

Cartographie des herbiers de zostères

Neil Alloncle¹, Laure Guillaumont², Laurent Levêque¹

Résumé

L'inventaire cartographique des herbiers de *Zostera marina* peut être réalisé en grande partie en s'appuyant sur des techniques de télédétection. Les supports les plus appropriés et les plus utilisés sont les orthophotographies littorales, mais les herbiers à *Z. marina* peuvent aussi être détectés à partir d'images satellites comme celles réalisées par SPOT ou par imagerie acoustique lorsque la hauteur d'eau est trop importante pour une observation aérienne. Toutefois, des signatures d'autres peuplements comme les banquettes à Lanices, les bancs de maërl ou des couverts d'algues brunes peuvent porter à confusion. La validation de terrain tient donc une part importante dans le processus d'inventaire.

De part sa taille réduite, sa saisonnalité et la nature du substrat colonisé, l'espèce *Zostera noltii* est plus difficile à cartographier par télédétection. Cette approche est utilisée comme repérage préliminaire des zones potentiellement colonisables. La validation sur le terrain est indispensable pour la cartographie de cette espèce.

L'étude de l'évolution de la dynamique des herbiers de *Z. marina* nécessite la prise en compte de deux paramètres mesurés sur un échantillon représentatif d'herbiers : la surface des enveloppes qui représente l'ensemble de l'habitat colonisé et le taux de fragmentation déterminé à l'aide d'un logiciel de traitement d'image.

Cette approche est difficilement réalisable sur les herbiers à *Z. noltii*. Toutefois, sur les grands herbiers comme ceux de Marenne-Oléron, le suivi de la dynamique est possible par imagerie SPOT.

Les résultats obtenus (cartes d'inventaire et données d'évolution) seront diffusés sur le site internet du REBENT.

Mots clés

Herbiers, *Zostera marina*, *Zostera noltii*, inventaire cartographique, suivi dynamique, télédétection.

Objectifs

La cartographie des herbiers de zostères présente un double objectif :

- L'inventaire des zones colonisées par ces espèces,
- Le suivi à long terme de la dynamique spatiale des herbiers.

Ces deux aspects correspondent aux objectifs de recensement et de surveillance des habitats d'intérêt communautaire résultant de l'application de la Directive « Habitat » (92/43/CEE), des habitats prioritaires menacés ou en déclin de la convention OSPAR ou des espaces remarquables au titre de la loi littoral. De plus, l'extension des herbiers de phanérogames marines a été retenue comme un des indicateurs d'évaluation de la qualité biologique dans le cadre du contrôle de surveillance des eaux marines de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). Enfin, les herbiers de zostères sont pris en compte dans le cadre des suivis effectués dans le réseau REBENT.

¹ IFREMER DYNECO/VIGIES

² CEVA

Contexte

Sur les façades Manche et Atlantique françaises, les phanérogames marines sont majoritairement représentées par les espèces du genre *Zostera*. La plus grande, *Zostera marina* se développe principalement en limite inférieure d'estran ainsi qu'en zone subtidale peu profonde. Alors que *Zostera noltii*, de taille inférieure, se rencontre surtout en haut de l'estran.

Dans le suivi et la gestion des herbiers de zostères (*Z. marina* et *Z. noltii*), l'inventaire cartographique des zones colonisées est une étape prépondérante. De nombreux travaux ont été réalisés dans ce sens à partir de photographies aériennes en France (Hily, 1997 ; Grillas *et al.*, 2000 ; Bernard et Chauvaud, 2002 ; Fournier, 2002 ; Levêque, 2004 ; Peuziat *et al.*, 2004) et à l'étranger, notamment ceux de Wyn *et al.* (2000) au Royaume-Uni ou de Finkbeiner *et al.* (2001) au Etats-Unis. Des études ont aussi été réalisées à partir d'imagerie satellitaires (Guillaumont, 1991).

La majorité des travaux de cartographie ont été réalisés par photointerprétation de clichés aériens, méthode bien adaptée à l'observation des zones de développement de ces espèces. Chaque étude établissant une méthodologie propre, il est difficile de confronter les résultats.

Dans le cadre d'un inventaire et d'un suivi à long terme, il est important de définir une méthodologie standard de traitement afin de garantir l'homogénéité des données produites, tâche rendue difficile par l'hétérogénéité des supports et des structures observées.

Méthodologie d'acquisition

Supports

L'espèce *Zostera marina* présente peu de variations saisonnières des surfaces colonisées. En première approche, dans le cadre d'un inventaire, il est possible d'en faire abstraction. Pour l'étude de la dynamique, l'exploitation de supports d'observation dont la saison d'acquisition varie est possible avec l'application d'un coefficient correcteur. L'espèce *Zostera noltii*, en revanche, peut présenter une forte saisonnalité. Elle présente un couvert plus faible voir inexistant en période hivernale, avec une variabilité entre les sites et atteint son maximum de couverture en période estivale. La saison du support d'observation devient alors un paramètre déterminant.

Les orthophotographies littorales (cf. Fiche Outils : Les orthophotographies littorales) présentent des caractéristiques bien adaptées à l'observation des herbiers de zostère en zones intertidale et subtidale proche. Leur géoréférencement, considéré comme une référence pour le suivi des zones intertidales à haute résolution, permet l'intégration des données produites au sein d'un SIG. De plus, la résolution obtenue (50 cm) est pertinente pour l'identification des herbiers. Enfin, les spécifications techniques sur le niveau marégraphique lors des prises de vue optimisent l'observation de la zone intertidale et des très petits fonds.

Sur certaines zones, le mosaïquage ou la qualité insuffisante des photographies (niveau marégraphique, réflexion spéculaire) rendent impossible l'exploitation des orthophotographies littorales. Sur ces zones ainsi que pour des impératifs de saison, d'autres supports photographiques tels que les clichés du programme PROLITTORAL sur la région Bretagne ou les clichés bruts de l'orthophotographie littorale (pouvant palier au mauvais mosaïquage) peuvent être utilisés. L'inconvénient majeur est l'absence de positionnement géographique, imposant une opération supplémentaire de géoréférencement sous un logiciel de traitement d'image, étape longue et de précision moindre.

La reconnaissance des herbiers de taille conséquente peut aussi être effectuée à partir des images SPOT, malgré une résolution moins importante (de 20m à 2,5m).

Enfin, l'identification des limites inférieures subtidales des herbiers de *Z. marina*, qui peut s'avérer impossible avec les supports optiques en raison d'une trop grande hauteur d'eau, peut être réalisée grâce à l'imagerie acoustique.

Numérisation de l'enveloppe des herbiers

L'enveloppe globale de l'herbier est le premier paramètre estimé. Elle est exploitée dans le cadre de l'inventaire des herbiers mais aussi dans le cadre du suivi à long terme pour lequel les surfaces colonisées sont suivies.

L'enveloppe décrit l'ensemble de la zone colonisée par l'herbier, sans caractériser le taux de recouvrement ni la densité.

Dans de nombreux cas la numérisation des enveloppes peut se faire par photointerprétation, surtout pour l'espèce *Z. marina* qui présente en général une signature caractéristique. Cette approche est plus délicate dans le cas de *Z. noltii*, moins visible en imagerie aérienne de part sa petite taille, sa forte saisonnalité et la distinction difficile avec certaines algues vertes fixées ou échouées.

Zostera marina

La dynamique sédimentaire modèle les herbiers de *Z. marina* par des cycles érosion / sédimentation, formant une alternance de taches couvertes par de l'herbier et de zones de sédiment nu. Cette morphologie donne un aspect « tigré » ou « tacheté » caractéristique sur l'imagerie aérienne.

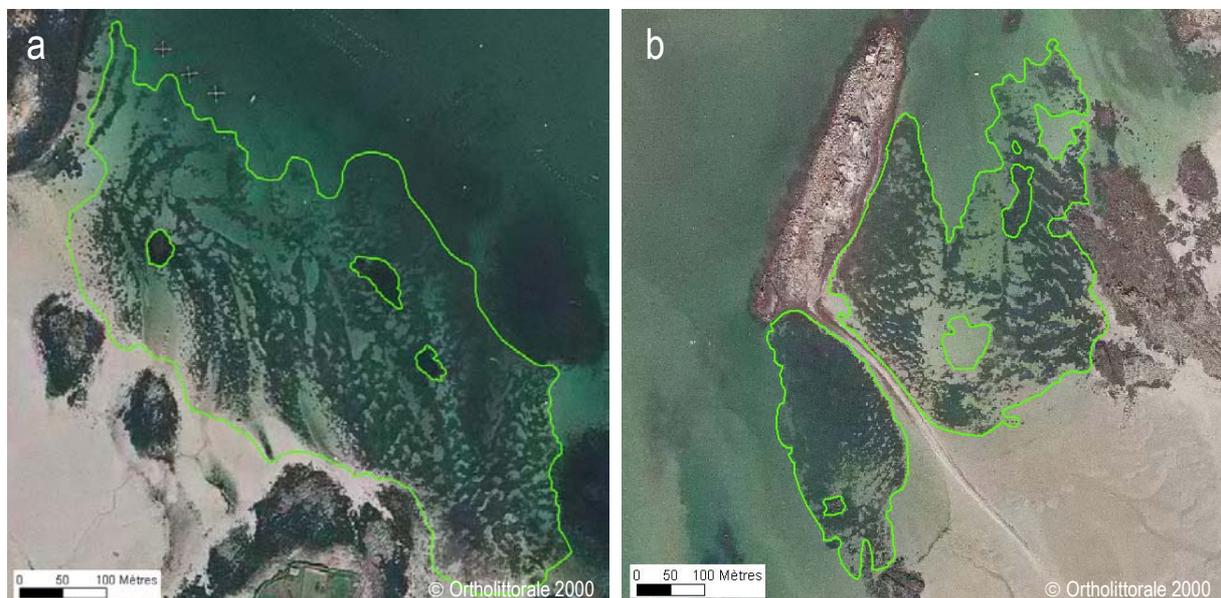


Figure 1. Signatures caractéristiques d'herbiers à *Zostera marina* sur l'orthophotographie littorale à l'aber Wrac'h (a) et à Saint-Jacut-de-la-Mer (b).

Dans certains cas, les limites sont difficilement discernables sur les supports photographiques en raison d'une trop grande hauteur d'eau, d'une contiguïté, voir d'un mélange avec d'autres couverts végétaux (algues brunes sur roche par exemple).

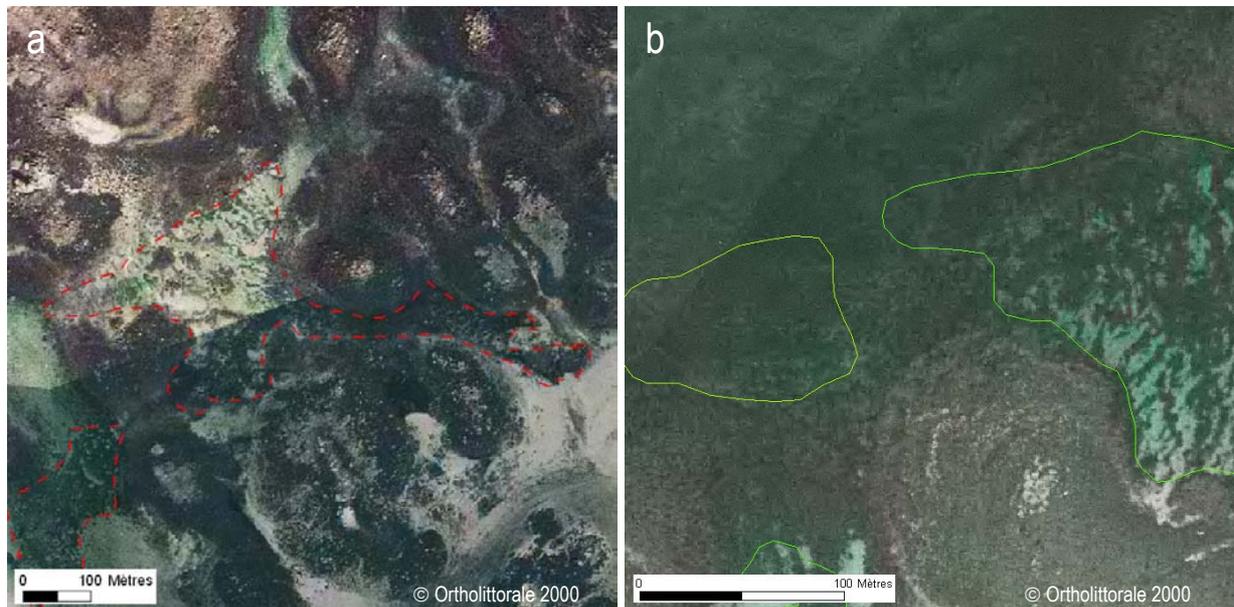


Figure 2. (a) Limites difficilement discernable avec exactitude car en continuité avec des roches couvertes par des algues brunes. Limites non validées. Zone des abers.

(b) Limites validées *in situ*, non identifiables sur l'orthophotographie littorale car trop profondes. Archipel de Molène.

Certaines signatures de couvert algal comme les sargasses ou le maërl sont proches de celle des herbiers, ce qui peut porter à confusion.

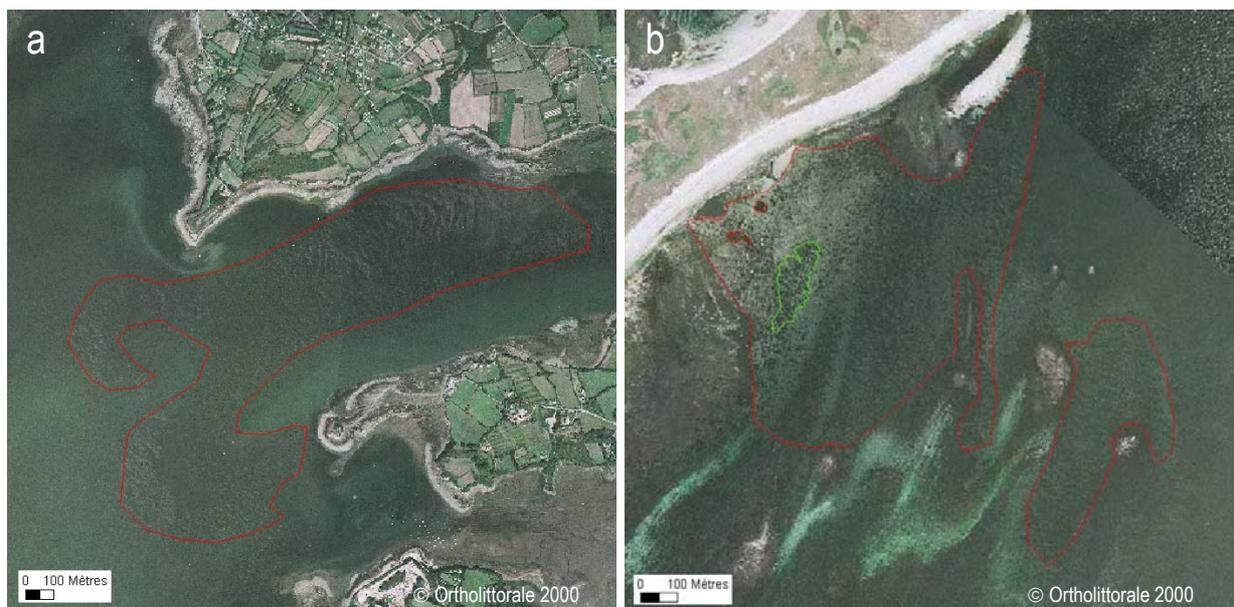


Figure 3. (a) Zone de Maërl en Rade de Brest présentant une signature proche de celle des herbiers.

(b) Zone de l'archipel de Molène identifiée comme herbier par photointerprétation (en rouge). Après validation terrain, seule la zone en vert contient de l'herbier en faible proportion par rapport au algues. Le reste de la signature est du à un couvert de Sargasses et de Laminaires.

Les banquettes de Lanices (*Lanice conchilega*) peuvent également donner une signature très proche de celle des herbiers sur les photographies aériennes.

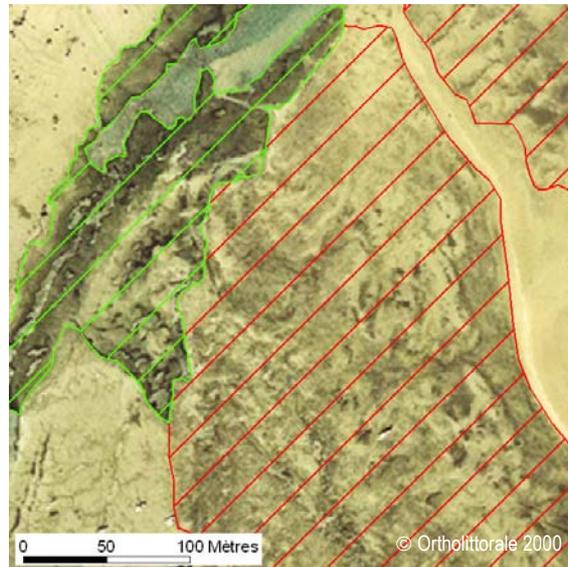


Figure 4. La signature de l'herbier (en vert) est très proche de la signature de la banquette de Lanices (en rouge). Archipel des Chausey.

Ces différents exemples montrent les limites de l'approche par photointerprétation et la nécessité de validations de terrain dans certains cas. L'investigation *in situ* permet d'établir les limites quand elles sont ambiguës à l'aide de GPS ou de DGPS.

Pour la délimitation des limites inférieures subtidales, les outils acoustiques se révèlent efficaces, notamment avec un sonar à balayage latéral ou un sondeur multi-faisceaux qui produisent des signaux caractéristiques au niveau des zones d'herbier.

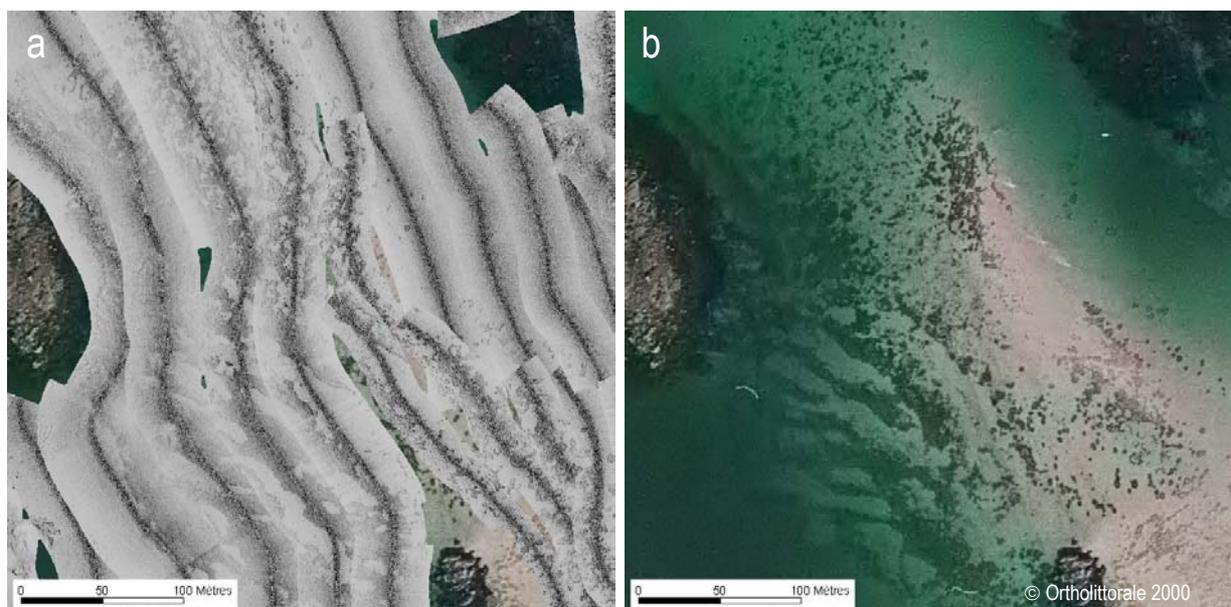


Figure 5. Signature caractéristique d'herbier sur une image produite par un sonar à balayage latéral Reson Seabat 8101 à 240 kHz (a) (Source A. Ehrhold com.pers.). Ce support permet de distinguer la limite inférieure non visible sur l'orthophographie littorale (b) (en bas à gauche du cliché). Secteur des abers.

Les séries temporelles de prises de vue sur une zone peuvent aussi constituer un atout pour la détermination d'objets fixes comme les roches, pouvant être confondues avec l'herbier.

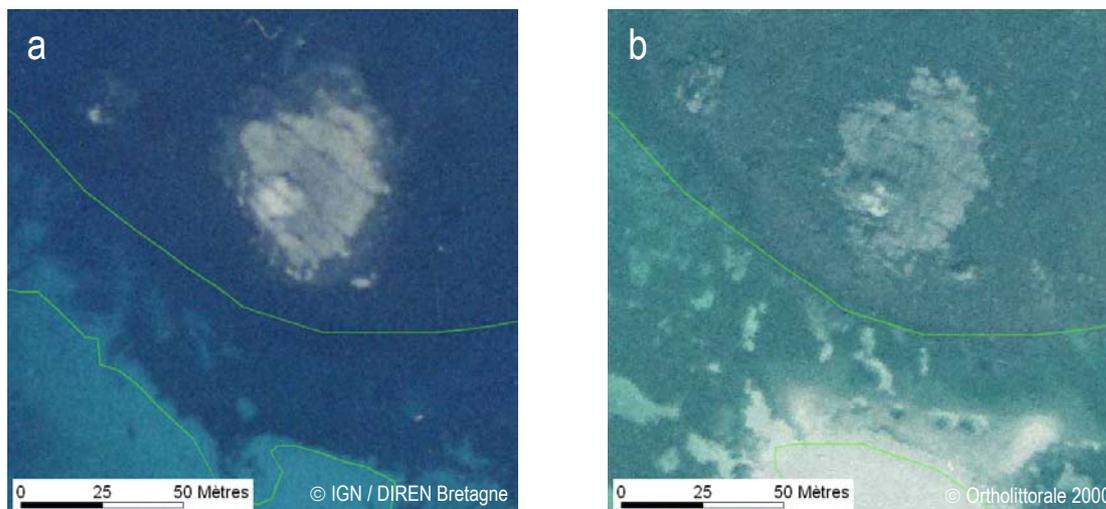


Figure 6. (a) Cliché réalisé en 1993. (b) Cliché réalisé en 2002.

La limite herbier/roche est discernable sur le cliché de 2002, elle peut être reportée sur le cliché de 1993 où elle n'apparaît pas.

L'imagerie SPOT peut aussi présenter un intérêt dans la délimitation des herbiers à *Z. marina*, en complément des orthophotographies littorales.

Des relevés réalisés à l'aide de radiomètres de terrain ont permis définir des signatures de réflectance pour les différents types de substrats (sableux, vaseux, rocheux) et de couvertures végétales (rhodophycées, phéophycées, chlorophycées ou phanérogames marines). Ces différents objets ont des signatures caractéristiques qui permettent d'envisager leur discrimination à l'aide des canaux visibles et proche Infra-Rouge de SPOT, à l'exception de la discrimination entre chlorophycées et phanérogames ou entre différentes espèces de phanérogames. Au delà de l'approche radiométrique, l'identification par la texture est possible pour *Z. marina*.

La résolution maximale obtenue à l'heure actuelle est de 2,5m (un canal panchromatique à 2,5m fusionné avec 3 canaux vert, rouge et infra-rouge à 10m).

Toutefois, la présence d'eau arrête ce signal et limite cette approche aux zones exondées.

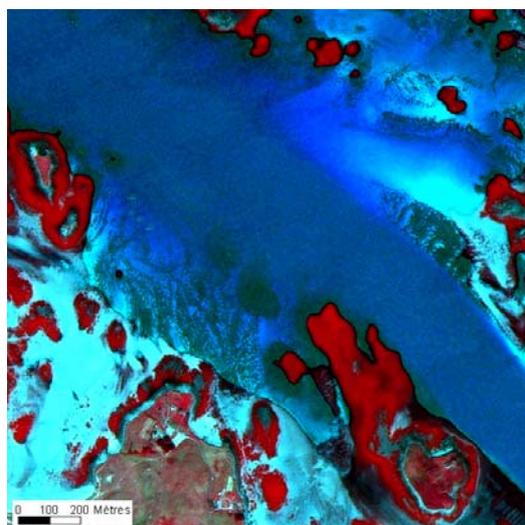


Figure 7. Embouchure de l'aber Wrac'h par imagerie Spot rehaussée. Résolution : 2,5m.

Les herbiers de *Z. marina* pouvant présenter des morphologies différentes en fonction du taux de recouvrement différents, des classes peuvent donc être définies (De Jong, 2004).

La typologie retenue pour les herbiers du littoral français est :

- Les herbiers continus, présentant un couvert supérieur à 75 %,
- les herbiers discontinus, présentant une alternance de taches couvertes et de zones de substrat nu avec une couverture comprise entre 25 et 75 %,
- la présence, dans le cas de taches disséminées ou de pieds dispersés en faible densité avec un taux de recouvrement inférieur à 25 %.

L'estimation est faite visuellement à l'aide d'exemples types pour différents taux de couverture (Kendall *et al.*, 2001). Chaque herbier détourné est renseigné sur son taux de couverture.

Pour une restitution cartographique homogène, la numérisation des enveloppes doit être réalisée selon des critères standardisés. Avec un support comme les orthophotographies littorales acquises à une échelle de 1/25 000, l'échelle de numérisation la plus pertinente pour décrire les limites des herbiers est le 1/1 000, qui permet une bonne restitution au 1/10 000. L'extension maximale de l'herbier doit être prise en compte. Les taches isolées de moins de 75 m², ce qui correspond sur le sol à un objet de moins de 10 m de diamètre, ne doivent pas être considérées. A l'intérieur de l'enveloppe, les zones qui apparaissent clairement comme non colonisables (roches, levées de sédiment...) doivent être exclues. Enfin, si deux zones colonisées sont distantes de plus de 50m, elles seront considérées comme deux herbiers distincts.

Zostera noltii

De part la taille réduite des feuilles, les herbiers de *Z. noltii* présentent dans la plupart des cas des signatures radiométriques très faibles n'autorisant pas la numérisation des limites par photointerprétation. De plus, de part sa saisonnalité, l'espèce n'est souvent pas décelable sur les clichés acquis en saison hivernale. L'approche par photointerprétation est donc souvent limitée à un repérage préliminaire des zones potentiellement colonisables par l'espèce.

La méthodologie en place pour réaliser la cartographie des herbiers de *Z. noltii* s'appuie en grande partie sur la validation de terrain.

Il est toutefois possible dans certain cas d'identifier une signature se présentant comme une variation de couleur et de texture du substrat, traduisant la présence de *Z. noltii*.



Figure 8. Signature marquée d'un herbier à *Z. noltii* dans l'estuaire de la Rance



Figure 9. Herbier à *Z. noltii* détourné *in situ* au gps.
La signature relevée sur l'orthophotographielittorale est très faible.
Zone : Trégor-Goëlo.



Figure 10. Herbier à *Z. noltii* détourné *in situ* au gps. Aucune signature n'apparaît sur l'orthophotographie littorale.
Zone : Estuaire du Trieux.

Cette signature est proche de celle d'un couvert d'algues vertes de type entéromorphes ou ulves, l'identification formelle de l'espèce est donc impossible par photointerprétation.

Dans les cas où aucune signature ne peut être identifiée, l'analyse des clichés permet de définir les zones potentiellement colonisées. En effet, *Z. noltii* se développe dans des zones en mode calme, en majorité sur substrat vaseux mais aussi sur des sédiments sableux.

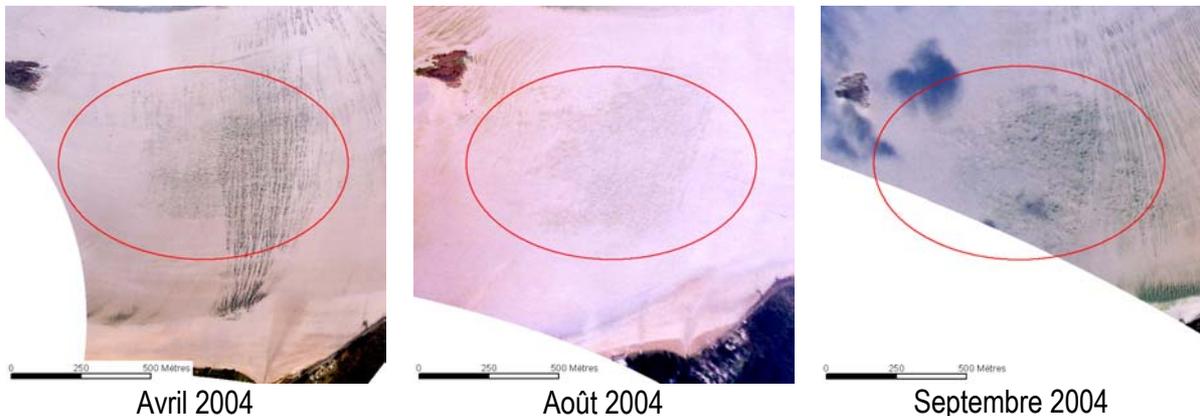


Figure 11. Série de clichés de la baie de Saint Michel en Grève réalisés au cours de la saison 2004 (© CEVA, Prolittoral), illustrant la variabilité saisonnière et facilitant la discrimination par rapport aux échouages d'algues vertes.

Sur les clichés aériens, la confusion est aussi possible entre les herbiers à *Z. noltii* et d'autres couverts végétaux comme les levées à *Vaucheria* ou les zones colonisées par des spartines qui accumulent souvent des algues vertes ou des *Vaucheria*.



Figure 12. Levée à *Vaucheria* (Xanthophyceae)

Source : <http://www.univ-lehavre.fr>

Z. noltii se développant majoritairement en haut d'estran, les validations de terrain ciblant cette espèce peuvent être réalisées avec des contraintes liées à la marée moins importantes que pour *Z. marina*. La délimitation des enveloppes des herbiers est réalisée *in situ* à l'aide d'un GPS ou de préférence d'un DGPS.

Comme pour les herbiers de *Z. marina*, la morphologie des herbiers de *Z. noltii* peut varier en fonction du taux de recouvrement. Le recouvrement est décrit par la même typologie que pour les herbiers de *Z. marina*.

Pour chaque classe, la zone globale de présence de l'herbier est détournée et renseignée sur le type de couverture. Sur une zone présentant plusieurs typologies, chaque entité est détournée individuellement.



Figure 13. Herbier continu à *Z. noltii* (taux de recouvrement supérieur à 75%).



Figure 14. Herbier discontinu à *Z. noltii* classé dans la tranche 25-75%.



Figure 15. Présence de *Z. noltii* avec un taux de recouvrement faible (inférieur à 25%).

L'échelle d'acquisition est limitée par la précision du GPS (5 à 10m) ou du DGPS (inférieure à 1m). L'échelle de restitution cartographique peut varier en fonction de ce paramètre.

Suivi temporel de la dynamique des herbiers à Z. marina

Le premier paramètre pris en compte dans le cadre du suivi de la dynamique des herbiers à *Z. marina* est la surface globale colonisée estimée grâce aux enveloppes.

Il est également important de suivre en parallèle un deuxième paramètre traduisant le taux de recouvrement des herbiers.

Comme vu précédemment, les herbiers de *Z. marina* présentent une structure morphologique particulière au sein même de l'enveloppe, constituée d'une alternance de zones couvertes et de substrat nu. Cet état résulte d'un équilibre entre dynamique sédimentaire et dynamique de croissance de l'herbier. Il peut être qualifié d'« équilibre dynamique » car la structure n'est pas figée, les zones d'herbier étant constamment en mouvement, colonisant du substrat nu d'un côté et subissant l'érosion de l'autre.

Le taux de fragmentation est défini comme le rapport entre la surface réellement couverte par l'herbier et la surface de l'enveloppe, comprenant aussi les zones de substrat nu. Il représente le taux de couverture du substrat par l'herbier.

La complexité de la structure des herbiers de *Z. marina* rend la numérisation de chaque tache par une méthode manuelle longue et fastidieuse. Cette numérisation est donc généralement effectuée dans le périmètre défini par l'enveloppe à l'aide d'un logiciel de traitement automatisé d'image comme le logiciel eCognition Professional 4.0. (cf. Fiche outil : Evaluation du taux de fragmentation des herbiers à *Zostera marina* à l'aide du logiciel eCognition professional 4.0.) par exemple.

Cette approche se base sur une analyse spectrale de l'image mais aussi sur une analyse de cohérence entre les pixels. Ainsi, l'image est segmentée en polygones cohérents de taille paramétrable qui seront ensuite classés en deux classes « herbier » et « non herbier » selon la proximité spectrale avec des échantillons (classes d'entraînement) représentatifs définis par l'opérateur.

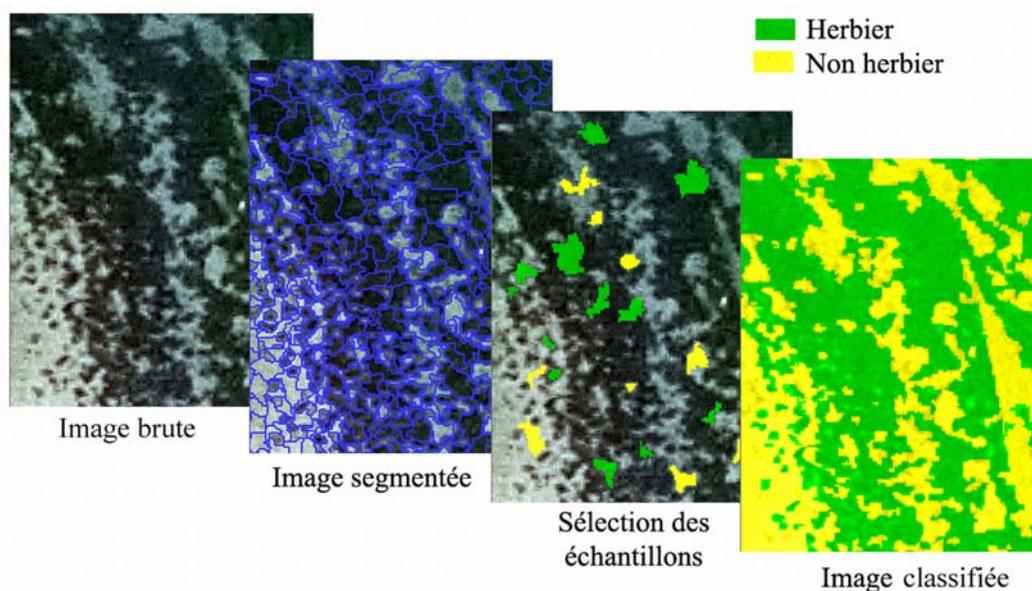


Figure 16. Illustration du Processus de traitement sous eCognition professional 4.0

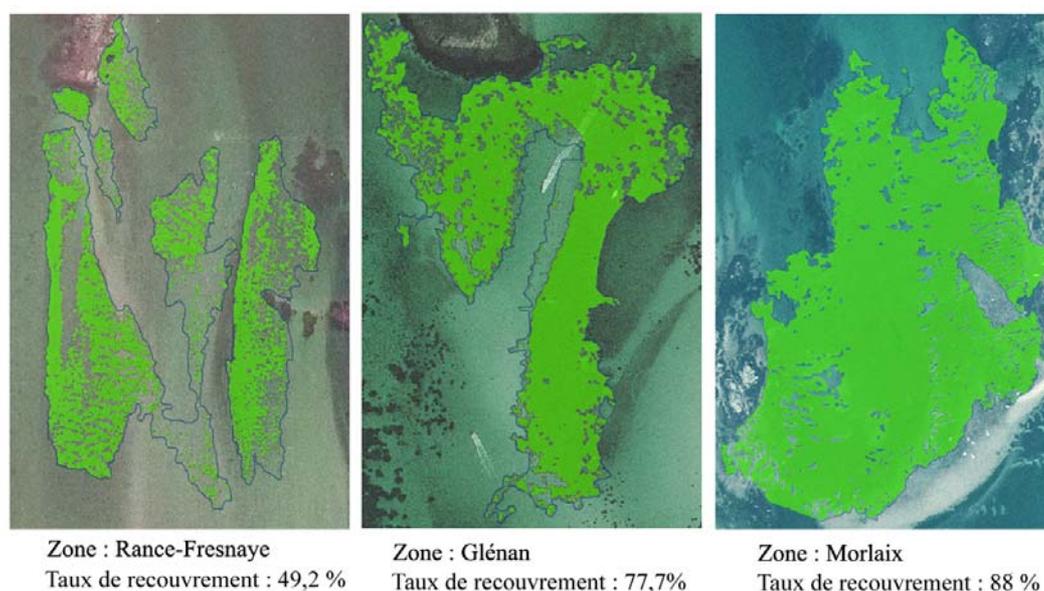


Figure 17. Herbiers présentant des taux de couverture variables.

Ce type de traitement doit être réalisé sur des images homogènes en radiométrie. Les herbiers pouvant se trouver sur différentes tranches bathymétriques (donc sous des hauteurs d'eau différentes) ou sur des substrats ayant des signatures spectrales différentes, la calibration radiométrique entre les deux classes « hercier » et « non hercier » varie et ne peut être appliquée systématiquement sur tous les herbiers. Il est donc important de redéfinir les classes d'entraînement pour chaque entité, voir même de traiter chaque hercier par fraction selon les tranches bathymétriques ou la nature du substrat.

Dans le cadre du suivi de la dynamique des herbiers de *Z. marina*, un échantillon représentatif d'herbiers est défini selon leur répartition et la netteté de leurs limites. De nouvelles orthophotographies littorales doivent être programmées tous les 6 ans, une estimation des surfaces des enveloppes et des taux de fragmentation sera effectuée sur cet échantillon à chaque nouvelle campagne de prise de vue.

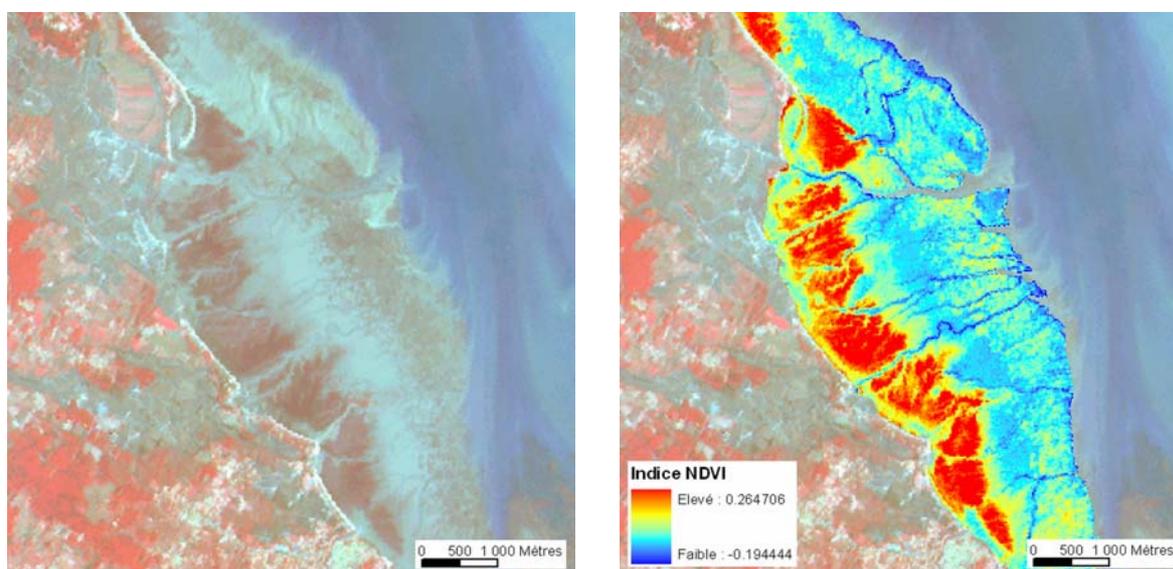
Suivi temporel de la dynamique des herbiers à Z. noltii

Les herbiers de *Z. noltii* présentent une structure interne beaucoup moins découpée et surtout plus difficilement observable sur des clichés aériens. De plus, l'importance de la variabilité temporelle rend l'acquisition et l'exploitation des photographies aériennes problématiques. Le suivi du taux de fragmentation sur les herbiers à *Z. noltii* est difficilement réalisable.

Néanmoins, dans le cas de grands herbiers de *Z. noltii*, comme ceux rencontrés sur le secteur de Marennes-Oléron, le suivi est possible grâce à l'imagerie satellitaire SPOT (Guillaumont, 1991).

Il a été montré que l'indice de végétation NDVI défini à partir des canaux XS2 et XS3 était corrélé avec la biomasse. Une fois les herbiers identifiés, l'imagerie SPOT, pouvant être acquise à intervalles réguliers, est un bon support de suivi spatio-temporel des grands herbiers de *Z. noltii*.

Ce suivi est réalisable dans le cas de grands herbiers mono-spécifiques en l'absence d'algues vertes.



Contient des informations © Cnes 2003, Distribution Spot Image S.A., France, tous droits réservés

**Figure 18 : (a) Scène Spot du 11/09/1987 sur la côte Est de l'île de Marenne Oléron
(b) Indice de végétation NDVI sur l'estran, les herbiers de *Zostera noltii* présentent les biomasses les plus élevées.**

Méthodologie de gestion et de traitement

Dans le cadre de l'inventaire des zones colonisées par des phanérogames marines, les enveloppes numérisées sont intégrées à un fichier de forme dans un SIG.

Chaque entité numérisée est renseignée selon une table standardisée :

CHAMP	TYPLOGIE	COMMENTAIRE
ID		En ordre chronologique des actualisations
ZONE		Nom de la zone
METHOD_NUM	Photointerprétation, GPS, les 2...	Méthode utilisée pour la numérisation
SUPP_NUM	Ortho-littorale, cliché prolittoral, acoustique...	Support pour la numérisation
INFO_SUPP	N° dalle ...	Informations supplémentaires sur le support de numérisation
DATE_SUPP		Date du support
AUTEUR_NUM		Nom de l'auteur du polygone
COM_NUM		Commentaires divers sur la numérisation
SURFACE_HA		Surface du polygone (en hectares)
VALIDATION	Oui, Non	Si observations <i>in situ</i>
METHOD_VAL		Méthode de validation
AUTEUR_VAL		Auteur de la validation terrain
DATE_VAL		Date de la validation terrain
COM_VAL	Croisement de données, justification si modification ...	Commentaires divers sur la validation
ACTIVATION	Oui, Non	Oui si toujours valable, Non si supprimé ou remplacé
ESPECE	<i>Zostera marina</i> , <i>Zostera noltii</i> , ND, Mixte	Identification de l'espèce
IF	1, 2 ou 3	Indice de fragmentation : 1= + de 75% de recouvrement, 2= de 25% à 75%, 3 = - de 25%
IC	1, 2 ou 3	Indice de confiance : 1= le plus certain à 3=le moins certain

Les données produites seront archivées dans la base de données REBENT.

Dans le cas des herbiers retenus pour le suivi dynamique, la valeur réelle (calculée par traitement automatisé) du taux de fragmentation est conservée.

Données produites

- Cartes des enveloppes des herbiers à *Z. marina* et à *Z. noltii*
- Données d'évolution des herbiers à *Z. marina* (tableau d'évaluation par secteur sur la base d'un sous-échantillonnage)

Les résultats seront diffusés via le site internet REBENT.

Références

Alloncle N., 2005. Evolution récente des herbiers de *Zostera marina* en Bretagne – approche géomatique. Convention UBO – Université de Perpignan, 39p.

Bajouk T., 2003. Aide à l'élaboration d'une procédure de délimitation automatique des zones de zostère. Ifremer, DEL/AO, 23p.

Bernard N., Chauvaud S., 2002. Cartographie des habitats d'intérêt européen du golfe du Morbihan et de la rivière Penef. Rapport Télédétection et Biologie Marine (TBM) – DIREN Bretagne, 195p.

Capodicasa V., 2005. Contribution à la cartographie des herbiers de *Zostera noltii* sur les vasières intertidales de Bretagne. Convention CEVA – Université de Corse, 46p.

De Jong D.J., 2004. Water Framework Directive: determination of the Reference condition and Potential-REF/Potential-GES and formulation of indices for plants in the coastal waters CW-NEA3 (K1), CW-NEA4 (K2), CW-NEA1 (K3), transitional waters, TW-NEA11 (O2), and large saline lakes, NEA26 (M32), in The Netherlands. Working document RIKZ/OS/2004, 832p.

Finkbeiner M., Stevenson B., Seaman R., 2001. Guidance for Benthic Habitat Mapping. Technology Planning and Management Corporation, Charleston, SC. (NOAA/CSC/20117-PUB), 75 p.

Fournier J., 2002. Cartographie des herbiers de phanérogames marines de l'archipel des Chausey. CNRS-EPHE/DIREN Basse Normandie, 21p.

Guillaumont B., 1991. Utilisation de l'imagerie satellitaire pour les comparaisons spatiales et temporelles en zone intertidale. Estuaries and Coasts Spatial and Temporal Intercomparisons. ECSA19 Symposium. Olsen & Olsen, 63-68.

Guillaumont L., 2005. Inventaire cartographique des herbiers de *Zostera noltii* sur les côtes Nord bretonnes. Convention CEVA – Université de Perpignan, 37p.

Grillas P., Charpentier A., Auby I., Lescuyer F., Coulet E., 2000. Spatial dynamics of *Zostera noltii* over a 5-year period of fluctuating salinity in the Vaccarès lagoon, France. ASLO 2000, Aquatic sciences meeting of the American Society of Limnology and Oceanography, June 5-9, 2000, Copenhagen, Denmark.

Hily C., 1997. Les herbiers de zostère de Bretagne. Rapport DIREN Bretagne – IUEM, 52p.

Kendall M.S., Monaco M.E., Buja K.R., Christensen J.D., Kruer C.R., Finkbeiner M., Warner R.A., 2001. Methods Used to Map the Benthic Habitats of Puerto Rico and the U.S. Virgin Island. URL: <http://biogeo.nos.noaa.gov/projects/mapping/caribbean/startup.htm>. Also available on U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration. National Ocean Service, National Centers for Coastal Ocean Science Biogeography Program. 2001. (CD-ROM). Benthic Habitats of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. Silver Spring, MD: National Oceanic and Atmospheric Administration.

Levêque L., 2004. Contribution à l'inventaire et la cartographie des herbiers de zostère en Bretagne. Ifremer, DEL/AO, 61 p.

Peuziat I., Brigand L., Hily C., 2004. Gestion des usages récréatifs liés au nautisme dans les îles et archipels du Ponant. Application à l'archipel de Glénan. Laboratoire Géomer, IUEM, UBO, Liteau MEDD, Brest, 240p.

Rollet C., 2004. Les Orthophotographies Littorales.

Source : http://www.ifremer.fr/rebent/Document/fiches_techniques/FT13-FO01-2004-01.pdf

Wyn G., Brazier P., McMath M., 2000. CCW Handbook for Marine Intertidal Phase 1 Survey and Mapping. Marine Science Report No 00/06/01, 101p.

Annexes

[Fiche outil : Evaluation du taux de fragmentation des herbiers à *Zostera marina* à l'aide du logiciel eCognition professional 4.0.](#) (Accès restreint)