

Impact de l'ancrage des bateaux de plaisance sur la prairie à *Posidonia oceanica* dans le Parc national de Port-Cros (Méditerranée nord-occidentale)

Anne GANTEAUME ¹, Patrick BONHOMME ¹,
Guillaume BERNARD ¹, Maxime POULAIN ²,
Charles-François BOUDOURESQUE ^{1, 3}

¹ GIS Posidonie, Parc Scientifique et Technologique de Luminy,
163 av. de Luminy, Case 901, 13288 Marseille cedex 09, France.

² Parc national de Port-Cros, Castel Ste-Claire, rue Ste-Claire,
83400 Hyères, France.

³ UMR CNRS Dimar, COM, Parc Scientifique et Technologique de
Luminy, 163 av. de Luminy, Case 901, 13288 Marseille cedex 09, France.

Résumé. Un certain nombre de paramètres de vitalité de la prairie à *Posidonia oceanica* (recouvrement, densité des faisceaux de feuilles, pourcentage de rhizomes plagiotropes, taux de morcellement de la prairie), ont été étudiés dans des zones soumises à différentes pressions d'ancrage du Parc national de Port-Cros. Les données de la présente étude (2001) ont été comparées avec celles d'une étude antérieure (1996). Les résultats montrent que les paramètres étudiés ne sont pas pertinents (recouvrement, densité des faisceaux), ou ne sont pertinents que dans le cas d'une pression d'ancrage très forte (pourcentage de faisceaux plagiotropes). On ne peut donc pas exclure que l'impact d'une pression d'ancrage modérée sur la prairie à *P. oceanica* ait été exagéré par les auteurs. En revanche, le fait que la faible compacité de la matre rend la prairie plus vulnérable à l'ancrage est confirmé.

Abstract. A certain number of parameters for assessing the vitality of the *Posidonia oceanica* meadow (cover, density of leaf shoots, percentage of plagiotropic rhizomes, rate of patchiness), have been studied in areas exposed to different degrees of anchoring pressure in the Port-Cros national Park. The data from the present study (2001) have been compared with those from a previous study (1996). The results show that the parameters studied are either not relevant (cover, shoot density), or are only applicable in the case of very high anchoring pressure (percentage of plagiotropic shoots). It cannot be ruled out therefore that the impact of moderate anchoring pressure on the *P. oceanica* meadow might have been overestimated by the authors. On the other hand, the fact that low compactness of the matre renders the meadow more vulnerable to anchoring is confirmed.

INTRODUCTION

La prairie à *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile (Magnoliophyte) est un écosystème littoral d'une richesse exceptionnelle et d'une importance considérable. Comme l'ont démontré de nombreux auteurs, elle est souvent considérée comme l'écosystème-pivot de l'ensemble des espaces littoraux méditerranéens (Molinier et Picard, 1952 ; Pérès, 1977 ; Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Jeudy de Grissac, 1984 ; Pergent, 1987 ; Boudouresque *et al.*, 1994 ; etc.). Les causes de régression de la prairie à *P. oceanica* sont nombreuses (Pérès et Picard, 1975 ; Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Pérès, 1984). Elles sont en grande majorité d'origine anthropique, par exemple la pollution urbaine et industrielle, la construction d'ouvrages sur la bande littorale et l'utilisation d'arts traînants (*in* Pergent-Martini, 1994). Un certain nombre d'auteurs ont également mis en cause l'ancrage¹ des bateaux de plaisance (Astier, 1972 ; Meinesz, 1975 ; Blanc et Jeudy de Grissac, 1978 ; Meinesz et Lefèvre, 1978 ; Orsolini, 1978 ; Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Robert, 1983 ; Jeudy de Grissac, 1984 ; Porcher, 1984 ; Porcher et Jeudy de Grissac, 1985 ; Mazzella *et al.*, 1986 ; García Charton *et al.*, 1993 ; Milazzo *et al.*, 2002, 2004). Or, la pression d'ancrage par les bateaux de plaisance est appelée à augmenter dans l'avenir, avec l'accroissement continu du nombre de bateaux². Par ailleurs, le problème ne concerne pas que la Méditerranée (Walker *et al.*, 1989). La plupart des études citées soulèvent le problème de l'ancrage sur les prairies à *P. oceanica*, mais ne quantifient pas réellement son impact. Des méthodes de quantification de cet impact ont donc été développées, de façon à pouvoir gérer correctement les zones de mouillage (Francour, 1994 ; Boudouresque *et al.*, 1995), puis un programme d'évaluation de l'impact des mouillages sur la prairie à *P. oceanica* dans les eaux du Parc national de Port-Cros a été initié en 1996. Le présent travail constitue la suite de ce programme (Poulain, 1996 ; Francour *et al.*, 1997, 1999), qui concluait à une relation entre l'impact du mouillage, le déchaussement des rhizomes et la faible compacité de la matte.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Choix des stations

Les mesures ont été effectuées autour de l'île de Port-Cros (Var France), au niveau de cinq stations subissant des pressions d'ancrage différentes (Tabl. 1 ; Fig. 1). Trois d'entre elles ont déjà été étudiées

¹ Nous ne traitons ici que de l'ancrage (= mouillage au sens strict), qui utilise une ancre. On parle de mouillage organisé quand les bateaux s'amarrent à des corps-morts mis en place légalement dans le cadre d'une Autorisation d'Occupation Temporaire (AOT) délivrée par le Service Maritime de la Direction Départementale de l'Équipement (DDE). On parle de mouillage forain quand les bateaux s'amarrent à des corps-morts mis en place illégalement (sans AOT).

(Poulain, 1996) : **LPA**, baie de La Palud, zone ayant toujours été interdite à l'ancrage depuis les années 1980s (station de référence) ; **BAGI**, zone de mouillage interdit de Bagaud («Bagaud interdit»), secteur interdit à l'ancrage depuis 1993, et auparavant soumis à une pression de mouillage modérée ; **BAGN**, zone de mouillage autorisé de Bagaud Nord), secteur ayant toujours été soumis à l'ancrage mais à pression d'ancrage modérée. Deux stations sont nouvelles : **PPC**, passe de Port-Cros, zone de mouillage des gros bateaux, mais aussi de bateaux plus petits qui n'ont pas pu trouver de place dans la baie de Port-Cros ; **PMA**, baie de Port-Man, secteur ayant toujours été soumis à une forte pression d'ancrage. Enfin, une station étudiée par Poulain (1996) n'a pas pu être étudiée à nouveau : **BPC**, baie de Port-cros, secteur ayant toujours été soumis à l'ancrage et à forte pression d'ancrage durant la saison estivale.

Tabl. I. Caractéristiques des stations étudiées en 1996 (Poulain, 1996) et/ou en 2001 (présente étude) ; + = étudiée, - = non étudiée. La surface est celle de la zone concernée par l'étude. Bateaux = nombre de bateaux pouvant être observés simultanément, en période de pointe, dans la station considérée (d'après Philippe Robert, comm. pers.) ; quand l'ancrage est interdit, entre parenthèses le nombre d'années écoulées depuis l'interdiction ; quand des mouillages organisés existent, seuls sont indiqués les bateaux à l'ancre.

Station	Surface	Bateaux	Bateaux/ha	Pression	1996	2001
LPA (baie de La Palud)	4 ha	0 (> 20 ans)	0	Nulle	+	+
BAGI (Bagaud interdit)	8 ha	0 (8 ans)	0	Nulle	+	+
BAGN (Bagaud Nord)	8 ha	20	2.5	Modérée	+	+
PPC (passe de Port-Cros)	40 ha	110*	2.8*	Forte	-	+
BPC (baie de Port-Cros)	2 ha	15	7.5	Forte	+	-
PMA (baie de Port-Man)	17 ha	150	8.8	Forte	-	+

* Dont de très gros bateaux.

² Voir le colloque sur la maîtrise de l'impact des ports de plaisance du 14 juin 1996 à Saint-Raphaël (Var, France).

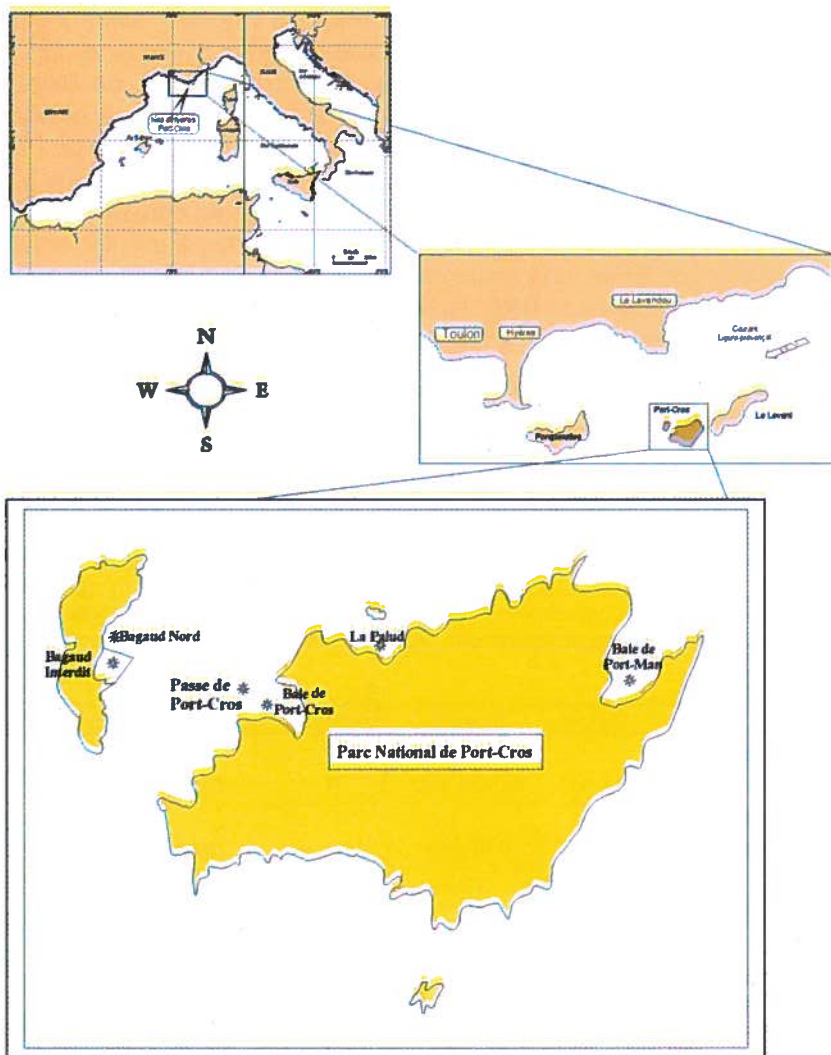


Fig. 1. Situation géographique de l'île de Port-Cros et situation des différentes stations d'étude des paramètres de vitalité de la prairie à *Posidonia oceanica*.

Dans les 6 stations, les mesures sont effectuées à 9 m de profondeur. C'est en effet la profondeur moyenne des ancrages.

Les paramètres de vitalité

Les paramètres de vitalité de la prairie à *Posidonia oceanica* sont ceux qui avaient été retenus par Poulain (1996) pour quantifier l'impact de l'ancrage.

(i) Le recouvrement. C'est le pourcentage de la surface du fond couvert par la prairie à *P. oceanica*. Le recouvrement varie naturellement en fonction de la profondeur, de l'hydrodynamisme et du taux de sédimentation. Il est également influencé par les activités humaines (aménagements littoraux, rejets d'eaux polluées, etc.), qui le font diminuer. Nous avons utilisé la méthode d'estimation du recouvrement de Gravez *et al.* (1995). Il est à noter que le recouvrement peut être légèrement surestimé lorsque les feuilles sont longues et masquent en partie les internodes, mais l'erreur peut être considérée comme négligeable.

(ii) La densité. La densité correspond au nombre de faisceaux de feuilles de *P. oceanica* présents par mètre carré. Elle permet de classer les prairies en six types différents, selon la terminologie de Giraud (1977). La densité diminue naturellement en fonction de la profondeur (Romero-Martínengo, 1985 ; Pergent-Martini, 1994 ; Pergent *et al.*, 1995). Elle varie également sur de courtes distances, au sein d'une station donnée («patchiness» ; Panayotidis *et al.*, 1981). Elle est mesurée dans des quadrats de 20 cm x 20 cm.

(iii) La compacité de la matte. La compacité mesure la résistance de la matte à l'enfoncement d'un objet, par exemple une ancre. Une matte compacte est supposée moins vulnérable à l'arrachage des rhizomes et des faisceaux par les ancres qu'une matte peu compacte. Pour estimer la compacité, nous avons utilisé la méthode définie par Poulain (1986) et Francour *et al.* (1999), qui consiste à mesurer la distance d'enfoncement d'une tige en acier (2 m de long, 8 mm de diamètre) dans la matte, sous l'effet d'un poids de 5 kg lâché à 50 cm au dessus du sommet de la tige.

(iv) La proportion de faisceaux plagiotropes (i.e. rampants). La présence de rhizomes plagiotropes est un indice de bonne vitalité de la prairie, car elle traduit une tendance à la progression. Elle traduit également la recolonisation des intermattees en réponse à une pression d'ancrage passée ou présente. La proportion de faisceaux plagiotropes (par rapport au nombre total de faisceaux) a été mesurée au sein de la prairie (i.e. à plus d'un mètre de sa bordure), au moyen de quadrats de 20 cm x 20 cm.

(v) Le degré de morcellement de la prairie. Sous l'influence des perturbations (au sens de Connell et Sousa, 1983) ou du stress (au sens de Grime, 1977), la limite supérieure de la prairie, généralement franche, se morcelle (Charbonnel *et al.*, 1995), d'abord sous forme d'ondulations, puis d'invaginations de sa marge, et enfin d'un véritable fractionnement

en îlots dont les dimensions diminuent en se rapprochant de la source de perturbation ou de stress. Pour déterminer le degré de morcellement, un plongeur déroule en ligne droite, de manière aléatoire, un ruban gradué de 10 m de long puis dénombre et mesure la taille des intermattes traversées par le ruban. Cette méthode est inspirée de la *line intercept method* (Forgeard, 1987). Le nombre moyen et la taille des intermattes par tronçon de 10 m permettent de calculer le pourcentage d'intermattes ; cette dernière valeur devrait représenter le complément à 100% du recouvrement. Toutefois, les méthodes d'acquisition étant différentes, il n'est pas étonnant que l'addition du pourcentage de recouvrement et du pourcentage d'intermattes soit toujours plus ou moins différente de 100%.

Pour chacun des 5 paramètres de vitalité définis ci-dessus, 30 répliques ont été effectuées par station (sauf pour le degré de morcellement de la station PMA : 17 répliques). Les mesures ont été effectuées en 2001.

Traitements statistiques

Les tests statistiques de comparaisons simples ou multiples sont respectivement effectués à l'aide d'une analyse de variance non-paramétrique (test de Kruskal-Wallis ; Logiciel STATISTICA®). Pour l'analyse de variance non paramétrique, si l'hypothèse nulle d'égalité des moyennes est rejetée, les différences entre couples de valeurs sont recherchées à l'aide du test Newman-Keuls-Student (Zar, 1984).

RÉSULTATS

Recouvrement. Aucune station ne se différencie nettement des autres par le taux de recouvrement (tests de Newman-Keuls-Student, effectués entre les stations, non significatif). Il est élevé pour l'ensemble des stations (>85%) et les deux stations de Bagaud ont un recouvrement de plus de 90%, bien que BAGN soit soumis à l'ancrage alors que BAGI ne le soit plus. En outre, la valeur la plus faible (85%) est observée à La Palud (LPA), là où le mouillage est interdit depuis plus de 20 ans (Tabl. II).

Tabl. II. Recouvrement moyen de la prairie à *Posidonia oceanica* dans les différentes stations étudiées et test de Kruskal-Wallis. N = nombre de répliques. e.t. = écart-type.

Station	Pression d'ancrage	% Recouvrement moyen (e.t)	N
LPA	0 (>20 ans)	85 (18)	30
BAGI	0 (8 ans)	93 (6)	30
BAGN	modérée	94 (6)	30
PPC	forte	89 (11)	30
PMA	forte	87 (10)	30

Kruskal-Wallis H = 8.05, N = 150, p < 0.09 (non significatif)

Densité des faisceaux. Seules les stations de La Palud (LPA) et de la Passe de Port-Cros (PPC) présentent une densité sub-normale inférieure pour la profondeur considérée. Les autres secteurs présentent une densité normale pour la profondeur, y compris la station de Port-Man (PMA) qui subit pourtant une forte pression de mouillage (Tabl. III). Les densités sont significativement supérieures dans la station Bagaud interdit (BAGI) par rapport aux stations LPA et PPC, dans la station Bagaud Nord (BAGN) par rapport aux stations LPA et PPC et dans la station PMA par rapport aux stations LPA et PPC (tests de Newman-Keuls-Student significatifs au seuil de 5% entre ces stations).

Tabl. III. Densité moyenne de faisceaux par mètre carré de prairie à *Posidonia oceanica* dans les différentes stations étudiées, test de Kruskal-Wallis et classement de chaque secteur selon les typologies de Giraud (1977) et Pergent *et al.* (1995). DSI = Densité Subnormale Inférieure ; DN = Densité Normale. e.t. = écart-type.

Station	Pression d'ancrage	Densité (e.t.)	Typologie de Giraud	Typologie de Pergent <i>et al.</i>
LPA	0 (>20 ans)	349 (107)	III	DSI
BAGI	0 (8 ans)	482 (111)	II	DN
BAGN	modérée	558 (189)	II	DN
PPC	forte	366 (73)	III	DSI
PMA	forte	551 (160)	II	DN

Kruskal-Wallis H = 47.81, N = 150, p < 0.00 (significatif)

Pourcentage de rhizomes plagiotropes. Les stations présentant une pression d'ancrage modérée à forte (Tabl. IV) semblent présenter un pourcentage de rhizomes plagiotropes plus élevé que les autres. Toutefois, seule la passe de Port-Cros (PPC) se démarque clairement des autres stations avec un taux de rhizomes plagiotropes élevé (14.4%) et significativement supérieur. La station de Bagaud interdit (BAGI), où le mouillage est interdit depuis 8 ans, ne présente pas de différence significative avec La Palud (LPA) où il est interdit depuis plus de 20 ans (tests de Newman-Keuls-Student).

Tabl. IV. Pourcentage moyen de rhizomes plagiotropes au sein de la prairie à *Posidonia oceanica* dans les différentes stations étudiées et test de Kruskal-Wallis. N = nombre de répliques. e.t. = écart-type.

Station	Pression d'ancrage	% de rhizomes plagiotropes (e.t.)	N
LPA	0 (>20 ans)	1.7 (4.3) %	30
BAGI	0 (8 ans)	1.2 (2.7) %	30
BAGN	modérée	4.6 (8.3) %	30
PPC	forte	14.4 (11) %	30
PMA	forte	3.8 (6.4) %	30

Kruskal-Wallis : H = 47.51, N = 150, p < 0.00 (significatif)

Compacité de la matre. Les valeurs de compacité les plus fortes sont observées sur les deux stations de Bagaud (BAGI, BAGN ; < 30 cm d'enfoncement de la tige) et la valeur la plus faible (> 95 cm) est relevée dans la passe de Port-Cros (PPC ; Tabl. V). La compacité est significativement plus importante dans les stations BAGI et BAGN par rapport aux autres sites et à La Palud (LPA) par rapport à la passe de Port-Cros (tests de Newman-Keuls-Student significatifs au seuil de 5% entre ces stations).

Tabl. V. Compacité de la matre de *Posidonia oceanica* (enfoncement moyen de la tige métallique dans la matre, en cm) dans les différentes stations étudiées et test de Kruskal-Wallis. N = nombre de répliques. e.t. = écart-type.

Station	Pression d'ancrage	Enfoncement de la tige métallique (e.t.)	N
LPA	0 (>20 ans)	52.4 (17.7)	30
BAGI	0 (8 ans)	28.6 (18.7)	30
BAGN	modérée	27.9 (9.5)	30
PPC	forte	95.9 (7.6)	30
PMA	forte	76.8 (17.6)	30

Kruskal-Wallis : H = 111.99, N = 150, p <0.00 (significatif)

Pour classer les cinq stations en fonction de la compacité de la matre, on considèrera qu'une zone de prairie à *P. oceanica* est compacte si l'enfoncement moyen de la tige métallique est inférieur ou égal à 30 cm. La matre sera considérée comme moyennement compacte pour des valeurs moyennes d'enfoncement comprises entre 30 et 90 cm. Enfin, pour des valeurs supérieures à 90 cm, nous parlerons de matre à faible compacité. Les prairies à très bonne tenue mécanique (forte compacité de la matre) sont celles de Bagaud Interdit (BAGI) et Bagaud Nord (BAGN), celles à tenue mécanique moyenne (compacité moyenne) se trouvent à Port-Man (PMA), à La Palud (LPA) et en baie de Port-Cros (BPC) à 7 m (résultat de Poulain, 1996), et celles à faible tenue mécanique (faible compacité) sont localisées dans la passe de Port-Cros (PPC) et la baie de Port-Cros à 11 m (résultat de Poulain, 1996).

Le morcellement de l'herbier. Le morcellement de la prairie à *P. oceanica* se traduit par le nombre d'intermatres et par leur taille moyenne (Tabl. VI). La taille moyenne des intermatres varie peu entre stations, contrairement à leur nombre. Le morcellement le plus important, matérialisé par le nombre d'intermatres et par le pourcentage de la surface qu'elles occupent, s'observe dans les stations subissant la plus forte pression d'ancrage : baie de Port-Man (PMA) et passe de Port-Cros (PPC). Malgré l'interdiction de mouillage, la station de La Palud (LPA) présente une valeur de morcellement moyenne, alors que les sta-

tions de Bagaud (BAGI, BAGN) présentent le morcellement le moins important. Le taux de morcellement est significativement inférieur dans la station BAGI par rapport aux stations LPA, PMA et PPC, dans la station BAGN par rapport aux stations PMA et PPC et dans la station LPA par rapport à PMA et PPC (tests de Newman-Keuls-Student significatifs au seuil de 5% entre ces stations). Enfin, le pourcentage d'intermattes est inversement proportionnel à la compacité de la matre (Fig. 2).

Tabl. VI. Morcellement de la prairie à *Posidonia oceanica* dans les différentes stations étudiées : nombre moyen d'intermattes par transect de 10 m de long, taille moyenne de ces intermattes (en cm), pourcentage moyen d'intermatte par transect. N = nombre de répliques. () = écart-type.

Station	Pression d'ancrage	Nombre d'intermattes	Taille des intermattes	Pourcentage d'intermattes	N
LPA	0 (>20 ans)	2.1 (1.4)	57	12 (11)	30
BAGI	0 (8 ans)	0.8 (0.8)	38	3 (3)	30
BAGN	Modéré	1.7 (0.8)	43	7 (5)	30
PPC	forte	4.1 (1.0)	53	22 (7)	30
PMA	forte	6.7 (2.0)	45	30 (12)	17

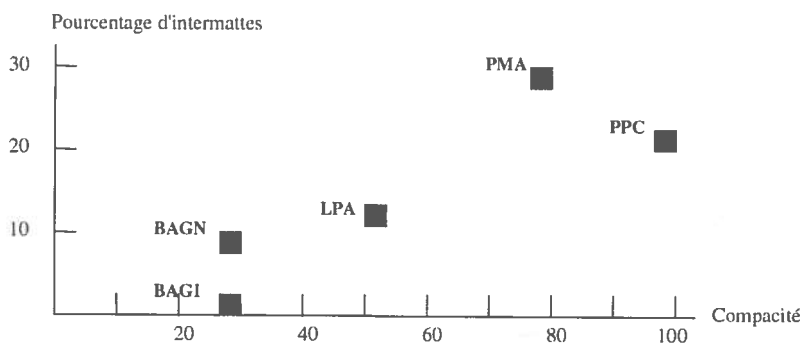


Fig. 2. Relation entre le pourcentage d'intermattes et la compacité de la matre, dans les différentes stations étudiées à Port-Cros.

DISCUSSION

Réaction de l'herbier de *Posidonie* à la pression d'ancrage

Francour *et al.* (1997, 1999) ont montré, à partir de résultats acquis en 1996, que l'ancrage sur une prairie à *P. oceanica* a un impact d'au-

tant plus négatif que la compacité de la matre est faible ou que le déchaussement des rhizomes est important. La baie de Port-Cros (BPC), soumise à une forte pression d'ancrage, se distinguait très nettement des autres stations étudiées : recouvrement et densité de faisceaux significativement inférieurs et forte proportion de rhizomes plagiotropes. Le pourcentage de rhizomes plagiotropes au sein de l'herbier était moins élevé pour les stations non (ou plus) soumises à l'ancrage (LPA, BAGI). Ce paramètre apparaissait donc comme un bon indicateur de la pression d'ancrage présente (i.e. au moment de l'étude). De même, le morcellement de la prairie pouvait traduire le niveau de stress dû à l'ancrage qu'elle subit sur un plus long terme.

Les résultats que nous avons obtenus en 2001, 5 ans après, nous permettent de vérifier si ces paramètres sont réellement de bons indicateurs de la pression d'ancrage, de les affiner si nécessaire et de traiter de nouvelles stations de façon à pouvoir mettre au point un plan de gestion des mouillages efficace dans les eaux du Parc national de Port-Cros.

Tabl. VII. Réaction de la prairie à *Posidonia oceanica* à différents niveaux de pression d'ancrage en 2001. La référence est constituée par les stations où l'ancrage est nul. En gras, les paramètres dont les valeurs sont considérées comme anormales.

Paramètres de vitalité	Pression d'ancrage dans les 5 stations étudiées				
	Nulle LPA	Nulle BAGI	Modérée BAGN	Forte PPC	Forte PMA
Recouvrement	Normal (élevé)	Normal (élevé)	Normal (comparable à la référence)	Normal (comparable à la référence)	Normal (comparable à la référence)
Densité des faisceaux	Anormal (faible)	Normal	Normal (comparable à la référence)	Anormal (faible)	Normal (comparable à la référence)
% faisceaux plagiotropes	Normal (faible ou nul)	Normal (faible ou nul)	Normal (comparable à la référence)	Anormal (élevé)	Normal (comparable à la référence)
Nombre d'intermattes	Anormal (assez élevé)	Normal (faible ou nul)	Normal (comparable à la	Anormal (élevé)	Anormal (élevé)

Le tableau VII compare les stations où l'ancrage est autorisé avec celles où il est interdit. Parmi les paramètres de vitalité testés au cours de ce travail, trois types de relations vis à vis de l'ancrage ont été enregistrées. (i) Deux paramètres, le recouvrement et la densité des faisceaux, apparaissent comme non pertinents. Le recouvrement est insensible à la pression d'ancrage ; en 2001, tous les recouvrements sont élevés et du même ordre de grandeur. La densité des faisceaux est anormalement faible aussi bien dans une station où l'ancrage est interdit depuis longtemps (LPA) que dans une station où la pression est forte

(PPC) ; en outre, dans la baie de La Palud (LPA), elle a même diminué entre 1996 et 2001 (Tabl. VIII) ; cette diminution n'est donc pas liée à la pression d'ancrage. (ii) Un paramètre est moyennement pertinent, le nombre d'intermattes (morcellement) : les différences ne sont significatives qu'entre une station sans ancrage et une station à ancrage modéré d'une part, stations à très forte pression d'ancrage d'autre part. On remarque toutefois que le morcellement est assez élevé dans la baie de La Palud (LPA), malgré une interdiction de l'ancrage depuis plus de 20 ans ; ce résultat peut s'expliquer par la lenteur de la recolonisation des intermattes (peut-être d'origine plus ancienne), par *P. oceanica* (Meinesz et Lefèvre, 1984). (iii) Enfin, un paramètre est parfois pertinent, le pourcentage de rhizomes plagiotropes : les différences sont significatives entre stations sans ancrage et une des deux stations soumises à une forte pression d'ancrage (PPC). On remarque en effet qu'il est normal dans la baie de Port-Man (PMA), pourtant soumise à une forte pression d'ancrage ; en outre, dans la station Bagaud nord (BAGN) où la pression d'ancrage est modérée, le pourcentage de rhizomes plagiotropes ne diffère pas de celui observé dans la station de Bagaud Interdit (BAGI) ; ce paramètre est donc peu sensible.

Comparaison des stations entre 1996 et 2001

Dans les stations étudiées à la fois en 1996 et 2001, on n'observe pas d'évolution du recouvrement et de la compacité (Tabl. VIII). Ces paramètres semblent donc stables par rapport à la pression d'ancrage subie durant cette période.

Dans la station Bagaud Interdit (BAGI), la densité des faisceaux est inchangée, mais il y a une forte diminution du pourcentage de rhizomes plagiotropes et du nombre d'intermattes (morcellement). Cela peut traduire une amélioration de la qualité de la prairie à *P. oceanica*, en progression du fait de l'absence de stress. On pourrait en conclure que le temps de réaction du paramètre morcellement se situe entre trois et huit ans après l'interdiction de l'ancrage.

Le pourcentage de rhizomes plagiotropes a diminué également à La Palud (LPA), mais de façon moins importante. Toutefois, la baisse importante de la densité des faisceaux dans cette station est difficile à interpréter, compte tenu de l'ancienneté de l'interdiction de l'ancrage (> 20 ans). Cela confirme que la densité des faisceaux ne constitue probablement pas un indicateur pertinent de la pression d'ancrage.

La qualité de la prairie de la station Bagaud Nord (BAGN) s'est améliorée depuis 1996 avec une augmentation de la densité des faisceaux, qui est toutefois restée normale pour la profondeur, et une diminution du pourcentage de rhizomes plagiotropes et du morcellement

Tabl. VIII. Comparaison des paramètres de vitalité de *Posidonia oceanica* dans les différentes stations entre 1996 et 2001. Pour les unités dans lesquelles sont mesurés les paramètres, voir les tableaux II à VI. En vert, les valeurs normales. En orange, les valeurs modérément anormales. En rouge, les valeurs fortement anormales.

Pression d'ancrage	Nulle		Nulle		Modérée		Forte	Forte	Forte
Station	LPA		BAGI		BAGN		PPC	PMA	BPC
Année	1996	2001	1996	2001	1996	2001	2001	2001	1996
Recouvrement	96	86	88	93	95	94	89	87	50
Densité des faisceaux	450	349	495	482	433	558	336	551	280
% Plagiotropes	4.3	1.7	10	1.2	16	4.6	14	3.8	16
Nombre d'intermattes	-	2.1	2.1	1.8	2.1	1.7	4.1	6.7	-
Compacité	-	52	30	29	30	28	96	77	84-100

(diminution forte pour le pourcentage de rhizomes plagiotropes). En l'absence de diminution de la pression d'ancrage, ce résultat met lui aussi en cause la valeur de ces deux paramètres comme descripteurs de la pression d'ancrage. On remarque en effet que les stations Bagaud interdit (BAGI) et Bagaud Nord (BAGN) ont évolué de la même façon entre 1995 et 2001, alors que l'ancrage est interdit dans la première et autorisé dans la seconde.

Parmi les stations où la pression de mouillage est forte, il y a une différence entre les stations de la baie de Port-Man (PMA) et de la passe de Port-Cros (PPC) : l'impact semble plus important dans cette dernière station ; cela peut-être dû à l'hydrodynamisme, qui y est plus important (Jeudy de Grissac, 1982), ou à la taille importante des bateaux qui y mouillent (forte diminution de la densité des faisceaux). Si on compare ces résultats avec les données de la Baie de Port-Cros (BPC) de 1996, cette dernière apparaît comme plus affectée pour l'ensemble des paramètres, ce qui indiquerait une pression d'ancrage encore plus forte à cet endroit.

Influence de la compacité de la matre

La compacité de la matre est un paramètre qui influe sur la vitalité de la prairie à *P. oceanica* : à pression d'ancrage égale, le taux de morcellement est d'autant plus élevé que la compacité est faible. Dans la gestion de l'ancrage des bateaux de plaisance, et la délimitation des zones d'ancrage autorisé, il convient donc de déterminer au préalable la compacité de la matre afin de restreindre l'ancrage en priorité sur les prairies dont la matre présente une faible compacité.

CONCLUSIONS

Il existe une relation, dans les stations étudiées à Port-Cros, entre taux de morcellement de la prairie et compacité de la matre. Toutes les stations où la pression de mouillage est forte à très forte présentent éga-

lement une faible compacité de la matte, de telle sorte qu'il y a également une relation, bien que moins marquée et non significative, entre pression d'ancrage et morcellement de la prairie. Toutefois, il peut s'agir d'un artéfact, dû au fait que nous n'avons pas étudié de stations à forte pression d'ancrage et à matte compacte. La vulnérabilité à l'ancrage des prairies à matte peu compacte semble bien sûr logique et est très probablement réelle, de telle sorte que nous recommandons aux gestionnaires de la prendre en compte dans leur décision d'autoriser, de limiter ou d'interdire l'ancrage dans un secteur. Des stations extérieures à Port-Cros, à forte pression d'ancrage et à matte compacte, devront toutefois être étudiées afin de valider (éventuellement) cette hypothèse.

Les descripteurs de la vitalité de la prairie à *Posidonia oceanica* que nous avons étudiés (recouvrement, densité des faisceaux, pourcentage de faisceaux plagiotropes, taux de morcellement) ne sont pas réellement discriminants en fonction de la pression d'ancrage. A Bagaud, ils ont évolué de la même façon, entre 1996 et 2001, dans un secteur autorisé (BAGI) et un secteur interdit (BAGN) à l'ancrage. Dans la baie de La Palud (LPA), où l'ancrage est interdit depuis plus de 20 ans, deux descripteurs (la densité des faisceaux et le nombre d'intermattes) se sont «dégradés» entre 1996 et 2001 ; d'autres facteurs (e.g. hydrodynamisme) peuvent expliquer les résultats observés (Jeudy de Grissac, 1982 ; Francour *et al.*, 1997). A Port-Man (PMA), où la pression d'ancrage est forte, trois des quatre descripteurs sont «normaux» alors qu'à La Palud (LPA), interdite à l'ancrage, deux des quatre descripteurs sont «anormaux».

Il est possible que l'impact de l'ancrage sur la prairie à *P. oceanica* ait été exagéré par les auteurs. Une autre hypothèse est que la pression d'ancrage à Port-Cros soit en fait relativement modérée (sur l'ensemble de l'année), par rapport à ce qui s'observe dans d'autres stations du littoral méditerranéen : une pression «forte» à Port-Cros serait en fait considérée comme «modérée» ailleurs. Cela signifierait qu'une pression d'ancrage modérée a peu d'impact sur la prairie à *P. oceanica*. Quoiqu'il en soit, il conviendra dans l'avenir de mieux quantifier la pression d'ancrage. Enfin, les descripteurs de vitalité que nous avons analysés ne sont peut-être pas pertinents ; d'autres descripteurs mériteraient d'être recherchés.

Quoi qu'il en soit, en l'état actuel des connaissances, tout particulièrement dans les secteurs où la matte est peu compacte et où la pression d'ancrage est forte, des dispositifs d'amarrage sur système à vis (type Harmony®) devraient être privilégiés, au moins au titre du principe de précaution. En effet, l'ancrage n'est que l'un des impacts anthropiques sur la prairie à *P. oceanica* ; son impact se cumule avec de nombreux autres impacts, de telle sorte que la difficulté de l'individualisation de son impact propre ne doit pas faire conclure à son absence d'impact.

La régression de la prairie à *P. oceanica*, incontestable à l'échelle de la Méditerranée, est en effet la conséquence d'une synergie d'impacts multiples.

Remerciements

Les auteurs remercient le Parc national de Port-Cros et ses personnels pour l'accueil sur l'île et la mise à disposition de moyens nautiques, ainsi que Philippe Robert pour la mise à disposition de données sur la pression d'ancrage. Michael Paul a assuré la traduction du résumé en anglais.

RÉFÉRENCES

- ASTIER J.M., 1972. - Régression de l'herbier de posidonies en rade des Vignettes à Toulon. *Ann. Soc. Sci. nat. Archéol. Toulon Var*, 27 : 120-132.
- BLANC J.J., JEUDY DE GRISSAC A., 1978. - *Recherches de géologie sédimentaire sur les herbiers à posidonies du littoral de la Provence*. Contrat CNEXO 76 / 4043, 77 / 4074, Centre nation. Exploit. Océans publ. : 1-185, i-vii, 42 pl. h.t.
- BOUDOURESQUE C.F., ARRIGHI F., FINELLI F., LEFÈVRE J.R., 1995. - Arrachage des faisceaux de *Posidonia oceanica* par les ancres : un protocole d'étude. *Rapp. Comm. int. Explor. sci. Médit.*, 34 : 21.
- BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., 1982. - Découverte de l'herbier de Posidonies. *Cahiers Parc nation. Port-Cros, Hyères.*, 4 : 1-79.
- BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., LEDOYER M., VITIELLO P., 1994. - Les herbiers à Phanérogames marines. In : Bellan-Santini D., Lacaze J.C., Poizat C. (éds.), «*Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse, menaces et perspectives*», Secrétariat de la Faune et de la Flore, Muséum National d'Histoire Naturelle (Coll. Patrimoines naturels, vol. 19), Paris : 98-118.
- CHARBONNEL E., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., PERGENT-MARTINI C., RICO-RAIMONDINO V., SAN-MARTÍN G., BERTRANDY M.C., FORET P., RAGAZZI M., LECCIA G., 1995. - *Le Réseau de Surveillance Posidonies de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Rapport 1995 (4^{ème} phase. 2^{ème} année)*, Région PACA/GIS Posidonie/CQEL 13/CQEL 83/DQECV/CQEL 06. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-193.
- CONNELL J.H., SOUSA W.P., 1983. - On the evidence needed to judge ecological stability or persistence. *The American Naturalist*, 121 (6) : 789-824.
- FORGEARD F., 1987. - *Les incendies dans les landes bretonnes. Caractéristiques et conséquences sur la végétation et le sol*. Thèse Doct. Sci., Univ. Rennes : 1-363.
- FRANCOUR P., 1994. - *Impact des mouillages sur l'herbier à Posidonia oceanica dans la baie de Port-Cros (Var, Méditerranée nord-occidentale)*. Contrat Parc national de Port-Cros et GIS Posidonie, GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-19.
- FRANCOUR P., GANTEAUME A., POULAIN M., 1999. - Effects of boat anchoring in *Posidonia oceanica* seagrass beds in the Port-Cros National Park (North-Western Mediterranean Sea). *Aquatic Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 9 : 391-400.

- FRANCOUR P., POULAIN M., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONNEL E. 1997. - *Impact des mouillages forains sur l'herbier à Posidonia oceanica dans le Parc National de Port-Cros (Méditerranée nord-occidentale, France)*. Contrat Parc national de Port-Cros et GIS Posidonie, GIS Posidonie publ., Fr. : 1-51.
- GARCÍA-CHARTON J.A., BAYLE-SEMPERE J., SÁNCHEZ-LIZASO J. L., CHIESA P., LLAURADO F., PEREZ C., DJIAN H., 1993. - Respuesta de la pradera de *Posidonia oceanica* y su ictiofauna asociada al anclaje de embarcaciones en el Parque Nacional de Port-Cros (Francia). *Publ. Espec. Inst. Esp. Oceanogr. Esp.*, 11 : 423-430.
- GIRAUD G., 1977. - Essai de classement des herbiers de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Bot. Mar.*, 20 : 487-491.
- GRAVEZ V., GELIN A., CHARBONNEL E., FRANCOUR P., ABELLARD O., REMONNAY O., 1995. - *Surveillance de l'herbier de Posidonie de la baie du Prado (Marseille) - Suivi 1995-*. GIS Posidonie et Ville de Marseille publ., Fr. : 1-56.
- GRIME J.P., 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *Am. Nat.*, 111 : 1169-1194.
- JEUDY DE GRISSAC A., 1982. - Approche de la courantologie dans la baie de Port-Cros et dans la passe entre Port-Cros et Bagaud. *Trav. Sci. Parc nation. Port-Cros*, 8 : 93-105.
- JEUDY DE GRISSAC A., 1984. - *Mouillages dans les herbiers de Posidonies en Provence Alpes Côte d'Azur*. Parc Nation. Port-Cros publ., Hyères : 1-50.
- MAZZELLA L., SCIPIONE M.B., GAMBI M.C., FRESI E., BUIA M.C., RUSSO G.F., DE MAIO R., LORENTI M., RANDO A., 1986. - *Le praterie sommersa del Mediterraneo*. Lab. Ecol. Benthos, Staz. Zool. Napoli publ., Ital. : 1-63.
- MEINESZ A., 1975. - Le sauvetage de la vie infralittorale. *Et. Sports sous-marins*, Fr., 28 : 23-25.
- MEINESZ A., LEFÈVRE J.R., 1978. - Destruction de l'étage infralittoral des Alpes-Maritimes (France) et de Monaco par les restructurations du rivage. *Bull. Ecol.*, 9 (3) : 259-276.
- MEINESZ A., LEFÈVRE J.R., 1984. - Régénération d'un herbier à *Posidonia oceanica* quarante années après sa destruction par une bombe dans la rade de Villefranche (Alpes Maritimes). *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. édit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 39-44.
- MILAZZO M., BADALAMENTI F., CECCHERELLI G., CHEMELLO R., 2004. - Boat anchoring on *Posidonia oceanica* beds in a marine protected area (Italy, western Mediterranean) : effect of anchor types in different anchoring stages. *J. exp. Mar. Biol. Ecol.*, 299 : 51-62.
- MILAZZO M., BADALAMENTI F., RIGGIO S., CHEMELLO R., 2002. - Effetti degli ancoraggi sulla prateria a *Posidonia oceanica* della Riserva marina isola di Ustica: Dati preliminari. *Biol. mar. Medit.*, 9 (1) : 686-689.
- MOLINIER R., PICARD J., 1952. - Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Ann. Inst. océanogr.*, 27 (3) : 157-234.
- ORSOLINI P., 1978. - *Contribution à l'étude géomorphologique et sédimentologique des domaines côtiers de la presqu'île de Saint-Tropez (Var). Définition des équilibres naturels*. Thèse 3^e cycle Géologie, Univ. Aix-Marseille II : 1-97 + 12 Tabl. h. t. + 63 Fig. h. t.

- PANAYOTIDIS P., BOUDOURESQUE C.F., MARCOT-COQUEUGNIOT J., 1981. - Micro-structure de l'herbier de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Botanica marina*, 24 : 115-124.
- PÉRÈS J.M., 1977. - Utilité et importance de l'herbier de Posidonies en Méditerranée. *Bull. Off. nat. Pêche Tunisie*, 1 (1) : 3-8.
- PÉRÈS J.M., 1984. - La régression des herbiers à *Posidonia oceanica*. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. (éds.), GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 445-454.
- PÉRÈS J.M., PICARD J., 1975. - Causes de la raréfaction et de la disparition des herbiers de *Posidonia oceanica* sur les côtes françaises de la Méditerranée. *Aquat. Bot.*, 1 : 133-139.
- PERGENT G., 1987. - *Recherches lépidochronologiques chez Posidonia oceanica (Potamogetonacea). Fluctuations des paramètres anatomiques et morphologiques des écailles des rhizomes*. Thèse doctorat Océanographie, Université Aix-Marseille II, Fr. : 1-853.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., BOUDOURESQUE C.F., 1995. Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée : état des connaissances. *Mésogée*, 54 : 3-27.
- PERGENT-MARTINI C., 1994. - *Impact d'un rejet d'eaux usées urbaines sur l'herbier à Posidonia oceanica avant et après la mise en service d'une station d'épuration*. Thèse doctorat, Université de Corse, Fr. : 1-190.
- PORCHER M., 1984. - Impact des mouillages forains sur l'herbier à *Posidonia oceanica*. *International Workshop Posidonia oceanica Beds*. Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. (édit.), GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 145-148.
- PORCHER M., JEUDY DE GRISSAC A., 1985. - Inventaire des mouillages forains autour de l'île de Porquerolles (Var, France). *Posidonia Newsletter*, 1 (1) : 23-30.
- POULAIN M., 1996. - *Le mouillage forain dans le Parc National de Port-Cros. Impact sur les herbiers à Posidonia oceanica*. Mémoire DESS Ecosystèmes Méditerranéens, Université de Corse : 1-62.
- ROBERT P., 1983. - Dégradation de l'herbier de posidonies dans la zone de mouillage organisé de la baie de Port-Cros. *Trav. sci. Parc natl. Port-Cros*, 9 : 195-197.
- ROMERO-MARTINENGO J., 1985. - *Estudio ecológico de las famarógamas marinas de la costa catalana : producción primaria de Posidonia oceanica (L.) Delile en las islas Medes*. Tesis Doct. Univ. Barcelona : 1-261.
- WALKER D.I., LUKATELICH R.J., BASTYAN G., Mc COMB A.J., 1989. - Effects of boat moorings on seagrass beds near Perth, Western Australia. *Aquat. Bot.*, 36 : 69-77.
- ZAR J.H. 1984. - *Biostatistical analysis. 2° edition*. Prentice-Hall International publ., London : 1-718.