

## EFFETS DE LA TRANSPLANTATION SUR LES POUSSSES DE *POSIDONIA OCEANICA*

*Effect of transplantation on Posidonia oceanica shoots*

D. VANGELUWE, G. LEPOINT, J.-M. BOUQUEGNEAU, S. GOBERT

MARE Center, Oceanology, Department of Life Science, B6C Sart-Tilman, University of Liège,  
B 4000 Liège, Belgium  
dvangeluwe@ulg.ac.be

PHANÉROGAMES MARINES  
TRANSPLANTATION  
NUTRIMENTS  
MÉDITERRANÉE

**RÉSUMÉ.** – Des pousses de *Posidonia oceanica* prélevées dans l'herbier de la baie de la Revellata (Corse, France) ont été transplantées sur des grilles métalliques à 10 m de profondeur. Les transplants ont été régulièrement suivis en mesurant la croissance, la biomasse et les contenus en C, N, et P au niveau des feuilles et des parties souterraines. Après six mois d'expérience, le taux de survie variait de 14 à 84 % sur les différents sites. Les biomasses foliaires mesurées sur les sites de repiquage étaient inférieures à celles mesurées sur les sites de contrôle tandis que la biomasse racinaire augmentait régulièrement sur les transplants. La croissance des transplants après six mois d'expérimentation ( $8,3 \pm 2,3 \text{ mm.j}^{-1}.\text{pousse}^{-1}$ ) était similaire à celle des pousses de contrôle ( $8,2 \pm 2,8 \text{ mm.j}^{-1}.\text{pousse}^{-1}$ ). Par contre, les contenus en C, N et P dans les pousses transplantées étaient significativement plus faibles que dans les pousses de contrôle ce qui suggère que les transplants ne sont pas capables de satisfaire à leurs besoins en nutriments. Les modifications des contenus en C, N et P dans les parties souterraines des transplants semblent indiquer une mobilisation des nutriments au niveau de ces organes afin de restaurer le système racinaire et rétablir une absorption normale des ressources nutritives.

SEAGRASS  
TRANSPLANTATION  
NUTRIENTS  
NW MEDITERRANEAN

**ABSTRACT.** – *Posidonia oceanica* shoots sampled from the healthy meadow in the bay of Revelatta (Corsica, France) were transplanted on metallic grids at 10 m depth. Transplanted shoots have been regularly monitored by the measurement of growth, biomass and C, N and P contents in the leaves and the belowground parts. After six months of experiment, the survival rates varied from 14 to 84 % on the different transplantation sites. Leaf biomass on the transplanted cuttings was lower than biomass in the control shoots but root biomass raised from December 2000 to May 2001 on the transplanted shoots. Transplant growth ( $8,3 \pm 2,3 \text{ mm.d}^{-1}.\text{shoot}^{-1}$ ) after six months was similar to control growth ( $8,2 \pm 2,8 \text{ mm.d}^{-1}.\text{shoot}^{-1}$ ). The C, N and P contents in transplants were significantly lower than in control shoots suggesting that transplanted cuttings are unable to meet their nutrient requirements. The modifications of the C, N, P contents in the belowground parts of the transplanted shoots indicate a mobilization of these nutrients in those compartments to produce new roots and restore a normal nutrients absorption.

### INTRODUCTION

Depuis les années 60, de nombreuses régressions des herbiers à *Posidonia oceanica* ont été mises en évidence autour de la Méditerranée (e.g. Augier & Boudouresque 1970, Pergent *et al.* 1985, Pergent-Martini & Pergent 1990). Etant donné la faible vitesse de croissance des rhizomes plagiotropes responsables de la colonisation (3,75 cm par an en moyenne) et le faible rythme de re-colonisation par bouturage naturel (3 boutures par an et par hectare) de *P. oceanica*, les surfaces endommagées ne pourront être restaurées avant plusieurs siècles (Meinesz & Lefevre 1984). L'importance des her-

biers tant d'un point de vue écologique qu'économique est telle que la mise au point de méthodes de ré-implantation permettant d'accélérer la recolonisation sera nécessaire afin de conserver ou restaurer cet écosystème. L'utilisation de ces techniques sur des surfaces limitées (i.e. dégâts dus aux ancres décrits par Francour & Soltan 2000) permet, dans un premier temps, de limiter l'expansion de la régression et, dans un deuxième temps, de recoloniser les surfaces endommagées à condition que les facteurs de destruction aient été arrêtés ou réduits.

Des expériences de ré-implantation de *P. oceanica* ont montré que la morphologie des pousses (rhizomes à croissance orthotrope ou plagiotrope), la longueur de rhizome prélevée ainsi que la densi-

té de ré-implantation jouent un rôle dans la survie des transplants (Meinesz *et al.* 1992). Pour des transplants orthotropes, les meilleurs résultats ont été obtenus lorsque les pousses étaient transplantées en automne. A cette époque, la température de l'eau descend en-dessous de 20°C et les processus de cicatrisation des plaies au niveau des rhizomes sont plus efficaces (Meinesz *et al.* 1992). Enfin, parmi les différentes dispositions des transplants orthotropes testées par Molenaar & Meinesz (1995), les meilleurs résultats ont été obtenus lorsque les transplants étaient placés proches les uns des autres (moins de 15 cm entre pousses adjacentes). Lorsque les meilleures conditions sont réunies, le taux de mortalité des transplants orthotropes reste conséquent (57 % de mortalité, en moyenne, après 7 mois (Meinesz *et al.* 1991)). Par contre, pour des transplants à croissance plagiotrope portant 3 faisceaux de feuilles, le taux de survie atteint 99 % après 6 mois.

A notre connaissance, la plupart des études sur la transplantation de *P. oceanica* se sont limitées à la mesure du taux de survie et des paramètres biométriques sans aucune autre considération (Balestri *et al.* 1998, Piazzini *et al.* 1999). Seuls Genot *et al.* (1994) ont abordé la ré-implantation d'un point de vue physiologique en mettant en évidence les modifications des concentrations en chlorophylle et en hydrates de carbone dans les feuilles et leurs effets sur la survie des transplants. Il faut également noter les récents travaux de Molenaar *et al.* (2000) concernant l'architecture et la modélisation de la dynamique de recolonisation des pousses de *P. oceanica*.

Le but des expériences réalisées dans ce travail est de tester l'effet de la transplantation sur les pousses de *P. oceanica* par la mesure de la biomasse, de la croissance, du taux de survie des transplants mais également par l'analyse des concentrations en C, N et P dans les différents tissus des pousses transplantées (feuilles, rhizomes et racines). Ces mesures nous permettront de mettre en évidence les éventuelles modifications de la morphologie et de la distribution des nutriments et du carbone dans les différents organes des transplants. Ces expériences devraient également nous permettre de comprendre les causes du faible succès de la transplantation des pousses orthotropes de *P. oceanica* observé dans la littérature.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les expériences de transplantation ont été réalisées dans l'herbier de la baie de la Revellata, au nord-ouest de la Corse, face à la STATION de REcherches Sous-marines et Océanographiques (STARESO) (Fig. 1). L'herbier à *P. oceanica* de la baie de la Revellata qui colonise les fonds entre 0 et -40 m de profondeur en formations den-

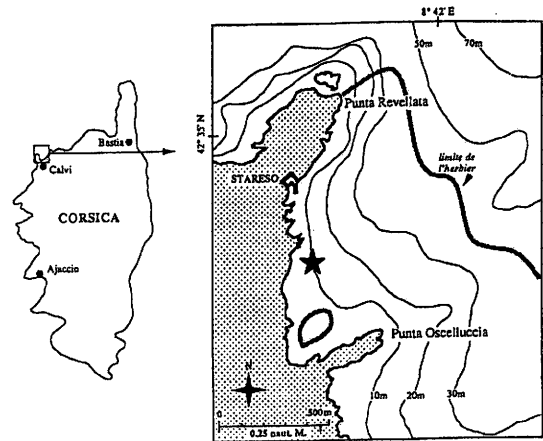


Fig. 1. – Localisation du site d'étude (★)  
Study area (★)

ses (Bay 1984) est étudié depuis 1975 et a subi peu de modifications depuis cette époque (Gobert 2002).

**Sites :** En décembre 2000 ( $T_0$  jour), 5 sites d'une superficie d'un  $m^2$  et d'une densité d'environ 400 pousses. $m^{-2}$  ont été marqués à l'aide de cadres permanents. Trois sites ont servi de sites « donneurs », les deux autres sites de contrôles. Les comptages de densité ont été réalisés par quadrats (carrés de 1 m de côté) selon la méthode décrite par Soullard *et al.* (1994).

Deux taches de sable ( $\sim 1 m^2$ ), constituées de sédiment meuble contenant des organes souterrains vivants de *P. oceanica*, ont été choisies au sein de l'herbier pour la ré-implantation (sites SP1 et SP2). Un 3<sup>e</sup> site de ré-implantation (site BP), composé de sable nu uniquement, a été choisi en bordure d'une plus grande tache de sable ( $\sim 20 m^2$ ). Sur les sites donneurs, la moitié des pousses (soit  $3 \times 200$  pousses) ont été prélevées. De chaque site, 44 pousses ont été ré-implantées sur les sites receveurs (voir 2. Transplantation), les pousses restantes ont été ramenées au laboratoire pour analyses. Les transplants sélectionnés sont constitués d'un faisceau de feuilles et d'une portion de rhizome orthotrope de 10 cm de long. Le prélèvement s'effectuant en cassant le rhizome au niveau du sédiment, les rhizomes prélevés sont dépourvus de racines.

**Transplantation :** Directement après le prélèvement *in-situ*, les pousses ont été fixées sur des grilles en fil de fer (type grillage à poule). Sur chaque grille, 44 pousses ont été fixées tous les 10 cm à l'aide de collier de serrage en plastique. Les grilles ont ensuite été placées sur les sites expérimentaux en plongée et fixées sur le sédiment à l'aide de piquets. Les pousses ont été orientées verticalement, l'extrémité du rhizome étant située juste au-dessus de la surface du sédiment.

**Mesures biométriques, taux de survie, croissance, biomasses et contenus en C, N et P :** Au temps  $T_0$ , les mesures des facteurs biométriques et de la biomasse foliaire ont été effectuées sur 10 pousses ramenées au laboratoire. Les pousses ont ensuite été congelées en vue des analyses en C, N et P.

Les taux de survie des transplants ont été mesurés sur les grilles en février ( $T_{68}$  jours), mars ( $T_{103}$  jours) et juin 2001 ( $T_{171}$  jours), en comptant le nombre de pousses encore pré-

sentes sur chaque site. Aux temps  $T_{103 \text{ jours}}$  et  $T_{171 \text{ jours}}$ , la croissance foliaire (exprimée en  $\text{mm.j}^{-1}.\text{pousse}^{-1}$ ) a été estimée sur 5 pousses à l'aide de la méthode de Zieman (Zieman 1974, Bedhomme *et al.* 1983). Ces 5 pousses ont également été utilisées pour la mesure des facteurs biométriques de base (nombre, longueur et largeur des feuilles, longueur de la gaine). Les feuilles adultes et intermédiaires, les rhizomes et les racines ont ensuite été lyophilisés et pesés séparément afin de déterminer les biomasses foliaire et racinaire. Les échantillons ont ensuite été broyés et les contenus en C, N et P des différents types de feuille et des parties souterraines ont été mesurés. Les concentrations relatives en carbone et en azote sont mesurées à l'aide d'un analyseur élémentaire Carbo ERBA et exprimées en % PS. Les concentrations relatives en phosphore ont été mesurées par ICPS après 24h de minéralisation à 90°C dans l'acide nitrique concentré à 65 % et exprimées en  $\mu\text{g/gPS}$ . En multipliant les concentrations relatives en C, N, et P par le poids sec des différents échantillons, on obtient les contenus en C, N et P des pousses exprimés en g C, N, P.pousse<sup>-1</sup>.

**Statistiques :** L'utilisation du test bilatéral t de Student a permis de comparer les valeurs moyennes observées pour les différents sites et paramètres. Ces tests ont été appliqués après vérification de la normalité des distributions grâce au test de Kolmogorov-Smirnov. Les résultats obtenus sont considérés comme significatifs lorsque p est inférieur à 0.05 et hautement significatifs quand p est inférieur à 0.01.

**RÉSULTATS**

*Survie des transplants*

Les 2 grilles installées sur les sites SP1 et BP présentent le même type d'évolution temporelle du taux de survie des transplants (Fig. 2, haut) : une mortalité régulière entre  $T_0 \text{ jour}$  et  $T_{171 \text{ jours}}$  qui se traduit par des taux de survie de 68 et 84 % respectivement. La grille placée sur la petite tache (SP1) montre une diminution du nombre de pousses dès le temps  $T_{72 \text{ jours}}$  ce qui n'est pas observé sur la grille installée sur la grande tache (BP).

L'évolution de la survie sur la grille SP2 est identique à celle de la grille BP jusqu'au temps  $T_{103 \text{ jours}}$ . A partir de cette période, c'est-à-dire fin de l'hiver début du printemps, le taux de survie diminue fortement pour atteindre seulement 14 % de pousses encore en place en mai 2001.

*Croissance des transplants*

La croissance foliaire des transplants durant 15 jours a été estimée après 171 jours de ré-implantation. Les résultats indiquent que la croissance moyenne des transplants sur les grilles SP1 et SP2 ne diffère pas significativement de celle observée sur les pousses contrôles (8.3 et 8.2  $\text{mm.j}^{-1}.\text{pousse}^{-1}$

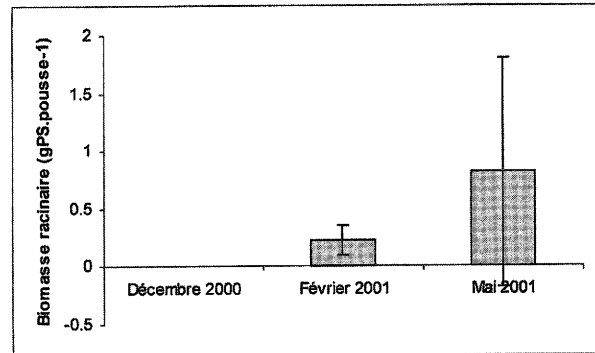
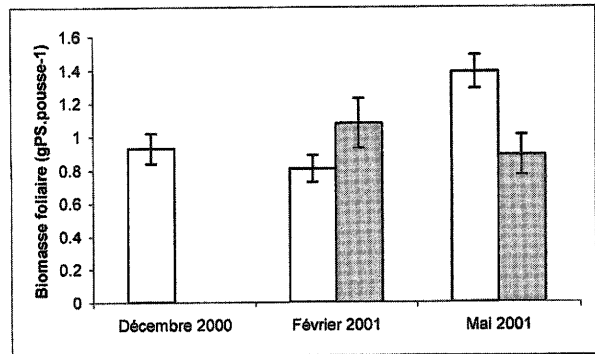
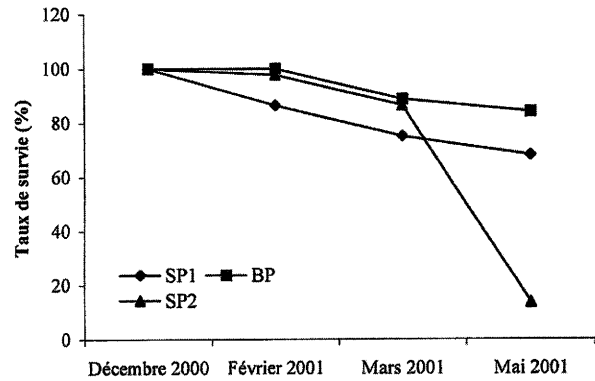


Fig. 2. – En haut, survie des transplants sur les sites de ré-implantation. Au milieu, évolution des biomasses foliaires (en gPS.pousse<sup>-1</sup>) sur les sites de contrôle et les sites de re-implantation (blanc = sites de contrôle ; gris = site de ré-implantation). En bas, évolution de la biomasse racinaire (en gPS.pousse<sup>-1</sup>) sur les sites de ré-implantation.

*Top, cutting survival on the re-implantation sites. Middle, leaf biomass evolution (in gDW.shoot<sup>-1</sup>) on the control and re-implantation sites (white = control sites ; grey = re-implantation sites). Bottom, root biomass evolution (in gDW.shoot<sup>-1</sup>) on the re-implantation sites.*

respectivement). Par contre, les transplants installés en bordure de la grande tache de sable (BP) montrent une croissance significativement plus faible que celle des pousses provenant de tous les autres sites (6.1  $\text{mm.j}^{-1}.\text{pousse}^{-1}$ ).

## Biomasses

### Biomasse foliaire

La figure 2 (milieu) montre l'évolution temporelle des biomasses foliaires sur les sites contrôles et de repiquage. Les biomasses foliaires sur les sites contrôles sont significativement plus importantes en mai ( $T_{171}$  jours) qu'en février ( $T_{68}$  jours). Par contre, sur les sites de ré-implantation, cette variation n'est pas marquée. En février, aucune différence significative entre les biomasses des sites contrôles et de ré-implantation n'est observée. En mai, la biomasse est significativement plus faible sur les sites de ré-implantation que sur les sites de contrôle. De plus, la biomasse maximale atteinte en mai 2001 sur les sites de ré-implantation est inférieure à celle de février.

### Biomasse racinaire

Les pousses installées au temps  $T_0$  (décembre 2000) portaient peu ou pas de racines, étant donné que seule la partie terminale du rhizome dépourvue de racine était conservée. Après 3 mois de ré-implantation, on observe une augmentation de la biomasse moyenne des racines sur les transplants ( $0.22 \text{ gPS.pousse}^{-1}$ ) (Fig. 2, bas). Après 6 mois, les valeurs de biomasse atteignent  $0.82 \text{ gPS.pousse}^{-1}$  sur les sites de repiquage.

### Teneurs en C, N et P des feuilles et parties souterraines de *P. oceanica*

La figure 3 montre qu'en février 2001 ( $T_{68}$  jours), les contenus en N et P des feuilles intermédiaires et adultes des pousses transplantées ne diffèrent pas significativement de ceux des pousses contrôles. Par contre, les feuilles adultes contiennent significativement plus de carbone sur les sites de repiquage que sur les sites témoins ( $p < 0.01$ ;  $n=8$ ) ce qui n'est pas observé dans les feuilles intermédiaires.

En mai 2001 ( $T_{171}$  jours), les contenus en C, N et P des feuilles montrent des différences significatives entre sites de repiquage et sites contrôles. Les contenus en azote ( $p < 0.05$ ;  $n=6$ ) et en carbone ( $p < 0.01$ ;  $n=4$ ) sont significativement plus faibles dans les feuilles intermédiaires des pousses ré-implantées ( $p < 0.05$ ;  $n=6$ ). Par contre, les contenus en phosphore dans ces mêmes feuilles ne diffèrent pas significativement suivant le site considéré. Les contenus en C, N, et P des feuilles adultes sont significativement plus faibles sur les sites de ré-implantation ( $p < 0.01$ ,  $n=14$ ;  $p < 0.01$ ,  $n=15$  et  $p < 0.05$ ,  $n=12$  respectivement) que sur les sites contrôles.

Alors qu'aucune différence significative n'a été observée dans les rhizomes, les contenus en C, N et P des racines sont plus importants dans les pousses transplantées et ce principalement en mai 2001. Toutefois, la grande variabilité des résultats obtenus

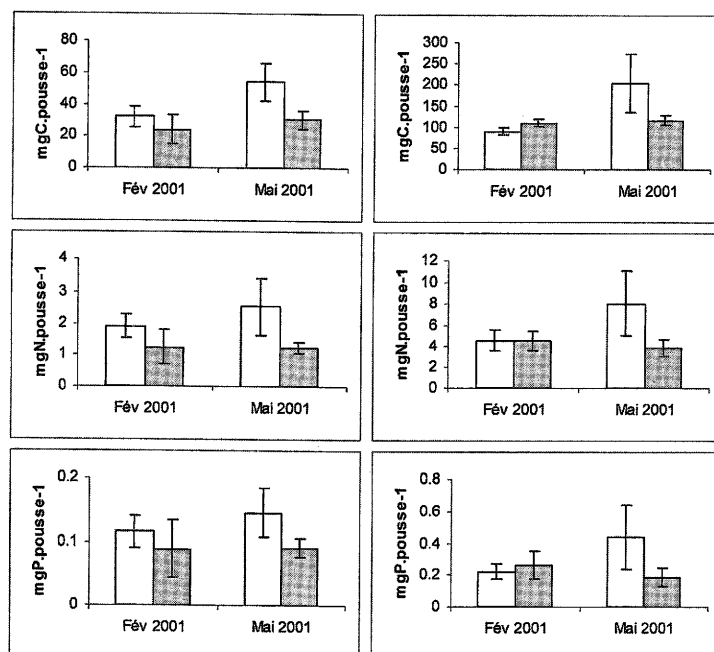


Fig 3. – Contenus en C, N et P (en  $\text{mg.pousse}^{-1}$ ) sur les différents sites en février et mai 2001. Les valeurs ont été calculées dans les feuilles intermédiaires (colonne de gauche) et les feuilles adultes (colonne de droite) (blanc = sites de contrôle ; gris = sites de ré-implantation).

*C, N and P contents ( $\text{mg.shoot}^{-1}$ ) on the different sites in February and May 2001. Values are determined in intermediary (left column) and adult leaves (right column) (white = control sites; grey = re-implantation sites).*

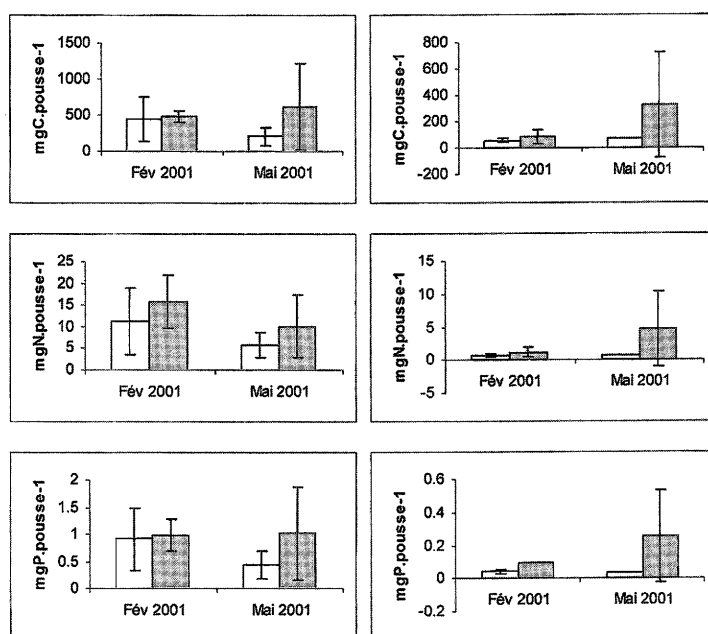


Fig. 4. – Contenus en C, N et P (en mg.pousse<sup>-1</sup>) sur les différents sites de ré-implantation et les sites de contrôle en février et mai 2001. Les valeurs ont été calculées dans les rhizomes (colonne de gauche) et les racines (colonne de droite) (blanc = sites de contrôle ; gris = sites de ré-implantation).

C, N and P contents (mg.shoot<sup>-1</sup>) on the control and re-implantation sites in February and May 2001. Values are determined in rhizoms (left column) and roots (right column) (white = control sites ; grey = re-implantation sites).

nus ne nous permet pas de mettre en évidence des différences statistiquement significatives (Fig. 4).

## DISCUSSION

Le faible taux de survie (14 %) obtenu après 6 mois d'expérimentation sur le site de ré-implantation SP2 est dû au type de support choisi pour fixer les pousses au sédiment. En effet, les grillages en fil de fer ont été complètement corrodés par l'eau de mer provoquant la destruction quasi totale de la grille et seules quelques pousses ont eu le temps de s'enraciner suffisamment pour ne pas être emportées lors des tempêtes. Sur le site SP1, la grille était en meilleur état et le taux de survie des transplants s'élève à 68 %. La grille située en bordure de la grande tache de sable (BP) était complètement enfouie sous le sable, la protégeant ainsi des dégâts dus à l'eau de mer et assurant ainsi un bon ancrage des pousses et une survie plus élevée (84 %). Ce type de support (grille métallique de type grillage à poule) ne convient donc pas pour des expériences de transplantation à moyen ou long terme étant donnée leur faible persistance dans l'eau de mer.

Le taux de survie mesuré sur le site SP2 est inférieur à tous ceux relevés dans la littérature. Au niveau des autres sites (SP1 et BP), les taux obtenus

sont supérieurs à ceux obtenus par Molenaar *et al.* (1993) et Molenaar & Meinesz (1995) sur la côte occidentale de la Corse et sur la côte méridionale française après six mois de ré-implantation. Dans nos expériences, comme dans celles réalisées par Molenaar & Meinesz (1995), différentes conditions de substrat ont été testées. Le substrat du site BP uniquement constitué de sable nu et le substrat des sites SP1 et SP2 constitué de sédiment meuble contenant des organes souterrains vivants de *P. oceanica* sont caractérisés par une granulométrie et des concentrations en matière organique différentes (Gobert *et al.* 2002b). D'après les résultats obtenus par Molenaar & Meinesz (1995), la nature du substrat a une influence directe sur la survie des transplants. En effet, après 6 mois de ré-implantation, le taux de survie des transplants sur un substrat constitué de sable couvert de *Cymodocea nodosa* atteint 59 % tandis qu'après 5 mois, ce taux de survie tombe à 36 % sur de la matre morte et 8 % sur du sable nu. Au contraire de Molenaar & Meinesz (1995), nos expériences montrent un taux de survie plus élevé (84 %) sur le sable nu que sur le sable contenant des rhizomes vivants (68 %).

Les valeurs de croissance mesurées dans notre travail sur les différents sites sont en accord avec les données de la littérature obtenues pour le nord-ouest de la Méditerranée (Bay 1984, Caye & Rossignol 1983, Romero 1989). L'absence de différence significative entre la croissance des pousses ré-implantées sur les sites SP1 et SP2 et les sites témoins

en février indique qu'après 3 mois de ré-implantation, les transplants peuvent faire face à la demande en éléments (C, N et P) nécessaires à leur croissance bien qu'ils soient isolés du reste de l'herbier. La croissance réduite observée sur la grande tache de sable (BP) est probablement due au fort hydrodynamisme comme en témoignent les importantes « ripple marks » observées à cet endroit après les périodes de tempête.

Les variations temporelles de la biomasse obtenues dans ce travail sur les sites de contrôle entre décembre 2000 et mai 2001 sont en accord avec celles relevées dans la littérature (Augier & Cristiani 1984, Bay 1984, Velimirov 1987, Gobert *et al.* 1995). La diminution de la biomasse foliaire maximale observée sur les sites de repiquage entre février et mai n'est pas observée dans l'herbier naturel. En conditions naturelles, la biomasse commence à augmenter au mois d'avril lorsque la durée du jour augmente et que les conditions d'ensoleillement et de température deviennent meilleures (Alcoverro *et al.* 1995). La modification de ce cycle dans les transplants semble donc due à la ré-implantation. La diminution de la biomasse aurait pu s'expliquer par la transition d'un mode de croissance orthotrope des pousses à un mode plagiotrope comme décrit par Molenaar *et al.* (1993). En effet, cette modification du mode de croissance s'accompagne d'une diminution de la longueur et de la largeur des feuilles et d'une augmentation du nombre de celles-ci. De plus, le changement d'orientation de croissance induit une augmentation du développement des racines. Toutefois, peu de faisceaux présentaient ce type de modification après 171 jours de ré-implantation. La diminution de biomasse foliaire observée peut, dès lors, s'expliquer par une modification de la distribution des nutriments et de l'énergie normalement alloués à la croissance des feuilles. Les nutriments seraient alors détournés vers les rhizomes afin de mettre en place le système racinaire et permettre l'assimilation normale des nutriments par ces organes (Lepoint *et al.* 2002b). Cette hypothèse est confirmée par les données de biomasse racinaire qui augmente légèrement entre décembre et mars 2001 ce qui contraste avec l'absence de croissance des racines en hiver observée en milieu naturel par Caye & Meinesz (1989) et en laboratoire par Meinesz *et al.* (1991). Au printemps, la biomasse des racines augmente fortement dans les transplants impliquant un transfert significatif de nutriments vers ce compartiment.

Le carbone étant assimilé par photosynthèse, la dynamique de cet élément dépend essentiellement de la lumière et son évolution saisonnière est liée au cycle annuel d'ensoleillement (Touchette & Burkholder 2000). Les sources d'azote et de phosphore sont, quant à elles, de plusieurs natures. Les pousses de *P. oceanica* peuvent prélever l'azote à partir de la colonne d'eau par les feuilles ou dans

l'eau interstitielle du sédiment grâce aux racines (Hemminga *et al.* 1991). De plus, *P. oceanica* a développé des mécanismes de stockage (stockage dans les feuilles et rhizomes quand les concentrations en azote sont élevées dans la colonne d'eau et les besoins réduits) et de recyclage de l'azote (translocation des nutriments depuis les feuilles en sénescence vers les jeunes feuilles en croissance active ou les rhizomes) afin de maximiser l'utilisation des nutriments (Alcoverro *et al.* 1995, 1997, Lepoint *et al.* 2002a). Cette contribution doit être absente sur les transplants suite à l'absence de racine et donc d'assimilation par les organes souterrains. De plus, l'azote stocké durant l'hiver fournit jusqu'à 33 % de la demande de la plante lors de la période de croissance maximale des feuilles (Invers *et al.* 2002). Enfin, Marbà *et al.* (2002) ont démontré que les clones de *P. oceanica* d'une même colonie échangent une quantité non négligeable de nutriments via le réseau souterrain de rhizomes. Les données obtenues par Lepoint *et al.* (2002b) montrent que les besoins annuels en azote de *P. oceanica* sont assurés par une absorption de 25 et 45 % par les feuilles, 15 à 35 % par les racines et par un recyclage interne qui représente 40 % des besoins (Alcoverro *et al.* 2000, Lepoint *et al.* 2002a). Les échanges entre différents clones de la colonie couvriraient, quant à eux, 3,3 à 13,3 % des ressources nécessaires à la croissance des feuilles et 0,7 à 2,7 % des besoins nécessaires à la croissance des rhizomes (Marbà *et al.* 2002).

Dans les pousses transplantées, seuls les processus d'absorption via les feuilles et le recyclage interne de l'azote sont présents. En effet, peu de racines intactes étaient présentes sur les pousses mises en place ce qui induit une très faible capacité d'absorption des nutriments provenant de l'eau interstitielle du sédiment. De plus, les transplants sont physiquement isolés du reste de la colonie empêchant ainsi les éventuels transferts entre clones. Les transplants doivent donc développer les moyens nécessaires pour couvrir leurs besoins nutritifs ce qui constitue probablement une étape critique quant au succès de la transplantation.

Les contenus en carbone, azote et phosphore observés dans les feuilles et les parties souterraines des pousses de *P. oceanica* contrôles et transplantées se situent dans la même gamme de valeurs que celles généralement décrites pour l'herbier en Baie de la Revelatta (Alcoverro *et al.* 1995, 1997, 2000, Duarte 1990, Erftemeijer *et al.* 1994, Pirc & Wollenweber 1988, Romero *et al.* 1998, Velimirov 1987).

Les variations temporelles des contenus en carbone dans les transplants sont supérieures aux variations généralement observées ce qui semble indiquer que le métabolisme des pousses transplantées est modifié. En effet, en février, les contenus en carbone des feuilles adultes des pousses transplantées sont légèrement supérieurs à ceux des

sites de contrôle mais après 6 mois d'expérimentation, les contenus sont significativement plus faibles dans les feuilles adultes et intermédiaires.

En février, après 3 mois de ré-implantation, les contenus en azote et phosphore des feuilles des pousses de contrôles sont similaires à ceux des pousses transplantées ce qui indique que l'incorporation de l'azote au niveau de ces dernières n'est pas modifiée. Au niveau des racines, les teneurs en azote et phosphore augmentent dans les transplants mais la variabilité observée est importante.

Par contre, au printemps, lors de la reprise de la croissance des feuilles, les teneurs en azote et en phosphore des feuilles adultes et intermédiaires des transplants sont significativement plus faibles que celles des pousses de contrôles. Au contraire, on observe une augmentation de ces teneurs dans les parties souterraines des transplants. Ces différences entre transplants et témoins peuvent s'expliquer soit par une augmentation de l'absorption par les racines nouvellement formées, soit par une translocation de l'azote absorbé par les feuilles vers les parties souterraines. Il est probable que ces deux processus interviennent en parallèle. L'allocation des ressources dans les rhizomes semble être la seule solution possible permettant à la plante de développer un appareil racinaire complet puisque seules les feuilles sont capables de fournir des ressources nutritives aux transplants tant que des nouvelles racines ne seront pas formées. De plus, ces nutriments étant indispensables à la synthèse des protéines et des acides nucléiques, il est nécessaire que les transplants disposent de réserves importantes de ces nutriments au niveau des tissus en croissance active. L'allocation des nutriments à la formation de nouveaux organes a déjà pu être observée lors de la formation des fleurs de *P. oceanica*. Les concentrations en azote et phosphore mesurées étaient alors inférieures dans les feuilles des pousses ayant développé des organes reproducteurs (Gobert *et al.* 2002a).

Après la transplantation, les ressources allouées au développement racinaire ne sont plus disponibles pour la croissance des feuilles et la biomasse foliaire et la photosynthèse sont réduites. Cette diminution de la photosynthèse entraînera à son tour une diminution des ressources disponibles et donc une difficulté à faire face aux besoins nécessaires au développement des racines. Afin d'obtenir des meilleurs résultats lors de la transplantation, il sera donc nécessaire, d'une part, d'optimiser les conditions de transplantation (utilisation de pousses plagiotropes à trois faisceaux foliaires, importance de la saison de transplantation, type de substrat, espacement des pousses,...) et, d'autre part, d'envisager l'utilisation de méthodes de fertilisation permettant aux transplants de rétablir une dynamique d'absorption normale des nutriments. Etant donné le faible développement des racines, il sera nécessaire

de mettre au point des méthodes de fertilisation dans l'eau plutôt que dans le sédiment.

REMERCIEMENTS. – Les auteurs remercient les membres de la station de recherche STARESO pour leur accueil et R Biondo pour son aide et ses conseils lors des différents dosages. D Vangeluwe bénéficie d'une bourse doctorale du Fond de la Recherche pour l'Industrie et l'Agriculture (FRIA) et G Lepoint est collaborateur scientifique au Fond National de la Recherche Scientifique (FNRS). Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet européen NOMATEC : Development of non-degrading, NOvel MARine TEChnology for the sustainable exploitation and protection of Mediterranean marine resources (Contrat EVK3CT2000 00033). Cette publication porte le n° MARE053

## RÉFÉRENCES

- Alcoverro T, Duarte CM, Romero J 1995. Annual growth dynamics of *Posidonia oceanica*: contribution of large-scale versus local factors to seasonality. *Mar Ecol Prog Ser* 120: 203-210.
- Alcoverro T, Manzanera M, Romero J 2000. Nutrient mass balance of the seagrass *Posidonia oceanica*: the importance of nutrient retranslocation. *Mar Ecol Prog Ser* 194: 13-21.
- Alcoverro T, Romero J, Duarte CM, Lopez NI 1997. Spatial and temporal variations in nutrient limitation of seagrass *Posidonia oceanica* growth in the NW Mediterranean. *Mar Ecol Prog Ser* 146: 155-161.
- Augier H, Boudouresque CF 1970. Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc National). V. La baie de Port-Man et le problème de la régression de l'herbier de Posidonies. *Bull Mus Hist Nat Marseille* 30: 145-164.
- Augier H, Cristiani G 1984. Indice foliaire et biomasse de l'herbier de posidonies de la zone de Carry-Sausset (Côte Bleue, Bouches-du-Rhône-France). Internl Workshop *Posidonia oceanica* Beds 1: 245-254.
- Balestri E, Piazza L, Cinelli F 1998. Survival and growth of transplanted and natural seedlings of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in a damaged coastal area. *J Exp Mar Biol Ecol* 228: 209-225.
- Bay D 1984. A field study of the growth dynamics and productivity of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in Calvi bay, Corsica. *Aquat Bot* 20: 43-64.
- Bedhomme AL, Zieman AL, Thélin I, Boudouresque CF 1983. Mesure de la production primaire des feuilles de *Posidonia oceanica*: modifications de la méthode de Zieman. *Bot Mar* 26: 35-43.
- Caye G, Meinesz A 1989. Cultures en milieu artificiel de *Posidonia oceanica* à partir de graines. Internl Workshop *Posidonia oceanica* Beds 2: 293-299.
- Caye G, Rossignol M 1983. Etude des variations saisonnières de la croissance des feuilles et des racines de *Posidonia oceanica*. *Mar Biol* 75: 79-88.
- Duarte CM 1990. Seagrass nutrient content. *Mar Ecol Prog Ser* 67: 201-207.
- Erfteemeijer PLA, Stapel J, Smekens MJE, Drossaert WME 1994. The limited effect of in situ phosphorus and nitrogen additions to seagrass beds on carbonate and terrigenous sediments in South Sulawesi, Indonesia. *J Exp Mar Biol Ecol* 182: 123-140.

- Francour P, Soltan D 2000. Suivi des ancrages de types 'Harmony' dans les herbiers à *Posidonia oceanica* de la rade d'Agay et du Parc national de Port-Cros (Var, Méditerranée nord-occidentale). Contrat Soc SMAT & Lab Envir Marin Littoral. LEML publ Nice: 1-33.
- Genot I, Caye G, Meinesz A, Orlandini M 1994. Role of chlorophyll and carbohydrate contents in survival of *Posidonia oceanica* cuttings transplanted to different depths. *Mar Biol* 119: 23-29.
- Gobert S 2002. Variations spatiale et temporelle de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile (Baie de La Revelatta-Calvi-Corse). PHD thesis, Univ Liège 207 p.
- Gobert S, Belkhiria S, Dauby P, Havelange S, Soullard M, Bouquegneau JM 1995. Variations temporelles de la phénologie et de la composition biochimique de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* en baie de Calvi. *Bull Soc Roy Sc Liège* 64: 263-284.
- Gobert S, Defawe O, Janssens M, Lejeune P, Lepoint G, Bouquegneau JM. Flowering of *Posidonia oceanica* and associated C, N and P requirements. *PSZNI Mar Ecol* (submitted).
- Gobert S, Kyrmarios M, Lepoint G, Pergent-Martini C, Bouquegneau JM 2002b. Variations à différentes échelles spatiales de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile ; effets sur les paramètres physico-chimiques du sédiment. *Oceanologica acta* 26: 199-207.
- Hemminga MA, Harrison PG, van Lent F 1991. The balance of nutrient losses and gains in seagrass meadow. *Mar Ecol Prog Ser* 71: 85-96.
- Invers O, Pérez M, Romero J 2002. Seasonal nitrogen speciation in temperate seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *J Exp Mar Biol Ecol* 273 : 219-240.
- Lepoint G, Defawe O, Gobert S, Dauby P, Bouquegneau JM 2002a. Experimental evidence for N recycling in the leaves of the seagrass *Posidonia oceanica*. *J Sea Res* 48: 173-179.
- Lepoint G, Millet S, Dauby P, Gobert S, Bouquegneau JM 2002b. An annual nitrogen budget of the seagrass *Posidonia oceanica* as determined by *in situ* uptake experiments. *Mar Ecol Prog Ser* 237: 87-96.
- Marbà N, Hemminga MA, Mateo MA, Duarte CM, Mass YEM, Terrados J, Gacia E 2002. Carbon and nitrogen translocation between seagrass ramets. *Mar Ecol Prog Ser* 226: 287-300.
- Meinesz A, Caye G, Loquès F, Molenaar H 1991. Growth and development in culture of orthotropic rhizomes of *Posidonia oceanica*. *Aquat Bot* 39: 367-377.
- Meinesz A, Lefevre JR 1984. Régénération d'un herbier de *Posidonia oceanica* quarante années après sa destruction par une bombe dans la rade de Villefranche (Alpes-Maritimes - France). Internl Workshop *Posidonia oceanica* Beds 1: 39-44.
- Meinesz A, Molenaar H, Bellone E, Loquès F 1992. Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*: I. Effects of rhizome length and transplantation season in orthotropic shoots. *Mar Ecol* 13: 163-174.
- Molenaar H, Barthélémy D, de Reffye P, Meinesz A, Mialet I 2000. Modelling architecture and growth patterns of *Posidonia oceanica*. *Aquat Bot* 66: 85-99
- Molenaar H, Meinesz A 1995. Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*: survival and development of transplanted cuttings according to different spacing, arrangements and substrates. *Bot Mar* 38: 313-322.
- Molenaar H, Meinesz A, Caye, G 1993. Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*. Survival and development in different morphological types of transplanted cuttings. *Bot Mar* 36: 481-488.
- Pergent G, Boudouresque CF, Vadier B 1985. Etude préliminaire des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile de la côte des Albères (Pyrénées-Orientales, France). *Ann Inst Océanogr* 61: 97-114.
- Pergent-Martini C, Pergent G 1990. Suivi de l'évolution de l'herbier à *Posidonia oceanica* après la mise en service de la station d'épuration de Marseille. Contrat Ville de Marseille-Univ Aix-Marseille II. LBMEB et GIS Posidonies publ, Marseille: 1-58.
- Piazzini L, Acunto S, Cinelli F 1999. *In situ* survival and development of *Posidonia oceanica* (L.) Delile seedlings. *Aquat Bot* 63: 103-112.
- Pirc H, Wollenweber B 1988. Seasonal changes in nitrogen, free amino acids, and C/N ratio in Mediterranean seagrasses. *PSZNI Mar Ecol* 9: 167-179.
- Romero J 1989. Seasonal pattern of *Posidonia oceanica* production : growth, age and renewal of leaves. Internl Workshop *Posidonia oceanica* Beds 2: 63-67.
- Romero J, Pérez M, Alcoverro T, Mateo MA, Sanchez-Lizaso JL 1998. Production ecology of *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows in Nueva Tabarca Marine Reserve: Growth, biomass and nutrient stocks along a bathymetric gradient. *Oecol Aqu* 11: 111-121.
- Soullard M, Bourge I, Fogel J, Lardinois D, Mathieu T, Veeschens C, Bay D, Dauby P, Bouquegneau JM 1994. Evolution de la densité de l'herbier de Posidonies de la baie de Calvi (Corse). *Vie Milieu* 44: 199-201.
- Touchette BW, Burkholder JM 2000. Overview of the physiological ecology of carbon metabolism in seagrasses. *J Exp Mar Biol Ecol* 250: 169-205.
- Velimirov B 1987. Organic matter derived from a seagrass meadow: origin, properties, and quality of particles. *PSZNI Mar Ecol* 8: 143-173.
- Zieman JC 1974. Method for study of the growth and production of the turtle grass, *Thalassia testudinum* König. *Aquaculture* 4: 139-143.

Reçu le 14 mai 2004; received May 14, 2004  
 Accepté le 19 mai 2004; accepted May 19, 2004