6 : Catalogue des recouvrements de *Zostera noltei* pour chaque station

Ifremer



Contribution à la consolidation du protocole DCE pour le suivi de l'état écologique des herbiers à *Zostera noltei*

Création de schémas de pourcentage de recouvrement comme aide à l'évaluation de l'abondance des plantes

Annexe : Catalogue des recouvrements de *Zostera noltei* Façades Manche et Atlantique

Présenté par
Maya SPITERI

Promotion Andrea Marshall
2020-2023

Stage de deuxième année de la formation Cadre Technique
Génie de l'Environnement marin

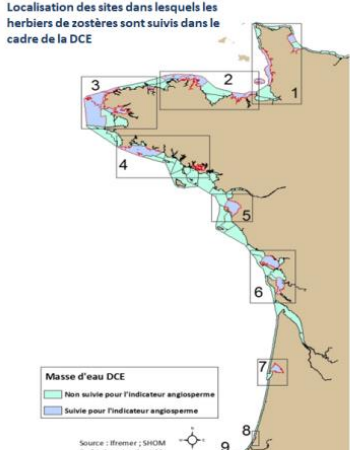
Encadrée par
Claire ROLLET et Isabelle AUBY



DCE-Protocole suivi [général](#) des herbiers à zostères
Catalogue des recouvrements de *Zostera noltei* - Version 2022-06-23

1/54

Localisation des sites dans lesquels les herbiers de zostères sont suivis dans le cadre de la DCE



Source : Ifremer ; SHOM
Projection : Lambert 93

DCE-Protocole suivi [général](#) des herbiers à zostères
Catalogue des recouvrements de *Zostera noltei* - Version 2022-06-23

2/54

Introduction :

Le protocole de suivi stationnel des herbiers de zostères (ou des Angiospermes) pour la DCE est mis en œuvre sur les masses d'eau des façades Manche et Atlantique, dans lesquelles leur présence est connue.

L'indicateur « Angiospermes » qui se calcule à partir de trois métriques : « composition taxonomique », « extension » et « abondance » permet de caractériser l'état d'une masse d'eau et de déterminer son évolution en fonction des années (Auby et al., 2010, Auby et al., 2018a). La métrique « abondance » correspond pour *Zostera noltei* au pourcentage de recouvrement des feuilles sur le sédiment.

Suite à différents essais inter-laboratoires (EIL) réalisés pour juger les pratiques des opérateurs chargés des suivis des zostères, il a été constaté une grande variabilité des résultats pour la métrique « abondance » (Auby et al., 2018b ; [Biollet](#) et Auby, 2022). En effet, il y aurait des erreurs dans l'estimation visuelle et dans l'utilisation du logiciel de traitement d'images [ImageJ](#). Il a été convenu de produire, pour cette métrique, une fiche d'aide à l'évaluation visuelle du recouvrement de *Zostera noltei* à utiliser sur le terrain. Cette fiche est réduite à un format A4 recto-verso (Annexe 5 : Aide à l'évaluation des recouvrements de *Zostera noltei* de Spiteri, 2022).

Le catalogue présenté ici complète cette fiche d'aide à l'évaluation. Il offre une vue globale des types d'herbiers qui sont suivis dans le cadre de la DCE sur les façades Manche et Atlantique et permet de mettre en évidence les caractéristiques propres à chaque site. Pour chacun d'eux, plusieurs exemples de recouvrement sont présentés sur des photographies de terrain couplées des représentations schématiques pour chaque classe associée, de 1 à 25%, de 26 à 50%, de 51 à 75% et de 76 à 99%. Un accent est mis sur les cas de recouvrement en limites de classes.

Certains sites ne sont pas illustrés car les herbiers y sont très denses avec un recouvrement supérieur à 76%. Aucune illustration n'est disponible dans leur cas pour les classes de faible recouvrement. C'est le cas pour les stations situées dans le Golfe du Morbihan (1 site) et dans le Pertuis Breton (2 sites). Il arrive également que les photographies ne soient exploitables sous [ImageJ](#) à cause de la présence d'eau.

Ce catalogue pourra être complété et adapté au fil du temps selon les besoins exprimés par les opérateurs de terrain.

Au même titre que la fiche d'aide à l'évaluation visuelle du recouvrement de *Zostera noltei*, ce catalogue contribue à la consolidation du protocole DCE pour le suivi de l'état écologique de *Zostera noltei*.

DCE-Protocole suivi [général](#) des herbiers à zostères
Catalogue des recouvrements de *Zostera noltei* - Version 2022-06-23

2/54

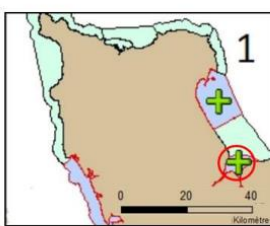
Table des matières :

FRHT06—SIZN02 - La pointe de Brevands HZN	4-6p
FRHC09—SIZN01- St Vaast la Hougue HZN	7-10p
FRGC03—Saint-Jacut de la Mer int HZN	11-14p
FRGT03—Le Trieux Kerrist HZN	15-19p
FRGC48—La Berche int HZN	20-23p
FRGT30—Lay Crochon 1982 int HZN	24-27p
FRFC02—Les Doux int HZN	28-31p
FRFC02—Perrottine-Belleveue int HZN	32-35p
FRFC02—Le Château d'Oléron int HZN	36-38p
FRFT09—Bonne anse int HZN	39-42p
FRFC06—Arcachon amont	43-46p
FRFC09—Hossegor int HZN	47-50p
FRFT08—Bidassoa int HZN	51-53p

DCE-Protocole suivi [général](#) des herbiers à zostères
Catalogue des recouvrements de *Zostera noltei* - Version 2022-06-23

3/54

FRHT06—SIZN02-La pointe de [Brevands HZN](#)



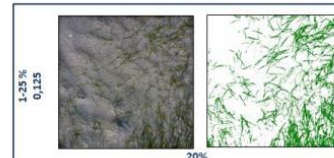
FRHT06—SIZN02-La pointe de Brevands HZN

DCE-Protocole suivi [général](#) des herbiers à zostères
Catalogue des recouvrements de *Zostera noltei* - Version 2022-06-23

5/54

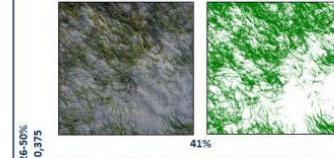
FRHT06—SIZN02-La pointe de [Brevands HZN](#)

1-25 %
0,125



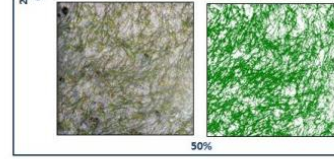
20%

26-50 %
0,275



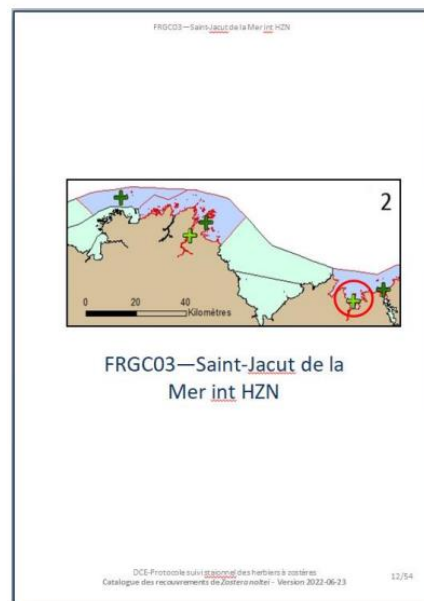
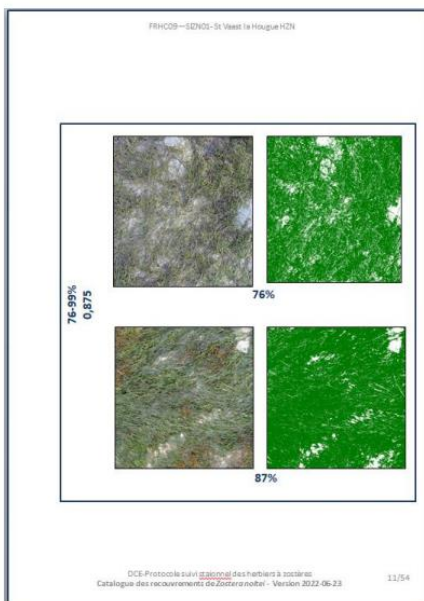
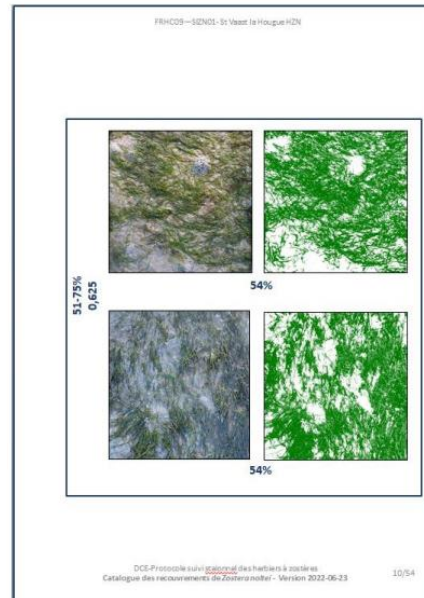
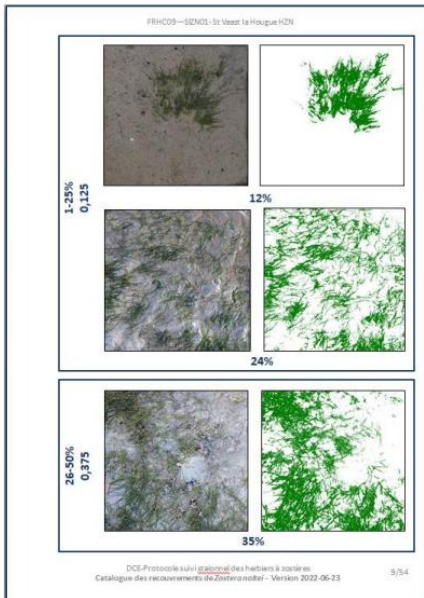
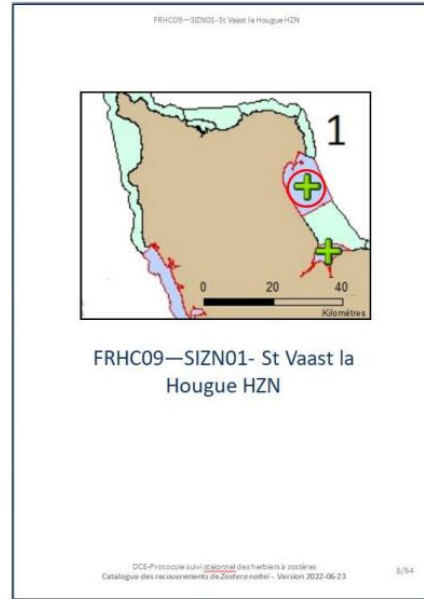
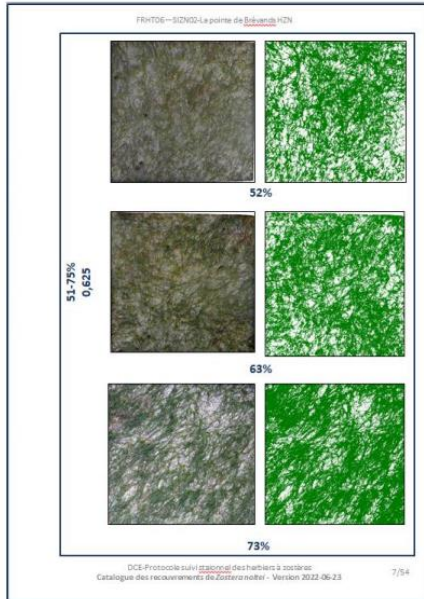
41%

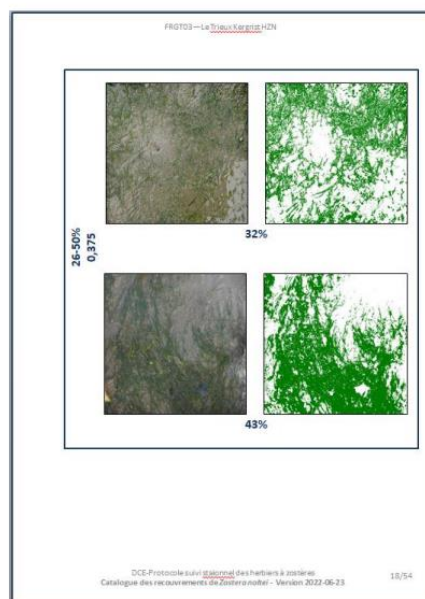
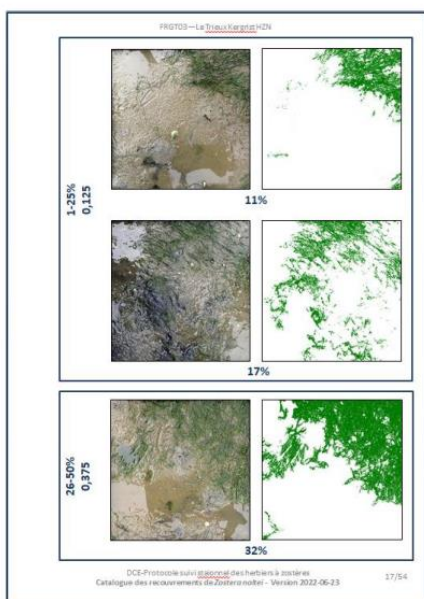
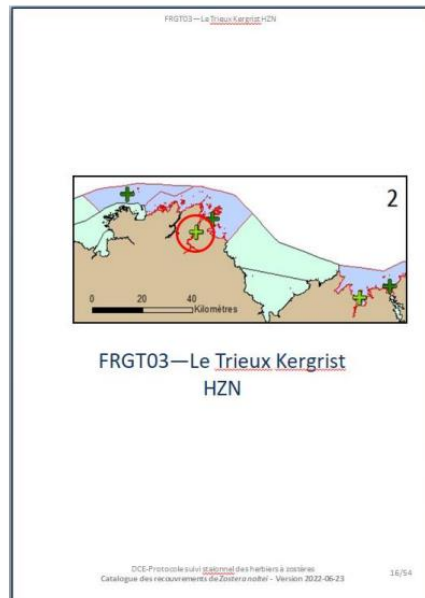
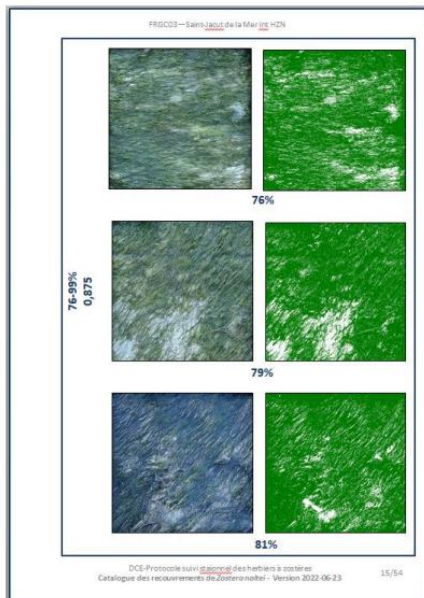
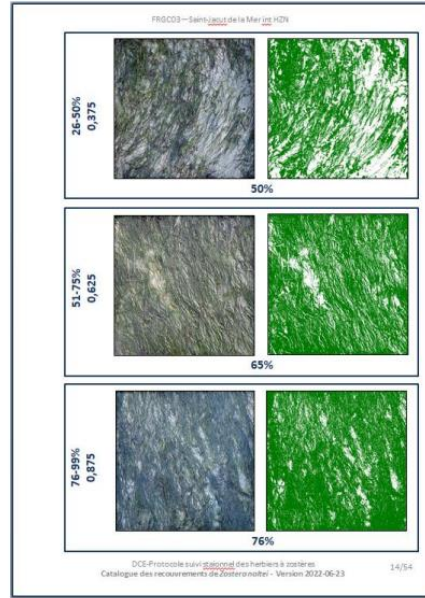
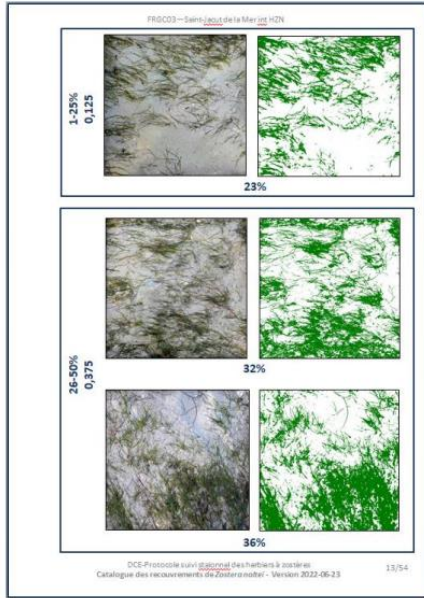
50%

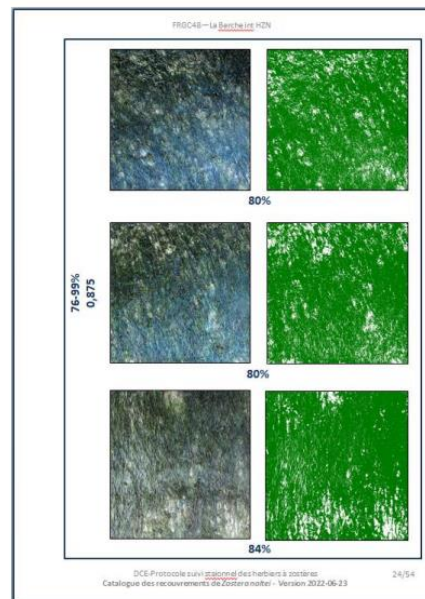
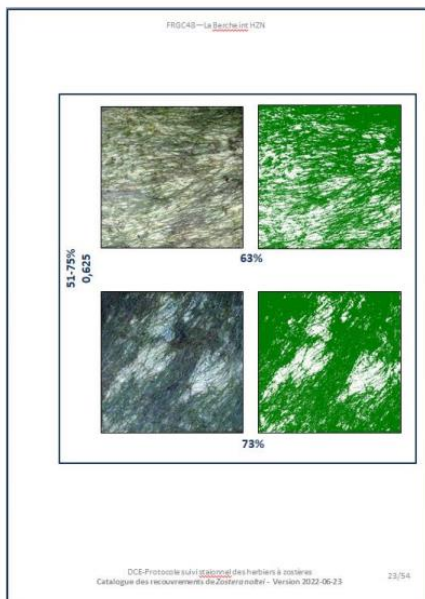
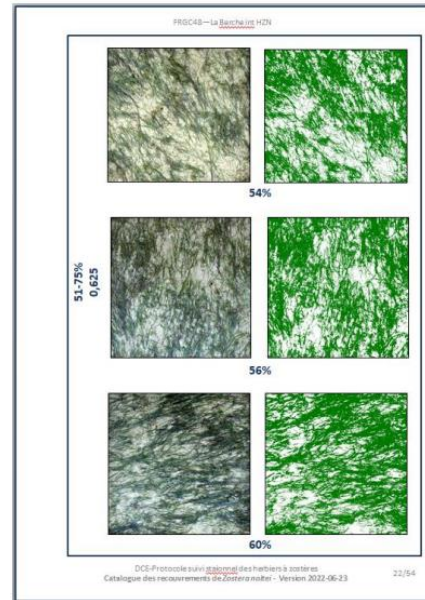
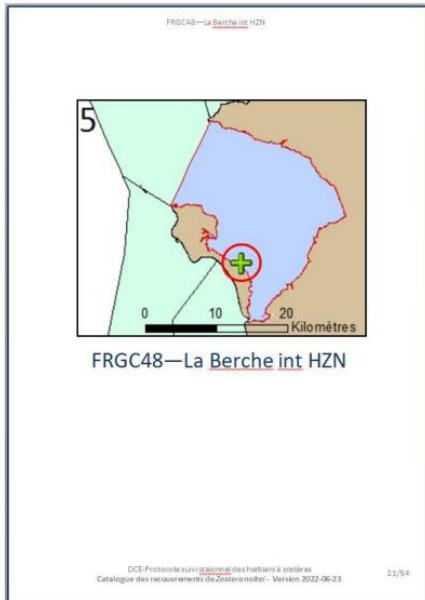
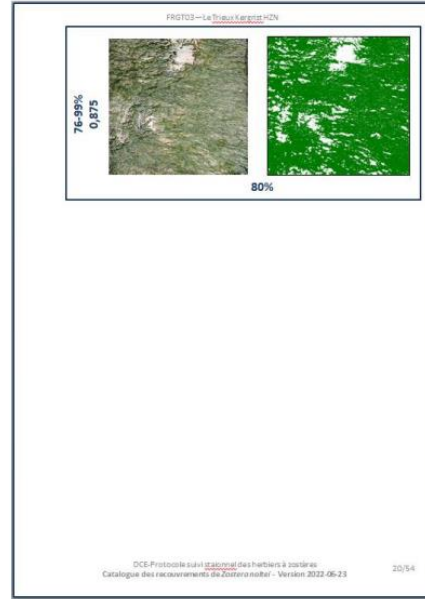
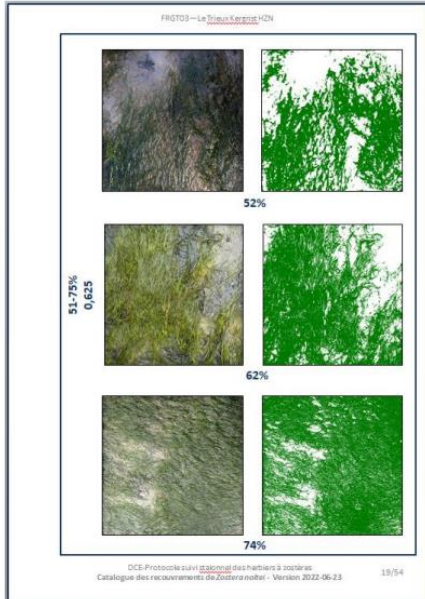


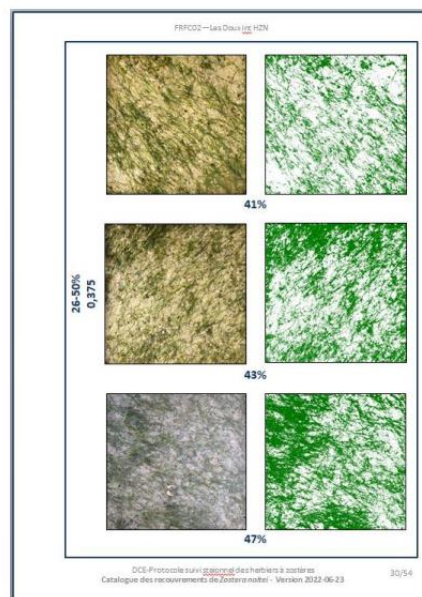
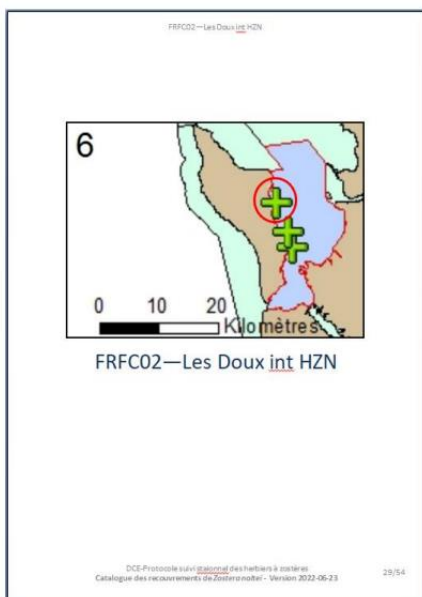
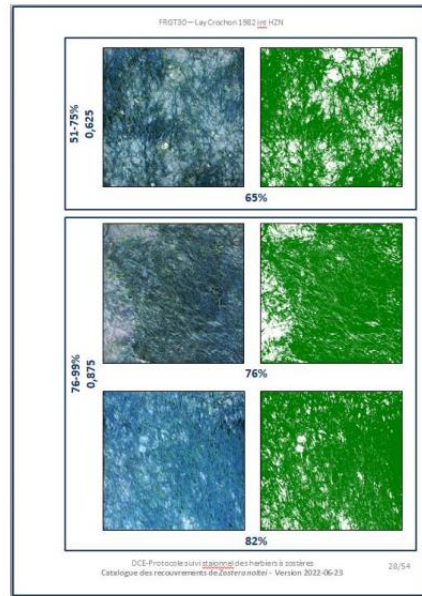
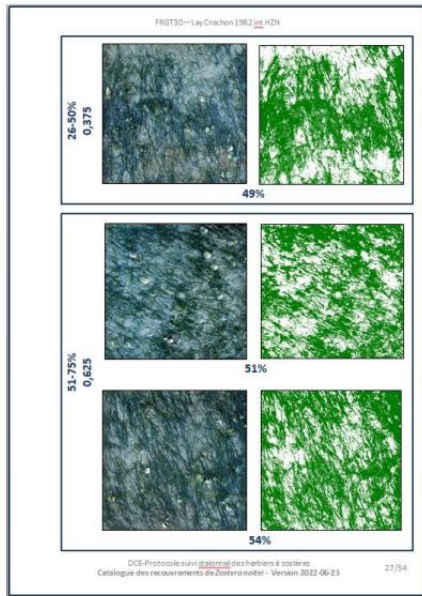
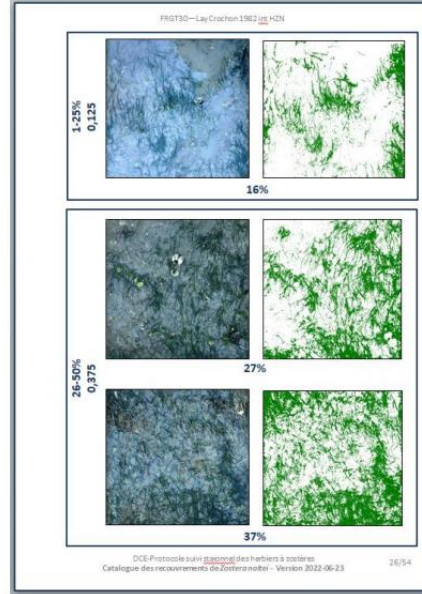
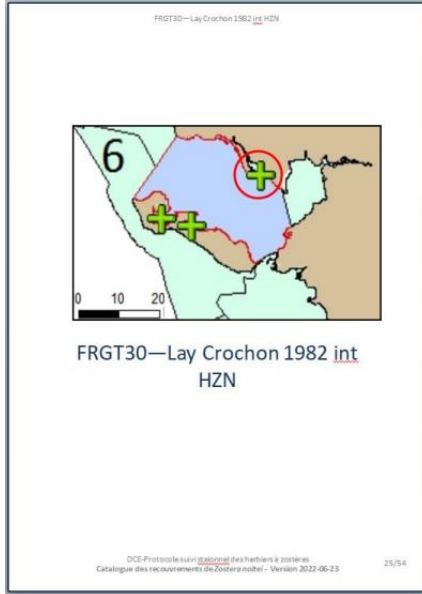
DCE-Protocole suivi [général](#) des herbiers à zostères
Catalogue des recouvrements de *Zostera noltei* - Version 2022-06-23

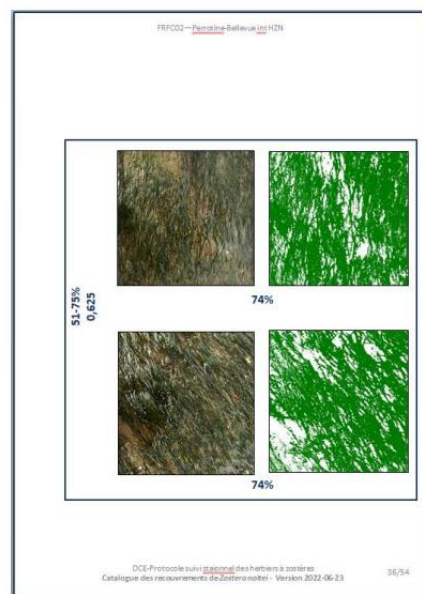
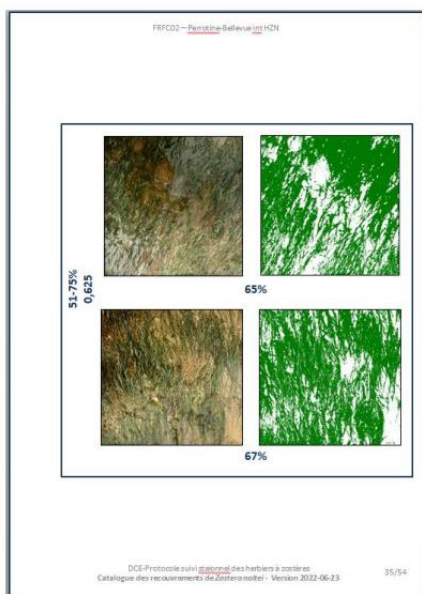
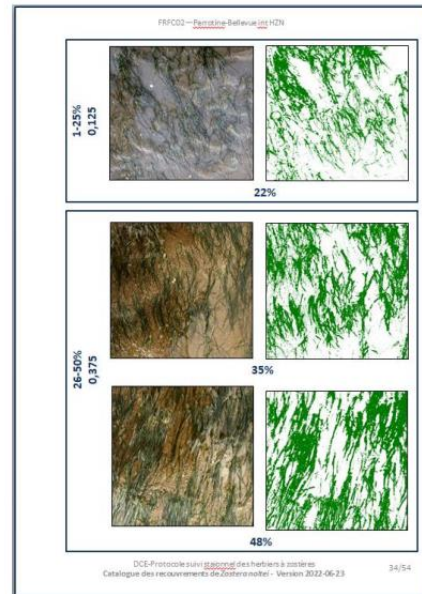
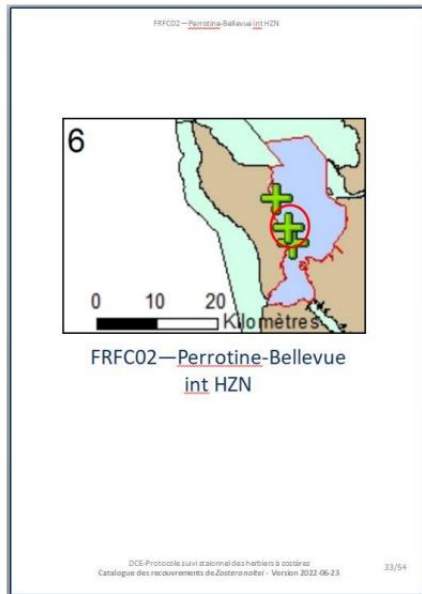
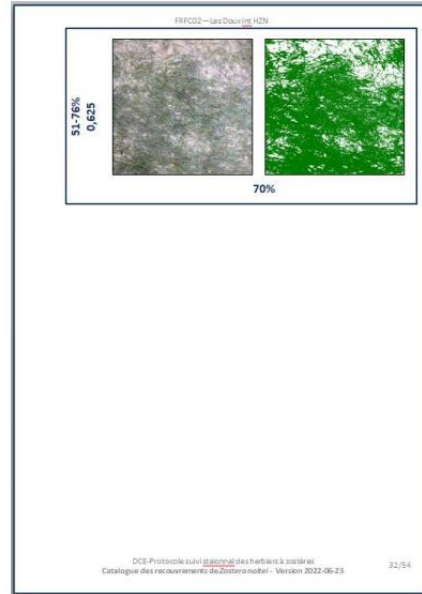
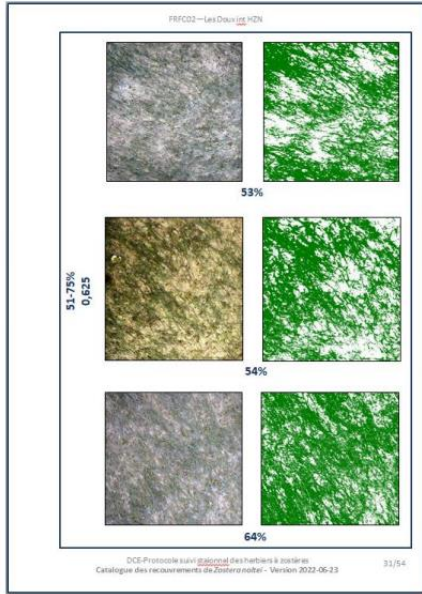
6/54

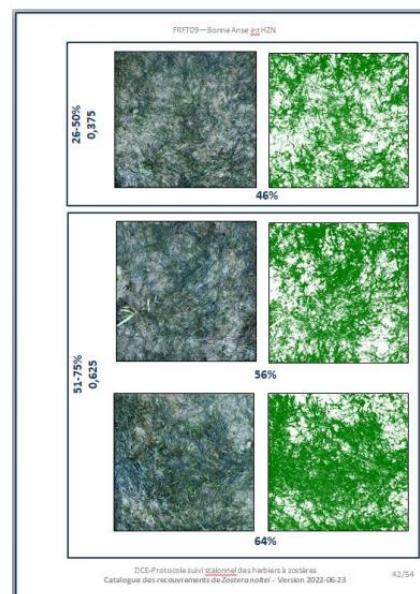
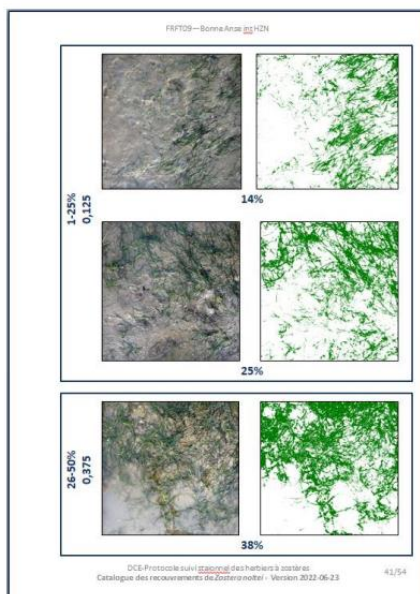
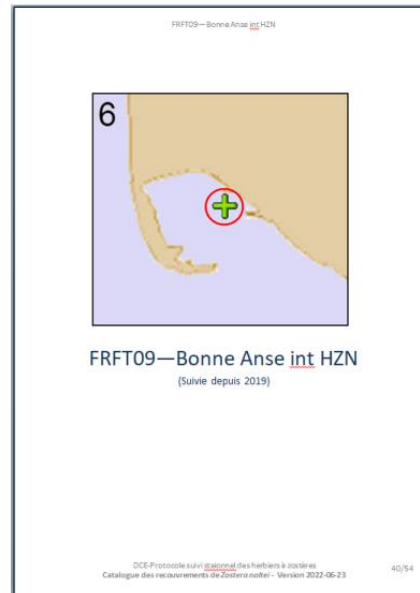
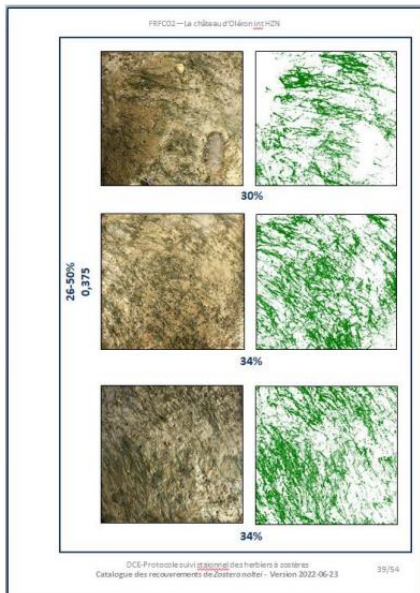
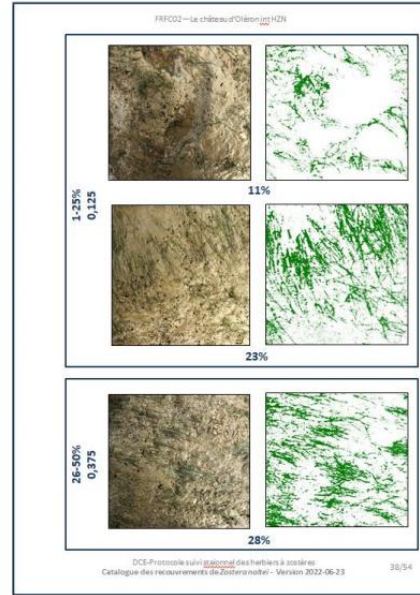
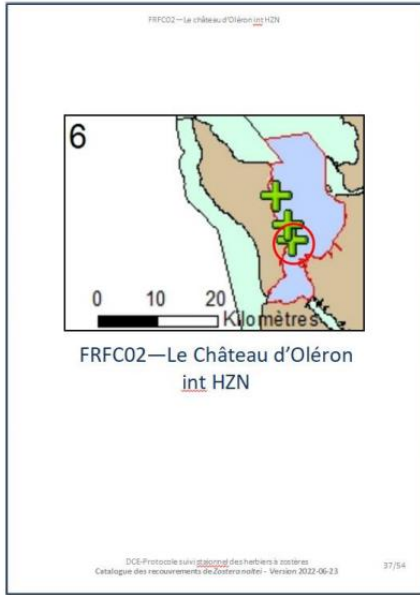


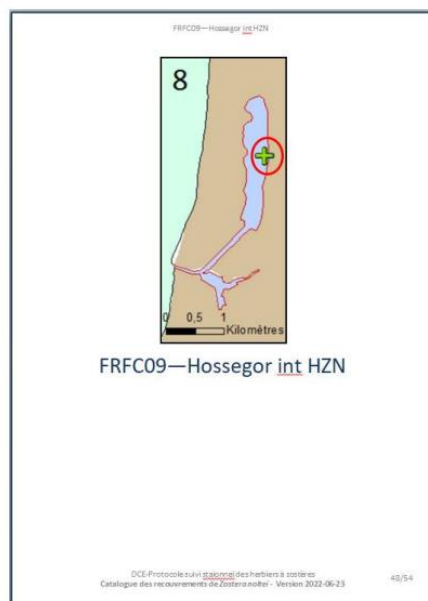
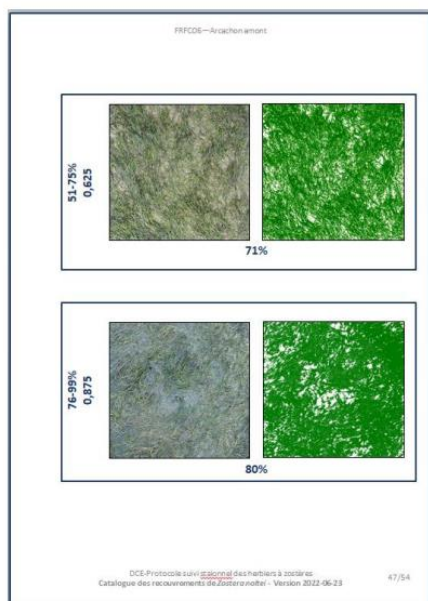
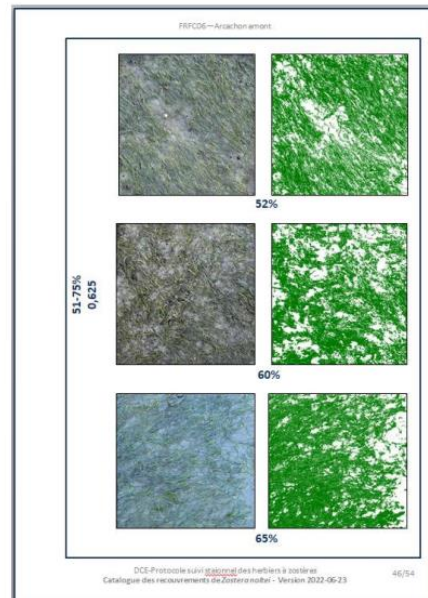
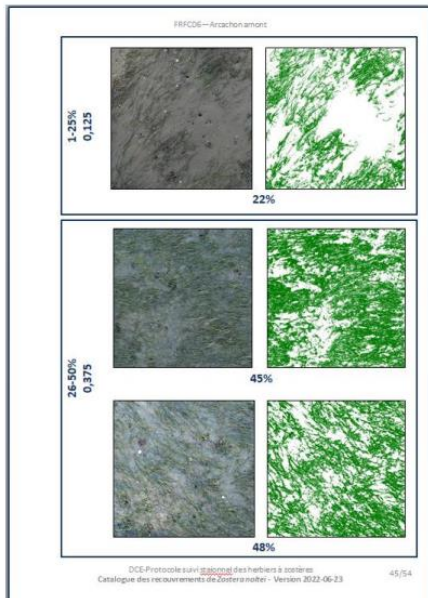
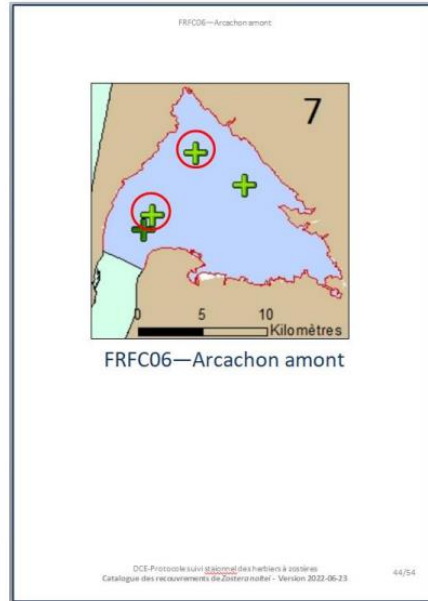
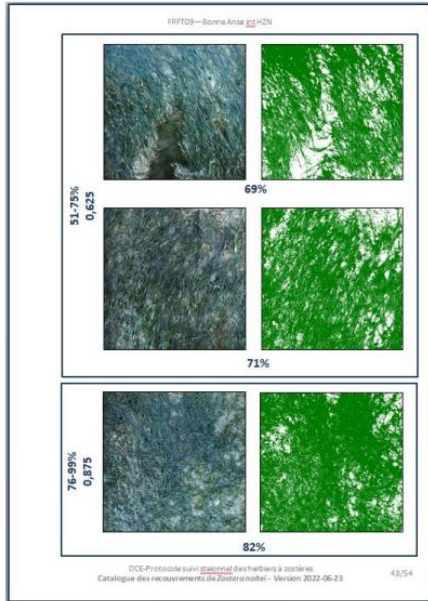


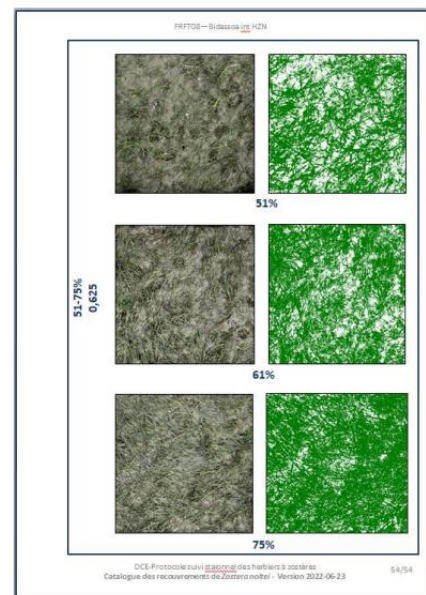
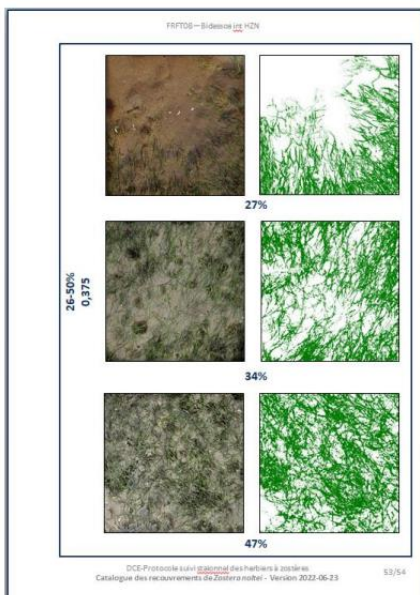
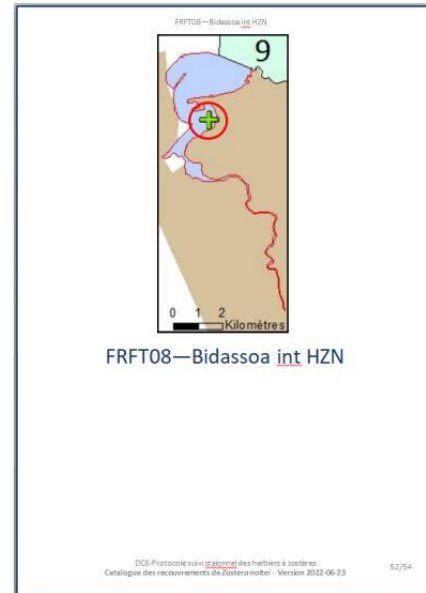
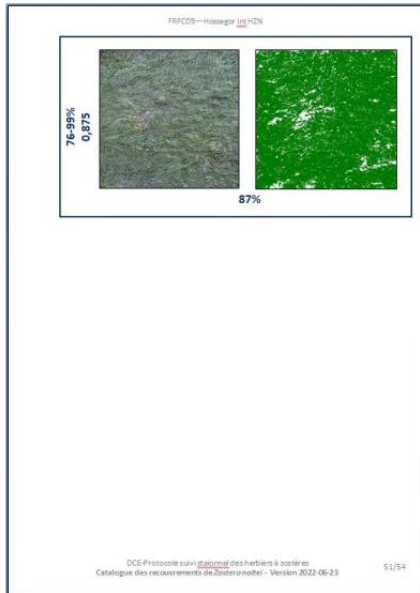
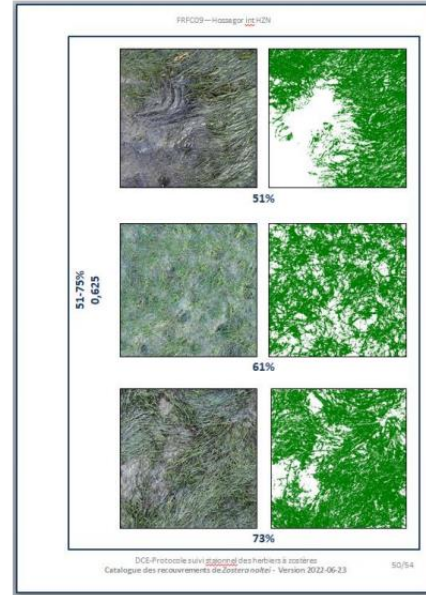
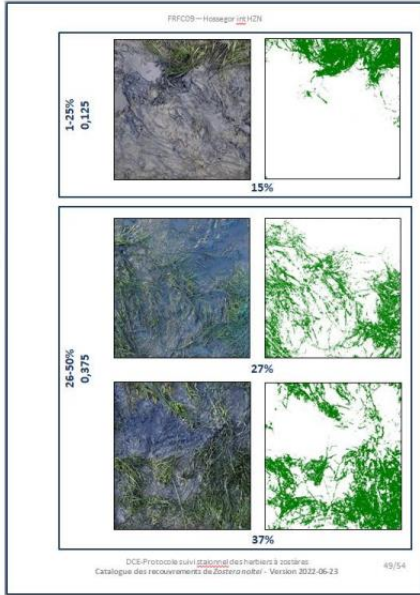












Résumé :

L'objectif de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) est l'atteinte et le maintien d'un bon état écologique des masses d'eau. Pour contrôler celui-ci, les herbiers de zostères sont suivis chaque année le long de la côte Manche Atlantique pour calculer l'indicateur « Angiospermes ». Cet indicateur est calculé grâce à trois métriques dont l'abondance qui correspond pour *Zostera noltei* au pourcentage de recouvrement des feuilles de zostères dans un quadrat de 50x50cm. La variabilité des résultats pour la métrique « abondance » a été démontrée lors d'EIL réalisés en 2016 et 2021.

Pour pallier à cette variabilité tant au niveau de l'évaluation visuelle que lors de l'évaluation par traitement d'image sous ImageJ, il a été convenu de proposer aux opérateurs une fiche d'une aide à l'évaluation du recouvrement des zostères. Un catalogue des recouvrements de *Zostera noltei* pour les herbiers suivis dans le cadre de la DCE sur les façades Manche et Atlantique a également été produit. Le guide d'utilisation du logiciel de traitements d'images a été complété afin de préciser différentes options d'utilisation du logiciel. Ces documents viennent en appui au protocole de suivi stationnel des herbiers de zostères pour la DCE. Ils pourront être utilisés lors de la prochaine campagne du suivi mise en œuvre en septembre 2022.

Mots clés : *Zostera noltei*, Protocole des herbiers de zostères pour la DCE, aide à la décision du recouvrement, traitement d'images, catalogue de distribution des zostères naines pour les différents sites suivis pour la DCE

Abstract :

The goal of the Water Framework Directive (WFD) is to achieve and maintain a good ecological status of water bodies. In this context, eelgrass beds are monitored every year along the French coast of the English Channel as well as the Atlantic coast to calculate the “Angiosperm” indicator. This indicator is calculated using three metrics, including abundance, which for *Zostera noltei* corresponds to the percentage of leaf cover in a 50x50cm quadrat. The variability of the results for the “abundance” metric has been highlighted during inter-laboratory tests conducted in 2016 and 2021.

To overcome this variability both in the visual assessment and in the assessment by image processing with ImageJ, it was agreed to make an aid sheet for operators to help assess the eelgrass cover. A catalog of *Zostera noltei* covers for the meadows monitored within the framework of the WFD was also made. The user’s guide for the image processing software was completed in order to specify different options for the use of this software in this context. These documents are provided in support to the station monitoring protocol of eelgrass beds for the WFD. They can be used during the next monitoring campaign in September 2022.

Key Words: *Zostera noltei*, protocol of eelgrass beds for the WFD, support for coverage decision, image processing, catalog of *Zostera noltei* covers for the meadows monitored within the framework of the WFD