

Le Parc national de Port-Cros : une structure référence dans la mise en œuvre de stratégies de contrôle de la Chlorobionte envahissante *Caulerpa taxifolia* (Valh) C. Agardh

Jean-Michel COTTALORDA^{1*}, Alain BARCELO²,
Hervé BERGERE², Thierry HOUARD², Claude LEFEBVRE² et
Philippe ROBERT³

¹ Université Nice Sophia Antipolis, E.A. 4228 ECOMERS,
Faculté des Sciences, 06108 Nice cedex 2, France.
Contact : jean-michel.cottalorda@unice.fr

² Parc national de Port-Cros, Boîte postale 70220, 83406 Hyères Cedex,
France.

³ Agence des aires marines protégées, Antenne Méditerranée, DDTM,
BP 501, 83041 Toulon Cedex 9, France.

Résumé. La première découverte de la Chlorobionte envahissante *Caulerpa taxifolia* dans les fonds marins de Port-Cros date de 1994. En application d'un principe de précaution, l'objectif clairement affiché par le Parc national de Port-Cros (PNPC) a tout de suite été que les fonds marins dont il a la gestion et dont il est garant de la biodiversité ne soient jamais colonisés par cette Caulerpale accidentellement introduite en Méditerranée. Aussi, des stratégies de prospection annuelle, des mesures de prévention, de contrôle et de lutte ont-elles été engagées et adaptées aux situations rencontrées. Les eaux du Parc restent ainsi sous contrôle et, avec l'expérience acquise, le PNPC est devenu une structure référence internationale dans la gestion et la mise en œuvre de stratégies de contrôle d'espèces introduites invasives.

Abstract. Port-Cros National Park: a leading organization in the implementation of control strategies against invasive Chlorophyta *Caulerpa taxifolia* (Valh) C. Agardh. The invasive Chlorobionte *Caulerpa taxifolia* was first discovered in Port-Cros's marine waters in 1994. In application of a precautionary principle, the clear objective of Port-Cros National Park (PCNP) was first to prevent its marine substrates and biodiversity against the colonization of these *Caulerpa*, accidentally introduced in the Mediterranean Sea. In addition to strategies of annual prospections, preventive, control and fighting measures were engaged and adapted to the encountered situations. Nowadays, the National Park's waters remain under control and, the PCNP, with this expertise acquired, is now considered an international reference structure for control strategies and management of introduced invasive species.

INTRODUCTION

Caulerpa taxifolia (Valh) C. Agardh est une Chlorobionte appartenant au groupe des Caulerpales (Ulvophycées). Une de ses souches présente un comportement envahissant depuis son introduction et sa première observation en Méditerranée en 1984 (Meinesz & Hesse, 1991 ; Meinesz *et al.*, 1993 et 2001 ; Meinesz & Boudouresque, 1996 ; Cottalorda, 1997). Résistante au froid, originaire de régions tempérées et subtropicales du sud-est australien (Jousson *et al.*, 1998 et 2000 ; Olsen *et al.*, 1998 ; Meusnier *et al.*, 2001 ; Wiedenmann *et al.*, 2001 ; Fama *et al.*, 2002), cette souche se développe rapidement au détriment de la biodiversité, de la flore et de la faune fixées ou peu mobiles en particulier (Verlaque, 1994 ; Verlaque & Fritayre, 1994 a et b ; Villèle & Verlaque, 1994 ; Francour *et al.*, 1995 ; Bellan-Santini *et al.*, 1996 ; Boudouresque *et al.*, 1995, 1996 et 1997 ; Boudouresque & Verlaque, 2002 et 2005 ; Harmelin-Vivien *et al.*, 1996, 1999 et 2001 ; Molenaar *et al.*, 2009). Même si, depuis 2005, on a observé un infléchissement de la progression et une réduction de la densité de colonisation dans certains sites (Cottalorda *et al.*, 2008 a et b), aucun indice ne permet de penser que sa progression en Méditerranée ralentira durablement et encore moins qu'elle disparaîtra naturellement.

En 2009, sept pays méditerranéens étaient atteints : après Monaco (en 1984), *C. taxifolia* a été découverte en France (en 1990), en Italie et en Espagne (en 1992), en Croatie (en 1994), en Tunisie (en 2000) et en Turquie (en 2006) (Meinesz & Hesse, 1991 ; Meinesz *et al.*, 2001 ; Relini & Torchia, 1992 ; Pou *et al.*, 1993 ; Langar *et al.*, 2000 ; Cevik *et al.*, 2007). Plus de 17 000 hectares de fonds méditerranéens étaient directement concernés, dont plus de 8 610 ha devant les côtes françaises (Cottalorda *et al.*, 2008 a). Cette souche envahissante a également été découverte en Californie et en Australie, en 2000. Elle est considérée par l'*Invasive Species Specialist Group* de l'*IUCN* (*International Union for Conservation of Nature*) comme l'une des 100 espèces envahissantes les plus dommageables à l'environnement mondial (IUCN, 2000).

À Port-Cros, la première découverte de cette Ulvophycée date de 1994. En application d'un principe de précaution, l'objectif clairement affiché par le Parc national de Port-Cros (PNPC) a tout de suite été que les eaux du Parc ne soient jamais colonisées par *C. taxifolia*. Aussi, des stratégies de prospection, des mesures de prévention, de contrôle et de lutte ont-elles été proposées, engagées et adaptées aux situations rencontrées (Robert, 1996 ; Gravez *et al.*, 1998 et 2005 ; Barcelo, 2008).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

A- Choix des zones et des périodes de prospection

La reproduction sexuée de *C. taxifolia* n'a jamais été observée en

Méditerranée, où sa propagation est attribuée à la seule multiplication végétative : fragmentation et dispersion du thalle (Meinesz *et al.*, 1995 ; Carvalho *et al.*, 1998 ; Zuljevic *et al.*, 2000). À partir de sites colonisés et selon le profil des côtes, des fragments de thalles peuvent être disséminés par les courants sur quelques dizaines ou centaines de mètres. Ils sont transportés beaucoup plus loin par les filets et autres engins de pêche et par les systèmes de mouillage (ancres et chaînes) des bateaux qui fréquentent des sites colonisés (Meinesz, 1992). Un thalle peut résister plus d'une semaine hors de l'eau, en milieu humide et en l'absence de lumière directe (Sant *et al.*, 1994), conditions parfois réunies dans un puits d'ancre, un filet de pêcheur ou du matériel de plongée. Ceci explique que *C. taxifolia* puisse se propager par sauts de plusieurs centaines de kilomètres, et qu'on la trouve essentiellement dans des zones de mouillage, de pêche ou dans des ports, selon une distribution et une date d'arrivée aléatoires.

Le PNPC gère l'archipel et les eaux de Port-Cros (1 380 ha d'espace marin et 34 km de côtes) depuis 1963. Située sur la commune de Hyères-les-Palmiers, l'île de Port-Cros est distante de 8 km de la côte provençale. Un fragment de cette souche ne peut donc arriver sur cette île entourée de profondeurs proches de 50 m que par certaines activités : la pêche, la plaisance ou la plongée.

Équipés de bouées de surface, les principaux sites de plongée ne sont plus autorisés au mouillage, ni à la pêche. Régulièrement fréquentés, ils ne nécessitent pas de surveillance supplémentaire. Pêcheurs, plongeurs et décideurs sont périodiquement informés et sensibilisés sur les risques de propagation de *C. taxifolia*, sur les mesures préventives recommandées et sur les réglementations et mesures de gestion mises en place dans le Parc (Cottalorda *et al.*, 1998 et 2001 ; Boudouresque *et al.*, 2004 ; Francour *et al.*, 2006). Ces informations sont transmises en particulier lors de réunions, d'études ou à l'occasion de la signature, chaque année, de la *Charte de plongée sous-marine* ou de la *Charte de partenariat de la pêche professionnelle dans les eaux du PNPC*. Le principal facteur de dissémination de *C. taxifolia* reste donc le mouillage des bateaux de plaisance.

Dès 1992, les agents du PNPC ont vérifié en plongée une partie des zones de mouillage. Depuis 1994, une mission annuelle est organisée avec beaucoup plus de moyens humains et logistiques, grâce à l'aide de structures de plongée volontaires. Les principales zones de mouillage (Fig. 1) où les risques d'introduction et de développement de *C. taxifolia* sont statistiquement les plus forts font l'objet de prospections systématiques, en particulier dans les 30 premiers mètres de profondeur (Robert, 1996). Dans cette tranche bathymétrique, le développement de *C. taxifolia* est beaucoup plus rapide qu'en profondeur (Komatsu *et al.*, 1994 et 1997). Correspondant aux profondeurs de mouillage des petites unités (principaux vecteurs de *C. taxifolia*), ces petits fonds

présentent l'avantage de permettre des durées de prospections en plongée importantes, pour des temps de palier à respecter raisonnables.

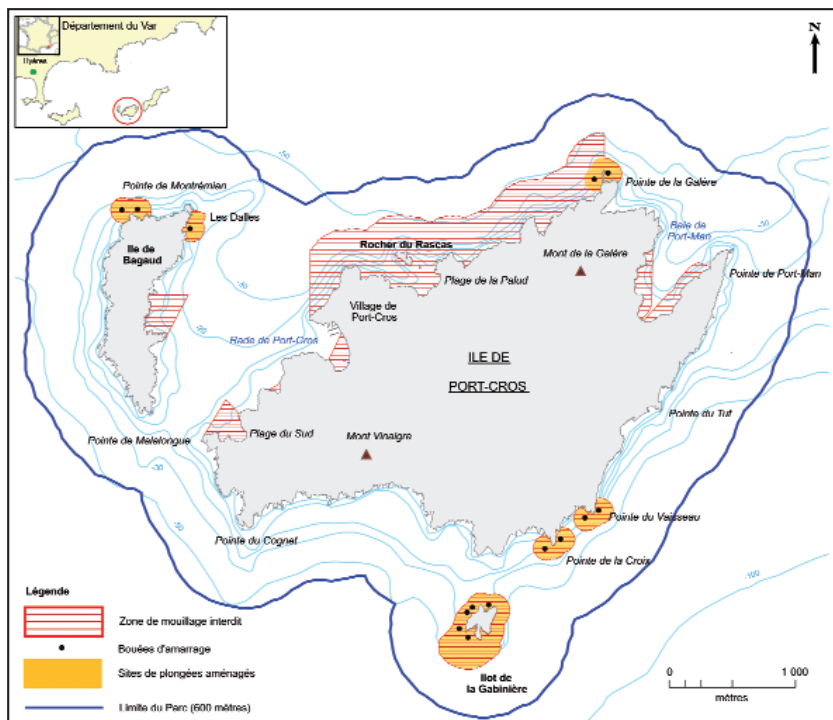


Figure 1. Bathymétrie des eaux du Parc national de Port-Cros, localisation des zones de mouillage interdit et des sites de plongée.

Un effort particulier est réalisé au niveau de la Baie de Port-Man. Premier site de Port-Cros colonisé par *C. taxifolia*, cette zone protégée du vent d'ouest accueille périodiquement plus de 100 embarcations par jour en été. Très prisée des plaisanciers, cette baie n'est pas équipée de bouées d'amarrage. Elle concentre donc à elle seule un risque de colonisation élevé. De nouvelles boutures sont susceptibles d'y être introduites chaque année à partir de bateaux ayant préalablement mouillé leurs ancres et chaînes dans un lieu colonisé. Cette pression de mouillage intense agit de plus de façon directe sur la colonisation des fonds. Chaînes et ancres peuvent arracher les boutures non repérées ou nouvellement installées, au risque de générer des fragments, pouvant à leur tour initier de nouveaux foyers d'invasion. Composé de matie morte ou de sable vaseux, le fond de l'anse est propice au développement rapide de *C. taxifolia*.

Par rotation, les sites de mouillage moins fréquentés font l'objet de prospections sous-marines tous les 2 à 3 ans. Au total, plus de 20 % du territoire marin de l'île sont ainsi finement inspectés chaque année,

dont les principales zones de mouillage. Des prospections complémentaires sont assurées par les agents du Parc, les apnéistes et plongeurs du GEM (*Groupe d'Etude du Mérou*), ou à l'occasion d'autres missions scientifiques sous-marines.

Période et effort de prospection : l'installation et le développement de boutures de *C. taxifolia* au début de l'été peut engendrer des colonies de plus de 0,5 m² en automne (Komatsu *et al.*, 1994 et 1997 ; Hill *et al.*, 1995, 1996 et 2002 ; Coquillard & Vaugelas, 1997). Facilement repérables, ces petites colonies d'un vert caractéristique ne représentent pas encore de réelle menace pour le milieu.

D'abord réalisée en novembre, cette opération de prospection dans les eaux de Port-Cros se déroule désormais chaque première semaine d'octobre. Les plongeurs et structures de plongée volontaires peuvent ainsi s'organiser à l'avance. À cette période, leur disponibilité est plus grande, les conditions de mer encore clémentes, la fréquentation nautique faible et les agents du Parc moins occupés à gérer l'afflux de la saison touristique. En automne, les feuilles de l'herbier de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile sont également plus courtes, ce qui permet un repérage plus facile de *C. taxifolia*.

B- Prospection et signalement des colonies

Depuis 1994, 30 à 60 plongeurs sous-marins sont mobilisés chaque année durant 3 à 5 jours sur Port-Cros. Pour des questions d'expérience et de sécurité, tous sont expérimentés (niveau III FFESSM, minimum). Plusieurs bateaux sont nécessaires. Cette logistique de surface assure le transport, la mise à l'eau, la sécurité des palanquées, prévient et écarte si nécessaire les plaisanciers. Elle identifie et repère les zones prospectées et les éventuelles colonies de *C. taxifolia* (signalées en surface par des flotteurs) à l'aide d'un GPS, puis récupère plongeurs et matériel.

Espacés de 5 m, les plongeurs se positionnent sur un filin gradué déroulé et tendu en surface. Une fois la ligne en position et avant immersion, le cap à suivre est choisi en fonction de la zone à prospecter, des profondeurs et du courant dominant. Il est suivi par les plongeurs munis de boussoles, répartis aux extrémités et en milieu de ligne (photos 1 et 2). La juxtaposition de plusieurs lignes de 10 à 12 plongeurs est possible, mais nécessite une expérience encore plus importante des participants et une progression selon des caps et vitesses parfaitement ajustés.

Sous l'eau, la prospection s'effectue la plupart du temps perpendiculairement à la ligne. Les plongeurs se déplacent en palmant lentement, 2 m environ au-dessus du fond (Robert, 1996 ; Robert et Gravez, 1998), en général depuis le large vers la côte ou parallèlement à celle-ci. L'espacement des plongeurs et leur distance par rapport au substrat peuvent être ajustés si les conditions de prospection le nécessitent : mauvaise visibilité, substrat accidenté, herbier dense ou risque de présence de boutures de seulement quelques centimètres.



Photos 1 et 2 : lignes de plongeurs prospectant les fonds à la recherche de *Caulerpa taxifolia*.

Le filin sert également de moyen de communication entre plongeurs. Les procédures de départ et d'arrêt des lignes, de reprise du cheminement, d'arrêt de la prospection, de sécurité (remontée de binômes de plongeurs en cas de problème) sont codifiées et connues de chacun. Selon l'étendue de la zone à prospecter, un expert, muni d'un engin sous-marin motorisé (locoplongeur), est parfois placé en retrait de la ligne. Il peut ainsi corriger son alignement, vérifier un signalement ou aider à son balisage.

Lorsqu'une colonie de *C. taxifolia* est découverte, la progression de la ligne est arrêtée. Après vérification, un plongeur balise la tache au moyen d'un « galitot », constitué d'une tige en inox et d'un filin (de longueur supérieure à la profondeur maximale de la zone prospectée), enroulé autour d'un flotteur (photo 3). La tige en inox est plantée dans le substrat, en arrière de la ligne de prospection afin de ne pas gêner sa progression, et à quelques dizaines de centimètres de *C. taxifolia*, pour éviter tout contact et tout risque de dispersion. La remontée du flotteur entraîne le filin de signalisation en surface. La ligne de plongeurs reprend alors sa progression. Si plusieurs boutures ou colonies sont repérées à proximité immédiate les unes des autres, seule l'une d'elles est signalée en surface. Les autres sont balisées par des plaquettes de jardinier en plastique jaune (photo 4), dont sont également munis les plongeurs.

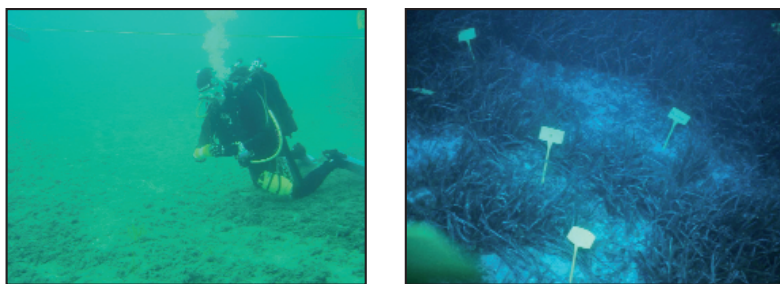


Photo 3 (à gauche) : mise en place d'un « galitot » pour repérer une colonie de *Caulerpa taxifolia*.

Photo 4 (à droite) : balisage de chaque thalle de *Caulerpa taxifolia* par des plaquettes de jardinier.

Filins et flotteurs sont ensuite retendus à la verticale des colonies balisées et un point GPS est soigneusement noté par les équipes de surface. Il permettra de positionner les colonies sur des cartes, de retrouver les zones afin d'éradiquer la ou les colonies découvertes, puis de vérifier l'efficacité de ces opérations lors des nécessaires retours sur sites.

Les stratégies de repérage sont adaptées en fonction des situations rencontrées. En 2006, des repousses parfois inférieures au centimètre se développaient dans la Baie de Port-Man sur des centaines de mètres carrés. Pendant 4 jours, les plongeurs ont quadrillé la zone en tous sens, selon des déplacements circulaires, par binômes, avec des intervalles entre plongeurs alignés réduits, des vitesses lentes et des déplacements plus proches du sol. La zone a ainsi été prospectée de façon fine et répétée, selon des caps différents, pour repérer des colonies parfois invisibles selon les angles de vision et la lumière.

En présence de tapis de feuilles mortes de *P. oceanica*, la prospection est réalisée très près du sol pour distinguer les petites boutures de *C. taxifolia* et déplacer les feuilles avec l'agitation de l'eau par les palmes. Les passages successifs dégagent de nouvelles zones, permettant de repérer des boutures auparavant invisibles.

C- Principales méthodes de contrôle et d'éradication

L'élimination des boutures et colonies est réalisée, après les opérations de prospection, de repérage et de positionnement, par des plongeurs professionnels titulaires d'un Certificat d'Aptitude à l'Hyperbarie (CAH délivré par le Ministère du Travail). En effet, cette opération ne correspond pas à une simple exploration comme lors du repérage de *C. taxifolia*, et seuls ces derniers sont autorisés à réaliser un travail sous-marin.

Lorsque *C. taxifolia* faisait l'objet d'une réglementation (Arrêté du 4 mars 1993 relatif à la lutte contre cette espèce), une autorisation d'éradication était demandée au Préfet du Var.

Précautions préalables : en cas de conditions difficiles (courant ; visibilité, logistique ou sécurité non optimale), ces opérations sont reportées à des situations plus propices. Une bouée installée par le PNPC interdit alors temporairement le mouillage au niveau de la zone d'éradication.

L'immersion s'effectue sur l'emplacement balisé en surface. Avant éradication, les eaux sont encore claires et une prospection fine est effectuée autour de la zone à traiter, afin de repérer d'éventuelles boutures non balisées. Un piquet de jardinier est planté à proximité de chaque thalle ou colonie de *C. taxifolia*, et en particulier au niveau des boutures les plus petites. Avant tout déplacement et toute opération d'éradication, les plongeurs vérifient qu'eux-mêmes ou leurs mouvements ne risquent à aucun moment d'engendrer un contact avec *C. taxifolia* ou de mettre

en suspension des fragments de celle-ci ou du sédiment. À proximité du fond, les plongeurs adoptent ainsi une flottabilité positive. Les opérations peuvent être momentanément arrêtées lorsque la visibilité n'est plus optimale.

Méthodes d'élimination : différentes méthodes sont utilisées, seules ou en complément, selon le type de substrat concerné et la taille de la surface colonisée. Moins visibles et plus difficiles à retrouver, les boutures périphériques et les thalles isolés sont éliminés avant les colonies de plus grande dimension.

1) Le découpage manuel

Il consiste en un découpage au couteau du support meuble sur lequel se développe *C. taxifolia*. Cette méthode permet une élimination des colonies avec le substrat sur lequel elles se développent (Avon *et al.*, 1996 ; Cottalorda *et al.*, 1996 ; Robert & Gravez, 1998). Adaptée à des surfaces colonisées inférieures à 2 ou 3 m², sur matre morte, herbier clairsemé, sable ou vase, elle est pratiquée jusqu'à une trentaine de mètres de profondeur. Au-delà, le temps de travail nécessaire engendre des temps de saturation et de paliers de sécurité trop longs.

Au moins 2 plongeurs expérimentés sont nécessaires. Le premier est muni d'un couteau-scie (ou couteau à pain). D'une longueur supérieure à une vingtaine de cm, la lame dentée découpe plus facilement le substrat meuble (photo 5). Attentif à ses gestes, le second plongeur tient un sac de type filet à maille très fine. L'eau peut ainsi s'en échapper, sans entraîner de fragments de *C. taxifolia* comme cela peut se produire lors de la fermeture d'un sac étanche. Dès qu'une partie du substrat, découpé sur une épaisseur de 6 à 10 cm, est soulevée avec le ou les thalles qui s'y développent par le premier plongeur (photo 6), le second ouvre le filet. Il le remonte lentement lorsque les éléments découpés y sont déposés, puis le referme d'un léger mouvement ascendant, sans rien laisser échapper. Cette opération est reproduite jusqu'à élimination totale de *C. taxifolia* et de son support.



Photos 5 et 6 : élimination d'une colonie de *Caulerpa taxifolia* par découpage manuel.

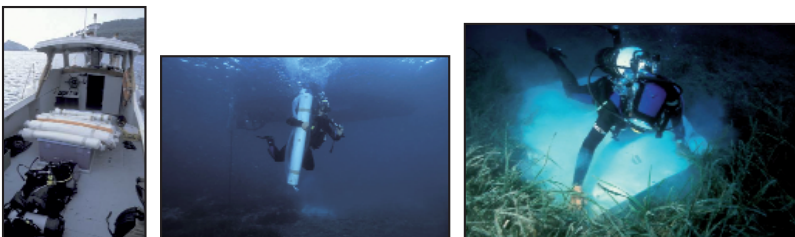
Pour ces opérations, les plongeurs continuent à adopter une flottabilité positive ou au contraire sont sur-lestés afin de travailler sans

bouger du substrat sur lequel ils sont calés. Ils vérifient ensuite qu'aucun fragment ou bouture de *C. taxifolia* n'a été oublié sur le site. Remonté(s) sur une embarcation, le ou les filets à maille très fine contenant la récolte sont déposés dans une caisse fermée, protégée contre d'éventuels renversements. À terre, frondes et stolons, séparés de leur support, sont éventuellement mesurés afin d'obtenir des données sur le développement de l'algue. La totalité de la récolte est ensuite éliminée dans une poubelle à terre.

2) Les méthodes au cuivre

Les couvertures chargées d'ions cuivre (procédé Gavach) ou l'électrolyse (procédé Jaffrenou) sont utilisées dans le cas de surfaces colonisées profondes ou de taille supérieure à 1 m², sur des sites rocheux, au milieu d'intermattes ou d'herbiers de phanérogames marines clairsemés. Ces méthodes (Gavach *et al.*, 1996 ; Jaffrenou & Oddone, 1996) permettent de détruire des colonies de *C. taxifolia* directement sur leur lieu de développement (Avon *et al.*, 1996).

Les couvertures au cuivre sont plus particulièrement utilisées lorsque la surface colonisée et/ou la nature du fond ne permet pas le découpage du substrat. Elles sont découpées à la dimension souhaitée (généralement 1,5 à 3 m²) pour couvrir une surface supérieure à celle à traiter. Avant immersion, elles sont chargées en sulfate de cuivre (puissant algicide) à l'aide d'un asperseur. Roulées puis entourées d'un film plastique, elles sont ensuite facilement transportées jusqu'à la zone colonisée à traiter (photos 7 et 8). Une fois l'enveloppe plastique retirée, elles sont déroulées et la face chargée en cuivre est placée sur la surface colonisée (photo 9). Plusieurs bâches peuvent être utilisées sur un même site. Bien que de flottabilité négative, un lestage complémentaire (plombs ou blocs de roche) peut être ajouté afin d'éviter tout risque de déplacement. Les couvertures sont laissées en place 3 h, durée nécessaire à la métabolisation du sulfate de cuivre par *C. taxifolia*. Lors de la plongée de récupération des équipements, *C. taxifolia* apparaît blanchie. La destruction ne sera complète qu'au moment de l'activité photosynthétique.



Photos 7, 8 et 9 : élimination d'une colonie de *Caulerpa taxifolia* à l'aide de couvertures au cuivre.

Cette technique présente l'avantage d'être rapide ce qui permet aux plongeurs de réduire leurs temps de palier. Elle nécessite toutefois 2 plongées espacées d'au moins 3 h : une pour poser la couverture, l'autre pour la retirer et la remonter en surface. Toute vie algale est supprimée sous la couverture, mais, à l'exception de *C. taxifolia*, le milieu présente une diversité algale identique six mois après l'opération, du fait du réensemencement par les peuplements proches. Aucun effet négatif identifiable n'est observé sur les phanérogames marines (*Posidonia oceanica* en particulier), ni sur les invertébrés présents sur ou à l'intérieur du substrat meuble, à condition que le temps d'action de la couverture reste de l'ordre de 3 h (Gavach *et al.*, 2001).

D- Nécessité des retours sur sites

D'autres méthodes physico-chimiques existent, mais elles sont moins ou pas du tout utilisées par le PNPC. Quelle que soit celle employée, de petits morceaux de *C. taxifolia* (enfouis, non détruits, non éliminés avec le substrat ou sur lesquels l'algicide n'a pas suffisamment agi) peuvent donner des boutures capables de se développer. Des retours sur site, quelques mois après, sont donc absolument nécessaires afin d'éliminer les repousses éventuelles avec soin. Le positionnement GPS ou des repères à terre précis (amers) et les plaquettes laissées en place permettent de retrouver exactement les sites traités. Datées, ces plaquettes ne seront enlevées qu'après au moins une année de surveillance sans aucune reprise de boutures.

RÉSULTATS

Niveaux de colonisation : dans leur standardisation internationale de l'évaluation cartographique de *C. taxifolia*, Vaugelas *et al.* (1999) décrivent trois niveaux croissants de colonisation (I, II et III), en fonction de l'étendue et du recouvrement des surfaces colonisées. Le niveau I correspond à de petites zones colonisées (< 1000 m² couverts). Le niveau III concerne de vastes étendues colonisées sur lesquelles de multiples points de colonisation plus ou moins contigus (> 1000 m² couverts) sont observés sur plus de 10 hectares.

A- Situation à Port-Cros

C. taxifolia a été éradiquée avec succès au niveau de Calanque Longue et entre les pointes du Tuf et du Vaisseau, entre 1996 et 2000. Dans la Baie de Port-Man, les 2 premiers mètres carrés découverts et éradiqués en 1994 (Cottalorda *et al.*, 1996) n'ont jamais fait l'objet d'aucune repousse sur le site balisé, ni aux alentours immédiats. Plus loin, des dizaines de boutures et colonies ont par contre été découvertes et éradiquées entre 1996 et 2008. Au total, plusieurs dizaines de mètres carrés

colonisés ont ainsi été traités avec succès (Robert, 2002 a et b, 2005 ; Houard, 2006 et 2008 ; Cottalorda *et al.*, 2008 a), et plus aucune repousse n'a été observée en octobre 2009 sur les sites éradiqués les années précédentes.

Un nouveau site colonisé distant de plusieurs dizaines de mètres des colonies précédemment répertoriées a toutefois été découvert par 15 m de fond en 2009 à Port-Man. La configuration observée (une colonie de 0,5 m² et 6 thalles isolés) correspondait au développement et à la fragmentation d'une bouture amenée par le système d'ancrage d'un bateau avant la saison estivale 2009. Cette découverte montre à nouveau, s'il en était besoin, que la Baie de Port-Man doit toujours être considérée comme une zone à fort risque de colonisation. Dans l'attente du résultat de l'éradication réalisée, ce site est répertorié comme zone colonisée de niveau I.

Depuis 2003, quelques dizaines de mètres carrés de *C. taxifolia* se développent dans l'Anse du port Avis (île du Levant). La Baie de Port-Man est située à quelques centaines de mètres seulement de ce foyer de colonisation, en aval de la courantologie dominante. Pour lutter contre cette menace, le PNPC assiste périodiquement le *Centre d'Essai de Lancement de Missiles* dans le contrôle de *C. taxifolia* au niveau des zones colonisées du Levant.

B- Situation à Porquerolles

La première signalisation de *C. taxifolia* date de 1995. L'implication beaucoup plus récente de l'action du Parc en mer sur cette île n'a pas permis de proposer un objectif aussi ambitieux qu'à Port-Cros. Porquerolles est beaucoup plus proche des côtes continentales que Port-Cros ou Le Levant. Les fonds sous-marins y sont moins profonds, plus plats (Fig. 2). Les pratiques des usagers de la mer y sont également différentes (fréquentation en bateaux encore plus forte, autorisation de la pêche au gangui). Les zones du Cap des Mèdes au port de Porquerolles et de la Pointe du Gros Baou à l'Anse de la Galère présentent ainsi un niveau III de colonisation. La prospection des eaux de Porquerolles est programmée sur 3 jours, à la fin de la semaine d'octobre suivant l'opération annuelle de Port-Cros. Les plongeurs peuvent ainsi participer à l'une et/ou l'autre de ces opérations. Sur cette île, les prospections sont effectuées en plongée scaphandre mais également en apnée, afin de s'adapter au niveau de colonisation beaucoup plus élevé du site et aux petites profondeurs. De petites colonies et boutures sont en effet régulièrement découvertes dans moins de 5 m d'eau. Mobilisant une logistique moindre, pour des durées de prospections au total plus importante qu'en plongée scaphandre, une équipe indépendante de 3 à 6 apnéistes vérifie les zones littorales peu profondes, le long des côtes très découpées. Quatre zones (Est Pointe des Gabians, Port des Anges, Calanque des Salins et entrée de la Baie du Langoustier) sont en revanche *a priori* déclarées exemptes de *C. taxifo-*

lia du fait des opérations de prospection annuelle et des éradication réussies des rares boutures découvertes (Lefebvre, 2005, 2006 et 2007 ; Cottalorda et al., 2008 a). Outre leurs valeurs patrimoniales, les sites des Mèdes et du Langoustier présentent un intérêt socio-économique majeur pour la plongée et doivent de ce fait être préservés, de même que la zone « sanctuaire » située au Sud-Est de Porquerolles (interdite au mouillage, à la plongée et à la pêche de loisir depuis 2006). D'autres efforts sont réalisés, notamment pour les colonies repérées au sud de l'île. Bien qu'engagé sur aucun objectif précis à travers ces opérations, le Parc ralentit considérablement la progression de cette Caulerpe dans ces zones.

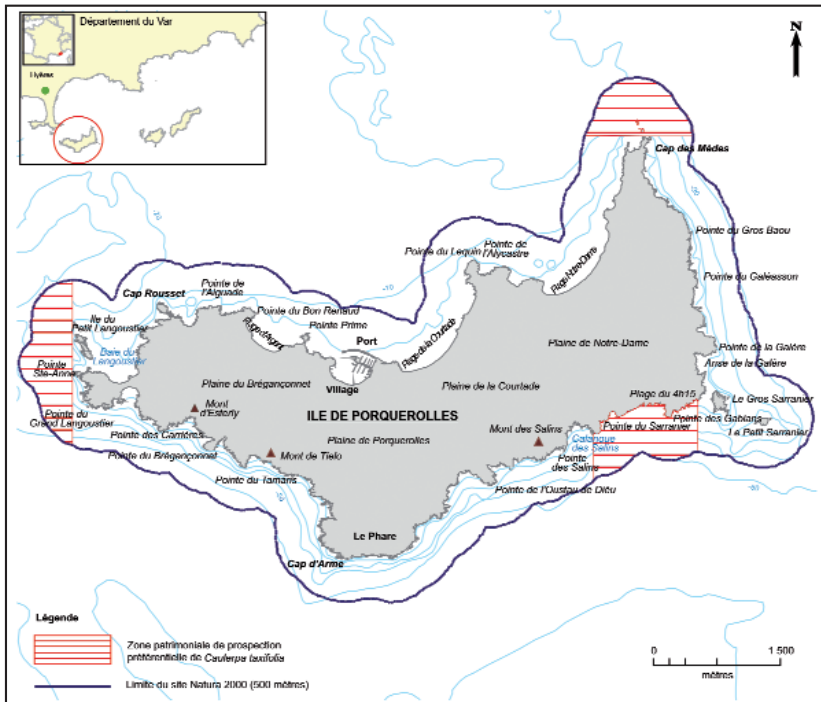


Figure 2. Bathymétrie des eaux du site Natura 2000 de Porquerolles et localisation des zones patrimoniales de prospection préférentielle de *Caulerpa taxifolia*.

DISCUSSION

A- Moyens humains et financiers

Les stratégies de prospection et de lutte mises en œuvre à Port-Cros sont différentes et en perpétuelle adaptation depuis 1994. Une collaboration étroite est maintenue entre le PNPC et une équipe de recherche de l'Université Nice Sophia Antipolis. Un biologiste marin intervient depuis 1994 dans le suivi scientifique et la coordination de l'opération. L'expertise de ce laboratoire (E.A. 4228 ECOMERS, ex-Laboratoire Environnement Marin Littoral) et son expérience sur *C. taxifolia* constituent une force de proposition sur les stratégies et les

méthodologies mises en œuvre. Un appui complémentaire est apporté par les cadres de l'opération. Plongeurs de structures de plongée ou agents du PNPC ayant l'expérience de cette opération annuelle, ils sont capables d'orienter la façon de travailler en fonction des conditions et des besoins rencontrés. La coordination globale de la mission est assurée par un agent du Parc qui prend en compte les suggestions, répartit les rôles et adapte les stratégies.

Les 30 à 60 plongeurs de loisirs mobilisés participent bénévolement à ces opérations, sur leurs congés ou leur temps libre. Une partie des clubs de plongée signataires de la Charte de plongée dans le Parc sont présents. Ils expriment ainsi une partie de leur engagement actif dans ce partenariat, mais aussi dans leur concours à la logistique de l'opération (mise à disposition de pilotes, supports nautiques et matériel de plongée), ne facturant pour la plupart que le carburant. Sur Port-Cros, le gonflage est offert par le centre de plongée local. Le Parc prend en charge l'hébergement et la restauration des participants (part la plus élevée du budget) durant l'ensemble de la mission, et les frais inhérents à sa logistique et à son personnel. Au total, malgré l'importance de la logistique et des efforts humains déployés, le budget nécessaire à ces opérations de prospection et de contrôle de *C. taxifolia* sur Port-Cros et Porquerolles demeure très limité : de l'ordre de 13 000 euros par an. Sollicité auprès de partenaires financiers externes, ce budget est environ 3 à 5 fois plus faible que le coût réel de la mission, du fait du caractère bénévole, des partenariats internes et de la non répercussion de la plupart des coûts de fonctionnement.

B- Mission intermédiaire avant la saison estivale

Depuis 2007, une mission intermédiaire d'une journée est également planifiée en juin sur la Baie de Port-Man. Complémentaire de la prospection annuelle d'automne, beaucoup plus légère au niveau logistique, cette opération de retour sur le(s) site(s) éradiqué(s) au mois d'octobre précédent ne regroupe que 8 à 10 plongeurs professionnels. Son objectif est de repérer et d'éliminer d'éventuelles reprises de boutures, avant l'été et le retour en nombre de bateaux susceptibles de les disséminer avec leurs ancres et chaînes.

Les missions de juin 2007, 2008 et 2009 ont été particulièrement utiles et efficaces. Des dizaines de « départs de feux » ont été arrêtés et la situation de la colonisation sur Port-Man s'est ainsi très largement améliorée. En octobre 2008, seule une dizaine de boutures a ainsi été retrouvée en deux points de la baie : l'un à 24 m, l'autre à 28 m de profondeur. Toutes ont soigneusement été éradiquées et, en juin et octobre 2009, puis en juin 2010, aucune présence de *C. taxifolia* n'a été observée sur les zones éradiquées (matérialisées par des piquets laissés en place) ni aux alentours.

C- Exemple de difficultés rencontrées

- Mise en place d'une zone de mouillage interdit

Parmi les mesures envisagées à l'issue de la mission d'octobre 2006, une zone de mouillage interdit, matérialisée par une ligne d'eau en surface, devait être laissée en place au niveau de la zone colonisée de Port-Man. Cette mesure nécessitait l'accord des pêcheurs professionnels, des plongeurs et des habitants de l'île (tous favorables) et les avis positifs du Conseil scientifique et du Conseil d'Administration du Parc. La décision a été intégrée dans la réglementation du Parc déclinée annuellement par un arrêté préfectoral. Un dossier technique sur l'élaboration et la mise en place du marché public a été réalisé. Plus de huit mois ont été nécessaires pour franchir l'ensemble de ces étapes. La lourdeur administrative et les délais de décision constituent donc un frein sérieux pour la lutte contre *C. taxifolia*. Un des facteurs clef de la réussite de la lutte contre cette Caulerpe envahissante est ainsi lié à la réactivité du gestionnaire confronté au problème et à sa capacité à mettre rapidement en œuvre les mesures décidées. En juin 2007, aucune trace de *C. taxifolia* n'a (heureusement) été retrouvée dans la zone : les éradications d'octobre avaient réussi. Le projet d'installation de la zone de mouillage interdit a donc été abandonné avant la fin de la procédure.

- Progression de *Caulerpa racemosa*

Caulerpa racemosa (Forsskal) J. Agardh var. *cylindracea* (Sonder) Verlaque, Huisman et Boudouresque est une variété de *C. racemosa* originaire de régions tempérées et subtropicales du sud-ouest australien. Cette autre souche de Caulerpale, à développement encore plus rapide, a également un comportement envahissant depuis son introduction en Méditerranée (Verlaque *et al.*, 2000, 2003 et 2005 ; Piazzini *et al.*, 2005 ; Ruitton *et al.*, 2005 ; Zuljevic *et al.*, 2005 ; Klein, 2007 ; Klein & Verlaque, 2008). Au moins 14 pays méditerranéens sont directement concernés (Cottalorda *et al.*, 2008 a & b). En Méditerranée, *C. racemosa* se multiplie de façon végétative comme *C. taxifolia*. Cependant, à la différence de celle-ci, elle peut également se disséminer par reproduction sexuée (Zuljevic *et al.*, 2000). Émis en pleine eau, les œufs partent avec les courants avant de tomber sur un substrat favorable à leur développement. L'arrivée de nouvelles boutures est donc absolument impossible à maîtriser et toute technique de lutte contre cette autre Caulerpe envahissante est malheureusement inutile.

Observée à Port-Cros à partir de 2001 à la Pointe du Vaisseau et de 2002 à la Gabinière, *C. racemosa* a été découverte en 2004 à Port-Man (Cottalorda *et al.*, 2008 a). Elle a depuis envahi de vastes étendues de cette baie. La forte similitude de *C. racemosa* avec *C. taxifolia* à certaines périodes et selon certains éclairages rend le repérage de cette dernière plus difficile pour les plongeurs. De plus, l'invasion par *C. race-*

mosa démobilise certains d'entre eux qui ont plus de difficultés à comprendre l'effort consacré à la seule maîtrise de *C. taxifolia*. Malgré l'impuissance de toute action face à *C. racemosa*, l'effort porté contre *C. taxifolia* doit être maintenu parce qu'il a montré son efficacité, que les impacts de ces deux envahissantes sont différents et que le devenir de leurs expansions respectives est encore incertain.

D- Une référence nationale et internationale. Des outils d'aides à la décision

Port-Cros représente un site atelier pilote de prospection et d'éradication sur lequel il importe de maintenir un effort soutenu. Régulièrement, de nouveaux plongeurs viennent se joindre à l'équipe afin d'expérimenter les méthodes et de les utiliser sur d'autres zones du littoral, comme au Pradet, à l'Observatoire marin du Littoral des Maures et à Ste-Maxime (dans le Var) ou en Corse. Le Parc national est d'ailleurs partenaire et soutien logistique des opérations menées au Pradet et membre du *Réseau Caulerpes Corse*. Destinée à des gestionnaires d'espaces marins, la fiche de synthèse ci-après (Fig. 3) a ainsi été établie comme un outil d'aide à la décision dans la stratégie de lutte contre *C. taxifolia*.

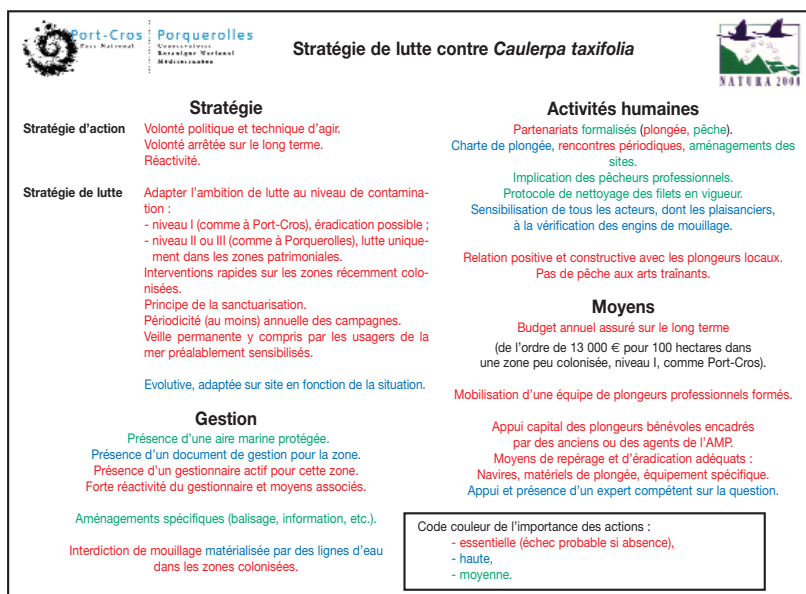


Figure 3. Stratégie de lutte contre *Caulerpa taxifolia*.

Le succès de cette opération de gestion de problème d'espèce marine envahissante représente également une référence internationale. Des échanges d'expériences réguliers sont ou ont en particulier été réalisés avec des gestionnaires ou scientifiques de Croatie, du

Portugal (Açores), d'Espagne, de Malte, du Japon ou des Etats-Unis, plus ou moins directement confrontés aux mêmes problèmes. Cette opération, ses enseignements et ses résultats sont régulièrement relayés et valorisés par les médias et les gestionnaires (Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse et Ministères).

CONCLUSION

Ces opérations annuelles systématiques ont été organisées et développées à l'initiative de gestionnaires du PNPC, dans le cadre d'une politique volontaire du Parc, en partenariat étroit avec des plongeurs confirmés et des biologistes universitaires. Depuis 1994, ces confrontations et mutualisation d'expériences et de compétences permettent de gérer les risques d'expansion de cette souche invasive dans les eaux du Parc.

Aux niveaux logistique et financier, les stratégies de contrôle et les méthodes d'éradication utilisées ne sont efficaces et ne peuvent raisonnablement être employées que pour des surfaces colonisées inférieures à quelques dizaines de mètres carrés. Il est donc indispensable, d'une part, d'adopter une stratégie visant à ralentir la dissémination à distance (sensibilisation, prévention, communication, installation de mouillages permanents, gestion de zones de pêche et de mouillage) et, d'autre part, d'intervenir de manière précoce sur les colonies nouvellement implantées. Les prospections annuelles systématiques s'avèrent à ce titre indispensables. Une stratégie de contrôle efficace de l'expansion de *C. taxifolia* ne peut en effet être bâtie sur le seul hasard de signalisations inopinées. La découverte répétitive de thalles et de colonies de *C. taxifolia*, mais également leur traitement avec succès, soulignent la nécessité de pérenniser ces campagnes annuelles de prospection et de contrôle.

De nouvelles boutures de l'algue sont susceptibles d'être introduites chaque année dans les eaux gérées par le PNPC. En fonction de la situation rencontrée en juin et/ou en octobre précédent, l'effort de prospection peut être adapté et ne pas être d'égale importance chaque année. Il est cependant nécessaire de le poursuivre si l'on veut pouvoir continuer à trouver et traiter d'éventuelles nouvelles colonies à un stade de développement encore précoce. Seul ce type d'opérations permet de maintenir les eaux de Port-Cros sous contrôle. La lutte immédiate et volontaire par rapport à un foyer de colonisation peu étendu représente la première clef de réussite pour le maintien de zones exemptes de *C. taxifolia*. La seconde semble être l'adéquation durable et proportionnée des moyens engagés dans la lutte. Jusqu'à ce jour, les opérations de prospection annuelles et les éradications successives ont très clairement permis de contrôler et d'empêcher la progression de *C. taxifolia*

dans les eaux de Port-Cros. Ces deux clefs ont également été appliquées à Porquerolles pour parvenir à maintenir exemptes de *C. taxifolia* certaines zones patrimoniales.

Depuis de nombreuses années, cette gestion d'une espèce marine envahissante représente une référence, régulièrement valorisée, au nom de laquelle il importe de maintenir un effort, des moyens et un engagement soutenus. Port-Cros représente un site expérimental pilote et symbolique, mais également une référence nationale et internationale, aussi bien pour les gestionnaires, les politiques et les décideurs, que pour les médias et les scientifiques. Cette opération démontre qu'avec un budget annuel raisonnable et une mobilisation efficace des plongeurs et clubs locaux, une action rapide, proportionnée et durable contre une espèce envahissante est susceptible de se transformer en succès, à condition qu'une institution ou une autorité (maître d'œuvre) en ait la volonté et qu'elle s'entoure de compétences et d'experts complémentaires.

Remerciements. Nous tenons à remercier l'ensemble des participants et partenaires de ces opérations : plongeurs bénévoles, structures de plongée associatives et professionnelles signataires de la *Charte de plongée dans les eaux du Parc*, agents et Conseil scientifique du PNPC, Université Nice Sophia Antipolis (EA 4228 ECOMERS, ex-Laboratoire *Environnement Marin Littoral*), D^r Sophie Richier, Fondation Total et Natura 2000, DREAL PACA et DDTM.

Crédits photos : Jean-Michel Cottalorda, Thierry Houard et Philippe Robert.

Cartographie : Marie Clap.

RÉFÉRENCES

AVON M., DIMEET J., HENOCQUE Y., SAUZADE D., SKIERNIEWSKI E., 1996. Eradication de l'algue *Caulerpa taxifolia*. Démonstration des performances des techniques de destruction *in situ*. Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. Ribera M. A., Ballesteros E., Boudouresque C.-F., Gomez A., Gravez V. (eds), Publicacions Universitat Barcelona, 1996 : 135-138.

BARCELO A., 2008. Application de la stratégie de lutte contre l'espèce *Caulerpa taxifolia* de 2005 à 2007 à Port-Cros et à Porquerolles. Rapport Parc national de Port-Cros: 1-19.

BELLAN-SANTINI D., ARNAUD P.M., BELLAN G., VERLAQUE M., 1996. The influence of the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia*, on the biodiversity of the Mediterranean marine biota. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 76: 235-237.

BOUDOURESQUE C.-F., MEINESZ A., RIBERA M.A., BALLESTEROS E. 1995. Spread of the green alga *Caulerpa taxifolia* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean: consequences of a major ecological event. *Scienca Marina* 59: 21-29.

BOUDOURESQUE C.-F., LEMEE R., MARI X., MEINESZ A., 1996. The invasive alga *Caulerpa taxifolia* is not a suitable diet for the sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Aquatic Botany*, 53: 245-250.

BOUDOURESQUE C.-F., MEINESZ A., GRAVEZ V., 1997. Scientific documents dealing with the alga *Caulerpa taxifolia* introduced to the Mediterranean. Seventh edition. GIS Posidonie publishers, Marseille, Fr.: 1-47.

BOUDOURESQUE C.-F., VERLAQUE M., 2002. Biological pollution in the Mediterranean Sea: invasive versus introduced macrophytes. *Marine Pollution Bulletin* 44: 32-38.

BOUDOURESQUE C.-F., VERLAQUE M., 2005. Nature conservation, marine protected areas, sustainable development and the flow of invasive species to the Mediterranean Sea. *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park, Fr.*, 21: 29-54.

BOUDOURESQUE C.-F., CADIOU G., GUERIN B., LE DIREACH L., ROBERT Ph., 2004 - Is there a negative interaction between biodiversity conservation and artisanal fishing in a Marine Protected Area, the Port-Cros national Park (France, Mediterranean Sea)? *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park, Fr.*, 20: 147-160.

CARVALHO N., LIDDLE L., CAYE G., MEINESZ A., 1998. Current knowledge on the biological cycle of the genus *Caulerpa* and karyological studies on *Caulerpa taxifolia*. Third International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, Boudouresque C.-F., Meinesz A. and Gravez V. Edits., GIS Posidonie Publ., Fr.: 127-132.

CEVIK C., YOKES M. B., CAVAS L., ERKOL L. I., DERICI O. B., VERLAQUE M., 2007. First report of *Caulerpa taxifolia* (Bryopsidales, Chlorophyta) on the Levantine coast (Turkey, Eastern Mediterranean). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 74: 549-556.

COQUILLARD P., VAUGELAS J. de., 1997. Computer model for invasive species: application to *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh development in the North-Western Mediterranean sea. *Ecological Modelling*.

COTTALORDA J.-M., 1997. Espansione di *Caulerpa taxifolia* nel Mediterraneo: situazione, prospettivo e controllo. Atti del Convegno internazionale "Introduzione di nuove specie nel Mediterraneo e compatibilità con quelli presenti", Cagliari, 28 nov. 1996, COSSU A., MELONI M.M. edit., Poseidon publ., Sardinia, Ital. : 21-33.

COTTALORDA J.-M., ROBERT Ph., CHARBONNEL E., DIMEET J., MENAGER V., TILLMAN M., VAUGELAS J. de, VOLTO E., 1996. Éradication de la colonie de *Caulerpa taxifolia* découverte en 1994 dans les eaux du Parc national de Port-Cros (Var, France). Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. Ribera M.A., Ballesteros E., Boudouresque C.-F., Gomez A. & Gravez V. (eds). Publicacions Universitat Barcelona: 149-155.

COTTALORDA J.-M., GRAVEZ V., ANTOLIC B., ARANDA A., BALLESTEROS E., BOUDOURESQUE C.-F., CASSAR N., CINELLI F., DARDER RIBOT J.-D., ORESTANO C., GRAU JOFRE A., JAKLIN A., MEINESZ A., RODRIGUEZ-PIETRO C., SPAN A., THIBAUT T., VAUGELAS J. de, ZAVODNIK N., ZULJEVIC A., 1998. Second international campaign for public awareness of the *Caulerpa taxifolia* problem. An essential tool to collect cartographic data to slow down the spread of this alga. Third International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. Boudouresque C.-F., Gravez V., Meinesz A. and Palluy F. edit., GIS Posidonie publ., Fr.: 9-16.

COTTALORDA J.-M., MEINESZ A., CHIAVERINI D., VAUGELAS J. de, 2001. Campaigns for public awareness on the *Caulerpa taxifolia* problem. Second International Conference on Marine Bioinvasions (New-Orleans, USA, 9-11 avril 2001).

COTTALORDA J.-M., GRATIOT J., MANNONI P.-A., VAUGELAS J. de, MEINESZ A., 2008 a. Suivi de l'invasion des algues introduites *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa* en Méditerranée : situation devant les côtes françaises au 31 décembre 2007 – E.A. 4228 ECOMERS – Laboratoire Environnement Marin Littoral – Univ. Nice-Sophia Antipolis publ. : 1-42 (+ 96 pages d'annexes).

COTTALORDA J.-M., GRATIOT J., MANNONI P.-A., VAUGELAS J. de, 2008 b. Evaluation cartographique de l'expansion des Caulerpes envahissantes le long du littoral monégasque et de ses parages immédiats (Cap d'Ail - Cap Martin). Campagne 2006-2008. Accord RAMOGE et Univ. Nice-Sophia Antipolis (E.A. 4228 «ECOMERS») publ. : 1-46 (+ Carte au format A0, échelle 1/7 500).

FAMA P., JOUSSON O., ZANINETTI L., MEINESZ A., DINI F., DI GIUSEPPE G., MILAR A.J.K., PAWLOSKI J., 2002. Genetic polymorphism in *Caulerpa taxifolia* (Ulvothyceae) chloroplast DNA revealed by a PCR-based assay of the invasive Mediterranean strain. *J. Evol. Biol.* 15: 618–624.

FRANCOUR P., HARMELIN-VIVIEN M., HARMELIN J.-G., DUCLERC J., 1995. Impact of *Caulerpa taxifolia* colonization on the littoral ichthyofauna of North-Western Mediterranean Sea: preliminary results. *Hydrobiologia*, 300/301, 345-354.

FRANCOUR P., MAGREAU J.-F., MANNONI P.-A., COTTALORDA J.-M., GRATIOT J., 2006. Management guide for Marine Protected Areas of the Mediterranean sea. Permanent Ecological Moorings. Univ. Nice-Sophia Antipolis & Parc National de Port-Cros: 1-68.

GAVACH Cl., SANDEAUX R., SANDEAUX J., SOUARD R., UCHIMURA M., ESCOUBET P., 1996. Technique de destruction de *Caulerpa taxifolia* par émission d'ions cuivrique au moyen d'un panneau à membrane perméable. Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. Ribera M.A., Ballesteros E., Boudouresque C.-F., Gomez A. & Gravez V. (eds). Publicacions Universitat Barcelona: 139-144.

GAVACH Cl., SANDEAUX R., SANDEAUX J., 2001. Can we predict the eco-toxicological effects resulting from the treatment of *Caulerpa taxifolia* by cupric ions? Fourth International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. Gravez V., Ruitton S., Boudouresque C.-F., Le Direac'h L., Meinesz A., Scabbia G. & Verlaque M. (eds). GIS Posidonie publ., Fr., 2001: 270-280.

GRAVEZ V., BOUDOURESQUE C.-F., MEINESZ A., COTTALORDA J.-M., 1998. Eléments pour une stratégie de contrôle de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en région Provence-Alpes-Côte d'Azur. GIS Posidonie & DIREN PACA publ., Fr.: 1-42.

GRAVEZ V., BOUDOURESQUE C.-F., RUITTON S., 2005. Proposition d'une stratégie de contrôle des espèces envahissantes marines dans les eaux du Parc national de Port-Cros, illustrée par le cas de deux espèces de *Caulerpa*. GIS Posidonie et Parc national de Port-Cros publ., Fr : 1-68.

HARMELIN-VIVIEN M., HARMELIN J.-G., FRANCOUR P., 1996. A 3-year study of the littoral fish fauna of sites colonized by *Caulerpa taxifolia* in the N.W. Mediterranean (Menton, France). Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. Ribera M.A., Ballesteros E., Boudouresque C.-F., Gomez A. & Gravez V. edit., Univ. Barcelona Publ., Sp.: 391-397.

HARMELIN-VIVIEN M., FRANCOUR P., HARMELIN J.-G., 1999. Impact of *Caulerpa taxifolia* on Mediterranean fish assemblages: a six year study. UNEP (ed.): Proceedings of the workshop on invasive *Caulerpa* species in the Mediterranean, Heraklion, Crete, Greece, 18-20 March 1998, MTS N° 125, UNEP, Athens: 127-138.

HARMELIN-VIVIEN M., FRANCOUR P., HARMELIN J.-G., LE DIREAC'H L., 2001. Dynamics of fish assemblage alterations caused by the introduced *Caulerpa taxifolia* near Menton (France). In: GIS Posidonie Publ. (ed) Proceedings of the Fourth International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, Lerici, Italy, 1-2 February 2001: 236-245.

HILL D., COQUILLARD P., VAUGELAS J. de, MEINESZ A., 1995. Stochastic model with spatial constraints: simulation of *Caulerpa taxifolia* development in the north Mediterranean sea. Eurosim'95, Breitenacker and Husinsky ed. Elsevier Science B.V.: 999-1004.

HILL D. R. C., COQUILLARD P., VAUGELAS J. de, MEINESZ A., 1996. Simulation sur ordinateur de l'expansion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. Ribera M.A., Ballesteros E., Boudouresque C.-F., Gomez A., Gravez V. edit., Univ. Barcelona Publ., Sp.: 119-127.

HILL D., THIBAUT T., COQUILLARD P., 2002. Predicting invasive species expansion using GIS and simulation coupling. *Modeling & Simulation* 1(1): 30-35.

HOUARD Th., 2006. Mission de recherche de *Caulerpa taxifolia* à Port-Cros du 2 au 6 octobre 2006. Rapport Parc nat. de Port-Cros : 1-6.

- HOUARD Th., 2008. Mission de recherche de *Caulerpa taxifolia* à Port-Cros du 1^{er} au 5 octobre 2007. Rapport Parc nat. de Port-Cros : 1-8.
- IUCN, 2000. 100 of the world's worst invasive species. A selection from the global invasive species database. *Aliens*, 12, special lift-out: 1-12.
- JAFFRENOU B., ODDONE L., 1996. Procédé de maîtrise et de réduction du développement de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. Ribera M.A., Ballesteros E., Boudouresque C.-F., Gomez A. & Gravez V. (eds). Publicacions Universitat Barcelona: 145-148.
- JOUSSON O., PAWLOWSKI J., ZANINETTI L., MEINESZ A., BOUDOURESQUE C.-F., 1998. Molecular evidence for the aquarium origin of the green alga *Caulerpa taxifolia* introduced to the Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series* 172: 275-280.
- JOUSSON O., PAWLOWSKI J., ZANINETTI L., ZECHMAN F.W., DINI F., DI GUISEPPE G., WOODFIELD R., MILLAR A., MEINESZ A., 2000. Invasive alga reaches California. *Nature* 408: 157-158.
- KLEIN J., 2007. Impact de *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Caulerpales, Chlorophyta) sur les communautés macrophytiques en Méditerranée nord-occidentale. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille II, France : 1-315.
- KLEIN J., VERLAQUE M., 2008. The *Caulerpa racemosa* invasion: a critical review. *Marine Pollution Bulletin* 56: 205-225.
- KOMATSU T., MOLENAAR H., BLACHIER J., BUCKLES D., LEMEE R., MEINESZ A., 1994. Premières données sur la croissance des stolons de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. In: Meinez A., Gravez V., Boudouresque C.-F. (Eds.), First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, GIS Posidonie, Marseille, France: 279-283.
- KOMATSU T., MEINESZ A., BUCKLES D., 1997. Temperature and light responses of alga *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series* 146: 145-153.
- LANGAR H., DJELLOULI A., BEN MUSTAPHA K., EL ABED A., 2000. Première signalisation de *Caulerpa taxifolia* en Tunisie. Bulletin de l'Institut National des Sciences et Techniques de la Mer, 27: 1-8.
- LEFEBVRE Cl., 2005. Mission de recherche de *Caulerpa taxifolia* dans les eaux de l'île de Porquerolles, « Pointe du Langoustier ». Rapport Parc national de Port-Cros : 1-16.
- LEFEBVRE Cl., 2006. Mission de recherche de *Caulerpa taxifolia* dans les eaux de l'île de Porquerolles, « Le site du Langoustier ». Rapport Parc national de Port-Cros : 1-21.
- LEFEBVRE Cl., 2007. Mission de recherche de l'algue *Caulerpa taxifolia* dans les eaux de l'île de Porquerolles, « Le site du Langoustier » et autres sites patrimoniaux. Rapport Parc national de Port-Cros : 1-28.
- MEINESZ A., HESSE B., 1991. Introduction et invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée nord-occidentale. *Oceanologica Acta*, 14 (4): 415-426.
- MEINESZ A., 1992. Modes de dissémination de l'algue *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. Rap. Comm. internation. Explor. sci. Médit., 33: B 44
- MEINESZ A., VAUGELAS J. de, HESSE B., MARI X., 1993. Spread of the introduced tropical green alga *Caulerpa taxifolia* in northern Mediterranean waters. *Journal of applied Phycology*, 5: 141-147.
- MEINESZ A., BENICHOUL L., BLACHIER J., KOMATSU T., LEMÉE R., MOLENAAR H., X. MARI, 1995. Variations in the structure, morphology and biomass of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean Sea. *Botanica marina*, 38: 499-508.
- MEINESZ A., BOUDOURESQUE C.-F., 1996. Sur l'origine de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. *C.R. Acad. Sci., Life Sci.*, 319: 603-613.

MEINESZ A., BELSHER T., THIBAUT T., ANTOLIC B., BEN MUSTAPHA K., BOUDOURESQUE C.-F., CHIAVERINI D., CINELLI F., COTTALORDA J.-M., DJELLOULI A., EL ABED A., ORESTANO C., GRAU A. M., IVESA L., JAKLIN A., LANGAR H., MASSUTI-PASCUAL E., PEIRANO A., TUNESI L., VAUGELAS J. de, ZAVODNIK N., ZULJEVIC A., 2001. The introduced green alga *Caulerpa taxifolia* continues to spread in the Mediterranean. *Biological invasions* 3, 201-210.

MEUSNIER I., OLSEN J.L., STAM W.T., DESTOMBE C., VALERO M., 2001. Phylogenetic analyses of *Caulerpa taxifolia* (Chlorophyta) and of its associated bacterial microflora provide clues to the origin of the Mediterranean introduction. *Molecular Ecology* 10: 931-946.

MOLENAAR H., MEINESZ A., THIBAUT T., 2009. Alterations of the structure of *Posidonia oceanica* beds due to the introduced alga *Caulerpa taxifolia*. *Scientia Marina* 73(2): 329-335.

OLSEN J.L., VALERO M., MEUSNIER I., BOELE-BOS S., STAM W.T., 1998. Mediterranean *Caulerpa taxifolia* and *C. mexicana* (Chlorophyta) are not conspecific. *J. Phycol.* 34 : 850-856.

PIAZZI L., CECCHERELLI G., MEINESZ A., VERLAQUE V., AKÇALI B., ARGYROU M., BALATA D., BALLESTEROS E., CINELLI F., D'ARCHINO R., JAVEL J., MIFSUD C., PALA D., PANAYOTIDIS P., PEIRANO A., PERGENT G., PETROCELLI A., RUITTON S., ZULJEVIC A. 2005. Invasion of *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean Sea: the balance of thirteen years of spread. *Cryptogamie, Agol.*, 26 (2) : 189-202.

POU S., BALLESTEROS E., DELGADO O., GRAU A. M., RIERA F., WEITZMANN B., 1993. Sobre la presencia del alga *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh (Caulerpales, Chlorophyta) en aguas costeras de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. nat. Balears*, 36: 83-90.

RELINI M., TORCHIA G., 1992. Prima segnalazione di *Caulerpa taxifolia* in acque italiane. *Doriana*, 6 (279): 1-4.

ROBERT Ph., 1996. Recherche de l'algue *Caulerpa taxifolia* dans les eaux du Parc national de Port-Cros. Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. Ribera M.A., Ballesteros E., Boudouresque C.-F., Gomez A. & Gravez V. (eds). Publicacions Universitat Barcelona, Sp.: 99-100.

ROBERT Ph., GRAVEZ V., 1998. Contrôle de l'algue *Caulerpa taxifolia* dans le Parc national de Port-Cros (Var, France). In: Third international workshop on *Caulerpa taxifolia*. Boudouresque C.-F., Gravez V., Meinesz A., Palluy F. (eds), GIS Posidonie publ., Fr. : 79-87.

ROBERT P., 2002 a. Contrôle de la progression de l'algue *Caulerpa taxifolia* dans les eaux du Parc national de Port-Cros. Rapport Parc national de Port-Cros, mars 2002 : 1-7.

ROBERT P., 2002 b. Mission de recherche de l'algue *Caulerpa taxifolia* dans les eaux du Parc national de Port-Cros. Nécessité d'une nouvelle stratégie. Rapport Parc national de Port-Cros : 1-4.

ROBERT Ph., 2005. Mission de recherche de *Caulerpa taxifolia* à Port-Cros du 3 au 7 octobre 2005. Rapport Parc nat. de Port-Cros : 1-5.

RUITTON S., JAVEL F., CULIOLI J.-M., MEINESZ A., PERGENT G., VERLAQUE M., 2005. First assessment of the *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta) invasion along the French Mediterranean coast. *Mar. Poll. Bull.*, 50 (10): 1061-1068.

SANT N., DELGADO O., RODRIGUEZ-PRIETO C., BALLESTEROS E., 1994. The effects of desiccation on photosynthesis of *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh. First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. Boudouresque C.-F., Meinesz A. & Gravez V. edit., GIS Posidonie Publ., Fr. : 315-319.

VAUGELAS J. de, MEINESZ A., ANTOLIC B., BALLESTEROS E., BELSHER T., CASSAR N., CECCHERELLI G., CINELLI F., COTTALORDA J.-M., FRADA ORESTANO C., GRAU A. G., JAKLIN A., MORUCCI C., RELINI M., SANDULLI R., SPAN A., TRIPALDI G., VAN KLAVEREN P., ZADOVNIK N., ZULJEVIC A., 1999. Standardization proposal for the mapping of *Caulerpa taxifolia* expansion in the Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta* 22 : 85-94.

VERLAQUE M., 1994. Le développement de l'algue *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. Ecologie et incidence sur l'environnement et les activités humaines. Entretiens de Ségur organisés à l'initiative du Ministère de l'Environnement français le 21 mars 1994. Ed. GIS Posidonie et Laboratoire de Biologie marine et d'Ecologie du Benthos de Marseille, Fr. : 1-15.

VERLAQUE M., FRITAYRE P., 1994 a. Incidence de l'algue introduite *Caulerpa taxifolia* sur le phytobenthos de Méditerranée occidentale : 2. Les peuplements d'algues photophiles de l'infra littoral. First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. Boudouresque C.-F., Meinesz A. & Gravez V. edit., GIS Posidonie Publ., Fr., 349-353.

VERLAQUE M., FRITAYRE P., 1994 b. Modifications des communautés algales méditerranéennes en présence de l'algue envahissante *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh. *Oceanologica Acta*, 17 (6) : 659-672.

VERLAQUE M., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., GRAVEZ V., 2000. The *Caulerpa racemosa* complex (Caulerpales, Ulvophyceae) in the Mediterranean Sea. *Botanica marina* 43: 49-68.

VERLAQUE M., DURAND C., HUISMAN J.M., BOUDOURESQUE C.-F., LE PARCO Y., 2003. On the identity and origin of the Mediterranean invasive *Caulerpa racemosa* (Caulerpales, Chlorophyta). *European Journal of Phycology* 38: 325-339.

VERLAQUE M., AFONSO-CARRILLO J., GIL-RODRIGUEZ M.C., DURAND C., BOUDOURESQUE C.-F., LE PARCO Y., 2005. Blitzkrieg in a marine invasion: *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Bryopsidales, Chlorophyta) reaches the Canary Islands (NE Atlantic). *Biological Invasions* 6: 269-281.

VILLELE X., VERLAQUE M., 1994. Incidence de l'algue introduite *Caulerpa taxifolia* sur le phytobenthos de la Méditerranée occidentale. 1. L'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. Boudouresque C.-F., Meinesz A. & Gravez V. edit., GIS Posidonie Publ., Fr., 343-347.

WIEDENMANN J., BAUMSTARK A., PILLEN T.L., MEINESZ A., VOGEL W., 2001. DNA fingerprints of *Caulerpa taxifolia* provide evidence for the introduction of an aquarium strain into the Mediterranean Sea and its close relationship to an Australian population. *Marine Biology* 138: 229-2.

ZULJEVIC A., ANTOLIC B., 2000. Synchronous release of male gametes of *Caulerpa taxifolia* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean Sea. *Phycologia*, 39 (2): 157-159.

ZULJEVIC A., ANTOLIC B., DESPALATOVIC M., ONOFRI V., 2005. The spread of the invasive variety of *Caulerpa racemosa* in the Adriatic Sea. Rapport Commission Internationale Exploration Scientifique Mer Méditerranée 37, 466.