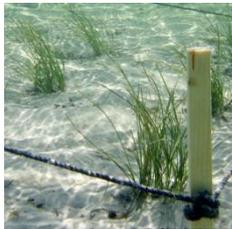




**Programme de réimplantation d'herbiers de phanérogames
(*Zostera noltii*/ *Ruppia cirrhosa*) dans les lagunes de Bages, Ingril
et Thau (Languedoc-Roussillon – France)**

Cépralmar – Ifremer 2007-2008



Ce programme de réimplantation d'herbiers de phanérogames (*Zostera noltii*/*Ruppia cirrhosa*) dans les lagunes de Bages, Ingril et Thau (Languedoc-Roussillon – France) n'aurait pas été possible sans le soutien :

De la région Languedoc-Roussillon :



De l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse :



De la Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement LR :



Du Syndicat Intercommunal des Etangs Littoraux :



Du Parc Naturel Régional de la Narbonnaise :



Et du Syndicat Mixte du Bassin de Thau :



En cas d'utilisation de données et/ou d'éléments de ce document, il doit être cité sous la forme si dessous :

Hebert, M., Dupré, N. †, Barral, M., Messiaen, G., Oheix, J., Deslous-Paoli, J-M., E., Roque d'orbcastel, Laugier, T., Programme de réimplantation d'herbiers de phanérogames (*Zostera noltii*/*Ruppia cirrhosa*) dans les lagunes de Bages, Ingril et Thau (Languedoc-Roussillon – France), Rapport Cépralmar : 07-2012.

A Nicolas Dupré.

Table des matières

1	Contexte	5
2	Objectif du programme	7
3	Matériel et méthodes	7
3.1	Définition des zones d'étude.....	7
3.1.1	Choix des lagunes.....	7
3.1.2	Définition des zones de réimplantation	9
3.2	Choix des espèces :	11
3.3	Choix des techniques et Protocole de transplantation	11
3.4	Suivi de la réimplantation	12
3.4.1	Comptage des plants et estimation de la surface de recouvrement	13
3.4.2	Analyse du Sédiment	13
3.4.3	Suivi de la zone de prélèvement :	15
3.4.4	Test de la période optimale de réimplantation d'herbiers de zostère noltii	15
4	Résultat de l'étude.....	15
4.1	Site de Bages	15
4.1.1	Taux de présence et de recouvrement	15
4.1.2	Sédiment	16
4.1.3	Conclusions	16
4.2	Site d'Ingril	17
4.2.1	Taux de présence et de recouvrement	17
4.2.2	Sédiment	18
4.2.3	Conclusions	21
4.3	Site de Thau	21
4.3.1	Taux de présence et de recouvrement	21
4.3.2	Sédiment	24
4.3.3	Conclusions	26
5	Discussion	27
6	Conclusion	28

1 CONTEXTE

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE), adoptée en octobre 2000 par le Parlement Européen et transposée en droit français le 21 avril 2004 fixe comme objectif l'atteinte d'un bon état écologique pour l'ensemble des masses d'eau du territoire européen d'ici 2015. Les milieux Lagunaires qualifiés de masses d'eau de transition au titre de la DCE, nécessiteront, pour celles qui sont dégradées, des programmes de restauration adaptés afin de respecter les objectifs fixés.

Identifiée comme prioritaire dans le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux et dans le Plan de Développement Durable du Littoral, l'eutrophisation se révèle être un des paramètres clef pour une majorité de lagunes afin de répondre aux objectifs de qualité de milieux fixés. Dès 1969, cette problématique a été pointée du doigt en Languedoc Roussillon suite à la confrontation des activités économiques à des crises anoxiques ("malaïgues" en occitan), dont la cause est liée à l'eutrophisation ainsi qu'à des conditions météorologiques et environnementales particulières (Chapelle et al., 2001; Souchu et al., 1998). L'ampleur de ces crises a été variable au cours de ces trois dernières décennies, avec certaines dates marquantes (1982, 1987, 1997, 2003, 2006). En effet, si elles sont synonymes d'abondance trophique, les lagunes eutrophisées peuvent également présenter des conditions de vie délétères pour une grande majorité d'organismes lors de conditions estivales particulières (fortes chaleurs, absence de vent) dont les conséquences sont lourdes pour les activités d'aquaculture, de pêche, mais aussi pour les activités touristiques (dégagement hydrogène sulfuré) et pour la préservation des habitats d'intérêts écologiques.

Réceptacle de leur bassin versant et zone d'interface avec le milieu marin, les lagunes présentent des conditions environnementales changeantes parfois extrêmes. Elles présentent toutefois des zones de nurserie et nourricière intéressantes pour le maintien de la biodiversité. En effet, une lagune en bon état écologique offre un large panel d'habitats (herbiers, macrophytes, roselières ...) favorables à l'accueil d'une diversité d'espèces qui viennent s'y reproduire, y accomplir une étape ou la totalité de leur cycle de vie ou simplement s'y alimenter. Aussi, leur présence dépend de l'équilibre des apports en éléments nutritifs. Une lagune trop pauvre perdrait incontestablement son rôle attractif de garde-manger. En revanche, une lagune trop riche en éléments nutritifs, dans laquelle la croissance végétale est favorisée ne permettra le développement que d'un faible ensemble d'organismes pour lesquels l'absence de lumière les variations importantes de teneurs en oxygène dissous, etc., ne sont pas un obstacle.

Dès 2000, la Région, l'Agence de l'Eau, Ifremer et le Cépralmar ont mis en place le Réseau de Suivi Lagunaire (RSL) afin proposer un outil de suivi et d'évaluation annuel de la qualité des milieux lagunaires du Languedoc-Roussillon vis-à-vis de l'eutrophisation. Le RSL est un outil d'aide à la gestion pour les réflexions d'aménagement et de préservation des milieux lagunaires mais aussi d'appréciation des efforts et investissements réalisés pour la reconquête de la qualité trophique des milieux.

Parallèlement, la mise en œuvre du « défi eutrophisation » des lagunes littorales du Languedoc-Roussillon par le Cépralmar dans le cadre du 8^{ème} programme de l'Agence de l'Eau a permis de hiérarchiser les actions à mettre en œuvre afin d'améliorer l'état des milieux lagunaires vis-à-vis de l'eutrophisation. Les résultats du défi montrent que la lutte contre l'eutrophisation passe par la réduction des apports en azote et phosphore issus des bassins versants (BV) afin de respecter la capacité d'acceptation des milieux lagunaires. Ces réductions sont actuellement en cours dans le cadre des différents Contrats d'étangs élaborés sur la majorité des milieux lagunaires de la région. Le défi eutrophisation a permis d'estimer et de hiérarchiser les apports des différentes activités du BV. Suite aux efforts réalisés, en particulier sur la réduction du nombre de rejets directs de stations d'épurations dans les lagunes, il a été constaté une réponse rapide de la colonne d'eau en terme de restauration des paramètres évalués (concentrations en azote et phosphore, phytoplancton, turbidité...), comme c'est le cas des lagunes palavasiennes suite à la mise en place de l'émissaire en mer de la station d'épuration de l'agglomération de Montpellier. A contrario, le compartiment sédimentaire semble présenter une inertie plus importante du fait de la possibilité de remobilisation des éléments nutritifs du stock sédimentaire qui contraint la dynamique de restauration des lagunes. En effet, selon l'historique de

chaque lagune, d'importantes quantités de nutriments peuvent être stockées dans les sédiments et ainsi entretenir l'eutrophisation des milieux lagunaires durant de nombreuses années (Gorgeon, 1993 ; Phillips et al. 1994).

Afin de limiter l'ampleur de ces phénomènes sur le processus de restauration des milieux lagunaires, des mesures « accompagnatrices » peuvent être mises en œuvre une fois les principaux apports en éléments nutritifs réduits. Parmi celles-ci, la réimplantation d'herbiers de phanérogames a été testée ; ces herbiers, outre leur rôle écologique, présentent en effet des fonctions intéressantes en termes de piégeage d'éléments nutritifs (Fig.1) mais aussi de stabilisation et d'oxygénation du substrat (Bay, 1978 ; Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Gacia et Duarte, 2001). Les herbiers jouent un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes littoraux.

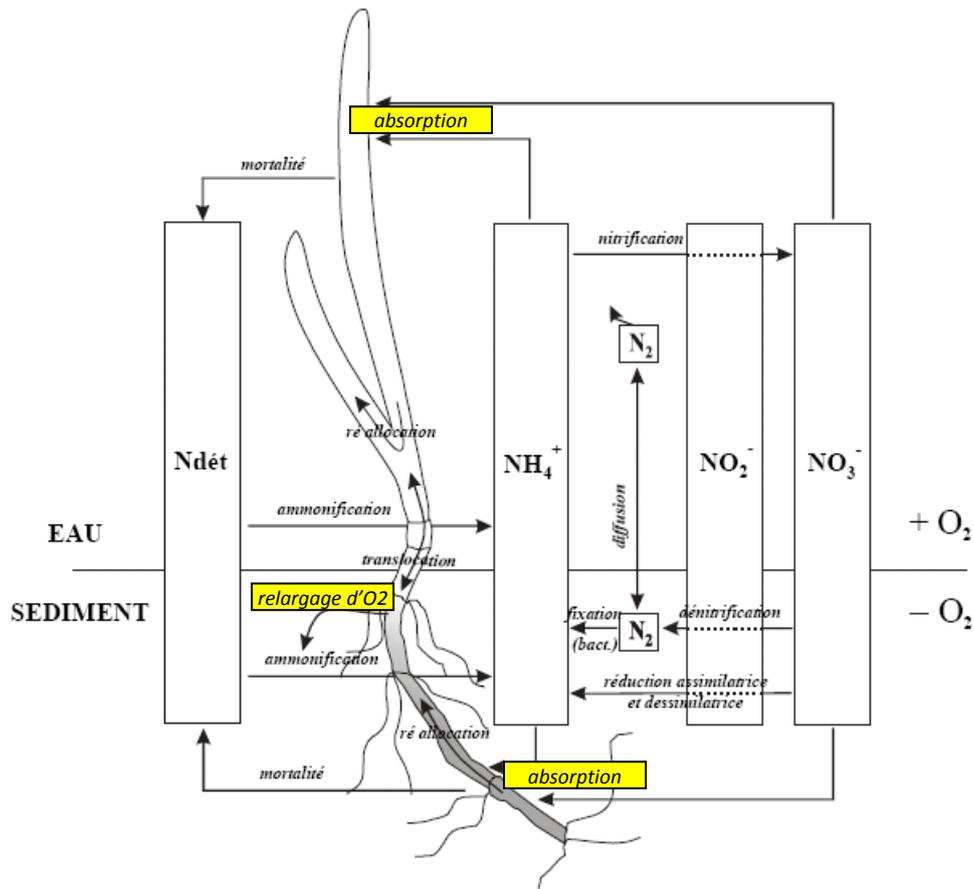


FIGURE 1 : SCHEMA SIMPLIFIE DU CYCLE DE L'AZOTE DANS UN HERBIER A PHANEROGAME. O2 : OXYGENE DISSOUS ; NH4+ : ION AMMONIUM ; NO3- ET NO2- : IONS NITRATES ET NITRITES ; N2 : AZOTE MOLECULAIRE ; NDET : AZOTE ORGANIQUE DETRITIQUE. SOURCE : THESE M. PLUS 2001)

Des essais de réimplantation d'herbiers de phanérogames ont ainsi été réalisés en lagunes et en mer. Ainsi, la première expérimentation de réimplantation d'herbiers date de 1947 et a concerné *Zostera marina* sur les côtes Est des Etats-Unis (Addy, 1947a et 1947b). Par la suite, des expériences de réimplantation se sont multipliées sur la côte Est et Sud-Est des Etats-Unis où plusieurs espèces ont été réimplantées, telles que *Thalassia testudinum*, *Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme* et *Z. marina* (Thorhaug, 1979 ; Fonseca et al., 1982a et 1982b ; Meinesz et al., 1990). Au Japon, des expérimentations ont été réalisées pour reconstituer des herbiers de *Z. marina* à partir de graines germées en aquarium ou de boutures (Kawasaki et al., 1988). Dans la lagune de Venise, des expérimentations de transplantation de *Zostera marina*, *Nanozostera noltii* et *Cymodocea nodosa* ont également donné des résultats intéressants (Faccioli, 1996). En Méditerranée, des expériences de réimplantation concernant *Cymodocea nodosa* et *Nanozostera noltii* ont également été effectuées dans les Bouches-du-Rhône, le Var et les Alpes-Maritimes (Meinesz, 1976 ; Meinesz et Verlaque, 1979 ; Jeudy de Grissac, 1984).

Ce programme de réimplantation pilote d'herbier de phanérogames a été initié en Région Languedoc Roussillon en 2008 sous maîtrise d'ouvrage du Cépralmar, avec l'Ifremer (Laboratoire Environnement Ressources de Sète) comme opérateur scientifique. Ce programme a été cofinancé par la Région Languedoc Roussillon, l'Agence de l'Eau RM & C, la DREAL, ainsi que le SIEL. Un comité de pilotage a été constitué afin d'assurer le suivi du programme constitué et d'en assurer l'évaluation périodique, avec des partenaires scientifiques (Ifremer, Cépralmar), financiers (AERMC, DREAL, Région, Départements) et gestionnaires (SIEL, SMBT, PNR de la Narbonnaise) et professionnels (Prud'homies de Thau, Bages-Port la Nouvelle, Palavas).

2 OBJECTIF DU PROGRAMME

L'objectif de ce projet sur la réimplantation d'herbiers de phanérogames est d'étudier la faisabilité technique et la définition des conditions optimales de réimplantation des herbiers, à petite échelle dans un premier temps (14 m² par site). Les conclusions de cette étude permettront d'étudier la pertinence de poursuivre sur une seconde phase à plus grande échelle.

Trois lagunes, caractérisées par un niveau d'eutrophisation compatible avec la réimplantation d'herbiers, ont été sélectionnées pour le projet : l'étang d'Ingril, l'étang de Thau et l'étang de Bages-Sigean .

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 DEFINITION DES ZONES D'ETUDE

3.1.1 CHOIX DES LAGUNES

Une analyse bibliographique appuyée de l'exploitation de la base de données du RSL a permis de déterminer les conditions physico-chimiques optimales pour la réimplantation des herbiers. Cette analyse a été réalisée en considérant la présence et les exigences environnementales des différents genres d'herbiers potentiellement utilisables pour la mise en œuvre de ce programme (*Ruppia sp.* et *Zostera sp.*) et plus particulièrement :

- L'état d'eutrophisation global du site : concentrations en éléments nutritifs dans la colonne d'eau et les sédiments,
- Les paramètres hydrologiques et physiques : salinité, température, profondeur,
- Les caractéristiques du sédiment : teneur en matière organique et pourcentage de vase,
- L'abondance des populations d'algues,
- La présence d'herbiers naturels.

Trois milieux lagunaires ayant été eutrophisés par le passé et ayant fait l'objet d'importantes réductions des apports en nutriments des bassins versants ont été sélectionnés :

- L'étang de Thau, avec la réduction progressive des apports du bassin versant en particulier avec la mise en place de l'émissaire en mer de la station d'épuration de Sète en 2002.

TABLEAU 1 : DIAGNOSTIC DE L'EUTROPHISATION DE LA LAGUNE DE THAU SUD AU REGARD DES INDICATEURS EAU MACROPHYTES ET SEDIMENT SELON LES GRILLES DU RESEAU DE SUIVI LAGUNAIRE

Thau Sud	2003	2006	2008	2011
Eau (Surface)	moyen	médiocre	bon	bon
Macrophytes	moyen	moyen	moyen	moyen
Sédiment	médiocre		moyen	

- L'étang de Bages-Sigean, avec la mise aux normes de la station d'épuration de Narbonne et de Port la Nouvelle (2007)

TABLEAU 2 : DIAGNOSTIC DE L'EUTROPHISATION DE LA LAGUNE DE BAGES-SIGEAN(NORD) AU REGARD DES INDICATEURS EAU MACROPHYTES ET SEDIMENT SELON LES GRILLES DU RESEAU DE SUIVI LAGUNAIRE

Bages Sigean Nord	1999	2005	2010
Eau (Surface)	Mauvais	médiocre	bon
Macrophytes	moyen	moyen	moyen
Sédiment	médiocre	médiocre	moyen

- Les étangs palavasiens, avec la mise en route de l'émissaire en mer de la station d'épuration de l'Agglomération de Montpellier en 2005

TABLEAU 3 : DIAGNOSTIC DE L'EUTROPHISATION DE LA LAGUNE DE L'INGRIL SUD AU REGARD DES INDICATEURS EAU MACROPHYTES ET SEDIMENT SELON LES GRILLES DU RESEAU DE SUIVI LAGUNAIRE

Ingril Sud	2001	2006	2011
Eau (Surface)	médiocre	moyen	Très bon
Macrophytes	moyen	médiocre	moyen
Sédiment	moyen	moyen	médiocre

Ces étangs présentent tous les trois un état d'eutrophisation compatible avec une présence significative d'herbiers de phanérogames. De plus, ces trois milieux lagunaires possèdent un historique de l'eutrophisation différent. L'étang de Thau est en voie de restauration depuis plus 10 ans, l'étang de Bages-Sigean depuis 4 ans et l'étang de l'Ingril l'est depuis 2 ans seulement. On peut ainsi y observer des concentrations en nutriments (NT et PT) dans la colonne d'eau et les sédiments significativement différentes (Ifremer, 2001 à 2007).

3.1.2 DEFINITION DES ZONES DE REIMPLANTATION

Les cartes permettant les choix précis des sites de réimplantation sont obtenues par krigeage à l'aide d'un modèle semi-variogramme Gaussien sous Arcview 3.2 (extension FigisKrigeage v2.5 développée par l'Ifremer). Le calcul de l'indice de réimplantation reprend les éléments utilisés dans le choix des lagunes, à savoir :

- la bathymétrie,
- la teneur en matière organique dans les sédiments (fortement corrélée aux concentrations d'azote et phosphore total dans les sédiments),
- le recouvrement des macrophytes,
- le pourcentage de vase dans les sédiments,
- la biomasse algale. Ces données sont issues de la base de données du RSL.

Le faible nombre de points de mesure des différents compartiments biologiques sur l'étang de l'Ingril n'a pas permis d'appliquer le modèle Figiskrigeage. Une approche similaire à été conduite et est résumée dans le tableau ci après.

TABEAU 4 : CATEGORIES D'INDICATEURS ET CLASSES DE POSSIBILITE DE REIMPLANTATION DES HERBIERS

Indicateurs	Vert / favorable / 1	Jaune / possible / 2	Orange / impossible / 3
Profondeur (en m)	0 à 1		> 1
Granulométrie des sédiments (en % vase)	18 à 72	1,2 à 18 et 72 à 99	<1,2 et > 99
MO matière organique dans les sédiments	2 à 6,5	0,5 à 2 et 6,5 à 16	<0,5 et > 16
Biomasse algale (en g de PS / m ²)	< 460		> 460
Indice de réimplantation	Si la somme des indices < 5	Si la somme des indices < 8	Si la somme des indices < 13

Une fois les indices de réimplantation définis, trois sites ont été choisis en fonction de leur accessibilité et leur absence de conflits d'usage.

Pour ce faire, ont été pris en considération :

- la distance par rapport aux sources potentielles de perturbations anthropiques (station d'épuration, mas ostréicoles, zones de pêche),
- la distance par rapport aux activités : mas ostréicoles, zones de pêche, ... afin de ne pas perturber les activités,
- la distance par rapport aux cours d'eau principaux (300 m minimum)

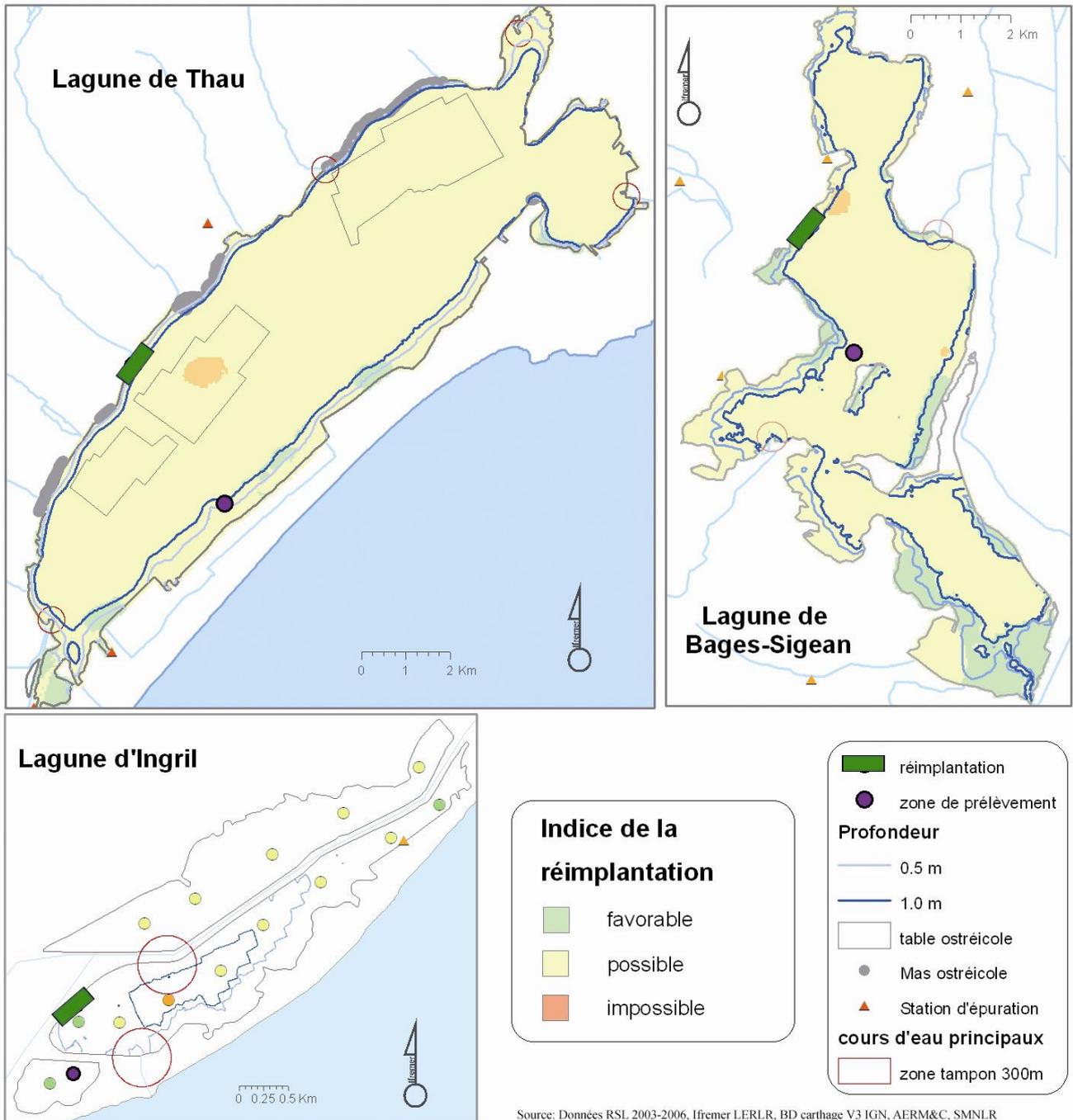


FIGURE : 2 CARTE DES ZONES DE PRELEVEMENT ET REIMPLANTATION DES HERBIERS

3.2 CHOIX DES ESPECES :

Les lagunes du Languedoc-Roussillon accueillent deux principaux genres d'herbiers : Les Ruppias (*Ruppia cirrhosa* (*Petagna*) *Grande* et *Ruppia maritima* *Linneaus*) et les Zostères (*Zostera marina* *Linneaus* et *Zostera noltii* *Hornem*). Après l'installation d'un ou plusieurs plants issus de germination, le développement de l'herbier a lieu principalement de façon asexuée (Plus, 2001). L'analyse spatiale des herbiers, le long d'un gradient environnemental, met en évidence deux niches écologiques distinctes pour les deux espèces : *Z. marina* se développe plutôt dans la frange 1-3m où l'hydrodynamisme est faible et sur des sédiments riche en matière organique, tandis que *Z. noltii* occupe la frange 0,1-1,5m où l'hydrodynamisme est plus fort et les sédiments, plus grossiers, sont moins riches en matière organique. Dans le cadre des essais de réimplantation et de suivi prévus au cours de ce programme, la présence d'un plongeur professionnel est réglementairement indispensable au-delà d'un mètre de profondeur. Aussi, afin de permettre une mise en œuvre plus facile du programme, c'est la *Zostera Noltii* qui a été retenue. Par ailleurs, *Z. noltii* présente un recrutement végétatifs (apparition de nouveaux plants) beaucoup plus rapide que *Z. marina* (Duarte, 1991).

L'étang de l'Ingril est dépourvu de *Z. noltii*. *Ruppia cirrhosa* est la seule espèce de phanérogame présente dans cet étang et se présente principalement sous forme de petites plaques dans le nord de l'étang (Ifremer, 2004). Or il convient de s'assurer que les populations de phanérogames approvisionnant la réimplantation sont aussi proches que possible de la population disparue, d'un point de vue géographique, écologique et génétique (Van Den Hartog, 2000). Par conséquent, il est impossible de prélever *Zostera noltii* dans d'autres étangs pour la replanter dans l'étang de l'Ingril. Les *Ruppia* sont des phanérogames annuelles tolérant de grandes variabilités de salinités et de températures (Verhoeven, 1979). Après une période de croissance rapide des tiges et des rhizomes en été, les tiges verticales se détachent de la matte et se décomposent progressivement sur le fond à partir de l'automne (Verhoeven, 1979). Lorsqu'ils sont immergés en permanence, les plants subsistent en hiver alors qu'ils présentent un cycle annuel lorsque l'immersion n'est que temporaire (Gesti et al, 2005). Parallèlement à la reproduction sexuée permettant la propagation des herbiers par dissémination des graines, les herbiers sont également capables de reproduction asexuée par multiplication végétative (Brock, 1982), de ce fait elles présentent un intérêt certain dans le cadre du programme de réimplantation d'herbiers. *Ruppia cirrhosa* a donc été retenue pour la mise en œuvre du programme dans l'Ingril sud.

3.3 CHOIX DES TECHNIQUES ET PROTOCOLE DE TRANSPLANTATION

La littérature scientifique propose différentes techniques de réimplantation des herbiers de phanérogames. Dans le cadre de cette étude, deux ont été sélectionnées. La première consiste à creuser des trous dans lesquels sont placés des blocs de « matte » (mottes) prélevées au préalable (Dennison & Alberte, 1986). Cette technique sera appelée "mottes" dans le reste du document. La seconde technique consiste à fixer des boutures sur le fond au moyen de « tuteurs » ou cavaliers en fils de fer enfoncés dans le sédiment (Fonseca et al., 1994). Cette méthode sera appelée « plant » dans le reste du document.

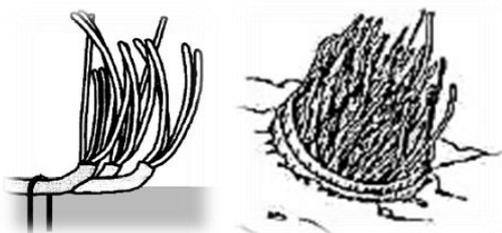


FIGURE 3 ILLUSTRATION DES METHODES DE REIMPLANTATION « PLANT » (A GAUCHE) ET « MOTTE » (A DROITE)

Dans le cas de l'application de la technique « motte » ou « plant », le prélèvement des phanérogames du site d'origine a été réalisé dans les zones les plus denses au moyen d'un carotteur PVC de 7,5cm de diamètre. Les carottes contenant les mottes destinées à l'application de la méthode « mottes » sont stockés à l'abri de la lumière jusqu'à leur implantation dans les sites expérimentaux. Les carottes destinées à l'application de la méthode « plant » sont quant à elles extraites des carottes et stockées dans des bacs remplis d'eau issue du site de prélèvement. Les carottes sont également mises à l'abri de la lumière durant le temps de transport. Les prélèvements et les réimplantations ont été réalisés dans la même journée pour chaque lagune.

Sur le site de réimplantation, deux franges bathymétriques ont été testées (0- 50 cm et 50 – 100 cm). Pour chacune d'elle, les essais de réimplantation « motte » et « plant » ont été dupliqués. Pour les essais « plant » deux densités ont été testées : 25 plants / m² et 49 plants / m². Par ailleurs un quadrat témoin a été suivi pour chaque frange soit 14 quadrats suivis par site. Les mottes et plants ont été disposés comme indiqué figure 4. Chaque quadrat recouvre une surface d'un mètre carré et est espacé du suivant d'une distance d'un mètre. Après avoir retiré une carotte de sédiment du site de réimplantation, les mottes sont transplantées directement à partir des carottes alors introduits dans l'espace aménagé. Les plants quant à eux sont triés dans les bacs remplis d'eau et réimplantés par deux ou trois pieds au fur et à mesure. Chaque quadrat est délimitée par une corde fixée aux piquets implantés aux angles.

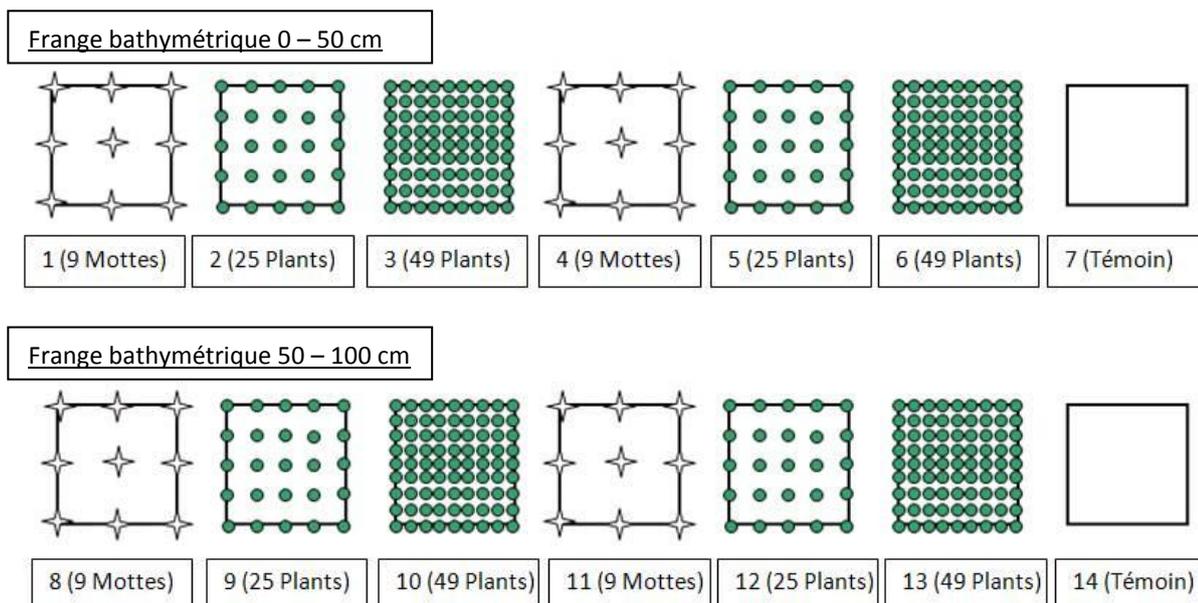


FIGURE 4 SCHEMA DE LA REPARTITION DES QUADRATS ET DES MOTTES (ETOILES) ET DES PLANTS (POINTS) AU SEIN DE CHAQUE QUADRAT

3.4 SUIVI DE LA REIMPLANTATION

Les suivis destinés à estimer la faisabilité des différentes conditions et techniques de réimplantation ont porté sur le comptage des plants et l'estimation de la surface de recouvrement. Ces suivis ont été complétés par un suivi du sédiment et de paramètres physicochimiques (température, salinité) afin d'apprécier les conditions environnementales auxquelles étaient soumises les transplants. Ce suivi avait également pour objectif d'évaluer la capacité des herbiers réimplantés à « pomper » les nutriments, accélérant ainsi la restauration du compartiment.

3.4.1 COMPTAGE DES PLANTS ET ESTIMATION DE LA SURFACE DE RECOUVREMENT

Le suivi initial était basé sur le comptage des faisceaux d'herbier présents au point de réimplantation des plants. Ce suivi a pu être réalisé en Avril, Mai, Juin, Juillet et Aout pour Thau, en Juillet pour le site de Bages, l'application du protocole a été modulé par les conditions de terrain. Le suivi par une méthode de constatation Présence/Absence a globalement été appliqué sur l'ensemble des sites les mois non couverts par l'approche par comptage de faisceaux pour la période d'Avril à Octobre 2007. Lors de l'analyse des résultats, les données issues du suivi par comptage de plants ont été lissées sur une approche Présence/Absence afin de bénéficier d'une meilleure constance de l'information. Le lissage sur une grille présence (1) absence (0) ne permet pas d'obtenir d'indications sur les tendances de croissances des plants. Après quoi, du fait des conditions d'expérimentations défavorables, une approche par estimation visuelle du recouvrement des quadrats a été appliquée d'Aout 2007 à Octobre 2008 pour Bages et Ingril et d'Octobre 2007 à Octobre 2008 pour Thau. Les surfaces de recouvrement occupées par les herbiers dans les quadrats des lagunes de Bages, Ingril Sud et de Thau ont été estimées de visu par les personnes ayant menées les sorties de terrain.

Concernant le suivi T° et Salinité, la fréquence a été bimensuelle entre Avril et Juillet 2007, puis mensuelle jusqu'en Octobre 2008.

3.4.2 ANALYSE DU SEDIMENT

Des carottes de sédiment ont été prélevées à 1 an d'intervalle, au début et en deuxième année de l'expérimentation. Du fait de la variabilité saisonnière des paramètres suivis, la comparaison d'échantillon prélevé au début et à la fin du programme (18 mois) n'aurait pas été pertinente..

Les carottes de sédiment ont été prélevées au moyen d'un carotteur en PVC de 7,5 cm de diamètre au sein de chaque quadrat. Les duplicatas ont ensuite été mélangés et homogénéisés pour analyse de l'azote et du phosphore total.

Le tableau 5 présente la synthèse des suivis réalisés sur les trois sites d'études de Bages, Ingril et Thau :

TABLEAU 5 SYNTHÈSE DES SUIVIS RÉALISÉS SUR LES LAGUNES DE BAGES, INGRIL SUD ET THAU

Type d'analyse \ date	AVRIL	MAI 1	MAI 2	JUIN 1	JUIN 2	JUILLET	AOÛT SEPT	OCTOBRE	DECEMBRE	JANVIER	FÉVRIER	MARS AVRIL	MAI	JUIN	OCTOBRE
	2007									2008					
Bages															
Comptage de plants															
Présence/ Absence															
Longueurs des feuilles															
Estimation de Surface															
Sédiment															
Ingril															
Comptage de plants															
Présence/ Absence															
Longueurs des feuilles															
Estimation de Surface															
Sédiment															
Thau															
Comptage de plants															
Présence/ Absence															
Longueurs des feuilles															
Estimation de Surface															
Sédiment															

3.4.3 SUIVI DE LA ZONE DE PRELEVEMENT :

Initialement, un contrôle visuel de l'impact des prélèvements de carottes d'herbiers a été programmé. Lors des campagnes de suivi suivant la transplantation, il a été conclu que les surfaces prélevées étant mineures au regard de celles existantes et face à l'impossibilité de relocalisation des points de ponction, l'impact du prélèvement a été considéré comme négligeable. Le suivi a donc été abandonné.

3.4.4 TEST DE LA PERIODE OPTIMALE DE REIMPLANTATION D'HERBIERS DE ZOSTERA NOLTII

Dans le cadre de récents travaux réalisés par une équipe de chercheurs portugais sur la réimplantation d'herbiers en milieu lagunaire, il était suggéré que la période optimale pour la réimplantation d'herbiers à Zostère était la période automnale. Afin d'étudier une différence éventuelle dans le développement des herbiers réimplantés au printemps et en automne, 4 quadrats de mottes supplémentaires ont été réimplantés durant le mois d'octobre sur l'étang de Thau. En début d'année 2008 la totalité des mottes réimplantées à l'automne avait disparue. La reprise des herbiers coïncide avec les repousses constatées sur l'ensemble des quadrats (témoin compris) entre mai et octobre 2008.

4 RESULTAT DE L'ETUDE

4.1 SITE DE BAGES

4.1.1 TAUX DE PRESENCE ET DE RECOUVREMENT

Lors des 3 premiers mois de suivi, la technique « motte » a présenté de meilleurs taux de présence que la technique « plant » dans les 2 densités testées (25 et 49 plants par m²). Ce résultat est accentué pour la frange bathymétrique 0 – 50 cm (Figures 5 et 6). La technique « motte » donne un taux de recouvrement moyen plus important pour les plants situés entre 0 et 50 cm de profondeur avec 77,5% du quadrat occupé par l'herbier contre 15% dans la frange 50 – 100 cm en Octobre 2007.

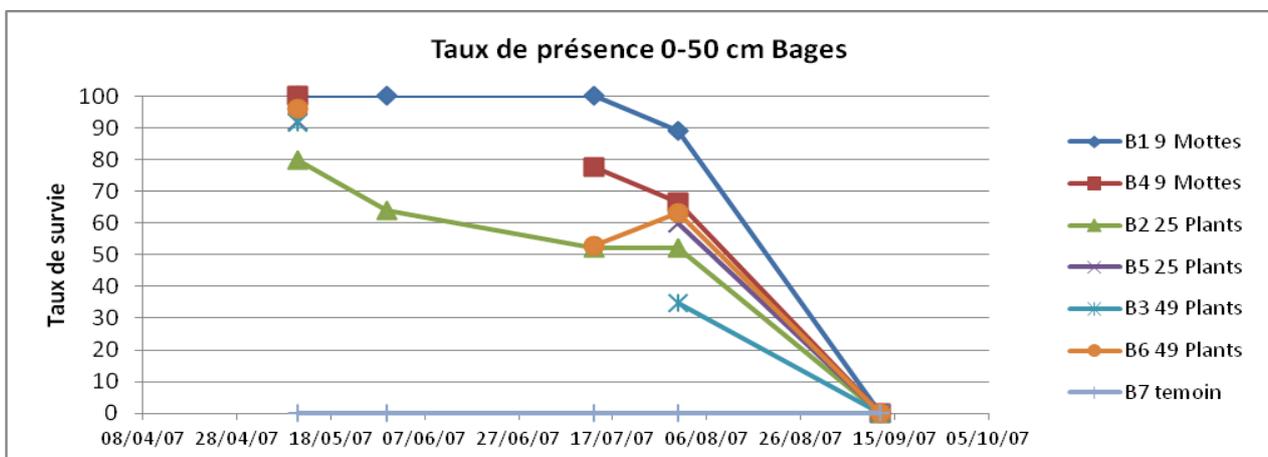


FIGURE 5 TAUX DE PRESENCE DES HERBIERS IMPLANTES POUR LES TECHNIQUES "MOTTE" ET "PLANT" POUR LA FRANGE BATHYMETRIQUE 0 - 50 CM BAGES

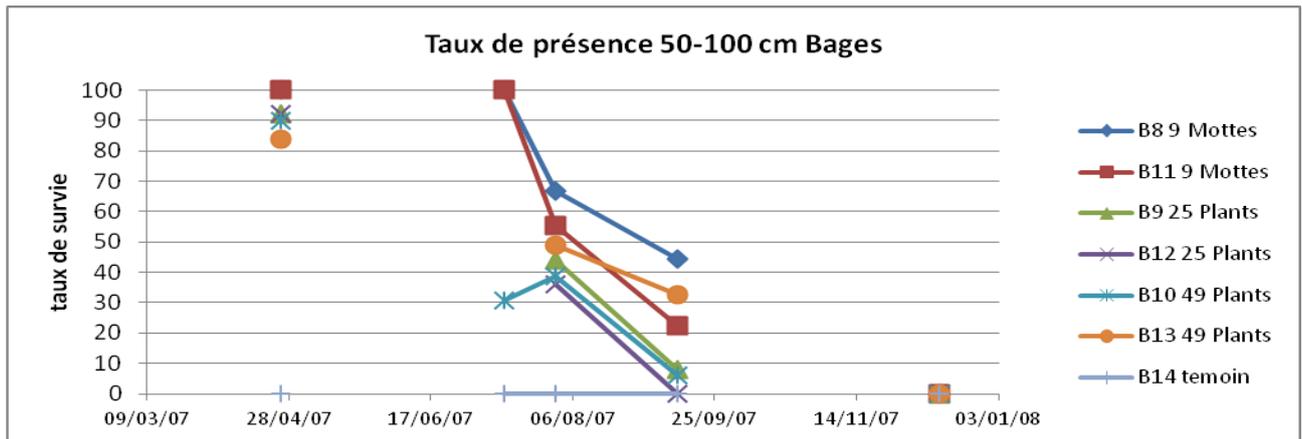
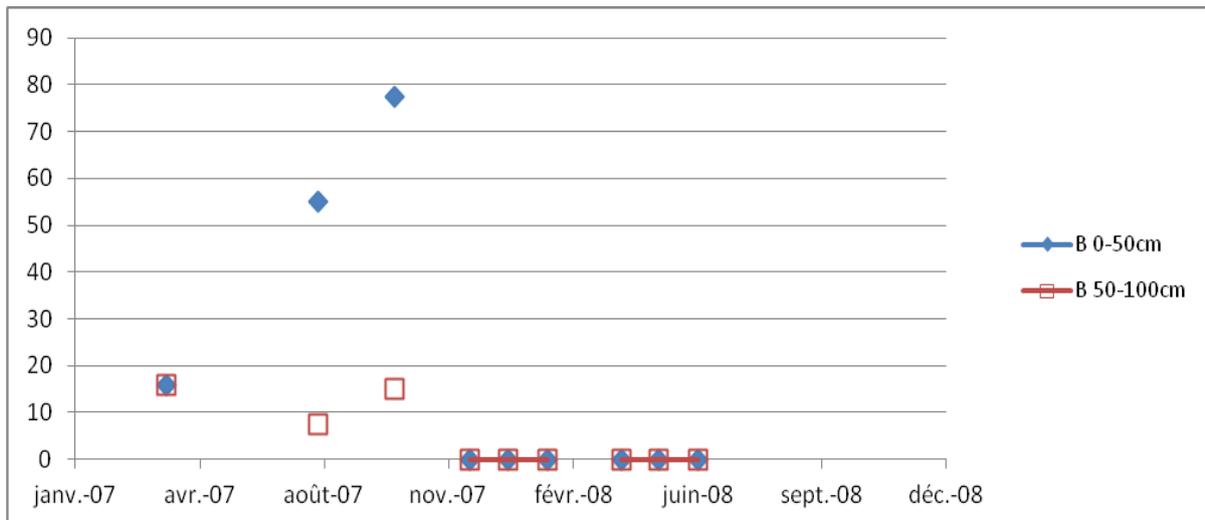


FIGURE 6 : TAUX DE PRESENCE DES HEBIERS IMPLANTES POUR LES TECHNIQUES « MOTTES » ET « PLANT » POUR LA FRANGE 50 - 100 CM BAGES

Les plants des zones de réimplantation ont été dès les premiers mois recouverts d'algues. Malgré un nettoyage du site à chaque sortie, le recouvrement par les algues et la présence importante d'épiphytes sur les herbiers ont eu comme conséquence la mort des plants et l'arrêt du suivi en septembre 2007. En décembre le tapis d'algues a atteint une trentaine de centimètres d'épaisseur lui-même recouvert par des sédiments lors d'un coup de mer en janvier 2008. Aucune reprise des herbiers n'a été constatée sur le site après ces évènements (figure 7).

FIGURE 7 : EVOLUTION DES TAUX DE RECOUVREMENT DES QUADRATS PAR LES MOTTES POUR LES FRANGES BATHYMETRIQUES 0 - 50 CM ET 50 - 100 CM POUR LA PERIODE D'AVRIL 2007 A JUIN 2008



4.1.2 SEDIMENT

Du fait d'importants remaniements sédimentaires au cours de l'hiver 2007-2008 et de l'absence de reprise des herbiers, l'analyse du sédiment n'a pas été jugée pertinente

4.1.3 CONCLUSIONS

Les essais de réimplantation d'herbier sur Bages ont échoués du fait de l'envahissement de la zone de réimplantations par des algues (*Ulves* et *Gracilaires*), de la remise en suspension du sédiment jusqu'à ensevelissement de la zone en hiver 2008. Malgré les conditions a priori défavorables relevées sur ce site (turbidité importante, niveaux d'eau bas), des herbiers naturels de *Zostera noltii* et *Zostera marina* ont été observés à proximité du site aux mois de juillet et Aout-Septembre 2007.

4.2 SITE D'INGRIL

4.2.1 TAUX DE PRESENCE ET DE RECOUVREMENT

Les plants des zones de réimplantation ont été dès les premiers mois recouverts d'algues. Lors des premiers mois, il a été constaté une reprise des herbiers de *Ruppia* en particulier pour les quadrats « motte » (Figure 8 et 9).

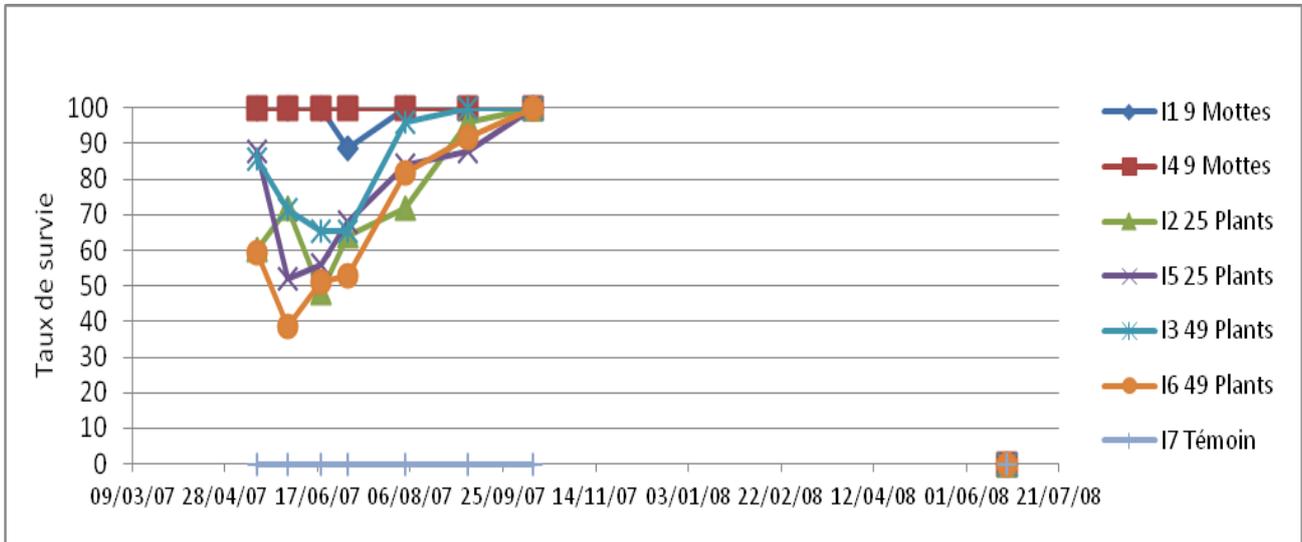


FIGURE 8 : TAUX DE PRESENCE DES HERBIERS IMPLANTES POUR LES TECHNIQUES « MOTTES » ET « PLANT » POUR LA FRANGE BATHYMETRIQUE 0 - 50 CM INGRIL

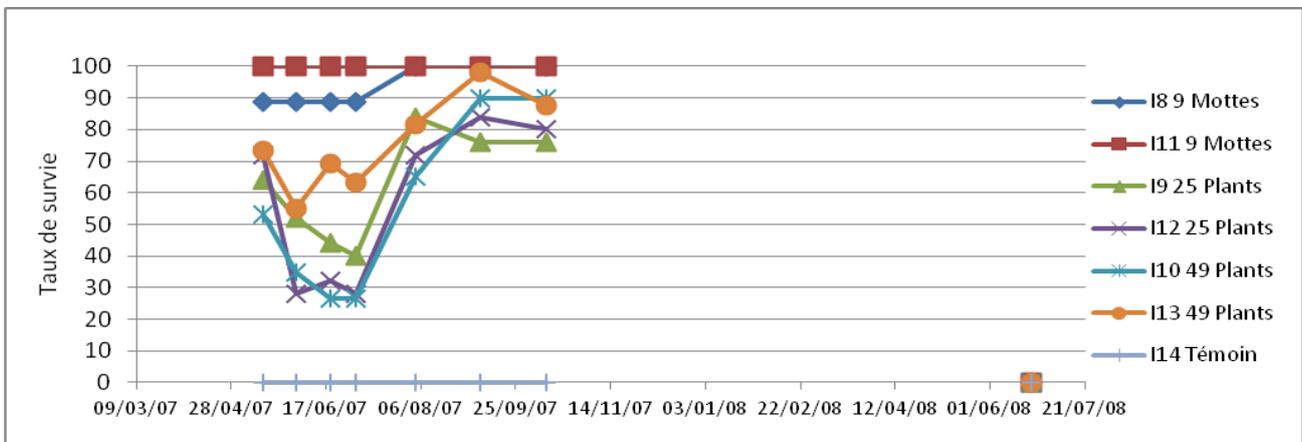


FIGURE 9 : TAUX DE PRESENCE DES HERBIERS IMPLANTES POUR LES TECHNIQUES « MOTTE » ET « PLANT » POUR LA FRANGE BATHYMETRIQUE 50 - 100 CM INGRIL

Entre Aout 2007 et Février 2008 les quadrats « mottes » présentent un meilleur taux de recouvrement que les « plants », supérieur à 50% avec un maximum de 85% dans la frange 0 – 50 cm contre 15% à l'implantation (Figure 10).

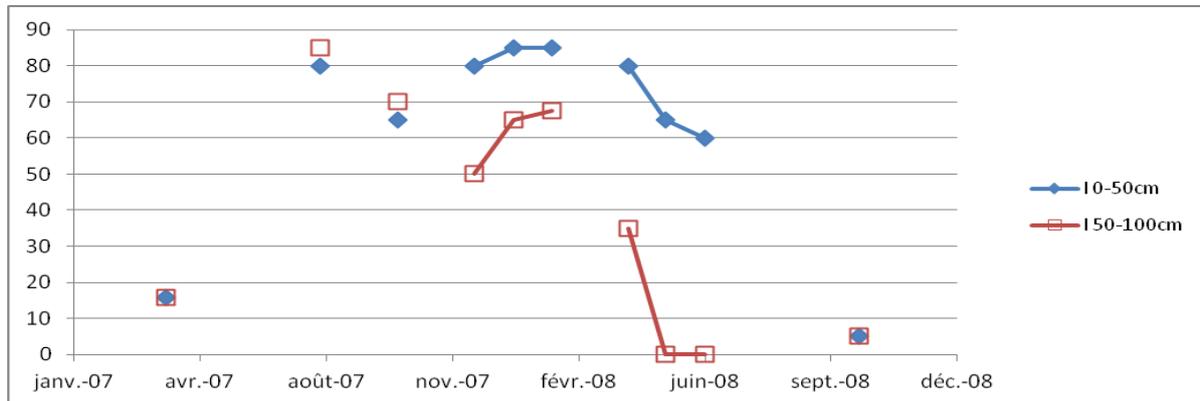


FIGURE 10 : EVOLUTION DES TAUX MOYENS DE RECOUVREMENT DES QUADRATS PAR LES MOTTES INGRIL

La croissance et le maintien des herbiers ont été limités par la présence importante d'épiphytes sur les plants (anémones) et un recouvrement du site par des algues (ulves, gracilaires et chaetomorphes). Malgré un nettoyage régulier, les Ruppia ont finalement disparus en Mai et Juin 2008 pour la frange 50 – 100 cm. En revanche, la frange supérieure a présenté un taux de recouvrement de 65 et 60% pour la même période et des herbiers naturels sont observés plus au large. En Juillet 2008, l'ensemble des plants et mottes suivi a disparu. L'estimation du recouvrement de la dernière opération de suivi d'octobre 2008 révèle la présence d'herbiers sur les quadrats dont le recouvrement est compris entre 0 et 5 %.

4.2.2 SEDIMENT

Les quadrats profonds (50-100 cm) ont connu une variation des proportions des particules fines et grossières de leur sédiment. En avril 2008 les quadrats I8+I11 présentent une augmentation de 15% de leurs teneurs en argiles et limons et une diminution de 11% de sables fins et grossiers.

Contrairement aux quadrats de la frange bathymétrique 50-100m, les échantillons I1+I4 ne présentent pas de variation de leur composition sédimentaire. Les variations de composition sédimentaire semblent donc liées à la profondeur du site (Figures 11 et 12).

Il est à noter que les sites replantés avec la technique « motte » subissent une diminution de la part occupée par les sables (- 11%) et ceux réimplantés selon la technique « plant » une augmentation (+5,52%).

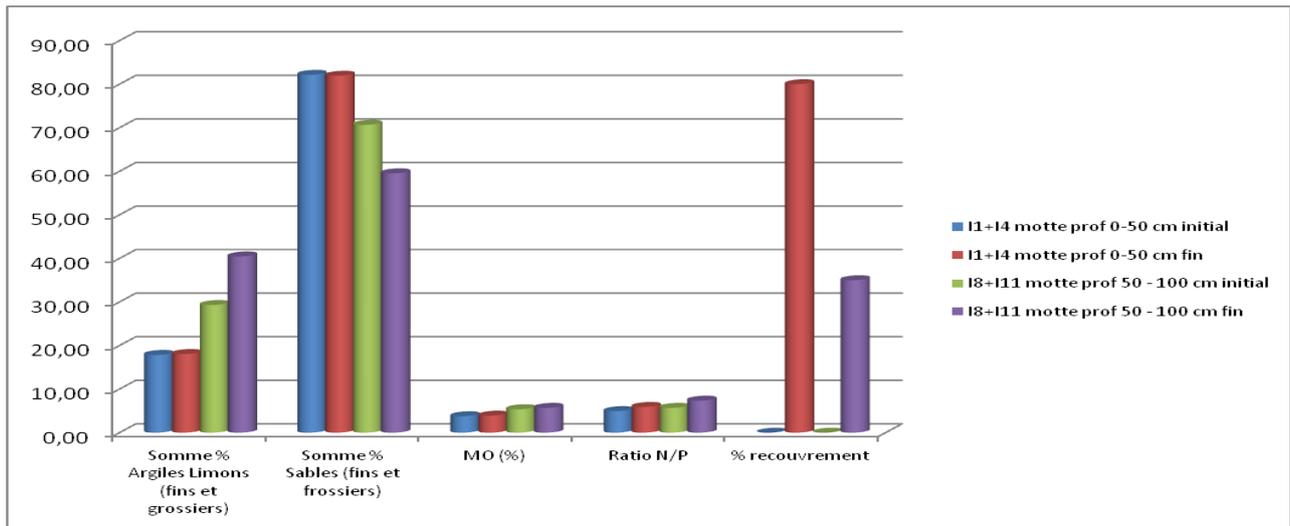


FIGURE 11 : COMPOSITION SEDIMENTAIRE ET POURCENTAGE DE RECOUVREMENT DES HERBIERS REIMPLANTES EN MOTTES INGRIL

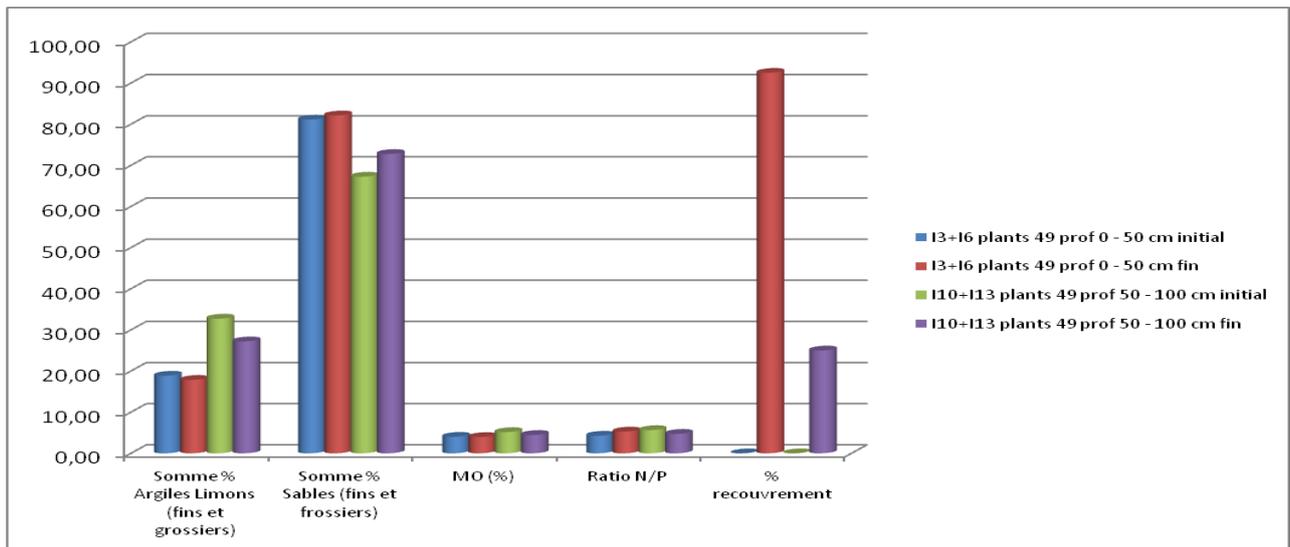


FIGURE 12 : COMPOSITION SEDIMENTAIRE ET POURCENTAGE DE RECOUVREMENT DES HERBIERS REIMPLANTES EN 49 PLANTS INGRIL

L'analyse de la teneur en azote des échantillons sédimentaires des quadrats « mottes » et « plants » indique de légères variations (opposées) des concentrations en particulier pour les quadrats profonds (50-100m) (Figure 13).

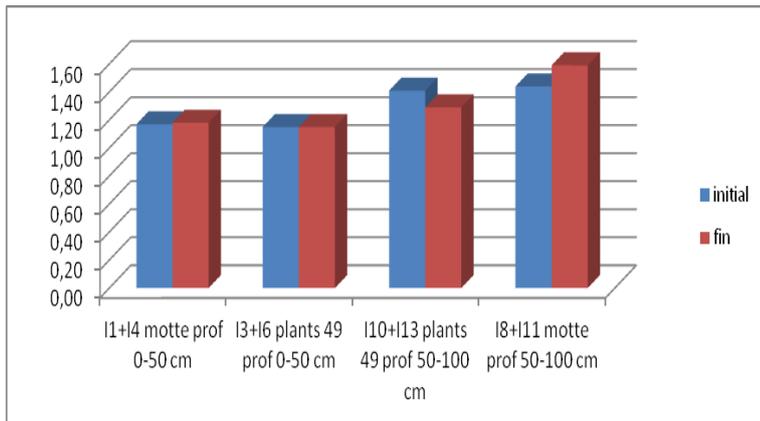


FIGURE 13 : AZOTE TOTAL % DANS LES DIFFERENTS QUADRATS SUR L'ETANG D'INGRIL

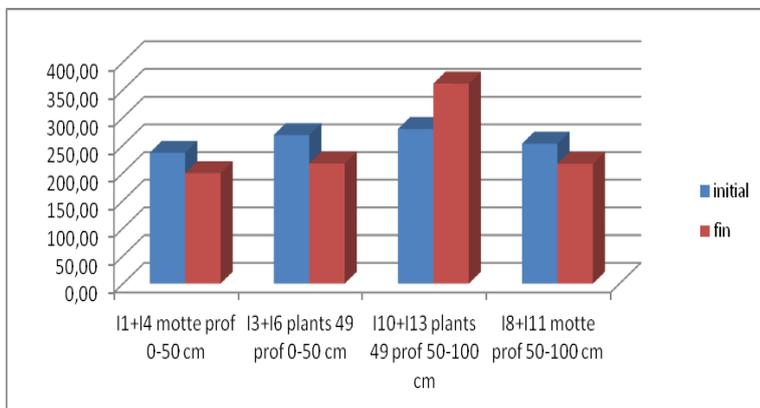


FIGURE 14 : PHOSPHORE TOTAL MG/KG DANS LES DIFFERENTS QUADRATS SUR L'ETANG D'INGRIL

Cependant au regard des amplitudes de variations de concentrations en azote connues sur les lagunes du Languedoc-Roussillon (RSL, 2001 à 2010), ces écarts peuvent être considérés comme négligeables. Les concentrations en phosphore des quadrats suivis affichent globalement une tendance à la diminution exceptée pour les quadrats « plant » 50 – 100 cm qui présentent une augmentation de 82 mg/kg (Figure 14).

Globalement, le site n'a pas connu de modification des proportions en éléments nutritifs de son substrat (Figure 15).

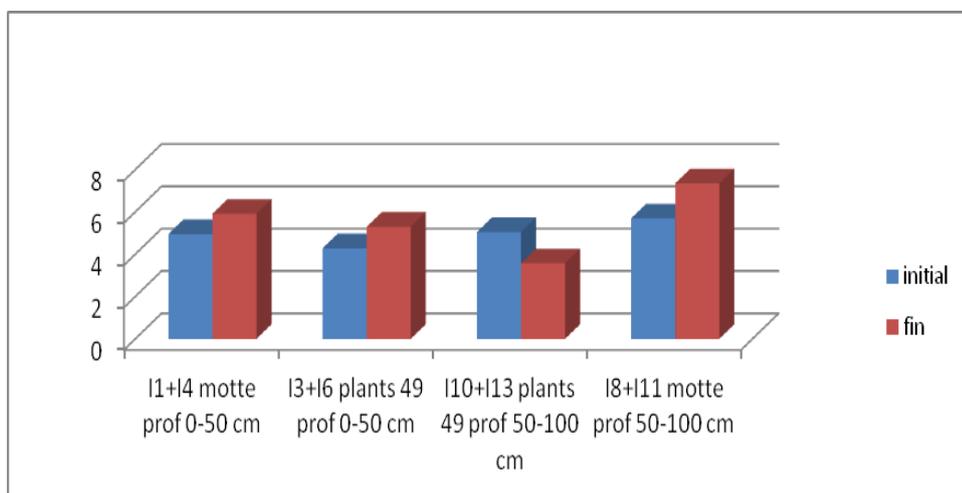


FIGURE 15 : RATIO N/P DANS LES DIFFERENTS QUADRATS SUR L'ETANG D'INGRIL

4.2.3 CONCLUSIONS

La réimplantation d'herbiers de *Ruppia* dans l'étang de l'Ingril Sud n'a pas abouti à la recolonisation du site. Les conditions sédimentaires ne semblent pas avoir été un frein à la croissance des individus réintroduits. En revanche, le développement et l'accumulation massif de macroalgues (*Gracilaires/ Cladophores/ Chaetomorpha/ Ulves*) et d'épiphytes ainsi que l'exposition du site aux remaniements sédimentaires entraînant une turbidité importante expliquent sans doute ces résultats. La comparaison des compositions sédimentaires des quadrats avant et après implantation d'herbiers ne permet pas de mettre en avant un effet « pompe à nutriments » des macrophytes dans le substrat. Leur implantation n'a pas entraînée de modification de la taille des particules retenues, et ceci même lorsque que le site présente un recouvrement final important (ex Ingril frange bathymétrique 0-50cm 90% de recouvrement).

4.3 SITE DE THAU

4.3.1 TAUX DE PRESENCE ET DE RECOUVREMENT

Sur Thau, les quadrats réimplantés avec la technique « motte » présentent également de meilleurs taux de présence pour les deux franges bathymétriques testées. Entre avril et juillet 2007 les quadrats Mottes affichent un taux de présence de 100% contre un taux inférieur à 50% pour les quadrats « plant » des franges 0 – 50 cm et inférieur à 30% pour ceux compris entre 50 et 100 cm de profondeur (Figure 16 et 17).

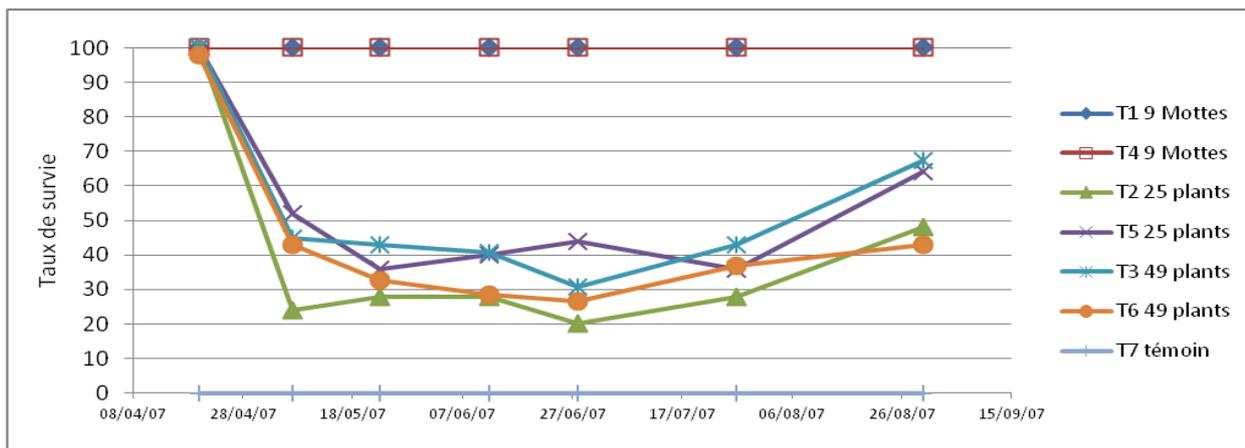


FIGURE 16 : TAUX DE PRESENCE DES HERBIERS IMPLANTES POUR LES TECHNIQUES « MOTTE » ET « PLANT » POUR LA FRANGE BATHYMETRIQUE 0 - 50 CM THAU

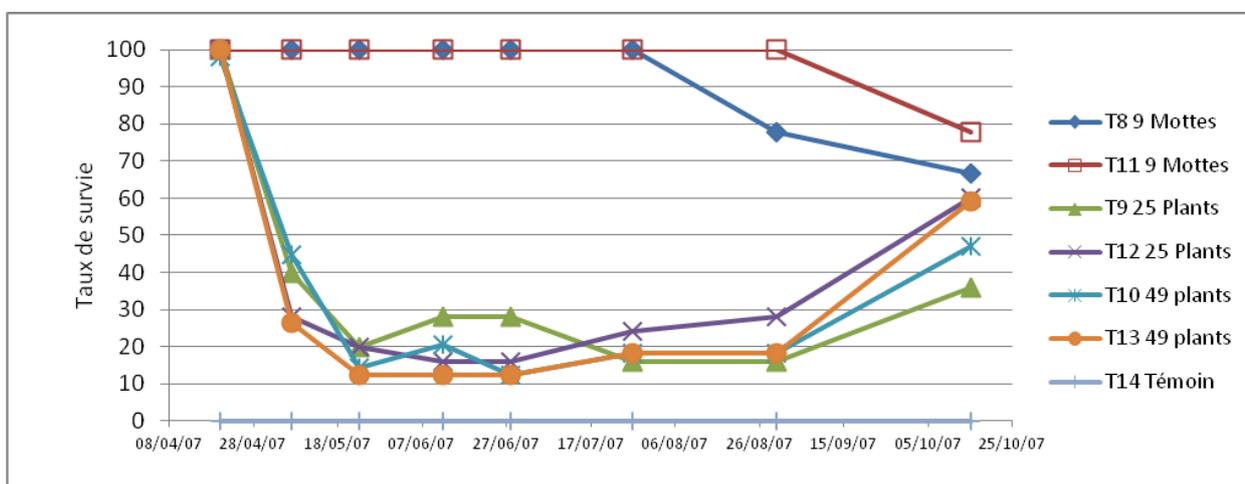


FIGURE 17 : TAUX DE PRESENCE DES HERBIERS IMPLANTES POUR LES TECHNIQUES « MOTTE » ET « PLANT » POUR LA FRANGE BATHYMETRIQUE 50 - 100 CM THAU

Autour du site, de nombreux herbiers naturels ont été signalés. Les taux moyen de recouvrement des quadrats « motte » sont proches de 70% en septembre 2007 avant d'atteindre des valeurs comprises entre 0 et 12,5% sur la période de décembre 2007 et juin 2008 (Figure 18).

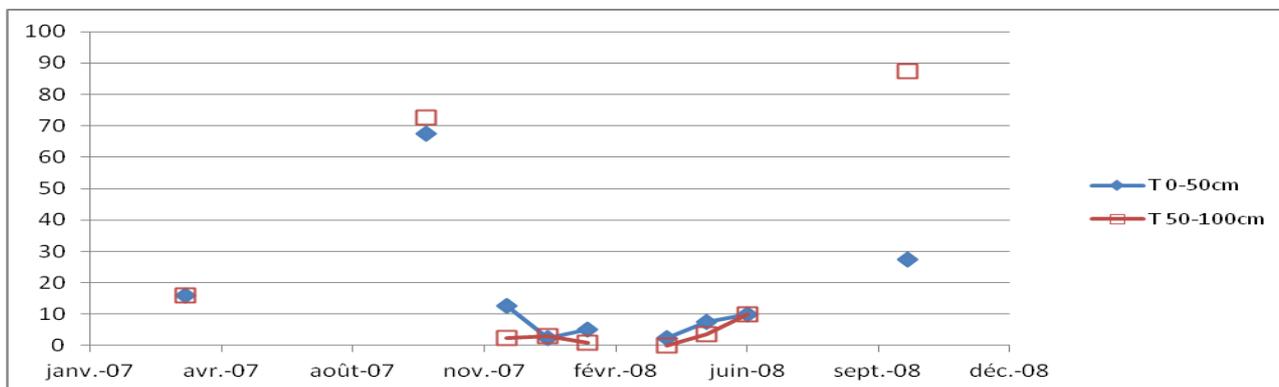


FIGURE 18 : EVOLUTION DES TAUX MOYENS DE RECOUVREMENT DES QUADRATS PAR LES MOTTES THAU

LE SITE A SUBI DIFFERENTES TEMPETES CONSECUTIVES (NOVEMBRE 2007) RESPONSABLES DE L'ENSEVELISSEMENT DES PLANTS, DU CREUSEMENT DE SILLONS DANS LE SUBSTRAT METTANT LES RHIZOMES A NU ET D'UNE TURBIDITE IMPORTANTE INDUITES PAR D'IMPORTANTES REMOBILISATIONS SEDIMENTAIRES. MALGRE LES DEGATS IMPORTANTS SUBIS PAR L'HERBIER, UNE RECOLONISATION GENERALE DU SITE EST CONSTATEE POUR ATTEINDRE UN RECOUVREMENT COMPLET DES QUADRATS A L'AUTOMNE 2008 EN PARTICULIER POUR LA FRANGE BATHYMETRIQUE COMPRISE EN 50 ET 100 CM. CETTE PROGRESSION DE L'HERBIER NE PEUT PAS ETRE ASSOCIEE AUX ACTIONS DE REIMPLANTATION PUISQUE L'ON OBSERVE EGALEMENT UN RECOUVREMENT DE LA ZONE TEMOIN. Ce suivi a permis de montrer des capacités de recolonisation de *Zostera noltii* en conditions favorables ; son taux d'occupation du quadrat témoin a été évalué à 75% en octobre 2008 contre 5% en Juin 2008 (Tableau 6). Pour cette même période, le climat a été particulièrement favorable (fort ensoleillement, épisodes pluvieux épars, peu de vent).

TABLEAU 6 : ESTIMATION DU RECOUVREMENT DES QUADRATS "PLANTS" ET "TEMOIN" PAR LES HERBIERS (%) POUR LES FRANGES BATHYMETRIQUES 0 - 50 CM ET 50 - 100 CM THAU

Plants										
THAU										
0-50 CM										
quadrat	Types	aout-sept	oct	dec	janv	fev	mars-avril	mai	juin	oct-08
T2	25 Plants - Zostera		20	0	0	0	0	1	3	10
T5	25 Plants - Zostera		30	0	0	0	4.3.4	0	2	10 7
Moyenne recouvrement			25	0	0	0	0	1,5	6,5	30
T3	49 Plants - Zostera		90	5	0	0	0	0	3	5
T6	49 Plants - Zostera		40	5	0,1	0	0	0	1	10
Moyenne recouvrement			65	5	0,05	0	0	0	2	7,5
T7	témoin		0	0	0	0	0	5	5	50
50-100CM										
quadrat	Types	aout-sept	oct	dec	janv	fev	mars-avril	mai	juin	oct-08
T9	25 Plants - Zostera		15	0	0	0	0	1	10	100
T12	25 Plants - Zostera		25	10	0	0	0	5	25	100
Moyenne recouvrement			20	5	0	0	0	3	17,5	100
T10	49 Plants - Zostera		45	5	0	0	0	1	5	75
T13	49 Plants - Zostera		25	50	0	0	0	10	25	100
Moyenne recouvrement			35	27,5	0	0	0	5,5	15	87,5
T14	témoin		0	0	0	0	0	5	5	75

4.3.8 SEDIMENT

Les échantillons prélevés sur les quadrats « mottes » des franges bathymétriques 0 – 50 cm et 50 – 100 cm en avril 2007 et avril 2008 ne montrent pas d'évolution majeure de la composition sédimentaire (Figure 19 et 20).

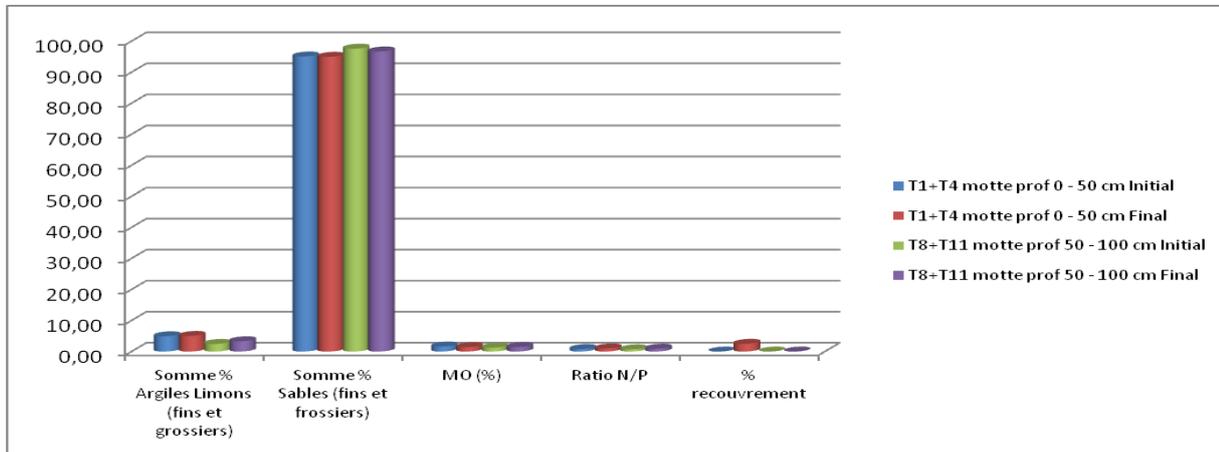


FIGURE 19 : COMPOSITION SEIMENTAIRE ET POURCENTAGEDE RECOUVREMENT POUR LA TECHNIQUE MOTTE THAU

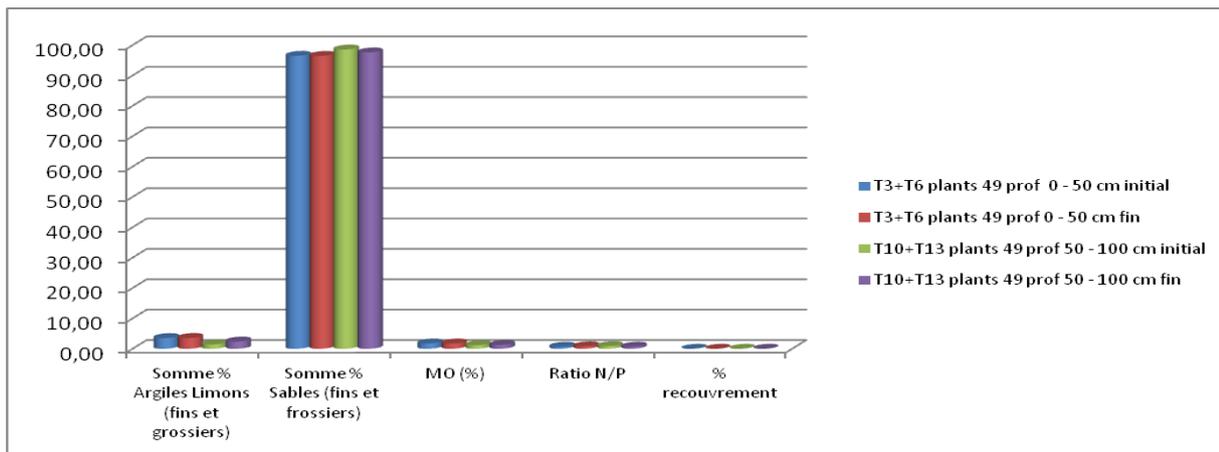


FIGURE 20 : COMPOSITION SEDIMENTAIRE ET POURCENTAGEDE RECOUVREMENT POUR LA TECHNIQUE 49 PLANTS THAU

Si les quadrats T3+T6 et T8+T11 semblent présenter une diminution des teneurs sédimentaires en éléments nutritifs, le quadrats T1+T4 et T10+T13 ne suivent pas cette tendance (Figure 21, 22 et 23). Enfin, du fait de la forte remobilisation du sédiment, les variations des teneurs phosphore et azote totaux du sédiment sur ce site ne peuvent pas être interprétées.

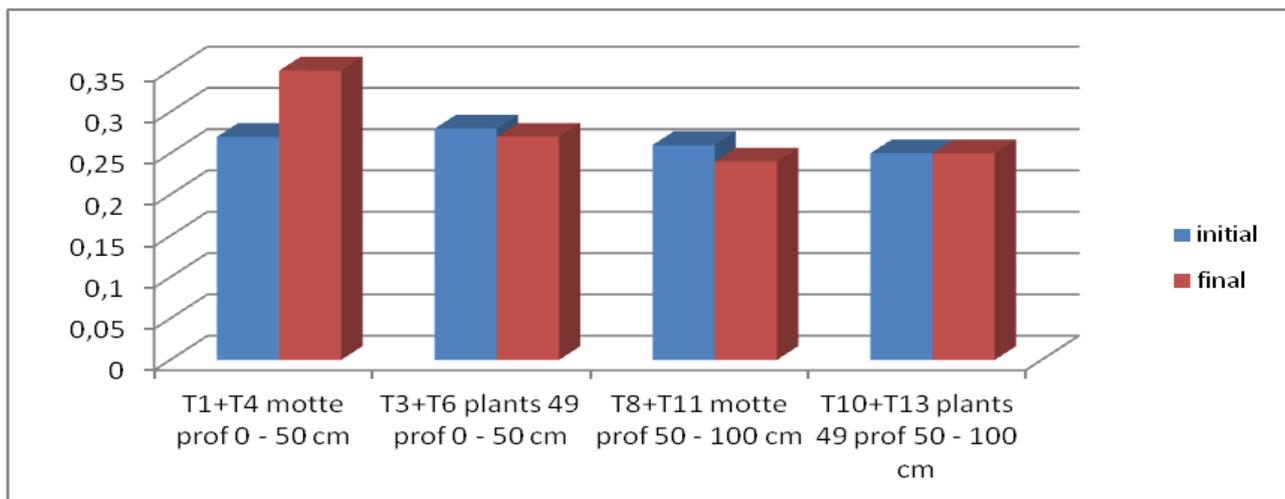


FIGURE 20 : AZOTE TOTAL % DANS LES DIFFERENTS QUADRATS SUR LA LAGUNE DE THAU

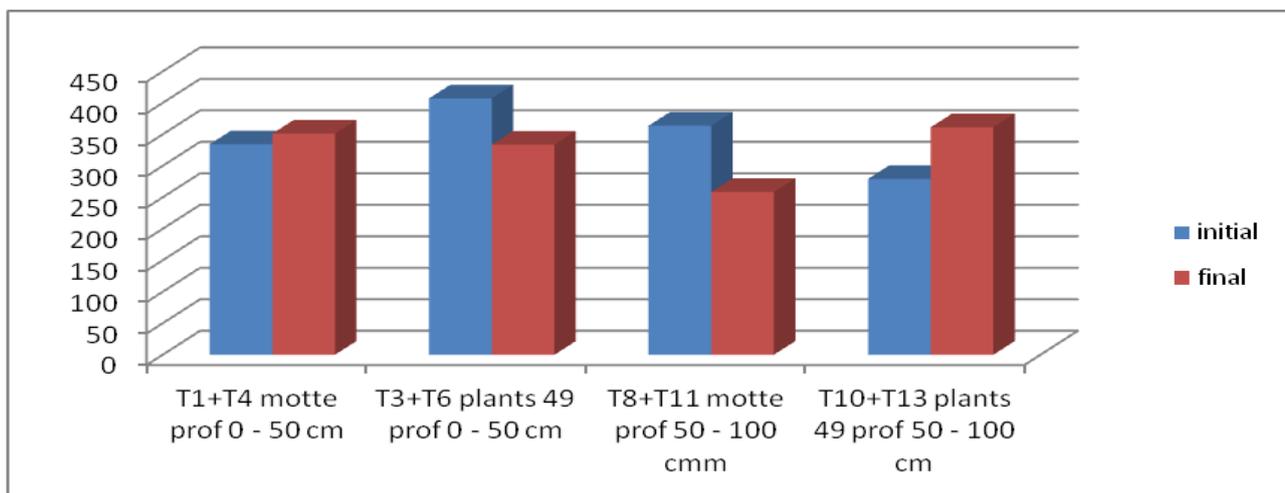


FIGURE 21 : PHOSPHORE TOTAL MG/KG DANS LES DIFFERENTS QUADRATS SUR LA LAGUNE DE THAU

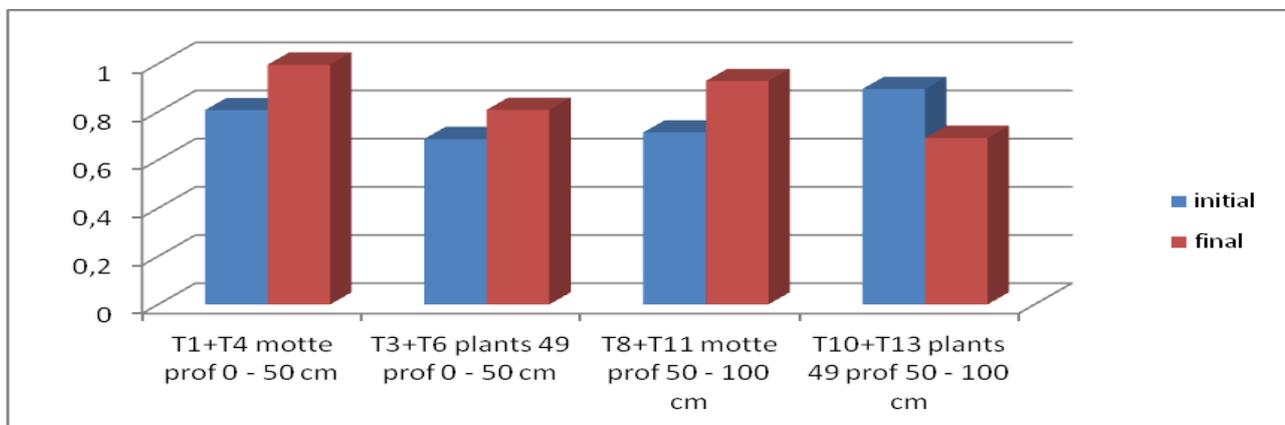


FIGURE 22 : RATION N/P DANS LES DIFFERENTS QUADRATS SUR LA LAGUNE DE THAU

4.3.9 CONCLUSIONS

Les conditions sédimentaires du site testé sur la lagune de Thau ne sont pas défavorables à l'implantation d'herbiers. Les perturbations environnementales dues aux épisodes de tempêtes de l'hiver 2007-2008 ayant fortement remodelé le substrat et la distribution des pieds réimplantés, il n'est pas possible de conclure sur l'origine (réimplantation ou naturelle) des herbiers de zostère observés après avril 2008 sur le site de réimplantation.

Cependant, le suivi aura permis de constater la capacité des herbiers de zostères à recoloniser le substrat avec 100 % de recouvrement moyen des quadrats T9 et T12 en octobre 2008.

5 DISCUSSION

La technique de réimplantation « motte » a montré dans les trois cas d'étude de meilleurs résultats en comparaison avec la technique « plant ». En effet, contrairement aux quadrats réimplantés selon la technique « plant » aux densités 25 et 49 plants/mètre², les taux de présence des individus ne diminuent pas au cours des 5 premiers mois de suivi. Par ailleurs, cette technique de réimplantation « motte » est plus simple et plus rapide à mettre en œuvre puisqu'elle ne nécessite pas le tri des plants dans les carottes prélevées. De plus, à la suite de tempêtes, il n'a pas été constaté d'arrachage des mottes implantées contrairement aux zones où la technique « plant » a été mise en œuvre.

Les étangs sélectionnés pour cette étude, bien qu'étant tous considérés dans une dynamique de restauration vis-à-vis de l'eutrophisation ne présentent pas les mêmes conditions d'accueil pour les transplants. En effet, le site de la lagune de Thau est caractérisé par des teneurs sédimentaires plus pauvres en azote et phosphore associés à une plus importante fraction sableuse du substrat comparé à l'étang d'Ingril Sud, plus riche en éléments fins. Néanmoins, les conditions sédimentaires des sites sélectionnés ne semblent pas représenter de contre indication à l'implantation d'herbiers de phanérogames au regard des surfaces de taux de présence et recouvrement ponctuels atteints dans les différents quadrats.

	Bages	Ingril	Thau
Taux de présence moyen maximal	100	100	100
Taux de recouvrement moyen maximal	77,5	85	100

Les espèces implantées diffèrent dans les deux lagunes pour lesquelles la composition et les teneurs en azote et phosphore des sédiments varient. De ce fait il n'est pas possible de conclure sur la tolérance aux variations de conditions sédimentaires d'implantation des espèces retenues.

Après analyse des résultats, les principaux freins à la réussite du programme de réimplantation d'herbiers semblent doubles :

- d'une part physique, du fait des remobilisations sédimentaires associées à l'exposition des sites à la houle, en particulier lors de tempêtes dominées par des vents de Sud Est. Ces événements violents ont pour conséquence une remise en suspension du sédiment et une augmentation de la turbidité du site. Il serait sans doute intéressant de tester des zones moins exposées
- d'autre part biologique, du fait de l'accumulation de macroalgues sur le site et d'épiphytes sur les herbiers, en particulier sur les sites de Bages et d'Ingril où les concentrations en éléments nutritifs des sédiments étaient supérieures à celles de la lagune de Thau.

	Ratio N/P minimal	Ratio N/P maximal	Teneurs maximales en Azote
Thau	0,69	0,99	0,35‰
Ingril Sud	3,57	7,35	1,59‰

Cette expérimentation avait pour objectif premier de tester la faisabilité d'une réimplantation, et donc de tester dans un premier temps différentes techniques. Cet objectif est atteint. Il est vraisemblable que les surfaces réimplantées étaient trop petites pour obtenir des effets écologiques significatifs, que ce soit sur la recolonisation du milieu ou l'état des sédiments sous-jacents. La technique la plus pertinente sur le plan coût/efficacité étant identifiée, la phase suivante devrait être des essais à des échelles pilote (plus grande surface) afin de déterminer la surface minimale à réimplanter pour à la fois favoriser la reconstitution d'un herbier et obtenir des améliorations écologiques.

Ces premiers essais posent également la question de la pertinence des seuils des critères de choix de site. En effet, il serait intéressant de tester des zones moins soumises à l'accumulation de macrophytes et où l'action de la houle pourrait être plus régulière mais moins intense. De ce fait, se pose également la question du choix de l'espèce retenue avec l'utilisation de *Zostera marina* qui malgré une croissance plus lente se développe préférentiellement en deçà de la frange bathymétrique occupée par *Zostera noltii*.

6 CONCLUSION

Au regard des suivis réalisés et dans les conditions de réimplantation testées, la faisabilité de réimplantation d'herbiers de phanérogames à grande échelle n'a pas été démontrée.

La réimplantation naturelle observée sur le site de Thau laisse penser qu'un milieu où sont déjà présents des herbiers est capable d'assurer la reconquête des espaces disponibles lorsque les conditions environnementales sont favorables. Elle est assurée par des processus de multiplication végétative des herbiers, mais également par germination de graines contenues dans les sédiments ou importées. Dans l'état actuel des connaissances, il ne semble pas judicieux de préconiser la réimplantation d'herbiers à grande échelle dans l'optique d'accélérer la restauration du compartiment sédimentaire vis-à-vis de l'eutrophisation. En effet, le risque important d'échec imputable aux recouvrements algaux et aux remaniements de substrats lors de fortes houles pose la question du rapport coût/risque/bénéfice de la mesure. Par ailleurs, les contraintes réglementaires de prélèvement et de transport des espèces ciblées constituent également un frein important à l'application de cette mesure.

Aussi, les efforts à poursuivre semblent plutôt la mise en œuvre d'actions visant à atteindre un équilibre satisfaisant des apports en éléments nutritifs. Depuis 2009, dans le cadre du Réseau de Suivi Lagunaire, l'Ifremer et le laboratoire ECOSYM de l'Université de Montpellier 2 développent un outil d'aide à la gestion des milieux eutrophisés basé sur le modèle LOICZ (Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone). Ce projet, réalisé sur 3 ans, permettra d'une part de tester l'impact de scénarii d'aménagement sur la qualité des paramètres suivis par le RSL et d'autre part de définir des charges maximales admissibles en azote et phosphore qu'une lagune peut supporter sans que son fonctionnement ne soit perturbé. Dans un premier temps le modèle sera appliqué sur les lagunes de Bages-Sigean et de Thau. La première présentant un intérêt particulier du fait de sa dynamique actuelle de restauration vis-à-vis de l'eutrophisation et le second du fait de l'important jeu de données de suivi existant.

A terme, et sous réserve des données disponibles, l'outil doit permettre aux gestionnaires de prioriser les actions à mettre en place au regard des objectifs de qualité des milieux vis-à-vis de l'eutrophisation. Le transfert de l'outil aux gestionnaires se fera à partir de l'automne 2012. Le modèle LOICZ est un outil complémentaire au défi eutrophisation.

Une étude de l'impact des herbiers de zostères sur les processus et flux benthiques en milieu côtier est en cours. Porté par l'université de Bordeaux, elle a pour objectif principal de caractériser les relations entre flux et processus benthiques dans les sédiments colonisés par les herbiers de Zostères naines (*Z.noltii*) en regard des connaissances et des techniques les plus avancées dans le domaine du cycle des éléments biogènes, de la microbiologie en lien avec ces cycles, et de l'hydrodynamique sédimentaire. Ce travail se focalisera essentiellement sur le bassin d'Arcachon qui abrite le plus grand herbier d'Europe, mais également l'étang de Berre où des tentatives de réimplantation de Zostère sont en cours.

En Méditerranée, le projet RESTOLAG (2012-2013) sur « l'évaluation du rôle des sédiments et des herbiers dans la restauration des écosystèmes lagunaire » a débuté en janvier 2012 avec l'arrivée d'un post-doctorat (co-financé par l'AERMC et l'Ifremer).

L'objectif est d'étudier les processus impliqués dans l'évolution des charges internes en azote et phosphore et la potentialité des herbiers à favoriser la réduction de ces charges à des niveaux acceptables.

Le projet est focalisé sur l'estimation des stocks de N et P dans les sédiments et la mesure des flux d'éléments nutritifs à l'interface eau-sédiment afin :

- d'évaluer, pour des sédiments dans différents états vis-à-vis de l'eutrophisation, les stocks d'azote et de phosphore en distinguant les différentes formes chimiques selon leur capacité à être séquestrées durablement et/ou remobilisées,
- d'évaluer la cinétique de transfert des stocks sédimentaires d'azote et de phosphore vers la colonne d'eau en fonction de l'état des sédiments vis-à-vis de l'eutrophisation,
- de définir des scénarios « types » de stocks sédimentaires, de flux benthiques d'azote et de phosphore et de couverture par les herbiers, et d'estimer pour chacun d'eux le temps nécessaire pour réduire les charges internes à des niveaux de référence.

Trois lagunes couvrant une gamme contrastée des états vis-à-vis de l'eutrophisation allant d'un bon état à un état mauvais ont été retenues comme sites d'étude : l'étang de l'Ayrolle, l'étang de Bages-Sigean et un étang palavasien (le Méjean).

Les données acquises permettront de préciser la paramétrisation des flux benthiques dans la modélisation des bilans de masse au sein du modèle LOICZ développé par l'Ifremer et l'UM2.

Références bibliographiques

- ADDY C.E., 1947a. Eelgrass planting guide. Maryland Conservationist, USA, 24: 16-17.
- ADDY C.E., 1947b. Germination of eelgrass seed. J. Wildl. Manag., USA, 11: 279.
- BAY D., 1978. Etude in situ de la production primaire d'un herbier de Posidonies (*Posidonia oceanica* (L.) Delile) de la baie de Calvi-Corse. Progr. Rép. Stn. Océanogr. Stareso, Univ. Liège, Belg., 18: 6 p non num. + 1-251.
- BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., 1982. Découverte de l'herbier de Posidonie. Cah. Parc nation. Port-Cros, Fr., 4: 1-79.
- BROCK M. A. Biology of the salinity tolerant genus *Ruppia* L. in saline lakes in South Australia I. Morphological variation within and between species and ecophysiology Aquatic Botany Volume 13, 1982, Pages 219–248.
- CALUMPONG H., FONSECA M., 2001. Seagrass transplantation and other seagrass restoration methods. In: Short F.T., Coles R.G. edits. Global seagrass research methods. Elsevier publ., Amsterdam: 425-443.
- Cépralmar, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée & Corse, Région Languedoc-Roussillon, Conseil Général de l'Aude, Conseil Général de l'Hérault, Conseil Général des Pyrénées-Orientales, 2006. Défi « eutrophisation des lagunes littorales du Languedoc-Roussillon ». Etude réalisée dans le cadre du 8ème programme de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée & Corse. 124 p + annexes.
- CHAPPELLE A., LAZURE P., SOUCHU P., Modélisation numérique des crises anoxiques (malaïgues) dans la lagune de Thau (France) Oceanologica Acta Volume 24, Supplement 1, February 2001, Pages 87–97
- DENNISON W. C. and R. S. ALBERTE (1982), Photosynthétique response of *Zostera marina* L. (eelgrass) to *in situ* manipulation of light intensity. Oecologia 55 : 137, 144.
- Duarte C. M. Seagrass depth limits Aquatic Botany, Volume 40, Issue 4, 1991, Pages 363-377.
- Faccoli F, (1996), The morphological restoration of the Venice Lagoon. Quaderni trimestriali, Consorzio Venezia Nuova, Italie, suppl 3-4, 1-24.
- FONSECA M.S., KENWORTHY W.J., PHILLIPS R.C., 1982a. A cost-evaluation technique for restoration of seagrass and other plant communities. Environm. Cons. 9(3): 237-241.
- FONSECA M.S., KENWORTHY W.J., THAYER G.W., 1982b. A low-cost planting technique for eelgrass (*Zostera marina* L.). National marine Fisheries Service, Southeast Fisheries Center, Beaufort Laboratory publ., USA: 1-15.
- GACIA E., DUARTE C.M., 2001. Sediment retention by a Mediterranean *Posidonia oceanica* meadow: the balance between deposition and resuspension. Est. Coast. Shelf Sci. 52: 505-514.
- Ifremer (2002). Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2001. Rapport RSL-02/2002. 366 p + annexes.
- Ifremer (2003). Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2002. Rapport RSL-03/2003.
- Ifremer (2004). Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2003. Rapport RSL-04/2004.
- Ifremer (2005). Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2004. Rapport RSL-05/2005.
- Ifremer (2006). Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2005. Rapport RSL-06/2006.
- Ifremer (2007). Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2006. Rapport RSL-07/2007.

JEUDY DE GRISSAC A., 1984. Essais d'implantations d'espèces végétales marines: les espèces pionnières, les Posidonies. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. International Workshop on Posidonia oceanica beds, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 431-436.

KAWASAKI Y., IITUKA T., GOTO H., TERAWAKI T., WATANABE Y., KIKUTI K., 1988. Study on the technique for Zostera bed creation. Central Res. Inst. electric Power Industry, Japon, Rep. n° U-14: 1-231.

Plus M. (2001). Étude et modélisation des populations de macrophytes dans la lagune de Thau (Hérault, France). PhD Thesis, Paris 6.

MEINESZ A., 1976. Note préliminaire concernant le repiquage de végétaux marins, en particulier de l'algue Caulerpa prolifera. Rapp. P.V. Réunion. Comm. internation. Explor. sci. Médit. 24(4): 169-170.

MEINESZ A., VERLAQUE M., 1979. Note préliminaire concernant quelques expériences de repiquage de Caulerpa prolifera et de Zostera noltii dans la zone de rejet de l'effluent thermique de la centrale électrique de Martigues-Ponteau (golfe de Fos, France). Rapp. P.V. Réunion. Commiss. internat. Explor. sci. Médit. 25-26: 209-212.

MEINESZ A., CAYE G., LOQUES F., MACAUX S., 1990. Analyse bibliographique sur la culture des Phanérogames marines. Posidonia Newsletter, Fr., (1): 1-67.

SOUCHU P., ABADIE E., Vercelli C., BUESTEL D., SAUVAGNARGUES J-C. La crise anoxique du bassin de Thau de l'été 1997. Bilan du phénomène et perspectives, 1998.

THORHAUG A., 1979. The flowering and fruiting of restored Thalassia beds: a preliminary note. Aquat. Bot. 6: 189-192.

Van den hartog C., (2000), Procedures for the restoration of lost seagrass beds. Biol. Mar. Médit., 7 (2), 353-357

Verhoeven J.T.A. The ecology of Ruppia-dominated communities in western Europe. I. Distribution of Ruppia representatives in relation to their autecology Aquatic Botany Volume 6, 1979, Pages 197-267