

## L'indice paysager *Caulerpa racemosa* "ICar"

Nicolas Cariou<sup>1</sup>, Aurélia Chery<sup>2</sup>, Matthieu Jousseume<sup>2</sup>, Jonathan Richir<sup>1</sup>, Pierre Lejeune<sup>2</sup>, Sylvie Gobert<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire d'Océanologie, Université de Liège, B6c, 4000 Liège, Belgium

<sup>2</sup> STARESO sas, Pointe Revellata BP33, 20260 Calvi, France

### Introduction

Apparues respectivement en 1984 et en 1991 en Méditerranée, les Chlorobiontes *Caulerpa taxifolia* (M. Vahl) C. Agardh (Meinesz et Hesse, 1991) et *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Verlaque et al., 2003) sont actuellement qualifiées d'espèces invasives. *Caulerpa taxifolia* a été introduite accidentellement par l'aquarium de Monaco en 1984 (Jousson et al., 1998). Dès fin 2000, cette souche envahissante affectait plus de 13000 ha de fonds marins sur un linéaire de côte de 200 km, dans 6 pays de Méditerranée (Meinesz et al., 2001). *C. taxifolia* semble avoir atteint son maximum de colonisation en 2007 et se trouve actuellement en forte régression dans de nombreuses zones (Cottalorda et al., 2008).

*Caulerpa racemosa* a été signalée pour la première fois en Méditerranée, en 1991 le long des côtes lybiennes (Nizamuddin, 1991). Cette algue s'est ensuite dispersée en Méditerranée occidentale jusqu'aux îles Baléares. En 2003, elle était présente dans une dizaine de pays sur un linéaire côtier estimé à plus de 700 km (Piazzi et al., 2005 ; Ruitton et al., 2005), révélant une propagation plus rapide que *C. taxifolia* (Cottalorda et al., 2008).

*C. taxifolia* et *C. racemosa* colonisent le benthos méditerranéen (sable, roche), réduisant la biodiversité naturelle. La facilité et la rapidité avec laquelle *C. racemosa* continue de coloniser des zones de plus en plus étendues, pourraient à terme menacer les macroalgues, les herbiers de posidonies, les fonds coralligènes,... (Gravez et al., 2005; Dumay, 2008).

Le premier indice *Caulerpe* fut mis au point par Vaugelas et al. en 1999. Cet indice visait à estimer l'ampleur de la colonisation de *C. taxifolia*. A l'échelle d'une baie, il est défini en 3 niveaux (Tab.1) donnant une estimation de la superficie totale colonisée. Cependant, aucune information n'est collectée sur l'état de la couverture algale à plus petite échelle (m<sup>2</sup>, 10 m<sup>2</sup>).

**Tableau 1** Niveau de colonisation standardisé de *C. taxifolia* (Vaugelas et al, 1999)

Niveau 1	Zone dans laquelle une ou plusieurs petites colonies couvrent une surface totale inférieure à 1000 m <sup>2</sup>
Niveau 2	Zone où plusieurs colonies couvrent une surface totale supérieure à 1000 m <sup>2</sup> avec de petites colonies dispersées sur une zone de surface inférieure à 10 ha
Niveau 3	Zone avec plusieurs grandes colonies de plus de 1000 m <sup>2</sup> réparties sur une surface plus grande que 10 ha

En 2005, Ruitton et al. utilisent cet indice et l'appliquent à l'échelle d'une baie à *C. racemosa*. Pour caractériser des zones à plus petite échelle, ils définissent un nouvel indice à 6 niveaux (Tab.2).

**Tableau 2** Indice de Ruitton *et al.* (2005) pour *C. racemosa*.

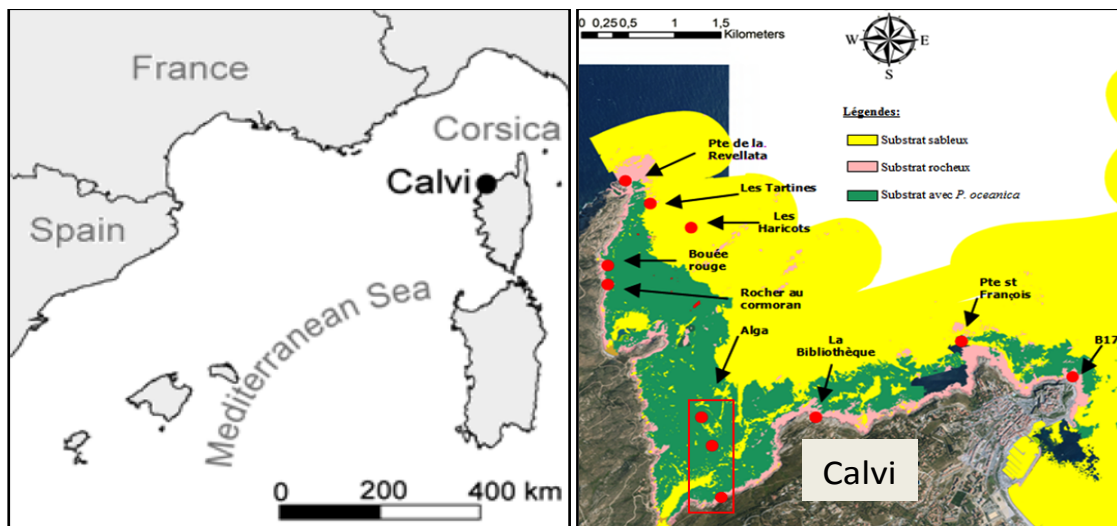
Niveau 0	Non colonisé
Niveau 1	Individu clairsemé avec seulement quelques axes dressés horizontaux
Niveau 2	Patch de moins de 1 m de diamètre
Niveau 3	Patch de plus de 1 m de diamètre
Niveau 4	Prairie continue avec une seule couche de stolon
Niveau 5	Prairie continue avec une épaisse couche de stolon

Afin d'évaluer les conséquences de l'algue invasive *C. racemosa* dans un milieu oligotrophe regroupant tous les écosystèmes caractéristiques du littoral méditerranéen, nous avons, en 2011, commencé une étude de la physiologie (contenu élémentaire), de l'écotoxicologie (contenu en élément trace) et de la dynamique de colonisation (indice paysager) de *C. racemosa*.

C'est sur base de l'indice utilisé par Ruitton *et al.* (2005) que nous avons élaboré un Indice paysager *Caulerpa racemosa* ("ICar") qui tient compte de 4 critères: la topographique, la superficie de la zone colonisée, la couverture algale et l'expérience du plongeur.

## 1. Matériels et Méthodes

Contrairement au reste du littoral français méditerranéen, la Corse n'a jamais été envahie par *C. taxifolia*. Par contre, depuis 2002, l'algue invasive *C. racemosa var. cylindracea* est signalée autour de l'île (Cottalorda *et al.*, 2008). En 2008, elle apparaît pour la première fois dans la Baie de La Revellata au large de Calvi (Fig.1).



**Fig.1** La Baie de La Revellata au large de Calvi en Corse. Les points rouges indiquent des stations colonisées par *C. racemosa* qui ont permis d'établir l'indice paysager ICAR.

## 2. Construction de l'indice

L'indice paysager ICAR est composé de 4 critères qui qualifient (1) le substrat, (2) la superficie, (3) la couverture algale et (4) l'expérience du plongeur. Chaque critère est un code à 2 caractères permettant de donner des informations sur le site étudié. Ainsi on obtient un code à 8 caractères pour chaque site.

**Critère 1 : Qualification du substrat (Tab.3)** Pour chaque site, le substrat est qualifié en 7 catégories soit de (Va) vase, (Sa) sable, (Ro) roche, (RA) roche avec algues, (Po) posidonie, (MP) matre morte de posidonie ou (CM) coralligène-maërl.

**Tableau 3** Critère 1, qualification du substrat; code et description.

Va	Vase
Sa	Sableux
Ro	Rocheux
RA	Rocheux avec algue
Po	Posidonie
MP	Matte morte de Posidonie
CM	Coralligène-maërl

**Critère 2 : Qualification de la superficie à petite échelle (Tab.4)** Pour chaque site, la superficie de la zone colonisée est qualifiée en 4 catégories soit une absence de *C. racemosa* (S0), soit des tâches colonisées inférieures à 1 m<sup>2</sup> (S1), soit des tâches colonisées supérieures à 1 m<sup>2</sup> (S2), soit une prairie continue (S3).

**Tableau 4** Critère 2, qualification de la superficie; code et description.

S0	Absence de <i>C. racemosa</i>
S1	Tâche inférieur à 1 m <sup>2</sup>
S2	Tâche supérieure à 1 m <sup>2</sup>
S3	Prairie continue

**Critère 3 : Qualification de la couverture algale *C. racemosa* (Tab.5).** Pour chaque site, la couverture algale est qualifiée en 5 catégories : soit une absence de *C. racemosa* (C0); soit une répartition très irrégulière de l'algue à densité très faible avec un nombre de frondes faciles à compter (C1); soit une densité de l'algue plus importante mais avec une répartition irrégulière (C2); soit une densité relativement importante et régulière avec la partie rampante (stolon) en une voir deux couches (C3) ; soit une densité importante et régulière avec la partie rampante en plusieurs couches (stolons se superposant) (C4).

**Tableau 5** Critère 3, qualification de la couverture algale *C. racemosa*; code et description.

C0	Absence de <i>C. racemosa</i>
C1	Répartition très irrégulière de l'algue, densité très faible, nombre de frondes facile à compter
C2	Densité de l'algue plus importante mais répartition irrégulière
C3	Densité relativement importante et régulière, partie rampante (stolon) en une voir deux couches
C4	Densité importante et régulière, partie rampante en plusieurs couches (stolons se superposant)

**Critère 4** : Qualification du plongeur (Tab.6). Pour chaque site, l'expérience du plongeur est qualifiée en 3 catégories : soit il n'a jamais vu la caulerpe (P1), soit il a déjà observé certains indices de couverture de *C. racemosa* (P2), soit il a déjà observé tous les indices de couverture en *C. racemosa* (P3).

**Tableau 6** Critère 4, qualification plongeur ; code et description.

P1	Jamais vu de la caulerpe
P2	Déjà observé certains indices de couverture de <i>C. racemosa</i>
P3	Déjà observé tous les indices de couverture en <i>C. racemosa</i>

Pour chaque site étudié, l'indice ICar, en 8 caractères, doit être associé au nom du site, ses coordonnées exactes et la profondeur.

### 3. Résultats et discussion

**Tableau 7** Données des prospections effectuées en 2011 et 2012 dans la Baie de La Revellata.

Site et point GPS (WGS84)	Profondeur (m)	Année	Indice ICar
Pte de La Revellata N 42,584974 - E 8,727145	15	2011	RA-S2-C2-P2
		2012	RA-S2-C4-P2
	20	2011	RA-S2-C2-P2
		2012	RA-S2-C4-P2
		2011	RA-S3-C4-P2
Les Tartines N 42,583059 - E 8,728870	15	2011	RA-S3-C4-P2
	20		RA-S3-C4-P2
Les Haricots N 42,580799 - E 8,731248	40	2011	Sa-S3-C3-P2
Bouée rouge N 42,579741 - E 8,724656	3	2011- 2012	RA-S1-C2-P2
Rocher au Cormoran N 42,578504 - E 8,725056	10	2011 - 2012	MP-S1-C2-P2
Alga (1) N 42,563378 - E 8,732221	3	2011	Ro-S1-C2-P2
Alga (2) N 42,566262 - E 8,731163	15	2012	Sa-S3-C4-P2
Alga (3) N 42,567652 - E 8,730605	28	2012	Sa-S3-C4-P2
La bibliothèque N 42,568881 - E 8,741061	15	2011	RA-S2-C2-P2
Pte Saint François N 42,572132 - E 8,754149	17	2011	RA-S2-C2-P2
B17 N 42,570157 - E 8,762367	10	2011 – 2012	RA-S2-C2-P2

15	2011	Sa-S3-C3-P2
	2012	Sa-S3-C4-P2
20	2011	Sa-S3-C3-P2
	2012	Sa-S3-C4-P2
22	2011	MP-S3-C4-P2
	2012	Po-S3-C4-P2
28	2011	MP-S3-C4-P2

ICar a été appliqué en 2011 et 2012 dans la Baie de La Revellata sur une large gamme de profondeur pouvant aller de 3 à 42 m (Tab.7). *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* y a été observée la première fois en 2008. Depuis, elle a colonisé de nombreux sites de la baie entre 3 à 42 m de profondeur (Aucune prospection n'a été effectuée au delà). Actuellement (juillet 2012), elle ne couvre ni la vase, ni le coralligène, mais elle est présente sur toutes les autres catégories de substrats rencontrées dans cette zone d'étude.

Les zones les plus profondes présentent une densité plus importante en *C. racemosa* (C3-C4), et des tâches supérieures à 1 m<sup>2</sup> (S2-S3). L'analyse de l'évolution temporelle (de 2011 à 2012) confirme que *C. racemosa* colonise d'abord les sites profonds (Cottalorda *et al.*, 2008). Par exemple, à 15 et à 20 m, au niveau de la Pointe de La Revallata et du B17, la couverture algale passe respectivement de C2 à C4 et de C3 à C4.

Le type de substrats ne semble pas être un facteur limitant à son expansion. Elle colonise la matrice morte de posidonie, le détritique côtier, les substrats rocheux et sableux. Nous l'avons même observé au sein d'un herbier sain de posidonie.

Mis au point en Baie de Calvi, l'indice paysager ICar pourrait être appliqué sur la Corse et sur l'ensemble de la Méditerranée. Cette méthodologie simple permet de qualifier les différentes zones colonisées par la Chlorobionte. Il permet également de réaliser un suivi de l'évolution spatio-temporelle de la distribution de l'algue invasive.

Cet indice paysager peut facilement être intégré dans l'indice LIMA qui sert à traduire de manière chiffrée l'attrait paysager et la richesse patrimoniale du benthos méditerranéen (Gobert *et al.*, 2011).

## Remerciements

Ce travail a été réalisé grâce à des subsides du FNRS (2.4.502.08.F), de la Collectivité Territoriale de Corse, de l'Agence de l'Eau (RMC) et une bourse STARESO (Dans le cadre du projet STARECAPMED).

## Références bibliographiques

- Cottalorda J., Gratiot J., Mannoni P.A., Vaugelas J., Meinesz A., 2008. 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. ECOMERS-Laborato.
- Dumay O., 2002. Dynamique compétitive entre la Magnoliophyte marine *Posidonia oceanica* et les Bryopsidophycées invasives *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa*. Thèse de Doctorat de l'Université de Corse : 164p. + Ann.
- Gobert S., Chéry A., Volpon A., Pelaprat C., Lejeune P., 2011. Méthodologie qualifiant des sites sous-marins méditerranéens en fonction de leur attrait paysager et patrimonial. Développement de l'outil et expérimentation dans la baie de Calvi. Carhambar Brest : Paysages sous marins.
- 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.
- 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. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 172 : 275-280.
- 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., Cottalorda J.M., Chiaverini D., Garcia D., Thibaut T., Vaugelas J. de, 2001. Suivi de l'expansion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée : situation en France au 31 décembre 2000. LEML (UNSA) publ., Fr. : 1-74.
- Nizamuddin M., 1991. *The Green Marine Algae of Libya*. Elga Publ., Bern, 227 pp.
- Piazzi L., Meinesz A., Verlaque M., Akc ali B., Antolic´ B., Argyrou M., Balata, D., Ballesteros E., Calvo S., Cinelli F., Cirik S., Cossu A., D'Archino F., Djellouli A.S., Javel F., Lanfranco E., Mifsud C., Pala D., Panayotidis, P., Peirano A., Pergent G., Petrocelli A., Ruitton S., Zˇuljevic´ A., Ceccherelli G., 2005. Invasion of *Caulerpa racemosa* var *cylindracea* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean Sea: an assessment of the spread. *Cryptogamie Algologie* 26 (2), 189–202.
- 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 : 1061-1068.
- Vaugelas J., Meinesz A., Antolic B., Ballesteros E., Belsher T., Cassar N., Ceccherelli G., Cinelli F., Cottalorda J.M., Frada` Orestano C., Grau A.M., Jaklin A., Morucci C., Relini M., Sandulli R., Span A., Tripaldi G., Van Klaveren P., Zavodnik N., Žuljević A., 1999. Standardization proposal for the mapping of *Caulerpa taxifolia* expansion in the Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta* 22, 85–94.
- 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.