



**UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME  
MEDITERRANEAN ACTION PLAN**

---

**MED POL**

---

**PROCEEDINGS OF THE WORKSHOP ON INVASIVE  
*CAULERPA* SPECIES IN THE MEDITERRANEAN**

**Heraklion, Crete, Greece, 18-20 March 1998**

**ACTES DE L'ATELIER SUR LES ESPECES *CAULERPA*  
INVASIVES EN MEDITERRANEE**

**Heraklion, Crète, Grèce, 18-20 mars 1998**

MAP Technical Reports Series No. 125

**UNEP**

---

Athens 1999

Note: The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of UNEP concerning the legal status of any State, Territory, city or area, or of its authorities, or concerning the delimitation of their frontiers or boundaries.

Note: Les appellations employées dans ce document et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du PNUE aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

© 1999 United Nations Environment Programme  
P.O Box 18019, Athens, Greece

**ISBN 92-807-1772-3**

This publication may be reproduced in whole or in part and in any form for educational or non-profit purposes without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. UNEP would appreciate receiving a copy of any publication that uses this publication as a source

No use of this publication may be made for resale or for any other commercial purpose whatsoever without permission in writing from UNEP

Le texte de la présente publication peut être reproduit en tout ou en partie, et sous une forme quelconque, sans qu'il soit nécessaire de demander une autorisation spéciale au détenteur du copyright, à condition de faire mention de la source

Il n'est pas possible d'utiliser la présente publication pour la revente ou à toutes autres fins commerciales sans en demander au préalable par écrit la permission au PNUE

For bibliographic purposes this volume may be cited as:

UNEP: Proceedings of the Workshop on Invasive *Caulerpa* Species in the Mediterranean, Heraklion, Crete, Greece, 18-20 March 1998 MTS No. 125, UNEP, Athens 1999

Pour des fins bibliographiques, citer le présent volume comme suit:

PNUE: Actes de l'atelier sur les espèces *Caulerpa* invasives en Méditerranée, Heraklion, Crète, Grèce, 18-20 mars 1998 No. 125 de la série des rapports techniques du PAM, PNUE, Athènes, 1999.



**UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME  
MEDITERRANEAN ACTION PLAN**

---

**MED POL**

---

**PROCEEDINGS OF THE WORKSHOP ON INVASIVE  
*CAULERPA* SPECIES IN THE MEDITERRANEAN**

**Heraklion, Crete, Greece, 18-20 March 1998**

**ACTES DE L'ATELIER SUR LES ESPECES *CAULERPA*  
INVASIVES EN MEDITERRANEE**

**Heraklion, Crète, Grèce, 18-20 mars 1998**

MAP Technical Reports Series No. 125

**UNEP**

---

Athens 1999

This volume is the one hundred and twenty-sixth issue of the Mediterranean Action Plan Technical Reports Series.

This series contains selected reports resulting from the various activities performed within the framework of the components of the Mediterranean Action Plan: Pollution Monitoring and Research Programme (MED POL), Blue Plan (BP), Priority Actions Programme (PAP), Specially Protected Areas (SPA) and Regional Marine Pollution Emergency Response Centre for the Mediterranean Sea (REMPEC).

Ce volume constitue le cent vingt-sixième numéro de la série des rapports techniques du Plan d'Action pour la Méditerranée.

Cette série comprend certains rapports élaborés au cours des diverses activités menées dans le cadre des composantes du Plan d'action pour la Méditerranée: Programme de surveillance continue et de recherche en matière de pollution (MED POL), Plan Bleu (PB), Programme d'actions prioritaires (PAP), Aires spécialement protégées (ASP) et Centre régional méditerranéen pour l'intervention d'urgence contre la pollution marine accidentelle (REMPEC).

**PROCEEDINGS OF THE WORKSHOP ON INVASIVE  
*CAULERPA* SPECIES IN THE MEDITERRANEAN**

Heraklion, Crete, Greece, 18-20 March 1998

**ACTES DE L'ATELIER SUR LES ESPECES *CAULERPA*  
INVASIVES EN MEDITERRANEE**

Heraklion, Crète, Grèce, 18-20 mars 1998

## P R E F A C E

The present volume of the MAP Technical Reports Series contains the proceedings of the Workshop on Invasive *Caulerpa* Species in the Mediterranean which was convened by UNEP/MAP and hosted by the Institute of Marine Biology of Crete, in Heraklion, Crete, from 18-20 March 1998.

Five general presentations, eight specific presentations and 18 country reports were presented at the workshop. The papers presented appear as Annex III to the report of the workshop

The meeting identified two species of *Caulerpa*, as the most notable in the Mediterranean as concerns their expansion: *Caulerpa taxifolia*, a tropical species first observed in Monaco in 1984, which has since expanded covering large areas of the Western Mediterranean and the Adriatic coastal region, and *Caulerpa racemosa*, which is expanding in many parts of the Mediterranean.

Discussions concentrated primarily on the present state of spreading by *Caulerpa* species in the Mediterranean, ecological and toxicological aspects of invasive *Caulerpa* species in the Mediterranean, the impact of *Caulerpa* expansion on other marine species and on strategies to control the spreading of invasive *Caulerpa* species.

Among other conclusions, there was general agreement that the most serious risk from *Caulerpa taxifolia* and *Caulerpa racemosa* was the upsetting of the ecological balance.

In the light of this ecological risk, the Workshop adopted a set of recommendations addressed to the Contracting Parties to prevent and slow down the spread of *Caulerpa taxifolia* and *Caulerpa racemosa* in the Mediterranean

Final editing and compilation of this volume was done by Mr G.P. Gabrielides, Senior Programme Officer at the Coordinating Unit for the Mediterranean Action Plan while Mrs V. Papapanagiotou was responsible for the typing.

**TABLE OF CONTENTS - TABLE DES MATIÈRES**

	<b>Page No.</b>
<b>Report of the Workshop - English version</b>	1-15
<b>Rapport de l'atelier - Version française</b>	17-33
Annex I : List of participants / Liste des participants	35
Annex II: Programme	47
Annex III: List of presentations and country reports / Liste des présentations et rapports des pays	49
 <b>Presentations - Présentations</b>	
1 Introduced species in the Mediterranean: Routes, kinetics and consequences <b>by C.-F. Boudouresque</b>	51
2. <i>Situation générale de l'expansion de <i>Caulerpa taxifolia</i> en France et analyse des biotopes atteints</i> <b>par A. Meinesz, J. de Vaugelas et J.-M. Cottalorda</b>	73
3. Ecological and possible economical consequences of the spread of <i>Caulerpa taxifolia</i> in the Mediterranean <b>by C. Rodriguez-Prieto</b>	85
4. Insights into the ecotoxicological risk related to the rapid spreading of the pantropical green seaweed, <i>Caulerpa taxifolia</i> , along the Mediterranean coasts <b>by F. Dini</b>	101
5 Est-il possible de contrôler l'expansion de <i>Caulerpa taxifolia</i> en Méditerranée? Propositions pour une stratégie <b>par V. Gravez, C.-F. Boudouresque, A. Meinesz et J.-M. Cottalorda</b>	115
6. Impact of <i>Caulerpa taxifolia</i> on Mediterranean fish assemblages: A six year study <b>by M. Harmelin-Vivien, P. Francour and J.-G. Harmelin</b>	127
7. The impact of <i>Caulerpa racemosa</i> on the macrobenthic communities in the coastal waters of Cyprus <b>by M. Argyrou, A. Demetropoulos and M. Hadjichristophorou</b>	139
8. Modeling and simulating <i>Caulerpa taxifolia</i> (Vahl) C. Agardh in the north-western Mediterranean sea: Results and perspectives <b>by D. Hill, P. Coquillard, J. de Vaugelas and A. Meinesz</b>	159

	<b>Page No.</b>
9. <b>Contrasting effects of <i>Posidonia oceanica</i> on <i>Caulerpa taxifolia</i> by G. Ceccherelli and Fr. Cinelli</b>	175
10. <b>Monitoring programme of the spreading of <i>Caulerpa taxifolia</i> in the Balearic islands. Years 1995-1997 by A.M. Grau, J. Darder, E. Massuti, G. Palmer, R. Nicolau and Fr. Piera</b>	187
11. <b>The problem of <i>Caulerpa taxifolia</i> in Liguria (NW Mediterranean sea) by A. Peirano</b>	191
12. <b>Le phytobenthos marin marocain de l'atlantique à la Méditerranée et le <i>Caulerpa taxifolia</i>? par L. Najim et M.C. Alaoui Kasmi</b>	195
13. <b>Le genre <i>Caulerpa</i> en Tunisie: Situation actuelle par A. Djellouli, H. Langar et A. El Abed</b>	217
 <b>Country reports - Rapports des pays</b>	
14. <b>Albania - by L. Kashta</b>	225
15. <b>Croatia - by A. Žuljević and B. Antolić</b>	227
16. <b>France - par Th. Belsher</b>	231
17. <b>France - par V. Bentata</b>	247
18. <b>Greece - by P. Panayotidis</b>	253
19. <b>Israel - by R. Einav</b>	257
20. <b>Italie - par G. Giaccone et V. Di Martino</b>	261
21. <b>Liban - par G. Bitar</b>	275
22. <b>Malta - by D.T. Stevens</b>	279
23. <b>Monaco - par J. Jaubert, J.R.M. Chisholm, H. Rippley, L. Pritchett et D. Cadot</b>	283
24. <b>Slovenia - by R. Turk and A. Vukovič</b>	287
25. <b>Espagne - par M.A. Ribera Siguan</b>	289
26. <b>Tunisie - par S. Belkhiria</b>	295
27. <b>Syrie - par K. Ahmad</b>	297
28. <b>Turquie - par Ş. Cirik</b>	299



## REPORT OF THE WORKSHOP - ENGLISH VERSION

### Introduction

1. The Extraordinary Meeting of the Contracting Parties to the Barcelona Convention (Montpellier, July 1996) approved the organization of a Workshop on *Caulerpa* species, which have been expanding in recent years, to which interested Mediterranean scientists would be invited to exchange scientific experience and views on the subject.
2. The Secretariat decided to hold a "Workshop on Invasive *Caulerpa* Species in the Mediterranean" from 18-20 March 1998. The Institute of Marine Biology of Crete agreed to host the Workshop at its premises in Heraklion, Crete. The MAP Focal Points were invited to circulate an information note concerning the Workshop to all interested scientists in their countries and to nominate one scientist to prepare and present a country report covering the situation in the country with regard to the spread or eventual presence of *Caulerpa* species.
3. The Workshop was attended by 53 scientists, while 19 countries namely, Albania, Algeria, Croatia, Cyprus, Egypt, France, Greece, Israel, Italy, Lebanon, Libyan Arab Jamahiriya, Malta, Monaco, Morocco, Slovenia, Spain, Syrian Arab Republic, Tunisia and Turkey nominated representatives. A full list of the participants appears as Annex I to this report.

### Opening of the Workshop and organization of work

4. The Workshop was opened by Mr G.P. Gabrielides, Senior Programme Officer of the MAP Coordinating Unit, on behalf of the MAP Coordinator, Mr L. Chabason. Mr Gabrielides provided the participants with a brief overview of the activities of the MAP and of the Barcelona Convention and its related protocols, with particular reference to the recent revision of the *Convention and the protocols*. In the third phase of MED POL, the emphasis had changed from pollution assessment to pollution control. MAP had been following the situation with regard to *Caulerpa taxifolia* and acknowledged the quality of the work carried out by scientists in the region, particularly within the context of the European Union's DG XI Life Programme. A document on the subject had been prepared and distributed to the Meeting of MAP Focal Points held in 1995. At the 1996 Meeting of the MAP Focal Points, the representative of a country which had been recently affected by *Caulerpa taxifolia* had called upon MAP to take action. The Contracting Parties had decided to hold a Workshop on *Caulerpa* to exchange views and consider whether there was a scientific basis for recommending further action. The present Workshop was the result of that decision and was attended by scientists who were called upon to discuss scientific rather than political issues. The principal purposes of the Workshop were to exchange information and views and prepare conclusions and recommendations, as appropriate. Finally, he gave thanks to the Institute of Marine Biology of Crete for its kind proposal to host the Workshop.

5 Professor A. Eleftheriou (Institute of Marine Biology of Crete) welcomed the participants to Crete. He emphasized that, although Crete was not currently directly affected by the issue of *Caulerpa taxifolia*, it was not a question of if, but of when the waters of the Eastern Mediterranean would be affected. The problem of *Caulerpa taxifolia* was a matter of concern and interest for all ecologists. He informed the participants that the Institute of Marine Biology of Crete had now been in operation for a decade and worked in the fields of the environment and fisheries, as well as aquaculture and genetic questions related to fishing. It operated a research vessel and a fish farm and its multimedia team produced reports, CD-ROMs and videos, as well as a dictionary of the terms used in aquaculture in four languages. He invited the participants to visit the Institute's facilities during the course of the Workshop.

6. Mr M. Barbieri (Regional Activity Centre for Specially Protected Areas) gave a brief overview of the role of the Tunis Centre (SPA/RAC), in particular with regard to the implementation of the Protocol Concerning Specially Protected Areas and Biological Diversity in the Mediterranean. Although the Protocol had not yet entered into force, it was hoped that it would do so fairly soon. The Protocol provided a very appropriate legal framework for dealing with the issue of *Caulerpa taxifolia*, particularly in its provisions respecting the introduction of non-indigenous or genetically modified species. Article 13 of the Protocol stated that:

1. *The Parties shall take all appropriate measures to regulate the intentional or accidental introduction of non-indigenous or genetically modified species to the wild and prohibit those that may have harmful impacts on the ecosystems, habitats or species in the area to which this Protocol applies.*

2. *The Parties shall endeavour to implement all possible measures to eradicate species that have already been introduced when, after scientific assessment, it appears that such species cause or are likely to cause damage to ecosystems, habitats or species in the area to which this Protocol applies.*

7 Professor C.-F. Boudouresque (Centre d'Océanologie de Marseille), Coordinator of the projects on *Caulerpa* approved within the framework of the European Union's DG XI Life Programme, gave a brief overview of the two phases of the Programme covering the years 1993-95 and 1996-98 respectively. The second phase of the Programme concerned France, Italy and Spain from the Northern Mediterranean and Algeria, Malta and Tunisia from the Southern Mediterranean, in association with Croatia and Turkey, as well as around 30 laboratories and institutions and a large number of researchers. Its major activities included: monitoring and awareness-raising; the cartographic surveillance of the expansion of *Caulerpa taxifolia*; the development of a control strategy based on the identification of realistic techniques for the eradication of *Caulerpa taxifolia* and the limitation of its extension; and training. As a result of the Programme, *Caulerpa taxifolia*, which was considered to be one of the four major marine invasions at the global level, was now the marine invasive species for which the greatest mass of information was available.

8. The Workshop elected the following officers:

President: Professor A. Eleftheriou, Institute of Marine Biology, Crete  
Vice-Presidents: Professor C.-F. Boudouresque, University of Marseille-Luminy  
Professor G. Giaccone, University of Catania  
Rapporteur. Professor A. Meinesz, University of Nice-Sophia Antipolis

9. The Workshop agreed on a programme of work, which appears as Annex II to this report.

### **General Presentations**

10. In his presentation on introduced species in the Mediterranean, routes, kinetics and consequences, Professor C.-F. Boudouresque defined *introduced species* as "species the expansion of which is linked directly or indirectly to human activity, and which are naturalized, in the sense that they are able to reproduce *in situ* without human assistance". He then described the various routes through which alien species arrived in the Mediterranean, the processes of their distribution and the principal recipient areas. He reviewed the principal phases in the introduction of such species and their possible effects on biodiversity. Although only 1 per cent of arriving species were normally successful in their establishment and subsequent naturalization in a new environment, some of them could become invasive and

displace or replace native species. He emphasized that the Mediterranean had a higher level of introduced species than any other major sea and concluded that the introduction of alien species was an important phenomenon because it was still in the phase of exponential increase, with the number of alien species almost doubling on average every 20 years. Moreover, the ecological consequences of introduced species were often underestimated, while their economic consequences were difficult to anticipate. National legislation was an inadequate instrument in providing protection to autochthonous biodiversity and was often unrealistic and always ineffective. Introduced species were no respecters of national frontiers and international agreements were therefore of vital importance. Finally, the precautionary principle should always be applied in respect of these species.

11. In his presentation on the general situation with regard to the expansion of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean and the analysis of the biotopes affected, Professor A. Meinesz emphasized that the areas affected by *Caulerpa taxifolia* evolved rapidly from year to year. There were now over 110 *Caulerpa taxifolia* colonies in the Mediterranean overall, some of which had become so large they were impossible for divers to measure accurately. He described the origins and first sightings of *Caulerpa taxifolia*, the campaign of awareness carried out in the early 1990s and the efforts that were made on a continuous basis by a large number of divers to document the spread of *Caulerpa taxifolia* throughout the Mediterranean. There is no evidence that *Caulerpa taxifolia* was spread through sexual activity. On the contrary, each cutting which took root spread through the extension of its stolons rapidly to the surrounding area. Over longer distances, it was most probably spread by the anchors of boats and fishing nets. New sightings of *Caulerpa taxifolia* were almost always in mooring areas for pleasure or fishing vessels. In conclusion, he warned that, since its introduction, *Caulerpa taxifolia* had undergone massive expansion and, in particular, attacked the richest ecosystems of the Mediterranean. Because of its biological characteristics, the whole of the Mediterranean could be affected. *Caulerpa taxifolia* therefore constituted a major threat to the most important ecosystems in the Mediterranean between 0 and 50m in depth.

12. In her intervention on the ecological and possible economic consequences of the spread of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean, Professor C. Rodríguez-Prieto described the seasonable variations in the density of *Caulerpa taxifolia*, the maximum dimensions of its primary and secondary ramifications and the density of its rhizomes and plant biomass. The latter was considerably lower than that of autochthonous marine flora. She also referred to the broad range of temperatures, depths and substrata on which *Caulerpa taxifolia* could flourish. The main consequences of the proliferation of *Caulerpa taxifolia* consisted of the disappearance of native algae, which affected most animal groups, although molluscs did not appear to suffer much and some types of fish remained unaffected. It also resulted in a loss of species diversity and of biomass, with a resulting reduction in the quantity and quality of marine production. Because the reduced capacity of *Caulerpa taxifolia* to absorb nutrient salts favoured the development of plankton, a further result was a rise in the turbidity of the water column. The continued expansion of *Caulerpa taxifolia* would therefore lead to the development of an increasingly uniform seabed, implying a loss of its attractive value for certain kinds of tourism. The reduction of fish stock could also lead to problems for small-scale fishing activities. In reply to the comment by Professor G. Giaccone that research in Italy had produced very different conclusions with regard to biodiversity, she pointed to the difficulties inherent in comparing different types of research and the need for quantitative as well as qualitative data in measuring real changes in biodiversity. Professor A. Meinesz added that it was generally accepted that invasion by *Caulerpa taxifolia* resulted in a drastic decline in biodiversity in the affected areas.

13. In his intervention on the ecological and toxicological aspects of *Caulerpa taxifolia*, Professor F. Dini highlighted the sharp differences in growth characteristics between the strains of *Caulerpa taxifolia* found in the Mediterranean and those occurring in tropical areas around

the world. Indeed, a comparative study of the genome of three *Caulerpa taxifolia* strains from widely differing geographical locations disclosed broad genetic differences. With regard to the toxicity of *Caulerpa taxifolia*, the populations colonizing the Mediterranean were characterized by the production of seven unprecedented terpenoids, as well as the already known terpenoids oxytoxin and the very toxic caulerpenyne. However, research showed that this last terpenoid in solution, on exposure to daylight and in the presence of oxygen and chlorophylls or phaeophytins, rapidly degraded and eventually produced bioinactive products. Research carried out on the Island of Elba over a period of three years showed that, with an increasing colonization of *Caulerpa taxifolia* over the years, the incidence of gram-negative bacteria increased, while that of gram-positive ones declined. Hence, *Caulerpa taxifolia* exercises strong selective pressure on bacterial communities. Although the North-Western Mediterranean Sea is suffering drastic modifications as a result of the aggressive ecological behaviour of *Caulerpa taxifolia*, the behaviour of the bacteria communities suggested ongoing adaptation of the ecosystem to the new situation. A scenario of a balanced settlement of *Caulerpa taxifolia* in the ecosystem of the North-Western Mediterranean Sea could therefore be forecast eventually. In reply to a comment by Professor Meinesz that a large corpus of work on the subject supported the hypothesis that the toxicity of *Caulerpa taxifolia* amplified the ecological problems of its expansion, Professor Dini pointed out that, although there were currently few organisms which fed on *Caulerpa taxifolia*, this would probably change in the future.

14. Addressing the issue of whether the spread of *Caulerpa taxifolia* could be controlled, Mr V. Gravez outlined a number of elements for a strategy for this purpose. He noted in this respect that the Convention on Biodiversity and the Protocol concerning Specially Protected Areas and Biological Diversity in the Mediterranean provided a good legal framework for such a strategy. He added that a great deal of research had been undertaken with substantial monitoring activities. This was very important in order to fulfill the first requirement of a strategy to control the expansion of *Caulerpa taxifolia*, namely the dissemination of information to decision-makers and scientists. A second element of the strategy was the prevention of the contamination of new sites and countries. Although regulations had been adopted for this purpose in France and Spain, they had encountered difficulties of application. Awareness-raising and information programmes were therefore needed for seafarers of all types, including fishermen and yacht owners, as well as for owners of aquaria. About 90 per cent of the present knowledge of the extent of the *Caulerpa taxifolia* invasion was a result of awareness campaigns requesting divers to report new colonies. A third important element of the strategy was the preservation of patrimonial sites, and particularly marine protected areas in the Mediterranean. A special approach was needed for this purpose, including training, awareness-raising activities, the investigation of risk areas, regulations to limit the use of anchors by ships and control operations, particularly with a view to eradicating small new colonies.

15. An important element of a strategy to control *Caulerpa taxifolia* consisted of the control of existing colonies. This included the management of areas which were already strongly colonized through information activities, the regulation and where necessary prohibition of anchoring by ships and of fishing, and the marking of such areas, for example on marine charts and through the use of buoys. Another important consideration was to prevent the propagation of *Caulerpa taxifolia* during harbour dredging operations. Dredging sludges from colonized areas should not be dumped at sea, at least until sufficient time had passed to ensure that the alga no longer survived. Control measures needed to be adopted for small colonies located far from strongly colonized areas. However, current eradication techniques, including the use of suction pumps, only permitted the treatment of a few square metres of seabed. Even then, *Caulerpa taxifolia* always came back and regular surveys of treated areas were therefore needed. It was only currently possible to slow down the expansion of the alga. However, if nothing was done in the short term, the problem very quickly got out of control. The only

solution was therefore to use current techniques while awaiting the development of more efficient methods. The methods that were currently under examination included covering *Caulerpa taxifolia* beds with opaque plastic sheeting to restrict photosynthesis, spreading salt and treatment with copper techniques. The only long-term solution consisted of the development of biological control methods. Two exotic species of sea slug (*ascoglossan*) had been identified and experiments in aquaria showed that they offered possibilities of regulation of the algal population. It is now necessary to proceed with *in situ* experiments under controlled conditions, but any decision concerning the control of the algae should be taken at the international level. In the meantime, it was necessary to adopt a schedule, identify the financial resources and establish priorities. It was also very important to give official recognition to the threat that *Caulerpa taxifolia* constituted for biodiversity and society.

16. After a number of speakers had welcomed Mr Gravez' intervention, Professor Meinesz added that a decision needed to be taken. Either *Caulerpa taxifolia* was a natural phenomenon, which might even be good for the Mediterranean, in which case no action should be taken. Or, as maintained by most of the scientific community, it constituted a major risk for ecosystems, in which case the necessary administrative, legal, information and control measures had to be taken, as emphasized by many scientists since 1991. Professor A. Eleftheriou emphasized the need to involve politicians in the question, as they were the ones who controlled public resources.

### Specific presentations

17. Introducing a six-year study of the impact of *Caulerpa taxifolia* on fish populations in Cap Martin (Menton, France), Dr M. Harmelin-Vivien described the results of over 1900 visual censuses on invaded and reference sites, mainly composed of rocky substrata and *Posidonia oceanica* seagrass beds. The study showed a significant decrease in mean species richness, and the average density and biomass of fish in sites colonized by *Caulerpa taxifolia* compared to the reference sites. The reduction in the number of species was of between 20 and 30 per cent, while the decrease in the density was of over 30 per cent and that of biomass over 50 per cent. However, the populations of certain species of fish in areas affected by *Caulerpa taxifolia* remained constant or even increased in some species of the family Labridae, suggesting a complex biological phenomenon. The impact on fish fauna was particularly severe where the original ecosystem had been of a high complexity, offering many different types of shelter and food sources for fish.

18. Presenting the work carried out on the modelling and simulation of the expansion of *Caulerpa taxifolia* in the North-Western Mediterranean, Dr P. Coquillard described the efforts of a team of experts to develop a model which could predict future colonization by *Caulerpa taxifolia*, its spatial distribution and would provide both statistical and cartographical projections. It had been necessary for this purpose to take into account a broad variety of parameters, including the receptivity of various types of seabed, currents, seasonal variations, spatial effects and long distance interactions, as well as several factors which could influence colonization. After providing a description of many of the activities carried out to validate the programme, he expressed the opinion that the model was now partially valid and could be further improved through the integration of more detailed data on currents and on human activities. The model could contribute to a policy of identifying and safeguarding areas which required special protection, as well as projecting the effect of various control measures.

19. Describing experimental investigations into the contrasting effects of *Posidonia oceanica* on *Caulerpa taxifolia*, Dr G. Ceccherelli described a series of experiments carried out at the Island of Elba to investigate the factors in *Posidonia oceanica* meadows which affected the growth of *Caulerpa taxifolia*. The length and the density of the fronds of *Caulerpa taxifolia*

were used as a measure of the growth of the alga when located alone, at the edge of *Posidonia* meadows and within *Cymodocea nodosa*. The research found that *Posidonia* had a positive effect on the growth of *Caulerpa taxifolia*, which was probably due to the shelter it provided from hydrodynamic disturbance. The results of the research suggested that dense *Posidonia* meadows were likely to be less vulnerable to invasion by *Caulerpa taxifolia* than sparse ones which, conversely, provided a good compromise between protection and shading for *Caulerpa taxifolia*. The more vigorous growth of *Caulerpa taxifolia* at deeper levels (of over 10m in depth), confirmed that *Posidonia* meadows were in greater danger at lower depths, where *Caulerpa taxifolia* deprived them of the light that they needed.

20. Addressing the Workshop on the presence of *Caulerpa taxifolia* in the Balearic Archipelago, Dr A.N. Grau described the surveillance and preventive measures taken since the first appearance of *Caulerpa taxifolia* on the islands in 1992. Control measures had included eradication by hand and the use of suction pumps, supported by an extensive programme of monitoring the sites on which eradication measures had been taken and other neighbouring sites which were at risk of colonization. Experience showed that the use of suction pumps was at least twice as effective as manual eradication measures. Although he was not optimistic about the future evolution of the situation, he pointed out that *Caulerpa taxifolia* had been present in the Archipelago for nine years and that the measures taken had succeeded in confining its expansion to two areas. These measures therefore made it possible to significantly slow down the expansion of *Caulerpa taxifolia*. In reply to several questions, he noted that the programme of measures taken in the Balearic Archipelago cost in the region of Pts 10 million a year. He also indicated that, although *Caulerpa taxifolia* had probably been transported to one of the affected areas by boat, this was extremely unlikely for the other area, which was protected by a barrier in the summer months. This latter area might have been contaminated by the dumping of the contents of an aquarium.

21. Following a showing of the video film "On the Trail of Caulerpa", Mr T. Belsher described the elements of cartography and changes of *Caulerpa taxifolia* along the Alpes Maritimes and Monaco coasts. He outlined the action taken within the context of the European Union Life II Programme, as well as at the national level, to study the expansion of *Caulerpa taxifolia*. A variety of surveillance methods had been used over the years, including air photography and the use of underwater video supported by a special computer programme. This enabled the operators to quantify the population of *Caulerpa taxifolia* in a given area very rapidly. The technique permitted visualization down to a depth of between 80 and 100m, depending on technical factors and meteorological conditions. In the study zone, it had therefore been possible to follow closely seasonal variations, the expansion of *Caulerpa taxifolia*, and its progression towards deeper waters, as well as the impact of meteorological events. The use of new techniques is envisaged, including that of laser equipment adopted for sea work. This would provide coverage of a much wider area and permit a more precise surveillance of the impact of *Caulerpa taxifolia* on marine ecosystems.

22. Introducing a presentation on the problem of the *Caulerpa* invasion and the initiatives taken by the ENEA Centre of La Spezia, Dr A. Peirano said that the agency was involved in national and international programmes concerning biodiversity, oceanography and climate changes. Of particular interest was the mapping project that it had carried out of the *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa* beds in Liguria before they had been affected by *Caulerpa taxifolia*. Referring to the expansion of *Caulerpa taxifolia* in Liguria, he described the threat to the marine national parks. He presented two mid-term ten-year scenarios concerning the invasion of *Caulerpa taxifolia* in Liguria. Both *Posidonia oceanica* meadows and coralligenous communities were in danger. He emphasized that the proliferation of *Caulerpa* species was of great importance not only for the Ligurian coastal areas, but also for all Italian coasts. He therefore hoped that the Workshop would serve as a stimulus for greater awareness of the

problem by the Italian Government so that efforts could be made to develop technical tools, including cartography of the algal status of the coastline.

23. Introducing a presentation on the marine phytobenthos of the Moroccan Atlantic and Mediterranean coasts, and *Caulerpa taxifolia*, Professor L. Najim described the characteristics of the Moroccan coastline, which extended over some 3,500 km, including some 450 km of Mediterranean coast, and displayed a great wealth of algal species. After reviewing the studies that had been carried out of the Atlantic and Mediterranean coastline, he described the conditions under which *Caulerpa prolifera* was present in the lagoon of Nador on the Mediterranean coast. The lagoon in question suffered from a high level of pollution from municipal waste and consisted of a rather enclosed expanse of water. He hoped to create a network for collaboration, develop prevention measures and awareness of the problem of *Caulerpa taxifolia* and join the European Union's Life Programme.

24. Dr A. Djellouli provided information on the situation as regards *Caulerpa racemosa* along the Tunisian coast. The species had first been reported off Sousse in 1926. Until 1995, it had been known to be present only along the coast south of Sousse and in the Gulf of Gabes. In 1996 it has been observed in the Bizerte lagoon in the north of Tunisia, indicating the progression of the species. The species showed great ecological adaptability. It had been observed down to 80-90m and presented morphological differences *in situ* and in aquariums. Further research was needed to investigate the physical and chemical factors which might influence the development of the alga and a comparison should be carried out between the various sites at which it was present. With regard to *Caulerpa taxifolia*, he noted that Tunisia had joined the European Union's Life Programme and that information materials had been translated into Arabic. He invited interested Arab-speaking countries to make use of them. He emphasized the vigilant attitude adopted by his country with regard to any introduction of species.

### **Presentation of country reports**

25 Presenting the country report on Albania, Dr L. Kashta noted that the Albanian coast presented typical Mediterranean characteristics with species from various parts of the Mediterranean. No colonization by *Caulerpa taxifolia* had yet been identified, although it was not possible to be completely certain on this point since no studies had been made on the marine flora in recent years and no monitoring system had been organized for this purpose. The only species from the genus *Caulerpa* found on the Albanian coastline was *Caulerpa prolifera*. He called for the creation of an observation network in collaboration with institutions in other Mediterranean countries.

26. Introducing the country report on Algeria, Dr R. Semroud emphasized that research had confirmed that *Caulerpa taxifolia* constituted a significant risk to biodiversity and ecodiversity in the Mediterranean. Moreover, there were no grounds for envisaging a natural slowdown in its expansion. Although the alga was not present in his country, as a Contracting Party to the Barcelona Convention, Algeria was naturally concerned by this very important ecological threat in the Mediterranean. He cited Article 13 of the Protocol concerning Specially Protected Areas and Biological Diversity in the Mediterranean, and emphasized that the development of eradication measures needed to be accompanied by a strategy to slow down the expansion of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean basin. It was particularly important in this connection to apply the precautionary principle established in the Convention on Biological Diversity

27. Reporting on the situation with regard to *Caulerpa taxifolia* in Croatia, Mr A. Zuljevic said that the alga was present in three areas on the Croatian coast. The first observation had

been in 1994. Various methods had been used at each location for the eradication of the alga, including manual extraction, extraction by suction pump and covering the alga with black PVC foil. The *Caulerpa taxifolia* at the site in the Barbat Channel had been fully eradicated, whereas it had only been partially eradicated from the site in Malinska. In the region of Stari Grad Bay, action was being taken to prevent further expansion. These measures were financed by the local government. It had been found that *Caulerpa taxifolia* died under the black PVC foil after a period of three months. Further eradication activities were planned on each of the sites. Other measures taken to prevent the spread of the alga included the prohibition of fishing in affected areas and an information campaign. Monitoring was also carried out, both of treated sites and of areas at risk from colonization, in collaboration with diving clubs. The Croatian experience showed that small areas of *Caulerpa taxifolia* could be eradicated completely, especially from muddy bottoms.

28. Describing the situation in Cyprus, Ms M. Argyrou noted that, although *Caulerpa taxifolia* had not been found in her country, the Red Sea species *Caulerpa racemosa* had been present in the coastal waters of Cyprus since 1991. It was currently proliferating around most of the coast of the Island, with the greatest abundance in the south-eastern region. She added that it formed dense green mats in a wide range of habitats, on sandy as well as muddy bottoms, from shallow waters down to a depth of 60m. The expansion of *Caulerpa racemosa* could be a particular threat to *Posidonia* meadows. A recent study had shown significant changes in the composition and abundance of macrofaunal assemblages, which could be attributed at least in part to the prolific growth of *Caulerpa racemosa*. Moreover, recent work suggested that the recent decline of the population of the fish *Siganus luridus* and *Siganus rivulatus* could be related to their habit of grazing on *Caulerpa racemosa*. However, more data were required to investigate the ecological consequences of the changes produced by the arrival and expansion of *Caulerpa racemosa*, which was still in an evolutionary process.

29. Introducing the country report for Egypt, Dr A.N. Khalil explained that his country had over 1,000km of coastline composed mainly of sandy, muddy and rocky shores. The area around Alexandria was particularly rich in its biodiversity. Although no *Caulerpa taxifolia* had been observed, various forms of *Caulerpa* were present in the area. *Caulerpa prolifera* was very abundant, while *Caulerpa scalpelliformis* was found in two areas off the coast of Alexandria. Over the past few years *Caulerpa racemosa* had also invaded the area and had first been observed near sewage outlets. A new study on the occurrence of the algal association in deeper areas (40 m) along the Alexandria coast show a high cover percentage of *Penicillus* and *Caulerpa* species. In view of the limited available information, further studies are required on the distribution and occurrence of marine algae along the Egyptian Mediterranean coast, where *Caulerpa* species and other algae may occur.

30. Introducing the country report on France, Mr T. Belsher outlined the action taken since the first observation of *Caulerpa taxifolia* in Monaco in 1988 and in Cap Martin, France, in 1990. An awareness campaign had been launched in 1991 and a coordinating and a scientific committee setup in 1992, which had led up to an increase in monitoring, experiments with a number of eradication measures and further action to raise awareness. Action had increased with the launching of the two European Union Life Programmes, while collaboration had developed at the various levels in France from the central government to local authorities. The significant material resources employed (helicopters, submarine research vessels, etc.) contributed to the collection of a mass of information on the progression and characteristics of *Caulerpa taxifolia*.

Continuing the description of the situation in France, Mr V. Bentata presented the five-year plan of action that was being initiated in France at the initiative of the Ministry of Land Planning and the Environment to predict the development and evaluate the consequences of



*Caulerpa taxifolia*, as well as to develop control techniques. The action programme placed emphasis on research, surveillance and the development of techniques for eventual action to prevent the expansion of *Caulerpa taxifolia* and control it in zones of particular patrimonial and economic value. The research would cover the characteristics of the alga, as well as methods of predicting its expansion, the development of knowledge on its effects on biodiversity and its social and economic impact. The development of techniques to control *Caulerpa taxifolia* would emphasize biological measures, through the use of species that were indigenous to the Mediterranean area. In addition to mapping the expansion of *Caulerpa taxifolia*, surveillance measures would focus on the local development of ecosystems in areas colonized by the alga. In the field of preventing and combating the spread of *Caulerpa taxifolia*, emphasis would be placed on the development of a range of tools, with priority being given to sites that needed particular protection. After the completion of the five-year period, progress would be reviewed and the necessity of further action determined.

31. Dr P. Panayotidis, informing the Workshop of the situation in Greece, commented on the country's very long coastline and said that it was not possible to be certain that *Caulerpa taxifolia* did not exist in Greece, even though none had yet been observed. He noted that regular monitoring activities were carried out of the coastal ecology in Greece and the expansion of new species from the Red Sea was followed closely. He described the progression of *Caulerpa racemosa*, which had first been observed in 1993 and had since become the dominant element of vegetation in some sites. It had also been observed in Crete for the first time a few days before the holding of the Workshop. Although insufficient knowledge was yet available on the impact of *Caulerpa racemosa*, he did not believe that it was comparable to that of *Caulerpa taxifolia*, which was very aggressive, especially with regard to *Posidonia* meadows. He said that, in the event of its occurrence, measures would be taken to eliminate *Caulerpa taxifolia* in Greece before it proliferated as it had in several Mediterranean countries.

32. Describing the situation in Israel, Dr R. Einav stated that four species of *Caulerpa* had been observed off the Israeli coastline, but not *Caulerpa taxifolia*. She noted that *Caulerpa mexicana* was quite common on the Israeli coast. She also warned that *Caulerpa taxifolia*, the sub-species that looked like *Caulerpa mexicana*, could easily be concealed in a big stand of *Caulerpa mexicana*. Since the two species were very close, special attention should be paid when monitoring *Caulerpa mexicana* communities. She observed that *Caulerpa scalpelliformis*, although not so common as *Caulerpa mexicana*, was also present on the Israeli coast. Of the two other species, *Caulerpa prolifera* had once been common, but had now disappeared, at least from shallow waters. *Caulerpa racemosa* had not been observed on the Israeli coast for the past 20 years. There had been no monitoring of algal species in deep waters off the Israeli coast for some 20 years and it was therefore impossible to be certain that these species did not exist at greater depths. One explanation for the disappearance of the various *Caulerpa* species off the Israeli coast could be the presence of a lessepsian fish species (*Siganus rivulatus*), which was now becoming common and presented the unusual characteristic of being a pure herbivore.

33. After reviewing the collaboration between various research institutions in his country, Professor G. Giaccone described the situation with regard to the propagation of *Caulerpa* species in Italy and its consequences. After noting that neither *Caulerpa racemosa* nor *Caulerpa taxifolia* had been observed before 1990, he stated that *Caulerpa racemosa* was the most common species in the Ionian Sea, in the Straits of Sicily, the Tyrrhenian Sea and the Gulf of Cagliari, as well as being present in Liguria. There were two populations of *Caulerpa taxifolia*, the first of which was found principally on the coast of Sicily and Calabria and presented *mexicanoid* characteristics. The second, which presented *taxifolioid* aspects, was found mainly on the coast of Tuscany and Liguria. With regard to *Caulerpa racemosa*, there

could be no doubt as to its Lessepsian origin. However, the origins of *Caulerpa taxifolia* were less clear and genetic studies would be needed to determine its precise genetic composition and origins. The various research projects carried out in Italy on almost all the issues raised by the international scientific community with regard to the *Caulerpa* species, led to the conclusion that the current invasive expansion of certain species in the Mediterranean was due to several complex causes. These included the excessive deterioration of coastal zones, maritime traffic and fishing activities over areas colonized by *Caulerpa* species, the deepening of the Suez Canal and the closure of the Aswan Dam. Other causes consisted of the multiplication of the number of aquaria and aquaculture sites, the increase in the average temperature of the seawater and the evolutionary phenomena taking place in *Caulerpa* populations in the Mediterranean.

Professor F. Cinelli and Dr G. Ceccherelli emphasized the danger of the expansion of *Caulerpa taxifolia* for biodiversity in the Mediterranean Sea and for *Posidonia* meadows in particular.

34. Presenting the country report for Lebanon, and also describing the situation in the Syrian Arab Republic, Mr G. Bitar regretted the lack of research work on the fauna and flora of the Lebanese coast. Although *Caulerpa taxifolia* did not appear to exist on the Lebanese coast, other species of *Caulerpa* had been observed: *Caulerpa prolifera* and *Caulerpa racemosa*. *Caulerpa mexicana* had been observed in Beirut but had then disappeared. A cause of concern in both Lebanon and the Syrian Arab Republic was the introduction from the Red Sea of the brown alga *Styopodium zonale*, which had invaded much of the coastline and threatened species such as *Stypocaulon scoparium*. Finally he expressed appreciation of the assistance provided by other Contracting Parties which provided documentation on environmental issues and wished that an international collaboration network is created. Mr Ahmad mentioned that the species of *C. prolifera*, *C. racemosa*, *C. scalpelliformis* and *C. mexicana* are found on the Syrian coast and especially in the regions of Tartous and Lattakia, up to 60 m (according to Prof. Mayhoub).

35. Dr A. Elmansori, presenting the country report for the Libyan Arab Jamahiriya, said that studies had shown that the Libyan coastline was the poorest in the Mediterranean in terms of marine flora. Although his country did not appear to have been colonized by *Caulerpa taxifolia*, patches of *Caulerpa prolifera* had been observed and *Caulerpa racemosa* was endemic in one area. The Libyan coastline offered good conditions for the expansion of *Caulerpa* species, due to its shallow water and high water temperatures, and vigilance would be required to prevent the introduction of *Caulerpa taxifolia*.

36. Ms C. Tanti in presenting the report prepared by Mr D. Stevens on the situation as regards the *Caulerpa* species in the Maltese Islands, she explained that, due to its position in the middle of the Mediterranean, the Maltese coastal environment was of an intermediate nature and included species from both the West and the East of the Mediterranean, including such lessepsian species as *Caulerpa racemosa*, which had been observed for the first time in 1997. *Caulerpa prolifera* used to form extensive meadows, but was declining in importance, probably due to physical disturbances in its area of distribution. Although *Caulerpa taxifolia* had not yet been observed, Maltese waters were at high risk of colonization due to their proximity to Sicily and the frequent maritime traffic between the two islands. Small-scale fishing activities, which favoured the spread of the species, were also of great importance to the Maltese economy. If Malta were to be colonized by *Caulerpa taxifolia*, it would threaten the Maltese sea grass communities and would have an adverse economic impact on fishing and tourism.

37. Presenting the country report for Monaco, Professor J. Jaubert said that the area that was most strongly colonized by *Caulerpa taxifolia* was situated under the Rocher de Monaco.

This population is monitored by the Oceanographic Museum, which carries out tests regular measurements, especially of plant biomass. The measurements have shown that this population seemed to have stabilised for several years; the natural return of *Pinna nobilis*, which had disappeared from the area for several decades was also observed. He added that a significant development of *C. taxifolia* under Loews Drop-Off had been noted in a report by the Association Monégasque pour la Protection de la Nature (AMPN). He then described the cartographic work carried out by the European Oceanological Observatory of the Scientific Centre of Monaco to map marine habitats in shallow waters (between 0 and -15 to 20 m). This work was carried out in the Bay of Menton, which had a topography much better suited to this type of study than the Bay of Monaco. The techniques used included a Compact Airborne Spectrographic Imager (CASI) mounted on a small helicopter. Mr Jaubert stated that the area most heavily colonized by *C. taxifolia* was a zone in front of two storm water drains which evacuated waste from the city of Menton and the surrounding hills. In that area, the *Posidonia* meadow present in the beginning of the century had disappeared several decades ago due to pollution, leaving an almost deserted area of muddy-sandy bottom which had recently been colonized by *Caulerpa taxifolia* and *Cymodocea nodosa*. The situation seemed now to have stabilized. Over the past two years an increase in the number of individuals of the *mexicanoid* type of *Caulerpa* with leaves and much broader pinnules than the one of the *taxifoloid* type was observed. Data obtained through the use of CASI in the Bay of Menton, generally considered one of the most heavily colonized areas of the French Riviera, contrasted sharply with certain claims in the literature concerning the size of surfaces covered by *C. taxifolia* and the alga's capacity to cover beds of *Posidonia oceanica*. In fact, preliminary processing of CASI data indicated: (a) a very low average cover rate (approximately 2.5 %) in the category of accessible depths (0 and 15-18 m) and (b) that the dense populations of *Caulerpa taxifolia* were confined to two distinct localities. Moreover, none of the patches of *Posidonia oceanica*, recorded on coloured photographs taken by the French National Geographic Institute in 1988 had been overgrown by *C. taxifolia*. One of the most interesting aspects of the data was that the mixed communities of *C. taxifolia* and *C. nodosa* were now showing evidence of renewed colonization by *Posidonia oceanica*.

38. In response to the previous speaker, Professor Meinesz and Mr Belsher raised a number of questions about the effectiveness of remote detection in identifying *Posidonia* meadows which were affected by *Caulerpa taxifolia*. They referred to information obtained from underwater videos and photographs which contradicted the information provided by Professor Jaubert and demonstrated that most of the *Posidonia* meadows in the coastal waters of Cap Martin were indeed being invaded by *Caulerpa taxifolia*.

39. Mr M.S. Kahouadji, introducing the country report for Morocco, regretted the lack of studies on biodiversity in Moroccan coastal waters. Although no *Caulerpa taxifolia* had been observed in his country, there were several species considered as invasive. One lagoon on the Mediterranean coast had been invaded by *Caulerpa prolifera*. *Caulerpa racemosa* had also been observed in 1945 in Tangiers, but since then the alga had never been encountered or spotted. In view of its commitment to the environment and to sustainable development, his country intended to undertake a programme of research on its coastal areas and to develop prevention and awareness raising measures before the occurrence of any major and irreparable invasion by *Caulerpa taxifolia*.

40. Mr R. Turk, presenting the country report for Slovenia, noted that regular and systematic research of the benthic flora had been carried out for over 25 years. There was no evidence of the presence of *Caulerpa taxifolia* or any other species of the genus *Caulerpa* so far in the Slovenian Sea. Although the presence of *Caulerpa prolifera* had been signalled 20 years ago on the western coast of Istria (Croatia), it no longer seemed to be present. He noted that the Slovenian coastal area, which extended for 46km over the southern part of the Gulf of

Trieste in the North Adriatic, consisted of a shallow marine ecosystem with freshwater inputs, which therefore experienced considerable temperature and salinity variations. Another important characteristic of the coastline was its intensive urbanization and the consequent serious degradation of the coastal ecosystems.

41. Dr M.A. Ribera, presenting the country report for Spain, described how her country had been active on the issue of *Caulerpa taxifolia* since 1992, even though the alga had not then appeared in the country. Surveillance had been carried out, particularly of the Catalan coast, which was the closest to the known locations of *Caulerpa taxifolia*. A national commission had been established to follow the issue and, in collaboration with the autonomous regions bordering the Mediterranean coast, had played an important role, particularly in encouraging Spain's involvement in the European Union's Life Programme. Research had been carried out on various issues, including the toxicity of *Caulerpa taxifolia*, and monitoring systems had been set up in all the Mediterranean regions, and particularly Catalonia, Valencia and the Balearic Islands. When sites colonized by *Caulerpa taxifolia* had been found in Mallorca, it had been decided to attempt to eradicate the alga. Although a large area was affected, eradication efforts had been successful in slowing the expansion of *Caulerpa taxifolia*. She added that the three autonomous regions had each adopted decrees and the central government had adopted an order prohibiting the extraction of *Caulerpa taxifolia* with a view to preventing its expansion. Finally, she referred to the Workshop held in Barcelona in 1994, at which the Barcelona Appeal had been drafted with a view to alerting national authorities to the emergence of the problem. It called on national authorities to apply the precautionary principle and define a national strategy with regard to *Caulerpa taxifolia*.

42. Introducing the country report for Tunisia, Mr S. Belkhiria reported on the initiatives undertaken in his country to prevent the introduction of *Caulerpa taxifolia* and to control its expansion in case this species appears. In this regard an action plan had been developed by the Ministry of Environment and Land Planning. Under the action plan, a committee had been set up which included the concerned administrations and research institutions. Awareness campaigns had been launched, including the preparation and dissemination of information materials and the organization of an information day in collaboration with SPA/RAC. Specific legislation had been adopted to prevent the introduction of foreign species in Tunisia and a survey of the northern coast had been carried out in August 1997, which had been organized by Greenpeace Tunisia and supported by the Ministry of the Environment and had not found any colonies of *Caulerpa taxifolia*. Fishers and sailors on yachts had been asked whether they had observed *Caulerpa taxifolia*, leading to a few reports of sightings off the shores of Tunisia which had not, however, been substantiated. The spread of *Caulerpa racemosa* along the Tunisian coast was being monitored and he considered that this species deserved more attention from the scientific community and funding agencies.

43. Describing the situation in Turkey, Ms E. Terzioglu reported on the initiatives taken in her country with regard to the *Caulerpa* species. No reports of *Caulerpa taxifolia* had been produced and disseminated to a targeted public. A project will be prepared for monitoring and control activities. She added that *Caulerpa racemosa* was known to be present in the South and South-Western Turkey.

Professor S. Cirik, reporting on the status of the *Caulerpa* genus along the Turkish Mediterranean coast, noted that three species *Caulerpa prolifera*, *Caulerpa olivieri* and *Caulerpa racemosa* had been reported. *Caulerpa racemosa* had to be considered a lessepsian immigrant and according to the first observations displayed invasive behaviour in certain points. It also demonstrated great ecological adaptability and had a significant effect on indigenous communities. He emphasized the importance of public information and awareness-raising campaigns in this respect

44. The full text of all the papers presented appear as Annex III to this report.

### Conclusions

45. After a discussion the Workshop agreed on the following conclusions:

a) There exist more than 70 species of the genus *Caulerpa* but only a handful of these are present in the Mediterranean sea.

b) *Caulerpa taxifolia* is a tropical species and was observed for the first time in Monaco in 1984. Since then it has expanded covering large areas of the Western Mediterranean and Adriatic coastal region (more than 3000 ha at the end of 1996). At the same time another *Caulerpa* species, *Caulerpa racemosa*, is expanding in many parts of the Mediterranean.

c) *Caulerpa taxifolia* has been studied extensively in the Mediterranean and the following can be concluded based on the results obtained:

- (i) *Caulerpa taxifolia* which colonizes the Mediterranean has some unusual morphological and physiological characteristics with respect to known *Caulerpa taxifolia* inhabiting the tropical seas.
- (ii) *Caulerpa taxifolia* can adapt itself to different light conditions and is found in dense beds down to 50 m depth.
- (iii) The growth curves as a function of water temperature show an adaptation to a large range of temperatures and a resistance to cold winter temperatures (3 months survival at 10°C).
- (iv) There is no connection between the development of *Caulerpa taxifolia* and water quality; it develops equally well in clean and polluted waters.
- (v) *Caulerpa taxifolia* synthesizes 9 toxic substances, including caulerpenyne which is predominant. The percentage of toxins by dry weight in *Caulerpa taxifolia* is usually higher in the Mediterranean than in the tropical seas.
- (vi) It has been shown that caulerpenyne in solution degrades rapidly in daylight conditions, in the presence of oxygen and chlorophylls or phaeophytins
- (vii) No caulerpenyne has been found to accumulate in sea urchins which have consumed *Caulerpa taxifolia*.
- (viii) No toxicity risk to humans has been observed.
- (ix) *Caulerpa taxifolia* colonizes all types of sea bottoms, such as, rock, sand, mud and dead *Posidonia* meadows.
- (x) *Caulerpa taxifolia* invades indigenous biocenoses modifying biodiversity and ecodiversity.

d) *Caulerpa racemosa* has not been studied intensively, like *Caulerpa taxifolia*. Nevertheless, the following can be concluded based on the available literature on *Caulerpa racemosa* inhabiting the Mediterranean.

- (i) *Caulerpa racemosa*, which is currently colonizing the Mediterranean, may present different morphological characteristics from one region to another and from the specimens described in the same region at the beginning of the 20th century.
- (ii) *Caulerpa racemosa* colonizes all types of substrate such as rock, sand, mud and dead *Posidonia* meadows down to 60m depth and interferes with marine coastal biocenoses. Also, it develops equally well in both clean and polluted water.
- (iii) The expansion of *Caulerpa racemosa*, according to preliminary research, may alter marine habitats.

In view of the above, the Workshop agreed that the most serious risk from *Caulerpa taxifolia* and *Caulerpa racemosa* was the upsetting of the ecological balance.

### **Recommendations**

46. In the light of this ecological risk, the Workshop decided to prepare a set of recommendations addressed to the Contracting Parties. For this purpose a working group, consisting of 12 participants, was set up to prepare the first draft. The final recommendations adopted by the Workshop were the following:

- Taking into account the conclusions of this Workshop;
- Taking into account the Convention on Biological Diversity adopted at Rio de Janeiro in 1992, which stipulates that each Party "*prevents the introduction of (...) those alien species which threaten ecosystems, habitats or species*";
- Taking into account the 1995 Protocol of the Barcelona Convention concerning Specially Protected Areas and Biological Diversity in the Mediterranean, which states that the Parties shall:

*take "all appropriate measures to regulate the intentional or accidental introduction of non-indigenous or genetically modified species ... and prohibit those that may have harmful impacts on the ecosystems or species" and*

*endeavour "to implement all possible measures to eradicate species that have already been introduced when, after scientific assessment, it appears that such species cause or are likely to cause damage to ecosystems, habitats or species in the area to which this Protocol applies."*

### ***The participants at the Workshop recommend:***

#### **A. Recommendations to all Mediterranean countries**

- (i) That in each country the necessary measures be adopted for the application of the above Protocol and Convention.

- (ii) To promote national and international coordination and cooperation of all the partners to prevent and slow down the spread of *Caulerpa taxifolia* and *Caulerpa racemosa* in the Mediterranean.
- (iii) To support international programmes for the exchange of information, training and scientific research.
- (iv) To prohibit the sale and use of *Caulerpa taxifolia* and *Caulerpa racemosa*, and to avoid the sale and use of the genus *Caulerpa* for aquaria (with the exception of the Mediterranean species *Caulerpa prolifera*).
- (v) To support the dissemination of information designed to encourage users of the sea to prevent the spread and indicate the presence of *Caulerpa taxifolia* and *Caulerpa racemosa*.
- (vi) That official instructions call upon users of the sea to indicate the presence of *Caulerpa taxifolia* and *Caulerpa racemosa* to the designated bodies.

#### **B. Recommendations to countries in which one or both of the two species are present**

- (i) To issue official instructions for all users of the sea to be called upon to avoid practices contributing to the spread of these species, particularly through the cleaning of anchors, fishing and diving equipment on the spot. The release of fragments of these algae at sea must be avoided. Large colonized areas should be indicated in port offices and nautical instructions.
- (ii) To establish inventories and carry out cartographic surveys of colonized areas.
- (iii) To monitor changes in the biocenoses of affected areas.
- (iv) To support scientific research into all the aspects relating to these species, the understanding of the phenomenon, the evolution of its consequences and the control of its dynamics.
- (v) To control, where possible, the expansion of the two species, particularly through the eradication of small colonies in areas that are highly valued for their natural heritage and regions that are distant from strongly colonized areas.

#### **Closure of the Workshop**

47. In his closing remarks, Mr G.P. Gabrielides expressed his satisfaction for the outcome of the Workshop and thanked all the participants for their active participation. Specifically, he mentioned that he was glad that the Workshop was kept to the scientific level and that a compromise was reached which enabled a unanimous decision as regards the conclusions and recommendations. He finally thanked the host institute and all the staff who worked hard to make the Workshop a success.

48. Prof. A. Meinesz, speaking on behalf of the participants described the Workshop as a success and thanked Mr Gabrielides for the outcome which he considered as a great achievement.

## RAPPORT DE L'ATELIER - VERSION FRANCAISE

### Introduction

1. La réunion extraordinaire des Parties contractantes à la Convention de Barcelone (Montpellier, juillet 1996) a approuvé l'organisation d'un atelier sur les espèces *Caulerpa*, dont on avait observé l'expansion au cours des dernières années, et auquel tous les scientifiques méditerranéens intéressés seraient invités à échanger leurs vues et leurs données d'expérience à ce sujet.

2. Le Secrétariat a décidé de tenir un "Atelier sur les espèces *Caulerpa* invasives en Méditerranée", du 18 au 20 mars 1998. L'Institut de biologie marine de Crète a accepté d'accueillir l'atelier dans ses locaux, à Héraklion (Crète). Les Points focaux du PAM ont été invités à distribuer une note d'information concernant l'atelier à tous les scientifiques concernés de leurs pays respectifs et à désigner un scientifique chargé d'établir et de présenter un rapport rendant compte de la situation de leur pays concernant l'expansion ou la présence éventuelles d'espèces *Caulerpa*.

3. Cinquante-trois scientifiques ont pris part à l'atelier. Les dix-neuf pays ci-après avaient désigné des représentants: Albanie, Algérie, Chypre, Croatie, Egypte, Espagne, France, Grèce, Israël, Italie, Liban, Jamahiriya arabe libyenne, Malte, Maroc, Monaco, République arabe syrienne, Slovénie, Tunisie et Turquie. La liste complète des participants figure à l'annexe I du présent rapport.

### Ouverture de la réunion et organisation des travaux

4. M. G.P. Gabrielides, administrateur de programme à l'Unité de Coordination du PAM, a déclaré l'atelier ouvert, au nom de M. L. Chabason, coordonnateur du PAM. M. Gabrielides a livré un bref aperçu des activités du PAM en évoquant notamment la révision de la Convention de Barcelone et de ses Protocoles. Il a indiqué que, dans la Phase III du MED POL, c'était désormais la maîtrise de la pollution et non plus l'évaluation de celle-ci qui était privilégiée dans les activités. S'agissant de l'algue *Caulerpa taxifolia*, le PAM suivait la situation et reconnaissait la qualité des travaux menés par des scientifiques de la région dans le cadre du programme LIFE de la DG XI de l'Union européenne. Un document consacré à cette question avait été établi et distribué à la réunion des Points focaux du PAM tenue en 1995. A la réunion des Points focaux de 1996, le représentant d'un pays qui avait été récemment atteint par *Caulerpa taxifolia*, avait demandé au PAM de prendre une initiative. Les Parties contractantes avaient alors décidé de tenir un atelier sur *Caulerpa* afin d'y échanger des vues et d'examiner s'il existait une base scientifique appelant la recommandation de nouvelles mesures. Le présent atelier venait concrétiser cette décision et réunissait des scientifiques qui étaient invités à débattre des questions scientifiques plutôt que des aspects d'ordre politique. L'atelier avait pour principal objet d'échanger des informations et des vues, et de formuler, s'il y avait lieu, conclusions et recommandations. Enfin, M. Gabrielides a adressé ses remerciements à l'Institut de biologie marine de Crète de s'être proposé pour accueillir la réunion.

5. Le professeur A. Eleftheriou (Institut de biologie marine de Crète) a souhaité la bienvenue en Crète aux participants. Il a souligné que si la Crète n'avait pas été directement touchée par la propagation de *Caulerpa taxifolia* jusqu'à présent, la question qui s'y posait était précisément de savoir quand les eaux de la Méditerranée orientale seraient à leur tour gagnées par la contagion. Le problème de *Caulerpa taxifolia* suscitait l'intérêt et les préoccupations de tous les écologistes. Il a indiqué aux participants que l'Institut de biologie marine était en



service depuis dix ans et qu'il travaillait dans les domaines de l'environnement et des pêches ainsi que de l'aquaculture et de questions génétiques liées à la pêche. L'Institut exploitait un bateau de recherche et une unité piscicole, et son équipe multimédia avait publié des rapports, des CD ROM et des vidéos, ainsi qu'un dictionnaire en quatre langues de la terminologie utilisée en aquaculture. Il a invité les participants à visiter les installations de l'Institut au cours de l'atelier

6 M. M. Barbieri (Centre d'activités régionales pour les aires spécialement protégées) a brièvement exposé le rôle du Centre de Tunis, notamment dans la mise en oeuvre du Protocole relatif aux aires spécialement protégées et à la diversité biologique en Méditerranée. Le Protocole n'était pas encore entré en vigueur, mais on espérait que cela serait bientôt fait et ses dispositions offraient un cadre juridique qui répondait très précisément au problème de *Caulerpa taxifolia*, notamment celles portant sur l'introduction d'espèces non indigènes et génétiquement modifiées. L'article 13 du Protocole stipulait:

*1. Les Parties prennent toutes les mesures appropriées pour réglementer l'introduction volontaire ou accidentelle dans la nature d'espèces non indigènes ou modifiées génétiquement et interdire celles qui pourraient entraîner des effets nuisibles sur les écosystèmes, habitats ou espèces dans la zone d'application du présent Protocole.*

*2. Les Parties s'efforcent de mettre en oeuvre toutes les mesures possibles pour éradiquer les espèces qui ont déjà été introduites lorsqu'après évaluation scientifique il apparaît que celles-ci causent ou sont susceptibles de causer des dommages aux écosystèmes, habitats ou espèces dans la zone d'application du présent Protocole.*

7. Le professeur C.F Boudouresque (Centre d'océanologie de Marseille), Coordonnateur des projets sur *Caulerpa* approuvés dans le cadre du programme LIFE de la DG XI de l'Union européenne, a brièvement présenté les deux phases du programme pour 1993-95 et 1996-1998, respectivement. La deuxième phase concernait la France, l'Italie et l'Espagne pour la rive Nord de la Méditerranée, l'Algérie, Malte et la Turquie pour la rive Sud, ainsi que la Croatie et la Turquie. Une trentaine de laboratoires et d'institutions représentant un très grand nombre de chercheurs y participaient activement. Les principales activités du programme étaient les suivantes: surveillance continue et sensibilisation; suivi cartographique de l'expansion de *Caulerpa taxifolia*; élaboration d'une stratégie de lutte reposant sur l'identification de techniques réalistes d'éradication de *Caulerpa taxifolia* et de limitation de sa progression; enfin, activités de formation. Grâce à ce programme, *Caulerpa taxifolia*, considérée comme l'une des quatre grandes invasions marines au plan mondial, était désormais l'espèce invasive sur laquelle on disposait de la plus grande masse d'informations.

8. L'atelier a élu le Bureau ci-après:

Président:	Professeur A. Eleftheriou, Institut de biologie marine de Crète
Vice-présidents:	Professeur C.F. Boudouresque, Université de Marseille-Luminy Professeur G. Giaccone, Université de Catania
Rapporteur:	Professeur A. Meinesz, Université de Nice-Sophia Antipolis

9. Les participants à l'Atelier sont convenus d'un programme de leurs travaux qui figure à l'annexe II du présent rapport.

## Présentations générales

10. Dans sa présentation intitulée "Espèces introduites en Méditerranée: routes, cinétique et conséquences", le professeur C.-F. Boudouresque a défini les espèces introduites comme celles dont l'expansion est directement ou indirectement liée à l'activité de l'homme et qui sont naturalisées, autrement dit qui deviennent capables de se reproduire *in situ* sans assistance humaine. Puis il a décrit les diverses routes par lesquelles les espèces non indigènes parvenaient en Méditerranée, les processus de leur répartition et les principales zones réceptrices. M. Boudouresque a passé en revue les principales phases de l'introduction de ces espèces et leurs effets néfastes éventuels sur la biodiversité. Bien que 1% seulement des espèces introduites réussissent normalement à s'établir puis à se naturaliser dans un nouvel environnement, certaines d'entre elles peuvent devenir invasives et évincer ou remplacer les espèces indigènes. L'orateur a souligné que la Méditerranée possède un niveau plus élevé d'espèces introduites que toute autre mer importante et a conclu que l'introduction d'espèces non indigènes est un phénomène marquant du fait qu'il en est encore à sa phase exponentielle, le nombre de ces espèces doublant presque en moyenne tous les 20 ans. En outre, les conséquences écologiques des espèces introduites sont souvent sous-estimées, et leur impact économique difficile à prévoir. Les législations nationales sont un instrument insuffisant pour assurer la protection de la biodiversité autochtone, et elles s'avèrent souvent peu réalistes et toujours inefficaces. Les espèces introduites ne respectent pas les frontières nationales, si bien que les accords internationaux sont d'une importance vitale. Enfin, le principe de précaution devrait être systématiquement appliqué pour ces espèces.

11. Dans sa présentation sur la situation générale de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée et l'analyse des biotopes atteints, le professeur A. Meinesz a souligné que les zones touchées évoluent rapidement d'une année à l'autre. On dénombre actuellement plus de 110 colonies de *Caulerpa taxifolia* dans l'ensemble de la Méditerranée, dont certaines sont devenues tellement vastes qu'il est impossible aux plongeurs d'en évaluer avec précision la superficie. Il a rappelé quelles avaient été les origines et les premières observations de *Caulerpa taxifolia*, les campagnes de sensibilisation menées au début des années 90 et les efforts déployés en permanence par un grand nombre de plongeurs pour étayer concrètement la progression de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. On ne dispose pas de preuves de la propagation de *Caulerpa taxifolia* par reproduction sexuée. Par contre chaque bouture qui se fixe s'étend rapidement à l'aire environnante par extension de ses stolons. Quand elle apparaît à longue distance, elle le fait très vraisemblablement par dissémination imputable aux ancres de navires et aux filets de pêche. Lorsqu'on a signalé de nouvelles observations de *Caulerpa taxifolia*, elles se situaient presque toujours dans des zones de mouillage de bateaux de plaisance ou de pêche. En conclusion, M. Meinesz a tenu à souligner que *Caulerpa taxifolia*, depuis son introduction, s'est manifestée par une invasion massive, en s'attaquant notamment aux écosystèmes les plus riches de la Méditerranée. En raison de ses caractéristiques biologiques, c'est l'ensemble du bassin qui pourrait être atteint. L'algue représente donc une menace majeure pour les écosystèmes les plus importants de la Méditerranée entre 0 et 50 m de profondeur.

12. Lors de son intervention sur les conséquences écologiques et possibles conséquences économiques de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée, le professeur Mme C. Rodríguez-Prieto a exposé les variations saisonnières de la densité de l'algue, les dimensions maximales et minimales de ses fondes primaires et secondaires, la densité de ses rhizomes et de sa biomasse. Cette dernière est considérablement plus faible que celle de la flore marine autochtone. Mme Rodríguez-Prieto a également indiqué que l'algue peut proliférer à des températures, des profondeurs et sur des substrats extrêmement variables. La prolifération de *Caulerpa taxifolia* a pour principales conséquences la disparition des algues indigènes, ce qui a des incidences pour la plupart des communautés faunistiques, bien que les mollusques ne

paraissent pas en pâtir beaucoup et que certaines espèces de poisson ne soient pas affectées. *Caulerpa taxifolia* entraîne également une perte de la diversité des espèces et de la biomasse se soldant par une baisse qualitative et quantitative de la production marine. La capacité réduite de *Caulerpa taxifolia* à absorber des sels nutritifs a favorisé le développement du plancton, d'où, autre conséquence, une turbidité accrue de la colonne d'eau. L'expansion ininterrompue de *Caulerpa taxifolia* devrait donc aboutir à une uniformisation sans cesse croissante du fond de la mer, ce qui devrait rendre moins attractives certaines formes de tourisme. La réduction du stock de poisson pourrait aussi poser des problèmes aux activités de la petite pêche. En réponse à une observation du professeur G. Giaccone selon laquelle les recherches menées en Italie avaient conduit à des conclusions tout autres concernant la biodiversité, l'intervenante a fait valoir les difficultés inhérentes à la comparaison des résultats de recherches différentes et la nécessité d'obtenir des données tant quantitatives que qualitatives pour évaluer les changements effectifs touchant la biodiversité. Le professeur Meinesz a ajouté pour sa part qu'il était généralement admis que l'invasion de *Caulerpa taxifolia* se traduisait par un déclin brutal de la biodiversité dans les zones atteintes.

13. Lors de son intervention sur les aspects écologiques et écotoxicologiques de *Caulerpa taxifolia*, le professeur F. Dini a mis en relief les différences très accusées des caractéristiques de croissance entre les souches de *Caulerpa taxifolia* trouvées en Méditerranée et celles que l'on rencontre dans les zones tropicales de l'océan mondial. De fait, une étude comparative du génome de trois souches de *Caulerpa taxifolia* provenant de sites géographiquement très différents a révélé de grandes différences génétiques. S'agissant de la toxicité de *Caulerpa taxifolia*, les populations qui colonisent la Méditerranée ont été caractérisées par la production de sept terpénoïdes inédits, ainsi que d'autres terpénoïdes déjà connus comme l'oxytoxine et la caulerpényne très toxique. Cependant, la recherche a montré que ce dernier terpénoïde en solution, exposé à la lumière du jour et en présence d'oxygène, de chlorophylles ou de phéophytines s'est rapidement dégradé et qu'il finit par donner des produits bioinactifs. Les recherches menées au large de l'île d'Elbe sur une période de trois ans ont mis en évidence que, lors d'une colonisation de *Caulerpa taxifolia* croissant au fil des années, l'incidence de microbactéries (gram-) augmente alors que celle des (gram+) baisse. *Caulerpa taxifolia* exerce donc une pression élective très forte sur les communautés bactériennes. Bien que le nord-ouest de la Méditerranée subisse des modifications drastiques résultant du comportement écologique agressif du *Caulerpa taxifolia*, le comportement des communautés bactériennes autorise à penser qu'une adaptation de l'écosystème à la nouvelle situation est en cours. Ainsi peut-on envisager un scénario où l'établissement de *Caulerpa taxifolia* au nord-ouest de la Méditerranée finirait par s'équilibrer. En réponse à une observation du professeur Meinesz selon laquelle il existait un vaste corpus de travaux étayant l'hypothèse que la toxicité de *Caulerpa taxifolia* aggravait les problèmes écologiques de son expansion, le professeur Dini a indiqué qu'il existait à l'heure actuelle un petit nombre d'organismes qui se nourrissaient sur *Caulerpa taxifolia*, situation qui changerait vraisemblablement à l'avenir.

14. Abordant la question de savoir s'il est possible de maîtriser l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée, M. V. Gravez a souligné plusieurs éléments d'une stratégie à cet effet. Il a fait observer qu'à cet égard la Convention sur la biodiversité et le Protocole relatif aux aires spécialement protégées et à la diversité biologique en Méditerranée offraient un bon cadre juridique pour une telle stratégie. Il a ajouté que de nombreuses recherches avaient été entreprises, avec des activités très concrètes de surveillance continue, ce qui était d'une grande importance pour répondre à la première condition d'une stratégie de maîtrise de l'expansion de *Caulerpa taxifolia*, à savoir la diffusion de l'information aux décideurs et aux scientifiques. Le deuxième élément d'une stratégie consiste à prévenir la contamination de nouveaux sites et nouveaux pays. Bien que des réglementations aient été adoptées à cette fin en France et en Espagne, elles se sont heurtées à des difficultés d'application. Les programmes de sensibilisation et d'information sont par conséquent nécessaires, notamment à l'intention de

tous les utilisateurs de la mer, comme les pêcheurs et les propriétaires de bateaux de plaisance, ainsi que des possesseurs d'aquariums. Environ 90 pour cent des informations sur l'étendue de l'invasion de *Caulerpa taxifolia* proviennent des campagnes de sensibilisation invitant les plongeurs à signaler de nouvelles colonies. Le troisième élément important d'une stratégie consiste à préserver les sites d'importance patrimoniale, et notamment les 45 aires protégées marines de la Méditerranée. Une démarche spécifique s'impose à cet effet et doit comprendre des activités de formation et de sensibilisation, l'investigation des zones à risque, des règlements limitant l'utilisation des ancres de navire, et des opérations de contrôle, notamment en vue d'éradiquer les nouvelles colonies de petites dimensions.

15. Un élément important d'une stratégie de lutte contre *Caulerpa taxifolia* consiste à maîtriser les colonies existantes, ce qui requiert la gestion des zones déjà fortement atteintes par le biais d'activités d'information, de la réglementation et si nécessaire de l'interdiction du mouillage des navires et de la pêche, y compris, par exemple, le marquage des zones en cause sur les cartes marines et l'utilisation de bouées de signalisation. Un autre point à prendre en considération est de prévenir la propagation de *Caulerpa taxifolia* au cours des opérations de dragage des ports. Les boues de dragage provenant d'aires colonisées ne devraient pas être rejetées en mer, du moins jusqu'à ce qu'un délai suffisant se soit écoulé pour s'assurer que des algues n'ont pu survivre. Des mesures de lutte doivent être adoptées pour les petites colonies apparues à distance de zones fortement colonisées. Cependant, les techniques actuelles d'éradication, y compris le recours à des suceuses à air, n'ont permis de traiter que quelques mètres carrés du fond. Même dans ce cas, l'algue repousse toujours, ce qui appelle donc une surveillance régulière des surfaces traitées. A l'heure actuelle, seul un ralentissement de l'expansion de l'algue est possible. Mais si rien n'est fait à court terme, le problème deviendra très rapidement incontrôlable. La seule solution consiste donc à recourir aux techniques actuelles tout en attendant la mise au point de méthodes plus efficaces. D'autres méthodes en cours d'étude consistent à recouvrir les bancs de *Caulerpa taxifolia* de toiles en plastique opaques qui limitent la photosynthèse, à effectuer des épandages de sel et des traitements au cuivre. L'unique solution à long terme consistera à mettre au point des méthodes de lutte biologiques. Deux espèces exotiques de limaces de mer (ascoglosses) ont été identifiées et des expériences en aquarium ont montré qu'elles offrent des perspectives de maîtrise des populations algales. Il s'impose désormais de procéder à des expériences *in situ* en conditions contrôlées, mais toute décision concernant la lutte contre l'algue doit être prise au niveau international. En attendant, il convient d'adopter un calendrier, d'identifier les ressources financières et de fixer des priorités. Il est également très important que la menace que fait peser *Caulerpa taxifolia* sur la biodiversité et sur l'ensemble de la société soit reconnue au plan officiel.

16. Après que plusieurs participants aient accueilli très favorablement cette présentation, le professeur Meinesz a ajouté qu'il fallait trancher: ou bien *Caulerpa taxifolia* était un phénomène naturel, qui pourrait même s'avérer bénéfique pour la Méditerranée, auquel cas aucune mesure n'était à prendre; ou bien, comme le soutenait la grande majorité de la communauté scientifique, il constituait un risque majeur pour les écosystèmes, auquel cas il fallait prendre les mesures indispensables au niveau de l'administration, du droit, de l'information et de la lutte, comme le recommandaient instamment de nombreux scientifiques depuis 1991. Le professeur Eleftheriou a insisté pour sa part sur la nécessité de mobiliser les hommes politiques sur cette question puisqu'ils étaient les seuls à avoir la haute main sur les fonds publics.

### **Présentations spécifiques**

17. Présentant une étude d'une durée de six ans consacrée à l'impact de *Caulerpa taxifolia* sur les populations de poissons au Cap Martin (Menton, France), Mme Harmelin-Vivien

a exposé les résultats de plus de 1900 relevés visuels dans des sites colonisés et des sites de référence, constitués essentiellement de substrats rocheux et d'herbiers de *Posidonia oceanica*. L'étude a mis en évidence une diminution significative du nombre moyen d'espèces, de la densité et de la biomasse moyennes de poissons dans les sites colonisés par *Caulerpa taxifolia* par rapport aux sites de référence. La réduction du nombre d'espèces se situe entre 20 et 30 pour cent, alors que celle de la densité et celle de la biomasse dépasse 30 et 50 pour cent respectivement. Cependant, les populations de certaines espèces de poisson dans les zones atteintes par *Caulerpa taxifolia* demeurent constantes, voire même augmentent pour certaines espèces de la famille des labridés, suggérant un phénomène biologique complexe. L'impact sur la faune de poissons est particulièrement marqué quand l'écosystème initial était d'une grande complexité, offrant des types nombreux et variés d'habitat et de sources de nourriture aux poissons.

18 Présentant des études menées sur la modélisation et la simulation de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée nord-occidentale, M. P. Coquillard a retracé les efforts d'une équipe d'experts pour établir un modèle susceptible de prédire la colonisation par *Caulerpa taxifolia*, sa répartition géographique, et de permettre des projections statistiques et cartographiques. A cette fin, il a été nécessaire de prendre en compte toute une série de paramètres, notamment la réceptivité de divers types de fond, les courants, les variations saisonnières, les effets spatiaux et interactions à longue distance, ainsi que plusieurs autres facteurs pouvant influencer sur la colonisation. Après avoir exposé bon nombre des activités menées pour valider le programme, M. Coquillard a exprimé l'avis que le modèle était désormais en partie validé et qu'il gagnerait encore en fiabilité en intégrant des données plus détaillées sur les courants et les activités anthropiques. Le modèle pourrait contribuer à une politique de sanctuarisation des aires appelant une protection spéciale ainsi qu'à une projection des effets de diverses mesures de lutte contre *Caulerpa taxifolia*.

19. Exposant des investigations expérimentales concernant les effets opposés de *Posidonia oceanica* sur *Caulerpa taxifolia*, Mme G. Ceccherelli a détaillé une série d'expérimentations effectuées au large de l'île d'Elbe pour explorer les facteurs des herbiers de *Posidonia oceanica* influant sur la croissance de *Caulerpa taxifolia*. La longueur et la densité des frondes de *Caulerpa taxifolia* ont servi à mesurer la croissance de l'algue quand elle était isolée, à la limite des herbiers de *Posidonia*, et qu'elle était située au sein de *Cymodocea nodosa*. Les investigations ont permis d'établir que *Posidonia* a un effet positif sur la croissance de *Caulerpa taxifolia*, ce que l'on peut vraisemblablement attribuer au refuge qu'elle offre contre les perturbations hydrodynamiques. Les résultats autorisent aussi à penser que des herbiers denses de *Posidonies* sont peut-être moins vulnérables que les herbiers clairsemés à l'invasion par *Caulerpa taxifolia* ce qui, réciproquement, assure à *Caulerpa taxifolia* un bon compromis entre protection et diminution de la lumière. La croissance plus vigoureuse de *Caulerpa taxifolia* à de plus grandes profondeurs (dépassant 10 m) confirme que les herbiers de *Posidonia* sont alors plus menacés à ces niveaux où *Caulerpa taxifolia* les prive de la lumière dont ils ont besoin.

20. Dans son intervention sur la présence de *Caulerpa taxifolia* dans l'archipel des Baléares, M. A.N. Grau a exposé les mesures de surveillance et de prévention prises depuis la première observation de l'algue dans cette zone en 1992. Les mesures de lutte ont comporté l'éradication manuelle et le recours à des suceuses à air, appuyés par un vaste programme de surveillance continue des sites sur lesquelles des mesures d'éradication avaient été prises ainsi que d'autres sites voisins menacés d'invasion. L'expérience a montré que l'utilisation des suceuses à air était au moins deux fois plus efficace que l'éradication manuelle. Sans se montrer optimiste quant à l'évolution future de la situation, M. Grau a indiqué que *Caulerpa taxifolia* est présente dans l'archipel depuis neuf ans et que les mesures prises ont permis de circonscrire son expansion à deux aires. Ces mesures ont donc permis de ralentir

notablement la progression de l'algue. En réponse à plusieurs questions, il a indiqué que le coût du programme de mesures prises dans l'archipel des Baléares se montait à 10 millions de pesetas par an. Il a en outre précisé que, bien que *Caulerpa taxifolia* ait été probablement apportée à l'une des deux zones atteintes par bateau, cela paraissait fort improbable pour l'autre qui est protégée par une barrière pendant l'été. Il se pourrait que cette dernière zone ait été contaminée par le rejet du contenu d'un aquarium.

21. A la suite de la projection d'un film vidéo "Sur les traces de la *Caulerpe*", M. T. Belsher a présenté les éléments de la cartographie et les modifications de *Caulerpa taxifolia* le long du littoral des Alpes-Maritimes et de Monaco. Il a évoqué les initiatives prises dans le cadre du programme LIFE II de l'Union européenne ainsi que celles prises au niveau national pour étudier l'expansion de l'algue. Toute une gamme de méthodes de surveillance ont été utilisées au fil des années, notamment la photographie aérienne et l'utilisation de vidéocaméra sous-marine appuyées par un programme informatique spécial, ce qui a permis aux opérateurs de quantifier très rapidement la population de *Caulerpa taxifolia* dans une aire donnée et de la visualiser jusqu'à une profondeur comprise entre 80 et 100 mètres, en fonction de facteurs techniques et des conditions météorologiques. Dans l'aire étudiée, il a donc été possible de suivre étroitement les variations saisonnières, l'expansion de *Caulerpa taxifolia* et sa progression vers des eaux plus profondes, ainsi que l'impact des événements météorologiques. L'emploi de nouvelles techniques est envisagé, notamment l'utilisation d'un appareil laser adapté à l'usage en mer. Celui-ci devrait permettre d'étudier une surface beaucoup plus vaste et assurer une surveillance plus précise de l'impact de *Caulerpa taxifolia* sur les écosystèmes marins.

22. Abordant le problème de l'invasion de *Caulerpa* et les initiatives prises par le Centre ENEA de La Spezia, M. A. Peirano a déclaré que ce Centre participait activement à des programmes nationaux et internationaux concernant la biodiversité, l'océanographie et le changement climatique. Il convenait de souligner notamment l'intérêt du projet relatif à la cartographie qu'il avait exécuté pour les herbiers de *Posidonia oceanica* et de *Cymodocea nodosa* de Ligurie avant qu'ils ne soient atteints par *Caulerpa taxifolia*. A propos de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Ligurie, il a évoqué la menace qu'elle faisait peser sur les parcs marins nationaux. Il a présenté deux scénarios à moyen terme (sur dix ans) concernant l'invasion de *Caulerpa taxifolia* en Ligurie. Les herbiers à *Posidonia oceanica* et les communautés coralligènes sont menacés. A n'en pas douter, la prolifération de *Caulerpa taxifolia* revêtait un caractère de gravité, non seulement pour les zones côtières ligures mais pour l'ensemble du littoral italien. Il fallait donc espérer que le présent atelier servirait à relancer la sensibilisation du gouvernement italien au problème pour que des efforts soient consentis en vue de forger des outils techniques, notamment la cartographie du statut algal du littoral.

23. Présentant une étude sur le phytobenthos marin du littoral atlantique et méditerranéen du Maroc, le professeur L. Najim a fait état des caractéristiques du littoral marin, dont la longueur est d'environ 3.500 km, y compris les 450 km de son segment méditerranéen, et qui présente une grande richesse d'espèces algales. Après avoir passé en revue les études menées sur le littoral atlantique et méditerranéen, il a exposé les conditions dans lesquelles *Caulerpa prolifera* est présente dans la lagune de Nador sur la façade méditerranéenne. La lagune en question est soumise à un niveau élevé de pollution par des déchets municipaux et se compose d'une étendue d'eau pratiquement fermée. M. Najim a déclaré qu'il souhaitait créer un réseau de collaboration, développer la prévention et la sensibilisation au problème de *Caulerpa taxifolia* et adhérer au programme LIFE de l'Union européenne.

24. M. A. Djellouli a apporté des renseignements sur la situation de *Caulerpa racemosa* le long du littoral tunisien. L'espèce a été observée pour la première fois en 1926 au large de Sousse. Jusqu'en 1995, on observait sa présence uniquement le long du littoral au sud de

Sousse et dans le golfe de Gabès. En 1996, elle est décelée dans la lagune du Bizerte au nord de la Tunisie, ce qui indique que l'algue progresse. L'espèce témoigne d'une grande faculté d'adaptation aux milieux. On l'a observée jusqu'à une profondeur de 80-90 m et elle présente des différences morphologiques *in situ* et dans les aquariums. De nouvelles études sont nécessaires pour identifier les facteurs physiques et chimiques susceptibles d'influer sur le développement de l'algue et il conviendrait d'établir une comparaison entre les divers sites où elle est présente. En ce qui concerne *Caulerpa taxifolia*, M. Djellouli a indiqué que la Tunisie a adhéré au programme LIFE de l'Union européenne et que des documents d'information ont été traduits en arabe. Il a invité les Etats arabophones intéressés à y recourir. Il a souligné l'attitude vigilante adoptée par son pays en ce qui concerne l'introduction de nouvelles espèces.

### Présentation des rapports par pays

25. Présentant le rapport sur l'Albanie, M. L. Kashta a fait observer que le littoral albanais présentait des traits méditerranéens typiques, avec des espèces provenant de diverses parties de la Méditerranée. Aucune colonisation par *Caulerpa taxifolia* n'y a encore été relevée, bien qu'on ne puisse être absolument certain de cette absence étant donné qu'il n'a pas été mené d'études de la flore marine ces dernières années et qu'il n'a pas été instauré de système de surveillance systématique à cette fin. La seule espèce du genre *Caulerpa* décelée le long du littoral albanais est *Caulerpa prolifera*. M. Kashta a préconisé la mise en place d'un réseau de surveillance en collaboration avec des institutions d'autres pays méditerranéens.

26. Présentant le rapport sur l'Algérie, M. R. Semroud a souligné que les recherches avaient confirmé que *Caulerpa taxifolia* représentait une menace importante pour la biodiversité et l'écodiversité en Méditerranée. De plus, il n'y avait aucune raison d'envisager un ralentissement naturel de son expansion. Bien que l'algue ne soit pas présente dans ses eaux, l'Algérie, en tant que Partie contractante à la Convention de Barcelone, est naturellement concernée par cette très grave menace écologique en Méditerranée. M. Semroud a fait référence à l'article 13 du Protocole relatif aux aires spécialement protégées et à la diversité biologique en Méditerranée et a souligné que l'instauration de mesures d'éradication devait s'accompagner d'une stratégie visant à freiner l'expansion de *Caulerpa taxifolia* dans le Bassin. Il s'imposait notamment, à cet égard, d'appliquer le principe de précaution énoncé dans la Convention de Barcelone.

27. Présentant le rapport sur le statut de *Caulerpa taxifolia* en Croatie, M. A. Zuljevic a indiqué que l'algue était présente en trois sites du littoral de son pays. La première observation remonte à 1994. Diverses méthodes ont été utilisées, à chaque site, pour l'éradication, notamment l'arrachage manuel, l'arrachage par suceuse à air et le recouvrement par une feuille de CPV noire. Au site du canal de Barbat, *Caulerpa taxifolia* a été totalement éradiquée, et elle ne l'a été que partiellement du site de Malinska. Dans la baie de Stari Grad, des mesures sont actuellement prises pour enrayer une poursuite de l'expansion. Ces mesures sont financées par le pouvoir local. On a constaté que *Caulerpa taxifolia* meurt au bout de trois mois sous la feuille opaque de CPV. De nouvelles mesures d'éradication sont prévues pour chacun des sites. D'autres mesures prises pour enrayer la progression de l'algue comprennent l'interdiction de la pêche dans les zones atteintes et des campagnes d'information. Une surveillance continue a également été instaurée, tant pour les sites déjà traités que pour les zones à risque, et ce avec le concours de clubs de plongée. Il ressort de l'expérience croate que de petites surfaces de *Caulerpa taxifolia* peuvent être totalement éradiquées, notamment sur les fonds vaseux.

28. Exposant la situation à Chypre, Mme M. Argyrou a indiqué que, bien que *Caulerpa taxifolia* n'ait pas été décelée dans son pays, l'espèce de la mer Rouge *Caulerpa racemosa* était présente dans les eaux côtières de l'île depuis 1991. A l'heure actuelle, cette algue

prolifère au tour de la majeure partie du littoral de Chypre, la région sud-est étant la plus fortement atteinte. Mme Argyrou a précisé que l'algue formait des mattes vertes denses dans toute une série d'habitats, sur les fonds sableux ou vaseux, depuis les petits fonds jusqu'à une profondeur de 60 m. L'expansion de *Caulerpa racemosa* pourrait constituer une menace particulière pour les herbiers de *Posidonia*. Une étude récente a révélé des modifications significatives de la composition et de l'abondance des biocénoses macrofaunistiques qui seraient imputables, en partie du moins, à la croissance prolifique de *Caulerpa racemosa*. De plus, des travaux récents donnent à penser que le déclin de la population des poissons *Siganus luridus* et *Siganus rivulatus*, enregistré ces derniers temps, pourrait être en rapport avec leur habitude de broutage de *Caulerpa racemosa*. Mais il faudrait disposer de davantage de données pour étudier les conséquences écologiques des modifications entraînées par l'apparition et l'expansion de *Caulerpa racemosa* qui est encore en pleine évolution.

29. Présentant le rapport sur l'Egypte, M. A.N. Khalil a rappelé que son pays possédait un littoral de plus de 1000 km de long et constitué principalement de rivages sableux, vaseux et rocheux. La zone au large d'Alexandrie est d'une biodiversité très riche. Bien qu'aucune tache de *Caulerpa taxifolia* n'y ait été observée, diverses espèces de *Caulerpa* sont présentes dans la zone. *Caulerpa prolifera* est très abondante, et *Caulerpa scalpelliformis* a été relevée dans deux sites au large d'Alexandrie. Ces dernières années, *Caulerpa racemosa* a également envahi la zone et a été observée pour la première fois à proximité de deux émissaires. Une nouvelle étude sur la présence de l'association algale en zones profondes (40 m) le long du littoral d'Alexandrie a révélé un fort taux d'occupation par des espèces *Penicillus* et *Caulerpa*. Compte tenu du nombre restreint d'informations disponibles, il convient de développer les études sur la répartition et la présence des algues marines le long de la façade méditerranéenne de l'Egypte où des espèces *Caulerpa* et d'autres algues pourraient être présentes.

30. En présentant le rapport sur la France, M. T. Belsher a exposé les mesures prises depuis les premières observations de *Caulerpa taxifolia*, à Monaco en 1988 et au Cap Martin (France) en 1990. Une campagne de sensibilisation a été lancée en 1991, et un comité de coordination scientifique mis en place en 1992, ce qui a permis de développer la surveillance et les expérimentations, conjointement à des mesures d'éradication et à de nouvelles campagnes de sensibilisation. L'action s'est encore amplifiée avec le lancement des deux programmes LIFE de l'Union européenne, tandis qu'une collaboration s'est instaurée à divers niveaux, du gouvernement aux collectivités locales. Le recours à d'importants moyens logistiques (hélicoptères, navires de recherche sous-marins, etc.) a contribué à l'acquisition d'une grande masse de connaissances sur la progression et les caractéristiques de *Caulerpa taxifolia*.

Poursuivant l'exposé de la situation en France, M. V. Bentata a présenté le programme sur cinq ans qui est en cours de lancement à l'initiative du Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement en vue de prévoir l'évolution de *Caulerpa taxifolia* et d'en évaluer les conséquences ainsi que de mettre au point des techniques de lutte. Le programme met l'accent sur la recherche, la surveillance et le développement de techniques en vue de mesures visant à prévenir l'expansion de *Caulerpa taxifolia* et éventuellement à l'enrayer dans les zones d'importance patrimoniale et de valeur économique. La recherche portera sur les caractéristiques de l'algue de même que sur les méthodes de prévision de son expansion, sur le développement des connaissances quant à ses effets sur la biodiversité, et sur son impact économique et social. La mise au point de techniques de lutte contre *Caulerpa taxifolia* intégrera des méthodes de lutte biologiques, en ayant recours à des espèces indigènes à l'espace méditerranéen. Outre la cartographie de l'expansion de *Caulerpa taxifolia*, les mesures de surveillance concerneront avant tout l'évolution locale des écosystèmes dans les aires colonisées par l'algue. Dans le domaine de la prévention et de la maîtrise de la



progression de l'algue, l'accent sera mis sur l'élaboration de toute une série d'outils, priorité étant accordée aux sites appelant une protection particulière. A l'issue de la période de cinq ans, les progrès obtenus seront évalués avant de décider de la nécessité de prendre des mesures supplémentaires.

31. M. P. Panayotidis, en informant les participants de la situation en Grèce, a rappelé que son pays possédait un très long linéaire côtier et a déclaré qu'on ne pouvait affirmer en toute certitude que *Caulerpa taxifolia* n'existait pas dans ses eaux, bien qu'elle n'ait pas encore été observée. Il a indiqué des activités de surveillance concernant l'écologie littoral en Grèce étaient menées sur une base régulière, et que l'expansion de nouvelles espèces provenant de la mer Rouge faisait l'objet d'un suivi très soigneux. M. Panayotidis a décrit la progression de *Caulerpa racemosa*, observée pour la première fois en 1993 et devenue depuis lors l'élément dominant de la végétation en certains sites. L'algue avait été également observée en Crète pour la première fois quelques jours avant la tenue du présent atelier. Bien que l'on ne disposât pas de données suffisantes sur l'impact de *Caulerpa racemosa*, il n'était pas, à son avis, comparable à celui de *Caulerpa taxifolia*, laquelle était très agressive à l'égard des herbiers de *Posidonia*. M. Panayotidis a précisé que, dans le cas où *Caulerpa taxifolia* apparaîtrait, des mesures seraient prises pour l'éliminer de Grèce avant qu'elle ne proliférât comme elle l'avait fait dans plusieurs pays méditerranéens.

32. Evoquant la situation en Israël, Mme R. Einav a déclaré que quatre espèces de *Caulerpa* avaient été observées le long du littoral, mais que *Caulerpa taxifolia* n'y figurait pas. Mme Einav a aussi fait observer que *Caulerpa taxifolia*, une sous-espèce ressemblant à *Caulerpa mexicana*, pouvait aisément se cacher au sein d'un peuplement important de *Caulerpa mexicana*. Comme les deux espèces sont très proches, il convient de prêter une attention toute spéciale aux communautés de *Caulerpa mexicana*. Elle a noté que *Caulerpa scalpelliformis*, bien que pas aussi commune que *Caulerpa mexicana*, était également présente sur le littoral israélien. S'agissant des deux autres espèces, *Caulerpa prolifera* avait jadis été commune mais avait maintenant disparu, du moins des petits fonds, et *Caulerpa racemosa* n'avait plus été observée sur le littoral israélien depuis 20 ans. Il n'y avait pas eu de surveillance continue des espèces algales en eaux profondes le long du littoral israélien depuis une vingtaine d'années et il était donc impossible de soutenir avec certitude que ces espèces n'existaient pas à de plus grandes profondeurs. On pouvait expliquer la disparition des diverses espèces de *Caulerpa* le long du littoral israélien par la présence d'une espèce de poisson lessepsienne (*Siganus rivulatus*) qui devenait présentement commune et présentait le caractère insolite d'être un pur herbivore.

33. Après avoir évoqué la collaboration instaurée entre diverses institutions de son pays, le professeur G. Giaccone a présenté la situation de l'Italie quant à la propagation de l'espèce *Caulerpa* et à ses conséquences. Après avoir fait observer que ni *Caulerpa racemosa* ni *Caulerpa taxifolia* n'avaient été signalées avant 1990, il a déclaré que *Caulerpa racemosa* était l'espèce la plus commune en mer Ionienne, dans le détroit de Sicile, en mer Tyrrhénienne et dans le golfe de Cagliari, et qu'elle était également présente en Ligurie. Il y a deux populations de *Caulerpa taxifolia*, la première que l'on rencontre principalement sur le littoral sicilien et calabrais, et qui présente des caractéristiques *mexicanoïdes*. La seconde, qui présente des aspects *taxifolioïdes*, que l'on rencontre surtout sur le littoral toscan et ligurien. En ce qui concerne *Caulerpa racemosa*, son origine lessepsienne ne prête à aucun doute, mais les origines de *Caulerpa taxifolia* sont moins claires et des études génétiques sont nécessaires pour déterminer sa composition génétique et ses origines précises. Les divers projets de recherche exécutés en Italie sur la plupart des questions soulevées par la communauté scientifique internationale à propos de *Caulerpa taxifolia* conduisent à la conclusion que l'expansion invasive actuelle de certaines espèces en Méditerranée est due à plusieurs causes complexes. On peut citer la dégradation excessive des zones côtières, le trafic maritime et les

activités de pêche au-dessus des aires colonisées par des espèces *Caulerpa*, l'approfondissement du canal de Suez et la fermeture du barrage d'Assouan. D'autres causes comprennent la multiplication du nombre des aquariums et des exploitations aquacoles, la hausse de la température moyenne de l'eau de mer, et les évolutions qui se produisent au sein des populations de *Caulerpa* en Méditerranée.

Le professeur F. Cinelli et M. G. Ceccherelli ont insisté sur le danger que *Caulerpa taxifolia* représente pour la biodiversité en mer Méditerranée, et notamment pour les herbiers de *Posidonia*

34. Présentant le rapport sur le Liban, et exposant conjointement la situation de la République arabe syrienne, M. G. Bitar a regretté l'absence d'un réseau de recherches sur la faune et la flore du littoral libanais. Bien que *Caulerpa taxifolia* ne semble pas être présente dans les eaux libanaises, d'autres espèces de *Caulerpa* y ont été observées: *Caulerpa prolifera* et *Caulerpa racemosa*. *Caulerpa mexicana* a été observée à Beyrouth puis a disparu. Mais le Liban tout comme la République arabe syrienne sont préoccupés par l'introduction, à partir de la mer Rouge, de l'algue brune *Styopodium zonale*, qui a envahi une grande partie du littoral et menace des espèces telle que *Stypocaulon scoparium*. Enfin, M. Bitar s'est félicité de l'assistance fournie par d'autres Parties contractantes sous forme de documentation concernant des problèmes d'environnement et souhaite créer un réseau de collaboration internationale. M. Ahmad a précisé que sur le côté syrienne *C. prolifera*, *C. racemosa*, *C. scalpelliformis* et *C. mexicana* sont fréquentes surtout dans les régions de Tartous et de Lattaquié jusqu'à 60 m (d'après le Prof. Mayhoub)

35. M. A. Elmansori, présentant le rapport sur la Jamahiriya arabe libyenne, a déclaré que des études montraient que le littoral libyen est le plus pauvre de la Méditerranée en flore marine. Bien que son pays ne semble pas avoir été colonisé par *Caulerpa taxifolia*, des taches de *Caulerpa prolifera* y ont été observées et *Caulerpa racemosa* est endémique à une zone. Le littoral libyen offre des conditions propices à l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en raison de ses eaux peu profondes et des températures élevées de l'eau, et la vigilance s'impose donc pour prévenir l'introduction de *Caulerpa taxifolia*.

36. Mme C. Tanti en présentant le rapport de son pays qui avait été préparé par M. D. Stevens sur la situation concernant les espèces *Caulerpa* dans les îles maltaises, a indiqué que, en raison de sa position au milieu de la méditerranée, le littoral maltais était d'une nature intermédiaire et hébergeait des espèces provenant de la Méditerranée orientale et occidentale, notamment des espèces lessepsiennes comme *Caulerpa racemosa* qui avait été observée pour la première fois en 1997. Habituellement, *Caulerpa racemosa* forme de vastes prairies, mais elle perd du terrain, vraisemblablement en raison de perturbations physiques dans son aire de répartition. Bien que *Caulerpa taxifolia* n'ait pas été encore observée, les eaux maltaises sont fortement exposées au risque de colonisation du fait de leur proximité de la Sicile et du trafic maritime intense entre les deux îles. Les activités de petite pêche, qui favorisent la propagation de l'espèce, sont également d'une grande importance économique pour l'économie maltaise. S'il advient que Malte soit colonisée par *Caulerpa taxifolia*, les communautés marine herbacées des îles seront menacées, et il en résultera un lourd impact sur la pêche et le tourisme.

37. Présentant le rapport sur Monaco, le professeur J. Jaubert, a indiqué que l'aire la plus fortement colonisée par *Caulerpa taxifolia* se situait toujours au pied du Rocher de Monaco. Cette population de caulerpes est suivie par le Musée océanographique qui y effectue des mesures régulières, notamment de la biomasse végétale. Ces mesures ont montré que cette population paraissait stabilisée depuis plusieurs années et on a pu y observer le retour naturel de la grande nacre (*Pinna nobilis*) disparue de cette zone depuis plusieurs décennies. M. Jaubert a ajouté qu'un rapport de l'AMPN (Association Monégasque pour la Protection de la

Nature) faisait état d'un développement important de *C. taxifolia* sur le tombant du Loews. Il a ensuite rendu compte des travaux réalisés par l'Observatoire Océanologique Européen du Centre Scientifique de Monaco pour cartographier les habitats marins à faible profondeur (entre 0 et 15 à 20 m). Ces travaux ont eu lieu dans la baie de Menton dont la topographie est plus favorable à ce genre d'études que celle de la baie de Monaco. Les techniques utilisées comprennent l'emploi d'un spectrographe imageur aéroporté (CASI) installé à bord d'un petit hélicoptère. M. Jaubert a précisé que l'aire la plus fortement colonisée par *Caulerpa taxifolia* se situait en face de deux conduites d'évacuation des eaux de pluie qui entraînent des déchets provenant de la ville de Menton et des collines des environs. A cet endroit, l'herbier à posidonies qui existait au début du siècle a disparu depuis des décennies, victime de la pollution, laissant place à une étendue sablo-vaseuse presque déserte qui a récemment été colonisée par *C. taxifolia* et *Cymodocea nodosa*. Aujourd'hui, la situation semble stabilisée. Au cours des deux dernières années, on a remarqué une augmentation du nombre des individus de forme "mexicanoïde" caractérisés par des frondes aux rachis et pinnules beaucoup plus larges que ceux des formes "taxifolioides". Les images recueillies au moyen du CASI dans la baie de Menton, généralement considérée l'une des zones les plus fortement colonisées de la Riviera française, sont en contradiction avec certaines publications quant à l'importance des surfaces occupées par *C. taxifolia* et sa capacité à recouvrir les herbiers à *Posidonia oceanica*. En fait, les traitements préliminaires appliqués aux données du CASI indiquent : (a) un taux moyen d'occupation très faible (environ 2,5 %) dans la tranche des profondeurs accessibles (0 et 15-18 m) ; et (b) que les populations denses *C. taxifolia* sont circonscrites à deux sites distincts. De plus, les images du CASI montrent qu'aucune des touffes de *P. oceanica* repérées sur des photographies en couleur de l'Institut Géographique National (France) datant de 1988 n'a été éliminée par *C. taxifolia*. L'un des aspects les plus intéressants de ces observations est que la population mixte à *C. taxifolia* et *C. nodosa* présente toutes les apparences d'un début de colonisation par *P. oceanica*.

38. A l'issue de l'intervention précédente, le professeur Meinesz et M. Belsher ont posé plusieurs questions sur l'efficacité de la télédétection pour l'identification des herbiers de *Posidonia* atteints par *Caulerpa taxifolia*. Ils ont fait état d'informations tirées de vidéos et photographies sous-marines qui démentaient les informations fournies par le professeur Jaubert et ont démontré que la plupart des herbiers de *Posidonia* situés dans les eaux côtières du Cap Martin étaient en fait envahis par *Caulerpa taxifolia*.

39. M. M.S. Kahouadji, présentant le rapport sur le Maroc, a souligné le manque de données sur la biodiversité dans les eaux côtières méditerranéennes marocaines. Bien qu'aucune présence de *Caulerpa taxifolia* n'ait été relevée dans son pays, on y recense plusieurs espèces considérées comme invasives. Une lagune du littoral méditerranée a été envahie par *Caulerpa prolifera*. *Caulerpa racemosa* a été également signalée en 1945 à Tanger. Depuis cette époque, cette algue n'a jamais été rencontrée ou signalée. Son pays, compte tenu de son engagement en faveur de l'environnement et du développement durable, désire entreprendre un programme de prospection sur ses zones côtières méditerranéennes et instaurer des mesures de prévention et de sensibilisation avant que ne se produise toute invasion importante et irréversible par *Caulerpa taxifolia*.

40. M. R. Turk, présentant le rapport sur la Slovénie, a indiqué que des recherches systématiques y étaient menées depuis plus de 25 ans. On ne disposait jusqu'à présent d'aucun indice d'une présence de *Caulerpa taxifolia* ou de toute autre espèce du genre *Caulerpa* dans les eaux slovènes. Bien que la présence de *Caulerpa prolifera* ait été signalée vingt ans auparavant sur le littoral ouest de l'Istrie (Croatie), elle semble avoir disparu. M. Turk a fait observer que le littoral slovène, long de 46 km sur la partie sud du golfe de Trieste, dans l'Adriatique Nord, offre un écosystème aux eaux peu profondes avec des apports d'eau douce, et qu'il est donc soumis à de fortes variations de la température et de la salinité. Une autre caractéristique importante du littoral est son urbanisation intense s'accompagnant d'une

sérieuse dégradation des écosystèmes côtiers.

41 Mme A. Ribera, présentant le rapport sur l'Espagne, a retracé les efforts consentis par son pays depuis 1992 sur la question de *Caulerpa taxifolia*, même si à l'époque l'algue n'y était pas encore apparue. Une surveillance a été instaurée, notamment sur la côte catalane, la plus proche des sites connus de *Caulerpa taxifolia*. Une commission nationale a été créée pour suivre la question et, en collaboration avec les régions autonomes bordant la Méditerranée, elle a joué un rôle important, notamment en encourageant la participation active de l'Espagne au programme LIFE de l'Union européenne. Des recherches ont été menées sur diverses questions comme la toxicité de *Caulerpa taxifolia*, et des dispositifs de surveillance ont été mis en place dans toutes les régions méditerranéennes, notamment en Catalogne, à Valence et dans les îles Baléares. Quand des sites colonisés par *Caulerpa taxifolia* ont été signalés à Majorque, il a été décidé de s'efforcer d'éradiquer l'algue. Malgré la grande superficie de la zone touchée, les efforts d'éradication ont permis de ralentir l'expansion de l'algue. Mme Ribera a ajouté que trois régions autonomes ont adopté chacune des décrets, et le gouvernement central un arrêté interdisant l'arrachage de *Caulerpa taxifolia* en vue de prévenir son expansion. Enfin, elle a rappelé l'atelier tenu à Barcelone en 1994, au cours duquel avait été adopté l'Appel de Barcelone en vue d'alerter les autorités nationales sur le problème, de les inviter à appliquer le principe de précaution et à définir une stratégie concernant *Caulerpa taxifolia*.

42. Présentant le rapport sur la Tunisie, M. S. Belkhiria a rendu compte des initiatives prises par son pays en vue de prévenir l'introduction de *Caulerpa taxifolia* et d'en maîtriser l'expansion au cas où l'espèce se manifesterait. A cet égard, un plan d'action a été établi par le ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du territoire. Dans le cadre de ce plan, un comité a été institué avec la participation des administrations et des institutions concernées. Des campagnes de sensibilisation ont été lancées et elles comprennent l'élaboration et la diffusion de documents et l'organisation d'une journée d'information en collaboration avec le CAR/ASP. Une législation spécifique a été adoptée pour prévenir l'introduction d'espèces étrangères en Tunisie, et Greenpeace Tunisia a effectué en août 1997 une enquête sur la côte nord du pays, appuyée par le ministère de l'Environnement, et qui n'a pas pu déceler la présence d'une colonie quelconque de *Caulerpa taxifolia*. Il a été demandé aux pêcheurs et aux propriétaires de bateaux de plaisance de signaler s'ils avaient repéré l'algue, ce qui a entraîné quelques relevés qui, à ce jour, n'ont pu être vérifiés. L'expansion de *Caulerpa racemosa* le long de la côte tunisienne fait l'objet d'une surveillance continue et l'on considère que cette espèce mériterait une plus grande attention de la part de la communauté scientifique et des institutions de financement.

43 Présentant la situation en Turquie, Mme E. Terzioglu a fait état des initiatives prises dans son pays en ce qui concerne les espèces *Caulerpa*. Aucun document d'information sur *Caulerpa taxifolia* n'a été publié et diffusé à l'intention de certains groupes concernés. Un projet de surveillance continue et de lutte sera établi. Mme Terzioglu a ajouté que *Caulerpa racemosa* était présente sur le littoral sud et sud-ouest de la Turquie.

Le professeur S. Cirik, évoquant le statut du genre *Caulerpa* le long du littoral turc méditerranéen, a indiqué que trois espèces, *Caulerpa prolifera*, *Caulerpa olivieri* et *Caulerpa racemosa* y étaient relevées. *Caulerpa racemosa* devait être considérée comme une immigrante lessepsienne et d'après les premières observations, jouait un rôle invasif dans certains points. Il a également mentionné sa grande faculté d'adaptation écologique et son impact important sur les communautés indigènes. Il a souligné l'importance que revêtaient à cet égard, les campagnes d'information et de sensibilisation du public.

44. Au terme de ces présentations, M. G.P. Gabrielides a informé les participants que le Secrétariat comptait publier un volume spécial de la Série des rapports techniques du PAM qui rassemblerait tous les textes *in extenso* des communications présentées. Ces textes devraient être soumis avant le 30 mai 1998. Les participants ayant déjà remis les textes complets de leurs interventions pourraient les remanier sur la base des débats de l'atelier. Des instructions relatives à la préparation de ces textes *in extenso* seraient adressées à tous les participants avec le rapport final de l'atelier.

## Conclusions

45. A l'issue de débats les participants à l'atelier sont convenus des conclusions suivantes:

a) Il existe plus de 70 espèces du genre *Caulerpa*, mais seul un très petit nombre d'entre elles sont présentes en mer Méditerranée.

b) *Caulerpa taxifolia* est une espèce tropicale et a été observée pour la première fois à Monaco en 1984. Depuis lors, elle s'est propagée en couvrant de vastes superficies de la région occidentale et Adriatique de la Méditerranée (plus de 3.000 ha à la fin 1996). Dans le même temps, une autre espèce de *Caulerpa*, *C. racemosa*, s'étend elle aussi en de nombreuses parties de la Méditerranée.

c) *Caulerpa taxifolia* a fait l'objet de très nombreuses études en Méditerranée, et les conclusions que l'on peut en tirer sont les suivantes:

- i) *Caulerpa taxifolia* qui colonise la Méditerranée présente des caractéristiques morphologiques et physiologiques inhabituelles par comparaison avec *C. taxifolia* connue dans les mers tropicales;
- ii) *Caulerpa taxifolia* peut s'adapter à différentes conditions de lumière puisqu'on la décèle en prairies denses jusqu'à 50 m de profondeur;
- iii) les courbes de croissance en fonction de la température de l'eau révèlent une adaptation à de grandes variations thermiques et une résistance à des températures de froid hivernal (3 mois de survie à 10°C);
- iv) il n'est pas relevé de corrélation entre le développement de *C. taxifolia* et la qualité de l'eau; l'algue témoigne d'un développement équivalent dans les eaux non polluées ou polluées;
- v) *Caulerpa taxifolia* synthétise 9 substances toxiques, et notamment la caulerpényne qui est prédominante. Dans *Caulerpa taxifolia*, le taux de toxines par poids sec est beaucoup plus élevé en Méditerranée que dans les mers tropicales;
- vi) il a été constaté que la caulerpényne en solution est rapidement dégradée à la lumière du jour, en présence d'oxygène et de chlorophylles ou de phéophytines;
- vii) la caulerpényne n'est pas accumulée dans des oursins se nourrissant de *Caulerpa taxifolia*;
- viii) aucun risque de toxicité pour l'homme n'a été établi,

- ix) *Caulerpa taxifolia* colonise tous les types de fond - rocheux, sableux, vaseux - ainsi que la matte morte de Posidonies;
- x) *Caulerpa taxifolia* envahit les biocénoses indigènes en modifiant la biodiversité et l'écodiversité.

d) *Caulerpa racemosa* n'a pas été aussi amplement étudiée que *Caulerpa taxifolia*. Néanmoins, il est possible de tirer les conclusions suivantes en se fondant sur la littérature disponible pour la Méditerranée orientale et centrale.

- i) *Caulerpa racemosa* qui colonise actuellement la Méditerranée peut présenter des caractéristiques morphologiques différentes d'une région à l'autre ainsi que des spécimens décrits dans la même région au début du XXe siècle;
- ii) *Caulerpa racemosa* colonise tous les types de substrat - rocheux, sableux, vaseux - ainsi que la matte morte de Posidonies jusqu'à 60 mètres de profondeur en perturbant les biocénoses côtières marines. En outre, elle témoigne d'un développement équivalent dans les eaux non polluées ou polluées;
- iii) l'expansion de *Caulerpa racemosa* peut, selon des recherches préliminaires, modifier les habitats marins.

Compte tenu de ce qui précède, les participants à l'atelier sont convenus que le risque le plus grave que font courir *C. taxifolia* et *C. racemosa* était un bouleversement de l'équilibre écologique.

## Recommandations

46. Eu égard à ce risque écologique, l'atelier a décidé d'élaborer un ensemble de recommandations adressées aux Parties contractantes. A cette fin, un groupe de travail constitué de 12 participants a été mis sur pied pour préparer une première version. Les recommandations finales adoptées par l'atelier ont été les suivantes:

- compte tenu des conclusions du présent atelier;
- compte tenu de la Convention sur la diversité biologique de Rio de Janeiro (1992) qui indique que chaque Partie contractante "*empêche d'introduire (...) les espèces exotiques qui menacent des écosystèmes, des habitats ou des espèces*";
- compte tenu du Protocole de la Convention de Barcelone (1995) relatif aux aires spécialement protégées et à la diversité biologique en Méditerranée, qui indique que les parties doivent:

*prendre "toutes les mesures appropriées pour réglementer l'introduction volontaire ou accidentelle dans la nature d'espèces non indigènes... et interdire celles qui pourraient entraîner des effets nuisibles sur les écosystèmes, habitats ou espèces"*

*s'efforcer "de mettre en oeuvre toutes les mesures possibles pour éradiquer les espèces qui ont déjà été introduites lorsqu'après évaluation scientifique il apparaît que celles-ci causent ou sont susceptibles de causer des dommages aux écosystèmes, habitats ou espèces dans la zone d'application du protocole"*

## **Les participants à l'atelier recommandent :**

### **A. Recommandations à tous les pays méditerranéens**

- i) Que dans chaque pays soient adoptées les mesures nécessaires à l'application du Protocole et de la Convention précités.
- ii) Favoriser la coordination nationale et internationale de l'ensemble des partenaires pour empêcher ou ralentir l'expansion de *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa* en Méditerranée.
- iii) Soutenir des programmes internationaux pour l'échange d'informations, la formation et la recherche scientifique.
- iv) Interdire la commercialisation et l'utilisation de *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa*, et d'éviter celles du genre *Caulerpa* pour les aquariums (excepté l'espèce méditerranéenne *Caulerpa prolifera*).
- v) Soutenir la diffusion d'une information destinée à inciter les usagers de la mer à prévenir la dissémination et à signaler la présence de *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa*.
- vi) Que des instructions officielles incitent les usagers de la mer à signaler la présence de *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa* aux organismes désignés.

### **B. Recommandations aux pays où l'une de ces deux espèces est présente**

- i) Donner des instructions officielles pour que les usagers de la mer soient incités à éviter les pratiques contribuant à la dissémination de ces espèces, en particulier par le nettoyage sur place des ancres, des engins de pêche et du matériel de plongée. Il faut éviter le rejet des fragments de ces algues à la mer. Les grandes zones colonisées mériteraient d'être signalées dans les capitaineries et dans les instructions nautiques.
- ii) Réaliser l'inventaire et le suivi cartographique des zones colonisées.
- iii) Suivre l'évolution des biocénoses des zones atteintes.
- iv) Soutenir la recherche scientifique sur tous les aspects relatifs à ces espèces, à la compréhension du phénomène, à l'évolution de ses conséquences et au contrôle de sa dynamique.
- v) Maîtriser, dans la mesure du possible, l'expansion des deux espèces, notamment par l'éradication des petites colonies dans les aires à haute valeur patrimoniale et les régions éloignées des zones fortement colonisées.

### **Clôture de l'atelier**

47. Dans ses observations de conclusion, M. G.P. Gabrielides s'est déclaré satisfait des résultats de l'atelier et a remercié tous les participants de leur contribution active aux débats. Plus particulièrement, il a souligné qu'il était heureux que l'atelier s'en soit tenu au plan strictement scientifique et qu'un compromis ait pu se dégager et permettre une décision unanime concernant les conclusions et recommandations. Il a enfin remercié l'institut hôte et l'ensemble du personnel qui s'était dépensé sans compter pour assurer le succès de l'atelier.

48. Le professeur A. Meinesz, s'exprimant au nom des participants, a déclaré que l'atelier s'avérait être une réussite et il a remercié M. Gabrielides d'avoir pu obtenir pareil résultat, ce qu'il considérait comme un "exploit".



**ANNEX I**

**LIST OF PARTICIPANTS  
LISTE DES PARTICIPANTS**

**COUNTRY REPRESENTATIVES  
REPRESENTANTS DU PAYS**

**ALBANIA  
ALBANIE**

**Mr Lefter Kashta**

Fakulteti i Shkencave te Natyres  
Universiteti "Luigj Gurakuqi"  
Shkodra  
Albania

Tel: 355-224-3747  
Fax: 355-42-65229  
E-mail: cep@cep.tirana.al

**ALGERIA  
ALGERIE**

**M. Rachid Semroud**

Institut des Sciences de la mer et de  
l'Aménagement du Littoral  
Ministère de l'Enseignement Supérieure  
et de la Recherche Scientifique  
B.P. 54  
Sidi Fredj 42321  
Alger  
Algérie

Tel: 213-2-393538/391976  
Fax: 213-2-393538

**CROATIA  
CROATIE**

**Mr Ante Zuljevic**

Institute for Oceanography and Fisheries  
Setaliste Ivana Mestrovica 63  
HR-21000 Split  
Croatia

Tel: 385-21-358688  
Fax: 385-21-358650  
E-mail: ante.zuljevic@jadran.izor.hr

**CYPRUS**  
**CHYPRE**

**Ms Marina Argyrou**  
Fisheries Department  
Ministry of Agriculture, Natural Resources  
and Environment  
13 Aeolou Str.  
1416 Nicosia  
Cyprus

Tel: 357-2-807833  
Fax: 357-2-775955

**EGYPT**  
**EGYPTE**

**Mr Abdel Ghani Khalil**  
Department of Oceanography  
Faculty of Science  
Alexandria University  
Moharrem Bey, 21511  
Alexandria  
Egypt

Tel: 20-3-4843171/2  
Fax: 20-3-4911794  
E-mail: pro@dataxprs.com eg

**FRANCE**  
**FRANCE**

**M. Thomas Belsher**  
Institut français de recherche pour l'exploitation  
de la mer (IFREMER)  
Centre de Brest  
B.P. 70  
29280 Plouzané Cedex  
France

Tel: 33-2-98224319  
Fax: 33-2-98224548  
E-mail: belsher@ifremer.fr

**M. Vincent Bentata**  
Ministère de l'Aménagement du territoire  
et de l'Environnement (DNP)  
20, Avenue de Ségur  
75007 Paris  
France

Tel: 33-1-42191866  
Fax: 33-1-42191979  
E-mail: dnp-sdcffs.bffs.fau@  
environnement.gouv.fr

**GREECE**  
**GRECE**

**Mr Panayotis Panayotidis**  
National Centre for Marine Research  
Institute of Oceanography  
Aghios Kosmas  
166 04 Athens  
Greece

Tel: 30-1-9653520/1  
Fax: 30-1-9653522  
E-mail: ppanag@posidon.ncmr.ariadne-t.gr

**ISRAEL  
ISRAEL**

**Ms Rachel Einav**  
Department of Life Sciences  
University of Bar Ilan  
Ramat Gan 529000  
Israel

Tel: 972-66-390448  
Fax: 972-66-392221  
E-mail: einavr@maritime.co.il

**ITALY  
ITALIE**

**M. Giuseppe Giaccone**  
Dipartimento di Botanica  
Università di Catania  
Via A. Longo 19  
95125 Catania  
Italy

Tel: 39-095-507490  
Fax: 39-095-441209  
E-mail: giaccone@mbox.dipbot.unict.it

**LEBANON  
LIBAN**

**M. Ghazi Bitar**  
Faculté des Sciences (Section I)  
Université Libanaise  
Hadeth  
Liban

Tel: 961-3-315162  
Fax: 961-1-790770  
E-mail: Lusc1@CNRS.edu.Lb

**LIBYAN ARAB JAMAHIRIYA  
JAMAHIRIYA ARABE LIBYENNE**

**Mr Abdalla Elmansori**  
Faculty of Science  
P O. Box 13555  
Alfateh University  
Tripoli  
Libya

Tel: 218-21-605438  
Fax: 218-21-607000

**MALTA  
MALTE**

**Ms Christina Tanti**  
Environment Protection Department  
Ministry of Foreign Affairs and the Environment  
Floriana  
Malta

Tel: 356-230617  
Fax: 356-241378

**MONACO**  
**MONACO**

**M. Jean Jaubert**  
Centre Scientifique de Monaco  
Observatoire Océanologique Européen  
Avenue Saint Martin  
MC 98000 Monaco  
Principauté de Monaco

Tel: 377-92167983  
Fax: 377-92167981  
E-mail: jaubert@naxos.unice.fr

**MOROCCO**  
**MAROC**

**M. Mohammed Said Kahouadji**  
Ministère de l'Environnement  
Avenue Roosevelt  
Ex résidence de l'Ambassade de France  
Rabat  
Maroc

Tel: 212-7-680744/796908  
Fax: 212-7-680746

**M. Larbi Najim**  
Laboratoire de Botanique (Algologie)  
Département de Biologie  
Faculté des Sciences  
Avenue Ibn Batouta  
B.P. 1014  
Rabat  
Maroc

Tel: 212-7-775461  
Fax: 212-7-775461  
E-mail: najim@fsr.ac.ma

**SLOVENIA**  
**SLOVENIE**

**Mr Robert Turk**  
Regional Institute for Natural and Cultural  
Heritage Protection  
Trg Bratstva 1  
Piran  
Slovenia

Tel: 386-66-75676  
Fax: 386-66-73562  
E-mail: robert.turk@zvnkdpi.sigov.mail.si

**SPAIN**  
**ESPAGNE**

**Mme María Antonia Ribera**  
Departamento de Botánica  
Facultad de Farmacia  
Universidad de Barcelona  
c/Juan XIII, s/n  
08028 Barcelona  
Espagne

Tel: 34-3-4024490  
Fax: 34-3-4021887  
E-mail: ribera@farmacia.far.ub.es

**SYRIAN ARAB REPUBLIC  
REPUBLIQUE ARABE DE SYRIE**

**Mr Kazem Ahmad**  
Ministry of State for Environmental Affairs  
P.O. Box 3773  
Tolyani Street  
Damascus  
Syria

Tel: 963-11-2234309  
Fax: 963-11-3335645 or 963-43-321916

**TUNISIA  
TUNISIE**

**M. Sami Belkhiria**  
Agence Nationale de Protection  
de l'Environnement (ANPE)  
12 Rue du Cameroun  
B.P. 52  
Belvédère 1002  
Tunis  
Tunisie

Tel: 216-1-840563  
Fax: 216-1-848069

**TURKEY  
TURQUIE**

**Ms Ergül Terzioglu**  
Ministry of Environment  
Department of Environmental Protection  
Eskisehir Yolu, 8 Km  
Balgat  
Ankara 06530  
Turkey

Tel: 90-312-2879963  
Fax: 90-312-2862271

**M. Sükran Cirik**  
Institute of Marine Science and Technology  
Dokuz Eylül University  
1884/8 Sokak No. 10  
P.O. Box 478  
35260 Izmir  
Turkey

Tel: 90-232-2785565  
Fax: 90-232-2785082

**Mr Oguzhan Ertugrul**  
Turkish Embassy  
8, Vassileos Georgiou Str.  
106 74 Athens  
Greece

Tel. 30-1-7245915  
Fax: 30-1-7229597

**OTHER PARTICIPANTS**  
**AUTRES PARTICIPANTS**

**M. Charles-François Boudouresque**  
Centre d'Océanologie de Marseille  
UMR 6540 CNRS, Campus  
Université de Marseille - Luminy  
13288 Marseille Cedex 09  
France

Tel: 33-4-91829130  
Fax: 33-4-91411265  
E-mail: boudour@com.univ-mrs.fr

**Ms Giulia Ceccherelli**  
Departimento di Scienza dell' Uomo et  
dell'Ambiente  
Università degli Studi di Pisa  
Via A. Volta  
56126 Pisa  
Italy

Tel: 39-050-500018  
Fax: 39-050-49694  
E-mail: cecchere@discat.unipi.it

**M. Francesco Cinelli**  
Departimento di Scienza dell'Uomo et  
dell'Ambiente  
Università degli Studi di Pisa  
Via A. Volta  
56126 Pisa  
Italy

Tel: 39-050-500018/500943  
Fax: 39-050-49694  
E-mail: cinelli@discat.unipi.it

**M. Patrick Coquillard**  
Laboratoire d'Ecologie végétale  
et cellulaire  
Université d'Auvergne  
P.O. Box 38  
63000 Clermont-Ferrand Cedex 1  
France

Tel: 33-4-73608074  
Fax: 33-4-73277907  
E-mail: Coquillard@u-clermont1.fr

**Mr Jaume Darder**  
Fisheries Department  
Govern Balear  
Conselleria d'Agricultura  
Comerç i Industria  
C/. Foners, 10  
07006 Palma de Mallorca  
Spain

Tel: 34-71-176104  
Fax: 34-71-176157

**M. Christophe Destombe**

Laboratoire de génétique et Evolution des  
Population végétales  
URA CNRS 1185, Bat. SN<sub>2</sub>  
Université de Lille I  
Villeneuve d'Ascq 59655 Cedex  
France

Tel: 33-3-20434991  
Fax: 33-3-20436979  
E-mail: Destombe@univ-Lille1.fr

**Mr Aristidis Diapoulis**

National Centre for Marine Research  
Aghios Kosmas  
166 04 Athens  
Greece

Tel: 30-1-9829239  
Fax: 30-1-9833095

**M. Aslam Djellouli**

Institut National des Sciences & Technologie  
de la mer  
28 Rue du 2 Mars 1934  
2025 Salammbô  
Tunisie

Tel: 216-1-730420  
Fax: 216-1-732022

**M. Fernando Dini**

Università di Pisa  
Dipartimento di Etologia, Ecologia ed Evoluzione  
Via A. Volta 4  
56126 Pisa  
Italy

Tel: 39-050-24252  
Fax: 39-050-24252  
E-mail: f.dini@discat.unipi.it

**Mme Zohra El Asmi-Djellouli**

Faculté des Sciences de Tunis  
Campus Universitaire  
Tunis  
Tunisie

Tel: 216-1-749971

**Mr Anastasios Eleftheriou**

Institute of Marine Biology of Crete  
P.O. Box 2214  
71003 Heraklion  
Crete  
Greece

Tel: 30-81-242022/241992  
Fax: 30-81-241882  
E-mail: imbc@imbc.gr

**M. Vincent Gravez**

GIS Posidonie  
Parc Scientifique & Technologique de Luminy  
Case 901  
13288 Marseille cedex 09  
France

Tel: 33-4-91829135  
Fax: 33-4-91411265  
E-mail: gravez@com1.com.univ-mrs.fr

**Mr Antonio M. Grau**  
Marine Resources Service  
Govern Balear  
Conselleria d'Agricultura  
Comerç i Industria  
C/. Foners, 10  
07006 Palma de Mallorca  
Spain

Tel: 34-71-176104  
Fax: 34-71-176157

**Mme Mireille Harmelin-Vivien**  
Centre d'Océanologie de Marseille  
CNRS UMR 6540  
Station Marine d'Endoume  
Rue Batterie des Lions  
13007 Marseille  
France

Tel: 33-4-91041628  
Fax: 33-4-91041635  
E-mail: harmelin@com.univ-mrs.fr

**Mr Ioannis Karakassis**  
Institute of Marine Biology of Crete  
P.O. Box 2214  
71003 Heraklion  
Crete  
Greece

Tel: 30-81-242022/241992  
Fax: 30-81-241882  
E-mail: jkarak@imbc.gr

**Mr Drosos Koutsoubas**  
Institute of Marine Biology of Crete  
P.O. Box 2214  
71003 Heraklion  
Crete  
Greece

Tel: 30-81-242022/241992  
Fax: 30-81-241882  
E-mail: drosos@imbc.gr

**Ms Thalia Lazaridou**  
Greek Biotope - Wetland Centre  
14th Km Thessaloniki-Mikaniona  
570 01 Thessaloniki  
Greece

Tel: 30-31-476262  
Fax: 30-31-471795  
E-mail: thalia@ekbij.the.forthnet.gr

**M. Alois Maurizi**  
Institute of Marine Biology of Crete  
P.O. Box 2214  
71003 Heraklion  
Crete  
Greece

Tel: 30-81-242022/241992  
Fax: 30-81-241882  
E-mail: alois@imbc.gr  
E-mail: maurizi@crit.univ-montp2.fr



**M. Alexandre Meinesz**  
Laboratoire Environnement Marin Littoral  
Université de Nice Sophia Antipolis  
06108 Nice cedex 2  
France

Tel: 33-4-92076846  
Fax: 33-4-92076849  
E-mail: [meinesz@unice.fr](mailto:meinesz@unice.fr)

**Ms Konstantia Papadopoulou-Smith**  
Institute of Marine Biology of Crete  
P.O. Box 2214  
71003 Heraklion  
Crete  
Greece

Tel: 30-81-242022/241992  
Fax: 30-81-241882  
E-mail: [imbc@imbc.gr](mailto:imbc@imbc.gr)

**Mr Andrea Peirano**  
Italian Agency for New Technology  
Energy and Environment  
Environmental Research Center  
C.P. 316  
19100 La Spezia  
Italy

Tel: 39-0187-536296  
Fax: 39-0187-536273  
E-mail: [peirano@estosf.santateresa.enea.it](mailto:peirano@estosf.santateresa.enea.it)

**Ms Vivi Pitta**  
Institute of Marine Biology of Crete  
P.O. Box 2214  
71003 Heraklion  
Crete  
Greece

Tel: 30-81-242022/241992  
Fax: 30-81-241882  
E-mail: [imbc@imbc.gr](mailto:imbc@imbc.gr)

**Ms Wanda Plaiti**  
Institute of Marine Biology of Crete  
P.O. Box 2214  
71003 Heraklion  
Crete  
Greece

Tel: 30-81-242022/241992  
Fax: 30-81-241882  
E-mail: [imbc@imbc.gr](mailto:imbc@imbc.gr)

**M. Attilio Rinaldi**  
Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica  
e Tecnologica applicata al Mare (ICRAM)  
Via di Casalotti 300  
00166 Roma  
Italy

Tel: 39-06-615701  
Fax: 39-06-61550581  
E-mail: [icramdir@rdn.it](mailto:icramdir@rdn.it)

**Mme Conxi Rodriguez-Prieto**  
Universitat de Girona  
Campus de Montilivi S/N  
17071 Girona  
Spain

Tel: 34-972-418157  
Fax: 34-972-418150  
E-mail: [cacrp@fc.udg.es](mailto:cacrp@fc.udg.es)

**Ms Ekaterini Siakavara**  
Institute of Marine Biology of Crete  
P.O. Box 2214  
71003 Heraklion  
Crete  
Greece

Tel: 30-81-242022/241992  
Fax: 30-81-241882  
E-mail: siakava@imbc.gr

**Mr Mustafa Tolay**  
Scubadivers Sport Club Association  
Iskele Cikmazi No. 69  
Caddebostan  
81070 Istanbul  
Turkey

Tel: 90-532-2664628  
Tel: 90-216-3555628  
Fax: 90-216-3605250

**Mr Manolis Tsapakis**  
Institute of Marine Biology of Crete  
P.O. Box 2214  
71003 Heraklion  
Crete  
Greece

Tel: 30-81-242022/241992  
Fax: 30-81-241882  
E-mail: imbc@imbc.gr

**M. Leonardo Tunesi**  
Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica  
e Tecnologica applicata al Mare (ICRAM)  
Via di Casalotti 300  
00166 Roma  
Italy

Tel: 39-06-8088712/80  
Fax: 39-06-61561906  
E-mail: snezana@imbc.gr

**Ms Snezana Zivanovic**  
Institute of Marine Biology of Crete  
P.O. Box 2214  
71003 Heraklion  
Crete  
Greece

Tel. 30-81-242022/241992  
Fax: 30-81-241882  
E-mail: imbc@imbc.gr

**REGIONAL ACTIVITY CENTRE FOR SPECIALLY PROTECTED AREAS (SPA/RAC)  
CENTRE D'ACTIVITES REGIONALES POUR LES AIRES SPECIALEMENT  
PROTEGEES (CAR/ASP)**

**M. Marco Barbieri**  
Expert-Marine Biologist  
Centre des Activités Régionales pour les  
Aires Spécialement Protégées (CAR/ASP)  
Boulevard de l'environnement  
B.P. 337  
1080 Tunis Cedex  
Tunisie

Tel: 216-1-795760  
Fax: 216-1-797349  
E-mail: car-asp@rac-spa.org.tu

**SECRETARIAT**

**UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME  
COORDINATING UNIT FOR THE MEDITERRANEAN ACTION PLAN**

**Mr Gabriel P. Gabrielides**  
Senior Programme Officer  
Coordinating Unit for the Mediterranean  
Action Plan  
P.O. Box 18019  
48, Vas. Konstantinou Avenue  
116 10 Athens  
Greece

Tel: 30-1-7273103  
Fax: 30-1-7253196/7  
Email: gabriel@unepmap.gr

**LOCAL ORGANISERS**

**INSTITUTE OF MARINE BIOLOGY OF CRETE  
INSTITUT DE BIOLOGIE MARINE EN CRETE**

**Mr Anastasios Eleftheriou**  
Institute of Marine Biology of Crete  
P.O. Box 2214  
71003 Heraklion  
Crete  
Greece

Tel: 30-81-242022/241992  
Fax: 30-81-241882  
E-mail: imbc@imbc.gr

**Ms Eftychia Mironaki**  
Institute of Marine Biology of Crete  
P.O. Box 2214  
71003 Heraklion  
Crete  
Greece

Tel. 30-81-242022/241992  
Fax: 30-81-241882  
E-mail: imbc@imbc.gr

## ANNEX II

### PROGRAMME / PROGRAMME

Wednesday 18 March / Mercredi 18 mars

Registration of participants / Inscription des participants

Opening of the workshop and organisation of work / Ouverture de l'atelier et organisation des travaux

General presentations / Présentations générales

Introduced species in the Mediterranean, routes, kinetics and consequences, by **Prof. C.-F. Boudouresque**

Situation générale de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée et analyse des biotopes atteints, par **Prof. A. Meinesz**

Ecological and possible economical consequences of the spread of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean, by **Prof. C. Rodriguez-Prieto**

Ecotoxicological aspects related to the rapid spreading of populations of the tropical green seaweed, *Caulerpa taxifolia*, along the Mediterranean coasts, by **Prof. F. Dini**

Est-il possible de contrôler l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée? Propositions pour une stratégie, par **Mr. V. Gravez**

Specific presentations / Présentations spécifiques

Impact de *Caulerpa taxifolia* sur les populations de poissons: six ans d'étude, par **Dr. M. Harmelin-Vivien**

Modélisation et simulation de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée nord occidentale, par **Dr. P. Coquillard**

Suivi de l'expansion de l'algue verte, *Caulerpa taxifolia*, en Méditerranée nord-orientale: résultats préliminaires d'une étude par imagerie multispectrale aéroportée et photographie aérienne, par **Prof. J. Jaubert**

Contrasting effects of *Posidonia oceanica* on *Caulerpa taxifolia*, by **Dr. G. Ceccherelli & Prof. F. Cinelli**

Presence of *Caulerpa taxifolia* in the Balearic Archipelago, by **Dr. A.M. Grau**

Eléments de la cartographie et les modifications de *Caulerpa taxifolia* le long du littoral des Alpes-Maritimes et de Monaco, par **T. Belsher, J. Dimeet, M. Raillard, E. Emery, M. Boutbien, C. Prudhomme and R. Pucci**, suivi de la présentation d'un video sur les traces de la *Caulerpe*

The problem of *Caulerpa* invasion: The initiatives of the ENEA Center of La Spezia (Italy), by  
**Dr. A. Peirano**

Le phytobenthos marin marocain de l'Atlantique à la Méditerranée et *Caulerpa taxifolia*, par  
**Prof. L. Najim**

Thursday 19 March / Jeudi 19 mars

Presentation of country reports / Présentation des rapports par pays

**Dr. Lefter Kashta**, Albania/Albanie  
**Dr. Rachid Semroud**, Algeria/Algérie  
**Mr. Ante Zuljevic**, Croatia/Croatie  
**Ms Marina Argyrou**, Cyprus/Chypre  
**Dr. Abdel Ghani Khalil**, Egypt/Egypte  
**Mr. Vincent Bentata/Mr. Thomas Belsher**, France  
**Dr. Panayotis Panayotidis**, Greece/Grèce  
**Dr. Rachel Einav**, Israel/Israël  
**Prof. Giuseppe Giaccone**, Italy/Italie  
**Mr. Ghazi Bitar**, Lebanon/Liban, **Mr. Kazem Ahmad**, Syria/Syrie  
**Dr. Abdalla Elmansori**, Libya/Libye  
**Ms Christina Tanti**, Malta/Malte  
**Prof. Jean Jaubert**, Monaco  
**M. Mohammed Said Kahouadji**, Morocco/Maroc  
**Mr. Robert Turk**, Slovenia/Slovénie  
**Dr. María Antonia Ribera**, Spain/Espagne  
**M. Sami Belkhiria**, Tunisia/Tunisie  
**Ms Ergül Terzioglu/Prof. Sükran Cirik**, Turkey/Turquie

**Afternoon/Après-midi:**

Preparation of conclusions and recommendations / Formulation des conclusions et des recommandations

Friday 20 March / Vendredi 20 mars

Adoption of the report / Adoption du rapport

Closure of the Workshop / Clôture de l'atelier

**ANNEX III**

**LIST OF PRESENTATIONS AND COUNTRY REPORTS  
LISTE DES PRÉSENTATIONS ET RAPPORTS DES PAYS**

**INTRODUCED SPECIES IN THE MEDITERRANEAN :  
ROUTES, KINETICS AND CONSEQUENCES**

by

Charles François BOUDOURESQUE

Centre of Oceanology of Marseilles, CNRS Research Unit 6540,  
Luminy University campus, 13288 Marseilles cedex 9, France

ABSTRACT

Introduced species are defined as species the expansion of which to a remote geographical area (not marginal area) is linked directly or indirectly to human activity, and which are naturalized, in the sense that they are able to reproduce *in situ* without human assistance. Nearly 75 species of plants and 330 species of animals can be considered as having been probably introduced to the Mediterranean Sea; this represents 4-5% of its known flora and fauna. The Mediterranean has a higher level of introduced species than any other major sea. Most of these species (67%) are of Lessepsian origin (i.e. entered the Mediterranean through the Suez canal). Aquaculture is the second route of introduction to the Mediterranean : escape of aquaculture species as well as accidental introduction of species accompanying aquaculture species. The other vectors include fouling and clinging (transportation on ship hulls), ballast waters and aquaria. The kinetics of introduction is exponential. Since the beginning of the century, the number of alien species has nearly doubled every 20 years. Introduced species appear to be much more numerous in some regions and/or biotopes (e.g. Levantine coasts, French coasts, brackish lagoons) than in others. The kinetics of expansion (both geographical and ecological) comprises the arrival of the invader, a settlement phase, an expansion phase and a persistence phase. In the present paper, the effects on specific diversity and ecodiversity are reviewed : competitive displacement of native species, competitive substitution of native species, modification of the functioning of ecosystems (e.g. effect on native key-species, introduction of new key-species) and edification of new ecosystems. Secondly, negative economical consequences on tourism, diving activities, aquaculture and fisheries are also examined and the possible benefits (e.g. for some fisheries) are critically discussed. National legislation is an inadequate means of ensuring the protection of autochthonous biodiversity and is often unrealistic and always ineffective. In addition, introduced species do not respect national borders and international agreements are therefore of vital importance. Finally, the precautionary principle should always be applied with respect to these species.

RESUME

Une espèce introduite est une espèce dont l'arrivée dans une nouvelle aire géographique est liée, directement ou indirectement, à l'activité de l'homme, et qui est naturalisée (capable de se reproduire *in situ* sans l'aide de l'homme). Environ 75 espèces de plantes et 330 espèces animales peuvent être considérées comme probablement introduites en Méditerranée; cela représente 4 à 5% de sa flore et de sa faune connues. La Méditerranée constitue ainsi la mer la plus affectée au monde par les espèces introduites. La plupart d'entre elles (67%) sont dites lessepsiennes (entrées en Méditerranée par le Canal de Suez). L'aquaculture est le second vecteur d'introduction : évasion d'espèces aquacoles et introduction accidentelle d'espèces accompagnatrices des espèces aquacoles.

Les autres vecteurs d'introduction sont le fouling et le clinging (transport sur les coques des bateaux), les eaux de ballast et les aquariums. La cinétique des introductions est exponentielle : depuis le début du siècle, leur nombre double plus ou moins tous les 20 ans. Les espèces introduites sont plus nombreuses dans certaines régions et/ou biotopes (par exemple les côtes levantines, les côtes françaises, les lagunes littorales) que dans d'autres. La cinétique d'expansion (géographique et écologique) comporte l'arrivée, la phase d'installation, la phase d'expansion et la phase de persistance. Les conséquences sur la diversité biologique et sur l'écodiversité sont passées en revue : déplacement compétitif d'espèces indigènes, substitution compétitive à des espèces indigènes, modification du fonctionnement des écosystèmes (par exemple effet sur des espèces-clé et introduction de nouvelles espèces-clé) et édification de nouveaux écosystèmes. Enfin, les conséquences économiques négatives (tourisme, plongée sous-marine, aquaculture, pêche professionnelle) sont étudiées. Les bénéfices éventuels (par exemple pour certaines pêcheries) sont également discutés de façon critique. Les législations nationales constituent des instruments insuffisants pour assurer la protection de la biodiversité autochtone; elles sont souvent peu réalistes et toujours inefficaces. Par ailleurs, les espèces introduites ne respectent pas les frontières nationales, de telle sorte que les accords internationaux sont d'une importance capitale. Enfin, le principe de précaution devrait être systématiquement appliqué pour ces espèces.

## 1. INTRODUCTION

The introduction of alien species, and the biological invasions which may result, constitutes an environmental problem of growing concern, especially in the marine environment. This is due to the fact that existing instruments, whose goal it is to protect autochthonous biodiversity, are inadequate and also because the invasive phenomenon is still increasing in a linear, or even exponential manner, which is contrary to other environmental problems.

An introduced species is a species which colonizes a new area where it was not previously present. The extension of its range is linked, directly or indirectly, to human activity (Carlton, 1985). In addition, there is a geographical discontinuity between its native area and the newly invaded area (remote dispersal). This means that the occasional advance of a species at the frontiers of its native range (marginal dispersal) is not taken into consideration (Boudouresque and Ribera, 1994; Ribera and Boudouresque, 1995). Such fluctuations (advances or recessions) may be linked with climatic episodes. They are reported, for example, in *Fucus spiralis* from southern Portugal and in *Laminaria ochroleuca* De la Pylaie from Great Britain (Parke, 1948, Fischer-Piette, 1959, 1963). Finally, new generations of the non-native species are born *in situ* without human assistance, constituting self-sustaining populations : the species is said to be established, i.e. naturalized (Williamson and Fitter, 1996). Based on the above definition, the corn *Zea mays* Linnaeus found in European terrestrial environments, and the sea mammal *Dugong dugon* Müller, observed once along the Israeli coast after an isolated individual having entered the Mediterranean through the Suez canal (Por, 1978), are not introduced species.

## 2. CRITERIA USED TO DETERMINE IF A SPECIES IS INTRODUCED

A set of criteria can be used to consider whether or not a species is probably introduced (Boudouresque, 1994; Boudouresque and Ribera, 1994; Ribera and Boudouresque, 1995).



- The species is new to the area in question, according to the data in the literature.
- There is a geographical discontinuity between the species' known range and its new locality. This is, for example, the case of the brown algae *Laminaria japonica* Areschoug and *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar, discovered in a French brackish lagoon (Thau), and whose nearest habitat is in Japan (Perez *et al.*, 1981; Boudouresque *et al.*, 1985).
- The new locality is very localised. Biotopes similar to the one that has been colonized, and which are situated in the vicinity of this locality, are devoid of the invader. This was the case for the green alga *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh, which was discovered in Monaco and along the Cap Martin (French Riviera), where it formed dense meadows in the sublittoral on rocks and sand and in beds of *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile (Spermatophyta). Similar biotopes in the region had not been colonised, although they have been since then (Meinesz and Hesse, 1991; Meinesz *et al.*, 1993; Meinesz and Boudouresque, 1996).
- There is a potential introduction source close at hand, for example an aquaculture farm, a harbour, a laboratory, or an aquarium. This is the case for the numerous species of Japanese algae introduced into the Thau lagoon, where oyster farmers imported *Crassostrea gigas* (Thunberg) spat from Japan : e.g. *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt, *Undaria pinnatifida*, *Laminaria japonica* and *Chrysomenia wrightii* (Harvey) Yamada (Perez *et al.*, 1981; Critchley *et al.*, 1983; Knoepffler-Péguy *et al.*, 1985; Ben Maiz *et al.*, 1987; Verlaque, 1996)
- From an initial localised station, the kinetics of range extension follows a logical pattern. The spread of the brown alga *Sargassum muticum* along the Atlantic and Mediterranean coasts of Europe is a good example (Fig. 1). Another example is the local spread of *Caulerpa taxifolia* along the French and Italian Riviéras (Meinesz and Boudouresque, 1996).
- Some introduced species have a tendency to pullulate, at least for a certain period. Examples are *Colpomenia peregrina* (Sauvageau) Hamel (Fucophyceae) in Brittany, *Caulerpa taxifolia* in the Western Mediterranean and the jellyfish *Rhopilema nomadica* Galil *et* Spanier 1990 in Israel (Sauvageau, 1906; Meinesz and Hesse, 1991; Spanier and Galil, 1991; Boudouresque *et al.*, 1995).
- The new population only possesses part of the genetic variability of the species in its original range (Occhipinti-Ambrogi, 1994). This is known as "founder effect". Prud'Homme van Reine (1993) thus observed that *Sphacelaria cirrosa* (Roth) C. Agardh (Fucophyceae) occurs in the North Atlantic and in the Mediterranean under a variety of forms. Yet only one of these forms has been reported in Australia, where the species also occurs. The species might therefore have been introduced into Australia from the North Atlantic (Ribera and Boudouresque, 1995). In certain cases, the normal life cycle does not run its course. This is perhaps the case for *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean, in which only the male gametes have so far been observed. The plants therefore only reproduce vegetatively (Meinesz, 1992; Meinesz and Boudouresque, 1996).
- Finally, when two populations of the same species, with geographically discontinuous ranges, are genetically identical, then it is probable that one of the two populations is

introduced. Indeed, the occurrence of geographically discontinuous ranges would otherwise lead one to expect differences.

The above criteria, that are rarely all met, offer a means of assessing the probability (very high, high or medium) that a species has been introduced.

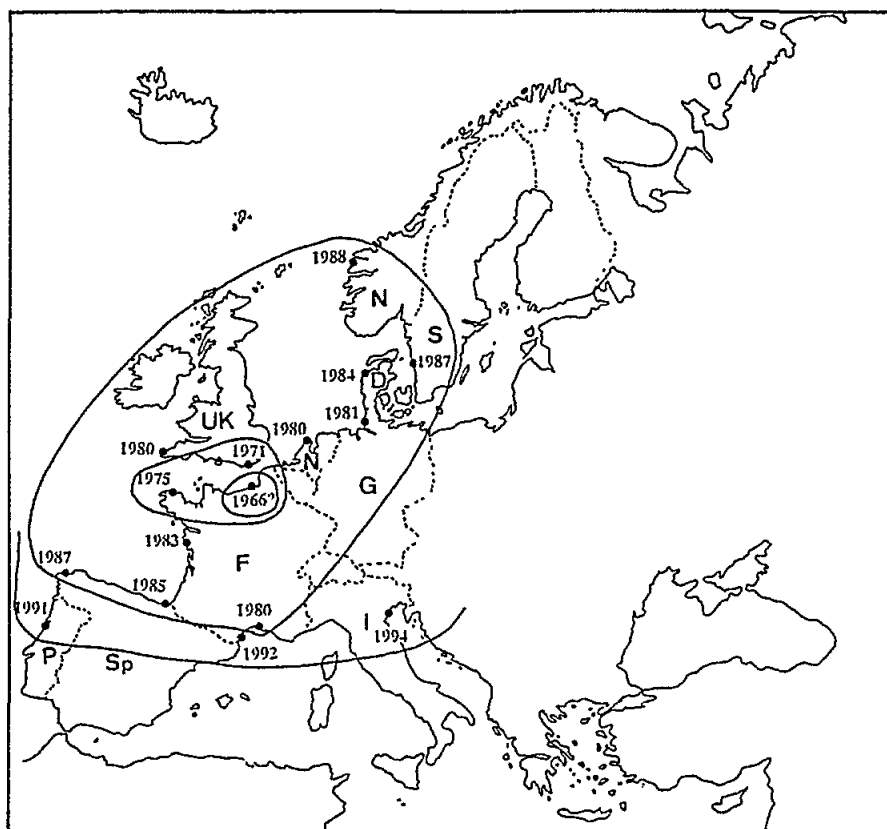


Fig. 1 Chronology of *Sargassum muticum* (Fucophyceae) expansion along the Atlantic and Mediterranean coasts of Europe. Starting from the (hypothetical) date of introduction, the curves cover successively the 1960s, 1970s, 1980s and 1990s. From Boudouresque and Ribera (1994), Verlaque (1994) and Ribera and Boudouresque (1995).

### 3. HOW MANY SPECIES HAVE BEEN INTRODUCED TO THE MEDITERRANEAN ?

Nearly 75 species of plants (macrophytes and microphytes) and 330 species of animals can be considered as having been probably introduced to the Mediterranean (Por, 1978, 1990; Zibrowius, 1991, 1994; Boudouresque and Ribera, 1994; Verlaque, 1994; Ribera and Boudouresque, 1995; Boudouresque, 1996; Golani, 1996).

There is a wide disparity in the number of introduced species from one sea to another. In the Mediterranean, introduced species represent 4-5% of its known flora and fauna. In New-Zealand, on the Atlantic coast of Europe and in Australia, the percentage of introduced macro-algae ranges from 2 to 3%. In the other regions of the world, introduced

species only appear to account for an insignificant proportion of the flora (Ribera and Boudouresque, 1995).

For certain regions, these differences can be an artefact. However, it is reasonable to assume that certain regions are more receptive to introductions of species (that is to say that they accept potential alien species more easily). Another possibility is that certain regions are subject to a greater pressure from the vectors of immigration.

#### 4. THE ROUTES OF SPECIES INTRODUCTIONS

Routes of access for species introduction are (Por, 1978; Zibrowius, 1991; Carlton and Geller, 1993; Boudouresque and Ribera, 1994; Ribera and Boudouresque, 1995; Boudouresque, 1996; Eno *et al.*, 1997) :

- Transportation of species on ship hulls (fouling and clinging).
- Transportation of ballast water. Hundred of ships of all sizes ply the oceans of the world, taking on water as ballast in one ocean, with its accompanying planktonic flora and fauna, including the meroplankton (planktonic larvae of benthic organisms), and unloading it in another ocean (Fig. 2). In all, millions of cubic metres of seawater are transported each year from one ocean to another. The survival time in ballast water for some species may exceed 18 days (Salt, 1992, Carlton and Geller, 1993). This vector of introduction is a source of considerable concern and has no equivalent on land. Ballast waters are responsible for the introduction of the zebra mussel *Dreissena polymorpha* (Pallas) in North America and of the comb jelly *Mnemiopsis leidyi* to the Black Sea (Carlton, 1993; Carlton and Geller, 1993; Carlton, 1996a, 1996b; GESAMP, 1997).

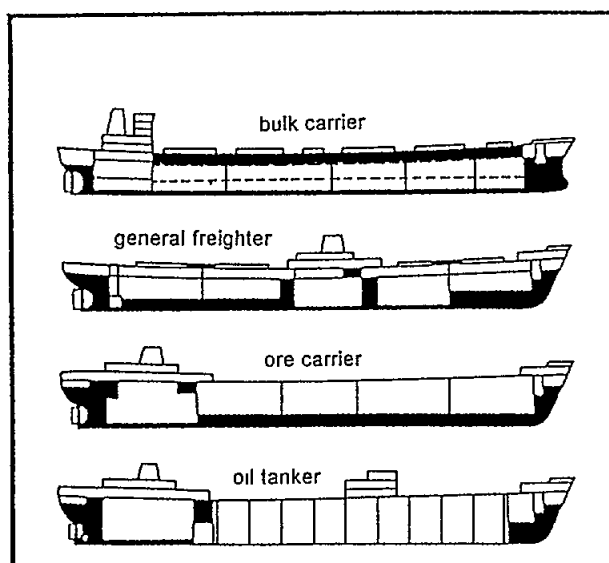


Fig. 2 Ballast water capacity (in black) of ships. From Durnil *et al.* (1990).

- Escape of non-indigenous species bred or reared for aquaculture purposes. This is the case in the Mediterranean of the Japanese oyster *Crassostrea gigas* and of the Japanese carpet shell *Ruditapes philippinarum* (Adams *et* Reeve) (Zibrowius, 1991).

- Accidental introduction of species accompanying aquaculture species. The importation from Japan of spat of the Japanese oyster *Crassostrea gigas* (more than 10 000 t between 1971 and 1977) is responsible for the introduction to the Mediterranean of a variety of species which occur naturally in association with this mollusc. For example, the Fucophyceae *Sargassum muticum*, *Undaria pinnatifida* (Fig. 3) and *Laminaria japonica*, and the Rhodophyta *Chrysiomena wrightii* and *Antithamnion nipponicum* Yamada et Inagaki (Perez et al., 1981; Ben Maiz et al., 1987; Verlaque and Riouall, 1989; Verlaque, 1996).

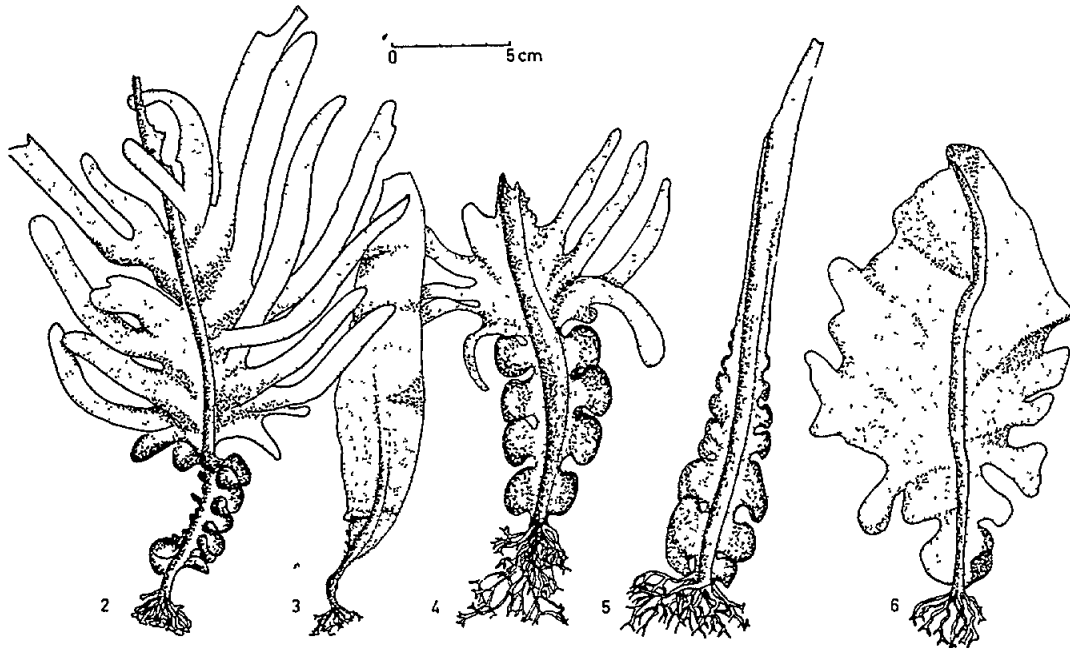


Fig. 3 *Undaria pinnatifida* (Fucophyceae), accidentally introduced to the Mediterranean (French coast and Venice lagoon, Italy). Its introduction is linked to the importation of spat of the Japanese oyster *Crassostrea gigas*. From Boudouresque et al. (1985).

- Species used as fishing bait and species escaping from markets. One example is *Fucus spiralis* (Fucophyceae), a species used as packaging for bait which (in France) comes from Brittany. It is by this means that it was introduced to the Gruissan lagoon (French Mediterranean coast) (Sancholle, 1988).
- Escape from aquaria. In the North-Western Mediterranean Sea, the green tropical alga *Caulerpa taxifolia* was introduced in this way (Meinesz and Hesse, 1991; Boudouresque et al., 1995; Meinesz and Boudouresque, 1996; Jousson et al., 1998).
- Scientific research. Many scientists working in the field of ecology, in addition to those working in disciplines distantly related to ecology (aquaculture, physiology, etc.) and who use non-indigenous strains or species, are completely unaware of or underestimate the possible impact of the introduction of the species they are working on. They thus fail to take the elementary precautions necessary to prevent these species from escaping from their cultures or breeding sites (Ribera and Boudouresque, 1995).

- An additional and recent route (last century), specific to the Mediterranean, is the Suez canal. The species which have entered the Mediterranean from the Red Sea via the Suez canal are named "Lessepsian aliens", from Ferdinand de Lesseps who built the canal (Por, 1978, 1990; Boudouresque, 1996)

Unintentional introductions associated with aquaculture, fouling and ballast waters are usually the main methods of introduction. This is the case, for example, in British waters (Fig. 4) (Eno *et al.*, 1997).

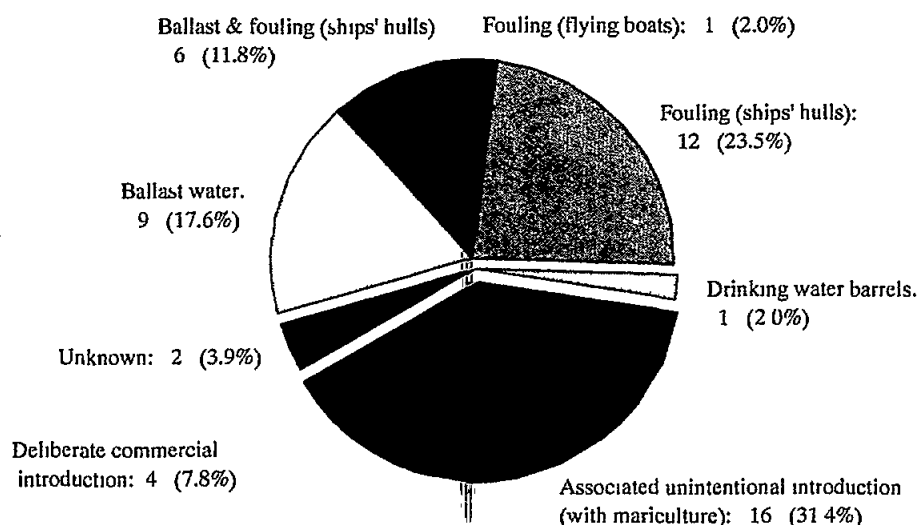


Fig. 4 Probable primary route of introduction of non-native marine flora and fauna found in British waters. Numerals indicate the number of species involved, and the percentage of total introductions. From Eno *et al.* (1997).

In the Mediterranean, the main routes of plant introductions are the Suez canal, fouling on ship hulls and accidental introduction of species accompanying aquaculture species. If the fauna is considered, however, the percentage of Lessepsian aliens is even greater, and can reach a value as high as 77 %, although this may be an over-estimation (Table 1).

Table 1

Routes of access to the Mediterranean of probably introduced species (expressed as a percentage of the number of species).

Routes of access	Flora	Fauna	Total
Fouling or clinging on ship hulls	25 %	10 %	13 %
Ballast water	3 %	1 %	2 %
Escape of species bred for aquaculture purposes	-	1 %	1 %
Accidental introduction of species accompanying oyster spat (aquaculture)	23 %	4 %	8 %
Fishing bait, escape from markets	3 %	+	1 %
Escape from aquariums	1 %	-	+
Suez Canal	38 %	77 %	67 %
Unknown	7 %	7 %	7 %

## 5. THE KINETICS OF SPECIES INTRODUCTIONS

In certain parts of the world, the phenomenon of marine species introduction is still in a phase of linear increase, e.g. in British waters (Eno *et al.*, 1997). In the Mediterranean, the kinetics of species introduction is even exponential : since the beginning of the century, the number of introduced species (fauna and flora, Lessepsian and non-Lessepsian) has nearly doubled every 20 years (Fig. 5, 6).

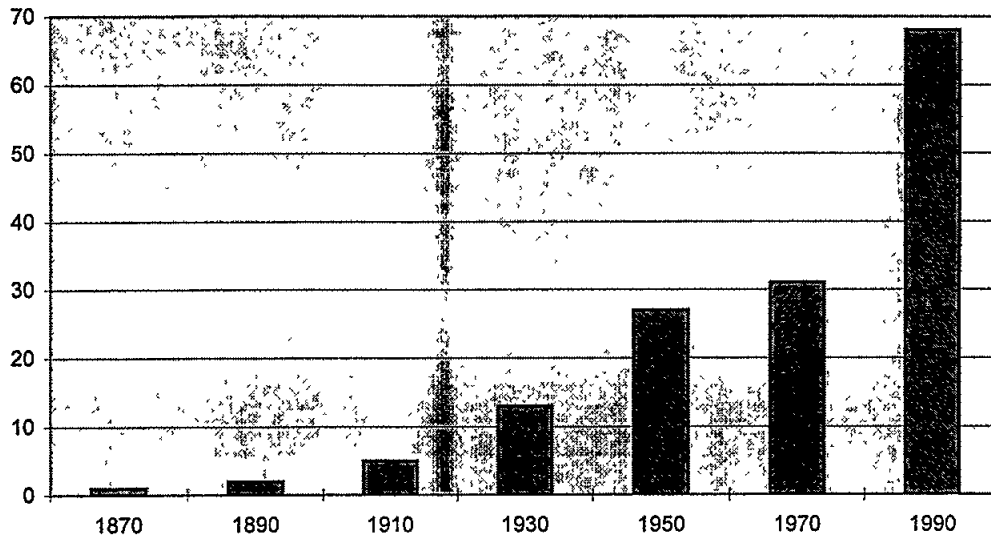


Fig. 5 The number of plants (Lessepsian and non-Lessepsian macrophytes and microphytes) introduced to the Mediterranean, from 1870 to 1990. Species introduced after 1990 are not taken into account. Cumulative data.

Introduced species appear to be conspicuously more numerous in some regions or in some biotopes, than in others. For example, Lessepsian aliens are, logically, more or less confined to the eastern basin, most of them along the Levantine coast (Fig. 7). In contrast, non-Lessepsian species appear to be concentrated in the western basin, in particular along the French coast (Fig. 8). For non-Lessepsian species, the pattern is even more contrasting if we consider the countries where the introduced species were first reported rather than their present day distribution (Fig. 9). It is probably no coincidence that 51% of marine macrophytes introduced into Europe were first introduced in France. The reason resides in the fact that legislation and current practices are particularly lax in France (Boudouresque and Ribera, 1994; Ribera and Boudouresque, 1995). Indeed, once introduced in one country, an alien species has little respect for national borders.

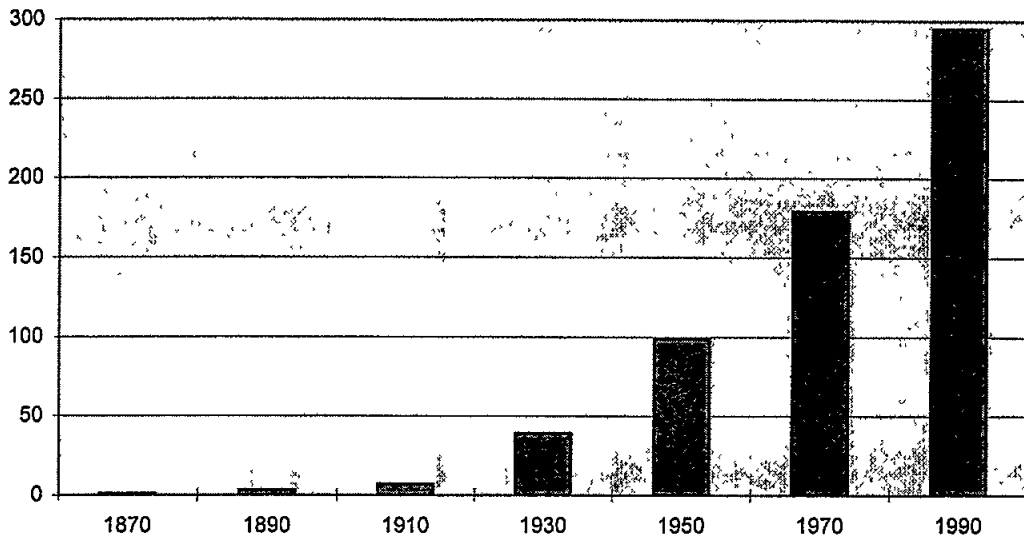


Fig. 6 The number of Lessepsian aliens (flora and fauna) introduced to the Mediterranean, from 1870 to 1990. Species introduced after 1990 are not taken into consideration. Cumulative data. From Boudouresque (1996), modified.

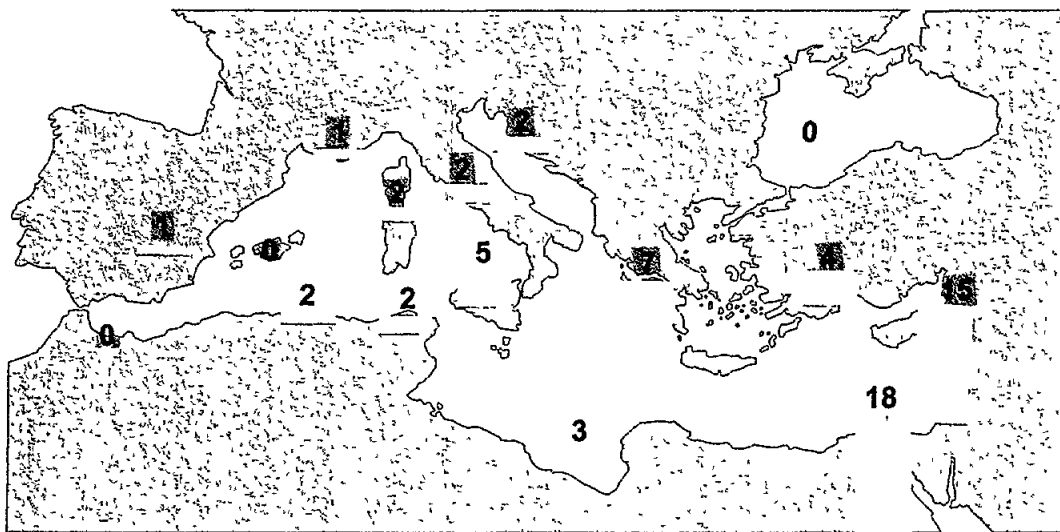


Fig. 7 Number of Lessepsian alien species (macrophytes) present in the different regions of the Mediterranean and in the Black Sea. Regions correspond to countries, with the exception of the Balearic Islands, Corsica + Sardinia, Sicily, the Adriatic Sea and the Levantine coast (Syria, Lebanon and Israel).

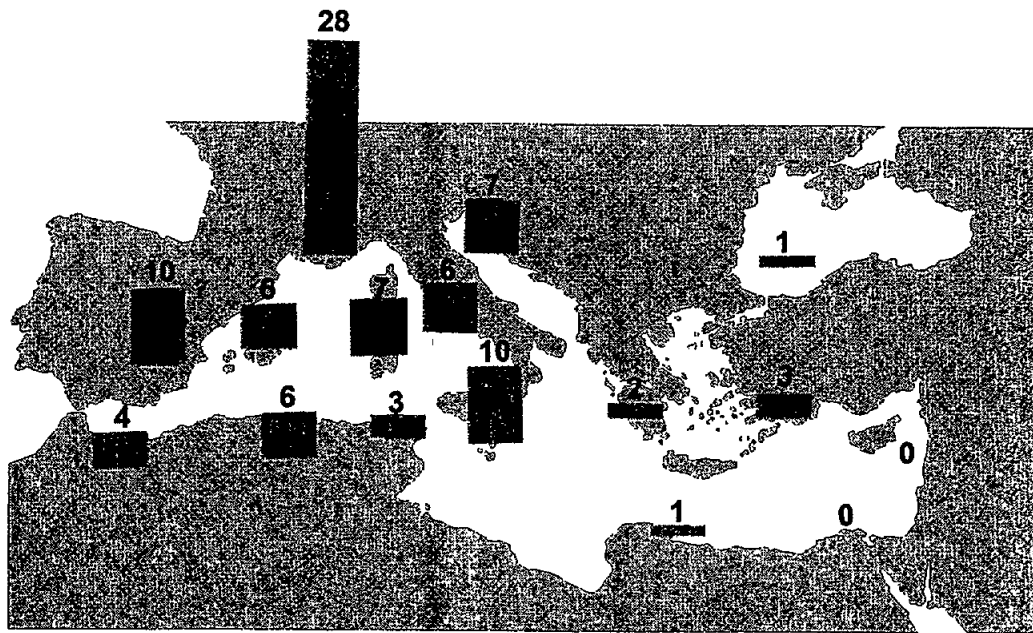


Fig. 8 Number of non-Lessepsian alien species (macrophytes) present in the different regions of the Mediterranean and in the Black Sea. Regions correspond to countries, with the exception of the Balearic Islands, Corsica + Sardinia, Sicily, the Adriatic Sea and the Levantine coast (Syria, Lebanon and Israel).

## 6. PROCESSES INVOLVED IN SPECIES INTRODUCTIONS

There are four successive phases in the introduction of a species : the arrival, the settlement phase, the expansion phase and the persistence phase (Fig. 10).

Introduction processes involve (i) a donor region (or source region), (ii) a corridor, (iii) a vector, (iv) a recipient region, that is to say the region where the candidate may become established, (v) and of course a candidate species (Fig. 11). The first question which arises is : why does an introduction occur when it does ? Why, if a corridor has been in place for over one hundred years, would the species newly appear at the end of that corridor only in year 101 ? (Carlton, 1996a).

The cause of an introduction may be a change in the donor region. For example, pollution may increase the population numbers of a native species, such that more individuals would be available to interface with a corridor and a vector. The change in the donor region can also be the arrival of a non native species. This non native species can then interface with an existing transport mechanism. This is the "hub and spoke model". For example the zebra mussel *Dreissena polymorpha* was formerly endemic to the Caspian Sea. It was initially introduced to a new area where it interfaced with a vector (ship ballast water) and a corridor to reach the Northern American Great Lakes. The cause of an introduction may also be the opening of a new corridor with an accompanying new donor region. Other causes can be new vectors, or increase in vector speed, for example faster ships (Fig. 11).



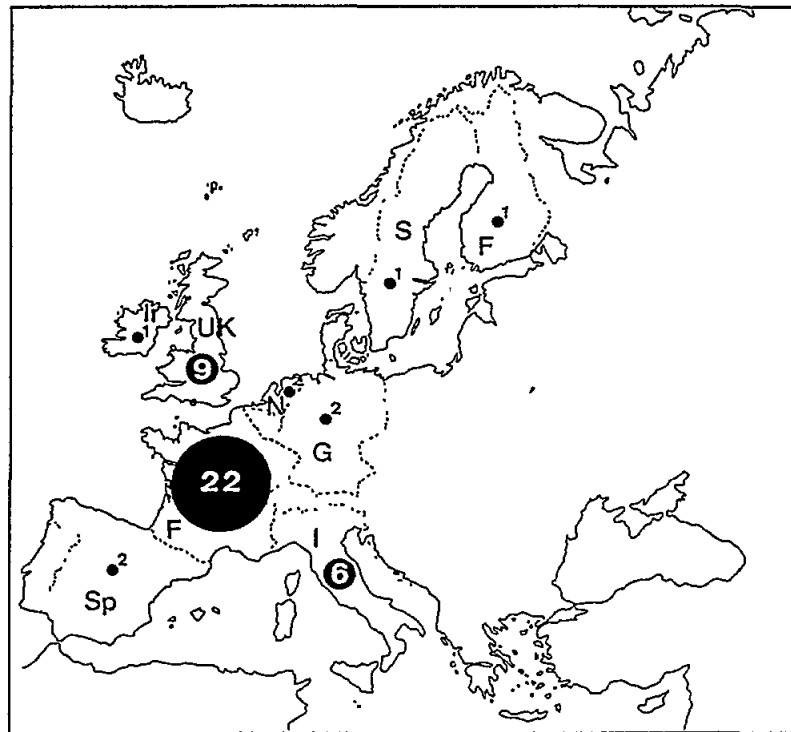


Fig. 9 Distribution by country of the number of first reports of introduced macrophytes in Northern and Western Europe (the appearance in a country of an introduced species previously reported in another European country is not included). The diameter of the black circles is in proportion to the number of introduced species. From Ribera and Boudouresque (1995).

A recipient region with a low biodiversity, and vacant ecological niches, may substantially help the alien species to become established. It is worth noting that the end of most of the spokes, i.e. the corridors, are harbours or brackish lagoons, that is to say areas with a low diversity (naturally or artificially). Of course, once they have arrived and after having profited from these conditions to become established, some introduced species spread to neighbouring areas, even if these are neither polluted nor characterized by a low biodiversity. Indeed, in the Mediterranean, most of the introduced species were initially observed in brackish lagoons, harbours and other polluted biotopes (Table 2). Such biotopes are both localised at the end of a corridor and characterized by a rather low biodiversity.

Along the way from the donor region to the recipient region, numerous filters (or windows) can be opened or closed (Fig. 11). These include the period of egg and larval production, resistance to transport, an appropriate temperature and salinity, the availability of trophic resources at the time of arrival and a drop in the abundance of predators at the time of arrival. Thus, an appropriate timing in its arrival is absolutely essential to a candidate species.

Table 2

Biotopes and communities where introduced non-Lessepsian macrophytes and invertebrates were first reported (later on, other kinds of biotopes or communities may have been colonized).

Biotopes or communities	
Brackish lagoons	44 %
Estuaries	1 %
Harbours	25 %
Other polluted biotopes	4 %
Photophilous communities	7 %
Sciaphilous communities	2 %
<i>Posidonia oceanica</i> meadows (seagrass)	1 %
Pelagic ecosystems	2 %
Unknown	14 %

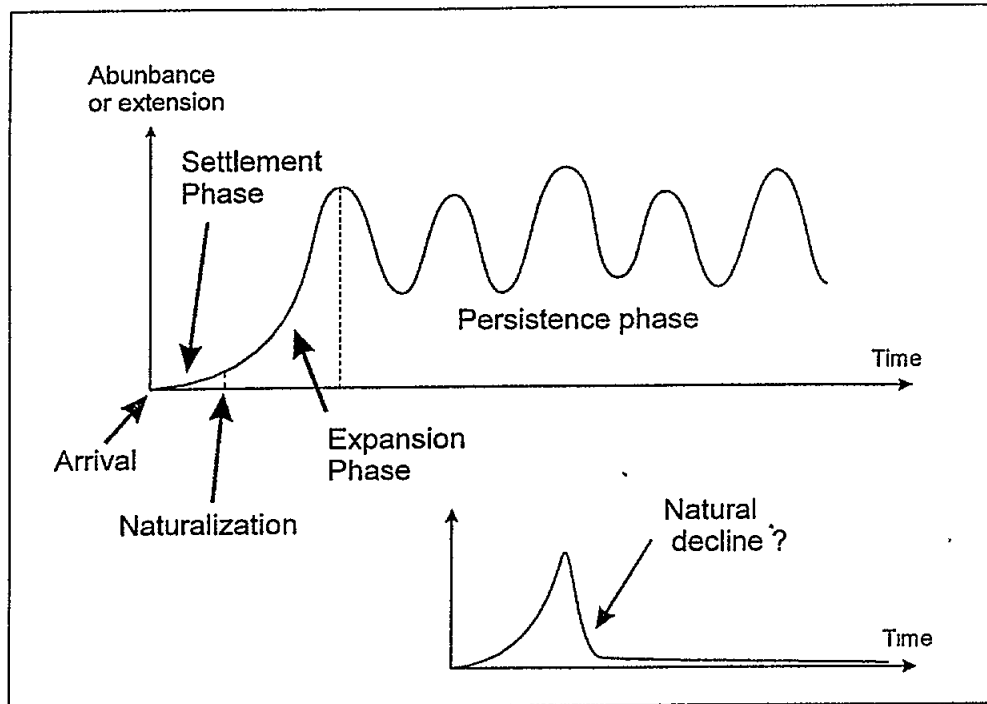


Fig. 10 Successive phases in the introduction of a species. Model B (above) and model A (below).

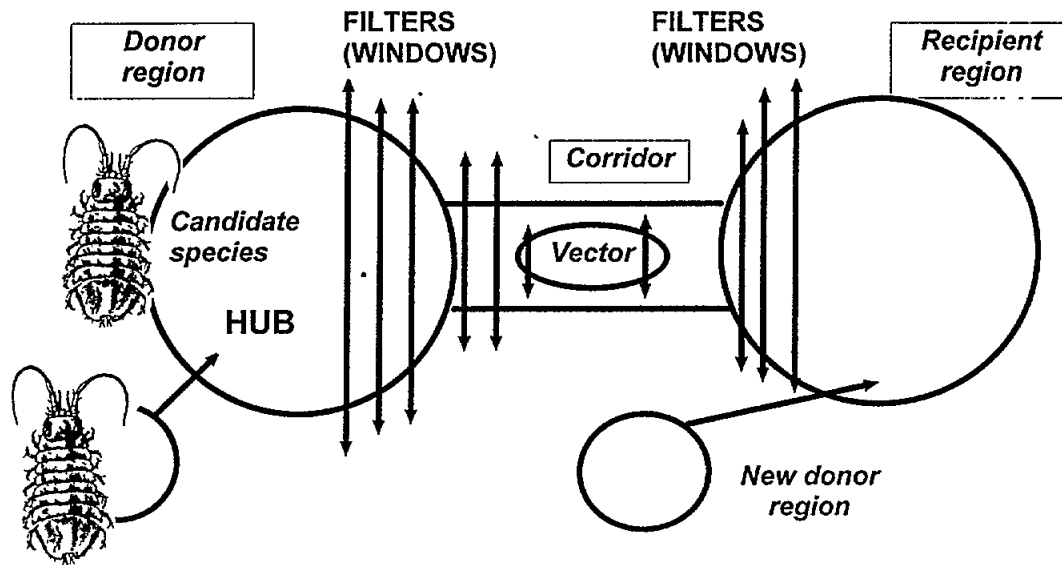


Fig. 11 Processes involved in a species introduction : the donor region, the corridor, the vector, the recipient region and the candidate species.

The "proper" combination of all these features, that is to say the simultaneous opening of all the windows, is clearly an event of uncommon occurrence : even one closed window would hinder a candidate species arrival, or, upon arrival, its establishment. As a result, the successful introduction of a candidate species must be considered to be an exceptional event. However, the exponential increase in the rate of introductions demonstrates both a human-mediated opening of the windows, and a conspicuous increase in invading pressures.

After the arrival of a candidate species, the settlement phase begins. This phase ends either in its elimination, or its naturalization (Fig. 10). The "naturalization" is the definitive integration of the candidate among the flora or fauna of the region. Of course, "definitive" means : as far as it is known. "Integration" means : the constitution of populations of individuals born *in situ*, without human assistance (see § 1).

Once naturalized, the introduced species starts its expansion phase. It will try to occupy the whole of the biotopes and the whole of the geographical range to which it may have access.

The persistence phase means that the introduced species occupies all of the accessible biotopes and the entire accessible geographical range. The persistence phase, however, rarely resembles like a plateau. The abundance fluctuates to a varying degree, in much the same manner as do most native species (model B, see Fig. 10). Such fluctuations are linked to predator-prey relationships, parasite-host relationships, unevenness in recruitment, etc.

It is often claimed that, at the end of the expansion phase, the abundance of an introduced species will naturally decline (model A, see Fig. 10). A good example of such a decline is constituted by the Lessepsian Gastropod *Cerithium kochi* Philippi. First reported in

the mid-1960s, this Gastropod became one of the dominant species of the Levantine coast in the late 1970s. It has now stepped back into the ranks (Por, 1978; Galil and Lewinsohn, 1981; Spanier and Galil, 1991). However, not only is such a natural decline not a rule, but on the contrary it has proved to be a rather rare event. This conclusion can be drawn from the careful examination of introduced species for which accurate historical data are available, both in marine and terrestrial environments (Ribera and Boudouresque, 1995; Boudouresque, 1996; Eno *et al.*, 1997; GESAMP, 1997).

Several reasons may explain why data have been mis-interpreted, leading to the generalization of the rare model A (natural decline). In some cases, the occurrence of a decline can be easily explained : an introduced specialized parasite, or an introduced specialized predator, wipes out its native host, or its native prey, and of course then declines. For example, in the last century, a parasite of the European vine, *Phylloxera*, was introduced from America. Once the European strains of vine were all destroyed, or replaced by resistant American strains, of course, the parasite declined. In fact, in most cases, the so called "natural decline" comes from a mis-interpretation of the first decline occurring within the first fluctuation cycle of the persistence phase (model B). For example, in the Thau lagoon (France), the decline of *Sargassum muticum* (Fucophyceae) in the late 1980s and early 1990s was considered to be typical of model A (Boudouresque and Ribera, 1994). Subsequently (late 1990s), however, its abundance increased, reaching previous levels.

## 7. ECOLOGICAL CONSEQUENCES OF SPECIES INTRODUCTIONS

The study of a large number of species introductions, in the terrestrial environment, has led to the conclusion that, as a mean, 10% of arriving species try to settle, 10% of them actually become introduced, and 10% of introduced species are invasive. This is the "tens rule" (Williamson and Fitter, 1996). An invasive species is an introduced species the abundance of which is conspicuous, or threatens native species or communities, or has economic consequences. Invasive species are also called "pests". The zebra-mussel *Dreissena polymorpha* in the North American Great Lakes (Kiernan, 1993; Carlton, 1996b), the comb jelly *Mnemiopsis leydii* in the Black Sea (Konovalov, 1992; Carlton, 1996b; GESAMP, 1997) and the tropical green alga *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean (Meinesz and Hesse, 1991; Boudouresque *et al.*, 1995; Meinesz and Boudouresque, 1996; Boudouresque, 1997, 1998) are invasive species. It is difficult, or impossible, to predict whether or not an introduced species will become invasive : it is a matter of "ecological roulette", as coined by Carlton and Geller (1993).

Most attention has focused on environmentally damaging consequences resulting from alien invasive species in terrestrial and freshwater environment. Most of the neo-extinction of species, that is to say modern extinctions, are due, when the cause is identified, to species introductions.

In contrast, the marine environment has been very little studied. Nothing is known about the possible impact of most of the 400 species introduced to the Mediterranean. Available information concerns mainly the green alga *Caulerpa taxifolia* in the Western Mediterranean (Meinesz and Hesse, 1991; Verlaque and Fritayre, 1994; Villèle and Verlaque, 1995; Bellan-Santini *et al.*, 1996; Boudouresque, 1997), the brown alga *Sargassum muticum* in the Thau lagoon, France (Gerbil *et al.*, 1985), a few Lessepsian aliens (Por, 1978), and the comb jelly *Mnemiopsis leidy* in the Black Sea (Konovalov, 1992; GESAMP, 1997). A few additional data are available about the red algae *Acrothamnion preissii* (Sonder) Wollaston in Western Italy (Piazzi *et al.*, 1996), *Asparagopsis armata*

Harvey in the north-western basin (Sala and Boudouresque, 1997) and *Womersleyella setacea* (Hollenberg) Norris in Western Italy and in the Aegean Sea (Airoldi *et al.*, 1995a, 1995b; Athanasiadis, 1997).

The conclusions which can be drawn from the available studies show that each introduced species constitutes a special case. According to species, the following has been observed : (i) Zero or slight impact. (ii) More or less drastic changes in the number and/or abundance of native species (Ruitton and Boudouresque, 1994; Verlaque and Fritayre, 1994; Bellan-Santini *et al.*, 1996). For example, along the French Riviera coasts, 6 species of parasites (Digenea) are present in the digestive tract of the fish *Symphodus ocellatus* (Forsskål) (cumulative prevalence = 46%); At sites colonized by the introduced green alga *Caulerpa taxifolia*, only 2 digenean species are present (cumulative prevalence = 2%) (Bartoli and Boudouresque, 1997). (iii) Displacement of a native species occupying a close ecological niche. For example in the Thau lagoon (France), the introduced brown alga *Sargassum muticum* has replaced another brown alga, *Cystoseira barbata* (Gerbal *et al.*, 1985). Along the Levantine coasts, the introduced asteroid *Asterina wega* Perrier appears to have locally replaced the native, ecologically similar *Asterina gibbosa* (Pennant) (Por, 1978). The native prawn *Penaeus kerathurus* (Forsskål), which supported a commercial fishery throughout the 1950s, has now nearly disappeared; it is replaced by *P. japonicus* Bate (Geldiay and Kocatas, 1972, Spanier and Galil, 1991) (iv) Several native species along the Levantine coasts have been competitively displaced towards deeper waters by introduced competitors, e.g. the red snapping shrimp *Alpheus glaber* (Olivi), the red mullet *Mullus barbatus* Linnaeus and the bake *Merluccius merluccius* (Linnaeus), have been displaced by the shrimp *Alpheus rapacida* De Man, the goldband goatfish *Upeneus moluccensis* (Bleeker) and the brushtooth lizardfish *Saurida undosquamis* (Richardson), respectively (Por, 1978). (v) Changes in the functioning of native ecosystems, due to an introduced species which acts as a key-species. For example, the presence among Lessepsian aliens of large herbivore fishes, *Siganus luridus* (Rüppell) and *S. rivulatus* Forsskål, makes highly probable a strong impact on the functional processes of the ecosystems of the Eastern Mediterranean. Indeed, the Mediterranean is a sea characterised by a rather low level of herbivory.

There is a common empirical opinion that species introductions do not result in species deletion but instead in species enrichment : "one species more ! what good news for biodiversity !" As a matter of fact, this opinion is not supported by scientific data. : the fate of most native species is generally not studied. This simplistic interpretation (likely to appeal to politicians), whose long-term result would be the world-wide standardization of underwater landscapes (such a standardization is referred to as "mcdonaldization") is diametrically opposed to both the concept of biodiversity and the ethics of nature conservancy. If this were in fact the case, zoos and botanical gardens would be the paradigm of biodiversity.

Another common opinion among politicians, is : "don't worry ! it will become integrated into native ecosystems". Of course : an introduced species always becomes integrated into an ecosystem, a "native" one or a completely new ecosystem : it participates in new food webs, establishes new predator-prey relationships, etc. Were we to introduce the lion to Spain, it would also become integrated into native ecosystems; it would prey on red deers, cows, etc. The question is : is it still a native ecosystem ?

Other politicians are in the habit of saying : "don't worry ! a new equilibrium will occur". Of course a form of equilibrium exists even in a heavily polluted harbour community. The question is : do we want this new equilibrium ?

## 8. ECONOMIC CONSEQUENCES OF SPECIES INTRODUCTIONS

Some introduced species are now of economic importance in the Mediterranean, being exploited by local fisheries (Galil, 1986; Oren, 1957; Spanier and Galil 1991; Zibrowius, 1991). The crab *Portunus pelagicus* (Linnaeus) has become the dominant crab in commercial catches all around the eastern Mediterranean, especially in Egypt. The prawns *Penaeus japonicus* and *P. monoceros* (Fabricius) are also commercially exploited; in Israel and Egypt, they make up most of the shrimp catches. Off the Israeli coast, Lessepsian fishes constitute a third of the trawl catches.

It is unclear, however, whether total stocks or even annual catches have actually increased in these regions (Boudouresque, 1996). At any rate, the economic benefits of a species introduction should not be assessed simply on the basis of strict sale price, but on the basis of a wider view, taking into account the losses to other business activities and the costs of any damage that may result : these losses are usually "externalized". This means that benefits are for some people, whereas the costs are "externalized", that is to say paid by other people (McNeely, 1992, 1994, 1996, 1998; Bayon *et al* , 1998).

Harmful consequences of species introduction may affect several sectors of human activity (Kiernan, 1993) : (i) Fisheries. In the Black Sea, the dramatic drop in fish catches is considered to be a consequence of the introduction of the comb jelly *Mnemiopsis leidyi* (GESAMP, 1997). (ii) Aquaculture. Most of the new diseases of bacterial or parasitic origin that strike marine cultures in many parts of the world (for example oyster culture) probably result from species introduction. (iii) Public health and tourism. Scuba diving is currently one of the driving forces that is contributing to the development of tourism. The uniformisation of the underwater landscape may have a negative impact on the development of scuba diving. Along the Israel coast, painful stings are inflicted by the introduced jellyfish *Rhopilema nomadica* and nets strung along the bathing beaches have proved to be ineffective (Galil *et al.*, 1990; Spanier and Galil, 1991).

Finally, species introduction cannot be considered solely as an ecological and economic problem. We are also faced with an ethical and cultural problem.

## 9. CONCLUSION

There are various reasons why species introductions are today a cause of growing concern. Firstly, unlike some other environmental problems, the phenomenon of species introduction is still in a phase of increase. The vectors of introduction have been identified, but they are far from being brought under control. Indeed, it is difficult or impossible to predict whether or not an introduced species will become invasive : it is the "*ecological roulette*".

Furthermore, the ecological consequences of a species introduction, a dynamic phenomenon by definition, are often not immediately discernible. And the assessment of these consequences cannot be generalized, since each introduction is a special case. In addition, assessing the impact takes time, and by the time a sufficiently accurate assessment has been made, it is generally rather late to take suitable remedial measures. As far as economic consequences are concerned, these are even more difficult to anticipate and it can take some time before the full impact is felt. It must be emphasized here that economic consequences are probably always underestimated, due to the externalization of costs.

Finally, the national legislation of the Mediterranean countries is somewhat inadequate, often unrealistic and always totally ineffective (Knoepffler and Knoepffler-Peguy, 1996). Fortunately, international agreements provide a good basis for cooperation and for the development of new instruments for that purpose. Such an international cooperation is absolutely vital as, once it has been introduced in one country, an alien species has no respect of national borders.

The introduction of species is clearly a field where the precautionary principle, adopted by the Convention on Biological Diversity, must be implemented : the impact of species introduction may be impossible or extremely costly to control once the species has become established. Prevention is consequently of the utmost importance.

## 10. REFERENCES

- Airoldi, L., F. Rindi and F. Cinelli (1995a), Structure, seasonal dynamics and reproductive phenology of a filamentous turf assemblage on a sediment influenced, rocky subtidal shore. *Botanica marina*, 38:227-237
- Airoldi, L., F. Rindi, L. Piazzini and F. Cinelli (1995b), Distribuzione di *Polysiphonia setacea* (Rhodomelaceae, Rhodophyta) Hollenberg in Mediterraneo e possibili modalità di diffusione. *Biol.mar.medit.*, 2(2):343-344
- Athanasiadis, A. (1997), North Aegean marine algae. IV. *Womersleyella setacea* (Hollenberg) R.E. Norris (Rhodophyta, Ceramiales). *Botanica marina*, 40:473-478
- Bartoli, P. and C.F. Boudouresque (1997), Transmission failure of parasites (Digenea) in sites colonized by the recently introduced invasive alga *Caulerpa taxifolia*. *Mar.Ecol.Progr.Ser.*, 154:253-260
- Bayon, R., H. Mooney and V. Shiva (1998), The end of the biodiversity economy ? . *World Conservation*, 97(4)-98(1):45-48
- Bellan-Santini, D., P.M. Arnaud, G. Bellan and M. Verlaque (1996), The influence of the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia*, on the biodiversity of the Mediterranean marine biota. *J.mar.biol.Ass.U.K.*, 76:235-237
- Ben Maiz, N., C.F. Boudouresque, R. Rioual et M. Lauret (1987), Flore algale de l'étang de Thau (France, Méditerranée) : sur la présence d'une Rhodyméniale d'origine japonaise, *Chrysomenia wrightii* (Rhodophyta). *Botanica marina*, 30:357-364
- Boudouresque, C.F. (1994), Les espèces introduites dans les eaux côtières d'Europe et de Méditerranée. In: *Introduced species in European coastal waters*, edited by C.F. Boudouresque, F. Briand and C. Nolan C. European Commission publ., Luxembourg, pp.8-27
- Boudouresque, C.F. (1996), The Red Sea-Mediterranean link : unwanted effects of canals. In: *Proceedings Norway-UN Conference on Alien Species*, edited by O.T. Sandlund, P.J. Schei and A. Viken A. Norway Min. Environment publ., pp.107-115

- Boudouresque, C.F. (1997), Population dynamics of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean, including the mechanisms of interspecific competition. *In*: Dynamique d'espèces marines invasives : application à l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. Lavoisier publ., Paris, Fr., pp.145-162
- Boudouresque, C.F. (1998), *Caulerpa taxifolia* : the great escape. *World Conservation*, 97(4)-98(1):17-18
- Boudouresque, C.F. et M.A. Ribera (1994), Les introductions d'espèces végétales et animales en milieu marin - conséquences écologiques et économiques et problèmes législatifs. *In*: First international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez. GIS Posidonie publ., Fr., pp.29-102
- Boudouresque, C.F., M. Gerbal et M. Knoepffler-Peguy (1985), L'algue japonaise *Undaria pinnatifida* (Phaeophyceae, Laminariales) en Méditerranée. *Phycologia*, 24:364-366
- Boudouresque, C.F., A. Meinesz, M.A. Ribera and E. Ballesteros (1995), Spread of the green alga *Caulerpa taxifolia* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean : possible consequences of a major ecological event. *Scientia marina*, 59 (suppl. 1):21-29
- Carlton, J.T. (1985), Transoceanic and interoceanic dispersal of coastal marine organisms; the biology of ballast water. *Oceanogr.mar.Biol.ann.Rev.*, 23:313-373
- Carlton, J.T. (1993), Dispersal mechanisms of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*). *In*: Zebra mussel : biology, impact and control, edited by T.F. Nalepa and D.W. Schloesser. Lewis publ., Boca Raton, Florida, USA, 810 p.
- Carlton, J.T. (1996a) Pattern, process, and prediction in marine invasion ecology. *Biological Conservation*, 78:97-106
- Carlton, J.T. (1996b), Marine bioinvasions : the alteration of marine ecosystems by non-indigenous species. *Oceanography*, 9(1):36-43
- Carlton, J.T. and J.B. Geller (1993), Ecological roulette : the global transport of non-indigenous marine organisms. *Science*, 261:78-82
- Critchley, A.T., W.F. Farnham and S.L. Morrell (1983), A chronology of new European sites of attachment for the invasive brown alga, *Sargassum muticum*. 1973-1981. *J.mar.Biol.Assoc.U.K.*, 63:799-811
- Durnil, G.K., E.D. Fulton et C.C. Krueger (1990), Les espèces exotiques et la marine marchande : une menace pour l'écosystème des Grands lacs et du Saint-Laurent. Rapport spécial présenté aux gouvernements des Etats-Unis et du Canada. Commission mixte internationale et Commission des pêcheries des Grands lacs publ., Canada, 56 p.
- Eno, N.C., R.A. Clark and W.G. Sanderson (1997), Non-native marine species in British waters : a review and directory. Joint Nature Conservation Committee, Petersborough, UK, 152 p.



- Fischer-Piette, E. (1959), Contribution à l'écologie intercotidale du Déroit de Gibraltar. *Bull.Inst.océanogr.*, Monaco, 56(1145):1-32
- Fischer-Piette, E. (1963), Les progrès de *Fucus spiralis* combleront-ils la curieuse lacune de l'Algarve ? *Bull.Inst.océanogr.*, Monaco, 60(1264):1-15
- Galil, B. (1986), Red Sea Decapods along the Mediterranean coast of Israel : ecology and distribution. In: Environmental quality and ecosystem stability, vol. III A/B, edited by Z. Dubinsky and Y. Steinberg. Bar Ilan University Press, Ramat Gan, Israel, pp.179-183
- Galil, B. and C. Lewinsohn (1981), Macrobenthic communities of the Eastern Mediterranean continental shelf. *Mar.Ecol. PSZN*, 2(4) :343-352
- Galil, B.S., E. Spanier E. and W.W. Ferguson (1990), The Scyphomedusae of the Mediterranean coast of Israel, including two Lessepsian migrants new to the Mediterranean. *Zoologische Mededelingen*, 64:95-105
- Geldiay, R. and A. Kocatas (1972), A report on the occurrence of Penaeidae (Decapoda Crustacea) along the coast of Turkey from Eastern Mediterranean to the vicinity of Izmir, as a result of migration and its factors. In: 17° Congrès international de Zoologie, Monte Carlo, 7 p.
- Gerbal, M., N. Ben Maiz et C.F. Boudouresque (1985), Les peuplements à *Sargassum muticum* de l'Etang de Thau : données préliminaires sur la flore algale. *Congr.nation.Soc.sav.*, Fr., 110(2):241-254
- GESAMP, (1997), Opportunistic settlers and the problem of the Ctenophore *Mnemiopsis leidyi* invasion in the Black Sea. IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint group of experts on the scientific aspects of marine protection. *GESAMP Reports and Studies*, New York, 58:1-84
- Golani, D. (1996), The marine ichthyofauna of the Eastern Levant - History, inventory and characterization. *Israel J.Zool.*, 42:15-55
- Jousson, O., J. Pawlowski, L. Zaninetti, A. Meinesz and C.F. Boudouresque (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
- Kiernan, V. (1993), US counts cost of alien invaders. *New Scientist*, x : 9 p.
- Knoepffler, H. et M. Knoepffler-Peguy (1996), Eléments juridiques relatifs à la présence de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. In: Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gómez and V. Gravez. Publications Universitat Barcelona, Spain, pp.431-439
- Knoepffler-Peguy, M., T. Belsher, C.F. Boudouresque and M. Lauret (1985), *Sargassum muticum* begins to invade the Mediterranean. *Aquatic Botany*, 23:291-295
- Konovalov, S.M. (1992), Impact of man on Black Sea ecosystem. *Rapp. P.V. Réunion. Commiss.internation.Explor.sci.Médit.*, Monaco, 33:17

- McNeely, J.A. (1992), Biodiversity : some issues in the economics of conservation. In: The price of forests, Proceedings of a seminar on the economics of the sustainable use of forest resource, edited by A. AGARWAL. Centre for Science and Environment publ., New Delhi, India, pp.125-131
- McNeely, J.A. (1994), Reversing the loss of biodiversity : implementing political, economic, and social measures. In: Biological diversity : exploring the complexities. Univ. Arizona, Tucson, USA, 25-27 March 1994, 15 p.
- McNeely, J.A. (1996), Politics and economics. In: Conservation biology, edited by I.F. Spellerberg. Longman publ., Singapore, pp.38-47
- McNeely, J.A. (1998), Putting economics to work. *World Conservation*, 97(4)-98(1):39
- Meinesz, A. (1992), Modes de dissémination de l'algue *Caulerpa taxifolia* introduite en Méditerranée. *Rapp.P.V.Réun.Commiss.internation.Explor.sci.Médit.*, Monaco, 33:44
- Meinesz, A. et B. Hesse (1991), Introduction et invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée nord-occidentale. *Oceanol.Acta*, 14(4):415-426
- Meinesz, A. et C.F. Boudouresque (1996), Sur l'origine de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. *C.R. Acad. Sci., Life Sci., Fr.*, 319:603-613
- Meinesz, A., J. de Vaugelas, B. Hesse and X. Mari (1993), Spread of the introduced tropical green alga *Caulerpa taxifolia* in northern Mediterranean waters. *J.applied Phycology*, 5:141-147
- Occhipinti-Ambrogi, A. (1994), Caractéristiques génétiques et capacité d'invasion chez les invertébrés dans les eaux littorales et les lagunes méditerranéennes. In: Introduced species in European coastal waters, edited by C.F. Boudouresque, F. Briand and C. Nolan. European Commission publ., Luxembourg, pp.56-62
- Oren, O.H. (1957), Changes in temperature of the Eastern Mediterranean Sea in relation to the catch of the Israel trawl fisheries during the years 1955/55 and 1955/56. *Bull.Inst.océanogr.*, Monaco, 1102:1-12
- Parke, M. (1948), *Laminaria ochroleuca* De la Pylaie growing on the coast of Britain. *Nature*, pp.162:295
- Perez, R., J.Y. Lee et C. Juge (1981), Observations sur la biologie de l'algue japonaise *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar introduite accidentellement dans l'Etang de Thau. *Sci.Pêche*, 315:1-12
- Piazzzi, L., G. Pardi and F. Cinelli (1996), Ecological aspects and reproductive phenology of *Acrothamnion preissii* (Sonder) Wollaston (Ceramiaceae, Rhodophyta) from the Tuscan Archipelago (Western Mediterranean). *Cryptogamie-Algologie*, 17(1):35-43
- Por, F.D. (1978), Lessepsian migrations. The influx of Red Sea biota into the Mediterranean by way of the Suez canal. Springer publ., Berlin : i-viii + pp.1-228
- Por, F.D. (1990), Lessepsian migrations. An appraisal and new data. *Bull. Inst. océanogr.*, Monaco, 7 (numéro spécial) : 1-10.

- Prud'homme van Reine, W.F. (1993), Sphacelariales (Phaeophyceae) of the World, a new synthesis. *Kor.J.Phycol.*, 8(2):145-160
- Ribera, M.A. and C.F. Boudouresque (1995), Introduced marine plants, with special reference to macroalgae : mechanisms and impact. In: Progress in phycological Research, edited by F.E. Round and D.J. Chapman. Biopress Ltd publ., UK , 11:187-268
- Ruitton, S. et C.F. Boudouresque (1994), Impact de *Caulerpa taxifolia* sur une population de l'oursin *Paracentrotus lividus* à Roquebrune-Cap Martin (Alpes-Maritimes, France). In: First international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez. GIS Posidonie publ., Fr., pp.371-378
- Sala, E. and C.F. Boudouresque (1997), The role of fishes in the organization of a Mediterranean sublittoral community. I : algal communities. *J.exp.mar.biol.Ecol.*, 212:25-44
- Salt, J. (1992), Current status of the Canadian ballast water exchange guidelines. *Second international zebra mussel conference*, Toronto, Canada, 19-21 February 1992.
- Sancholle, M. (1988), Présence de *Fucus spiralis* (Phaeophyceae) en Méditerranée occidentale. *Cryptog.Algol.*, 9(2):157-161
- Sauvageau, C. (1906), A propos du *Colpomenia sinuosa* signalé dans les huîtres de la région de Vannes. *Bull.Stat.biol.Arcachon*, Fr., 9:1-14
- Spanier, E. and B.S. Galil (1991), Lessepsian migrations : a continuous biogeographical process. *Endeavour*, 16(3):102-106
- Verlaque, M. (1994), Inventaire des plantes introduites en Méditerranée : origines et répercussions sur l'environnement et les activités humaines. *Oceanol.Acta*, 17(1):1-23
- Verlaque, M. (1996), L'étang de Thau (France), un site majeur d'introductions d'espèces en Méditerranée. relations avec l'ostréiculture. In: Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gómez and V. Gravez. Publications Universitat Barcelona, pp.423-430
- Verlaque, M. et R. Riouall (1989), Introduction de *Polysiphonia nigrescens* et d'*Antithamnion nipponicum* (Rhodophyta, Ceramiales) sur le littoral méditerranéen français. *Cryptog Algol.*, 10:313-323
- Verlaque, M. et P. Fritayre (1994), Modifications des communautés algales méditerranéennes en présence de l'algue envahissante *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh. *Oceanologica Acta*, 17(6):659-672
- Villele, X. de and M. Verlaque (1995), Changes and degradation in a *Posidonia oceanica* bed invaded by the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia* in the North Western Mediterranean. *Botanica Marina*, 38:79-87

Williamson, M. and A. Fitter (1996), The varying success of invaders. *Ecology*, 77(6):1661-1666.

Zibrowius, H. (1991), Ongoing modification of the Mediterranean marine fauna and flora by the establishment of exotic species. *Mésogée*, Fr., 51:83-107

Zibrowius, H. (1994), Introduced invertebrates : examples of success and nuisance in the European Atlantic and in the Mediterranean. In: Introduced species in European coastal waters, edited by C.F. Boudouresque, F. Briand and C. Nolan. European Commission publ., Luxembourg, pp.44-49

## SITUATION GÉNÉRALE DE L'EXPANSION DE *CAULERPA TAXIFOLIA* EN FRANCE ET ANALYSE DES BIOTOPES ATTEINTS

by

Alexandre MEINESZ, Jean de VAUGELAS et Jean-Michel COTTALORDA

Laboratoire Environnement Marin Littoral  
Université de Nice Sophia Antipolis  
06108 Nice Cedex, France

### ABSTRACT

*Caulerpa taxifolia*, an alga of tropical origin accidentally introduced in Monaco waters in 1984, is rapidly spreading along the french Riviera, most of it between Menton, near the Franco-Italian border, and Le Brusuc, west of Toulon. As of December 1997, 68 independant colonies have been reported, with fragments of *C. taxifolia* dispersed over 1882 ha, along 34.4 km of coastline. Due to a constant and regular effort to map all the French invaded areas since 1990, an abundant set of data has been collected, which allows now to produce a synthetic description of the invasion. It is clear from the results that the long distance dispersion (i. e. > 1 km) of *C. taxifolia* fragments is mainly due to anchors from the pleasure boats and from the fishermen's nets. *C. taxifolia* is a very ubiquitous, dominant and perennial species. This alga therefore threatens most benthic ecosystems of the Mediterranean littoral.

### RÉSUMÉ

L'algue d'origine tropicale *Caulerpa taxifolia*, introduite accidentellement à Monaco en 1984, a été disséminée rapidement sur les côtes françaises essentiellement entre Menton et le Brusuc (à l'ouest de Toulon). Fin 1997, 68 colonies indépendantes ont été inventoriées, elles concernent 1882 hectares devant 34,4 km de côtes. Grâce à un inventaire et un suivi régulier des colonies se développant en France depuis 1990, une synthèse des caractéristiques des biotopes atteints par l'algue est présentée. Il apparaît ainsi que la dissémination lointaine (>1km) est essentiellement causée par les systèmes d'ancrage des bateaux de plaisance et les filets de pêche. *Caulerpa taxifolia* est très ubiquiste, dominante et pérenne. L'algue représente ainsi une grande menace pour la plupart des écosystèmes benthiques littoraux.

#### 1. INTRODUCTION

*Caulerpa taxifolia* est une espèce introduite en Méditerranée par le rejet accidentel d'un aquarium (Meinesz et Hesse, 1991; Meinesz et Boudouresque, 1996). La souche introduite a des caractéristiques différentes de celles observées sur les populations naturelles (Meinesz *et al.*, 1994a; Caye *et al.*, 1996; Komatsu *et al.*, 1997). La première colonie a été observée en 1984 sous le Musée océanographique de Monaco (couvrant 1 m<sup>2</sup>) où l'algue était cultivée dans les aquariums. En août 1989, plus d'un hectare était entièrement couvert par *Caulerpa taxifolia* dans le même site (Meinesz et Hesse, 1991). L'algue a été observée la première fois en France en 1987 par un plongeur sur la face est du Cap Martin par 5 m de profondeur. Ce n'est qu'en juillet 1990 que d'autres plongeurs nous l'ont signalé au Cap Martin : plusieurs dizaines de colonies se développaient alors devant la pointe et devant la face est de ce cap (Meinesz et Hesse, 1991). Le Cap Martin est distant de 5 km du Rocher de Monaco. L'inventaire et l'expansion de toutes les colonies de *C. taxifolia* a été dressé chaque année en France depuis 1990 (Meinesz et Hesse, 1991;

Meinesz *et al.*, 1991, 1993a, 1993b, 1994b, 1995, 1997, 1998). Ces inventaires descriptifs nous permettent de présenter cette synthèse.

## 2. CARACTÉRISTIQUES DE L'EXPANSION

La définition des caractéristiques d'une colonie et la standardisation des termes descriptifs et méthodes d'évaluation des surfaces ou linéaires concernés par l'algue ont été proposés par un collectif de 20 chercheurs qui ont suivi le développement de l'algue dans leur pays respectifs dans le cadre des programmes de recherche Life DG XI (Vaugelas *et al.*, 1999).

D'après ce standard de référence, trois caractéristiques permettent de décrire l'expansion de l'algue : le nombre de colonies indépendantes, la surface concernée et le linéaire concerné.

### 2.1 Évolution du nombre de colonies

Pour ce qui concerne la France, le nombre de colonies indépendantes est passé successivement de 3 en 1990, 9 en 1991, 19 en 1992, 27 en 1994, 31 en 1995, 50 en 1996 et 68 en 1997.

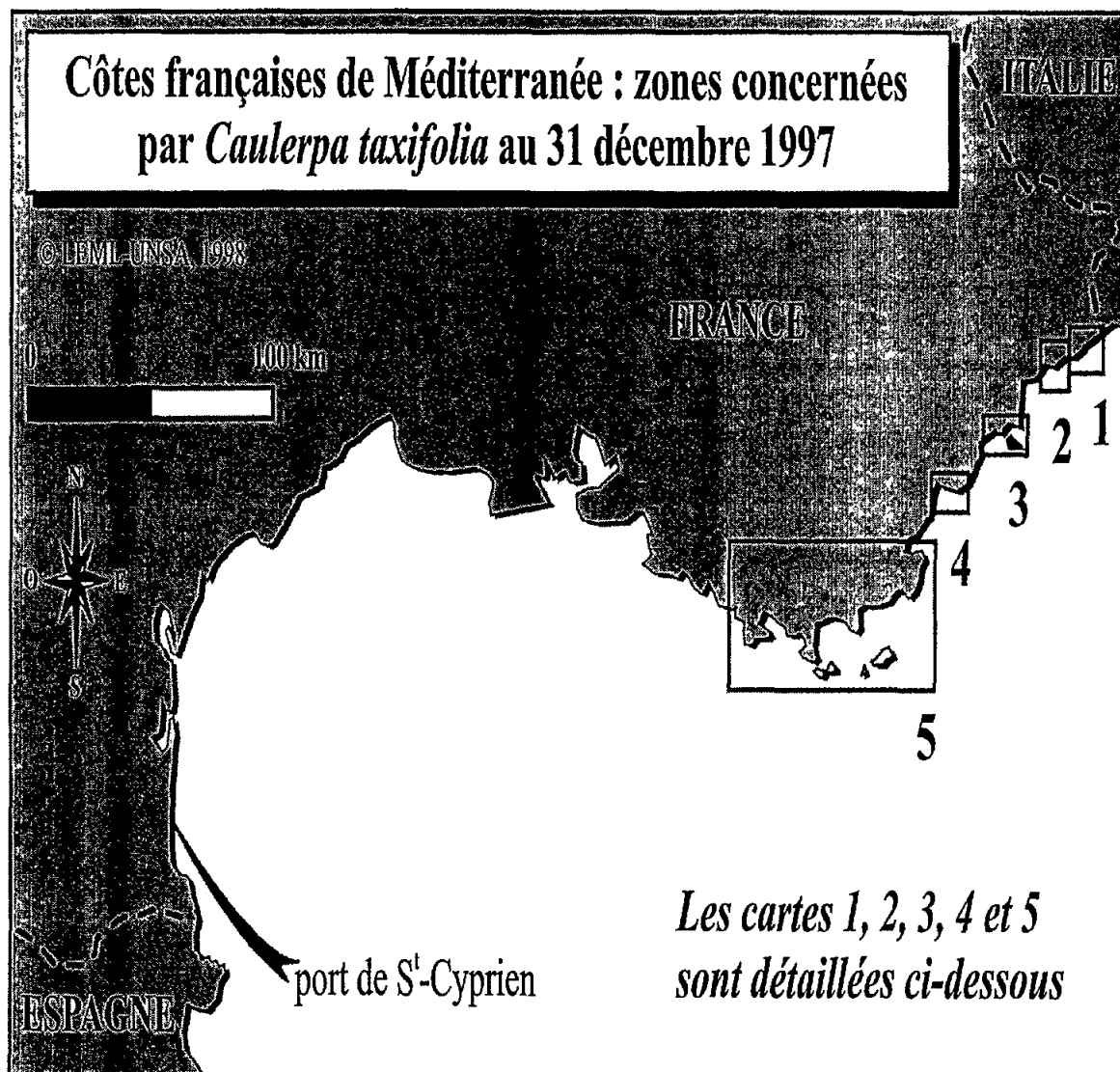
### 2.2 Évolution de la surface concernée

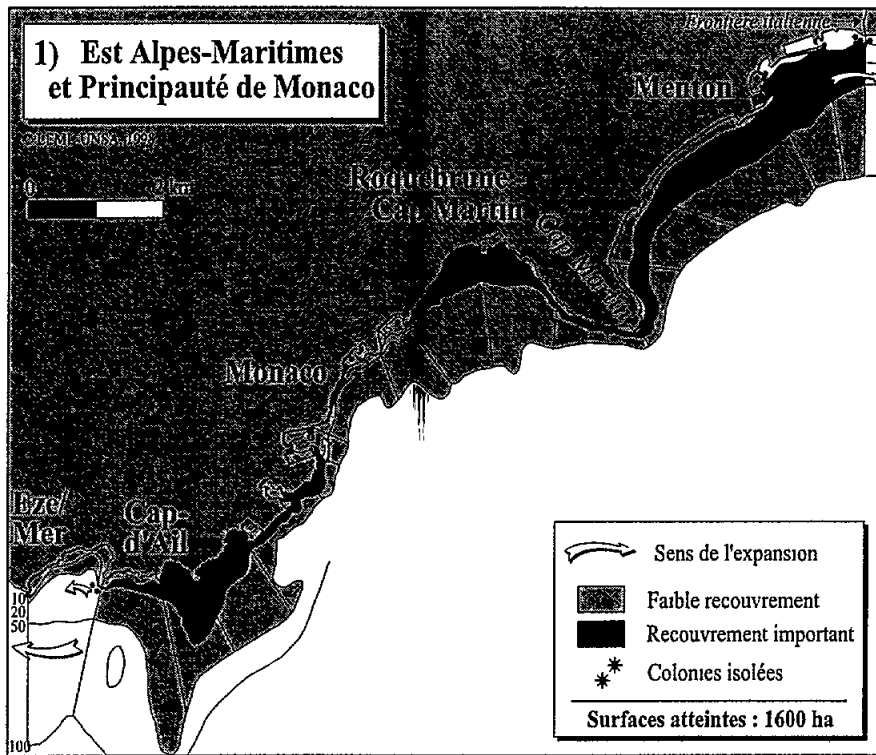
Pour la France et Monaco, la surface concernée a évolué de 3 ha en 1990, à 30 ha en 1991, 427 ha en 1992, 1382 ha en 1994, 1720 ha en 1996 et 1882 ha en 1997. L'apparente stabilisation de l'expansion de la surface concernée de 1994 à 1997 s'explique par le fait que les zones de dispersion des colonies situées entre la frontière italienne et le Cap Estel près Eze-sur-Mer (littoral incluant le Cap Martin et Monaco) se sont rejointes. De ce fait, nous avons été conduits à regrouper les zones colonisées pour la période 1990 à 1994, et à considérer l'ensemble des petits fonds de cette région comme concernés à partir de 1996. Les nouveaux espaces disponibles pour l'algue autour de cette vaste région sont maintenant limités aux petits fonds situés à l'ouest du Cap Estel. En effet la progression vers le large est impossible et la progression vers l'est n'est pas prise en compte pour cette analyse (zone italienne). Ainsi dès que toute la zone a été considérée comme concernée, le taux de progression global de cette surface s'est stabilisé. Comme c'est dans cette zone que se trouvent les colonies les plus anciennes et les plus étendues des côtes françaises, cette stabilisation se répercute sur les résultats globaux. Pour cette région, actuellement encore la plus touchée par l'invasion (Menton, Cap Martin, Monaco, Cap d'Ail, Cap Estel), nous avons évalué la surface concernée à 3 ha en 1990 (99,93 % des surfaces concernées étant alors situées en France et à Monaco), 30 ha en 1991 (99,96 %), 1362 ha en 1994 (98,54 %) et 1591 ha en 1997 (84,54 %).

### 2.3 Évolution du linéaire concerné

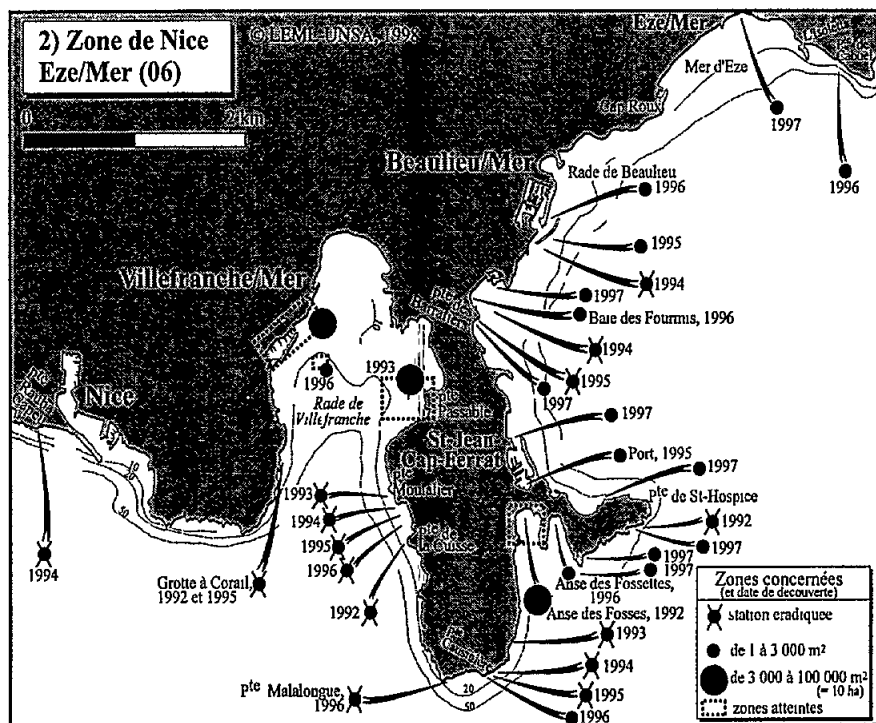
Pour la France et Monaco le linéaire concerné a évolué de 1 km en 1990, à 3,5 km en 1991, 8,4 km en 1992, 21,8 km en 1994, 25,5 km en 1996 et 34,4 km en 1997.

Quelque soit la caractéristique considérée, l'expansion de *Caulerpa taxifolia* devant les côtes françaises est rapide et régulière. La carte de la répartition des colonies (Fig. 1) doit être mise à jour chaque année.

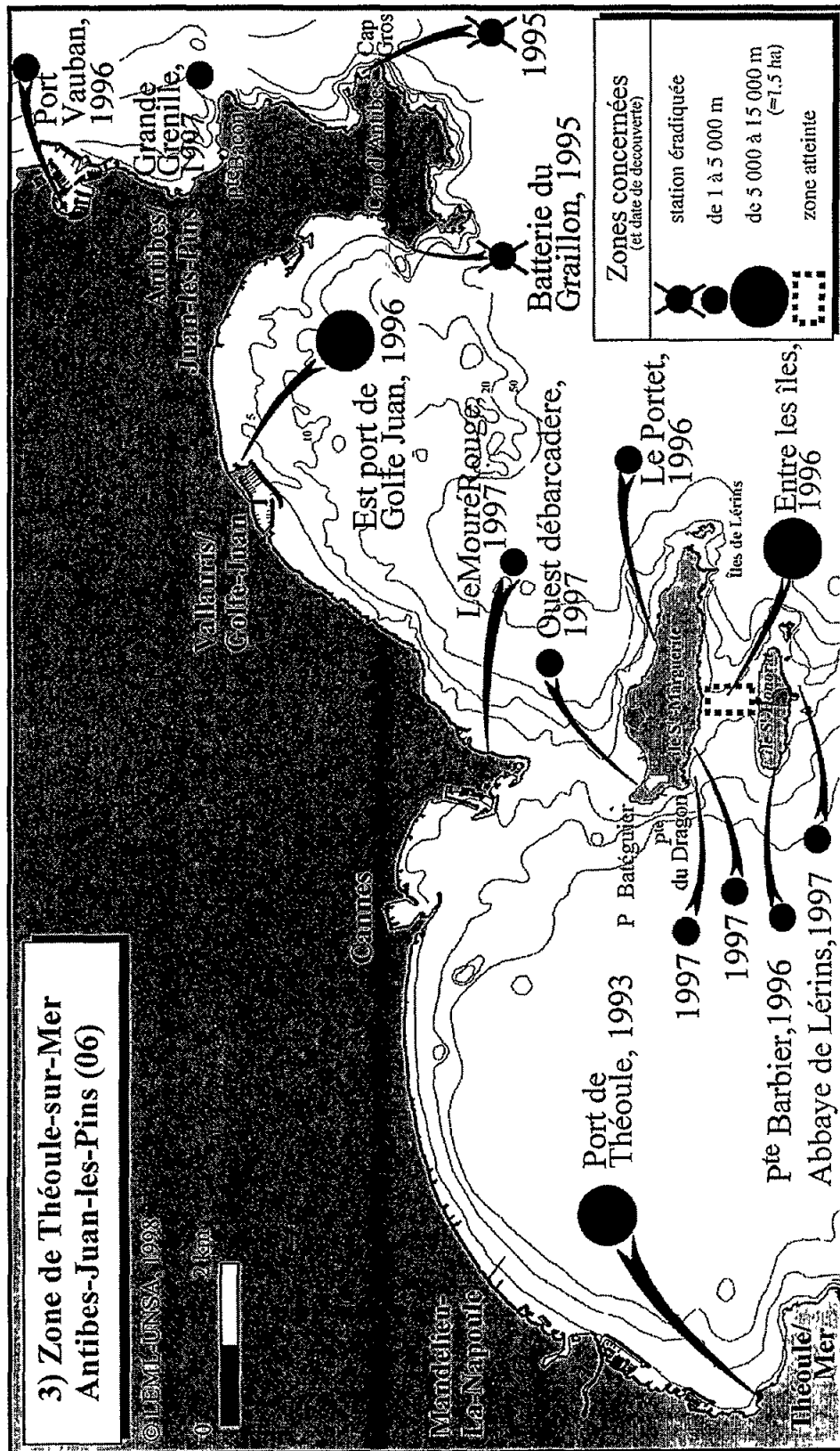


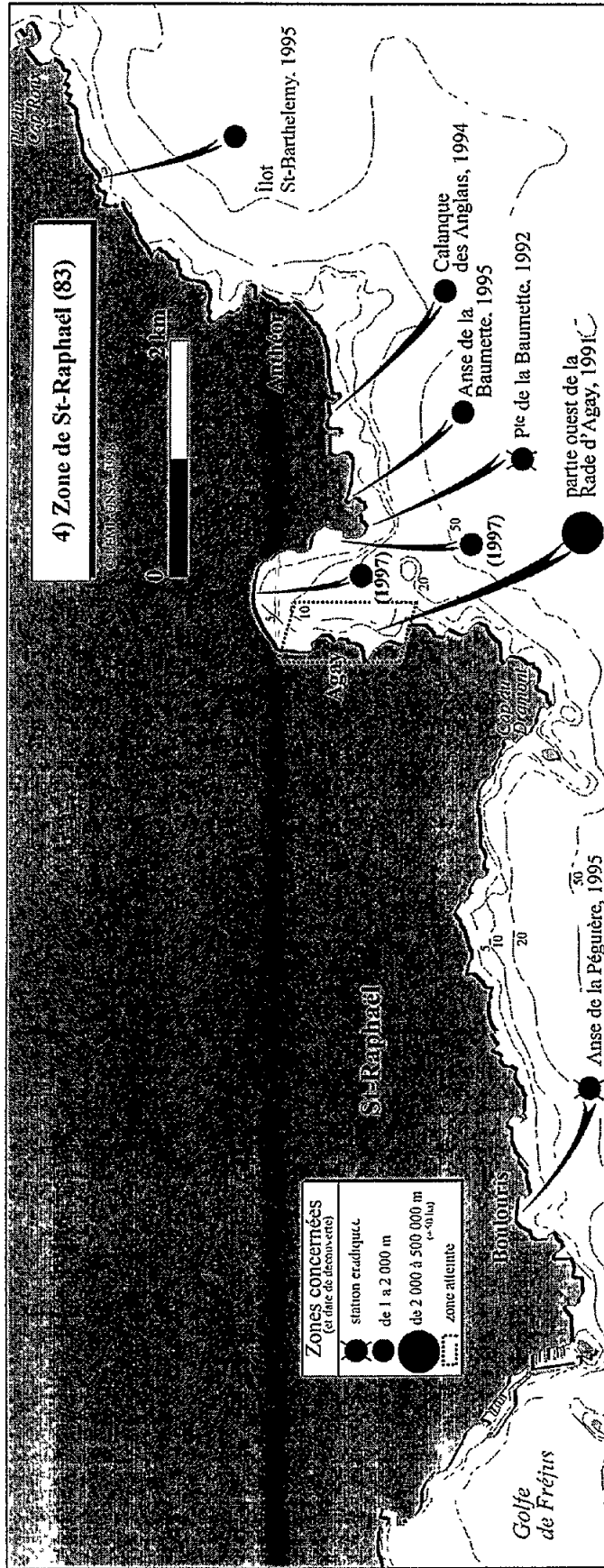


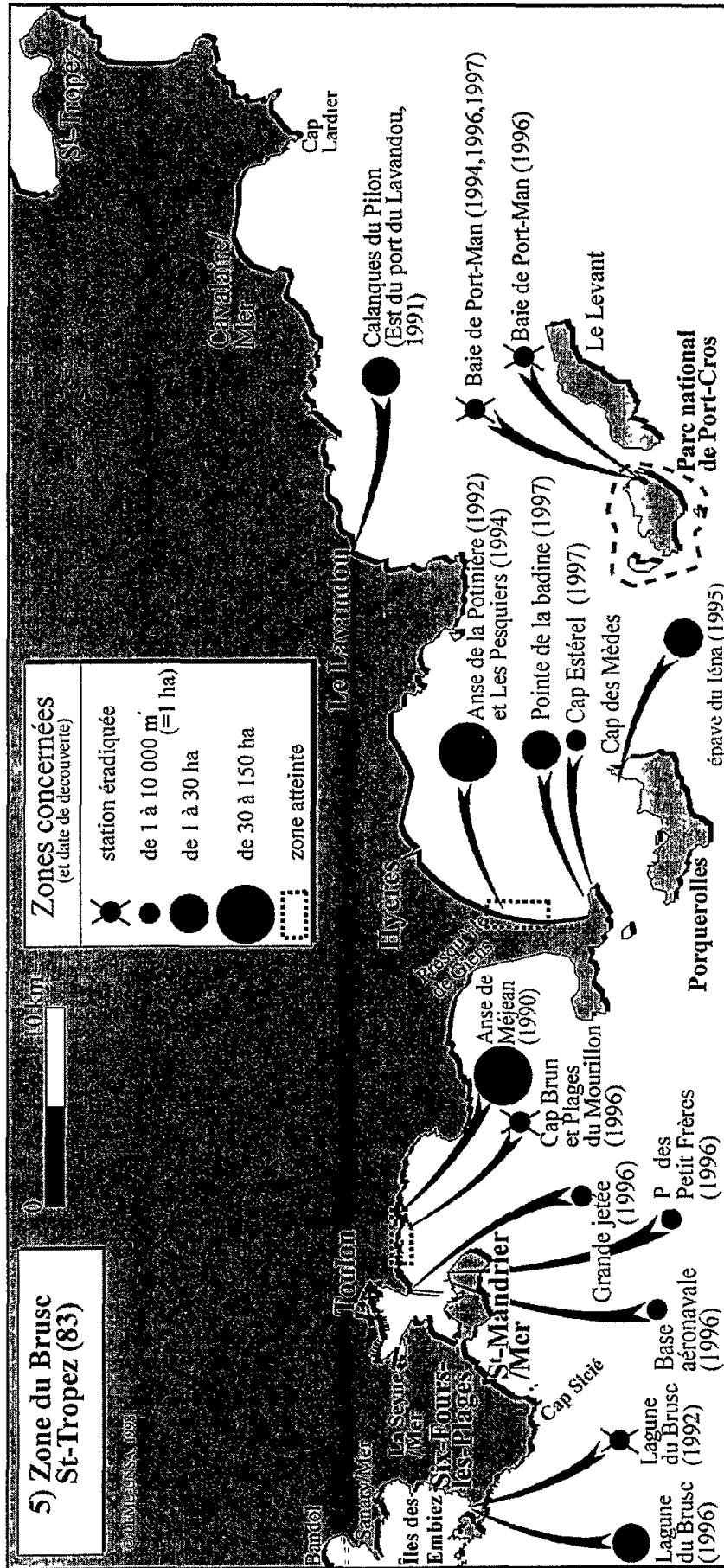
\* Les pourcentages de recouvrement correspondent une évaluation globale attribuée chacune des tranches bathymétriques des secteurs 1 - 17











### 3. CARACTÉRISTIQUES DES LOCALITÉS DE DÉPART DES COLONIES

En dehors de la zone française la plus touchée par l'invasion (entre Menton et Eze), les sites de départs de colonies découvertes depuis 1990 peuvent être classés ainsi :

- 18 colonies ont été trouvées dans une zone de mouillage répertoriée sur les cartes marines ou à moins de 200 m d'un port (mouillage de l'Espalmador à Saint-Jean-Cap-Ferrat, mouillage de la Garoupe au Cap d'Antibes, 9 stations autour des îles de Lérins à Cannes, Anse de Port-Man à Port-Cros, Duc d'Albe à Porquerolles, près du port du Lavandou, mouillage de la Potinière à Hyères, anse de Méjean à Toulon, station de Saint-Mandrier et Lagune-port du Brusç).
- 7 colonies ont été trouvées à l'intérieur ou dans la passe d'entrée d'un port de plaisance (Beaulieu-sur-Mer, Saint-Jean-Cap-Ferrat, La Darse de Villefranche-sur-Mer, Port Vauban à Antibes, ports de Théoule, Agay-Saint-Raphaël et Saint-Cyprien),
- 4 colonies ont été trouvées devant un plan incliné de mise à l'eau ou un ponton (Anse des Fosses à Saint-Jean-Cap-Ferrat, Plage des Fourmis à Saint-Jean-Cap-Ferrat, devant les plans inclinés du port-Camille Rayon à Vallauris-Golfe Juan et du Mouré Rouge à Cannes).

Dans chaque site les autres colonies sont toutes apparues postérieurement et à moins de 5 km des stations initiales.

Cette répartition des colonies initiales et la chronologie de la colonisation indiquent clairement que le mode de dissémination est essentiellement anthropique : il est essentiellement associé au cabotage des bateaux de plaisance et, dans certaines zones, à la pêche littorale. Ce facteur de dissémination a été identifié dès 1992 (Meinesz, 1992) et a été étudié par Sant *et al.* (1996), qui ont démontré que l'algue pouvait effectivement survivre à un long séjour (10 jours) dans un puit d'ancre ou au milieu de filets de pêche (lieux humide et obscur).

Dès 1992, les brochures de sensibilisation éditées par notre laboratoire invitaient les plaisanciers à nettoyer leurs ancres au départ d'un mouillage. La progression aléatoire et par sauts de l'algue dans les sites de mouillage et les ports sur les côtes françaises de la Méditerranée est différente de celle qui est observée devant les côtes de Ligurie où ce sont surtout les zones portuaires occupées par les pêcheurs professionnels qui sont les premières atteintes. A partir des zones portuaires ou de mouillage (sites les plus fréquents des colonisations initiales), l'algue s'étend aux alentours tendant à atteindre une large amplitude bathymétrique et différentes configurations de côtes et de substrats.

L'algue n'a jamais été observée flottant en surface (pas de radeaux d'algues avec *C. taxifolia*). Sa flottabilité est négative et l'algue se nécrose rapidement si elle est exposée à la lumière du soleil hors de l'eau. La dissémination naturelle s'effectue au gré des courants littoraux sur une faible distance. Une modélisation de l'expansion, calée sur un suivi de stations témoins, donne un rayon de dissémination inférieur au kilomètre (Hill *et al.*, 1996 et 1998).

### 4. RÉPARTITION BATHYMETRIQUE

La répartition bathymétrique des zones colonisées parfois à plus de 90 % s'étend de 0,5 m (plage des Sablettes à Menton) à 33 m (Cap Martin). Des thalles vivants ont été observés entre 50 et 100 m de profondeur (Fredj *et al.*, 1993; Belsher et Meinesz, 1995). Le départ des 68 colonies inventoriées en France a, au contraire, toujours été constaté entre 0

et 10 m de profondeur (à l'exception de la colonie qui s'est développée dans le mouillage de Port-Man sur l'île de Port-Cros), zone de mouillage très appréciée des plaisanciers.

## 5. EXPOSITION À L'HYDRODYNAMISME

Les colonies denses peuvent se rencontrer devant les caps très exposés à l'hydrodynamisme (Cap Ferrat, Cap Martin) comme dans les fonds de baies calmes (anse Passable à Saint-Jean-Cap-Ferrat, plage des Sablettes à Menton).

## 6. TYPES DE SUBSTRATS COLONISÉS

### 6.1 Zones polluées ou non

*C. taxifolia* se développe sur la vase portuaire (dans 10 ports en France fin 1997) comme sur des substrats de zones très éloignées des sources de pollutions anthropiques (île de Port-Cros, îles de Lérins).

### 6.2 Substrats solides

L'algue se développe très bien sur roche pour constituer des colonies très denses, y compris sur les tombants verticaux profonds (Cap Martin). Les roches calcaires (Alpes-Maritimes) comme les schistes (Massif des Maures au Lavandou, Massif de l'Estérel à Agay) peuvent être couvertes. Des développements sur des cordages et sur du polystyrène de bateaux en épave témoignent des grandes potentialités de fixation de cette algue.

### 6.3 Substrats sableux

Des zones de sable fin, non soumises à un hydrodynamisme trop important, peuvent être entièrement couvertes (plage du Larvotto à Monaco, plage des Sablettes à Menton).

### 6.4 Matte morte de *Posidonia oceanica*

La matte morte est un substrat favorable à la constitution de colonies très denses. Dans la rade de Villefranche-sur-Mer des mattes mortes d'herbier résultant de la destruction de l'herbier consécutive à l'explosion de bombes lors de la dernière guerre mondiale, ont rapidement été colonisées par *C. taxifolia*. Les tombants de matte et les petites parcelles de mattes mortes sont souvent les premiers sites de colonisation d'une zone.

### 6.5 Herbier de *Posidonia oceanica*

L'herbier de *P. oceanica* est pénétré partout où l'algue est en contact avec l'herbier depuis plus d'une année. Dans l'anse Passable et dans la baie de Saint-Hospice (Saint-Jean-Cap-Ferrat) l'herbier de *P. oceanica* a été le substrat d'origine d'une large colonisation. Dans certaines régions où l'algue est en contact depuis 7 années avec *P. oceanica* on constate encore une juxtaposition d'herbiers très envahis avec des herbiers peu ou pas envahis. Des herbiers de *P. oceanica* très envahis se rencontrent dans toutes les régions concernées par l'invasion. A l'automne, des biomasses de *C. taxifolia* 16 fois supérieures à celle des feuilles d'un herbier dense de *P. oceanica* (> 700 faisceaux /m<sup>2</sup>) ont été mesurées (U. Meyer, comm. pers.). Les conséquences de ce colmatage saisonnier qui bouleverse la structure de l'herbier doivent être évaluées et suivies à moyen et long terme.

#### 6.6 Prairie des petites phanérogames marines *Cymodocea nodosa* et *Zostera noltii*

Les prairies de *Cymodocea nodosa* peuvent être entièrement colonisées par *C. taxifolia* (devant les plages de Menton et la baie des Fosses à Saint-Jean-Cap-Ferrat) de même que les prairies de *Zostera noltii* (plage des Sablettes à Menton).

#### 6.7 Pelouses à *Caulerpa prolifera*

Les prairies monospécifiques de l'espèce méditerranéenne *Caulerpa prolifera* commencent à être envahies par *C. taxifolia* qui l'élimine très rapidement (devant le port Camille Rayon à Vallauris-Golfe Juan).

La diversité des biotopes atteints démontre clairement les propriétés ubiquistes de l'algue qui est ainsi susceptible d'entrer en compétition avec la majeure partie des espèces végétales benthiques de la Méditerranée et de bouleverser ainsi équilibres trophiques et écosystèmes littoraux.

### 7. DOMINANCE DE *CAULERPA TAXIFOLIA*

Dans les biotopes colonisés depuis plusieurs années la densité de l'algue se stabilise lorsque le nombre de frondes primaires avoisine les 5000 m<sup>-2</sup> et la longueur des stolons 200 m.m<sup>-2</sup>, ce qui définit une prairie dense et monospécifique (Meinesz *et al.*, 1995). A la fin de l'automne, les frondes mesurent souvent entre 30 cm et 80 cm de hauteur, dépassant ainsi la taille de la plupart des espèces benthiques fixées.

Cette végétation dense, pérenne et dominante, est nuisible pour le développement de la plupart des algues méditerranéennes et pour de nombreux groupes fonctionnels de la faune benthique (filtreurs, herbivores et omnivores). Cette nouvelle végétation favorise les espèces détritivores accompagnant l'augmentation des sédiments fins piégés par les stolons et les rhizoïdes.

### 8. CONCLUSION

L'évolution de la colonisation des côtes françaises montre clairement que l'espèce introduite est envahissante. Les caractéristiques des biotopes atteints montre que l'algue est ubiquiste. Les caractéristiques des populations anciennes de *C. taxifolia* montrent qu'elles dominent les autres espèces par la densité de la végétation établie et par la taille des frondes. *Caulerpa taxifolia* représente ainsi une très grande menace pour la plus grande partie des écosystèmes littoraux benthiques des côtes françaises de la Méditerranée.

### 9. BIBLIOGRAPHIE

Belsher, T. and A. Meinesz (1995), Deep-water dispersal of the alga *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean. *Aquat.Bot.*, 51:163-169

Caye, G., P. Chambet, L. Delahaye, A. Meinesz, D Pietkiewicz et K. Rider (1996), Différences entre *Caulerpa taxifolia* de Méditerranée et *C. taxifolia* des mers tropicales. In : Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.-F. Boudouresque, A. Gomez and V. Gravez, Univ. Barcelona Publ., pp.171-176

- Fredj, G., S. Di Geronimo et G. Gay (1993), Inventaire et cartographie des biocénoses benthiques de la Principauté de Monaco. Campagne en mer du 19 au 29 septembre 1992. Rapport du Département des Travaux publics et des Affaires sociales, Service de l'Environnement, Principauté de Monaco : 86 p.
- Hill, D., P. Coquillard, J. de Vaugelas et A. Meinesz (1996), Simulation sur ordinateur de l'expansion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. Resultats préliminaires. *In* : Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.-F. Boudouresque, A. Gomez and V. Gravez, Univ. Barcelona Publ., pp.119-127
- Hill, D., P. Coquillard, J. de Vaugelas and A. Meinesz, (1998), An algorithmic model for invasive species: application to *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh development in the north-western Mediterranean sea. *Ecological Modeling*, 109:251-265
- Komatsu, T., A. Meinesz and D. Buckles (1997), Temperature and light responses of alga *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean Sea. *Mar.Ecol.Prog.Ser.*, 146:145-153
- Meinesz, A., (1992), Modes de dissémination de l'algue *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. *Comm Int.Exp.Sc.Med., Rapp.Comm.int.Mer Medit.*, 33:44
- Meinesz, A. et B. Hesse (1991), Introduction et invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée nord-occidentale. *Oceanol.Acta*, 14(4):415-426
- Meinesz, A. et C.-F. Boudouresque (1996), Sur l'origine de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Vie*, 319:603-613
- Meinesz, A., B. Hesse et X. Mari (1991), Situation des zones atteintes par l'algue *Caulerpa taxifolia* sur la Côte d'Azur. Rapport du Laboratoire Environnement Marin Littoral, Université de Nice-Sophia Antipolis et Groupement d'Intérêt Scientifique Posidonie, 22 p.
- Meinesz, A., J. de Vaugelas, B. Hesse and X. Mari (1993a), Spreading of the introduced tropical green alga *Caulerpa taxifolia* in northern Mediterranean waters. *J.Applied Phycol.*, 5:141-147
- Meinesz, A., J. de Vaugelas, L. Benichou, G. Caye, J.-M. Cottalorda, L. Delahaye, M. Febvre, S. Garin, T. Komatsu, R. Lemée, X. Mari, H. Molenaar, L. Perney et A. Venturini (1993b), Suivi de l'invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée : Situation au 31 décembre 1992. Rapport du Laboratoire Environnement Marin Littoral, Université de Nice-Sophia Antipolis et Groupement d'Intérêt Scientifique Posidonie, 80 p.
- Meinesz, A., J. de Vaugelas, J.-M. Cottalorda, L. Benichou, J. Blachier, G. Caye, P. Chambet, L. Delahaye, M. Febvre, S. Garin, T. Komatsu, R. Lemée, X. Mari, H. Molenaar, L. Perney et D. Pietkiewicz (1994a), Suivi de l'invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée : situation au 31 décembre 1993. Rapport du Laboratoire Environnement Marin Littoral, Université de Nice-Sophia Antipolis et Groupement d'Intérêt Scientifique Posidonie, 100 p.
- Meinesz, A., D. Pietkiewicz, T. Komatsu, G. Caye, J. Blachier, R. Lemée et A. Renoux-Meunier, (1994 b), Notes taxinomiques préliminaires sur *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa mexicana*. *In* : First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.-F. Boudouresque, A. Meinesz et V. Gravez, GIS Posidonie Publ., Marseille, pp.105-114

- Meinesz, A., J. de Vaugelas, J.-M. Cottalorda, G. Caye, S. Charrier, T. Commeau, L. Delahaye, M. Febvre, F. Jaffrenou, R. Lemée, H. Molenaar et D. Pietkiewicz (1995a), Suivi de l'invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée : situation au 1<sup>er</sup> décembre 1994. Rapport du Laboratoire Environnement Marin Littoral, Université de Nice-Sophia, 121 p.
- Meinesz, A., L. Benichou, J. Blachier, T. Komatsu, R. Lemée, H. Molenaar et X. Mari (1995b), Variations in the structure, morphology and biomass of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean Sea. *Bot.Mar.*, 38:499-508
- Meinesz, A., J.-M. Cottalorda, D. Chiavérini, M. Braun, N. Carvalho, M. Febvre, S. Ierardi, L. Mangialajo, G. Passeron-Seitre, T. Thibaut et J. de Vaugelas (1997), Suivi de l'invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* devant les côtes françaises de la Méditerranée : situation au 31 décembre 1996. Rapport du Laboratoire Environnement Marin Littoral, Université de Nice-Sophia Antipolis, 160 p.
- Meinesz, A., J.-M. Cottalorda, D. Chiavérini, J. de Vaugelas, T. Belsher, L. Burtaire, N. Carvalho, N. Cassar, S. Ginesy, C. Michault et T. Thibaut (1998), Suivi de l'invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* devant les côtes françaises et monégasques de la Méditerranée : situation au 31 décembre 1997. Edited by A. Meinesz, J.-M. Cottalorda, D. Chiavérini, N. Cassar and J. de Vaugelas, Labo. Environnement Marin Littoral, Univ. Nice-Sophia Antipolis, 178 p.
- Sant, N., O. Delgado, C. Rodriguez-Pietro and E. Ballesteros (1996), The spreading of the introduced seaweed *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh in the Mediterranean sea : testing the boat transportation hypothesis. *Bot.Mar.*, 39:427-430
- Vaugelas, J. de, A. Meinesz, B. Antolic, E. Ballesteros, T. Belsher, N. Cassar, G. Ceccherelli, F. Cinelli, J.-M. Cottalorda, C. Frada'Orestano, A. M. Grau, A. Jaklin, C. Morucci, M. Relini, R. Sandulli, A. Span, G. Tripaldi, P. Van Klaveren, N. Zavodnik and A. Zuljevic (1999), Standardization of map representation for the expansion of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean sea. *Oceanol.Acta*, in press.



## ECOLOGICAL AND POSSIBLE ECONOMICAL CONSEQUENCES OF THE SPREAD OF *CAULERPA TAXIFOLIA* IN THE MEDITERRANEAN

by

Conxi RODRÍGUEZ-PRIETO

Universitat de Girona, Campus de Montilivi, s/n. 17071 Girona, Spain

### ABSTRACT

The strain of *Caulerpa taxifolia* which is invading the Mediterranean exhibits several life characteristics as well as biological and ecological features which can account for its competitive success over native species and communities. The number of primary leaves is lowest in September and can reach up to 14000 m<sup>-2</sup> in April and July. These primary leaves are short in spring and long (up to 40 cm in low light conditions) in autumn. Secondary leaf apices can be as high as 85 cm above the rhizomes (= stolons). Despite the luxuriant aspect of *C. taxifolia* meadows, the plant biomass in these meadows is rather low, usually not exceeding 500 g dw m<sup>-2</sup>. The plant seems to present only a vegetative mode of reproduction (cuttings): only male gametes have been reported.

Three-dimensional space occupancy is very efficient. In late spring and early summer, newly rapidly growing rhizomes are projected above the substrate without clinging to it; as a result, in newly colonized areas, native algae become covered by a *Caulerpa* canopy which forms a light intercepting screen. The trapping of fine sediment by the dense leaf cover and the subsequent deposit of silt eliminates the encrusting stratum. The plant can grow at very low irradiances, which allows it to colonize large ranges (down to 100 m) of depths and biotas, and to remain competitive in the understratum of large native plants. The plant is able to exploit nutrient resources both from the water column and the substrate; as a result, it does not show severe nutrient limitation in summer, unlike most Mediterranean seaweeds. This feature allows the proliferation of *C. taxifolia* in oligotrophic as well as in eutrophic waters. The plant is resistant to temperatures as low as 7 °C. It is avoided by most Mediterranean macro-herbivores, at least during the growth period, due to the production of toxic and/or repellent metabolites, and in areas colonized by *C. taxifolia*, the macro-herbivores shift to remaining patches of native species, which are subsequently overgrazed.

All these features can account for the spread of *C. taxifolia* and for its competitive success over a large range of native species and communities: hard bottoms and (under calm conditions) soft bottoms, shallow and deep water communities, in polluted and non polluted waters. A decrease of species diversity, density and/or biomass was observed for some taxa (e.g. large macroalgae, Amphipods, Ciliates, Digenean parasites, Polychaets, sea-urchins, fishes); nevertheless, Mollusca and the very small fauna (meiofauna) do not seem to present conspicuous quantitative changes. The replacement of numerous native communities by a uniform *C. taxifolia* meadow strongly impoverishes eco-diversity and makes uniform the sea-bed landscape. Tentative predictions of long-term ecological consequences of the invasion are presented. Finally, from the social and economic points of view, possible harmful effects can be expected from these changes. Increasing uniformity of the submarine landscape implies a loss of attraction value for certain kinds of tourism (e.g. scuba diving). Reduction of fish stock (if it proves true at a large scale) would lead to problems for small-scale fishing concerns.

## 1. INTRODUCTION

The spreading of a strain of the tropical green alga *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh in the Mediterranean (Meinesz and Hesse, 1991; Meinesz *et al.*, 1993) has awoken great interest and preoccupation in wide sectors of society (scientists, fishermen, politicians,...), who worry about the ecological and economical consequences of this invasion. Homogenous populations of *C. taxifolia* are replacing highly patchy and diverse shallow Mediterranean communities (Meinesz and Hesse, 1991; Boudouresque *et al.*, 1992; Verlaque and Fritayre, 1994; Villele and Verlaque, 1995; Boudouresque *et al.*, 1995) and the probable consequence of this spread seems to be a very large and massive occupation of infralittoral (an even circalittoral) Mediterranean sea bottoms. The invasive force of *C. taxifolia* has been related with some of its biological and ecological features, including, large autoecological capacities (Meinesz and Hesse, 1991; Belsher and Meinesz, 1995; Delgado *et al.*, 1996; Gacia *et al.*, 1996; Komatsu *et al.*, 1997), pseudo-perennial character (Meinesz *et al.*, 1995), rapid growth and expansion rates (Meinesz *et al.*, 1993; Komatsu *et al.*, 1994; Meinesz *et al.*, 1995; Meinesz and Boudouresque, 1996; Meinesz *et al.*, 1997), effective dispersion (Meinesz, 1992; Meinesz and Boudouresque, 1996), and an aggressive behaviour in biotic interactions, both in competition with algae and marine angiosperms and in defence against possible predators by production of secondary metabolites (Guerriero *et al.*, 1993; Lemée *et al.*, 1993; Boudouresque *et al.*, 1996). The previous tentative analysis of the invasion of *C. taxifolia* indicates negative consequences for the Mediterranean ecosystems and a possible impact on environmental quality and human activities (Meinesz and Hesse, 1991; Verlaque and Fritayre, 1994; Boudouresque *et al.*, 1995; Francour *et al.*, 1995; Villele and Verlaque, 1995; Romero, 1997). In this paper, based on an extensive review of the literature dealing with *Caulerpa taxifolia*, we will try to (a) summarize the actual information about the bases of its invasive force, (b) determine, as far as possible, the consequences of the invasion for the different communities of the Mediterranean littoral (restricted to the areas between 0-20 m, due to the almost total lack of information on deeper benthic communities), and (c), give a hypothesis of the possible consequences at higher levels, including environmental quality and human welfare.

## 2. BIOLOGICAL AND ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE MEDITERRANEAN STRAIN OF *CAULERPA TAXIFOLIA*: BASES OF ITS INVASIVE FORCE

The strain of *Caulerpa taxifolia* who colonizes the Mediterranean develops usually in the sublittoral, between (0-) 2 m and 20 (-30) m depth, but it can also live at the circalittoral level, where isolated individuals have been observed attached to the sea bottom down to depths of 80 m at Monaco and 100 m in Cap d'Ail (Alpes-Maritimes, France) (Boudouresque *et al.*, 1992; Belsher *et al.*, 1994; Belsher and Meinesz, 1995). In shallow waters, the populations can be extremely massive and dense, with some 5100 leaves m<sup>2</sup> in September, and up to 13000-14000 m<sup>2</sup> in April and July (Meinesz and Hesse, 1991; Meinesz *et al.*, 1995), and with an inextricable network of rhizomes (= stolons) at the base (usually 220 m rhizomes m<sup>2</sup>; occasionally, more than 300 m rhizomes m<sup>2</sup>) (Meinesz *et al.*, 1995). The primary leaves, usually branched, have a length highly variable, depending on the season, irradiance and depth, being greater in autumn, at low irradiances and in deep waters (up to 40 cm high). The secondary leaves can be, at this time, as high as 85 cm above the stolon (Meinesz *et al.*, 1995; Villele and Verlaque, 1995; Komatsu *et al.*, 1997). Despite the luxuriant aspect of *C. taxifolia* meadows, the plant biomass is rather low, due to the high water content, usually not exceeding 500 g dw m<sup>2</sup>. The highest biomass was found in June and July (nearly 700 g dw m<sup>2</sup>) (Fig. 1) (Meinesz *et al.*, 1995).

Mediterranean *C. taxifolia* meadows have a wide ecological range, developing on all kinds of substrates (rock, sand, mud and dead or living rhizomes of the seagrass *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, biotopes (sheltered and exposed; sciaphilic and photophilic; polluted and unpolluted), and depths (from (0)1 to 30 (50) m) (Meinesz and Hesse, 1991; Belsher *et al.*, 1994). Here we present a compilation of the most relevant findings and conclusions related to the large ecological capacities of *C. taxifolia*.

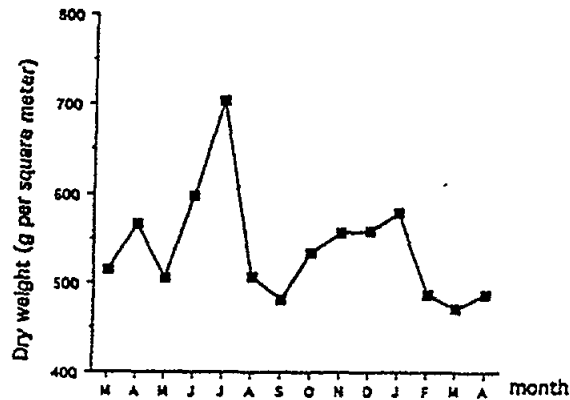


Fig. 1 Monthly variation in *Caulerpa taxifolia* biomass from March 1992 to April 1993 (Cap Martin, France, at 9 m). (From Meinesz *et al.*, 1995)

## 2.1 Light requirements

*Caulerpa taxifolia* displays a strong seasonality both in light-saturated photosynthetic ranges and in saturation irradiances ( $P_{max}$ ,  $I_c$ , Table 1), which are lower in April and increase progressively to a maximum in November, except for a drop in September (Gacia *et al.*, 1996). This seasonal behaviour does not correlate with the environmental parameters that most strongly affect productivity in Mediterranean seaweeds; i.e. light availability, water temperature and nutrient availability (Ballesteros, 1989): most of these species display their lowest biomass and productivity during autumn (Ott, 1980; Bay, 1984; Ballesteros, 1989; Ballesteros, 1992). Since *C. taxifolia* is pseudo-perennial, it is suggested that high photosynthetic capacity during the autumn, together with large thalli dimensions (Villele and Verlaque, 1995), provides a competitive advantage for *C. taxifolia* over other species, occupying the space and preventing the settlement and early growth of autochthonous macroalgae. At the same time, the competitive advantage of *C. taxifolia* can not be related to its  $P_{max}$  values, because these are similar to those of other common Mediterranean species (Table 2) (Gacia *et al.*, 1996; Sant *et al.*, 1996a).

The low values of saturation and compensation irradiances ( $I_k$  and  $I_c$ , Table 1) and the high efficiency at low incoming irradiances ( $\alpha$ , Table 1) suggest that *C. taxifolia* behave as a shade-adapted plant *sensu* Lüning (1981). However, it also shows low or not photoinhibition under high photon flux densities which is a trait of sun-adapted plants. Thus, *C. taxifolia* is able to colonize substrates from the upper part of the infralittoral down to the circalittoral zone. In fact, the theoretical colonization depths for *C. taxifolia* in the Mediterranean estimated from compensation irradiances ( $I_c$ , Table 1) and light extinction coefficients obtained from Ballesteros (1992), may reach down to 50 m depth in the NW Mediterranean and to 80 m depth in the oligotrophic waters of the centre of the Mediterranean (Gacia *et al.*, 1996; Komatsu *et al.*, 1997). This could help to explain why *C. taxifolia* is able to grow at depths ranging from 50 to 100 m (Belsher and Meinesz, 1995).

Table 1

Seasonal values of various parameters derived from the photosynthesis *versus* photon flux density response curves from April 1993 to April 1994. Asterisks indicate significant differences for  $P_{max}$  and respiration (ANOVA,  $P < 0.005$ ) and for slope (ANCOVA,  $P < 0.005$ ). (From Gacia *et al.*, 1996)

Sampling date	Photosynthetic parameters				
	$P_{max}$ (mg O <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> ODW)	Slope (mg O <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> ODW/ μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	$I_c$ (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	$I_k$ (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Resp. (mg O <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> ODW)
April 1993	3.16±0.11	0.079±0.011	11.5	87	0.60±0.45
July 1993	11.19±1.33*	0.147±0.009*	7.9	166	1.32±0.31*
September 1993	4.44±0.53	0.103±0.016	7.6	68	0.77±0.47
November 1993	17.98±3.37*	0.197±0.023*	1.8	151	0.37±0.47
January 1994	5.74±1.19	0.033±0.015	7.8	100	0.70±0.49
April 1994	3.99±1.27	0.030±0.023	4.0	70	0.34±0.25
September 1994	7.39±1.96	0.101±0.008	6.6	30	0.71±0.03

Table 2

Photosynthesis values of some sublittoral Mediterranean algae and seagrasses. All data were obtained from incubations and oxygen or <sup>14</sup>C production measurements. (From Gacia *et al.*, 1996)

Species	$P_{max}$ (mg Cg <sup>-1</sup> ODW h <sup>-1</sup> )	Period	Reference
<i>Posidonia oceanica</i>	1	Annual	Libes, 1986
Epiphytes of <i>P. oceanica</i>	1.7	Annual	Libes, 1986
<i>Cystoseira mediterranea</i>	12.3	February	Delgado <i>et al.</i> , 1995
<i>Cystoseira zosteroides</i>	6	July	Delgado <i>et al.</i> , 1995
<i>Caulerpa prolifera</i>	3.2	October	Sant <i>et al.</i> , 1994
<i>Caulerpa prolifera</i>	1.6-7.6	Annual	Terrados and Ros, 1991
<i>Corallina elongata</i>	3.9	October	N. Sant, personal communication
<i>Halopteris scoparia</i>	5.8	October	N. Sant, personal communication
<i>Codium vermilara</i>	1.7	October	N. Sant, personal communication
<i>Halimeda tuna</i>	6.4	October	N. Sant, personal communication
<i>Cymodocea nodosa</i>	1.2-2.8	Annual	Pérez and Romero, 1992
<i>Caulerpa taxifolia</i>	1.2-6.8	Annual	This study

## 2.2 Temperature requirements

*Caulerpa taxifolia* is resistant to temperatures as low as 7 °C, but does not grow until temperature reaches 15 °C, when the length of stolons begins to increase. The growth of *C. taxifolia* is maintained between 15 and 31.5 °C and it is able to survive between 10 and 15 °C for 3 months (Fig. 2) (Komatsu *et al.*, 1997). Since temperatures in Mediterranean waters never reach temperatures higher than 30 °C (Ballesteros and Zabala, 1993), there is no upper limiting temperature for photosynthesis in the field, but temperature may be limiting productivity in winter,

when the surface water is below 15 °C (Ballesteros, 1989; Ballesteros and Zabala, 1993; Ballesteros, 1997).

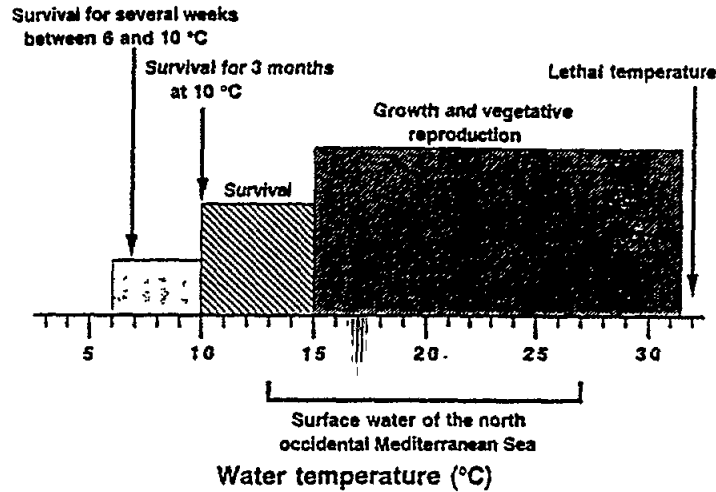


Fig. 2 Temperature responses of the Mediterranean strain of *Caulerpa taxifolia*. (From Komatsu *et al.*, 1997).

### 2.3 Nutrient requirements

Productivity of *Caulerpa taxifolia* was not enhanced by nutrient enrichment pulses except for plants collected in April 1993 (but not in April 1994) (N and P), and September (only N) (Fig. 3) (Delgado *et al.*, 1996). Nutrient content (N, P) in tissues of *C. taxifolia* collected at 9 m depth off Cap Martin (France) varied seasonally but were usually above the critical levels for growth reported for aquatic plants (Fig. 4) (Gerloff and Krombholz, 1966; Hanisak, 1979; Fujita *et al.*, 1989; Delgado *et al.*, 1996)

These results indicate that *C. taxifolia* lacks severe nutrient limitation in any season of the year, including in summer (Delgado *et al.*, 1996), when production of most Mediterranean seaweeds is very reduced by inorganic nutrient depletion in the water column (Ballesteros, 1989). *C. taxifolia* fulfills its nutrients requirements (inorganic phosphorous and organic nitrogen) from the sediment (Chisholm *et al.*, 1996), and this explains why *C. taxifolia* is not severely limited by nutrients, and why its tissue nutrient content do not correlate with the dissolved nutrients concentration in the environment (Delgado *et al.*, 1996; Chisholm *et al.*, 1996). In addition, the siphonaceous nature of *C. taxifolia* allows an efficient translocation of nutrient to the fronds, and vice versa, enhancing the growth abilities of the alga.

### 2.4 Pseudo-perennial character

The vegetative cycle of the Mediterranean *C. taxifolia* is intermediate between the annual and perennial type of biological development. Although the stolon's apical growth is indefinite, no single part of *C. taxifolia* persists physically for more than one year (Meinesz *et al.*, 1995). This type of development, intermediate between annual and perennial, has been named pseudo-perennial (Meinesz, 1979). As a consequence of the pseudo-perennial type of biological development, the demographic structure of the meadow does not change from one year to the next (Meinesz *et al.*, 1997). This fact, coupled with the large coverage of *C. taxifolia* meadows (Meinesz *et al.*, 1995), allows *C. taxifolia* to be very competitive in occupying the space, and to prevent the development of the autochthonous macroalgae.

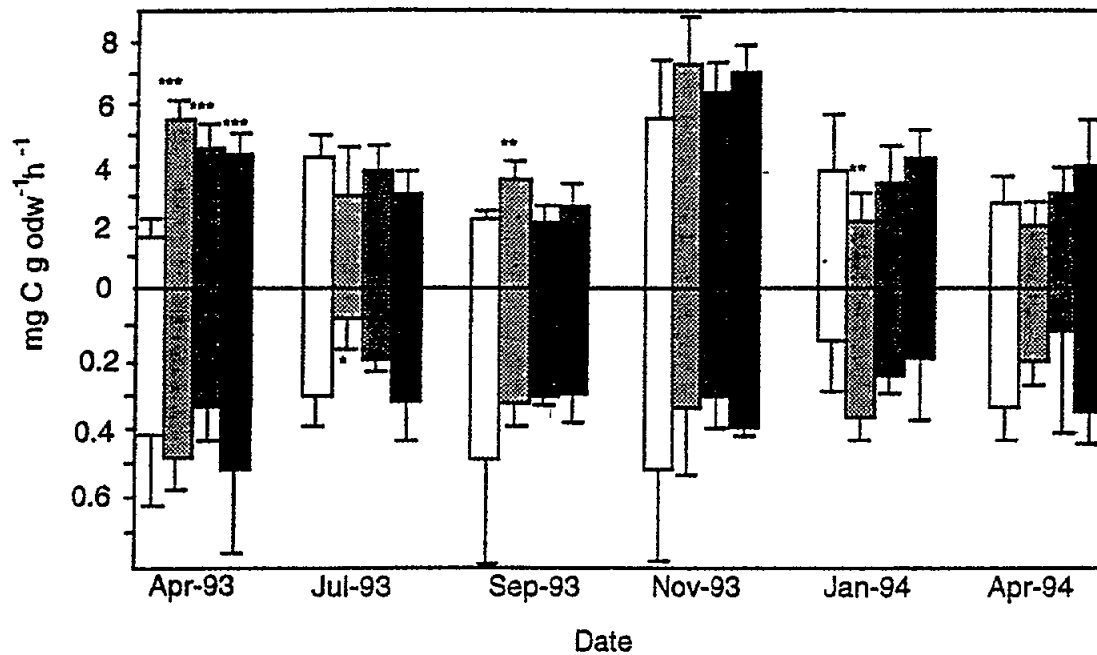


Fig. 3 Net productivity and respiration rates of *Caulerpa taxifolia* in nutrient enrichment experiments. ○, control plants; ◐, N-enriched plants; ◑, P-enriched plants; ●, N+P-enriched plants at different times of the year. Histograms are mean values  $\pm$  1 SD (N:3 replicates and 2 subsamples per replicate). Stars indicate the level of significance, when differences are significant [one-way ANOVA ( $p < 0.05$ ), followed by Tukey's significance test]; \*,  $p < 0.05$ ; \*\*,  $p < 0.01$ ; \*\*\*,  $p < 0.001$ . (From Delgado *et al.*, 1996).

## 2.5 Rapid growth and expansion rates

*Caulerpa taxifolia* was first detected in the Mediterranean sea in 1984. At that time it covered an area of 1 m<sup>2</sup> in front of the Musée Océanographique de Monaco (Monaco) (Meinesz and Hesse, 1991). Since then, its spread into the neighbouring coastal regions has been steady and rapid: the values of the estimated area affected were 3 ha in 1990, 1,300 ha in 1993 (Meinesz *et al.*, 1993; Meinesz *et al.*, 1995, Meinesz and Boudouresque, 1996), and 3,000 ha in 1996 (Meinesz *et al.*, 1997). Expansion is seasonal, occurring from June to November and ceasing when the winter temperature is at its lowest (Komatsu *et al.*, 1994). Over one year period, the cumulative growth of a rhizome apex ranges between 1 and 2 m (Komatsu *et al.*, 1994; Komatsu *et al.*, 1997). Regressions have not been observed since the initial introduction in 1984 (Meinesz *et al.*, 1993).

Although it is difficult to be quantitatively evaluated, the course of increase in areal coverage appears to be exponential, but is also subject to the vagaries of haphazard implantation of new colonies, the stage of their development, and the future development potential afforded by each site. Based on estimates of the area occupied up to 1991, starting with 1 m<sup>2</sup> in 1984, it can be calculated that occupied areas are increasing annually by a factor of 6 (Meinesz *et al.*, 1993).

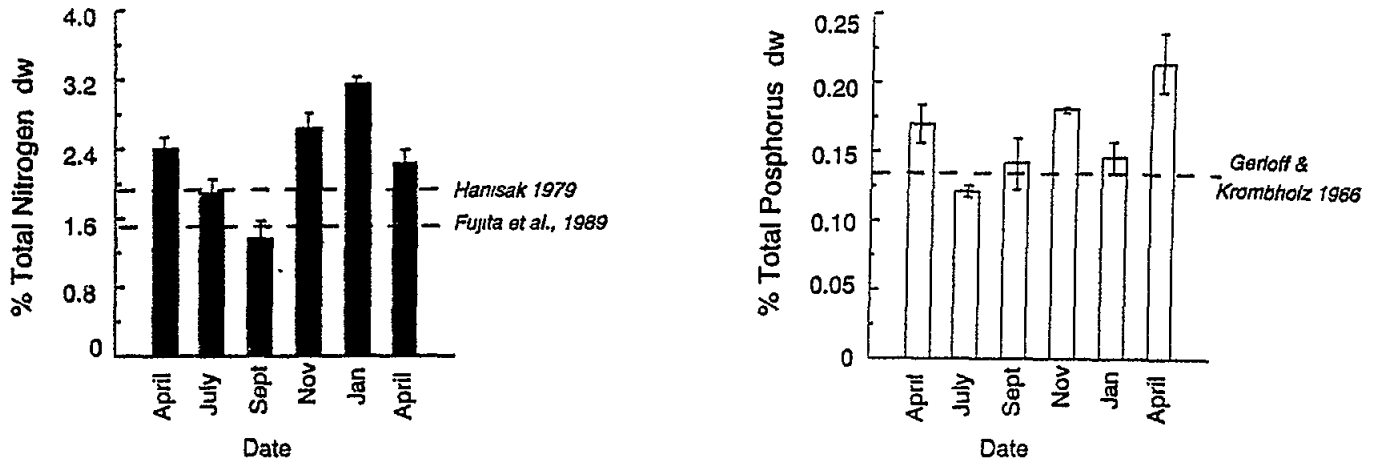


Fig. 4 Nutrient content in tissues of *Caulerpa taxifolia* at different times of the year and critical levels reported for other macroalgae. Histograms are mean  $\pm$  SD of three replicates. (From Delgado *et al.*, 1996).

## 2.6 Effective dispersion

The dispersal mechanisms can be (a) natural vegetative dispersal to new affected sites near the central zone of invasion, and (b) anthropogenic vegetative dispersion of cuttings (boats, anchors, fishing nets and aquaria) for sites more than 4 km from the central zone (Meinesz and Hesse, 1991; Meinesz, 1992; Meinesz *et al.*, 1993; Meinesz *et al.*, 1995). Unless *C. taxifolia* is not adapted to resist desiccation (Sant *et al.*, 1996b), it is able to survive for long periods (up to 10 d) under experimental conditions similar to those prevailing in an anchor locker or in a heap of fishing nets: darkness, high air humidifies (80-90%), 18 °C (Fig. 5). These results confirm that boat mediated transport is possible (Sant *et al.*, 1996b).

Sexual reproduction has never been reported: only male gametes have been observed in July and August in France, and in October in Balearic Islands (Meinesz, 1992, Riera *et al.*, 1994).

## 2.7 Aggressive behaviour in biotic interactions

*C. taxifolia* can compete with native macroalgae and seagrasses by direct competition and allelopathy (production of bioactive metabolites), or indirectly, by causing environmental changes (Meinesz *et al.*, 1993; Villele and Verlaque, 1995).

*Caulerpa taxifolia* competes with *Posidonia oceanica* with regard to the use of resources (light and nutrients). In summer and autumn, *C. taxifolia* is high and overgrow the short *Posidonia oceanica* leaves reducing the photosynthetic rate of the phanerogam by shading (Villele and Verlaque, 1995). Beside, the time lag between the growth period of both species favours *C. taxifolia*. In *Posidonia oceanica* meadows invaded by *C. taxifolia* there is a low summer storage of carbohydrates in seagrass rhizomes, due to shading, and, as a consequence, in autumn, when the seagrass form new leaves, it will have a shortage of these reserves (Boudouresque, 1997). With regard to nutrients, *C. taxifolia* can also outcompete autochthonous macroalgae, due to its capacity to use inorganic P from the substrate (Chisholm *et al.*, 1996).

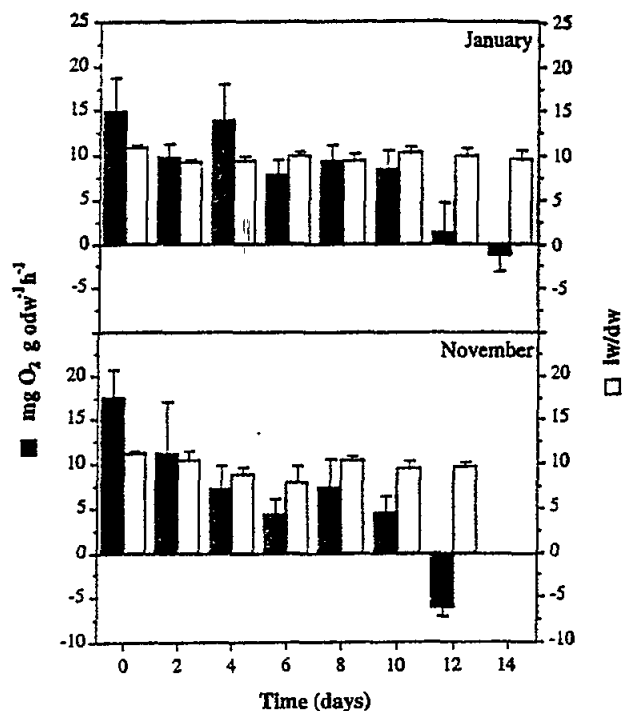


Fig. 5 Productivity and water content of *Caulerpa taxifolia* subjected to emersion in darkness at high air humidity levels in samples collected in January and November. lw/dw, ratio between the initial weight of the samples before resubmersion (iw) and its dry weight (dw). Plotted data are means of 6 replicates  $\pm$  SD. (From Sant *et al.*, 1996b).

*C. taxifolia* produces several bioactive secondary metabolites belonging to the terpenoids (Guerriero *et al.*, 1992; Guerriero *et al.*, 1993; Guerriero *et al.*, 1994). In general, these products are thought to assist in anti-predation, in competition for space and in possible antifouling mechanisms (Norris and Fenical, 1982; Bakus *et al.*, 1986; Paul and Fenical, 1986, 1987; Suissa *et al.*, 1994). The major secondary metabolite produced by *C. taxifolia*, the Caulerpenyne, can represent up to 13 % of the dry weight, but its values vary substantially over time, being maximal in summer and minimal in spring (Fig. 6) (Amade *et al.*, 1996). The production of secondary metabolites explains why *C. taxifolia* is avoided by most Mediterranean macroherbivores, namely the sea-urchin *Paracentrotus lividus* Lamarck, the fish *Sarpa salpa* Linnaeus and the mollusk *Aplysia punctata* Cuvier at least during the growth period of the alga (Lemée *et al.*, 1993, Lemée *et al.*, 1996; Boudouresque *et al.*, 1996; Amade *et al.*, 1996), and why the autochthonous macroalgae and marine phanerogam are consequently overgrazed (Ruitton and Boudouresque, 1994; Villele and Verlaque, 1995).

Concurrently, the high biomass of the *Caulerpa taxifolia* meadows seems to lead to alteration in the environmental characteristics of the seagrass beds, and giving the high sensibility of *Posidonia oceanica* to environmental changes (Short and Wylljeecheverria, 1996), progressive replacement of these seagrass beds by *C. taxifolia* populations is a likely perspective. *C. taxifolia* acts as a sediment trap more efficiently than *P. oceanica*. On the other hand, the entanglement of *C. taxifolia* around *P. oceanica* hampers the water circulation and enhances the silting by detritus decay on the site. These changes can explain at least in part the decay of roots, rhizomes and shoots observed in highly invaded *P. oceanica* meadows (Villele and Verlaque, 1995).



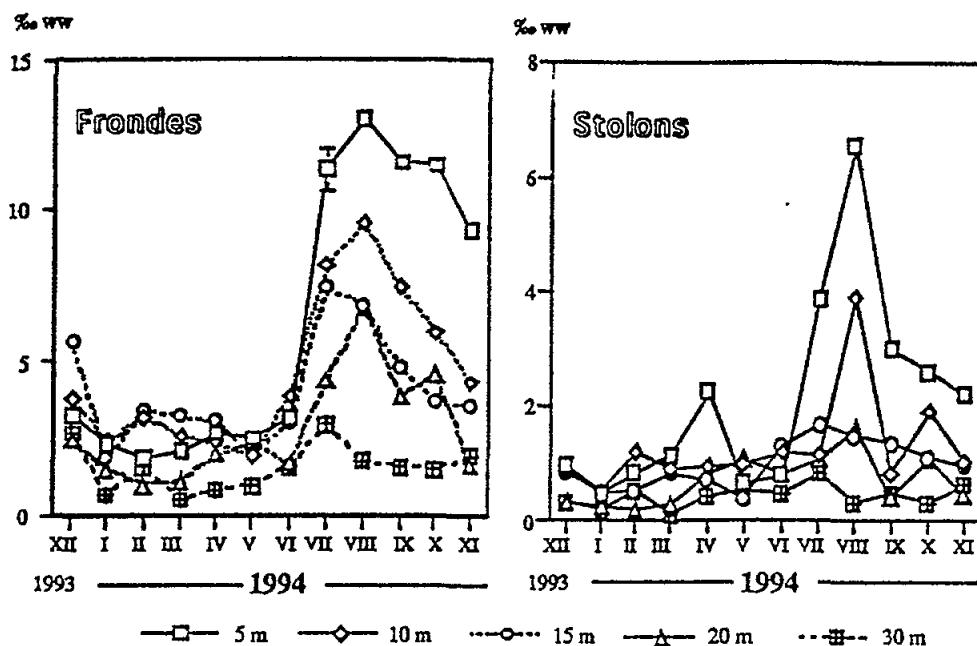


Fig. 6 Variations in the concentration (%o ww = % dry weight) de caulerpenyne in the fronds (= leaves) and stolons and rhizomes of *Caulerpa taxifolia* (from Cap Martin) according to season and depth. (From Amade *et al.*, 1996).

### 3. CONSEQUENCES OF THE SPREAD OF CAULERPA TAXIFOLIA IN THE MEDITERRANEAN

The different studies carried up to now have lead to the conclusion that a very large and massive replacement of autochthonous communities between 0-2 and 20-30 metres depth is a potential issue of the spread of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean (Boudouresque *et al.*, 92; Meinesz *et al.*, 1993; Verlaque and Fritayre, 1994; Boudouresque *et al.*, 1995; Verlaque and Boudouresque, 1995; Villele and Verlaque, 1995; Romero, 1997). Colonization of deeper sites is not well enough documented to make a reliable prediction of the impact. In this paper we will try to compile the known effects of the spread over Mediterranean littoral ecosystems.

I. The short term effect in the benthos is a great impoverishment of the sublittoral biocenoses, caused by (a) the complete or partial disappearance of autochthonous marine phanerogam beds and photophilic macroalgae communities, (b) the reduction in the number of autochthonous photophilic algae, and (c) the reduction in the number of several faunistic groups.

Dense uniform meadows of *C. taxifolia* are taking the place of a wide variety of native benthic Mediterranean communities. The replacement is very rapid in the infralittoral zone: 2-3 years for the photophilic algae communities growing on rocky bottoms; possibly 5-10 years for *Posidonia oceanica* meadows (Boudouresque, 1997). In the new ecosystem, the autochthonous algae represents only from 1 to 10 % of the vegetal biomass. The indigenous vegetation is restricted to some erect species as *Sphaerococcus coronopifolius* Stackhouse, *Dictyota dichotoma* (Hudson) Lamouroux or *Codium bursa* (Linnaeus) C. Agardh, and to seasonal epiphytes, germings and small individuals (Boudouresque *et al.*, 1992; Verlaque and Fritayre, 1994; Verlaque and Boudouresque, 1995). As a consequence, a loss of species diversity,

density and/or biomass is observed, among algae, together with a great impoverishment in ecodiversity and the subsequent uniformization of the sea bed landscape.

*C. taxifolia* is not a suitable diet for grazers, due to its low trophic value and to its toxins content (Boudouresque *et al.*, 1996). The preliminary studies on the fauna assemblages of infralittoral rocky bottoms colonized by *C. taxifolia*, has demonstrated a slight decrease in species richness and a sharp decrease in the number of individual per sample (Bellan-Santini *et al.*, 1996). The reduction affects several faunistic groups, specially Amphipods, Ciliates, Digenea, and Polychaets; conversely, the species diversity in Mollusks and in the very small meiofauna does not seem to present conspicuous qualitative changes (Bellan-Santini *et al.*, 1994). In line with this, a significant decrease in mean species richness, mean density and mean biomass of littoral fish occurred in sites colonized by *C. taxifolia* compare to reference sites (Francour *et al.*, 1995). Several species (but not all) recruited successfully in the invaded area. However, the considerably time lag between an environmental change and the response of the littoral fish community, which can be over ten years (Ros and Alcalá, 1996), the likely synergistic effects of a long-range *Caulerpa taxifolia* extension allows to predict that the effects will be markedly amplified in the future, and implies also a diminution in recruitment. The reduction of fish stocks and other commercial species would lead to significant problems for traditional fishing.

II. The biomass of the community of *C. taxifolia* is not very high (between 150 and 420 g dw m<sup>-2</sup>). These values are lower than most autochthonous communities from the Mediterranean (500-1500 g dw m<sup>-2</sup>) or from the *Posidonia oceanica* bed, that can reach 6000 gdw m<sup>-2</sup> (Ballesteros 1989, 1992). According to Romero (1997) this is reflected in a low primary production, and so, a lower transfer capacity of primary production to other trophic levels and a minor formation of detritus.

III. The reduced capacity to storage nutrient of *Caulerpa taxifolia* beds compared to phanerogam beds (Romero *et al.*, 1994; Mateo *et al.*, 1997), implies that the nutrients remain in the water column and favour the development of the plankton, increasing the turbidity of water column. with associated problems of eutrophication and loss of environmental quality (Romero, 1997).

IV. The structural role of autochthonous vegetation, specially of *Posidonia oceanica* beds, such as spawning ground, support or shelter and sedimentation control (Larkum *et al.*, 1989) is not fulfilled by the new ecosystem (Romero, 1997).

V. The changes in the plankton must be minor, at last in terms of direct effects. The toxicity of caulerpenyne has been evidenced both on the microalgae and on other planktonic organisms (Dini *et al.*, 1994; Giannotti *et al.*, 1994) (Ciliates, Bacteria), but although high quantities of this metabolite are produced, it is quickly decomposed and diluted in the water and usually it does not reach significant concentrations. The accumulation of certain degradation products of caulerpenyne, and also the production of other toxic metabolites, represents moreover a potential risk that is difficult to test (Guerriero *et al.*, 1994).

#### 4. CONCLUSIONS

Nowadays, the only available data related to the real impact of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean sea focuses in the short term effects of this spread. However, if the invasion continues as at present, and at least the sea bottom depth between 0 and 30 m depth are colonized (deeper sites are still unknown), we can predict some main consequences for the Mediterranean: (a) the loss of biodiversity, with a significant qualitative and quantitative impoverishment of indigenous communities, (b) the uniformisation of the sea bed landscape, and (c) an steady impoverishment of some faunistic groups.

These consequences imply significant impact on human activities, such as coastal fisheries (decrease of stocks of commercial species) and tourism (Mediterranean shores are these days very appreciated for its beauty and diversity).

## 5. REFERENCES

- Amade, P., R. Lemée, D. Pesando, R. Valls et A. Meinesz (1996), Variations de la production de caulerpénine dans *C. taxifolia* de Méditerranée. *In*: Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gómez and V. Gravez. Barcelona, Univ. Barcelona publ., pp.223-231
- Bakus, G.J., N.M. Targett and B. Schulte (1986), Chemical ecology of marine organisms: an overview. *J.Chem.Ecol.*, 12:951-987
- Ballesteros, E. (1989), Production of seaweeds in the North-Western Mediterranean marine communities: its relation with environmental factors. *Sci.Mar.*, 53:357-364
- Ballesteros, E. (1992), *Els vegetals i la zonació litoral: espècies, comunitats i factors que influeixen a la seva distribució*. *Arx. Secc. Ciènc. Inst. Est. Cat.*, 101:1-616
- Ballesteros, E. (1997), Ecophysiology of *Caulerpa taxifolia*. *In*: Dynamique d'espèces marines invasives: application à l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. Paris, Lavoisier publ.: pp.163-173
- Ballesteros, E. and M. Zabala (1993), El bentos: el marc físic. *In*: Història natural de l'archipèlag de Cabrera, edited by J.A. Alcover, E. Ballesteros and J.J. Fornós. Palma de Mallorca, CSIC-Moll, pp.663-685
- Bay, D. (1984), A field study of the growth dynamics and productivity of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in Calvi Bay, Corsica. *Aquat.Bot.*, 20:43-64
- Bellan-Santini, D., P. Arnaud, G. Bellan et M. Verlaque (1994), Résultats préliminaires sur la faune d'invertébrés du peuplement à *Caulerpa taxifolia* des côtes de Provence (Méditerranée nord-occidentale). *In*: First international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez. Marseille, GIS Posidonie publ.: pp.365-369
- Bellan-Santini, D., P. Arnaud et G. Bellan (1996), Affinités entre peuplements méditerranéens benthiques avec et sans *Caulerpa taxifolia*. *In*: Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gómez and V. Gravez. Barcelona, Univ. Barcelona publ., pp.387-390
- Belsher, T. and A. Meinesz (1995), Deep-water dispersal of the tropical alga *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean. *Aquat.Bot.*, 51:163-169
- Belsher, T., G. Youenou, J. Dimeet, J.M. Raillard, S. Bertrand et N. Mereau (1994), Eléments cartographiques et évolution de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée (Alpes-Maritimes et Monaco, 1992). *Oceanol.Acta*, 17(4):443-451
- Boudouresque, C.F. (1997), Population dynamics of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean, including the mechanisms of interspecific competition. *In*: Dynamique d'espèces marines invasives: application à l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. Paris, Lavoisier publ.: pp.145-162

- Boudouresque, C.F., A. Meinesz, M. Verlaque and M. Knoepffler-Péguy (1992), The expansion of the tropical alga *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean. *Cryptog.Algol.*, 13(2):144-145
- Boudouresque, C.F., A. Meinesz, M.A. Ribera and E. Ballesteros (1995), Spread of the green alga *Caulerpa taxifolia* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean: possible consequences of a major ecological event. *Sci.Mar.*, 59:21-29
- Boudouresque, C.F., R. Lemée, X. Mari and A. Meinesz (1996), The invasive alga *Caulerpa taxifolia* is not a suitable diet for the sea-urchin *Paracentrotus lividus*. *Aquat.Bot.*, 53:245-250
- Chisholm, J.R.M, C. Dauga, E. Ageron, P.A.D. Grimont and J.M. Jaubert (1996), 'Roots' in mixotrophic algae. *Nature*, 381:382
- Delgado, O., C. Rodríguez-Prieto, L. Frigola and E. Ballesteros (1995), Drought tolerance and light requirements of high and low sublittoral species of Mediterranean macroalgae of the genus *Cystoseira* C. Agardh (Fucales, Phaeophyceae). *Bot.Mar.*, 38:127-132
- Delgado, O., C. Rodríguez-Prieto, E. Gacia and E. Ballesteros (1996), Lack of severe nutrient limitation in *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh, an introduced seaweed spreading over the oligotrophic northwestern Mediterranean. *Bot.Mar.*, 39:61-67
- Dini, F., G. Rosati, F. Erra, F. Verni and F. Pietra (1994), The environmental toxicity of secondary metabolites produced by the Mediterranean-adapted seaweed *Caulerpa taxifolia* using marine ciliate protists as a model. *In: First international workshop on Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez. Marseille, GIS Posidonie publ.: pp.355-364
- Francour, P., M. Harmelin-Vivien, J.G. Harmelin and J. Duclerc (1995), Impact of *Caulerpa taxifolia* colonization on the littoral ichthyofauna of North-Western Mediterranean: preliminary results. *Hydrobiologia*, 300-301:345-353
- Fujita, R.M., P.A. Wheeler and R.L. Edwares (1989), Assessment of macroalgal nutrient limitation in a seasonal upwelling region. *Mar.Ecol.Prog.Ser.*, 53:293-303
- Gacia, E., C. Rodríguez-Prieto, O. Delgado and E. Ballesteros (1996), Seasonal light and temperature responses of *Caulerpa taxifolia* from the northwestern Mediterranean. *Aquat.Bot.*, 53:215-225
- Gerloff, G.C. and P.H. Krombholz (1966), Tissue analysis as a measure of nutrient availability for the growth of angiosperm aquatic plants. *Limnol.Oceanogr.*, 11:529-537
- Giannotti, A., E. Ghelardhi and S. Sinesi (1994), Characterization of seawater bacterial communities within environments colonized by the tropical green seaweed *Caulerpa taxifolia*. *In: First international workshop on Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez. Marseille, GIS Posidonie publ.: pp.197-201
- Guerriero, A., A. Meinesz A., M. D'Ambrosio and F. Pietra (1992), Isolation of toxic and potentially toxic sesqui- and monoterpenes from the tropical green seaweed *Caulerpa taxifolia* which has invaded the region of Cap Martin and Monaco. *Helv.Chim.Acta*, 75:689-695
- Guerriero, A., F. Marchetti, M. D'Ambrosio, S. Senesi, F. Dini and F. Pietra (1993), New ecotoxicologically and biogenetically relevant terpenes of the tropical green seaweed *Caulerpa taxifolia* which is invading the Mediterranean. *Helv.Chim.Acta*, 76:855-864

- Guerriero, A., M. D'Ambrosio, G. Guella, F. Dini and F. Pietra (1994), Secondary metabolites of the green seaweed *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean sea, and a comparison with ciliates of the genus *Euplotes*. In: First international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez. Marseille, GIS Posidonie publ.: pp.171-175
- Hanisak, M.D. (1979), Nitrogen limitation of *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* as determined by tissue analysis. *Mar.Biol.*, 50:333-337
- Komatsu, T., H. Molenaar, J. Blachier, J. Buckles, R. Lemée et A. Meinesz (1994), Premières données sur la croissance saisonnière des stolons de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. In: First international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez. Marseille, GIS Posidonie publ., pp.279-283
- Komatsu, T., A. Meinesz and D. Buckles (1997), Temperature and light responses of alga *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean sea. *Mar.Ecol.Progr.Ser.*, 146:145-153
- Larkum, A.W.D., E.A.J. McComb and S.A. Suemierd (1989), *Biology of seagrasses. A treatise on the biology of seagrasses with special reference to the Australian region*. Elsevier. New York.
- Lemée, R., D. Pesando, M. Durand-Clement, A. Dubreuil, A. Meinesz, A. Guerriero and F. Pietra (1993), Preliminary survey of toxicity of the green alga *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean. *J.Appl.Phycol.*, 5:485-493
- Lemée, R., C.F. Boudouresque, J. Gobert, P. Malestroit, X. Mari, A. Meinesz, V. Menager and S. Ruitton (1996), Feeding behaviour of *Paracentrotus lividus* in presence of *Caulerpa taxifolia* introduced in the Mediterranean. *Oceanol.Acta*, 19(3-4):245-253
- Lüning, K. (1981), Light. In: *The biology of seaweeds*, edited by C.S. Lobban and M.J. Wynne. London/Oxford, Blackwell Scientific, pp.326-335
- Mateo, M.A., J. Romero, M. Pérez, M. Littler and D. Littler (1997), Dynamics of millenary organic deposits resulting from the growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 44:103-110
- Meinesz, A. (1979), Contribution à l'étude de *Caulerpa prolifera* (Forsskål) Lamouroux (Chlorophycées, Caulerpales). I. Morphogénèse et croissance dans une station des côtes continentales françaises de la Méditerranée. *Bot.Mar.*, 22:27-39
- Meinesz, A. (1992), Modes de dissémination de l'algue *Caulerpa taxifolia* introduite en Méditerranée. *Rapp.Comm.Internation.Explor.Sci.Médit.*, 33:44
- Meinesz, A. et B. Hesse (1991), Introduction et invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée nord-occidentale. *Oceanol.Acta*, 14(4):415-426
- Meinesz, A. et C.F. Boudouresque (1996), Sur l'origine de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. *C.R. Acad. Sci., Sci.Vie*, 319:603-613
- Meinesz, A., J. de Vaugelas, B. Hesse and X. Mari (1993), Spread of the introduced tropical green alga *Caulerpa taxifolia* in northern Mediterranean waters. *J.Appl.Phycol.*, 5:141-147

- Meinesz, A., L. Benichou, J. Blachier, T. Komatsu, R. Lemée, H. Molenaar and X. Mari (1995), Variations in the structure, morphology and biomass of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean Sea. *Bot.Mar.*, 38:499-508
- Meinesz, A., J.M. Cottalorda, D. Chiaverini, M. Braun, N. Carvalho, M. Febvre, S. Ierardi, L. Mangialajo, P. Passeron-Seitre, T. Thibaut et J. de Vaugelas (1997), Suivi de l'expansion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée: situation au 31 décembre 1996. Rapport Laboratoire Environnement Marin Littoral. Nice, Univ. Nice Sophia-Antipolis publ., pp.1-189
- Norris, J.N. and W. Fenical (1982), Chemical defense in tropical marine algae. In: The Atlantic barrier reef ecosystem at Carrie Bow Cay, Belize. I. Structure and communities, edited by K. Rutzler and MacIntyre. *Smithsonian Contrib.mar.Sci.*, 12:417-431
- Ott, J.A. (1980), Growth and production in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Mar.Ecol.*, 1:47-64
- Paul, V.J. and W. Fenical (1986), Chemical defense in tropical green algae, order Caulerpales. *Mar.Ecol.Progr.Ser.*, 34:157-169
- Paul, V.J. and W. Fenical (1987), Natural products chemistry and chemical defense in tropical marine algae of the phylum Chlorophyta. In: Bioorganic marine chemistry, edited by P.J. Scheuer. Berlin, Springer Verlag publ., pp.1-29
- Perez, M. and J. Romero (1992), Photosynthetic response to light and temperature of the seagrass *Cymodocea nodosa* and the prediction of its seasonality. *Aquat.Bot.*, 43:51-62
- Riera, F., S. Pou, M.A. Grau, O. Delgado, B. Weitzman and E. Ballesteros (1994), Eradication of a population of the tropical green algae *Caulerpa taxifolia* in Cala d'or (Mallorca, Western Mediterranean) : methods and results. In: First international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez. Marseille, GIS Posidonie publ., pp.327-331
- Romero, J. (1997), Conséquences de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. In: Dynamique d'espèces marines invasives: application à l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. Paris, Lavoisier publ.: pp.241-254
- Romero, J., M. Pérez, M.A. Mateo and E. Sala (1994), The belowground organs of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* as a biogeochemical sink. *Aquat.Bot.*, 47:13-19
- Ros, G.R. and A.C. Alcalá (1996), Do marine reserves export adult fish biomass: Evidence from Apo Island, central Philippines. *Mar.Ecol.Prog.Ser.*, 132:1-9
- Ruitton, S. et C.F. Boudouresque (1994), Impact de *Caulerpa taxifolia* sur une population de l'oursin *Paracentrotus lividus* à Roquebrune-Cap Martin (Alpes-Maritimes, France). In: First international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez. Marseille, GIS Posidonie publ., pp.371-378
- Sant, N., O. Delgado, C. Rodríguez-Prieto and E. Ballesteros (1994), The effects of dessication on photosynthesis of *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh. In: First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez, GIS Posidonie, Marseille, pp.315-319

- Sant, N., O. Delgado, C. Rodríguez-Prieto, E. Gacia, G. Ribera and E. Ballesteros (1996a), Comparative study of photosynthetic characteristics between some autochthonous Mediterranean dominant macroalgae and *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh. In: Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gómez and V. Gravez. Barcelona, Univ. Barcelona publ., pp.191-196
- Sant, N., Delgado O., Rodríguez-Prieto C. and E. Ballesteros (1996b), The spreading of the introduced seaweed *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh in the Mediterranean Sea : testing the boat transportation hypothesis. *Bot.Mar.*, 39:427-430
- Short, F.T. and S. Willjeecheverria (1996), Natural and human-induced disturbance of seagrasses. *Environmental Conservation*, 23:17-27
- Suissa, A., R. Lemée, P. Amade, D. Pesando et A. Meinesz (1994), Données bibliographiques sur l'activité biologique de la Caulerpénynne et des terpènes voisins. In: First international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez. Marseille, GIS Posidonie publ., pp.189-195
- Terrados, J. and J.D. Ros (1991), Production dynamics in a macrophyte dominated ecosystem: the Mar Menor coastal lagoon (SE Spain). *Oecol.Aquat.*, 10:225-270
- Verlaque, M. et P. Fritayre (1994), Modifications des communautés algales méditerranéennes en présence de l'algue envahissante *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh. *Oceanol.Acta*, 17(6):659-672
- Verlaque, M. et C.F. Boudouresque (1995), Étude floristique et structurale de la prairie à *Caulerpa taxifolia* du Cap-Martin (Alpes-Maritimes. France). *Rapp. Commiss. internation. Explor. Mer Médit.*, Monaco, 34:48
- Villele, X. de, and M. Verlaque (1995), Changes and degradation in a *Posidonia oceanica* bed invaded by the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia* in the North Western Mediterranean. *Bot.Mar.*, 38:79-87

# INSIGHTS INTO THE ECOTOXICOLOGICAL RISK RELATED TO THE RAPID SPREADING OF THE PANTROPICAL GREEN SEAWEED, *CAULERPA TAXIFOLIA*, ALONG THE MEDITERRANEAN COASTS

by

Fernando DINI

Department of Ethology, Ecology and Evolution  
Pisa, Italy

## 1. DISTRIBUTION AND INTRA-SPECIFIC VARIATION

*Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh is a siphonaceous, green seaweed whose typical distribution may be qualified as pantropical. Its presence in the Mediterranean Sea has been recorded since the 1984 (Meinesz and Hesse, 1991). The distribution of main locations where thalli of *C. taxifolia* have been recorded within the Mediterranean basin is reported in Figure 1.

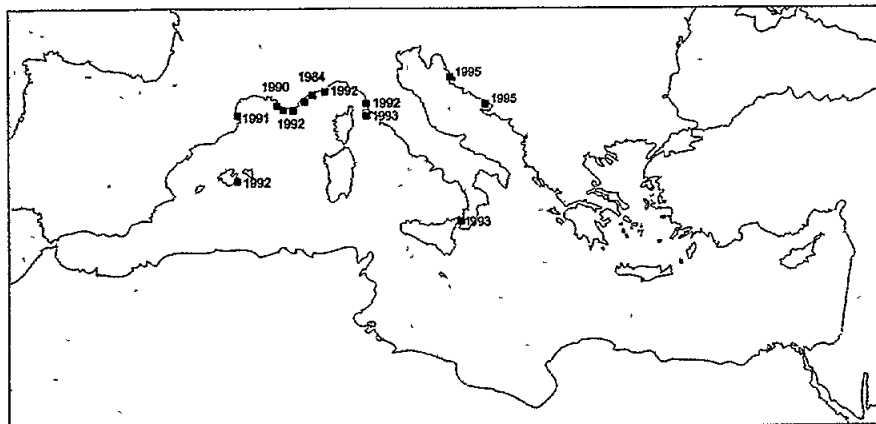


Fig. 1 Spatial distribution and temporal recording sequence of the main Mediterranean locations colonized by *Caulerpa taxifolia*.

Colonization concerns the central and north-western Mediterranean Sea. This latter area shows the highest degree of colonization which occurs at locations where the primitive populations were initially recorded (Meinesz *et al.*, 1993; Boudouresque *et al.*, 1995).

A morphological polymorphism occurs among populations comprising *C. taxifolia*. Typical filloids of one tropical, Indonesian (the first on the left) and four Mediterranean populations are shown in Figure 2. There are differences among Mediterranean representatives, but these are relatively small when Mediterranean and Indonesian populations are compared.

At locations along the coasts of the north-western Mediterranean Sea, *C. taxifolia* covers entirely even hectares of substratum by crowded thalli. Such a situation has not its counterpart in any of the pristine, tropical areas from which we have had the opportunity to get personal evidence: Venezuelan, Brazilian and New Caledonian coasts.





Fig. 2 Filloid polymorphism among tropical (the first on the left) and Mediterranean populations collected from various locations.

When a small thallus fragment of *C. taxifolia*, obtained from the Isola d'Elba (Italy) population, was anchored to an aquarium substratum, it sprouted rapidly. In Figure 3A and 3B the fragments anchored to the aquarium substratum at time 0 are shown on the left, whereas on the right are shown the results after about five days of sprouting at the laboratory temperature of  $23 \pm 1$  °C. The same experiment performed with fragments obtained from a Djakarta (Indonesia) population was regularly unsuccessful. Undeniably, such growing potentialities of the north-western Mediterranean populations represent an important factor in the colonization processes.

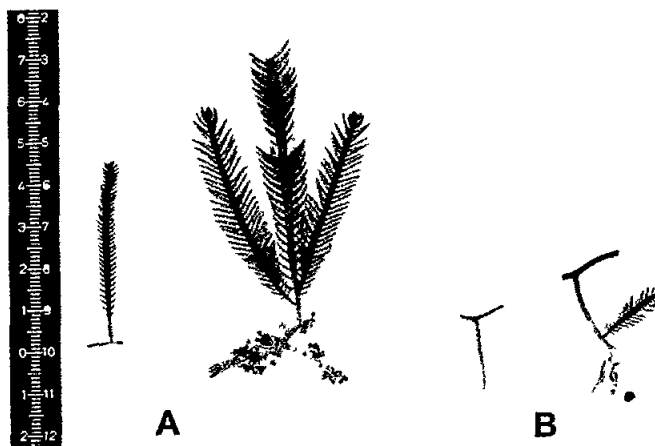


Fig. 3 Thallus fragments, A and B on the left, of a Mediterranean population of *C. taxifolia* anchored to an aquarium substratum. In A and B on the right, the outward appearance of the same thallus fragments after five days of sprouting.

The observations and experiments reported above point to the existence of sharp differences between Mediterranean and original, tropical populations of *C. taxifolia*. The determination of such differences could be due to either phenotypic plasticity or genomic variation or both.

A genomic analysis of populations of quite different origin provided insight into this matter (Dini *et al.*, 1996). The DNA was isolated from three populations, Imperia (North-Western Mediterranean Sea), Singapore, and Djakarta (Indonesia). It was characterized by (i) thermal denaturation, (ii) CsCl density-gradient ultracentrifugation, (iii) reassociation kinetics, and (iiii) using restriction enzymes. (i) Each population produced a sigmoid, DNA melting profile. The derivative of this profile of the Mediterranean population produced a new shaped profile (Fig. 4, bolded line) which can be characterized by five gaussian curves (Fig. 4, thin lines) following a further mathematical elaboration. These gaussian curves corresponded to five different melting temperatures (cf. abscissa of Fig. 4) which, in turn, were due to varying percentages in the G-C content of five fractions comprising the DNA extracted from the Mediterranean population. The qualitative close similarity of the DNA melting profiles produced by the three analyzed seaweed populations had not its counterpart in the quantitative characteristics: inter-population differences occurred when a comparative analysis of the gaussian curves was performed (Fig. 5). (ii) The CsCl-density-gradient ultracentrifugation disclosed the presence of five DNA bands one of which comprising ribosomal, mitochondrial, and chloroplast DNA. This last showed the largest inter-population variation. (iii) On the basis of the reassociation kinetics carried out on the DNA extracted from the Mediterranean population, highly repetitive sequences were isolated. These were used as probes for filter hybridization with the DNA of the other two tropical populations. Both quantitative and qualitative inter-population differences occurred (Fig. 6). (iiii) Comparative analyses of rDNA fragments, using also the Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP) technique, revealed significant inter-population differences.

In view of these results, it is conceivable that genomic variation plays a substantial role in determining the perceived, sharp differences occurring between Mediterranean and original, tropical populations of *C. taxifolia*.

## 2. SUBSTANCES ISOLATED FROM MEDITERRANEAN POPULATIONS

Detailed bioorganic investigations of a *C. taxifolia* population from the southern coasts of France disclosed nine secondary metabolites belonging to the chemical family of terpenoids (Guerriero *et al.*, 1992, 1993) whose molecular structures and likely biogenetic relationships are shown in Figure 7. Among these, two had already been described: "caulerpenyne" in *Caulerpa prolifera* (Amico *et al.*, 1978), and "oxytoxin 1" in the mollusk opisthobranch *Oxynoe olivacea* (Cimino *et al.*, 1990). All the other seven terpenoids were new natural occurring products, never described before in Caulerpales.

## 3. BIOACTIVITY OF THE ISOLATED TERPENOIDS

*Caulerpa taxifolia* terpenoids are not soluble in water. Hence, for bringing them into solution an organic vehicle, usually alcohol, is necessary. Using purified products in ethanol solution, the bioactivity of six sesquiterpenoids, out of the foregoing nine ones, was tested *in vitro*; oxytoxin 1, "taxifolial D," and "taxifolione" were excluded, these last because handling difficulties owing to their volatile nature.

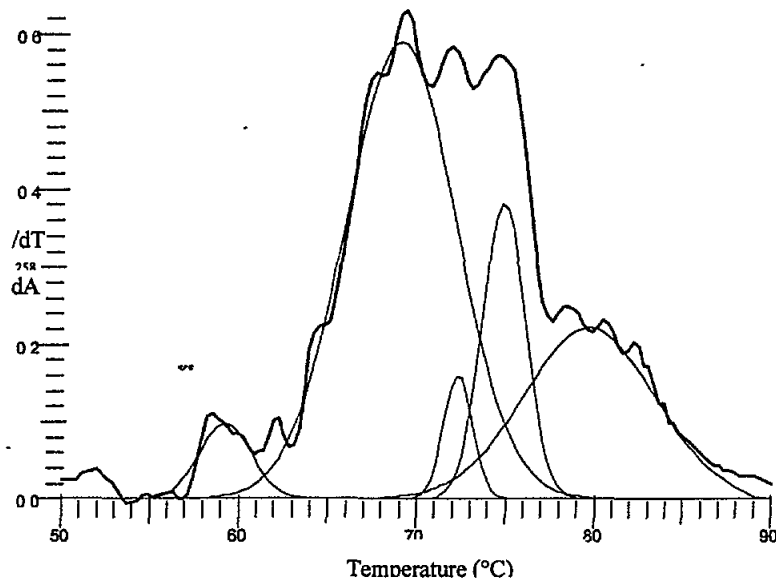


Fig. 4 DNA melting profile of a *C. taxifolia* Mediterranean population. Bolded line represents the derivate of the sigmoid melting curve following the DNA thermal denaturation. The thin lines representing the five Gaussian curves are the result of a further mathematical elaboration and reflect the existence of DNA fractions varying in their G-C contents.

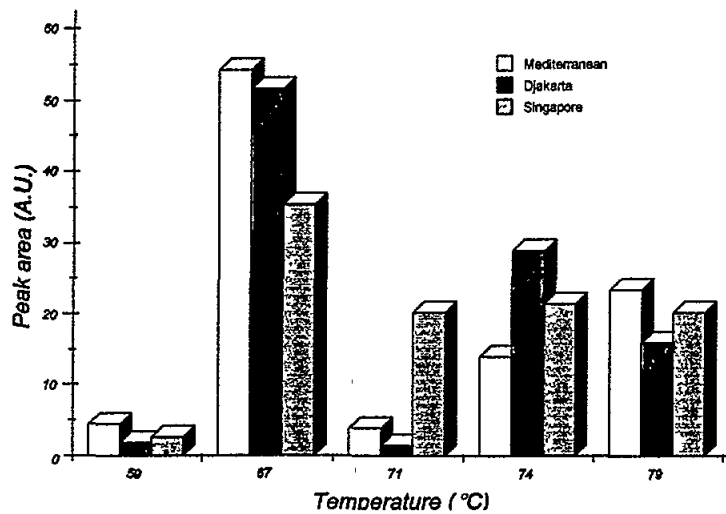


Fig. 5 Quantitative differences occurring among the three studied *C. taxifolia* populations of different geographic origin when the five DNA fractions comprising each population were considered.

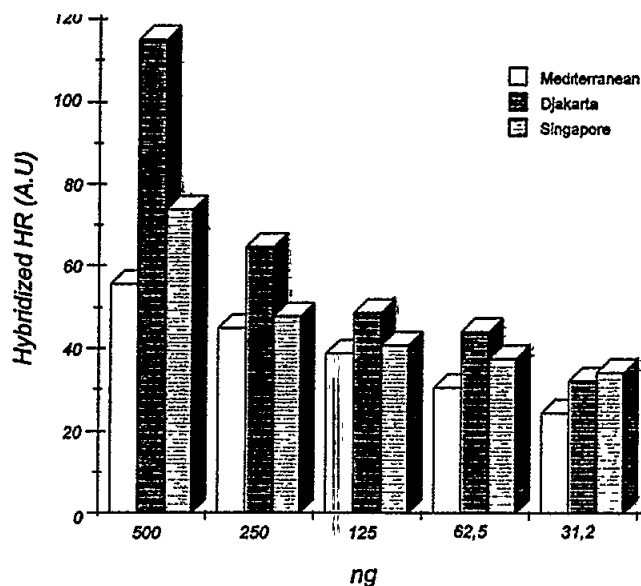


Fig. 6 Differences occurring among the three studied *C taxifolia* populations of different geographic origin when highly repetitive DNA sequences were considered using slot blot methodologies.

### 3.1 Effects on microorganisms

#### 3.1.1 Eukaryotic

Marine, unicellular protists were chosen as test organisms for bioassays since their fundamental roles at the lower ends of grazing marine food webs and in biogeochemical mineral cycling. The results of the toxicity tests against 25 strains comprising eight different species of these eukaryotic microorganisms are reported in Figure 8. For each terpenoid (ordinate), for each species (abscissa), both the dose killing 100% individuals ( $LD_{100}$ , solid bars) and the dose delaying fission rate in 100% of individuals ( $ED_{100}$ , dotted bars) were established. There were differences in response to sesquiterpenoids exposure among the species; those of the ciliate protists comprising the *Euplotes vannus-crassus-minuta* group being, as a rule, more resistant than all the other tested species, an intra-species variation notwithstanding (Dini *et al.*, 1994). Populations collected from locations heavily colonized by *C. taxifolia* (i.e., populations CM of *E. vannus* and CpM of *E. minuta*) did not apparently show an enhancement of sesquiterpenoids' tolerance. This is evidence for the lack of any kind of adaptation. A closer intra-species scrutiny showed that intra-population results could be replicated satisfactory even using different strains, but effects of a given sesquiterpenoid were not consistent, as different conspecific populations may show quite different behavior. It could be the consequences of an underclassification of ciliate nominal species which are actually complexes of sibling species (Dini and Nyberg, 1993). As far as harmfulness is concerned, the screened sesquiterpenoids can be ordered according to the following rank: taxifolial A = taxifolial B = taxifolial C = caulerpenyne < 10,11-epoxycaulerpenyne < caulerpenynol. However, all sesquiterpenoids showed regularly a high degree of bioactivity. Dosages  $\leq 20 \mu\text{g ml}^{-1}$  proved to be lethal in many instances; the symbol "v" on the top of the bars in Figure 8 refers to the necessity of a dosage  $> 20 \mu\text{g ml}^{-1}$  in order to obtain the reported results. Against some species, sesquiterpenoids manifest their bioactivity at doses as low as  $2 \mu\text{g ml}^{-1}$ .

The occurrence of the above-mentioned differences in levels of activity, depending on the species used and the sesquiterpenoid tested, may be indicative of the specificity of the

screened sesquiterpenoids. In term of "risk assessment" the potential harmfulness for protist communities expressed by sesquiterpenoids isolated from the Mediterranean *C. taxifolia* is impressive, provided the occurrence in nature of direct sesquiterpenoid-ciliate interactions; a conceivable, though not proven, possibility, even if the insolubility in water of sesquiterpenoids represents an actual constraint to such interactions.

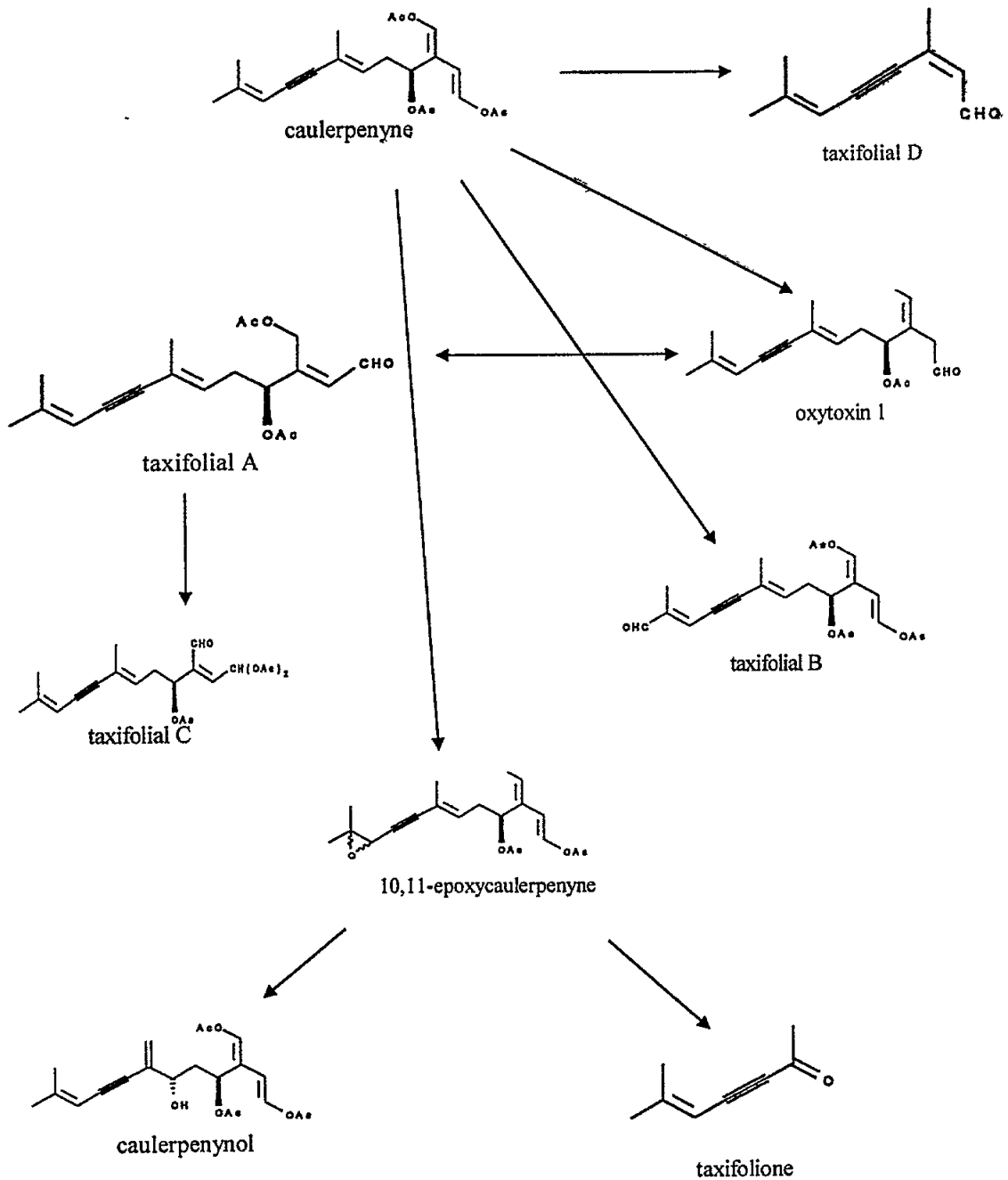


Fig. 7 Molecular structure and likely biogenetic relationships of terpenoids isolated from a Mediterranean population of *Caulerpa taxifolia*

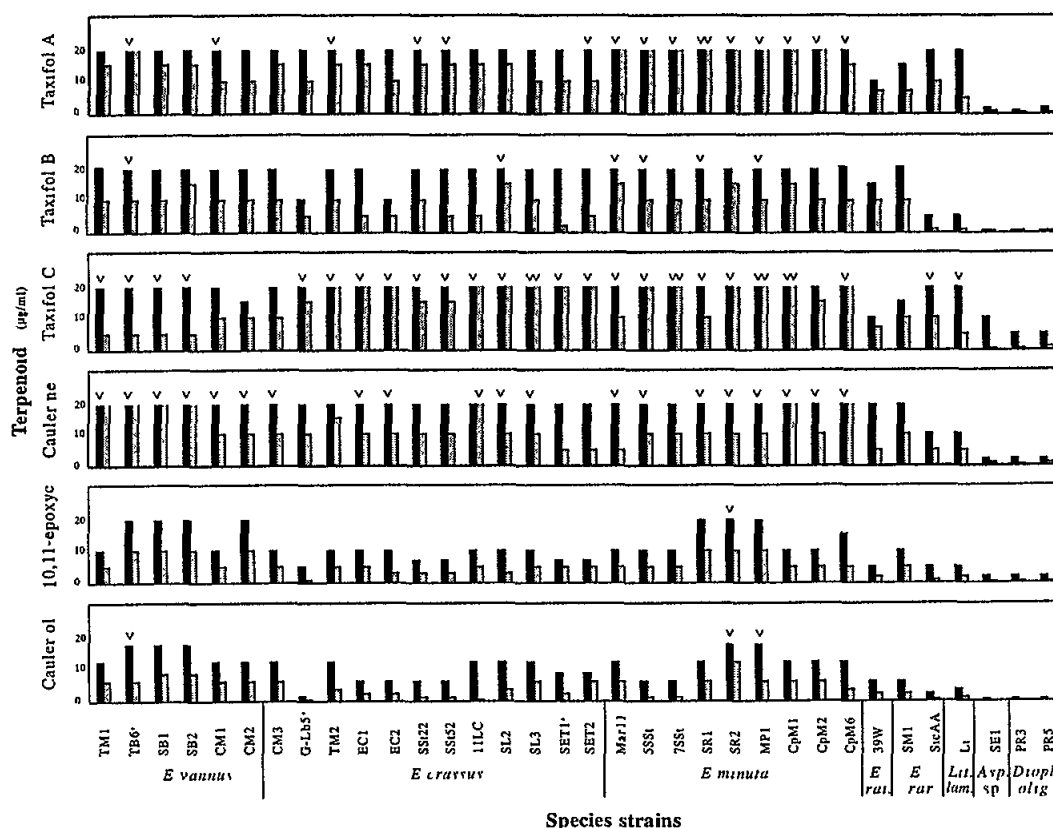


Fig. 8 Toxic effects of terpenoids (ordinates) isolated from a population of the North-Western Mediterranean Sea against various species of unicellular, ciliated protists (abscissa). Black bars refer to doses killing 100% of tested individuals. White bars refer to doses delaying fission rate in 100% of individuals.

### 3.1.2 Prokaryotic

Bioassays were performed with both purified sesquiterpenes and algal juice obtained by squeezing fresh *C. taxifolia* thalli (Giannotti *et al.*, 1994). Test organisms were naturally occurring picoplanktonic bacteria either free living or establishing commensal interactions with invertebrates and seaweeds. Results are reported in Table 1. Both purified sesquiterpenes and algal juice manifested a highly bactericidal activity against most of strains collected from the area not colonized by *C. taxifolia* (Table 1A). Strains collected from the area heavily colonized by *C. taxifolia* showed a quite different pattern of susceptibility to both purified sesquiterpenes and algal juice (Table 1B). The increase of resistant strains enhanced to about 85%. The phenomenon affected bacteria whatever their nature may turn out to be: gram-negative or gram-positive. It may be argued that a strong selection pressure on the bacterial communities is at work in areas recently colonized by *C. taxifolia*. Such a pressure does not appear, however, to work randomly (Table 2). A comparative analysis of sample collected from colonized and not colonized areas showed that the proportion of gram-positive bacteria dropped from 59.3% (not colonized area) to 1.6% (colonized area) along with the disappearance of representatives (e.g. *Planococcus*), whereas the proportion of gram-negative bacteria enhanced

from 39.8% (not colonized area) to 97.3% (colonized area) along with proportion peaks of some representatives (e.g., *Pseudomonas*, whose proportion increased from 9.2% to 33.3%). Hence, colonization of Mediterranean areas by *C. taxifolia* affects biodiversity of bacterial communities. Because interaction between prokaryotic (bacteria) and eukaryotic (protists) microorganisms represent a basic, functional components of aquatic food webs, the *C. taxifolia* colonization may cause disruptive modifications in the aquatic food chains.

**Table 1**

Effect of *Caulerpa taxifolia* purified substances and algal juice on marine bacteria collected from not colonized (A) and largely colonized (B) location of the Mediterranean Sea

Bacterial Strain	Purified substances <sup>a</sup> (50 µg)					Algal Juice (60 µg)
	A	1	2	3	4	
<b>Gram-negative</b>						
<i>Alteromonas</i>	—	S	S	S	S	SS
<i>Flavobacterium</i>	S	R	—	SS	—	S
<i>Pseudomonas</i>	—	S	—	R	S	S
<i>Vibrio</i>	—	S	SS	S	R	SS
<i>Xantomonas</i>	S	—	S	—	S	S
<b>Gram-positive</b>						
<i>Bacillus</i>	S	R	S	S	S	SS
<i>Micrococcus</i>	S	SS	R	—	SS	SS
<i>Planococcus</i>	S	SS	SS	SS	—	SS
<b>B</b>						
<b>Gram-negative</b>						
<i>Alteromonas</i>	—	R	R	—	R	R
<i>Flavobacterium</i>	S	R	—	S	R	S
<i>Pseudomonas</i>	R	R	—	R	R	R
<i>Vibrio</i>	—	S	S	S	R	S
<i>Xantomonas</i>	R	—	R	—	S	R
<b>Gram-positive</b>						
<i>Bacillus</i>	R	R	S	—	R	R
<i>Micrococcus</i>	—	R	R	S	—	S

<sup>a</sup> 1=taxifolial A, 2= taxifolial B, 3=taxifolial C, 4=caulerpenyne; 5=10,11-epoxycaulerpenyne. R, resistant; S, sensible; SS, highly sensible

### 3.2 Effects on higher plants

Callus cultures of *Nicotiana glauca* have been treated *in vitro* with the most bioactive sesquiterpenoids isolated from *C. taxifolia*, along with a degradation product of the caulerpenyne, the "trisorcaulerpenynone." The choice of this plant model system was due to the fact that the temporal sequence of the synthetic molecular events during the differentiation processes of the system were well established (Durante *et al.*, 1986). Experimental and control cultures were simultaneously established and the former were separately treated at different times (0, 4, and 48 hrs since the culture establishment) with doses of the various compounds ranging from 0.1 to 10 µg ml<sup>-1</sup>. During the first 6 hrs the plant system performs syntheses of

specific mRNAs, whereas the 24-48 hrs interval is characterized by the amplification process of a heavy satellite DNA which plays an important role in the ongoing cellular growth (Durante *et al.*, 1986). Per cent rate of variation in weight of the experimental vs. control callus cultures were recorded after 21 days since the culture establishment. Data related to treatments with  $1 \mu\text{g ml}^{-1}$  doses of each compound reported in the rectangle are shown in Figure 9. The treatment with trisnorcaulerpenyne caused a decrease in weight of experimental cultures following the occurrence of necrotic phenomena. Caulerpenyne and caulerpenynol did not produced relevant modifications. On the contrary, 10,11-epoxycaulerpenyne caused an increase up to 75% of the control weight in the experimental cultures treated after 48 hrs since the culture establishment. The same phenomenon occurred also in experimental cultures whose culture medium was deprived of the growth factor which is a normal component of the standard culture medium. At present we are unable to discriminate between the two following possibilities: the 10,11-epoxycaulerpenyne mimics growth factors or it promotes neoplasms. Circumstantial evidence seems to support this latter possibility.

Table 2

Proportions of bacterial strains isolated from locations either colonized (a) or not colonized (b) by Mediterranean *Caulerpa taxifolia*

<b>Bacterial strains</b>	<b>Monaco-Cap Martin (a)</b>	<b>Quercianella-Livorno (b)</b>
Gram-negative	<b>97.3 ± 2.5 (98%)</b>	<b>39.8 ± 2.5 (9.5%)</b>
<i>Pseudomonas</i>	33.3 ± 7.2	9.2 ± 0.8
<i>Xantomonas</i>	20.8 ± 5.3	5.8 ± 0.6
<i>Alcaligenes</i>	16.5 ± 2.6	5.4 ± 0.5
<i>Vibrio</i>	8.3 ± 1.2	9.5 ± 1.2
<i>Alteromonas</i>	8.1 ± 0.9	6.1 ± 0.9
<i>Aeromonas</i>	4.1 ± 0.3	1.2 ± 0.1
<i>Flavobacterium</i>	6.1 ± 1.6	1.6 ± 0.2
Unidentified genus	0	1.0 ± 0.1
Gram-positive	<b>1.6 ± 0.8 (96%)</b>	<b>59.3 ± 1.8 (0.1%)</b>
<i>Bacillus</i>	0.6 ± 0.1	14.3 ± 1.3
<i>Micrococcus</i>	2.1 ± 0.1	15.2 ± 1.3
<i>Planococcus</i>	0	29.8 ± 1.5
Unidentified genus	0	0

Whatever the matters stand, toxic compounds produced by the Mediterranean *C. taxifolia* are potentially harmful even for higher plants. Hence, this could hold true also for the important component of the Mediterranean ecosystem: the seagrass, *Posidonia oceanica*. In this view, it may be noteworthy that the necrotic phenomena observed by French researchers at expense of rhizomes of *P. oceanica* interacting with *C. taxifolia* could be the result of an allelopathic interaction.

### 3.3 Effects at subcellular level

Once toxic effects have been identified for a particular chemical, it may be important to understand the cellular bases by which these toxic effects are produced. We aimed at such a goal using an unicellular, marine protist as a model (Dini *et al.*, 1994). Cells of the ciliate *Euplotes crassus* were exposed to acute and chronic treatments with the most powerful compounds isolated from *C. taxifolia*: caulerpenyne, 10,11-epoxycaulerpenyne, and caulerpenynol. Both acute ( $10 \mu\text{g ml}^{-1}$ ) and chronic ( $2.5 \mu\text{g ml}^{-1}$ ) treatments with caulerpenyne



caused rarefaction of the nuclear chromatin following a notable swelling of the nucleus. 10,11-epoxycaulerpenyne ( $5 \mu\text{g ml}^{-1}$ , acute treatment, and  $0.5 \mu\text{g ml}^{-1}$ , chronic treatment) detached from each other the unit membranes constituting the protist cortex, thus affecting the regular transduction of information between the external environment and the cytoplasm. Caulerpenynol ( $1 \mu\text{g ml}^{-1}$ , acute treatment, and  $0.25 \mu\text{g ml}^{-1}$ , chronic treatment) caused the disappearance of the mitochondrial cristae compromising the function of these organelles.

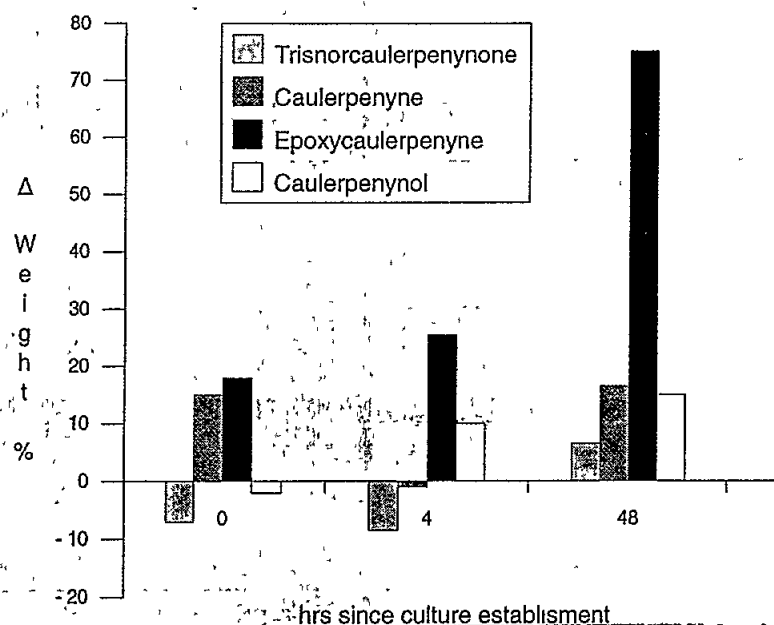


Fig. 9 Per cent variation in weight (ordinate) of the experimental vs. control (normalized to 0) callus cultures of *Nicotiana glauca*, separately treated with  $1 \mu\text{g ml}^{-1}$  doses of each compound, reported inside the square, at different times (abscissa) since the establishment of the cultures.

Considering the chemical kinship by direct descent of the three sesquiterpenes tested, their differential specificity in targeting subcellular structures is noteworthy to be stressed. Even short-term exposure to sesquiterpene stress may have deleterious ecological consequences for marine microbial communities, in the field.

#### 4. DEGRADATION OF THE TOXIC TERPENOIDS

The problem was investigated as far as caulerpenyne is concerned, since it is the most abundant product in *C. taxifolia* and it is likely at the top of the biogenetic route relating all terpenoids isolated from this seaweed (c.f., Fig. 7). In the presence of oxygen and chlorophylls, provided daylight irradiation was guaranteed, caulerpenyne rapidly degraded itself photochemically (Guerriero *et al.*, 1994) involving the route reported in Figure 10, where the singlet oxygen plays the role of active agent. Under the experimental conditions of  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  and the presence of pheophytin a (a photosensitizer occurring in "aged" extracts of *C. taxifolia* and performing better than chlorophyll a and chlorophyll b) the amounts of the degradation products formed within 0.5 hrs accounted for total 75.8% yield on reacted caulerpenyne. A prolonged daylight irradiation caused the complete disappearance of caulerpenyne while the degradation products reported in Figure 10 were found in greatly diminished yield. These products resulted ineffective vs. unicellular, ciliate protists, except that trisnorcaulerpenyne which maintained some bioactivity.

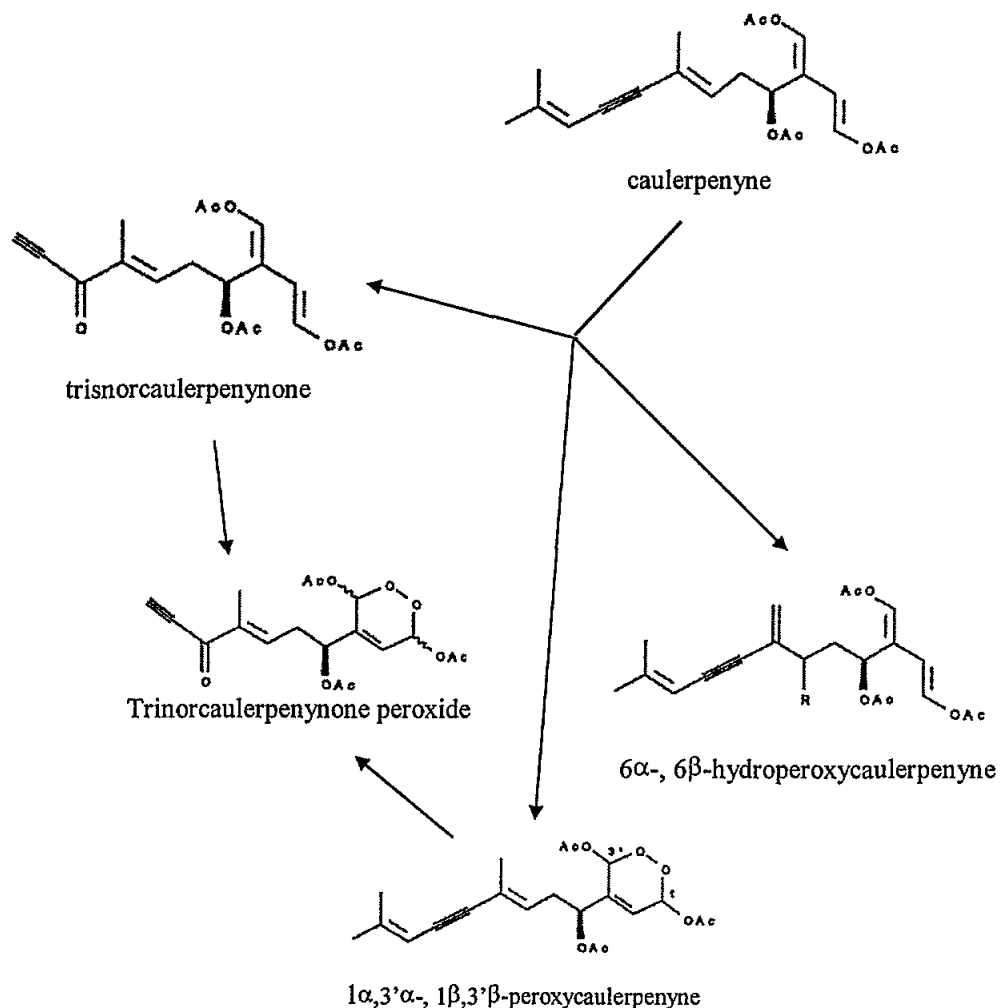


Fig. 10 Chlorophyll-photosensitized degradation of caulerpenyne.

The potential harmfulness of terpenoids produced by *C. taxifolia* is impressive. Hence, it is reassuring the possibility that the contact between chlorophylls and terpenoids, following their decompartmentalization occurring in damaged as well as likely in aging thalli, causes rapid detoxification.

## 5. ON HOW TOXIC TERPENOID MAY OPERATE

One kilo of fresh *Caulerpa taxifolia* from populations of the north-western Mediterranean Sea produces about 2 g of caulerpenyne at the end of summer-beginning of autumn. From these populations it is possible to collect, in some areas, about 4.0 Kg of fresh alga from each m<sup>2</sup> of substratum, corresponding to a production of about 80 kg of caulerpenyne per hectare; a dramatic toxic potential when it is considered that caulerpenyne expresses its toxic effects against many test models at doses as low as 1-2 µg ml<sup>-1</sup>. However, the high laboratory disclosed toxicity of caulerpenyne, as well as that of the other sesquiterpenoids, does not establish *per se* harmfulness of these substances for organisms interacting with *C. taxifolia* in nature.

Healthily reproducing specimens of ciliate protists have been repeatedly collected from both areas largely colonized by *C. taxifolia* and aquaria where the density of the seaweed thalli mimicked the naturally occurring one. It is noteworthy to stress that stocks derived from the foregoing ciliate specimens did not show any particular resistance to the *C. taxifolia* terpenoids. Furthermore, the treatment of ciliate cultures with natural seawater from seaweed crowded aquaria did not produce any evident cytotoxic effect. In such seawater, the presence of the major sesquiterpenoid produced by *C. taxifolia* in a large amount, that is, caulerpenyne, could not be detected at the HPLC level. All of this points against the occurrence of a ravaging impact of *C. taxifolia* on naturally occurring microbial communities mediated by a spontaneous releasing of constitutive terpenoids into the environment, if such a secretion occurs at all. On the other hand, collection of ciliate specimens from aquaria following drawings of large samples of seaweed fronds was unsuccessful. It is worth noticing that chopping fronds caused also the disappearance, or a sharp fall in number, of other regular members of the aquarium ecosystem, namely, crustacean larvae and small mollusks and platyhelminthes. These observations, taken together with the previous ones, are consistent with the idea that retention of the toxic substances by *C. taxifolia* requires an integrity of its thallus structure. Experiments were devised to test the effect of damaged seaweed thalli on ciliate protist cultures. Thirty grams of freshly collected seaweed were introduced into 1 liter flask filled with 500 ml of pure seawater and shaken for 5 min (Fig. 11, at the top, right). The recovered seawater medium, after filtration to remove the suspended debris, killed ciliate cultures within 1 hr. Similarly, when a single frond of *C. taxifolia* was introduced into a round Petri dish containing 10 ml of a ciliate culture and it was broken to bits with scissors, ciliate protists died within few minutes (Fig. 11, at the bottom, right). It may be argued that naturally occurring ciliate communities living in the area colonized by *C. taxifolia* are in danger of extinction following an event vexing the seaweed, for example, after a sea storm. Following homogenization and centrifugation at 3,000 r.p.m. x 1 min, *C. taxifolia* produced three fractions of different color: green, the upper and the lower fractions, yellow the middle one. This last, filtered through a sterile Millex-AA filter unit having 0.2  $\mu$ m diameter pores produced a clear (yellow) fluid which resulted largely toxic toward ciliates; even a 2% seawater solution of this yellow fraction resulted active toward all the ciliate strains tested, whereas a 1% solution affected viability of 51% of the strains. The upper green fraction, including mainly chloroplasts, did not express any bioactivity. The lower green fraction comprised the largest *C. taxifolia* debris, thus not being workable for cytotoxicity tests. The green seaweed *Bryopsis maxima* Okamura, and the red seaweeds *Sphaerococcus coronopifolius* (Good. & Woodw.) C. Ag., as well as *Laurencia microcladia* Kützning, handled according to the same aforementioned protocol, served as controls. They did not produce any effect on the ciliate cultures, although the last two seaweeds, collected from the locality, Il Rogiolo, are quite rich in biologically active metabolites (Guella *et al.*, 1992). Surprisingly, the known toxic terpenoids isolated from *C. taxifolia* were disclosed only into the lower green fraction (comprising the largest seaweed debris), but neither in the upper green nor in the middle yellow fractions; this last being highly toxic. It can be concluded that, in addition to the already isolated and characterized terpenoids of *C. taxifolia*, further water soluble and highly toxic factors wait to be disclosed.

The known terpenoids are water insoluble and remain closely associated to the seaweed structural parts; they must be associated to an organic solvent to be brought into solution, as it is done *in vitro* tests. Hence, they do not represent an actual ecological risk for the organismic communities. The possibility exists, however, that the terpenoids at issue can express their potential harmfulness entering organisms together with the particulate food and passing into solution in the presence of digestive juices. This needs to imply a previous vexing treatment of the *C. taxifolia* thalli. However, up to now there is not convincing evidence for serious diseases following natural occurring interactions with *C. taxifolia*.

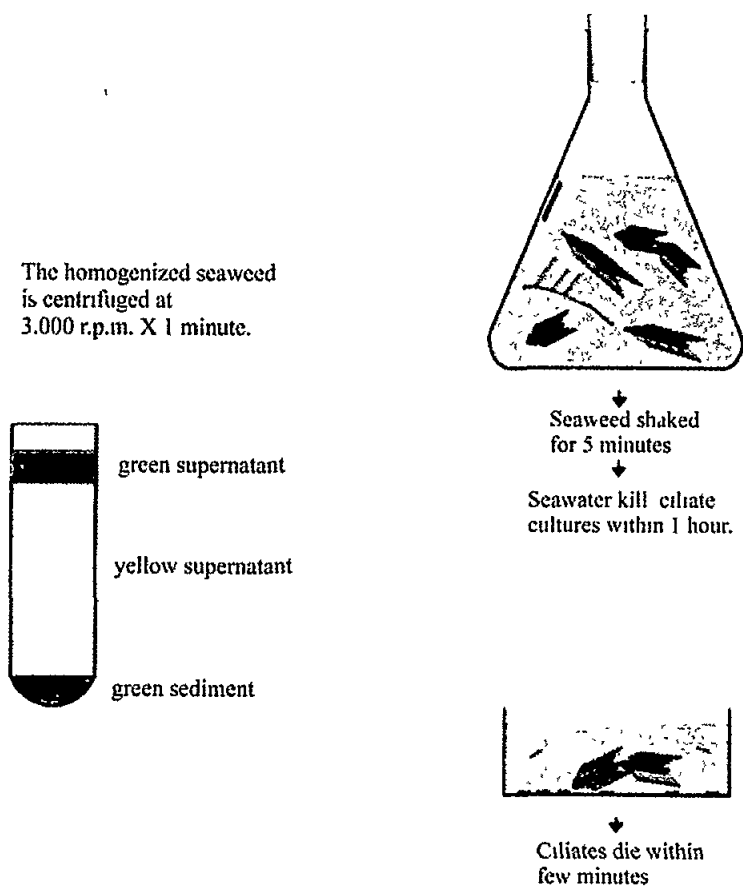


Fig. 11 Bioactivity of factors released into the medium by damaged thalli of *Caulerpa taxifolia*

## 6. ACKNOWLEDGMENTS

This work has been supported by U.E. (LIFE Program no. 95/A31/EPT/782 and NTERREG II, Regione Toscana [Provincia di Livorno]-Alta Corsica) and Regione Toscana, III Programma Ricerca Sanitaria Finalizzata, Progetto no. 338/A.

## 7. REFERENCES

- Amico, V., G. Oriente, C. Piattelli, E. Fattorusso, S. Magno and L. Mayol (1978), Caulerpenyne an unusual sesquiterpenoid (sic) from the green alga *Caulerpa prolifera*. *Tetrahedron Lett.*, 38:3593-3596
- Boudouresque, C.F., A. Meinesz, M.A. Ribera and E. Ballesteros (1995), Spread of the green alga *Caulerpa taxifolia* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean: possible consequences of a major ecological event. *Scientia Marina*, 59:21-29
- Cimino, G., A. Crispino, V. Di Marzo, M. Gavagnin and J.D. Ros (1990), Oxytoxins, bioactive molecules produced by the marine opisthobranch mollusc *Oxynoe olivacea* from a diet-derived precursor. *Experientia*, 46:767-770
- Dini, F. and D. Nyberg (1993) Sex in ciliates. In: *Advances in Microbial Ecology*, edited by J. Gwynfryn Jones. New York, Plenum Press, pp.85-153

- Dini, F., G. Rosati, F. Erra, F. Verni and F. Pietra (1994), The environmental toxicity of secondary metabolites produced by the Mediterranean-adapted seaweed *Caulerpa taxifolia* using marine ciliate protists as a model. *In*: First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, C.F. Maines and V. Gravez, Nice, GIS Posidonie publ., pp.203-207
- Dini, F., C. Capovani, M. Durante, M. Pighini, N. Ricci, A. Tomei and F. Pietra (1996), Principles of operation of the toxic system of *Caulerpa taxifolia* that undertook a genetically conditioned adaptation to the Mediterranean Sea. *In*: Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gómez and V. Gravez. Barcellona, Publicacions Universitat Barcelona, pp.247-254
- Durante, M., C. Geri, M. Buiatti, M. Ciomei, E. Cecchini, G. Martini, R. Parenti and L. Giorgi (1986), A comparison of genome modification leading to genetic and epigenetic tumorous transformation in *Nicotiana* spp. tissue cultures. *Dev.Genet.*, 7:51-64
- Giannotti, A., E. Ghelardi and S. Senesi (1994), Characterization of seawater bacterial communities within environments colonized by the tropical green seaweed *Caulerpa taxifolia*. *In*: First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, C.F. Maines and V. Gravez, Nice, GIS Posidonie publ., pp.197-201
- Guella, G., I. Mancini and F. Pietra (1992), C<sub>15</sub> acetogenins and terpenes of the dictyoceratid sponge *Spongia zimocca* of Il Roggiolo: a case of seaweed-metabolite transfer to, and elaboration within a sponge? *Comp.Biochem.Physiol.*, 103:1019-1023
- Guerriero, A., A. Meinesz, M. D'ambrosio and F. Pietra (1992), Isolation of toxic and potentially toxic sesqui- and monoterpenes from the tropical green seaweed *Caulerpa taxifolia* which has invaded the region of Cap Martin and Monaco. *Helv.Chim.Acta*, 75:689-695
- Guerriero, A., F. Marchetti, M. D'ambrosio, S. Senesi, F. Dini and F. Pietra (1993) New ecotoxicologically and biogenetically relevant terpenes of the tropical green seaweed *Caulerpa taxifolia* which is invading the Mediterranean. *Helv.Chim.Acta*, 76:855-864
- Guerriero, A., D. Depertori, M. D'Ambrosio, M. Durante, F. Dini and F. Pietra (1994), Chlorophyll-sensitised photodegradation of caulerpenyne; a potentially harmful sesquiterpenoid from tropical green seaweeds in the genus *Caulerpa*. *J.Chem.Soc., Chem.Commun.*, 12:30-32
- Meinesz, A. and B. Hesse (1991), Introduction et invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée nord-occidentale. *Oceanol.Acta*, 14:415-426
- Meinesz, A., J. De Vaugelas, B. Hesse and X. Mari (1993), Spread of the introduced green alga *Caulerpa taxifolia* in northern Mediterranean waters. *J.Appl.Phycol.*, 5:141-147

## EST-IL POSSIBLE DE CONTRÔLER L'EXPANSION DE *CAULERPA TAXIFOLIA* EN MEDITERRANÉE? PROPOSITIONS POUR UNE STRATÉGIE

par

Vincent GRAVEZ<sup>1</sup>, Charles-F. BOUDOURESQUE<sup>1,2</sup>, Alexandre MEINESZ<sup>1,3</sup> et Jean-Michel COTTALORDA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> GIS Posidonie, Parc Scientifique & Technologique de Luminy, route de Luminy, case 901, 13288 Marseille cedex 09, France

<sup>2</sup> Centre d'Océanologie de Marseille, UMR CNRS n°6540 «DIMAR», Faculté des Sciences de Luminy, route de Luminy, case 901, 13288 Marseille cedex 09, France

<sup>3</sup> Laboratoire Environnement Marin Littoral, Université de Nice Sophia Antipolis, avenue de Valrose, 06034 Nice Cedex, France

### ABSTRACT

*Is it possible to control the spread of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean sea? Proposal for a strategy*

The spread of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean sea appears to be a major threat to its biodiversity, ecodiversity and human activities. Today, despite repeated calls from the scientific community, very few concrete actions have taken place in order to try to control this spreading; in any case, these have only been carried out by research organisms and local or regional authorities.

Today, it appears that the total eradication of the Mediterranean strain of this alga is no longer a realistic objective. So, the control of the spread of this alga should now be considered in a much broader sense. The strategy that should be adopted should aim to :

- (i) continue the follow up of the spread and the study of the phenomenon;
- (ii) to prevent the contamination of new sites and countries;
- (iii) to preserve patrimonial sites;
- (iv) to slow down the spreading by control of existing colonies.

This strategy should be modulated, country by country, considering actual state of settlements and risks of contamination by this species.

The evaluation of the risk of contamination should be done for each site/country by studying the spreading vectors, mainly anthropics ones. A convention, based on setting up schedule of effective measures should be adopted, at the highest levels, by all neighbouring countries of the Mediterranean sea.

### RESUME

L'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée représente un risque majeur pour la biodiversité, l'écodiversité et les activités humaines. Aujourd'hui, malgré les appels répétés des scientifiques, peu d'actions concrètes de contrôle de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* ont été réalisées. Elles sont le fait d'organismes de recherche et de volontés locales ou régionales.

Il apparaît maintenant que l'éradication totale de la souche de *Caulerpa taxifolia* de Méditerranée n'est plus un objectif réaliste. Le contrôle de l'expansion de cette algue doit donc s'entendre dans un sens élargi. La stratégie qui devrait être, selon nous, adoptée doit viser :

- (i) à poursuivre le suivi de l'expansion et l'étude du phénomène;
- (ii) à prévenir la contamination de nouveaux sites et pays;
- (iii) à préserver les sites dont l'importance est patrimoniale;
- (iv) à ralentir la vitesse d'expansion par le contrôle des colonies existantes.

Cette stratégie doit être modulée, pays par pays, en fonction des risques ou de l'état actuel de contamination par cette espèce envahissante.

L'évaluation de l'importance du risque doit être réalisée pour chaque pays/site par l'étude des vecteurs, notamment anthropiques, de la dissémination. Enfin, une convention basée sur un calendrier de mise en place de mesures effectives, comprenant la recherche des financements nécessaires, devrait être adoptée au plus haut niveau, par les pays riverains de la Méditerranée.

## 1. INTRODUCTION

Lors du 2nd « International Workshop on *Caulerpa taxifolia* », tenu à Barcelone en 1994, et clôturant le premier programme d'étude réalisé sous l'égide de l'Union Européenne, les scientifiques présents ont tenu à adopter un texte commun - l'Appel de Barcelone - alertant les autorités sur le risque de l'expansion du phénomène en Méditerranée (« *Caulerpa taxifolia* : confirmation d'un risque majeur pour les écosystèmes littoraux de Méditerranée » ; *in Ribera et al.*, 1996). Ce texte indique notamment : « *Les scientifiques font leur travail de recherche et prennent la responsabilité d'alerter les autorités. Il appartient maintenant aux gouvernements des pays concernés, ainsi qu'aux organismes internationaux en charge de l'environnement de mettre en oeuvre le principe de précaution (dont fait état la Convention sur la diversité biologique de Rio de Janeiro<sup>1</sup>) et de définir une stratégie internationale cohérente adaptée au problème posé* ».

En effet, avec la découverte de colonies de *C. taxifolia* dans 5 pays riverains de la Méditerranée (Monaco, la France, l'Italie, l'Espagne et la Croatie), l'expansion de *C. taxifolia* apparaît clairement comme un phénomène largement transfrontalier. A partir de ce constat, la mise en oeuvre du principe de précaution et l'adoption d'une stratégie internationale coordonnée de contrôle du phénomène doit être officialisée. Cette stratégie internationale coordonnée ne pourra toutefois voir le jour que si elle est fortement soutenue par les pays riverains, dans un cadre réglementaire reconnu et sous l'égide d'institutions supra-nationales.

Le premier pas vers la mise en place d'une stratégie internationale est donc la **sensibilisation et l'information des scientifiques et des décideurs** des différents pays riverains de la Méditerranée. Le séminaire d'Héraklion est, à ce titre, décisif.

---

<sup>1</sup> - «... lorsqu'il existe une menace de réduction sensible ou de perte de la diversité biologique, l'absence de certitudes scientifiques totales ne doit pas être invoquée comme raison pour différer les mesures qui permettraient d'en éviter le danger ou d'en atténuer les effets... ». Extrait du préambule de la Convention sur la diversité biologique, PNUE, Rio de Janeiro, 5 juin 1992

### 1.1 L'appréciation du risque est basée sur une importante somme de connaissances

Depuis 1991, date de la première publication sur *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée (Meinesz & Hesse, 1991), de nombreux travaux ont été réalisés et ont donné lieu à une abondante littérature sur les différents aspects du phénomène (tableau 1). Il est ainsi probable qu'aucun cas d'espèce marine envahissante dans le monde n'est autant documenté (Boudouresque *et al.*, 1998). L'expérience acquise dans le cadre de deux programmes européens et de nombreux programmes régionaux et nationaux, par 265 chercheurs de 67 organismes méditerranéens, permet d'une part, de confirmer l'importance du risque et, d'autre part, de définir les axes d'une stratégie cohérente de contrôle de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée.

Ces travaux, qui ont été présentés dans le cadre de 6 séminaires spécifiques ainsi que des séminaires de formation pour des scientifiques de pays non encore atteints par *C. taxifolia*, ont été accompagnés d'un important effort d'information et de sensibilisation du grand public et des décideurs (tableau 1 et voir également chap. 2.2.2).

Tableau 1

Analyse de la documentation scientifique publiée sur *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée en fonction des thèmes traités et des types d'ouvrages (d'après la revue bibliographique de Boudouresque *et al.*, 1998). La colonne « revues internationales » regroupe les revues scientifiques internationales indexées au Scientific Citation Index avec un coefficient élevé. Les documents de sensibilisation, généralement diffusés en plusieurs milliers d'exemplaires, et les articles concernant la stratégie de communication sont comptabilisés à part. La revue bibliographique, mise à jour, peut également être consultée sur internet : <http://www.com.univ-mrs.fr/basecaul.htm>.

«L'ESPECE MARINE ENVAHISSANTE  
LA MIEUX DOCUMENTEE»

TYPES DE DOCUMENTS SCIENTIFIQUES	REVUES INTERNATIONALES	
	REVUES INTERNATIONALES	AUTRES
IMPACT/COMPETITION	14	73
TOXICOLOGIE/CHIMIE	14	43
EXPANSION/MODELISATION/CARTOGRAPHIE	5	48
SYNTHESES, REVUES BIBLIOGRAPHIQUES	5	37
LUTTE/CONTROLE/LEGISLATION		29
TAXONOMIE/GENETIQUE/PHYSIOLOGIE	8	15
<b>TOTAL</b>	<b>46</b>	<b>245</b>
SENSIBILISATION		53
STRATEGIE DE COMMUNICATION		14



## 1.2 D'importantes convention internationales prennent en compte le problème des espèces introduites

L'enjeu constitué par l'expansion des espèces introduites sur la biodiversité et les habitats a été reconnu et formalisé aux plus hauts niveaux (de Klemm, 1997). La **Convention sur la diversité biologique** de Rio de Janeiro (juin 1992) prévoit notamment que chaque partie «*empêche d'introduire, contrôle ou éradique les espèces exotiques qui menacent des écosystèmes, des habitats ou des espèces.*» (art. 8h de la Convention). Plus précisément, le Protocole relatif aux aires spécialement protégées et à la diversité biologique en Méditerranée de la **Convention de Barcelone** (juin 1995), qui lie les pays riverains de la Méditerranée, prévoit que les Parties doivent prendre «*toutes les mesures appropriées pour réglementer l'introduction volontaire ou accidentelle dans la nature d'espèces non indigènes... et interdire celles qui pourraient entraîner des effets nuisibles sur les écosystèmes, habitats ou espèces* (art. 13.1) ». Ces mêmes parties doivent également s'efforcer «*de mettre en oeuvre toutes les mesures possibles pour éradiquer les espèces qui ont déjà été introduites lorsqu'après évaluation scientifique il apparaît que celles-ci causent ou sont susceptibles de causer des dommages aux écosystèmes, habitats ou espèces dans la zone d'application du [présent] protocole* (art. 13.2)».

Aujourd'hui, quatorze années après l'introduction de *C. taxifolia* en Méditerranée, et malgré les appels répétés des scientifiques étudiant le phénomène, force est de reconnaître que peu d'actions concrètes de contrôle ont été réalisées. Elles sont pour la plupart le fait d'organismes de recherche et de volontés locales ou régionales (études, opérations de sensibilisation, tentatives isolées de contrôle des colonies en Croatie, aux Baléares et dans le Parc national de Port-Cros en France).

## 2. ÉLÉMENTS POUR UNE STRATÉGIE DE CONTRÔLE

### 2.1 Poursuivre et pérenniser l'étude et le suivi du phénomène, identifier les pôles d'expertises

Même s'il est fortement probable que de nombreuses colonies de *C. taxifolia* ne soient pas encore découvertes l'expansion de cette espèce en Méditerranée ainsi que de sa cinétique sont bien connues. Il est d'ailleurs à noter qu'il s'agit de l'espèce marine envahissante qui a fait l'objet du suivi le plus précis de son expansion. Ceci a été rendu possible grâce aux travaux cartographiques des équipes universitaires des pays concernés et à l'incrémentation régulière d'un Système d'Information Géographique, hébergé à l'Université de Nice-Sophia Antipolis. Ceci permet la réalisation de rapports réguliers, depuis 1991, sur l'état de l'expansion (*cf Meinesz et al., 1997*). Ces états cartographiques sont un élément fondamental d'une stratégie de contrôle; c'est en effet sur une telle base, comme cela se pratique en milieu terrestre, que des opérations de gestions, le cas échéant de contrôle, peuvent être programmés. Ces suivis de l'expansion doivent donc être pérennisés.

En ce qui concerne la gestion du phénomène, les recherches qui doivent être favorisées sont celles qui sont susceptibles de déboucher sur des applications en terme de contrôle des peuplements : caractéristiques de la souche méditerranéenne de *C. taxifolia*, exigences écologiques, physiologie et modalités de régénération, de multiplication et de reproduction, étude des facteurs limitants en Méditerranée et dans les populations naturelles. Par ailleurs, les activités de l'homme en mer étant un des vecteurs de la dissémination, l'évaluation du risque de la contamination d'un pays, d'une région ou d'un site peut être faite par l'étude des flux de bateaux de plaisance en Méditerranée.

La stratégie de contrôle de l'expansion de *C. taxifolia* doit donc pouvoir s'appuyer sur un **réseau d'étude et de suivi de l'expansion, de sensibilisation** et, selon le cas, **de structures opérationnelles de validation** lorsqu'une nouvelle colonie est signalée. De fait, le réseau

international mis en place, depuis 1992, dans le cadre des deux programmes européens, constitue une structure efficace qu'il conviendrait de pérenniser et d'élargir avec des moyens renforcés. Les points nodaux de ce réseau, étendu à l'ensemble de la Méditerranée, doivent être constitués des organismes disposant de moyens de communication, de logistique et d'opérateurs en mer pour chacune des régions méditerranéennes (instituts nationaux et régionaux, laboratoires universitaires, personnel des aires marines protégées). Une contribution peut également être apportée par les ONG, notamment en ce qui concerne la sensibilisation du grand public et des usagers et le « *lobbying* » auprès des décideurs.

## 2.2 Adopter des mesures de prévention

Les recherches sur *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée mettent clairement en évidence que les activités humaines en mer sont un vecteur important de la dissémination de *Caulerpa taxifolia*. Par ailleurs, *Caulerpa taxifolia* a très probablement été introduite par le circuit aquariophile. La lutte contre la progression de *Caulerpa taxifolia* est donc indissociable de mesures officielles et pérennes de **prévention** destinées (i) à éviter de nouvelles contaminations à partir d'aquariums privés ou publics et (ii) à éviter sa dissémination anthropique à partir des peuplements existants.

### 2.2.1 Adopter des mesures réglementaires et de contrôle

Pour éviter de nouvelles contaminations, il est indispensable que des **dispositions réglementaires** interdisant la vente, l'achat, le transport et la détention de *Caulerpa taxifolia* soient adoptées par l'ensemble des pays riverains de la Méditerranée. Malheureusement, on observe que dans les deux pays où de telles mesures ont été adoptées (l'Espagne et la France) *Caulerpa taxifolia* est toujours en vente dans les magasins d'aquariophilie. Il convient donc à l'évidence d'accompagner ces interdictions d'une **publicité** adéquate, d'adopter des **mesures de contrôle** et, le cas échéant de mesures de **répression**.

Par ailleurs, le personnel chargé de l'application de ces réglementations sur le terrain doit recevoir des instructions et une formation spécifique.

### 2.2.2 Informer et sensibiliser

**L'information et la sensibilisation** des usagers de la mer et du grand public apparaissent comme des outils indispensables d'une stratégie de ralentissement du phénomène. Ces actions, plus particulièrement ciblées vers les plaisanciers (petite navigation côtière de proximité, croisières de longue distance), les métiers de la pêche et les clubs de plongée, visent à **une prise de conscience du rôle de l'homme comme vecteur de dissémination** de l'algue.

Le message, simple, doit inciter les usagers à vérifier et nettoyer les engins de mouillages (ancres, chaînes), de pêche (filets, ganguis) et le matériel de plongée sous-marine, de manière à éviter tout rejet en mer et dans les bassins portuaires.

De même, il apparaît que **les usagers jouent un rôle fondamental dans la signalisation** et donc le suivi de l'expansion de l'algue. C'est ainsi que dans les documents d'information et de sensibilisation qui ont été réalisés à ce jour, apparaissent systématiquement les coordonnées des équipes auprès desquelles la découverte de *C. taxifolia* peut être signalée. Ceci est un élément important puisqu'à ce jour 90% des stations méditerranéennes de *C. taxifolia* ont été connues par des usagers sensibilisés par les campagnes d'informations.

Il est d'ailleurs intéressant de constater (figure 1) que 70% des colonies de *C. taxifolia* ont été découvertes alors qu'elles présentaient des surfaces inférieures à quelques 20 m<sup>2</sup>, c'est-à-dire des colonies relativement récentes (d'après les données de Meinesz *et al.*, 1997). La

découverte des colonies de *C. taxifolia* peut donc être - au moins dans les pays où la plongée sous-marine est une activité bien développée -, relativement précoce. Ceci montre par ailleurs que les usagers sont perméables aux campagnes d'information et de sensibilisation et il est tout à fait probable qu'elles aient permis d'éviter des disséminations de l'algue par l'homme.

### TAILLE DES COLONIES DE *CAULERPA TAXIFOLIA* AU MOMENT DE LEUR DECOUVERTE

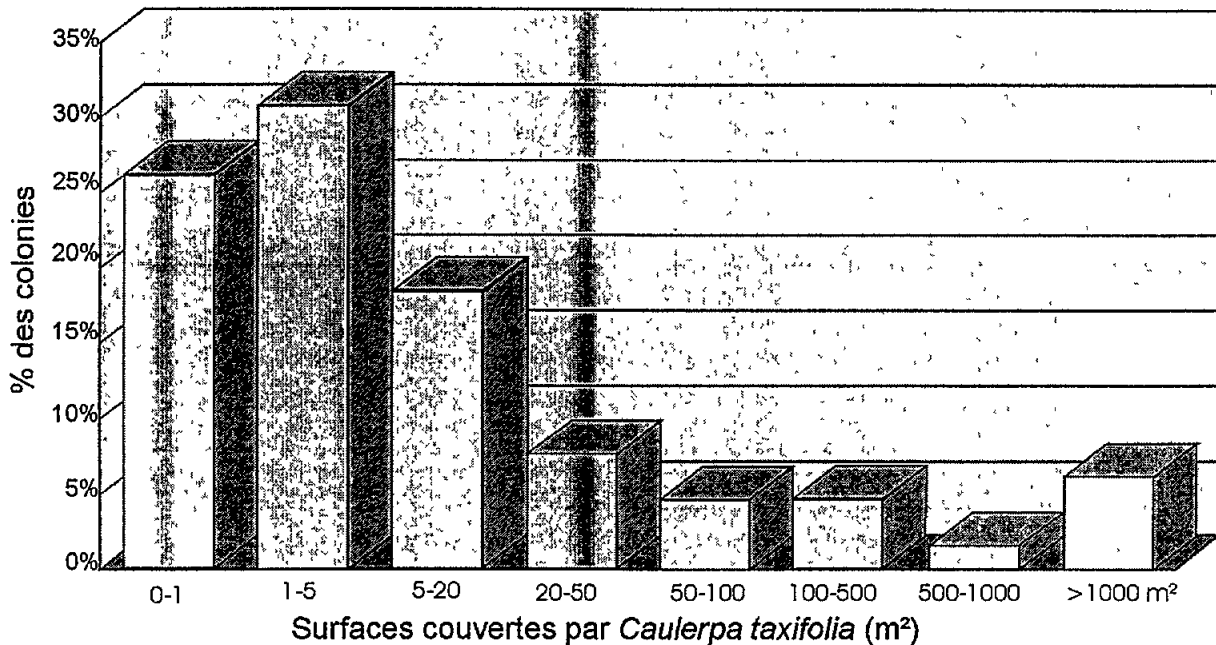


Fig. 1 Surfaces des colonies de *Caulerpa taxifolia* au moment de leur découverte (d'après les données de Meinesz *et al.*, 1997).

De telles actions de sensibilisation sont réalisées chaque année en Méditerranée nord-occidentale, depuis 1991, par des laboratoires universitaires dans le cadre des programmes régionaux, nationaux et européens. En 1997, ces campagnes ont été réalisées dans 7 pays (l'Espagne, la France, Monaco, l'Italie, la Tunisie, la Croatie et la Turquie) notamment par la diffusion dans les ports, clubs, structures fédératives et syndicats professionnels de près de 70 000 brochures en 8 langues. Les médias ont également été fortement associés à ces campagnes d'informations (Meinesz *et al.*, 1997 recensent 664 articles pour la seule presse écrite en Europe entre 1990 et 1996) ce qui a certainement favorisé la prise de conscience des usagers même si de nombreux éléments factuels se sont trouvés déformés par des retranscriptions parfois sensationnalistes voire fantaisistes.

Le bilan apparemment positif de ces actions d'information et de sensibilisation ne doit toutefois pas faire oublier qu'elles ont été réalisées par des organismes dont la mission première est la recherche. Les autorités des pays riverains de la Méditerranée doivent maintenant prendre le relais de ces opérations et attribuer des missions d'information, de conseil et le cas échéant de contrôle aux autorités portuaires et maritimes.

### 2.3 Mettre en place des mesures de contrôle

La mise en place de mesures de prévention telles que celles mentionnées ci-dessus serait peu efficace si, dans le même temps, on n'essayait pas de contrôler la dissémination à partir des sites déjà colonisés par *C. taxifolia*. Ce contrôle peut être tenté par l'adoption de nouvelles pratiques par les usagers de la mer, par la mise en défend des zones colonisées, sources de la dissémination, et par la réalisation d'opérations de destruction des peuplements de *C. taxifolia* eux-mêmes.

#### 2.3.1 Gestion des sites fortement colonisés

Afin d'éviter la dissémination de fragments de *C. taxifolia* par l'homme à partir des peuplements existants, il convient en premier lieu, et parallèlement aux campagnes de sensibilisation, d'**informer les usagers sur la localisation des sites colonisés**. Ceci peut être réalisé par la signalisation des zones atteintes par des systèmes de bouées en surface, par la mention de ces zones sur les cartes marines ou les livres de bord (qui sont remis à jour plus fréquemment) et par leur affichage dans les ports.

Il peut également être choisi d'adopter une **réglementation spécifique à ces sites** (interdiction du mouillage et de la pêche) et le cas échéant de mettre en place des **aménagements** permettant la réduction du nombre de mouillage de bateau (lignes de mouillage) ou l'utilisation des arts traînants dans les sites colonisés (récifs anti-chaluts).

Ces mesures très contraignantes, afin d'être respectées, doivent rencontrer l'**adhésion des usagers** et donc être accompagnées d'un effort particulier d'information. L'adoption de nouvelles pratiques par les professionnels (pêcheurs) sera probablement plus difficile que pour les usagers amateurs et occasionnels; on devra donc veiller à ce que ces nouvelles pratiques soient appuyées par les structures professionnelles.

Une attention particulière doit être apportée pour le cas du **dragage des bassins portuaires** atteints par *C. taxifolia*. Les bassins portuaires sont régulièrement dragués et les boues de dragages sont généralement, après autorisation des administrations, rejetées en mer. Lorsqu'il apparaît qu'un bassin portuaire est colonisé par *Caulerpa taxifolia* (actuellement, une quinzaine de ports de plaisance ou de pêche sont dans ce cas), le rejet des boues de dragage comportant des fragments de *Caulerpa taxifolia* peut être un vecteur important de dissémination.

Il est donc nécessaire :

- (i) soit de rejeter les boues de dragage à terre<sup>2</sup>;
- (ii) soit d'éviter de rejeter ces boues de dragage en mer, au moins pour un temps suffisamment long, permettant d'être tout à fait certains que les fragments qu'elles contiennent ne puissent plus se régénérer;
- (iii) soit d'éradiquer totalement *C. taxifolia* avant les travaux de dragage. Le succès de l'opération de contrôle doit impérativement être confirmé par un suivi à la fin de la période estivale suivante.

---

<sup>2</sup> - On considère que ce rejet à terre coûte en moyenne 3 fois plus cher qu'un rejet en mer.

## «... RALENTISSEMENT DE L'EXPANSION DES COLONIES TRAITEES»

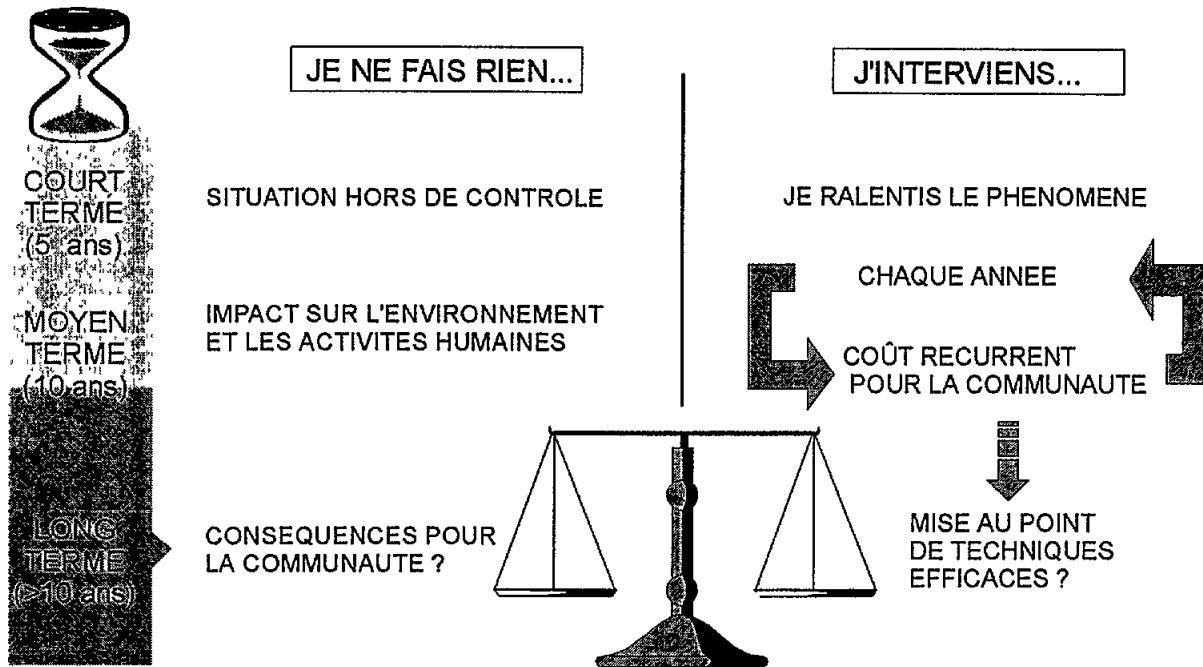


Fig. 2 Les éléments de la prise de décision pour une intervention de contrôle de colonies de *Caulerpa taxifolia*.

### 2.3.2 Développer les techniques de contrôle sur les colonies existantes

A l'heure actuelle, l'éradication de la totalité des colonies de *C. taxifolia* en Méditerranée est illusoire. Pour le moment, hormis quelques expériences isolées, **aucune technique n'a permis l'éradication totale et définitive** de colonies de *C. taxifolia* de surfaces supérieures à quelques mètres carrés. **Les opérations de contrôle ne peuvent viser, en l'état actuel, qu'au ralentissement de l'extension des colonies traitées.**

On doit toutefois considérer que, sans intervention, le phénomène de l'expansion d'une nouvelle colonie devient, de manière certaine, hors de contrôle à court terme (5 ans) et a un impact sur les activités humaines et le patrimoine naturel, à moyen terme (>10 ans). Décider d'une intervention est donc une décision de gestion importante puisque ces opérations de contrôle doivent, dans ce cas, être réalisées régulièrement. **Le coût de ces opérations - supporté par la communauté - doit donc être considéré comme récurrent.** Seule la mise au point de techniques efficaces constitue une issue durable (figure 2).

L'aspect récurrent des interventions peut donner l'impression, en première analyse, qu'elles sont inutiles. Il convient toutefois de souligner que cet aspect récurrent caractérise toutes les interventions de l'homme, en milieu continental comme en milieu marin : lutte contre les incendies de forêt, contrôle des nuisances aquatiques (p.ex. la Jacinthe d'eau *Eichhornia crassipes*, la Crépide *Crepidula fornicata*), lutte contre les marées noires, épuration des eaux, etc.

Pour le moment, seul l'arrachage, manuel ou aidé mécaniquement, a été utilisé dans des opérations de contrôle, notamment au Baléares (Grau *et al.*, 1996), en Croatie (Zavodnik *et al.*, sous presse; Zuljevic *et al.*, sous presse) et en France dans le Parc national de Port Cros (Cottalorda *et al.*, 1996; Robert & Gravez, sous presse). Ces techniques présentent des rendements de l'ordre de 1 à 10 m<sup>2</sup> par heure. Des techniques de contrôle sont actuellement développées de manière expérimentale. Il convient de leur apporter - sous contrôle scientifique - l'aide financière et technique nécessaire. Un effort particulier devra donc être réalisé par les pays déjà contaminés afin de **développer des techniques de contrôle fiables** et d'acquérir ainsi une expérience transposable. Un effort particulier doit être entrepris dans la définition de techniques de chantier dans les bassins portuaires.

Ainsi, en l'état des techniques existantes, seules une stratégie de ralentissement de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* par le contrôle des taches de petite dimension déjà localisées ou qui seront découvertes en dehors des zones fortement contaminées, peut être définie.

Cette stratégie de ralentissement nécessiterait la **définition de lignes de fronts** sur lesquelles se porteraient en priorité les efforts coordonnés; elle devrait être basée sur les 3 principes généraux suivants :

- (i) **intervenir de manière précoce** sur des colonies présentant encore une petite taille ;
- (ii) **traiter partiellement une colonie est inutile** : la recolonisation latérale à partir de la zone non traitée est très rapide;
- (iii) **retourner régulièrement sur les zones traitées** afin d'éliminer les repousses éventuelles.

Comme nous l'avons vu (figure 2), la prise en compte du facteur temps entre le moment de la découverte de nouvelles colonies de *Caulerpa taxifolia* et celui de l'intervention pour leur contrôle est déterminante. Dans le meilleur des cas, les nouvelles colonies signalées représentent une surface de quelques mètres carrés (figure 1) et l'investissement nécessaire à leur contrôle croît proportionnellement à la vitesse du développement de *Caulerpa taxifolia* (extension annuelle d'un facteur 2 à 10; Meinesz *et al.*, 1997) Il apparaît donc évident que des structures chargées de coordonner la mise en oeuvre des opérations de contrôle doivent être mises en place comme cela se pratique pour la lutte contre d'autres pollutions (notamment hydrocarbures). Ces structures devront :

- (i) étudier, cas par cas, les possibilités d'intervention;
- (ii) définir les sources de financement;
- (iii) formaliser un cahier des charges visant à optimiser les prestations de contrôle et de suivi;
- (iv) recenser les opérateurs susceptibles de réaliser ces prestations. Ces opérateurs devront, en préalable à toute intervention, recevoir une formation notamment sur les risques de la dissémination pendant les travaux de contrôle.

### 2.3.3 Etudier la faisabilité de la lutte biologique

De manière générale, face à une espèce envahissante bien implantée, l'un des rares espoirs de contrôle réside dans l'élaboration d'un programme de lutte biologique. Bien qu'il n'existe pas de précédent de lutte biologique en milieu marin, l'émergence de plusieurs invasions d'espèces marines introduites a amené des groupes différents de chercheurs à envisager la lutte biologique.

Contre *C. taxifolia*, certains mollusques Ascoglosses, se nourrissant exclusivement d'algues du genre *Caulerpa*, notamment les deux espèces tropicales *Elysia subornata* et *Oxynoe azuropunctata* (Meinesz *et al.*, 1996; Meinesz & Thibaut, sous presse), représentent un possible agent de contrôle. Si les expériences en aquarium offrent un espoir de contrôle, des expériences contrôlée *in situ* seront nécessaires pour évaluer leur efficacité. L'introduction d'agents exotiques de lutte nécessite une expertise internationale permettant de recommander ou non ce moyen de lutte (Meinesz & Thibaut, sous presse).

#### 2.4 Adapter et renforcer les mesures de prévention et de contrôle dans les sites d'importance patrimoniale

Considérant l'impact de *Caulerpa taxifolia* sur la biodiversité et l'écodiversité, une attention toute particulière devra être portée aux sites dont l'importance est patrimoniale. Ceci apparaît comme particulièrement évident lorsque l'on considère que ces sites sont des destinations privilégiées pour les plaisanciers. Ainsi, pour le seul département des Alpes-Maritimes, en France, sur 19 sites classés « Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique », 15 sont plus ou moins fortement colonisés par des peuplements de *Caulerpa taxifolia* (Gravez *et al.*, 1998).

Les aires protégées de Méditerranée possédant une composante marine, telles que celles recensées par le RAC/SPA, sont au nombre de 45 soit 553 614 ha (CAR/ASP, 1997). De nouveaux sites, par exemple ceux issus de la « Directive habitat » de l'Union européenne, s'ajouteront prochainement à ceux-ci (réseau Natura 2000). Une stratégie particulière, adaptée à la prévention et la conservation de ces sites face au danger de contamination et d'expansion d'espèces exotiques envahissantes telles que *C. taxifolia*, doit être adoptée.

Une telle stratégie peut être basée sur la **formation** du personnel et la **sensibilisation** des visiteurs. Lorsque que ces sites sont proches de zones colonisées par *C. taxifolia*, une **prospection des secteurs à risques** peut être réalisée (les zones de mouillage et les zones pratiquées par les arts traïnants) et une **réglementation des zones de mouillage** peut être adoptée, plus particulièrement pendant les fortes fréquentations des périodes estivales. Enfin, lorsqu'une colonie de *Caulerpa taxifolia* est découverte, il est nécessaire de réaliser des **opérations de contrôle**.

Une telle stratégie a été adoptée dans le Parc national de Port Cros, en France, dès 1994 (Cottalorda *et al.*, 1996; Robert & Gravez, sous-presse). La prospection des 100 ha de zones de mouillage a permis la découverte et l'élimination, à plusieurs reprises, de petites colonies de cette algue. Ainsi, il est probable que sans la mise en oeuvre de cette stratégie, plusieurs milliers de mètres carrés de *Caulerpa taxifolia* coloniseraient les fonds marins du plus ancien parc national marin en Méditerranée.

#### 2.5 Adopter un calendrier dans le cadre d'une convention internationale

Les mesures à adopter par les pays riverains de la Méditerranée doivent être effectives très rapidement. Chaque printemps, avec la reprise de la croissance des peuplements de *Caulerpa taxifolia*, le coût des interventions visant à contrôler le phénomène augmente. La multiplication des déplacements des bateaux de plaisance au cours de la saison estivale augmente les risques de dissémination. Ceci est d'autant plus inquiétant que les sites les plus fortement colonisés en Méditerranée (notamment la Côte d'Azur française et la Ligurie italienne) regroupent une très grande partie de la flotte de plaisance méditerranéenne. Or, les destinations d'un grand nombre de ces bateaux sont des sites réputés pour leurs qualités paysagères et dont l'importance est généralement patrimoniale.

Ces mesures doivent, bien entendu, être modulées, pays par pays, en fonction de l'état de l'expansion dans le pays (Espagne, France, Monaco, Italie, Croatie) ou du risque d'une

contamination (par exemple Grèce, Turquie, Tunisie, Maroc, Malte, etc). Un calendrier des actions proposées ci-dessus doit donc très rapidement être adopté par les gouvernements des pays du pourtour méditerranéen, comme par les acteurs régionaux. Les pays les plus atteints portent l'importante responsabilité de montrer l'exemple.

A la lecture des mesures recommandées ci-dessus pour la maîtrise de l'expansion de *Caulerpa taxifolia*, l'ampleur de la tâche à accomplir n'échappera à personne. Les responsabilités (niveaux décisionnels) inhérentes à la prise en charge des budgets, des maîtrises d'ouvrages et des opérations de contrôle doivent pourtant être clairement - courageusement -, définies. On veillera, dans le même temps, à ne pas différer les mesures dont le coût est marginal, voir nul, telles que les dispositions réglementaires, les instructions aux autorités maritimes et la mise en place d'une information et d'une sensibilisation des usagers.

### 3. REFERENCES

- Boudouresque, C.F., A. Meinesz and V. Gravez (1998), *Scientific papers and documents dealing with the alga Caulerpa taxifolia introduced to the Mediterranean*. Ninth edition. GIS Posidonie publishers, Marseilles, Fr. : 60 p.
- CAR/ASP (1997), *Les aires protégées de Méditerranée. De Genève 1982... à Barcelone 1995*. Centre d'Activités Régionales pour les Aires Spécialement Protégées, PAM, PNUE, Tunis, pp.1-28
- Cottalorda, J.M., P. Robert, E. Charbonnel, J. Dimeet, V. Menager, M. Tillman, J. de Vaugelas et E. Volto (1996), *Eradication de la colonie de Caulerpa taxifolia découverte en 1994 dans les eaux du parc National de Port-Cros (Var, France)*. In: *Second international workshop on Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gomez et V. Gravez, Univ. Barcelona publ., Spain, pp.149-155
- de Klemm, C. (1997), *Le Protocole relatif aux aires spécialement protégées et à la diversité biologique et Méditerranée et la Convention sur la diversité biologique. Etude comparative*. CAR/ASP, Plan d'Action pour la Méditerranée, PNUE, Tunis, pp.1-28
- Grau, A.M., S. Pou, F. Riera, E. Pastor and E. Ballesteros (1996), *Monitoring of the population of Caulerpa taxifolia in Cala d'Or (Mallorca, Western Mediterranean) : situation at the end 1994*. In: *Second international workshop on Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gomez and V. Gravez, Univ. Barcelona publ., Spain, pp.131-133
- Gravez, V., C.F. Boudouresque, A. Meinesz et J.M. Cottalorda (1998), *Eléments pour une stratégie de contrôle de l'expansion de Caulerpa taxifolia en région Provence-Alpes-Côte d'Azur*. GIS Posidonie et DIREN PACA pub, Fr. pp.1-42
- Meinesz, A. et B. Hesse (1991), *Introduction et invasion de l'algue tropicale Caulerpa taxifolia en Méditerranée nord-occidentale*. *Oceanologica Acta*, 14(4):415-426
- Meinesz, A. et T. Thibaut (sous presse), *Lutte biologique contre un agent envahissant en mer: nécessité d'une décision internationale*. In: *Third international workshop on Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, V. Gravez, A. Meinesz and F. Palluy, GIS Posidonie publ., Fr.



- Meinesz, A., J. Melnick, J. Blachier et S. Charrier (1996), Etude préliminaire, en aquarium, de deux Ascoglosses tropicaux consommant *Caulerpa taxifolia* : une voie de recherche pour la lutte biologique. In: Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gomez, and V. Gravez, Univ. Barcelona publ., Spain, pp.157-161
- Meinesz, A., J.M. Cottalorda, D. Chiaverini, M. Braun, N. Carvalho, M. Febvre, S. Ierardi, L. Mangialajo, G. Passeron-Seitre, T. Thibaut et J. de Vaugelas (1997), Suivi de l'invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* devant les côtes française de la Méditerranée: Situation au 31 décembre 1996. Laboratoire Environnement Marin Littoral édit., Université de Nice-Sophia Antipolis, 190 p. ISBN : 2-905540-22-2
- Ribera, M.A., E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gomez and V. Gravez (1996), Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*. Publications de la Universitat de Barcelona, Spain, pp.1-457
- Robert, P. et V. Gravez (sous presse), Eradication manuelle de l'algue *Caulerpa taxifolia* dans le Parc national de Port-Cros (Var, France). In: Third international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, V. Gravez , A. Meinesz and F. Palluy, GIS Posidonie publ., Fr.
- Thibaut, T., A. Meinesz, L. Burtaire, S. Charrier, L. Mangialajo, S. Ierrardi et V. Vidal (sous presse), Lutte biologique contre *Caulerpa taxifolia* : espoirs et risques d'une utilisation d'ascoglosses tropicaux et méditerranéens. In: Third international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, V. Gravez , A. Meinesz and F. Palluy, GIS Posidonie publ., Fr.
- Zavodnik, N., A. Jaklin, Z. Labura and A. Travizi (sous presse), *Caulerpa taxifolia* (Chlorophyta) on the Adriatic coast of Croatia (Malinska, Krk Island). In: Third international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, V. Gravez, A. Meinesz and F. Palluy, GIS Posidonie publ., Fr.
- Zuljevic A., B. Antolic and A. Span (sous presse), Spread of the introduced tropical green alga *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh in Starigrad bay (island Hvar, Croatia). In: Third international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, V. Gravez, A. Meinesz and F. Palluy, GIS Posidonie publ., Fr.

## IMPACT OF *CAULERPA TAXIFOLIA* ON MEDITERRANEAN FISH ASSEMBLAGES : A SIX YEAR STUDY

by

Mireille HARMELIN-VIVIEN<sup>1</sup>, Patrice FRANCOUR<sup>2</sup>, Jean-Georges HARMELIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centre d'Océanologie de Marseille, CNRS UMR 6540, Université de la Méditerranée,  
Station Marine d'Endoume, 13007 Marseille, France

<sup>2</sup> Laboratoire d'Environnement Marin Littoral, Faculté des Sciences, Université de Nice  
Sophia-Antipolis, Parc Valrose, 06108 Nice Cedex 02, France

### ABSTRACT

The influence of the introduced alga *Caulerpa taxifolia* on Mediterranean littoral fish assemblages was studied from 1992 to 1997 at Cap Martin (Menton, France). More than 1900 visual censuses were performed in invaded and reference sites mainly composed of rocky substrates and *Posidonia oceanica* seagrass beds. A significant decrease in mean species richness (-23% to -31%), mean density (-31% to -36%) and mean biomass of fish (-42% to -57%) occurred in sites colonized by *C. taxifolia* compared to reference sites. However, modifications of local fish populations differ according to species, suggesting a complex phenomenon. The importance of the initial structure and architecture of habitats on the ichthyofauna changes induced by *C. taxifolia* is discussed.

### RESUME

L'influence de l'algue introduite *Caulerpa taxifolia* sur les peuplements de poissons infralittoraux méditerranéens a été étudiée de 1992 à 1997 au Cap Martin (Menton, France). Plus de 1900 relevés visuels ont été réalisés dans des sites colonisés et des sites de référence, composés essentiellement de substrats rocheux et d'herbiers de *Posidonia oceanica*. Une diminution significative du nombre moyen d'espèces (-23% to -31%), de la densité (-31% to -36%) et de la biomasse (-42% to -57%) moyennes de poissons a été observée dans les sites colonisés par *C. taxifolia* par rapport aux sites de référence. Cependant, les modifications des populations de poissons diffèrent selon les espèces considérées, suggérant un phénomène complexe. L'importance de la structure initiale et de l'architecture des habitats sur les changements de l'ichtyofaune induits par *C. taxifolia* sont discutés.

### 1. INTRODUCTION

The tropical green alga *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh, accidentally introduced in the Mediterranean Sea for more than 14 years, colonizes all types of substrates available on coastal areas, like rocks, boulders, sandy areas and seagrass beds (Meinesz and Hesse, 1991; Boudouresque *et al.*, 1992, 1995). The colonization of all coastal habitats by *C. taxifolia* induces deep changes in algal communities and seagrass beds (Verlaque and Fritayre, 1994; Villele and Verlaque, 1995), resulting in homogeneity in type and structure of habitat available to fish (Harmelin, 1996). This colonization results in a decrease in the diversity and abundance of potential food resources for fish, compared to those presented by natural rocky bottoms and *Posidonia oceanica* seagrass beds (Bellan-Santini *et al.*, 1994).

The influence of the colonization of north-western Mediterranean coasts by *C. taxifolia* on fish assemblages has been studied since 1992 near Menton (France) (Francour *et al.*, 1994, 1995; Harmelin-Vivien *et al.*, 1996). It was demonstrated that the mean species richness, mean density and mean biomass of fish were lower in sites colonized by the introduced alga. Other studies have demonstrated a modification of endoparasitism in the labrid species *Symphodus ocellatus* (Bartoli and Boudouresque, 1997), and an increase in green colour patterns in most labrids inhabiting *C. taxifolia* meadows (Gelin *et al.*, in press).

The present paper provides a synthesis of the results obtained on the modification of fish assemblages over a six year period in sites colonized by *C. taxifolia* near Menton, compared to uncolonized reference sites. The importance of the initial structure and architecture of habitats on the modifications of ichthyofauna induced by *C. taxifolia* is discussed.

## 2. MATERIAL AND METHODS

Fish counts were performed by underwater visual censuses on transects, 20 m long x 2 m wide, following the method described in Harmelin-Vivien *et al.* (1985). The number and size of individuals were recorded for all the fish species observed on transects. Three size classes were determined for each species, small, medium and large, with the upper limit of each class corresponding to 1/3 TL max, 2/3 TL max, and the maximum total length (TL) reached by each species, as indicated in Whitehead *et al.* (1984). Biomass was calculated using the predetermined weight-size relationships calculated for each species (Francour, 1990).

Five sites were studied at Cap Martin, near Menton (France), located in shallow (2-10 m) and deep (11-20 m) coastal waters. Three sites, CT1, CT2 and CT3, were highly colonized by *Caulerpa taxifolia* since 1992, and two reference sites, Ref.1 and Ref.2, which were unaffected by the introduced alga at the beginning of the study (Fig. 1). Percentages of substrate coverage by *C. taxifolia*, other photophylic macroalgae, *Posidonia oceanica* and sand, were recorded on each transect. Two seasons were sampled each year, spring (May-June) and autumn (October-November). Each diver, well trained in fish visual census techniques, has performed counts in each site studied in order to minimize bias due to difference between observers. A minimum of 30 transects were realized at each site and season, resulting in a total of 1974 visual censuses over the 6 year study.

## 3. RESULTS

### 3.1 Coverage by *Caulerpa taxifolia*

In the two shallow sites colonized by *C. taxifolia* (CT1 and CT2), the cover percentage of the introduced alga was high and varied seasonally (Fig. 2). Lower values have been recorded in spring (61% to 84%) and higher values in autumn (79% to 95%). In the deep colonized site (CT3), the *C. taxifolia* cover was lower, with more pronounced seasonal variations (24% to 81%). The two reference sites (R1 and R2), free of any *C. taxifolia* in 1992, began to be invaded by 1993/94. The colonization by the introduced alga was more rapid in the deep site (R2), which presented a high cover percentage in autumn 1997 (72%), close to the one observed in CT3. In the shallow reference site (R1), *C. taxifolia* colonized 24% of the substrate at the same period (autumn 1997).

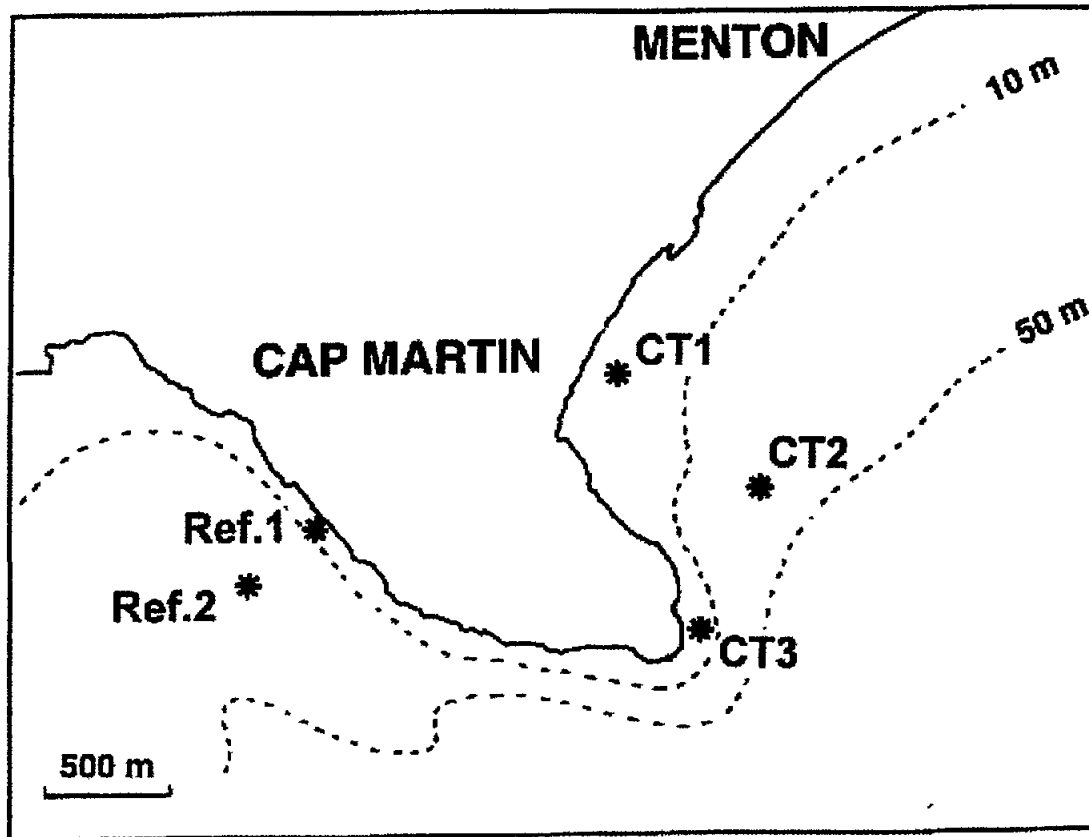


Fig. 1 Localization of sites colonized by *Caulerpa taxifolia* in shallow (CT1 and CT3) and deep waters (CT2), and reference sites (shallow: Ref.1; deep: Ref.2) at Cap Martin, near Menton, France.

### 3.2 General specific composition of fish assemblages

The total composition of the fish assemblage at each site was similar in colonized and reference sites, with 30 to 35 species observed per site and season. Two families, Labridae (13 spp) and Sparidae (11 spp), were highly diversified. The other families were far less diversified, Scorpaenidae (3 spp), Serranidae (2 spp), Pomacentridae (1 spp), Mullidae (1 spp), even if also important in density and biomass. In spite of an overall similar specific composition, the relative importance of labrids and sparids strongly differed in terms of biomass in colonized and reference sites (Fig. 3). Sparids dominated in biomass in reference sites (40% vs 22% in sites colonized), whereas labrids from the genus *Symphodus* predominated in sites colonized by *C. taxifolia* (34% vs 16% in reference sites).

### 3.3 Modification of mean species richness, density and biomass

In contrast to the total species richness of fish which showed no difference between sites, the mean species richness (i.e. the number of species recorded per transect) was consistently lower in sites colonized by *C. taxifolia* over the 6 year period, and the difference was always statistically significant (Fig. 4) (Francour *et al.*, 1994, 1995). Similarly, statistically significant decreases in mean density and mean biomass of fish were observed in *C. taxifolia* meadows compared to reference sites during this period.

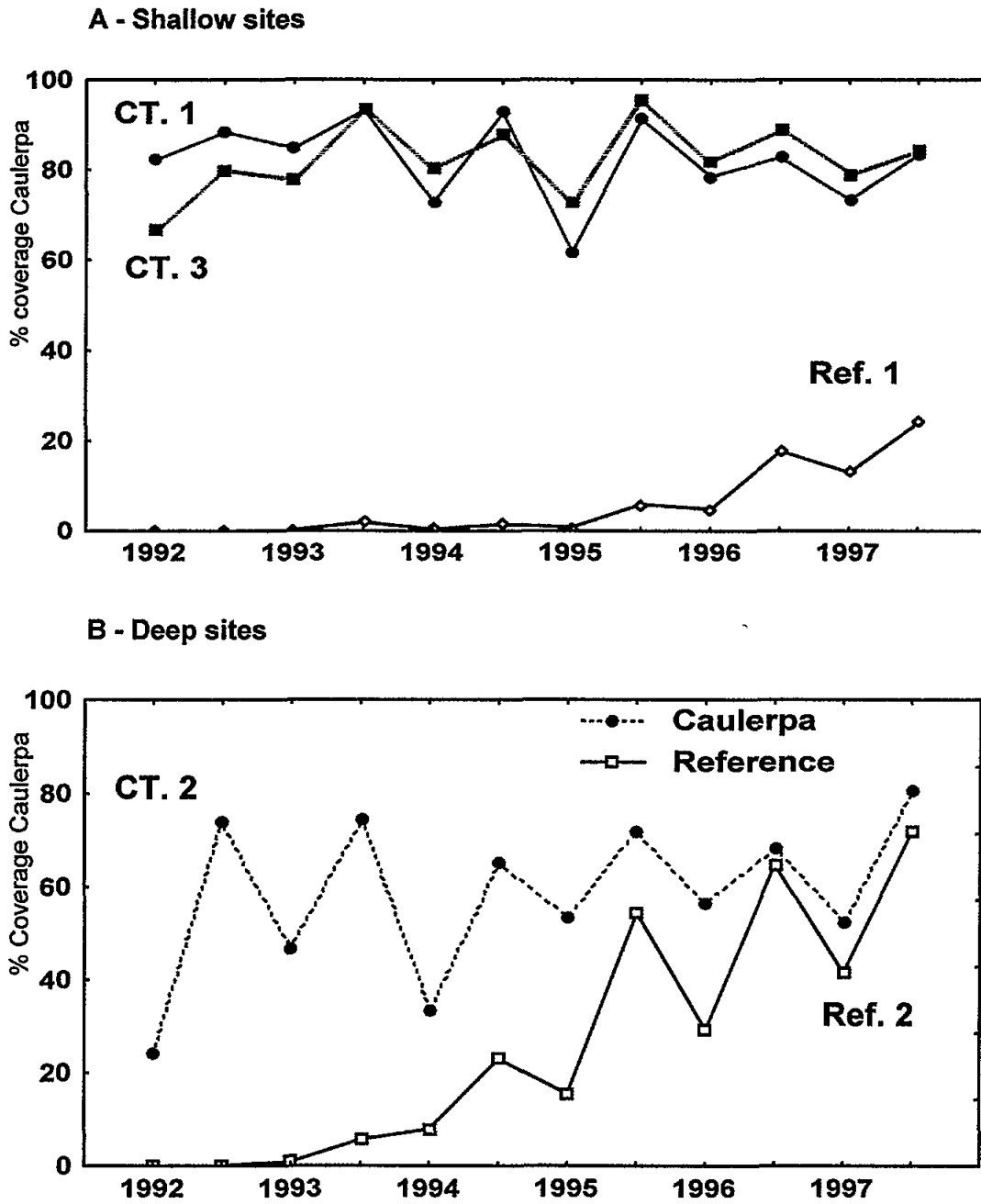


Fig. 2 Variation in cover percentage by *Caulerpa taxifolia* in shallow (A) and deep sites studied at Cap Martin from spring 1992 to autumn 1997.

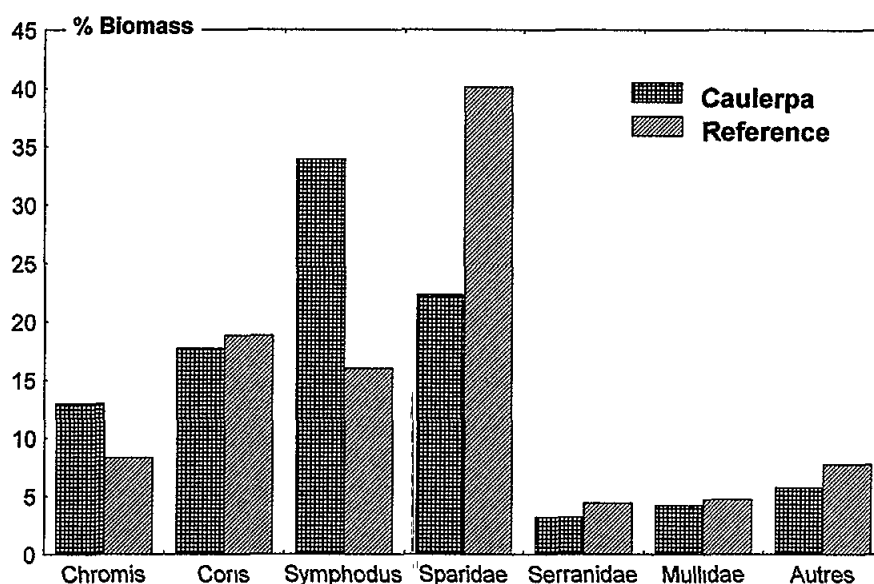


Fig. 3 Relative importance of the main fish families and genus in sites colonized by *Caulerpa taxifolia* and reference sites at Cap Martin expressed as percentages of total biomass.

To summarize all the data obtained, the mean number of species was 23% to 31% lower in *C. taxifolia* meadows according to depth, the mean density decreased by more than 30%, and the mean biomass decreased by 42% to 57% in the sites colonized (Table 1).

Table 1

Decrease in mean species richness (number of species per transect), mean density (number of fish.10 m<sup>-2</sup>) and mean biomass (g.10 m<sup>-2</sup>) of fish assemblages in sites colonized by *Caulerpa taxifolia* compared to reference sites at Cap Martin, expressed as percentages of reduction.

	Shallow sites	Deep sites
MEAN SPECIES RICHNESS (Nb Spp/transect)	-23 %	- 31 %
MEAN DENSITY (Nb fish.10 m <sup>-2</sup> )	- 36 %	- 31 %
MEAN BIOMASS (g.10 m <sup>-2</sup> )	- 57 %	- 42 %

### 3.4 Modification in the size structure of fish populations

The size class structure of local populations differed in colonized and reference sites. The relative importance of large size individuals decreased in *C. taxifolia* meadows, whereas small individuals increased, resulting in a reduction of the mean size of individuals in this environment. This was particularly obvious for some commercial species, like the white seabream *Diplodus sargus*, which presented a mean individual weight of 317 g in reference sites and only 185 g in the sites colonized by *C. taxifolia*. In a similar way, the mean

proportion of small individuals of the comber *Serranus cabrilla* was 19% in reference sites and reached 43% in *C. taxifolia* meadows, explaining in part the observed decrease in mean fish weight and total biomass in these sites (Gelin, 1996).

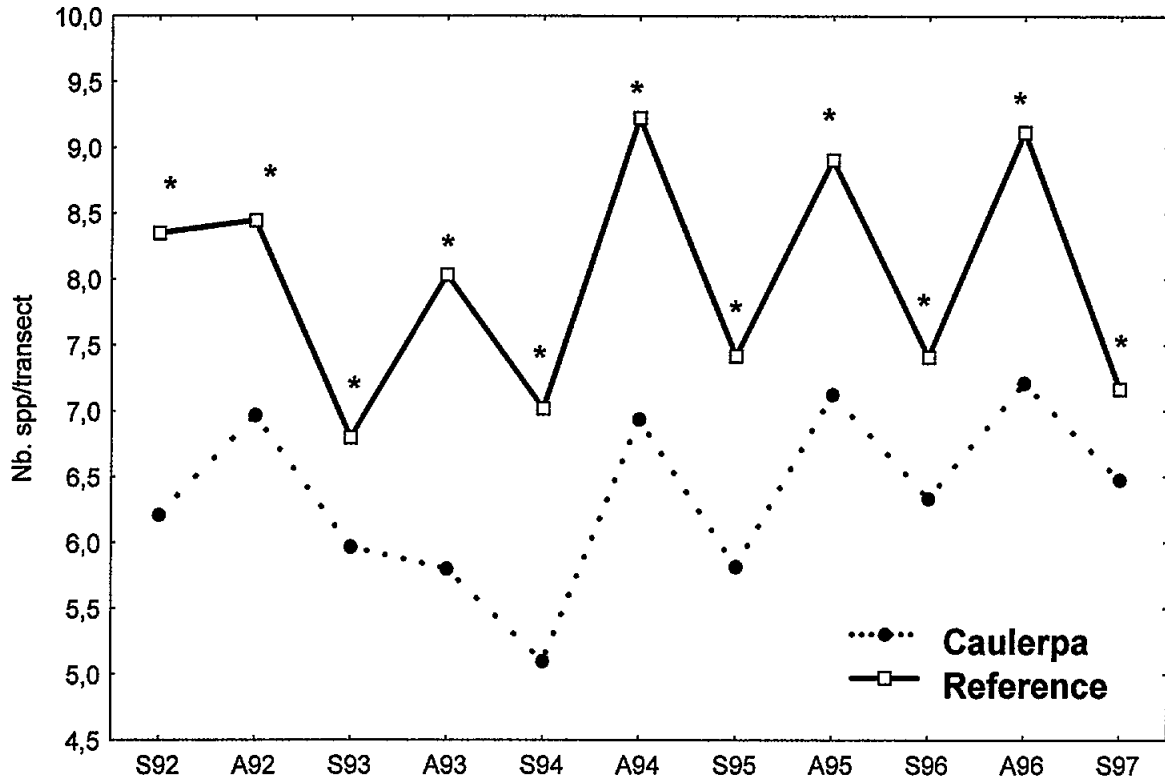


Fig. 4 Mean number of fish species per transect in sites colonized by *Caulerpa taxifolia* and in reference sites at Cap Martin between 1992 and 1997 (S : spring; A : autumn). Differences significant at  $p < 0.05$  are indicated by an asterisk.

### 3.5 Different trends in changes according to species

The modifications of littoral fish assemblages induced by the colonization of habitats by *C. taxifolia* reflect a complex phenomenon, as coexisting species may react differently. Some species, like *Diplodus sargus* and *Serranus cabrilla* were very sensitive to the modification of their environment and presented lower density and biomass in *C. taxifolia* meadows (Fig. 5A). The mean density of *D. sargus* in reference sites was 0.51 indiv.10 m<sup>-2</sup> and only 0.23 indiv.10 m<sup>-2</sup> in *Caulerpa* meadows. Other species, like *Serranus scriba*, did not present any consistent statistical difference in reference and colonized sites over 6 years (Fig. 5B). On the contrary, some species, mostly *Symphodus* spp., increased in density in *C. taxifolia* meadows with different patterns (Fig. 6A-B). The density of *Symphodus rostratus* increased in all size classes, whereas only the juveniles of *Symphodus ocellatus* were more abundant in *C. taxifolia* meadows (Gelin, 1996; Gelin *et al.*, in press).

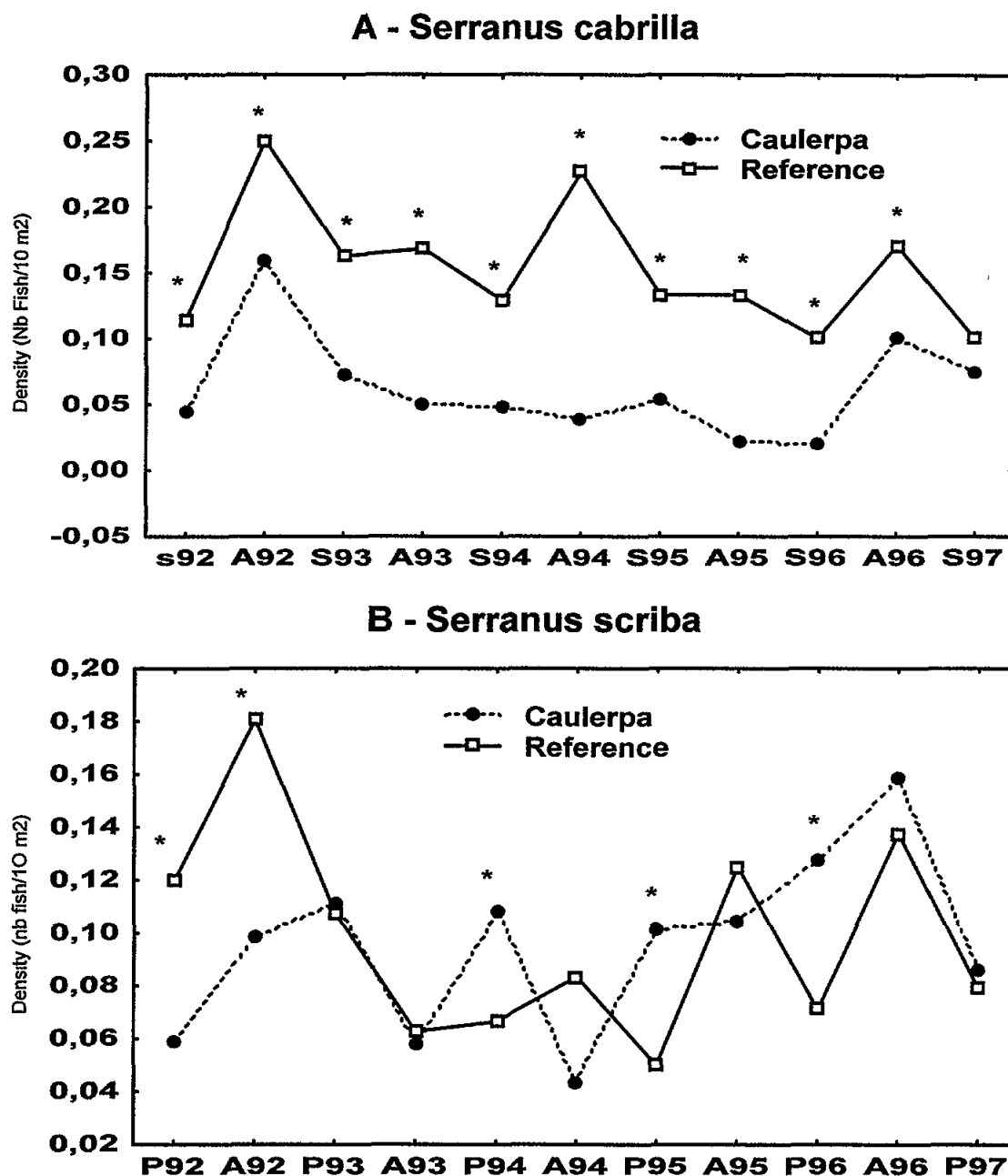


Fig. 5 Variations in mean density (number of fish.10m<sup>-2</sup>) of *Serranus cabrilla* (A) and *S. scriba* (B) in sites colonized by *Caulerpa taxifolia* and in reference sites at Cap Martin between 1992 and 1997 (S : spring; A : autumn). Difference of means significant at p<0.05 are indicated by an asterisk.



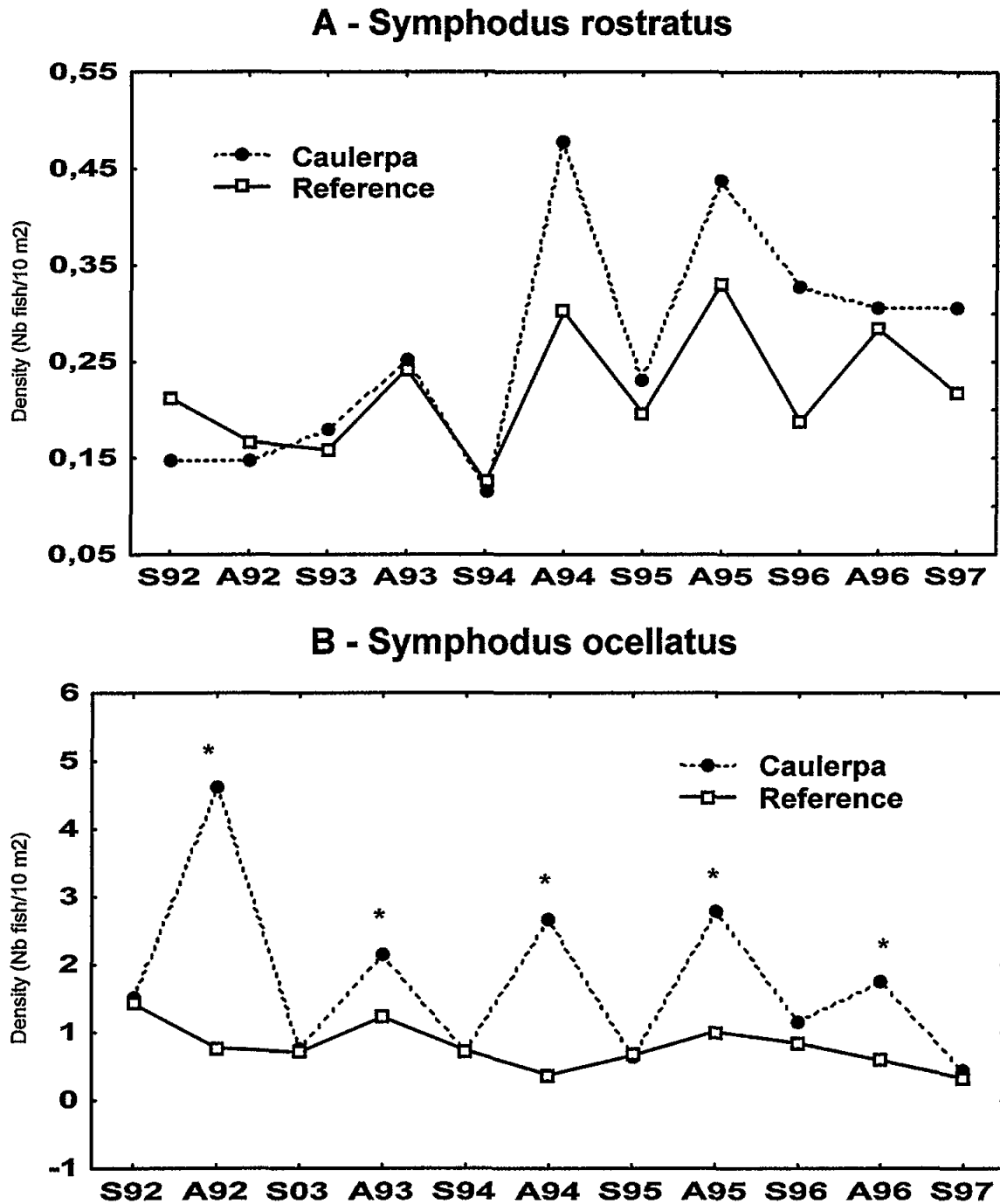


Fig. 6 Variations in mean density (number of fish.10m<sup>-2</sup>) of *Symphodus rostratus* (A) and *S. ocellatus* (B) in sites colonized by *Caulerpa taxifolia* and in reference sites at Cap Martin between 1992 and 1997 (S : spring; A : autumn). Difference of means significant at  $p < 0.05$  are indicated by an asterisk.

#### 4. DISCUSSION

Changes in fish assemblages induced by the colonization by *C. taxifolia* depend on the initial architecture, complexity and types of habitats invaded (Harmelin-Vivien *et al.*, 1994; Relini *et al.*, 1996). The introduced seaweed *C. taxifolia* is able to colonize substrates

of various nature, some with a high structural complexity, like *Posidonia oceanica* beds, rocky areas with photophilic algae and coralligenous constructions, and others with a low structural complexity, like *Cymodocea nodosa* and *Zostera noltii* meadows, dead *Posidonia* 'matte', or sandy and muddy areas. The colonization of all these habitats by *C. taxifolia* results in an homogenization of macrohabitats and a decrease in the diversity of microhabitats offered to fish at a regional spatial scale (Fig. 7), leading to a monotony in shelter and food resources. Two opposite patterns can be observed: (1) a general decrease in species richness, density and abundance of fish assemblages in areas with a high initial structural complexity (Francour *et al.*, 1994, 1995; Harmelin-Vivien *et al.*, 1996), and (2) an increase in the species richness and density of epibenthic fish assemblage in sandy areas which have a low initial structural complexity, as an upper strata is added to the substrate (Relini *et al.*, 1996). Nevertheless, in sandy areas colonized by *C. taxifolia*, Relini *et al.* (1996, in press) have observed a decrease in commercial fish species associated with soft bottoms, like flatfishes, mullids, triglids and sparids like *Lithognathus* and *Pagrus*, which are of high economic value. Thus, in rocky areas and seagrass beds, the colonization by *C. taxifolia* produced a drastic decrease in mean species richness, mean density and mean biomass of initial fish assemblages without any obvious modification of the specific composition. On the contrary, on soft bottoms the colonization by *C. taxifolia* added an upper strata to the substrate and induced a profound modification of the specific composition of the fish assemblage. In this cases, there is an increase in labrid and sparid species, generally those associated with seagrass beds, and a decrease of all the fish species associated with soft bottoms.

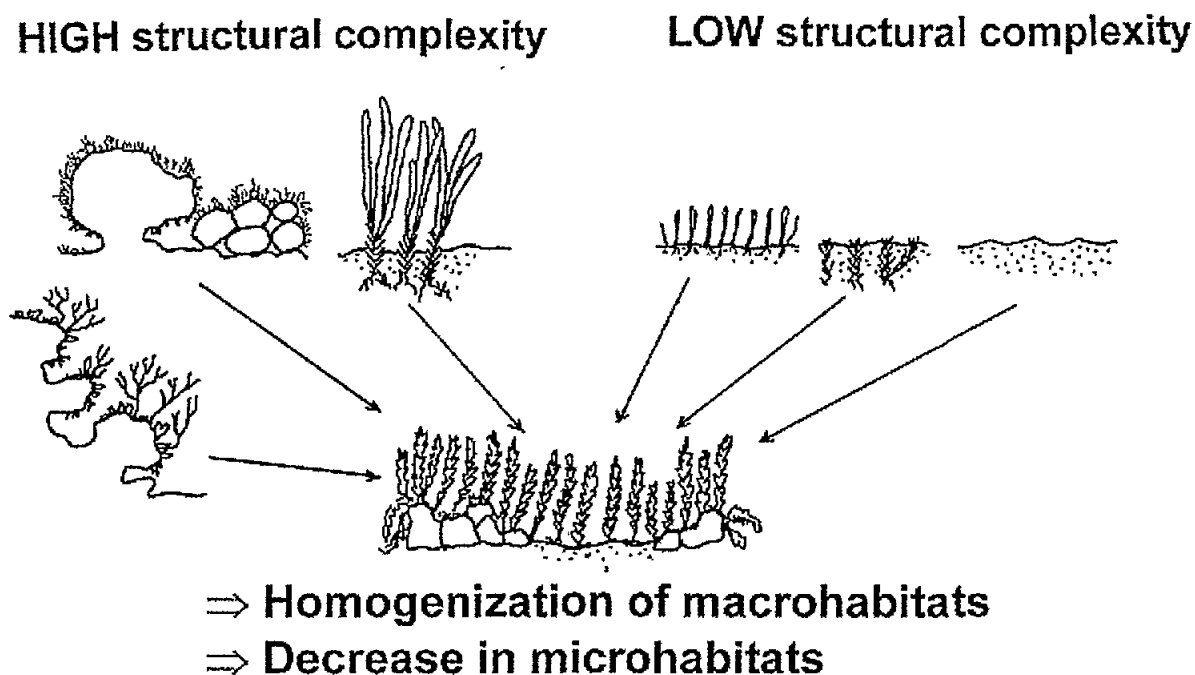


Fig. 7 The colonization by the introduced alga *Caulerpa taxifolia* of various types of habitats presenting high and low structural complexity induces an homogenization of macrohabitats and a decrease in microhabitats available to littoral fishes in the northwestern Mediterranean.

Another problem resulting from the colonization of coastal areas by *C. taxifolia*, is the modification of nursery sites. Most coastal fish species have a bipartite life cycle and settle into benthic habitats after a pelagic larval life. At the end of the pelagic phase, most fish settle in very specific microhabitats, often in shallow waters (García Rubies and Macpherson, 1995; Harmelin-Vivien *et al.*, 1995; Tunesi *et al.*, 1997). For example, *Diplodus* spp settle in calm shallow areas (<5 m) with gentle slope, coarse sand, rubble and boulders; and *Solea* spp settle in shallow (<10 m) sandy areas, where they grow for several months before to move elsewhere or deeper to recruit in adult populations. Will these species be able to settle in *C. taxifolia* meadows instead of rocky or sandy habitats? The colonization of all substrates by *C. taxifolia* and the resultant steady homogeneity in structure of coastal areas, that are used as nursery sites for many benthic species, may induce a drastic decrease in the populations of important commercial fishes into the Mediterranean. Such habitat modifications in shallow coastal waters induced by *C. taxifolia* may have long-term consequences on the fisheries even of continental shelf species.

## 5. ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the research program EU-DG XI-Life 'Spread of the tropical seaweed *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean', the French Ministère de l'Environnement, the Secrétariat d'Etat à la Mer, the Conseil Général des Bouches-du-Rhône and the Conseil Régional de Provence-Alpes-Côte d'Azur.

## 6. REFERENCES

- Bartoli, P. and C.F. Boudouresque (1997), Transmission failure of parasites (Digena) in sites colonized by the recently introduced invasive alga *Caulerpa taxifolia*. *Mar.Ecol.Prog.Ser.*, 154:253-260
- Bellan-Santini, D., P.M. Arnaud, G. Bellan et M. Verlaque (1994), Résultats préliminaires sur la faune d'invertébrés du peuplement à *Caulerpa taxifolia* des côtes de Provence (Méditerranée nord-occidentale). In: First international Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez. GIS Posidonie publ. Marseille, pp.365-369
- Boudouresque, C.F., A. Meinesz, M. Verlaque and M. Knoepffler-Peguy (1992), The expansion of the tropical alga *Caulerpa taxifolia* (Chlorophyta) in the Mediterranean. *Cryptogamie-Algologie*, 13:144-145
- Boudouresque, C.F., A. Meinesz, M. Ribera and E. Ballesteros (1995), Spread of the green alga *Caulerpa taxifolia* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean: possible consequences of a major ecological event. *Scient. Mar.*, 59(1):21-29
- Francour, P. (1990), Dynamique de l'écosystème à *Posidonia oceanica* dans le parc national de Port-Cros. Analyse des compartiments matte, litière, faune vagile, échinodermes et poissons. Thèse Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI. 373 p.

- Francour, P., M. Harmelin-Vivien, J.G. Harmelin et J. Duclerc (1994), Evolution des peuplements de poissons, entre 1992 et 1993, dans les zones colonisées par *Caulerpa taxifolia* à Menton. In: First international Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez. GIS Posidonie publ. Marseille, pp.379-384
- Francour, P., M. Harmelin-Vivien, J.G. Harmelin and J. Duclerc (1995), Impact of *Caulerpa taxifolia* colonization on the littoral ichthyofauna of North-Western Mediterranean sea: preliminary results. *Hydrobiologia*, 300/301:345-353
- Garcia-Rubies, A. and E. Macpherson (1995), Substrate use and temporal pattern of recruitment in juvenile fishes of the Mediterranean littoral. *Mar.Biol.*, 124:35-42
- Gelin, A. (1996), Influence de la colonisation du littoral méditerranéen par *Caulerpa taxifolia* sur les populations de quelques espèces de poissons (Labridae et Serranidae), et sur la croissance de *Symphodus ocellatus* (Forskål, 1775). DEA 'Sciences de l'Environnement marin'. Univ. Aix-Marseille II, Centre d'Océanologie de Marseille. 40 p.
- Gelin, A., S. Arigoni, P. Francour, J.G. Harmelin et M. Harmelin-Vivien (in press), Réponse des populations de certains poissons Serranidae et Labridae à la colonisation des fonds par *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. In: Third international Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, V. Gravez, A. Meinesz and F. Palluy. GIS Posidonie publ. Marseille
- Harmelin, J.G. (1996), Des habitats artificiels pour réhabiliter les fonds colonisés par *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée? In: Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gomez and V. Gravez. Publications Universitat Barcelona publ., pp.163-168
- Harmelin-Vivien, M., J.G. Harmelin, C. Chauvet, C. Duval, R. Galzin, P. Lejeune, G. Barnabé, F. Blanc, R. Chevalier, J. Duclerc et G. Lasserre (1985), Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons : méthodes et problèmes. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, 40:467-539
- Harmelin-Vivien, M., J.G. Harmelin et P. Francour (1994), Influence de quelques facteurs du milieu sur le peuplement de poissons des prairies à *Caulerpa taxifolia* à Monaco. In: First international Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez. GIS Posidonie publ. Marseille, pp.385-391
- Harmelin-Vivien, M., J.G. Harmelin and P. Francour (1996), A 3-year study of the littoral fish fauna of sites colonized by *Caulerpa taxifolia* in the N.W. Mediterranean (Menton, France). In: Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gomez and V. Gravez. Publications Universitat Barcelona publ., pp.391-397
- Harmelin-Vivien, M.L., J.G. Harmelin and V. Leboulleux (1995), Microhabitat requirements for settlement of juvenile sparid fishes on Mediterranean rocky shores. *Hydrobiologia*, 300/301:309-320
- Meinesz, A. et B. Hesse (1991), Introduction et invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée nord-occidentale. *Oceanol. Acta*, 14:415-426

- Relini, G., M. Relini and G. Torchia (in press), Fish and epiphytic fauna on *Caulerpa taxifolia* and *Cymodocea nodosa* at Imperia (Ligurian Sea). In: Third international Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, V. Gravez, A. Meinesz and F. Palluy. GIS Posidonie publ. Marseille
- Relini, M., G. Torchia and G. Relini (1996), A comparison between fish and macrobenthos in an area colonized by the alga *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh and a control area of *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson. (Preliminary data). In: Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gomez and V. Gravez. Publications Universitat Barcelona publ., pp.399-404
- Tunesi, L., L. Mariani and M. Mori (1997), Insediamento di stadi giovanili di specie ittiche nelle acque costiere del Golfo Tigullio (Mar Ligure). *Biol.Mar.Medit.*, 4:282-290
- Verlaque, M. et P. Fritayre (1994) Modifications des communautés algales méditerranéennes en présence de l'algue envahissante *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh. *Oceanol.Acta.*, 17:659-672
- Villele, X. de and M. Verlaque (1995), Changes and degradation in a *Posidonia oceanica* bed invaded by the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia* in the North Western Mediterranean. *Bot.Mar.*, 38:79-87
- Whitehead, P.J.P., M.L. Bauchot, J.C. Hureau, J. Nielsen and E. Tortonese (1984), Fishes of the north-eastern Atlantic and Mediterranean. UNESCO publ. Paris, 1473 p.

## THE IMPACT OF *CAULERPA RACEMOSA* ON THE MACROBENTHIC COMMUNITIES IN THE COASTAL WATERS OF CYPRUS

by

Marina ARGYROU, Andreas DEMETROPOULOS and  
Myroula HADJICHRISTOPHOROU

Marine Biology and Ecology Section, Department of Fisheries,  
Ministry of Agriculture, Natural Resources and Environment,  
13 Aeolou Street, 1416 Nicosia, Cyprus

### ABSTRACT

The recent expansion of the Red Sea macroalga *Caulerpa racemosa* and its impact on the diversity and abundance of macrobenthos were examined and compared in the summers of 1992 and 1997, in Moni Bay, Cyprus. The phytobenthic community of the bay in 1992 was dominated by the seagrass *Posidonia oceanica* while, in 1997, the Lessepsian migrant *C. racemosa* became the most dominant, forming extensive mats. Changes in the vegetation system in Moni Bay caused significant compositional changes in macrofaunal assemblages. A total of 178 individuals of 62 species were recorded. The composition of the macrofauna in 1992 was dominated by Gastropods (44%), Crustaceans (22%), Bivalves (17%), Polychaetes (11%) and Echinoderms (6%). In 1997, the Gastropods and Crustaceans were decreased to 13% and 16% respectively, while, Polychaetes increased to 38% becoming the most dominant taxon. Bivalves and Echinoderms also increased to 22% and 11%, respectively, in 1997. The proliferative growth of *C. racemosa* imposed successional changes to the macrofaunal assemblages in Moni Bay, Cyprus, between 1992 and 1997. It remains to be tested whether the expansion of *C. racemosa* is related to the increase of water temperature associated with the global warming or to nutrient inputs or to the differences in the life history characteristics of this migrant vs. native algal species.

### 1. INTRODUCTION

The construction of the Suez Canal in 1869, linking the southeastern corner of the Mediterranean with the norther tip of the Gulf of Suez, Red Sea, provided unrivalled opportunities for marine organisms to extend their geographical ranges (Steinitz, 1967; Por, 1971; Kimor, 1972; Lipkin, 1972). The Suez Canal, once established as a pathway of Lessepsian migration (i.e., migration of organisms through the Suez Canal into the Mediterranean), brought about, during the last several decades, a considerable number of marine species into the Mediterranean. Only relatively few organisms migrated in the opposite direction (Steinitz, 1967; 1970), probably because of prevailing current flows, but the reasons for this are not yet clear. As a whole, the influx of Red Sea species into the Mediterranean has been "successful", as a considerable number of Red Sea species have well become adapted to the new environment. It has been estimated that Lessepsian migrants constitute nearly 5% of the global marine fauna of the Mediterranean in comparison to 12% found in the southeastern Mediterranean (Fredj *et al.*, 1992). In fact, about 20% of the decapod species off the Israeli Mediterranean coast are represented by the Indo-Pacific Erythraean fauna (Galil, 1992).

The migration of benthic marine plants (seagrasses and macroalgae) from the Red Sea into the Mediterranean has also been successful (Lipkin, 1972). Several Red Sea plant species have been reported from the Mediterranean, among those the seagrass *Halophila stipulacea* which grows intermingled with the immigrant *Caulerpa racemosa* (Lipkin, 1972). The seagrass *H. stipulacea* was the first Red Sea immigrant via the Suez Canal which was reported from the

Mediterranean (Lipkin, 1972). At present, this species is common in the waters around Rhodes, in the Aegean Sea, in the waters of Cyprus, on the coast of Egypt and all along the Suez Canal (Aleem, 1962; Haritonides, 1983; Hadjichristophorou and Argyrou, 1993). On the other hand, the green alga *C. racemosa*, which is very common in the Red Sea, was found at various stations in the eastern Mediterranean in both underdeveloped and developed forms (Lipkin, 1971).

Over the recent years, *C. racemosa* has been undergoing proliferative growth in the coastal waters of Cyprus. This species was first reported in 1991 the Moni Bay (Hadjichristophorou and Argyrou, 1992) at the depth of 30 m. At present, it can be found all around the island forming extensive dense beds. Other Red Sea migrants, such as the filamentous green alga *Cladophora patentiramea* (Boudouresque and Verlaque, personal comm.) and the brown alga *Stypopodium schimperi*, have caused considerable ecological problems in our coastline during recent years (Hadjichristophorou and Argyrou, 1993).

The need to understand what is triggering the rapid expansion of *C. racemosa* off the coast of Cyprus is crucial, since, the colonization of this migrant is in a "dynamic ongoing process" which may cause serious ecological problems, such as habitat alterations and vital changes on macrobenthic assemblages. Changes of the vegetation type of an ecosystem, may cause dramatic changes in macrofaunal assemblages (Heip, 1995), and subsequently, may alter, as a whole, the ecosystem dynamics. It is generally shown that macrofaunal communities can be used as indicators, since they respond predictably to environmental perturbations (Bilyard, 1987).

The aim of this study was to summarize the present expansion of the Lessepsian migrant *C. racemosa* in the coastal waters of Cyprus and to examine the possible effects of the proliferation of this species on the softbottom macrofaunal assemblages. Macrobenthic data (phytobenthos and zoobenthos) were collected in Moni Bay, Cyprus, prior (1992) and post (1997) the occurrence of *C. racemosa*. The diversity and abundance data of zoobenthos, before and after the spread of *C. racemosa*, were used to characterize the community structure, and to compare possible alterations in macroinvertebrate composition associated with the recent colonization of *C. racemosa*.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Site Description

The study area (Fig. 1) is located in Moni Bay, adjacent to the city of Limassol which is the largest coastal city in Cyprus. Close to the study area, about 450 m from the sampling stations, a sewage outfall discharges approximately 6000 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> tertiary effluents, at the 5 m depth. In addition, an open sea cage-culture farm, with a production of about 100 tons yr<sup>-1</sup> is located near the sampling area, at a distance of about 500 m.

The phytobenthic communities found in the area consist mainly of the meadows of the seagrass *Posidonia oceanica* which are the most important habitats in the Mediterranean. *Posidonia* forms extensive meadows in the area starting from shallow waters (5 m depth) and extending down to over 30 m depth (Hadjichristophorou and Argyrou, 1992). In 1991, the Red Sea migrant *Caulerpa racemosa* was found for the first time, in Moni Bay, at the depth of 30 m. Since then, densely- formed beds of *C. racemosa* have been rapidly expanding around the island, with its greatest abundance in the southern regions (Limassol - Moni Bay). *C. racemosa* has been found to occupy a wide range of habitats, from sandy to muddy substrates, from the intertidal zone down to 60 m depth (Hadjichristophorou *et al.*, 1997).

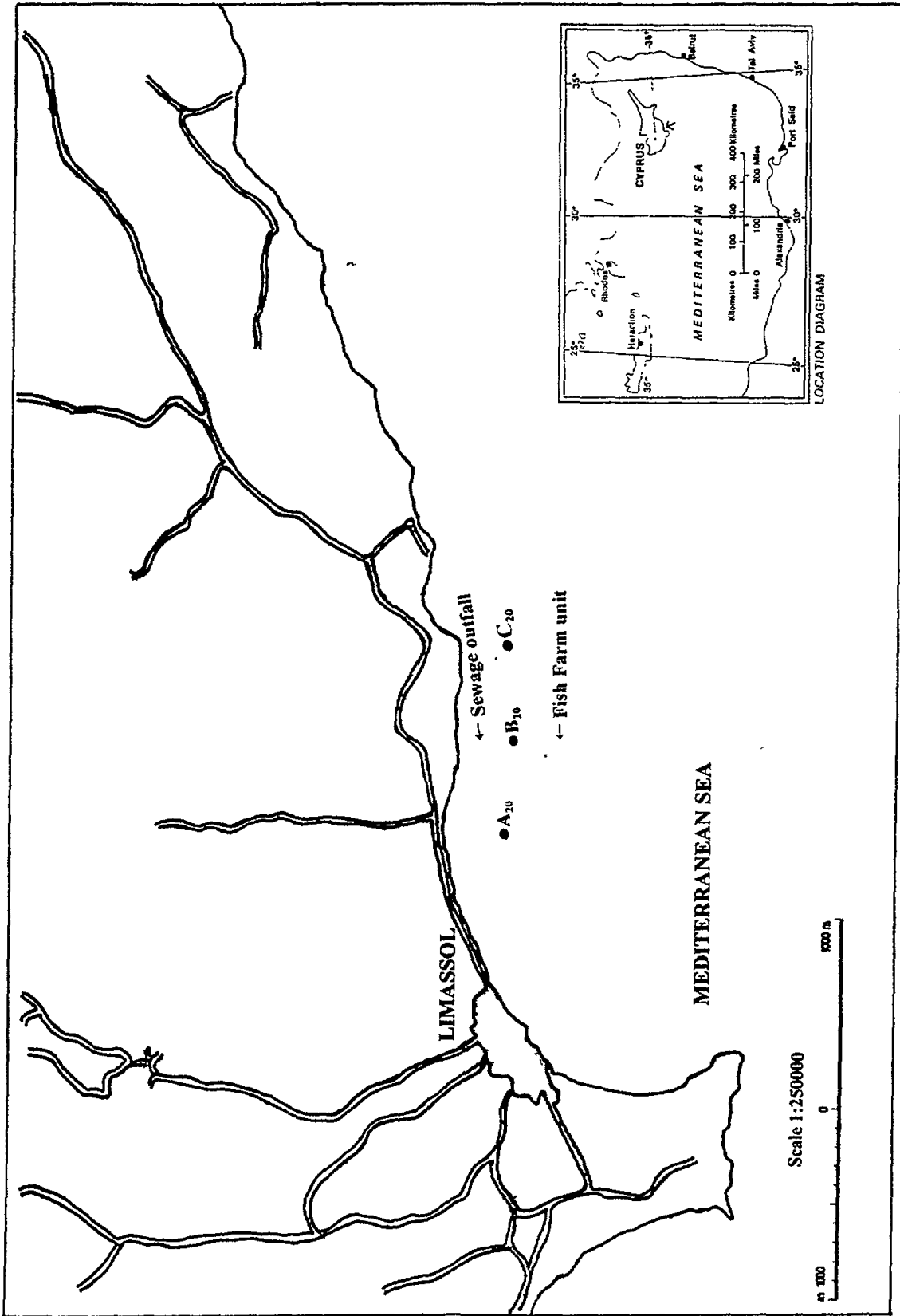


Fig. 1. Map of Moni Bay, showing the three stations sampled during summers 1992 and 1997, before and after the proliferation of *Caulerpa racemosa*.



## 2.2 Sampling Regime

Three stations ( $A_{20}$ ,  $B_{20}$ ,  $C_{20}$ ), located in Moni Bay at 20 m depth were sampled during the summers of 1992 (before the appearance of *C. racemosa* at this depth) and 1997 (Fig. 1). Each station was positioned using an echosounder and an Interphase Star Pilot 6 GPS (Global Positioning System) unit. Each station had a distance of about 500 m from each other and a distance of about 650 m from the coast. During the summers of 1992 and 1997, sediment and macrobenthic samples were collected by the RV *Alkyon* from all three stations.

## 2.3 Sediment Characteristics

Granulometric analyses on surficial sediments were conducted by using a series of sieves (2.36 mm, 1.18 mm, 0.6 mm, 0.3 mm, 0.15 mm, 0.075 mm) to separate out the gravel fraction, very coarse sand, coarse sand, medium sand, fine sand, and very fine sand (Ingram 1971).

Percent organic matter was measured by weight loss upon combustion at 500°C for 16 hours.

## 2.4 Macrobenthos

At each station ten macrobenthic samples were obtained with an "orange peel" grab sampler (0.14 m<sup>2</sup>) and pooled together, covering a total surface area of 1.45 m<sup>2</sup>. Sediment samples were then filtered through a 500 µm sieve to collect macrofauna, algae and seagrasses. After collection, specimens were preserved in 70% alcohol and identified to the lowest possible taxa using the following sources: Tebble (1966); Zariquiey (1968); Demetropoulos (1969; 1971); Demetropoulos and Hadjichristophorou (1976a; 1976b); Parenzan (1976); Fauvel (1975); Riedl (1983); Fischer *et al.* (1987); D'Angelo and Gargiullo (1987); Sabelli *et al.* (1990).

## 2.5 Statistical Analysis

An  $F_{\max}$  was used prior to ANOVA to check for homogeneity of variances. One-way ANOVA was used to test for significant effects between species diversity, abundance and sediments characteristics (Sokal and Rohlf, 1995). When ANOVA differences were significant (i.e.,  $p < 0.05$ ), a Scheffé multiple range test was performed to detect for differences ( $p < 0.05$ ) among stations and between sampling dates. Pearson Product-Moment Correlation analysis was also performed to test for relationships between all variables.

# 3. RESULTS AND DISCUSSION

## 3.1 Sediment Characteristics

Sediments generally consisted of 95% sand (fine, medium, coarse) at all stations in both sampling periods. Fines expressed as percentage of sediment particles smaller than 0.075 mm ranged between 17.10 - 48.65 % at all stations in summer 1992, while, in summer 1997, this had a range of 61.60 - 63.40 % (Fig. 2). There were significant differences in grain size distribution between the sampling periods ( $p < 0.05$ ). In 1997, the percent of fines was significantly higher ( $p < 0.05$ ) than that of 1992.

Percent organic matter ranged from 2.52 % to 4.90 % in all stations, for both sampling periods (Fig. 3). No significant differences ( $p > 0.05$ ) in organic matter concentrations were observed between stations and between sampling dates. Despite the fact that percent fines in sediments from all stations significantly increased in 1997 compared to 1992, there was no

concomitant increase of the concentration of the sedimentary organic matter. It is not clear as to what is the exact reason for this, but, it is likely to be due to high degradation rates.

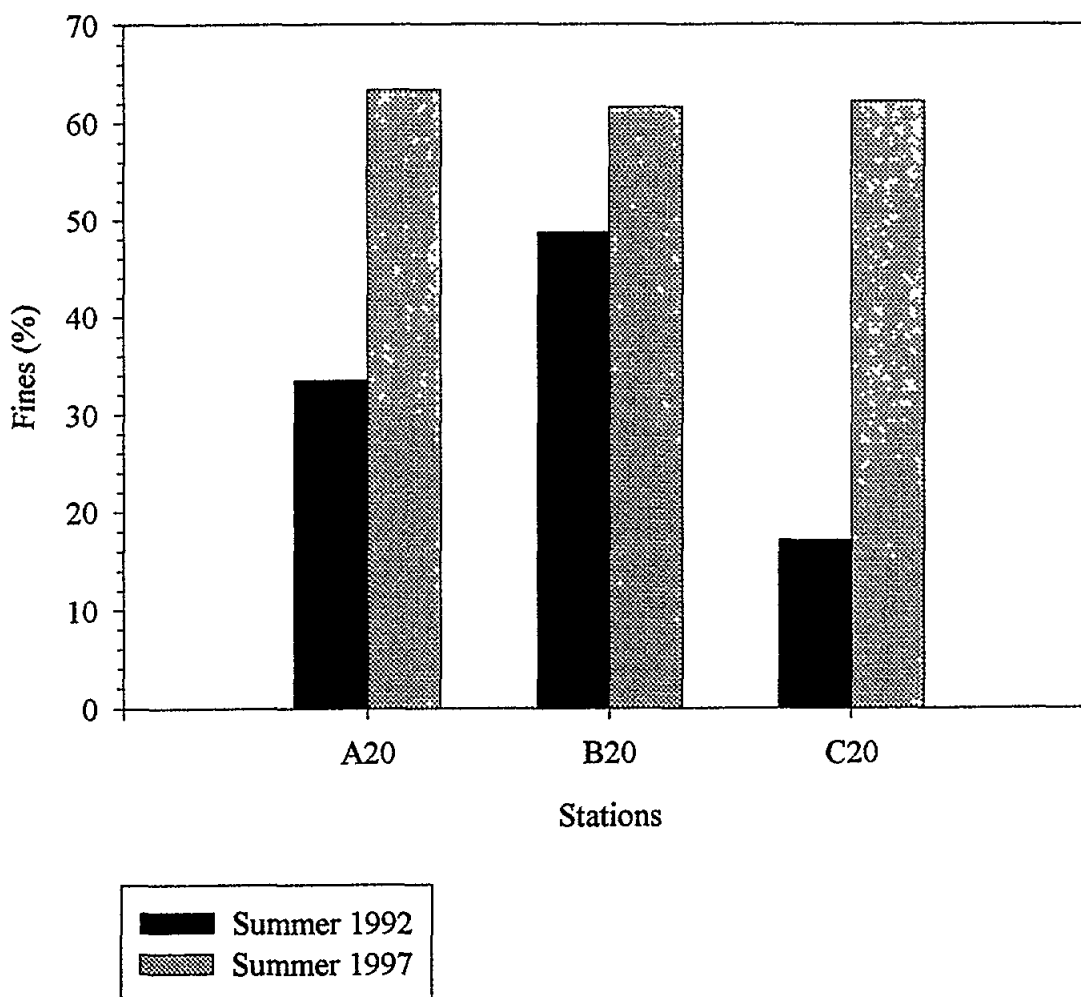


Fig. 2. Percent fines (%) in sediments of Moni Bay for all three stations, from summers 1992 and 1997.

### 3.2 Macrobenthic community structure

In 1992, the seagrass *Posidonia oceanica* was uniformly distributed in all stations with a scattered appearance of the green alga *Caulerpa prolifera* at station B<sub>20</sub> (Table 1). In 1997, the seagrass *Posidonia oceanica* occurred at stations A<sub>20</sub> and C<sub>20</sub> while the green alga *C. racemosa* dominated in densely extensive beds at all stations (Table 1). The green algae *Dasycladus clavaeformis* and *Udotea petiolata*, as well as, the brown alga *Dilophus mediterraneus* had a scattered distribution among stations (Table 1).

Since 1991, when *C. racemosa* was observed in the Moni Bay, at the depth of 30 m (Hadjichristophorou and Argyrou, 1992), this species has been undergoing proliferative growth around most of the island. This species has successfully colonized a wide range of habitats (mainly sandy or muddy bottoms) and depths and can be found from the intertidal zone down to 60 m depth (Hadjichristophorou *et al.*, 1997). The overwhelming expansion of this Red Sea migrant in the coastal waters of Cyprus may *interalia* put in threat the *Posidonia* meadows. The

controlling mechanisms for the pronounced growth of *C. racemosa* off the coast of Cyprus are not yet known, but, the inherent differences in the life history traits of this migrant vs. native algal species, the local nutrient dynamics and differences in grazing intensity are likely to be related. Moreover, the high salinities and temperatures occurring in the eastern Mediterranean may be of benefit to its expansion, especially in mild winters. It has recently been suggested that climate change has affected the Mediterranean's temperature with a notable warming of deep waters (Williams, 1998). It is likely that the recent increase of water temperature in the Mediterranean may accelerate the proliferation of this Red Sea migrant.

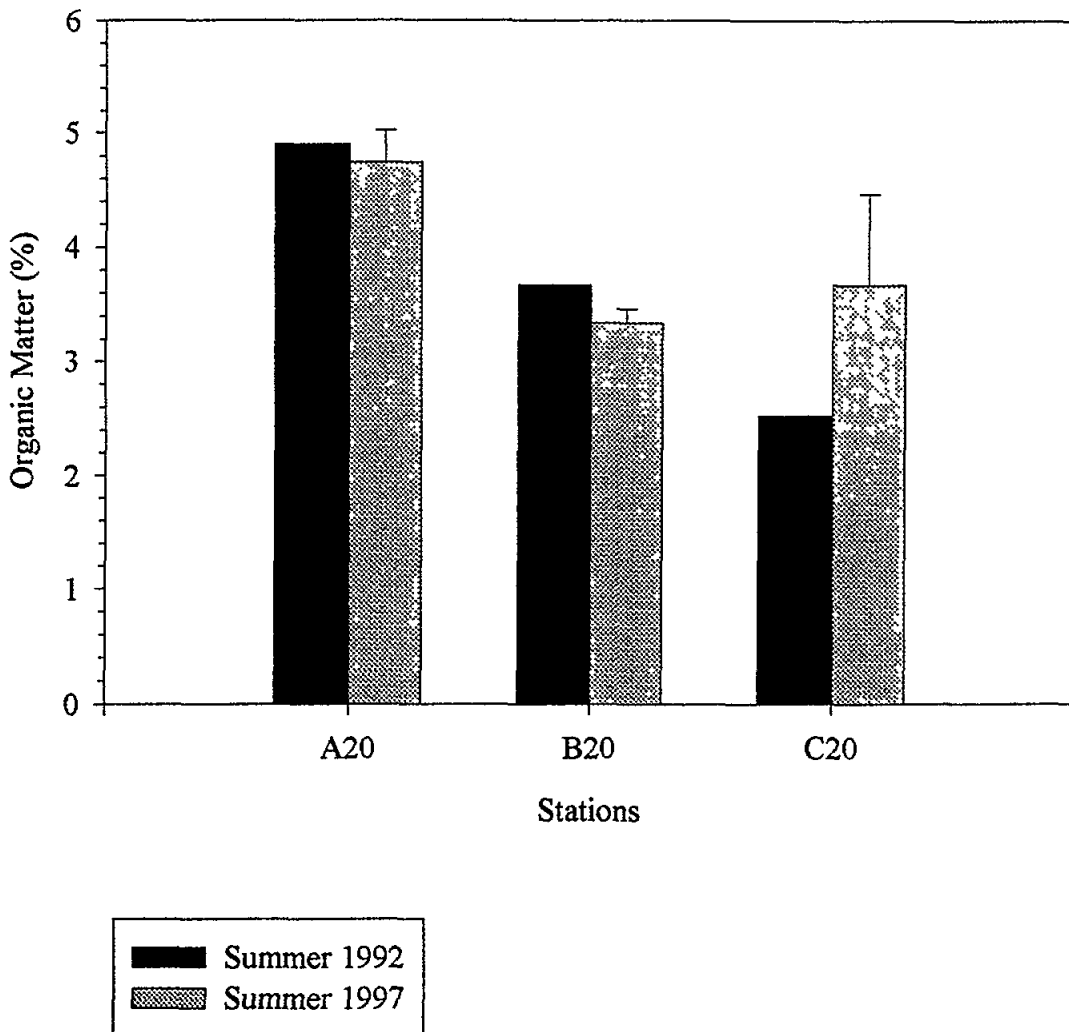


Fig. 3. Percent organic matter (%) in sediments of Moni Bay for all three stations, from summers 1992 and 1997.

The recent expansion of the macrophytic alga *C. racemosa* has raised the question as to what degree is related to nutrient inputs from sewage discharges and inputs from the fish farm. However, it is considered unlikely that nutrients from the sewage could have an impact on the *Caulerpa* and other phytobenthos at this depth. A recent study on the effect of sewage on benthos has shown that the impact was prominent at shallow stations (up to 10 m depth) (Argyrou *et al.*, 1998). Though some nutrient increases would be predicted due to the fish farm, the proliferation of *C. racemosa* in other areas seems to indicate that the proliferation of *C. racemosa* may be unrelated to this source.

Table 1

Macrobenthic diversity and abundance data for all 3 stations sampled off the Moni Bay, Cyprus, during Summers 1992 and 1997.

\*\* = 40%-60% coverage; \*\*\* = 70%-90% coverage; p = present; numbers = number of individuals of each species per 1.45 m<sup>2</sup> surface area

CLASSIFICATION	1992			1997		
	A <sub>20</sub>	B <sub>20</sub>	C <sub>20</sub>	A <sub>20</sub>	B <sub>20</sub>	C <sub>20</sub>
ALGAE						
CHLOROPHYCEAE						
Caulerpaceae						
<i>Caulerpa prolifera</i>		**		***	***	***
<i>Caulerpa racemosa</i>						
Dasycladaceae						
<i>Dasycladus clavaeformis</i>					p	p
Codiaceae						
<i>Udotea petiolata</i>				p		
PHAEOPHYCEAE						
Dictyotaceae						
<i>Dilophus mediterraneus</i>				p		
ANGIOSPERMAE						
Potamogetomaceae						
<i>Posidonia oceanica</i>	***	***	***	**		**
ANNELIDA						
POLYCHAETA						
Eunicidae						
<i>Eunice floridana</i>		1				
<i>Marphysa sanguinea</i>			1	1		
<i>Marphysa bellii</i>			1			
Capitellidae						
<i>Capitella sp.</i>				3 1	8	2
<i>Pseudocapitella incerta</i>						

CLASSIFICATION	1992			1997		
	A <sub>20</sub>	B <sub>20</sub>	C <sub>20</sub>	A <sub>20</sub>	B <sub>20</sub>	C <sub>20</sub>
Onuphidae						
<i>Onuphis eremita</i>						1
Glyceridae						
<i>Glycera convoluta</i>		2		3		1
Nephtyidae						
<i>Nephtys hombergii</i>		1				
Nereidae						
<i>Neanthes pelagica</i>			1			
Aphroditidae						
<i>Aphrodita aculeata</i>					3	
<i>Hermonia hystrix</i>				1	3	1
Syllidae						
<i>Exogone gemmifera</i>					1	1
Goniadidae						
<i>Goniada norvegica</i>				1		3
Pectinariidae						
<i>Amphictene auricoma</i>				1	2	3
Orbiniidae						
<i>Naineris laevigata</i>					1	
Sigalionidae						
<i>Sthenelais boa</i>				1		
SIPUNCULIDA						
Sipunculidae						
<i>Phascolosoma sp.</i>					1	

CLASSIFICATION	1992			1997		
	A <sub>20</sub>	B <sub>20</sub>	C <sub>20</sub>	A <sub>20</sub>	B <sub>20</sub>	C <sub>20</sub>
MOLLUSCA						
PLACOPHORA						
Chitonidae						
<i>Chiton olivaceus</i>	-	-	-	1	-	-
GASTROPODA						
Columbellidae						
<i>Columbella rustica</i>				1		
Turbinidae						
<i>Bolma rugosa</i>	1	1		1		
Cerithiidae						
<i>Cerithium vulgatum</i>	2					
Conidae						
<i>Conus mediterraneus</i>						1
Trochidae						
<i>Jujubinus exasperatus</i>	1					
Pyramidellidae						
<i>Euparthenia bulinea</i>	1					
Neritidae						
<i>Smaragdia viridis</i>	2	2	8			
Tricoliidae						
<i>Tricolia speciosa</i>	1		1			
Turritellidae						
<i>Turritella turbona</i>	3	2	3	3	1	2
Philinidae						
<i>Philine catena</i>					4	

CLASSIFICATION	1992			1997		
	A <sub>20</sub>	B <sub>20</sub>	C <sub>20</sub>	A <sub>20</sub>	B <sub>20</sub>	C <sub>20</sub>
LAMELLIBRANCHIATA						
Turridae						
<i>Bela nebula</i>					1	
Tellinidae						
<i>Tellina balaustina</i>		1				1
Semelidae						
<i>Abra alba</i>						2
Carditidae						
<i>Glans aculeata</i>			2	1		
Cardiidae						
<i>Parvicardium exiguum</i>	2			1	1	
<i>Plagiocardium papillosum</i>		1	1			
Pectinidae						
<i>Lissopecten hyalinus</i>				1		
Lucinidae						
<i>Loripes lacteus</i>					1	
<i>Myrtea spinifera</i>				1	1	1
Veneridae						
<i>Gouldia minima</i>		3		3	1	6
<i>Venus verrucosa</i>		1				
Glycymeridae						
<i>Glycymeris glycymeris</i>				1		2
Mytilidae						
<i>Modiolula phaseolina</i>						1

CLASSIFICATION	1992			1997		
	A <sub>20</sub>	B <sub>20</sub>	C <sub>20</sub>	A <sub>20</sub>	B <sub>20</sub>	C <sub>20</sub>
ARTHROPODA						
CRUSTACEA						
Decapoda						
Alpheidae						
<i>Athanas nitescens</i>	1					
Processidae						
<i>Processa edulis</i>						1
Paguridae						
<i>Cestopagurus timidus</i>	2		2	3	2	
Diogenidae						
<i>Clibanarius erythropus</i>	1			2	1	1
<i>Paguristes eremita</i>			1	1		
Eriphiidae						
<i>Eriphia verrucosa</i>	1					
Dorippidae						
<i>Ethusa mascarone</i>		1			1	
Galatheidae						
<i>Galathea squamifera</i>		1		1		
Portunidae						
<i>Liocarcinus arcuatus</i>	2					
<i>Liocarcinus corrugatus</i>			1			
<i>Liocarcinus maculatus</i>				1		
Majidae						
<i>Inachus dorsettensis</i>					1	



CLASSIFICATION	1992			1997		
	A <sub>20</sub>	B <sub>20</sub>	C <sub>20</sub>	A <sub>20</sub>	B <sub>20</sub>	C <sub>20</sub>
Isopoda						
Sphaeromatidae						
<i>Sphaeroma serratum</i>	1					
Amphipoda						
Gammaridae						
<i>Gammaridae sp.</i>				2		1
ECHINODERMATA						
HOLOTHUROIDEA						
Holothuriidae						
<i>Holothuria mammata</i>			1			
ECHINOIDEA						
Loveniidae						
<i>Echinocardium cordatum</i>				3		
Fibulariidae						
<i>Echinocyamus pusillus</i>				5		
Schizasteridae						
<i>Schizaster canaliferus</i>		1				
OPHIUROIDEA						
Amphiuridae						
<i>Amphiura chiajei</i>		1			3	
Ophiuridae						
<i>Ophiura albida</i>					1	1
Ophiodermatidae						
<i>Ophioderma longicaudum</i>	1					

Changes in the phytobenthic community in Moni Bay, with the dominance of the macroalgal beds of *C. racemosa*, may also cause significant changes in macrofaunal assemblages. A total of 178 individuals belonging to 62 species were counted and identified in both sampling periods (Table 1). The five most abundant macrofauna taxa in Moni Bay were Polychaeta, Gastropoda, Bivalvia, Crustacea and Echinodermata.

The composition of the benthos in 1992 represents the original benthic community prior to environmental disturbances caused by the expansion of the Lessepsian migrant *C. racemosa* (Table 1). The majority of the benthic community in the pre-disturbance period consisted of Gastropods (44%), followed by Crustaceans (22%), Bivalves (17%), Polychaetes (11%), and Echinoderms (6%) (Fig. 8). In 1997, the contribution of Gastropods decreased to 13%, and the contribution of Polychaetes increased to 38%, becoming the most dominant taxon (Fig. 8). Bivalves and Echinoderms increased to 22% and 11%, respectively, while Crustaceans decreased to 16% (Fig. 8).

The number of species per 1.45 m<sup>2</sup> surface area ranged from 12 to 15 in the summer of 1992, while in the summer of 1997 the range was 19 to 26 (Fig. 4). In 1997, the number of species significantly ( $p < 0.05$ ) increased at all stations, compared to 1992. In fact, significant ( $p < 0.05$ ) increases in the Polychaete species were observed at all stations in 1997 (Fig. 5). Total species number was significantly correlated with fine sediments ( $R = 0.80$ ) and OM concentrations ( $R = 0.85$ ).

Macrofaunal abundance ranged from 19 to 23 in 1992 and from 32 to 44 in 1997 (Fig. 6). There were significant differences ( $p < 0.05$ ) in macrofaunal abundance between sampling dates, with the highest abundance occurring in the summer of 1997. High abundance of Polychaete species corresponded to the total increase of macrofaunal abundance in 1997 (Fig. 7). Polychaete abundance increased significantly ( $p < 0.05$ ) in the summer of 1997 compared to the summer of 1992, suggesting that the proliferation of the Red Sea macroalga *C. racemosa* favored their abundance. Total macrofauna abundance was positively correlated with fine-grained sediments ( $R = 0.68$ ) and OM concentrations ( $R = 0.63$ ) at all stations for both periods. Based on the available data from Moni Bay, there is evidence that the recent expansion of *C. racemosa* in the coastal waters of Cyprus imposed successional changes to the macrofaunal communities with significant increases in species diversity and abundance. These increases are, however, mainly associated with increases in Polychaete diversity and abundance.

To fully understand the relationship between the invasive algal *C. racemosa* and the associated macrofaunal assemblages in the coastal waters of Cyprus, more data are *interalia* needed from other regions around the island.

#### 4. CONCLUSIONS

On the basis of our field study in Moni Bay, we concluded that:

- a) It is likely that the changes in composition and abundance of macrofaunal assemblages can be attributed to the recent proliferation of the invasive macroalgal *C. racemosa* in the coastal waters of Moni bay. While the most dominant taxon, prior to the appearance of *C. racemosa*, was Gastropoda with 44%, after the expansion of *C. racemosa*, the most dominant taxon was Polychaeta with 38%.
- b) There were significant increases in macrofaunal diversity and abundance in 1997 compared to 1992, and these are attributed in part at least to the proliferative growth of *C. racemosa*.

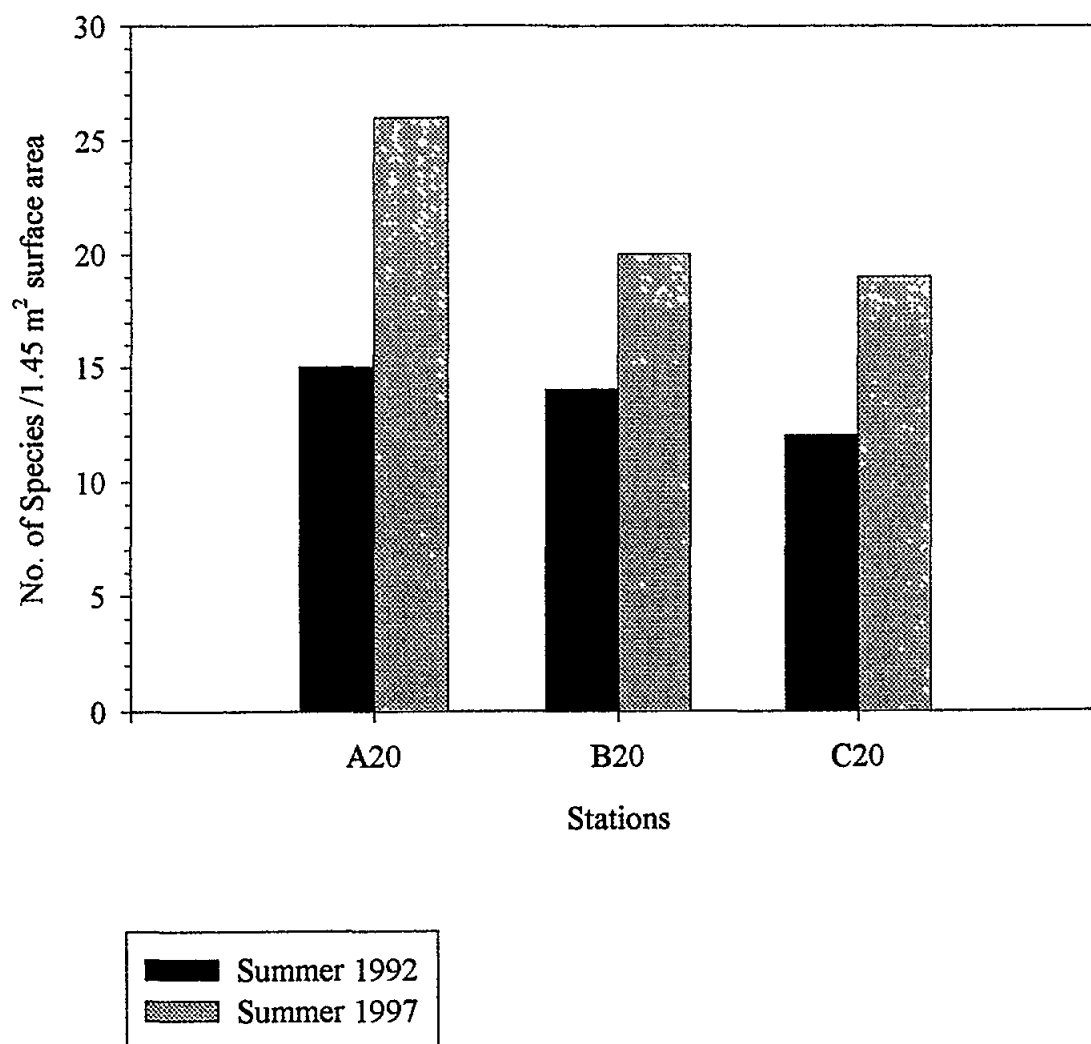


Fig. 4. Number of Macrofaunal Species per 1.45 m<sup>2</sup> surface area, from all three stations of Moni Bay, from summers 1992 and 1997.

c) More data needs to be gathered from other regions in Cyprus, where *C. racemosa* is undergoing proliferation, in order to strongly support the present data and conclusions.

d) The recent colonization of the Red Sea migrant *C. racemosa* is still in an evolutionary process. Whether its expansion in this particular area relates to nutrient inputs and/or to grazing intensity or to inherent differences in the life history traits of this migrant vs. native algal species or to the warming of the waters due to climate change, remains to be seen.

## 5. ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the crew of the RV *Alkyon* for their assistance in the collection of field samples. The authors are especially grateful to George Demetriou and Theodora Nicolaidou-Shamma for their invaluable help with field sampling and sample processing.

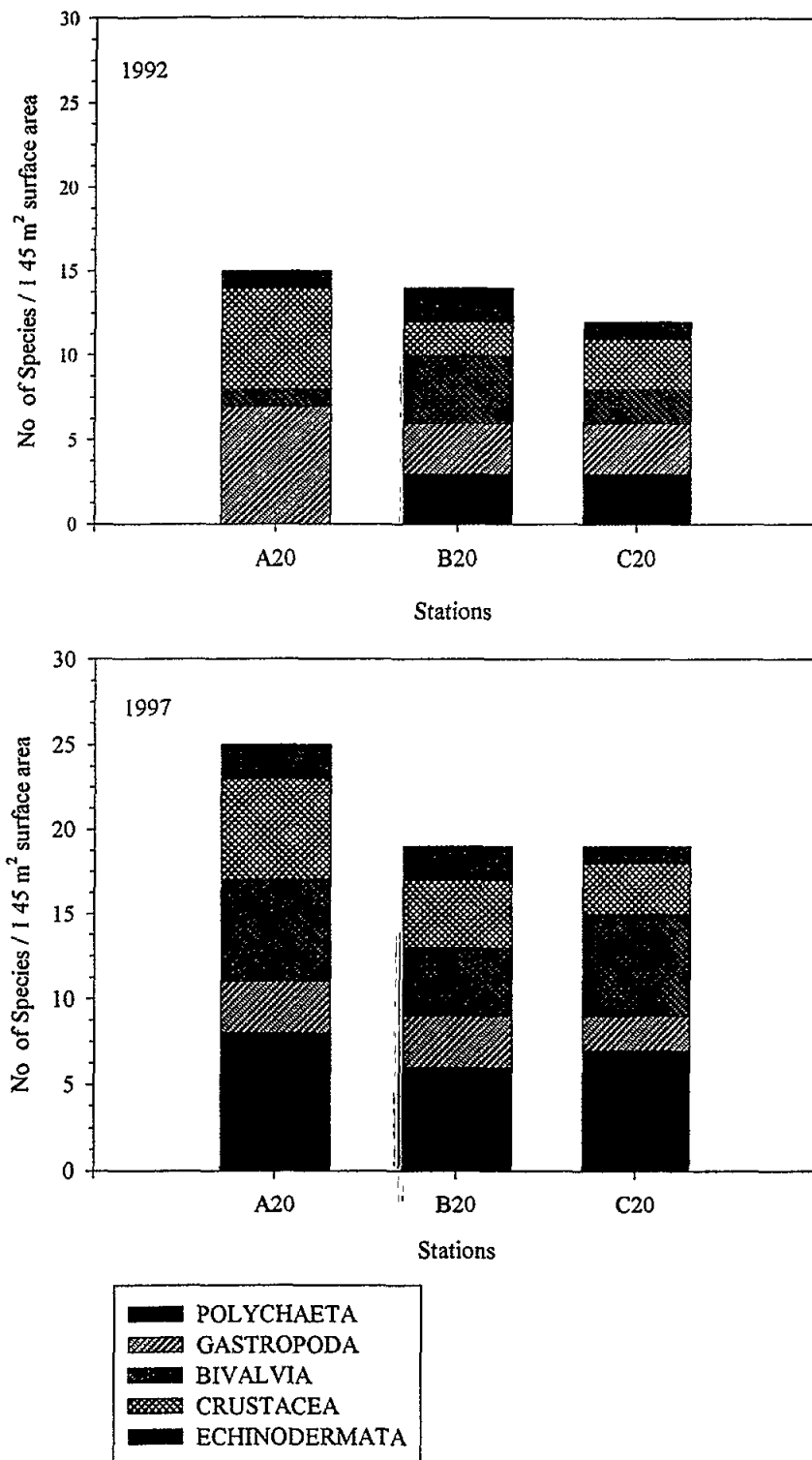


Fig. 5. Number of Species of the dominant macrofaunal groups per 1.45 m<sup>2</sup> surface area, from all three stations of Moni Bay, from summers 1992 and 1997.

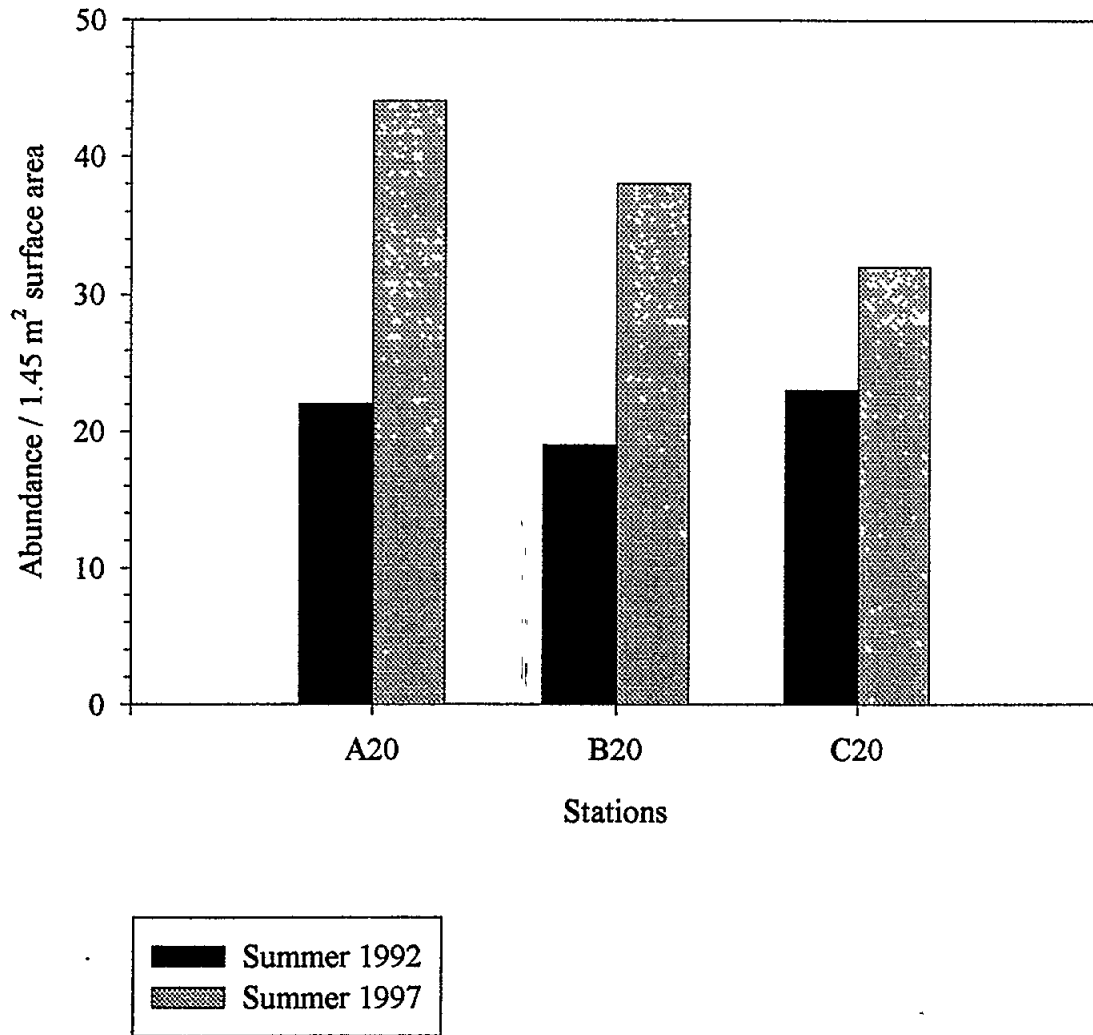


Fig. 6 Macrofaunal abundance per 1.45 m<sup>2</sup> surface area, from all three stations of Moni Bay, from summers 1992 and 1997.

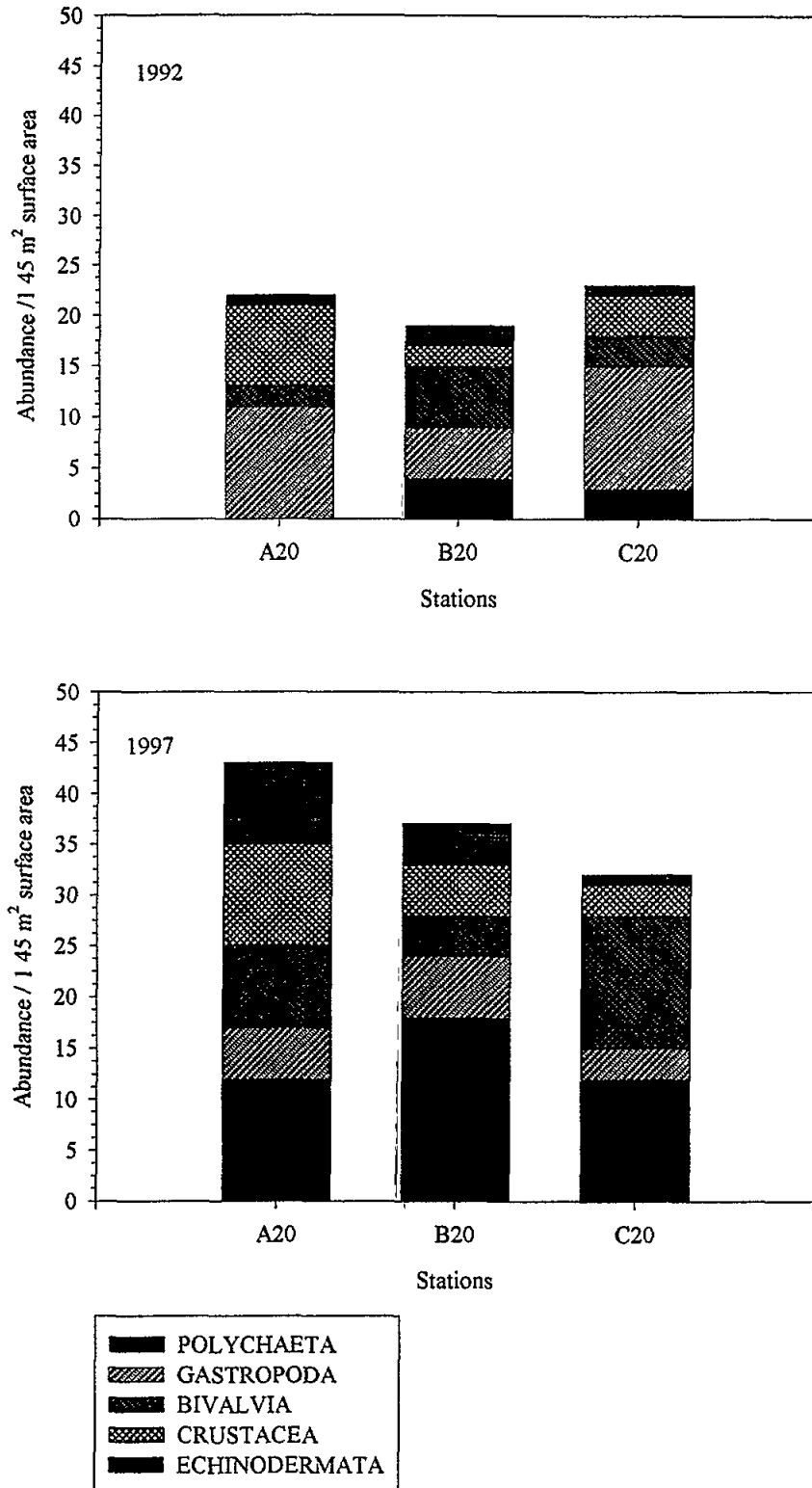
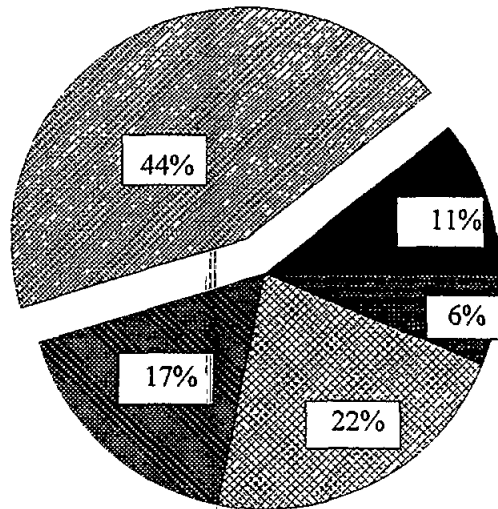


Fig. 7 Abundances of the dominant macrofaunal groups per 1.45 m<sup>2</sup> surface area, from all three stations of Moni Bay, from summers 1992 and 1997.

1992



1997

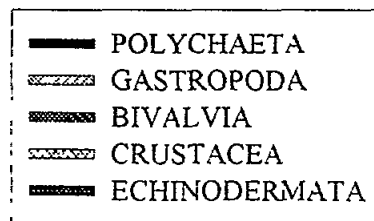
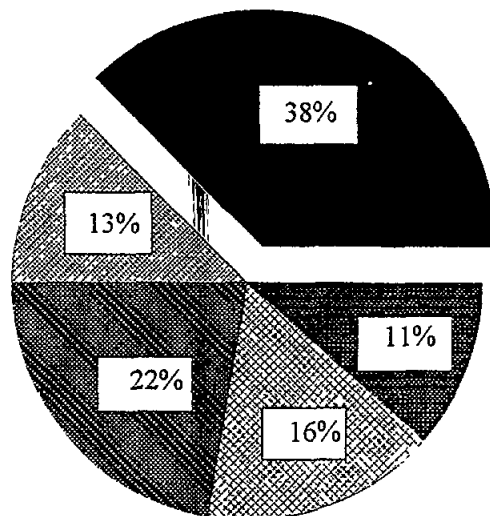


Fig. 8 Percentage abundances of dominant macrofaunal groups from all stations of Limassol Bay, from summers 1992 and 1997.

6. REFERENCES

- Aleem, A.A. (1962), The occurrence of the sea-grass: *Halophila stipulacea* (Forssk.) Asch. on the west coast of Egypt. *Bull.Fac.Sci., University of Alexandria* 4:79-84
- Argyrou, M., M. Hadjichristophorou and A. Demetropoulos (1998), Ecological Changes of softbottom Macrobenthic Assemblages in relation to the Sewage Outfall, in the Limassol Bay, Cyprus, eastern Mediterranean. *Oebalia* (Submitted)
- Bilyard, G.R. (1987), The value of benthic infauna in marine pollution monitoring studies. *Mar.Pollut.Bull.*, 18:581-585
- D'Angelo, G. and S. Gargiullo (1987), Guida alle conchiglie Mediterranee. Fabri Editori, Milano, 224 p.
- Demetropoulos, A. (1969), Marine molluscs of Cyprus (Part A). Fisheries Bulletin, Ministry of Agriculture and Natural Resources, Fisheries Department, 2:1-15
- Demetropoulos, A. (1971), Marine molluscs of Cyprus (Part B). Fisheries Bulletin, Ministry of Agriculture and Natural Resources, Fisheries Department, 2:1-15
- Demetropoulos, A. and M. Hadjichristophorou (1976a), Echinodermata of Cyprus. Fisheries Bulletin, Ministry of Agriculture and Natural Resources, Fisheries Department, 4:1-74
- Demetropoulos, A. and M. Hadjichristophorou (1976b), Some additions to the knowledge of the malacofauna of Cyprus. Fisheries Bulletin, Ministry of Agriculture and Natural Resources, Fisheries Department, 4:75-83
- Fauvel, P. (1975), Polychetes errantes, Faune de France, 5. Kraus Reprint, Nendlin/Liechtenstein, 488 p.
- Fischer, W., M. Schneider et M.L. Bauchot (1987), Méditerranée et Mer Noire, Zone de pêche I (Invertebrates). FAO, Rome, 760 p.
- Fredj, G., D. Bellan-Santini et M. Meinardi (1992), Etat des connaissances sur la faune marine méditerranéenne. *Bull.Inst.Océanogr.*, Monaco, 9:133-145
- Galil, B.S. (1992), Eritrean decaps in the Levant. Biogeography in motion. *Bull.Inst.Océanogr.*, Monaco, 9:115-123
- Hadjichristophorou, M. and M. Argyrou (1992), Environmental Impact Assessment Study for Sewerage Scheme of Limassol - Amathus - Marine Ecology Study - Ministry of Agriculture, Natural Resources and Environment, Department of Fisheries Report, Cyprus, 104 p.
- Hadjichristophorou, M. and M. Argyrou (1993), List of Marine Plants Recorded in the Coastal Area of Cyprus. Ministry of Agriculture, Natural Resources and Environment, Department of Fisheries Report, Cyprus, 5 p.
- Hadjichristophorou, M., M. Argyrou, A. Demetropoulos and T.S. Bianchi (1997), A Species List of the Sublittoral Soft-bottom Macrobenthos of Cyprus. *Acta Adriat.*, 38(1):3-32
- Haritonides, S. (1983), Phycology notes. Aristotelian University of Thessaloniki. 148 p. (in greek)



- Heip, C. (1995), Eutrophication and zoobenthos dynamics. *Ophelia*, 41:113-136
- Ingram, R.L. (1971), Sieve analysis. In: Procedures in Sedimentary Petrology, edited by R.E. Carver, Wiley Interscience, New York, pp.49-66
- Kimor, B. (1972), The Suez Canal as a link and a barrier in the migration of planktonic organisms. *Isr.J.Zool.*, 21:381-403
- Lipkin, Y. (1971), Flora and Vegetation in the Suez Canal a hundred years after its opening. In: Biota of the Red Sea and the Eastern Mediterranean, edited by the Hebrew University - Smithsonian Institution Joint Program, Appendix to Research Proposal 1970/71, Department of Zoology. The Hebrew University of Jerusalem, Israel
- Lipkin, Y. (1972), Marine algal and sea-grass flora of the Suez Canal (The significance of this flora to the understanding of the recent migration through the Canal). *Isr.J.Zool.*, 21:405-446
- Parenzan, P. (1976), Carta d'identita delle conchiglie del Mediterraneo II. Bivalvi. Bio Taras Editrice, Taranto, 546 p.
- Por, F.D. (1971), One hundred years of Suez Canal- A century of Lessepsian migration: Retrospect and viewpoints. *Syst.Zool.*, 20:138-159
- Riedl, R. (1983), Fauna und Flora des Mittelmeeres. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 836 p.
- Sabelli, B., R. Giannuzzi-Savelli and D. Bedulli (1990), Annotated check-list of Mediterranean Marine Mollusks, *Libr. Naturalistica Bolognese*, (Vol. I), 348 p.
- Sokal, R.R. and F.J. Rohlf (1995), Biometry. The principles and practice of Statistics in Biological Research, third ed., W.H. Freeman and Company, New York, 887 p.
- Steinitz, H. (1967), A tentative list of immigrants via the Suez Canal. *Isr.J.Zool.*, 16:166-169
- Steinitz, H. (1970), Comprehensive list of immigrant animals. In Biota of the Red Sea and the Eastern Mediterranean, edited by the Hebrew University-Smithsonian Institution Joint Program, Research proposal 1970/71, Department of Zoology, The Hebrew University of Jerusalem, Israel pp.59-63.
- Tebble, N. (1966), British bivalve seashells, Alden Press, Oxford, 887 p.
- Williams N. (1998), The Mediterranean Beckons to Europe's Oceanographers. *Science*, 279:483-484
- Zariquiey, A.R. (1968). Crustaceos decapodos Ibericos. *Inv. Pes* 2., 32, 510 p.

## MODELING AND SIMULATING *CAULERPA TAXIFOLIA* (VAHL) C. AGARDH IN THE NORTH-WESTERN MEDITERRANEAN SEA: RESULTS AND PERSPECTIVES

by

David HILL<sup>1</sup>, Patrick COQUILLARD<sup>2</sup>,  
Jean DE VAUGELAS<sup>3</sup>, Alexandre MEINESZ<sup>3</sup>

(Communication presented by P. COQUILLARD)

<sup>1</sup> ISIMA, Université Blaise Pascal, Campus des Cézeaux, P.O. Box 125,  
F-63173, Aubière, France

<sup>2</sup> Laboratoire d'Ecologie Végétale et Cellulaire, CNRS ERS 6100, Université d'Auvergne,  
P.O. Box 38, 63000, Clermont-Ferrand Cedex 1, France

<sup>3</sup> Laboratoire Environnement Marin Littoral, CNRS UMR DIMAR 6540,  
Université de Nice-Sophia Antipolis, Parc Valrose, 06108 Nice, France

### ABSTRACT

The purpose of the study is to evaluate the propagation of the green alga of tropical origin *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh in the North-Western Mediterranean sea - introduced in 1984 - by means of an algorithmic computer model. In order to take into account spatial interactions and anthropic dispersion or activities such as eradication, introduction of specific predators,...., the model is based on a coupling of a Geographical Information System with a stochastic discrete event simulation. Even if the model has to cope with incomplete data and sampling difficulties encountered in the hostile environment of the sea, interesting calibration and validation procedures have been achieved including spectral analysis of spatial simulation results. At this stage, the model seems able to achieve a certain level of prediction: local pattern of expansion, increase of *C. taxifolia* biomass and covered surfaces, invasive behaviour towards existing communities.

**KEY-WORDS:** *Caulerpa taxifolia*; Invasive species; Simulation; Discrete Spectral Analysis; GIS

### 1. INTRODUCTION

In 1984, the French coast of the Mediterranean sea near Monaco was the initial site of the development of *Caulerpa taxifolia*, a green alga of tropical origin introduced by mistake (Meinesz and Hesse, 1991). Twelve years latter, this species had colonized several thousands hectares (Meinesz and Boudouresque, 1996) of the French and Italian coasts and was detected in numerous places of the north-western Mediterranean coast, from Croatia (Adriatic sea) to the Balearic islands (Spain). This surprising development may locally induce an intense and irreversible alteration of the coastal ecosystems both on endogenous species distribution (alga, cnidaria, sponges, echinoderms, fishes, etc.) as well as on the ecosystem functioning (trophic levels relationships). Indeed, we can observe the progressive elimination of the benthic flora and fauna in stations heavily occupied by *C. taxifolia* (Boudouresque *et al.*, 1996; de Villèle and Verlaque, 1995; Bellan-Santini *et al.*, 1996). On the other hand, the social and economic repercussions of such damage on the ecosystems would be important but cannot yet be estimated accurately (incidences on fisheries, tourism, etc.).

In order to predict the development of *C. taxifolia*, a simulation study was undertaken through an interdisciplinary joint venture between marine ecologists, biologists and computer scientists. This paper presents the different modeling constraints which were kept in mind while

designing the model, as well as the technical choices and the first results.

The study of *C. taxifolia* settlement and development on precise locations has been achieved to facilitate the validation of simulation results (Sargent, 1984; Hill, 1995; Youngblood and Pace, 1995).

Three settlement sites were yearly mapped by marine ecologists since the beginning of the 90's (Fig. 1). The first zone, in the bay of Villefranche-sur-Mer-sur-mer, was mapped at two different scales : at decametric scale in Passable, a 60 m wide depression made by a World War II bomb impact; at hectometric scale in the La Darse harbour, about 0.5 km long. The second zone of study is the oldest settlement site colonized by the alga in France, situated at the headland of Cap Martin (about 2.5 km wide). This zone has been studied since 1989 and the maps were established to get some observations on the kilometric scale. The third zone is comprised between Menton and Villefranche-sur-Mer-sur-mer (about 30 km of coast). In spite of the absence of exhaustive mapping we considered that enough data were available in that area to attempt some simulations on a large scale.

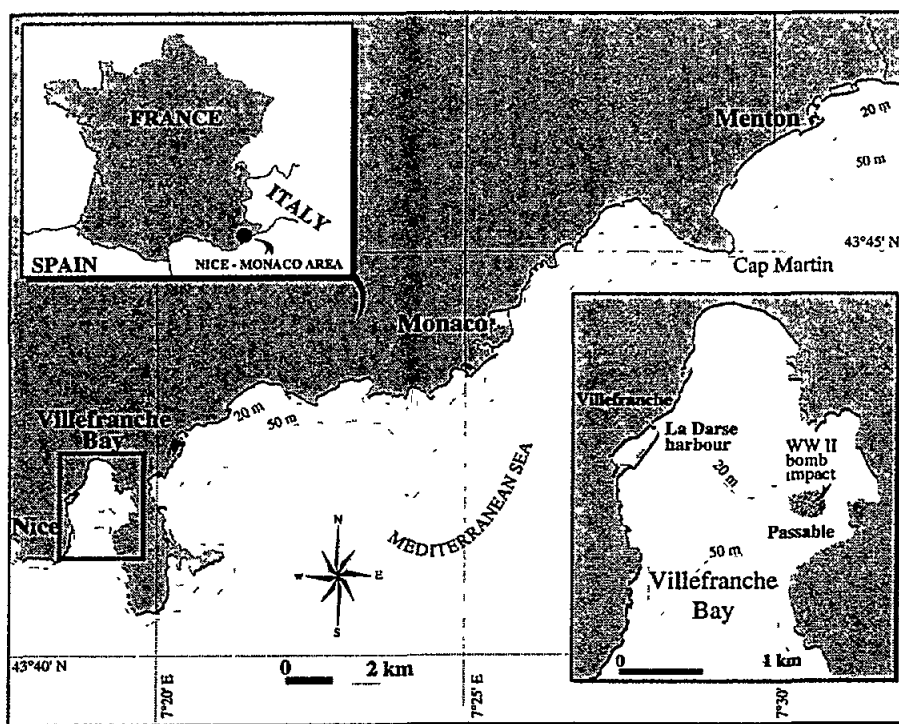


Fig. 1 Studied sites.

## 2. MODELING GOALS

The model we designed had (i) to integrate the physical and biological parameters which were identified as sensitive and (ii) to evaluate and predict in an acceptable manner *Caulerpa taxifolia* propagation on previous sites at different map scales. The main goals assigned to our approach can be synthesized in four points :

- a) Simulate *C. taxifolia* expansion on precise sites with a knowledge model based on ecological data obtained *in situ* or available through the bibliography.

b) Predict the expansion according to the environmental parameters (bathymetry, substrates, biocenosis) of the studied sites. This imposes the subsequent obligation that the model has to take into account the spatial effects (heterogeneity of the sites, long and short distances interactions between organisms).

c) In addition to statistical results, the software has to produce new maps following the Geographic Information System format used at the Laboratoire Environnement Marin Littoral (abbreviated as LEML hereafter), so that they can be compared to real maps in order to validate the model. Quantitative results such as biomass, production, contaminated surfaces and residual biomass of competing species (especially the protected seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile) are also computed.

d) Exploration of the numerous possible trajectories of the system depending on input parameters organized in experimental scenarios (pattern of currents, anthropic dispersion...).

### 3. DATA SAMPLING

#### 3.1 *Caulerpa taxifolia* growth and dispersal

Up to now there is no scientific evidence of a sexual reproduction for the Mediterranean strain of *C. taxifolia* (Meinesz, 1992; Meinesz *et al.*, 1993; Meinesz *et al.*, 1994; Meinesz and Boudouresque, 1996) The reproduction is only vegetative (elongation and ramification followed by fragmentation and dispersion of the fragments). The individual growth is measured as the annual extension of the stolon (up to 1.860 m/year), including the length of the ramifications occurring during the same period (Komatsu *et al.*, 1994).

The dispersion of the alga is linked to the production of numerous fragments due to the thallus fragmentation during winter. A long term study was started at Passable with a very detailed map (1:1000th) and enabled us to obtain the distribution parameters of fragments, i.e. distribution range and number of fragments per square meter (Fig. 2). We immediately saw that the collected data did not fit with any usual statistical distribution such as a Gaussian distribution that we expected and which was first tried. A classical circular uniform distribution seemed to better represent the cuttings' dispersion with an approximate radius of 20 meters in sites under weak hydrological conditions. The lack of data concerning local currents as well as *in situ* sampling difficulties reduced the quality of acquired data and predictions. However this limitation may be partially overpassed through modeling choice of a uniform law, justified in case of lack of precise collected data due to the hostile environment affecting the usual statistical study of simulation input data (Box and Muller, 1958; Banks and Carson, 1984; Law and Kelton, 1991).

Conditions in the littoral environment and simulations on several sites showed that this simple uniform model was only able to reproduce the very local dispersion of fragments, but it was unable to reproduce the long distance spreading which characterizes the unsheltered sites such as Cap Martin. We then introduced a two level dispersion model: some of the fragments are spread out at short distance according to the kind of substrate on which *C. taxifolia* grows (cf. section 5.1), others are spread at long distances (i.e. several hundreds meters).

In addition, anthropic action (fishing nets, anchors of yachts) is probably the main factor for long distance dispersion of fragments (Sant *et al.* 1994). No accurate statistics are actually available for these events.

The average biomass of *C. taxifolia* is 0.5 kg F.W. m<sup>-2</sup> according to data sampled at various depths and substrates (Meinesz *et al.*, 1995).

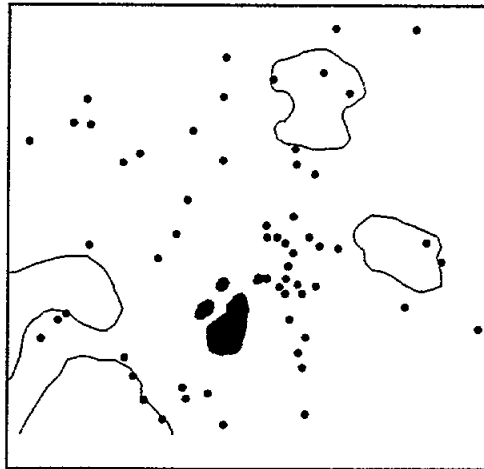


Fig. 2 Spreading of 59 fragments –which have successfully settled– in five months (June–November 1994), within a maximum radius of 20 meters, around 1 m<sup>2</sup> densely covered by *Caulerpa taxifolia*. In the same time, the initial colony (in gray) has grown up to 3.5 m<sup>2</sup> and some cuttings have developed three additional colonies. The envelopes are outlining the *Posidonia oceanica* beds.

### 3.2 Bathymetry influence

*Caulerpa taxifolia* is able to densely colonize various substrates at various depths ranging from 1 to 100 meters. However, the settlement in places deeper than 50 meters (some individuals have been observed at 90 m by Belsher and Meinesz, 1995) is much slower, due to a low level of light and cold temperature. For modeling purposes the probability of settlement success has been established as a function of depth according to numerous *in situ* observations during the past 6 years (Table 1).

Table 1

Probabilities of *C. taxifolia* settlement as a function of depth

Depths (m)	0 – 3	3 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 50	> 50
P(settlement)	0.01 to 0.1	0.1 to 1	1	0.5 to 1	0.01 to 0.1	0 to 0.01

*In situ* observations indicated that these probabilities had to be adjusted for each site as a function of hydrodynamic pattern for the superficial depths (effect of waves and turbulence).

### 3.3 Substrates

We distinguished six main substrates which were colonized by *C. taxifolia* and mapped on the different studied sites : unstable sand with ripplemarks, dead seagrass beds, *Posidonia oceanica* seagrass beds, rocky substrate (with photophilous algal cover), sediment (from muddy sand to coarse gravel) and harbour mud. Table 2 summarizes the probabilities of fragment

settlement on these substrates. These probabilities have been established from numerous observations since 1990 on several sites (Ribera *et al.* 1994).

Table 2

Probabilities of *C. taxifolia* settlement as a function of substrate

Substrates	Unstable sand with ripplemarks	Dead seagrass beds	Posidonia beds	Harbour mud	Rocks with photophilous algal cover	Sediments
P(settlement)	0.01	0.80	0.20	0.90	0.90	0.10

### 3.4 Seasonal variation

The growth of *Caulerpa taxifolia* starts in May–June, ending in November. In winter the cold temperatures (about 13 °C.) induce a degeneration of the alga biomass as shown on Table 3. The following table has been set both by observations and measurements (Gayol *et al.*, 1994; Meinesz *et al.* 1995; Garcia *et al.* 1996).

Table 3

Monthly percentage of *C. taxifolia* biomass increase and degeneration

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept	Oct.	Nov.	Dec.
Increase(%)	3	7	20	30	20	5	5	0	0	2	3	5
Degeneration (%)	7	7	3	1	0	0	0	0	0	0	2	5

### 3.5 Currents

No statistics are available for current intensity at high resolution spatial scales. In the sheltered site of Villefranche bay (La Darse harbour and Passable) the distribution of new fragments surrounding a place of first settlement did not show any obvious trend in the action of currents (Fig. 2). However in high hydrodynamic situations –such as Cap Martin– the retained model consisted in modifying the scattering of fragments in an ellipse whose diameters were determined as a function of the direction and intensity of the current. Obviously this approximation cannot reflect the whole complexity of this factor but at this time it seems impossible to improve meaningfully this algorithm due to the absence of current measurements.

## 4. MODELING AND IMPLEMENTATION CHOICES

### 4.1 Simulation technique

As described above (§ 3) the simulation technique had to take into account the fact that the development of *Caulerpa taxifolia* imposed some considerations of spatial effects, those effects (currents, spatial heterogeneity, fragments spreading...) being considered as major parameters influencing the colonization process and finally the whole system functioning.

The retained modeling technique was Discrete Event Simulation (DES) (Zeigler, 1976; Ripley, 1987; Kleijnen and Groenendaal, 1992; Fiswick, 1995; Hill, 1996) recently used in the last decade for ecological modeling purposes (Turner *et al.*, 1982; Pukkala, 1988; Huston *et al.*, 1988; Auger and Faivre, 1993; Breckling and Müller, 1994; Jorgensen, 1994; Maxwell and Costanza, 1994; Baveco and Smeulders, 1994; Hill *et al.*, 1994; Coquillard, 1995; Breckling, 1996). The model is no longer specified with only a mathematical formalism but with an algorithm which describes the system functioning.

This implied the development of a simulation software able to handle any littoral site by interfacing it with a Geographical Information System (GIS) (Parker, 1996). Part of the simulation model input was initialized with digitized maps created in the GIS software MapGraphix™ (Fig. 3). For each studied site, two maps were used : one for substrates and one for bathymetry. In the same way, the spatial simulation results are provided in GIS format in addition to traditional curves and statistics (see also § 3.3).

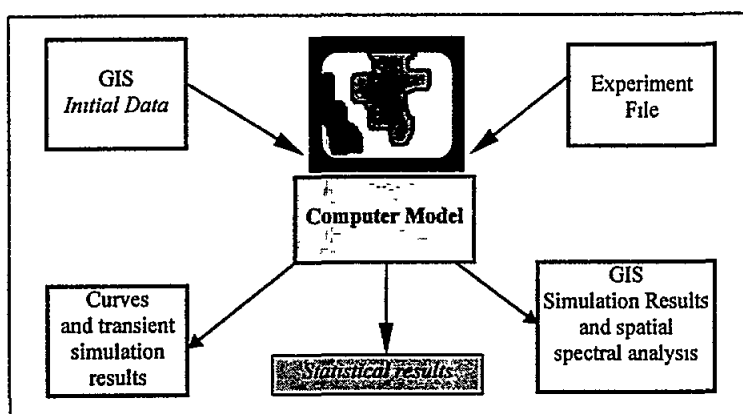


Fig. 3 Input-output data and coupling GIS data-DES model (explanations in the text).

The data sampling exposed above led us to build a stochastic model. The results were computed as means with confidence intervals i.e. were obtained by means of the replication technique (Shannon, 1975; Kleijnen, 1987). Independence, common mean, variance and normal distribution of the responses were attested by a Kolmogorov's test applied on results obtained from both 1 000 and 10 000 replications (Hill *et al.*, 1996).

#### 4.2 Modeling Elements

The simulation model relies on a set of holistic variables which are estimated and changed with the occurrence of discrete events. The sites under study are divided into cells with a grid which size is an important model parameter. The cell size varies from 16 cm<sup>2</sup> up to 370 m<sup>2</sup> depending on the scale of the studied site. Each cell possesses substrate and depth attributes (provided precisely by the GIS). The probability that *C. taxifolia* will grow in each cell is linked to a set of evolution rules depending on (i) the depth, (ii) the kind of substrate and (iii) the number of fragments arriving in the cell. The growth during a simulation session is based on a list of active cells (i.e. those containing *C. taxifolia* individuals) which evolution is calculated with linear coefficients fixed in the parameter initialization. An exploratory approach allowed us to determine the best parameters for each site. Simulations are initialized from experiment files (with 98 parameters). Experiment files contain :

- a. simulation control parameters (duration, number of replicates, GIS map specifications,...)
- b. model initial values (distribution rate of the fragments, current direction and strength,...).

- c. settlement probabilities as a function of bathymetry, substrate, season,...
- d. monthly parameters for stolon growth, spread of fragments, biomass, degeneration.

The algorithm integrates the different processes involved in the alga expansion, the two main processes being the stolon growth and the spread of fragments. For each active cell, the stolon growth can occur randomly in 8 directions, respecting the monthly parameters and proportions, 1 to 4 directions are selected uniformly. Stolon growth occurs at both ends, the colonization of neighbouring cells depending on the monthly growth and on the site scale. The simulation time step retained is the month in order to take into account seasonal growth and degeneracy (Komatsu *et al.*, 1994). To sum up, the main parameters considered in the model are :

bathymetry,  
current direction and strength,  
monthly temperature,  
biocenosis and inventory list of substrates,  
*C. taxifolia* growth and settlement parameters described above.

#### 4.3 Implementation

The computer program implementing the model is written with GNU C++ (2.6.3) and is available on PC (running Linux) and Unix workstations under X-Windows (X11R5 or R6). We use an object-oriented approach which is now well recognized as best suited to deal with simulation, particularly in the field of ecological modeling (Lhotka, 1991) and the software tools developed follow the design of the Ecosystem Modeling Environment template we previously defined (Hill *et al.*, 1994). The pseudo-random number generator is based on a generalized Lewis-Payne shift register technique, shuffled with a congruential one, resulting in a  $2^{128}$  period generator (Leroudier, 1980; L'Ecuyer, 1990).

## 5. RESULTS

### 5.1 Calibration and sensitivity

At Villefranche-sur-Mer bay (Passable site) we started a calibration process with an initial zone of 3.5 m<sup>2</sup> of *Caulerpa taxifolia* at 80 % of maximum biomass density, which was mapped in 1994 (Fig. 4A). The simulation over one year showed that the colonization reached a surface of 58.4 m<sup>2</sup> (Fig. 4B) this value being comparable to the *in situ* measured surface : 59 m<sup>2</sup>. The spectral analysis allowed us to identify some places where the dispersion of cuttings is minimal. This is the case of *Posidonia oceanica* beds whose long leaves trap the fragments and slow stolon growth.

Some variations of several parameters to extreme (and non realistic) values did not induce any brutal bifurcation and abnormal behaviour of the model. Eventually the calibration and the sensitivity analysis demonstrated that the model can be considered as robust enough and the conceptual model consistent (Kleijnen and Groenendaal, 1992). At last numerous replications – up to 100 000– were done for verification purposes (the random number pseudo-period being long enough). They showed after the correction of inevitable programming bugs that the modifications of internal data flow never lead the model to exhibit abnormal behaviour or biased statistical results. In such conditions the model could be considered as “reliable” according to the definition in use in the simulation community (SCS, 1979).



## 5.2 Model validation

We used four techniques for the validation phase (Balci and Sargent, 1989; Youngblood and Pace, 1995; Hill *et al.*, 1996) :

- a) **Comparison validation** : comparison of results from site to site.
- b) **Confrontation validation** : asking marine ecologists if the results and the behaviour of the model were consistent.

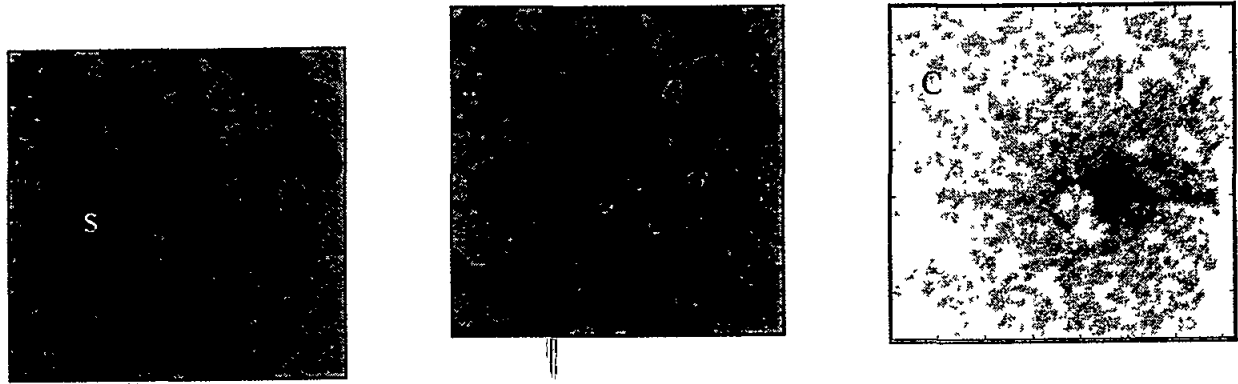


Fig. 4 One year simulation on Passable site (16 cm<sup>2</sup> resolution). P = *Posidonia oceanica* beds; S = sediment (coarse gravel); approximate depth = 10 m. **4A**. Initially sampled data (1994). In black the initial spot densely colonized by *Caulerpa taxifolia* (3.5 m<sup>2</sup>). **4B**. One possible (among an infinity) *Caulerpa taxifolia* extension obtained (58.4 m<sup>2</sup> covered). **4C**. Spectral analysis (255 replicates); the frequencies of settlement are as higher as the colors are dark. Clearest areas indicate that *Posidonia* beds slow the alga invasion.

c) **Graphic validation** : using visualization and animation to make use of the human ability to apprehend spatial relationships. For this kind of simulation study, the spatial auto-correlation is strong since *C. taxifolia* contaminated zones tend to form aggregated spots. On the contrary, from one replicate to the other, peripheral spots distribution is totally different without apparent correlation. Thus, it can be interesting to sum up the results of a large number of replicates in a single representation of the frequencies, this constituting a Discrete Spectral Analysis we already defined (Coquillard and Hill, 1997). Spectral analysis helps us to point out areas which have a high probability of invasion by *C. taxifolia*. However, this leads to difficulties in result interpretation, since the visualized result is a sum in the space of possible solutions. Furthermore, the existence of a peak is not easy to analyze and would need a deeper study to discover possible spatial attractors (Kleijnen, 1987; Legendre and Fortin, 1989; Hill *et al.*, 1996).

d) **Statistical validation.**

The model was run on three other sites :

a) The results for the Villefranche-sur-Mer harbour (La Darse, Fig. 5A) were considered as consistent for a simulation of 5 years. For this 5 years simulation a comparison with the real state of *C. taxifolia* colonization was achieved and no abnormal colonization (excess or default) was detected (points 1 and 2). Indeed the map resulting from the spectral analysis (Fig. 5B) is comparable to the map recorded by the divers (Fig. 5C). Furthermore, the simulations regularly

predicted some fragment settlement in areas difficult to explore (long leaves of seagrass beds or depth greater than 50 m). Back on the site, divers confirmed through careful investigations these settlements which had not been previously noticed. The model was also able to predict such "hidden" settlements on Passable site.

Figure 6 and Table 4 show the results obtained about the colonized surfaces through the 5 simulation years.

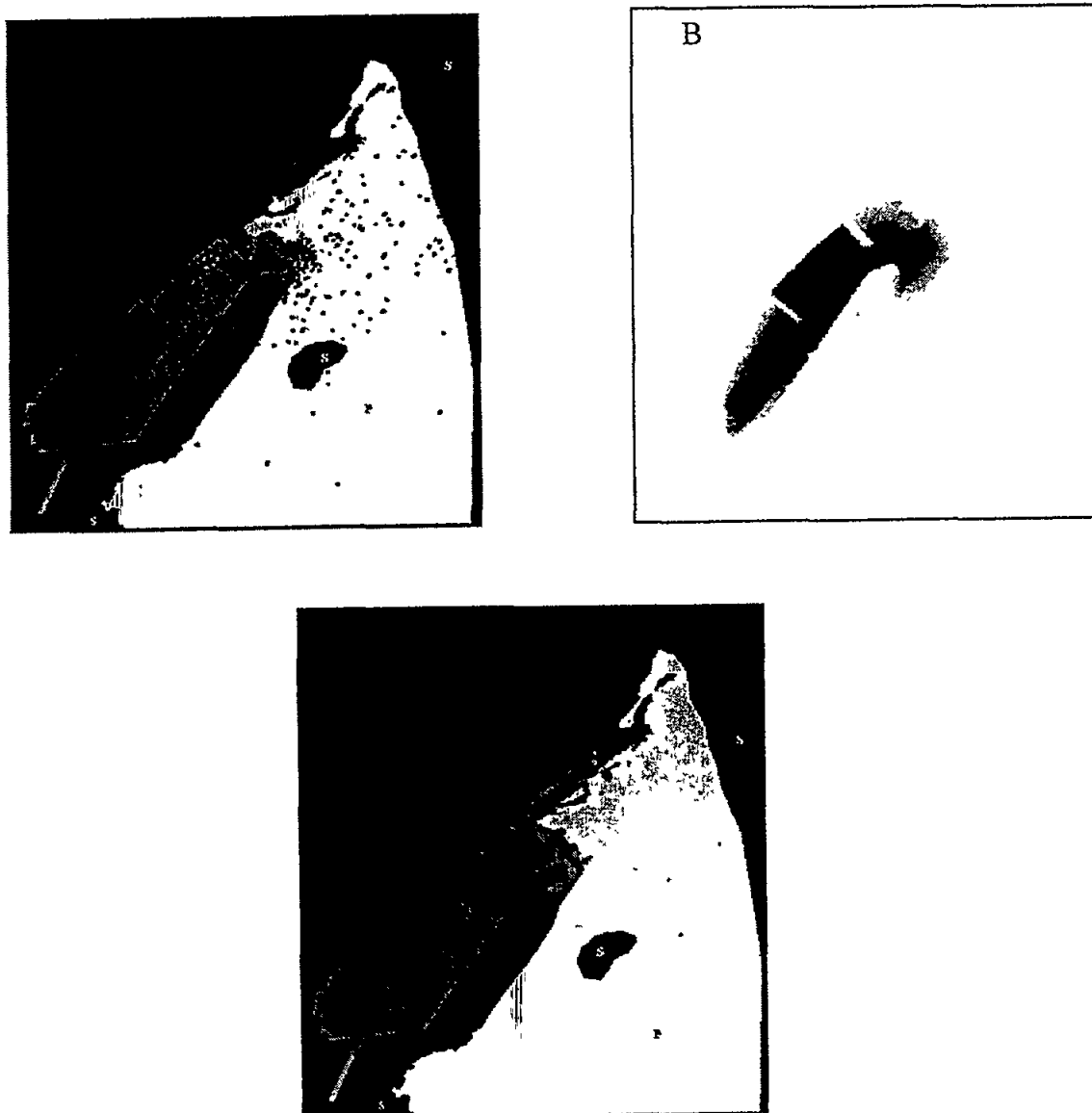


Fig. 5 Simulation over 5 years on Villefranche-sur-Mer harbour (La Darse) site. C = *Caulerpa taxifolia*; R = rocks; M = harbour mud; S = sediment; P = *Posidonia oceanica* beds. **5A.** Map provided by the model; *C. taxifolia* appears in a two gray scale : light gray corresponds to densities higher than 80 %; the arrow points out on the initial spot of *C. taxifolia* in 1991. **5B.** Result of a spectral analysis (255 replicates; same convention as for Figure 4). **5C.** Actual *Caulerpa taxifolia* settlement (November 1996).

b) Simulations of the Cap Martin (Fig. 7) and Menton-to-Villefranche-sur-Mer (Fig. 8) sites were engaged to follow the alga expansion on larger scales and test the third kind of validation technique (point 3, above). The comparison with real maps of the early 90's gave encouraging results. The simulation maps are only samples of a stochastic process, however they are essential to understand the spatial aspects of the colonization process. At this time on such large sites, the only possible validation consists in a graphical comparison with recent cartographic data provided by the French oceanographic research institute IFREMER (Belsher *et al.*, 1994). Though statistical validations on those sites were not possible, graphical confrontation validations are encouraging. By the fall of 1997 and 1998, an IFREMER oceanographic ship would give some more precise sonar imagery of *C. taxifolia* settlement from 10 to 100 m deep, from Villefranche-sur-Mer to Italy. Substantial improvements of model validation are expected from these oceanographic campaigns.

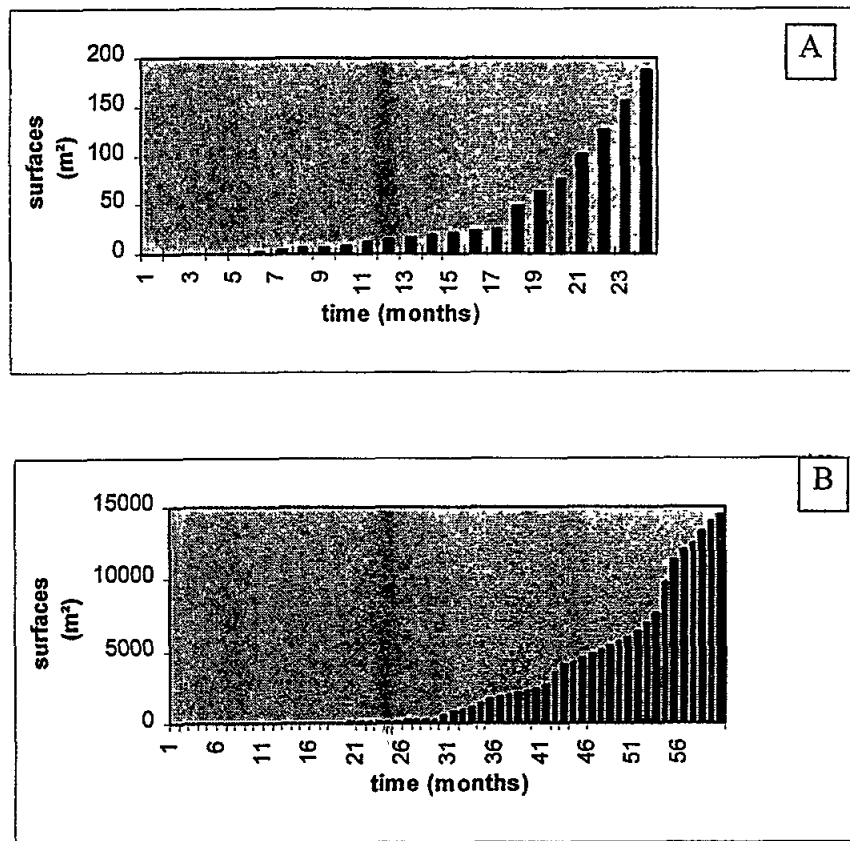


Fig. 6 Statistical results of the La Darse site simulation. 6A and 6B. Variation of the surfaces colonized by *Caulerpa taxifolia* as a function of time.

**Table 4**

Colonized surfaces predicted by a 5 simulation years on La Darse site.  
A 90 % confidence interval on the mean was obtained with 10 replicates

Surfaces (ha)	Minimum	Maximum	Mean
Total colonized surface (ha)	1.60	2.28	1.97 ( $\pm 0.13$ )
Surface densely colonized (>80%) (ha)	1.04	1.49	1.31

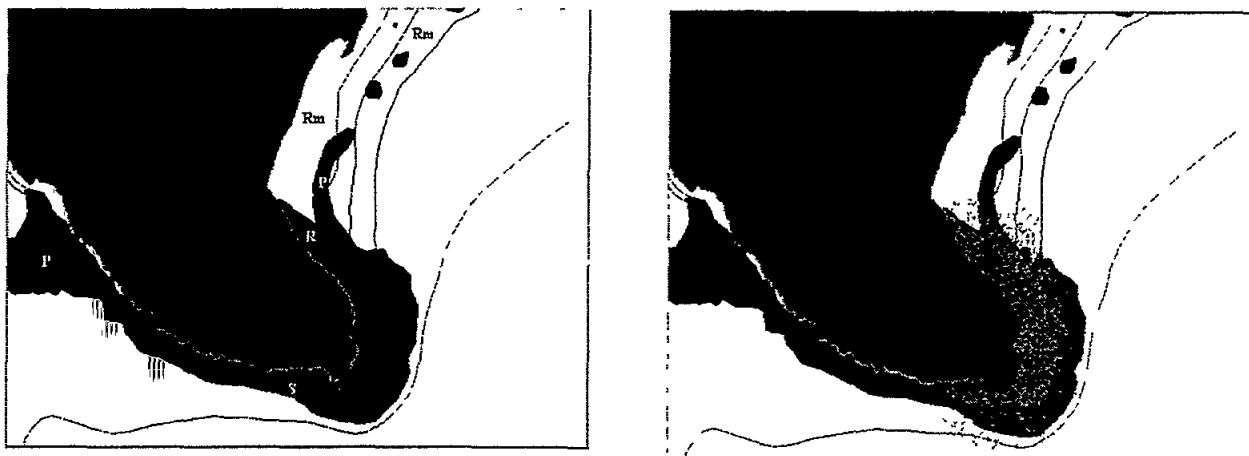


Fig. 7 Three year simulation on the Cap Martin site (3.5 m<sup>2</sup> resolution), P = *Posidonia oceanica* beds; R = rocks; S = sediment (coarse gravel); Rm = unstable sand with ripplemarks. **7A.** Initial data (1989). Isobaths lines correspond respectively to 10, 20, 30 and 50 meters deep. **7B.** Result for one replication.

## 6. CONCLUSION

This simple and lumped model, taking into account the spatial effects, increases in a significant way the complexity and realism compared to usual analytic models and appears as robust and reliable enough to be considered as partially valid. Particularly, we can consider its ability to forecast some undetected *C. taxifolia* settlements as a good sign of its validity.

Some problems still remain. In essence they concern : the evaluation of *C. taxifolia* biomass increase as a function of depth and time; the variations of surfaces occupied by *C. taxifolia* with respect to other species in competition, mainly *Posidonia oceanica*; the fragments settlement depending on the kind of substrate; the direction, velocity and frequency of local currents. The possibility to provide a coupling of this simulation model with an oceanic circulation model influencing fragment distribution in direction and distance is envisaged but will require enormous data acquisition for each site.

Another extension of the model could be done concerning the spreading of *C. taxifolia* fragments through the anchors of boats and fisheries equipment (nets, trawls, etc.). The ability of the alga to survive for several days (up to 8 days) in the sheltered and wet anchor's case

(Sant *et al.*, 1994) allows us to suspect that these activities are one of the main factors of its extension on long distances.

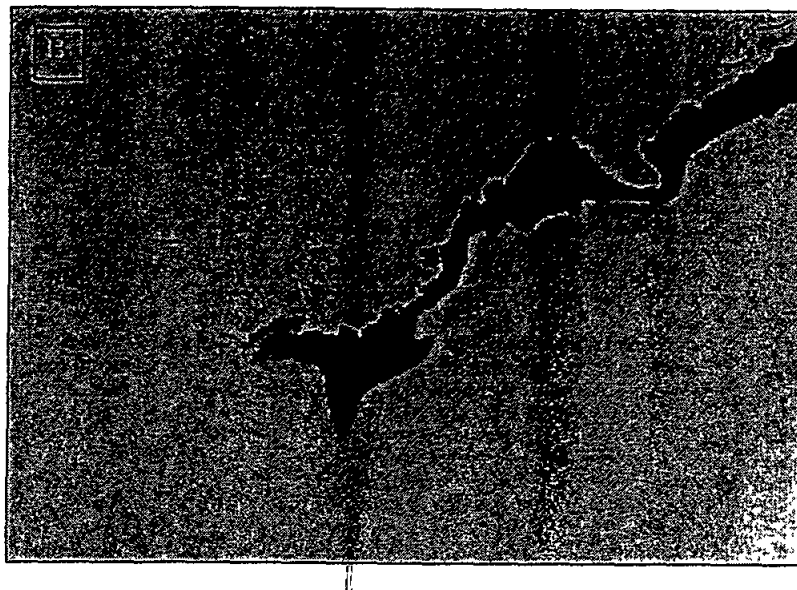
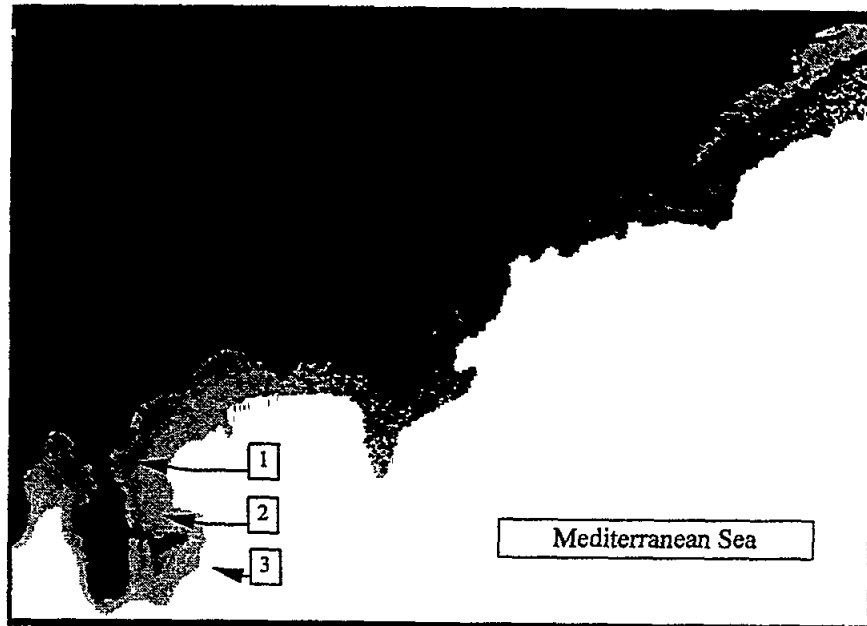


Fig. 8 12 years (1984-1996) simulation on Menton-to-Villefranche site (9 m = resolution). 1 : 0-20 m deep; 2 : 20-50 m deep; 3 : > 50 m deep. Same convention as for figures 5C and 6A. **8A**. Results of a simulation. The model was initialized with two spots, one of 1 m diameter at Monaco in 1984 and one of 1 m diameter at Cap Martin in 1987. **8B**. Result of a spectral analysis (255 replications).

However these last points do not prohibit additional simulations on other sites and the model would gain in reliability with complementary studies. We are now looking at simulations on other sites from the colonization velocity point of view, producing time-series of spectral analysis. Substantial responses about the following points and questions are expected :

(i) natural speed of *C. taxifolia* colonization of a site from one or several initial places of settlement,

(ii) what consequences on speed and spreading could be predicted when starting simulation with virtual eradications (analogous to the already used manual rooting-up and chemical treatments (Riera *et al.*, 1994) –especially within protected areas such as natural parks and reserves– and what are the optimized locations for such operations in order to preserve the richest zones ?

Lastly, some technical points can be improved :

(i) Spectral analysis helps to predict the most probable colonized areas. However this technique is not able to detect some multiple spatial attractors due to spatial correlations. Consequently in some cases the system could significantly diverge from the predicted results. Unfortunately, no reliable mathematical or statistical techniques are available at this time to detect such circumstances. Accurate knowledge and the functional analysis of the ecosystems seem to be the only ways to avoid any wrong forecasts and interpretations.

(ii) Simulation on very large sites cannot yet be considered on isolated computers (even on supercomputers). In order to reduce the computing time and increase the accuracy (scale and grid resolution), Distributed Interactive Simulations (DIS) on a set of networked computers, each one managing a part of a site, is being set up and promises interesting results (Fujimoto, 1990).

## 7. ACKNOWLEDGMENTS

These works were partially supported by EC research program LIFE (DG XI) Nr 95/F/A31/EPT/782

## 8. REFERENCES

- Auger, P. and B. Faivre (1993), Propagation of extinction waves in spatial models of interspecific competition and selective predation. *Acta Oecologica*, 14(6):781-805
- Balci, O. and R.E. Sargent (1989), Guidelines for selecting and using simulation model verification techniques. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, pp.559-568
- Banks, J. and J.S. Carson (1984), *Discrete Event System Simulation*. Prentice Hall, pp.181-195
- Baveco, J.M. and A.M.W. Smeulders (1994), Objects for simulation : Smalltalk and Ecology. *Simulation*, 62(1):42-57
- Bellan-Santini, D., P.M. Arnaud, G. Bellan and M. Verlaque (1996), The influence of the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia*, on the biodiversity of the Mediterranean marine biota. *J.Mar.Biol.Assoc.U.K.*, 76:235-237
- Belsher, T. and A. Meinesz (1995), Deep-water dispersion of the alga *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean. *Aquatic Botany*, 51:163-169

- Belsher, T., G. Youenou, J. Dimeet, J.-M. Raillard, S. Bertrand et N. Mereau (1994), Cartographie et évolution de *Caulerpa taxifolia* (Alpes-Maritimes et Principauté de Monaco; année 1992). *Oceanologica Acta*, 17(4):443-451
- Boudouresque, C.-F., R. Lemée, X. Mari and A. Meinesz (1996), The invasive alga *Caulerpa taxifolia* is not a suitable diet for the sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Aquatic Botany*, 53:245-250
- Box, G.E.P. and M.E. Muller (1958), A note on the generation of random normal deviates. *Annals of Mathematical Statistics*, 29:610-620
- Breckling, B. (1996), An individual based model for the study of pattern and process in plant ecology : an application of object-oriented programming. *EcoSys Bd.*, 4:241-254
- Breckling, B. and F. Müller (1994), Current trends in ecological modelling and the 8th ISEM conference on the state-of-the-art. *Ecological Modelling*, 75:667-675
- Coquillard, P. (1995), Simulation of the cyclical process of heathlands. Induction of mosaics structures, evolution to irreversible states, *Ecological Modelling*, 80:97-111
- Coquillard, P. et D.R.C. Hill (1997), Modélisation et Simulation d'Ecosystèmes. Des modèles analytiques à la simulation à événements discrets. Collection Ecologie, Masson, Paris, 273 p.
- Fiswick P.A. (1995), Simulation Model Design and Execution : Building Digital Worlds, Prentice Hall, 448 p.
- Fujimoto, R. (1990), Optimistic Approaches to Parallel Discrete Event Simulation. *Transactions of the Society for Computer Simulation*, 7(2):153-191
- Garcia, E., C. Rodriguez-Prieto, O. Delgado and E. Ballesteros (1996), Seasonal light and temperature responses of *Caulerpa taxifolia* from the northwestern Mediterranean. *Aquatic Botany*, 53:215-225
- Gayol, P., C. Falconetti, J.R.M. Chisholm and J.M. Jaubert (1994), Effects of light, temperature and nutrients on *Caulerpa taxifolia* photosynthesis and respiration. In: First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.-F. Boudouresque, A. Meinez and V. Gravez, GIS Posidonie, Marseille (France), pp.291-295
- Hill, D.R.C. (1995), Verification and Validation of Ecosystem Simulation Models. In: Proceedings of the SCS'95, edited by I. Tuncer, Oren and G. Louis Birda, Ottawa, Ontario, Canada, July 24-26, pp.176-181
- Hill, D.R.C. (1996), Object-Oriented Analysis and Simulation. Addison-Wesley Longman
- Hill, D.R.C., J. Pastre, P. Coquillard and J. Gueugnot (1994), Design of an Ecosystem Modeling environment Application to Forest Growth Simulation. Proceedings of the First Joint Conference of International Simulation Societies, August 22-25, Zurich, pp.538-544
- Hill, D.R.C., C. Mazel and P. Coquillard (1996), Integrating V&V in the object-oriented life cycle of ecological modelling simulation projects. In: Proceedings of the European Simulation Symposium 96, Oct. 24-26, Genova, Italy

- Huston, M., D. DeAngelis and W. Post (1988), New Computer Models Unify Ecological Theory. Computer Simulation shows that many ecological patterns can be explained by interactions among individual organisms. *BioScience*, 38(10):682-691
- Jorgensen, S.E. (1994). Fundamentals of Ecological Modelling. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands
- Kleijnen, P.C. J. (1987), Statistical tools for simulation practitioners. Marcel Dekker Inc. Pub., New York, USA
- Kleijnen, P.C.J. and W.V. Groenendaal (1992), Simulation a Statistical Perspective. Wiley, 241 p.
- Komatsu, T., H. Molenaar, J. Blachier, D. Bucles, R. Lemée et A. Meinesz (1994), Premières données sur la croissance des stolons de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. In: First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.-F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez, GIS Posidonie, Marseille (France), pp.279-283
- L'Ecuyer, P. (1990), Random numbers for Simulation. Communication of the ACM, 33(10):85-97
- Law, A.M. and W.D. Kelton (1982; 1991), Simulation Modeling and Analysis, (2nd Ed in 1991). Mac Graw Hill
- Legendre, P. and M.M. Fortin (1989), Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio*, 80:107-138
- Leroudier, J. (1980), La Simulation à événements discrets. Hommes et Techniques, Paris, 101 p.
- Lhotka, L. (1991), Object-oriented methodology in the field of aquatic ecosystem Modeling, In: TOOLS 4, Technology of O.O. Language and Systems, Prentice Hall, pp.309-317
- Maxwell, T. and R. Costanza (1994), Distributed object-oriented spatial ecosystem Modeling. Object-Oriented Simulation Conference, pp.85-90
- Meinesz, A. (1992), Modes de disémination de l'algue *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. *Rapp. Comm. Internat. Explor. Sci. Médit.*, 33:B 44
- Meinesz, A. et B. Hesse (1991), Introduction et Invasion de l'algue *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée nord-occidentale, *Oceanol. Acta*, 14(4):415-426
- Meinesz, A. et C.-F. Boudouresque (1996), Sur l'origine de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. C. R. Acad. Sci. Paris, *Sciences de la Vie*, 319:603-613
- Meinesz, A., J. de Vaugelas, B. Hesse and X. Mari (1993), Spread of the introduced tropical green alga *Caulerpa taxifolia* in northern Mediterranean waters. *J. Appl. Phycol.*, 5:141-147
- Meinesz, A., E. Ballesteros, J. Blachier, F. Cinelli, J.-M. Cottalorda, C. Frada'orestano, T. Komatsu, R. Lemée, H. Molenaar, C. Morucci, S. Pou, R. Sandulli, G. Tripaldi and J. de Vaugelas (1994), Latest news on the spread of *Caulerpa taxifolia* introduced in the Mediterranean. 5 th int. Phycol. Congress, Qingdao, 164:28



- Meinesz, A., L. Benichou, J. Blachier, T. Komatsu, R. Lemée, H. Molenaar and X. Mari (1995), Variations in the Structure, Morphology and Biomass of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean Sea, *Botanica Marina*, 38:499-508
- Parker, D. (1996), Innovation in GIS 3, Taylor and Francis. UK
- Pukkala, T. (1988), Effect of spatial distribution of trees on the volume increment of a young scots pine stand. *Silva Fennica*, 22(1):1-17
- Ribera, M.A., E. Ballesteros, C.-F. Boudouresque, A. Gomez and V. Gravez (1994), Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, Barcelona, Spain, 15-17 December 1994
- Riera, F., S. Pou, A.M. Grau, O. Delgado, B. Weitzmann and E. Ballesteros (1994), Eradication of a population of the tropical green algae *Caulerpa taxifolia* in Cala d'Or (Mallorca, Western Mediterranean): methods and results. In: First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.-F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez, GIS Posidonie, Marseille (France), pp.327-331
- Ripley, B.D. (1987), Stochastic Simulation. Wiley, New-York, U.S.A
- Sant, N., O. Delgado, C. Rodriguez-Prieto and E. Ballesteros (1994), The effects of dessication on photosynthesis of *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh. In: First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.-F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez, GIS Posidonie, Marseille (France), pp.315-319
- Sargent, R.G. (1984), A tutorial on Verification and validation of simulation models. Proc. of the SCS Winter Simulation Conference, pp.115-121
- SCS (1979), Society for Computer Simulation - Technical Committee on Model Credibility, Terminology for Model Credibility. *Simulation*, 32(3):103-107
- Shannon, R.E. (1975), System Simulation the art and Science. Prentice Hall
- Turner, M.E., J. Claiborne Stephens and W.W. Anderson (1982), Homozygosity and patch structure in plant population as a result of nearest-neighbor pollination. *Proc.Natl.Acad.Sci.*, 79:203-207
- Villèle, X. de and M. Verlaque (1995), Changes and Degradation in a *Posidonia oceanica* bed Invaded by the Introduced Tropical Alga *Caulerpa taxifolia* in the North-Western Mediterranean, *Bot. Marina*, 38:79-87
- Youngblood, S.M. and D.K. Pace (1995), An overview of Model and Simulation Verification, Validation and Accreditation. John Hopkins APL Technical Digest, 16(2):197-205
- Zeigler, B.P. (1976), Theory of Modeling and Simulation, Wiley Interscience, New York

## CONTRASTING EFFECTS OF *POSIDONIA OCEANICA* ON *CAULERPA TAXIFOLIA*

by

Giulia CECCHERELLI and Francesco CINELLI

Dipartimento di Scienze dell'Uomo e dell'Ambiente - Università di Pisa  
Via A. Volta 6 - 56126 Pisa, Italy

### A B S T R A C T

Two experimental investigations have been carried out *in situ* to highlight mechanisms that regulate this kind of interaction. The aim of this study was to elucidate factors affecting the performance of this alga in the *P. oceanica* habitat providing a basis to detect determinants of success for the invader non-indigenous species and to predict vulnerability to invasion for different conditions of the seagrass beds. In the first experiment both shoot density and canopy height were manipulated at the edge of two meadows at 2 and 10 m depth and the response of *C. taxifolia* was assessed in four different elapsed times. In the second experiment the mechanism responsible of the canopy influence on blade size were studied using mimic plants made of transparent plastic strips able to protect but not shade the alga.

Results have indicated that higher blade size of *C. taxifolia* was found at the deeper site and at the edge of defoliated seagrass (10% of the density), and also where the seagrass canopy was not shading. The results obtained suggest that hydrodynamic disturbance is probably the main limiting factor for algal growth and that the positive effect of *P. oceanica* on its size consists in nursing it. However, even protection has a cost because algal blades were taller where they occur at the edge of transparent plants, hence where light is allowed to get through the seagrass canopy. Therefore, we predict that dense *P. oceanica* meadows are likely to be less vulnerable to the seaweed invasion respect to sparse ones which, conversely, represent a good compromise condition of protection and shading, two contrasting effect of the seagrass on the alga.

### 1. INTRODUCTION

Occurrence of non-indigenous species are increasing in coastal areas around the world (Carlton, 1989; Lodge, 1993; Carlton & Geller, 1993) and an important goal is to detect determinants of success for the potential invader and of vulnerability to invasion for different communities.

The introduced alga *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh is at present known to determine in the Mediterranean a biological impact for some seagrasses such as *Posidonia oceanica* (de Villèle & Verlaque, 1995) and *Cymodocea nodosa* (Ceccherelli & Cinelli, 1997) determining their decay and regression.

Descriptive studies that have been already carried out in the field have indicated a strong habitat effect on *C. taxifolia* performance and suggested a positive influence of seagrasses, particularly of *P. oceanica*, on both blade density and size of the alga (Ceccherelli & Cinelli, 1998). An interest has thus emerged in developing a mechanistic understanding of how the presence of seagrasses affects the performance of the alga. In fact although knowledge of spatial patterns is important for generating hypotheses, manipulative field experiments are often considered the only reliable tool for testing underlying mechanisms (Aarssen & Epp, 1990; Rejmánek & Lepš, 1996).

To test unequivocally whether the seagrass canopy produced the observed changes in *C. taxifolia* growth and to evaluate more favourable condition for the alga in this habitat, we performed an experiment in which we pruned and reduced the height of the aboveground portion of the seagrass and we have examined the response of *C. taxifolia* blade. Additionally, we present results of a second experiment that has considered the mechanisms by which the canopy exerts such positive effect on *C. taxifolia* performance: we evaluated the shading role of seagrass canopy by experimentally removing the seagrass from areas where it was naturally occurring and placing plastic seagrass mimics in those positions having all other factors consistent with its presence. Imitating plants reproduce the structure of natural assemblages providing the same physical effects (protection and /or scouring) but, being made of transparent strips, they could attenuate light reduction.

In fact the 3 main ways by which seagrass canopy may influence, by all or any combination of them, understory species are: 1) by shading them, 2) by protecting/scouring them (Gambi *et al.*, 1989 and 1990) and 3) by exuding chemicals that affect them (Cuny *et al.*, 1995). Although, the effects of *P. oceanica* canopy on the understoried *C. taxifolia* due to exudation of chemicals has not received any attention, in experimental plots where mimic plastic plants were used, healthy seagrass plants were within 25 cm from their centre and, if toxic influences occurred between *P. oceanica* and the alga, chemicals exuded from nearby individuals were assumed to reach the centre of experimental units.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Study site

The study site is subtidal *P. oceanica* continuous bed within 10 m depth, located in Galenzana Bay (42° 43' N; 10° 14' E) on the south coast of Elba Island (Italy). Since July 1993, when for the first time *C. taxifolia* was found at the site, the alga has been invading this area showing to be successfully invasive. However, both investigations have been conducted within a 5000 m<sup>2</sup> area immediately ahead *C. taxifolia* meadow and transplant procedures were employed to evaluate suitability of the alga to the different experimental conditions.

#### **Exp 1: the effect of *P. oceanica* canopy density and height**

The experiment was carried out at two different sites at 2 m and 10 m depth. Experimental units (25 x 50 cm in size) were prepared at the edge of *P. oceanica* meadow because, naturally, in this position *C. taxifolia* fragments establish in this habitat. Three different shoot density (10%, 50% and 100%) of the seagrass were obtained by clipping the leaves of shoots and two canopy heights (reduced vs. natural) were also established by cutting leaves at 1/3 of the length. Only the aboveground portion of the seagrass was reduced while the belowground root-rhizome mat remained intact. At each site 12 areas were chosen and each combination of treatments was assigned to two of them in replicates of three, so that in total 72 experimental units were prepared. Treatments were maintained by monthly visits at the sites.

Plant size was sampled in the field in four elapsed times from the start of the experiment: October 1995, December 1995, March 1996 and July 1996. On each sampling date the length of two randomly chosen blades was measured. A six-way ANOVA of blade size was performed: three factors were treated as fixed ("site", "density" and "length") while the other three as random ("area", "time" and "experimental unit"). The area was considered nested in the interaction of "site", "density" and "length", while the "experimental unit" nested in "area". Cochran's test was performed to check for homogeneity of variances. *A posteriori*, SNK test was used to compare levels of factors.

To provide information on how pruning the shoots altered the effect of reducing bottom current regime at both site we used pre-weighted plaster balls that were placed in the sediment for 24 hours at the height *C. taxifolia* blades in each plot (Gambi *et al.*, 1989). Sampling have been made on four different randomly chosen times and data obtained were analysed by multifactorial ANOVA excluding the factor "experimental unit" from the design previously described. SNK procedures were used to distinguish differences among individual means. Cochran's test was used prior to the ANOVA to test the assumption of homogeneous variances.

## **Exp 2: the shading role of *P. oceanica* canopy**

As a mean to test for the mechanisms by which *P. oceanica* canopy affect algal size, transparent structures were made which provided the same reduction of the velocity of near-bottom water currents, but increased the quantity of light that the seagrass provides. Mimic structures were constructed from a 25 x 50 cm frame of plastic covered iron with a 5 x 7 cm mesh to which mimics of *P. oceanica* leaves were tied. Artificial leaves were 140 x 1 cm strips of heavy-duty transparent plastic that were tied in groups of 5 to constitute a bundle of leaves 70 cm long. To each frame 70 bundles were basally attached so that a density of shoots and length of leaves similar to natural *P. oceanica* at the site was given.

Plots of the artificial *P. oceanica* leaves were placed on 25 x 50 cm areas in which frame of each plot was secured at the corners to 4-35 cm iron dowels which were driven below the substratum. Because the structures may affect understory species in some way other than by enhancing levels of light, artefacts due to them were considered. A third treatment, beside natural and transparent, was used as a control for any effects that the frame might have on *C. taxifolia* growth. In this treatment the same plastic covered iron frames without leaf mimics were secured in 25-50 plots where the natural leaves were present. To control for any effect of the plastic a further treatment was also included in the design: strips of black plastic material were made and tied to the frames just as the transparent ones. To investigate the effect of canopy height (natural vs. reduced to 25 cm) leaf length was also manipulated: natural canopies were cut *in situ*, while shorter artificial strips were tied to frames. Treatments were maintained by monthly visits at the sites.

Plots of each treatment were positioned in groups of three at 2 randomly selected areas at 5 m intervals one from the other along the edge of *P. oceanica* meadow. Individual plots were at least 1.5 m apart. In total 48 experimental units were prepared. Transplants of fragments of *C. taxifolia* were done 15 July 1996: fragments of the alga were collected from the near established meadow and, within one hour, they were fixed to the substratum at the edge of the seagrass in groups of three per unit using two staples per fragment. Fragments were taken from the same area and we assumed that removal of effects of differing initial sizes was not needed.

Plants size were sampled in the field in two elapsed times from the start of the experiment: 23 August and 30 September 1996. To obtain independent data to analyse, two blades were randomly chosen to be measured. A five-way ANOVA of blade size was performed: two factors were treated as fixed ("canopy" and "length") while the other three as random ("area", "time" and "experimental unit"). The area was considered nested in the interaction of "canopy" and "length" while the "experimental unit" nested in "area". Cochran's test was performed to check for homogeneity of variances. *A posteriori*, SNK test was used to compare levels of factors.

To provide information whether artificial canopies altered the effect of reducing bottom current regime we used pre-weighted plaster balls that were placed in the sediment for 24 hours at the height *C. taxifolia* blades in each plot (Gambi *et al.*, 1989). Sampling have been made on two different randomly chosen times (8 August and 29 September 1996) and data obtained were analysed by multifactorial ANOVA excluding the factor "experimental unit" to the design previously described. SNK procedures were used to distinguish differences among individual

means. Cochran's test was used prior to the ANOVA to test the assumption of homogeneous variances.

To provide estimates of the enhancement in irradiance afforded by transparent plants and to detect possible altered shade between the natural and the black plastic treatment light readings were taken under the seagrass canopies using a QSI-140 (Biospherical Instruments) quantum photometer. Measurements were done at the end of the experiment when epiphytes had started to grow (25 September). Data were analysed by three-way ANOVA considering "canopy" and "length" fixed factors and "area" random. SNK procedures were used to distinguish differences among individual means. Cochran's test was used prior to the ANOVA to test the assumption of homogeneous variances.

Once artefacts were found undetectable and light enhancement significant, effects on *C. taxifolia* growth due to the enhancing light to higher levels in this habitat were determined by comparing the size of blades grown under the transparent structures with those under shading natural canopy, thus isolating effects due to protection from those due to shading.

### 3. RESULTS

#### Experiment 1

*C. taxifolia* blade size was significantly greater at 10 m deep site relative to the 2 m one (Table 1 and Fig. 1). A significant "density x height" interaction was detected: while algal blade length was higher at seagrass density of 10% compared to 50% and 100% where canopy height was natural, no differences were found among density treatments where seagrass canopy height was reduced (Table 1, SNK test). Great variability in algal blade size was found at both small (experimental plot) and medium (area) spatial scale depending on the sampling date (Table 1, significant "time x area (P x D x L)" and "time x experimental unit (A(P x D x L))" interaction).

Water flow velocity has been estimated significantly greater at the 2 m deep site relative to the deeper (10 m) site in three out of four sampling dates ("depth x time" interaction,  $p=0.0045$ ). A significant "density x height" interaction showed a slower velocity where the canopy height and density is natural respect to the clipped treatments (10% and 50%), while where the canopy height was reduced, there was no difference between the 10% and 100% density treatment, water flow velocity was unexpectedly greater in the 50% density treatment. An overall high spatial variability was detected depending on the time (significant interaction "Time x Area (P x D x L)").

#### Experiment 2

The seagrass canopy had a significant effect on *C. taxifolia* blade size (Table 2,  $p=0.0409$ ) and, since SNK test did not identify an alternative hypothesis, no artefacts were found: in fact no differences in length were detected among blades under shading canopies (either natural and plastic) and, although not significantly, the greatest sizes were found where *P. oceanica* canopy was made of transparent stripes. Blade size was also greatly affected by small spatial and temporal events, being the "time x experimental unit (A(C x H))" interaction significant. Also *P. oceanica* canopy height seems to have slightly affected the *C. taxifolia* blade size ( $p=0.0869$ ) particularly the shading canopies under which blade length was quite greater where the canopy height of the seagrass was reduced (Fig. 2).

Water velocity equivalents are not significantly affected by none of the factors tested: hence, neither canopy type nor the different areas seem to have influenced hydrodynamic strength. Light intensity at the end of the experiment was significantly higher under transparent *P. oceanica* canopy relative to the natural and black plastic mimics; differences in irradiances

were also detected between natural and reduced height of the transparent canopy type ("canopy type x height" interaction,  $p=0.011$ ).

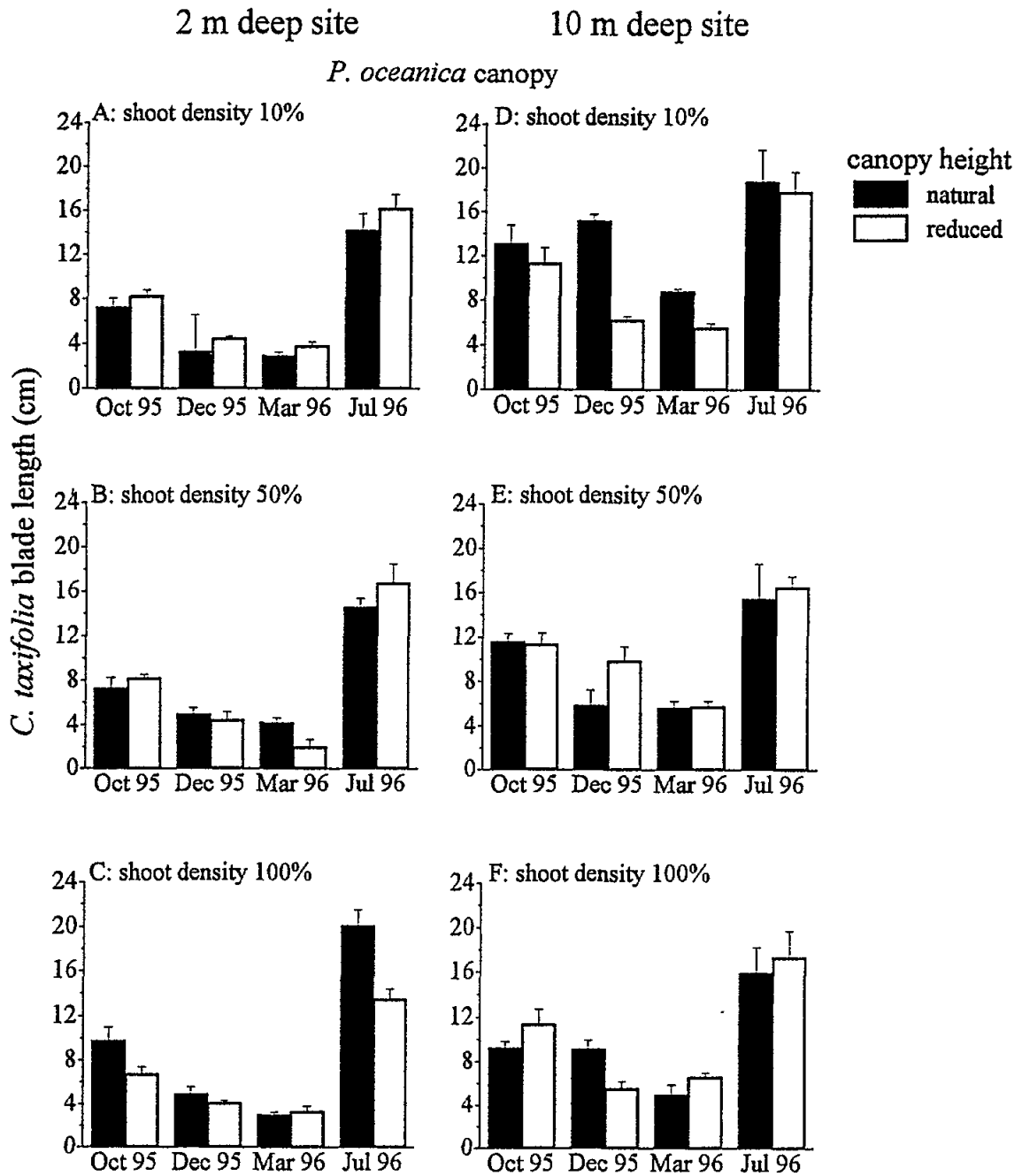


Fig. 1 Mean ( $\pm$ SE) *C. taxifolia* blade size at the two sites (2 m and 10 m deep) on the four sampling times at the edge of *P. oceanica* of 100%, 50% and 10% shoot density of natural and reduced canopy height ( $n=12$ ).

Table 1

*C. taxifolia*. Analysis of variance on algal blade length (cm): Dp=depth, De=density, H=height, A=area, P=plot and T=time

source of variation	df	MS	F	p	denominator for F
Depth =Dp	1	113454.7	26.98	<b>0.00</b>	A(Dp x De x H)
Density =De	2	8227.6			A(Dp x De x H)
Height =H	1	2177.9			A(Dp x De x H)
Area(Dp x De x H) =A	12	4205.6			
Plot (A(Dp x De x H)=P	24	1318.0			
Time =T	3	311902.0			
Dp x De	2	2889.2	0.69	0.52	A(Dp x De x H)
Dp x H	1	528.5	0.12	0.73	A(Dp x De x H)
De x H	2	15238.4	5.11	<b>0.01</b>	pooled term
Dp x T	3	2590.1	0.80	0.50	T x A(Dp x De x H)
De x T	6	3789.2	1.17	0.34	T x A(Dp x De x H)
H x T	3	2173.1	0.67	0.57	T x A(Dp x De x H)
T x A(Dp x De x H)	36	3252.0	2.15	<b>0.00</b>	P(A(Dp x De x H))
T x P(A(Dp x De x H)	72	1505.0	3.78	<b>0.00</b>	Error
Dp x De x H	2	419.1	0.99	0.90	T x A(Dp x De x H)
Dp x De x T	6	2229.5	0.69	0.66	T x A(Dp x De x H)
Dp x H x T	3	1205.4	0.37	0.77	T x A(Dp x De x H)
De x H x T	6	3509.5	1.08	0.39	T x A(Dp x De x H)
Dp x De x H x T	6	3878.7	1.19	0.33	T x A(Dp x De x H)
Error	192	397.6			
pooled term*	33	2980.2			
Cochran's test		C=0.0655		p>0.05	

\*Pooled term: Dp x De x H x T + Dp x De x T + Dp x H x T + De x H x T + De x T + H x T + Dp x T

SNK test of the interaction term De x H: (i) shoot density of 10%, 50% and 100%; (ii) canopy height, n=natural and r=reduced. SE=6.83, df=33.

(i) shoot density

10% n=r  
50% n=r  
100% n=r

(ii) canopy height

n 10%>50%=100%  
r 10%=100%=50%

#### 4. DISCUSSION

The need to investigate the effects of *P. oceanica* canopy on blade size of the alga was highlighted by the large differences that have been found in *C. taxifolia* size between *P. oceanica*, *C. nodosa* and sand/cobbles (where the alga occur and any seagrasses are present) habitats (Ceccherelli & Cinelli, 1998). Data presented in this study tested a number of conditions of *P. oceanica* that enhance the response of the alga and the potential mechanism that could explain this unusual distribution of *C. taxifolia*.

##### 4.1 Effectiveness of the manipulation in *P. oceanica* canopy type

The presence of plant mimic structures in the experiment 2 did not affect hydrodynamic flow rate relative to natural plants, while irradiance was significantly higher in transparent treatments. *C. taxifolia* blade size was neither affected by the presence of the frame nor of the plastic so that artefacts on this response variable were not assessed.

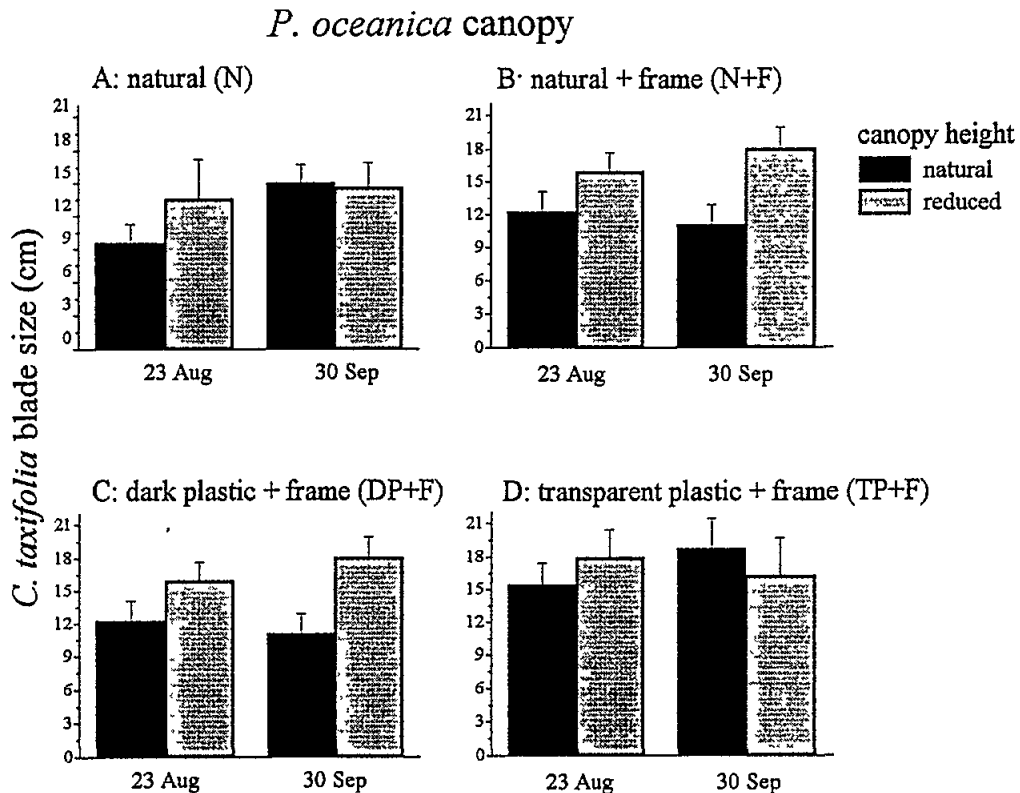


Fig. 2 Mean (+SE) *C. taxifolia* blade size at on the two sampling times at the edge of the four types of *P. oceanica* canopy (natural, natural + frame, dark plastic + frame, transparent plastic + frame) of natural and reduced canopy height in each area (n=12).

In fact reproducing plants made of plastic stripes could have favoured the algal growth in the plastic treatments because of the lack of hydrosoluble phenolic compounds that natural leaves produce (Cuny *et al.*, 1995), although experimental artificial units have been placed at the edge of *P. oceanica* patches so surrounded by natural plants that could have equally have influenced allelopathically the alga. The fact that there have not been found differences between



dark plastic treatment and natural plants it has been assumed the lack of different allelopathic influences between canopy type treatments.

In this experiment the experimental plastic units have been placed on natural rhizome substratum (clipped *P. oceanica*) so that all the plots would support similar infauna species, as suggested by Connolly (1994, 1995), that could have attracted eventual predators. On the other hand preliminary studies have indicated the lack of a negative effect of *C. taxifolia* on ichthyofauna, but after many years (Francour *et al.*, 1995), so that we have assumed a regular occurrence of predators. In the transparent treatment *C. taxifolia* might have experienced an heavier herbivore pressure. However, taller blades have been found exactly in these treatments and it has been assumed that if a more intense grazing has occurred, it could have not counterbalanced the irradiance positive effect that, eventually, could have been only attenuated. Anyway *C. taxifolia* has been indicated to be not palatable to most common predators of the Mediterranean (Ruitton and Boudouresque, 1994; Lemée *et al.*, 1996).

Table 2

*C. taxifolia*. Analysis of variance on algal blade size (cm). C=canopy, H=height, A=area, T=time and P=plot

source of variation	df	MS	F	p	denominator for F
Canopy =C	3	144.1	2.82	<b>0.04</b>	pooled term *
Height =H	1	150.5	2.94	0.09	pooled term *
Time =T	1	53.3			
C x H	3	78.5	1.73	0.17	pooled term ^
C x T	3	29.1	0.61	0.62	T x A(C x H)
H x T	1	35.9	0.76	0.40	T x A(C x H)
C x H x T	3	43.8	0.92	0.47	T x A(C x H)
Area(C x H) =A	8	53.6	1.13	0.43	T x A(C x H)
T x A(C x H)	8	47.4	1.02	0.44	T x P(A(C x H))
Plot(A(C x H)) =P	32	56.8			
T x P(A(C x H))	32	46.5	2.97	<b>0.00</b>	Error
Error	96	15.6			
pooled term ^:	46	45.4			
pooled term *:	87	50.2			
pooled term *:	A(C x H) + P(A(C x H)) + C x T + H x T + T x A(C x H) + T x P(A(C x H)) + C x H x T				
pooled term ^:	T x A(C x H) + C x H x T + T x P(A(C x H)) + C x T				
Cochran's test:	C=0.0863			p<0.05	

SNK test of the Canopy type: N=natural; N+F=natural + frame; DP+F=dark plastic + frame; TP+F=transparent plastic + frame. SE=1.18, df=87  
 N (13.17) = N+F (13.82) = DP+F (14.33) = TP+F (17.11)

For all these reasons together we have attributed the difference found in *C. taxifolia* blade size merely to the different light conditions experimentally established.

#### 4.2 Spatial variability of *C. taxifolia* blade size in *P. oceanica* habitat

Our results obtained from both experiments demonstrated that blade size of *C. taxifolia* is highly variable on medium and small spatial scale: high heterogeneity in blade length was also found within the same experimental plot. This experimental evidence was also relevant to the observation and seemed extremely frequent in the units located on the edge of *P. oceanica* mat, relative to those on sand and cobbles. In fact at the beginning of both experiments, when areas to be treated had to be chosen, it was not paid attention to the position of edge traits respect to the seagrass mat and this resulted in a completely randomly mixed position of experimental areas either on mat and sand. Although data were not balanced for analysing this factor (position), posterior observations suggest that this is likely to be an important factor regulating blade size of *C. taxifolia* in this habitat. Mat substratum is highly heterogeneously structured because of the presence of sheltered niches as well as more exposed zones at a very small spatial scale: therefore, it can be seen as an assemblage of different microhabitat with hydrodynamic and irradiance conditions different enough to cause unequal size of very close blades.

#### 4.3 The effect of *P. oceanica* canopy on *C. taxifolia* blade size and underlying mechanisms

*P. oceanica* provides subcanopy microhabitat to *C. taxifolia* that is distinctly different from the open substrate. Manipulation of the canopy by the removal experiment was used to examine the influence of initial size of the seagrass on the size of the alga: in fact, the objective of the experiment 1 was to determine if initial size of *P. oceanica* alone influences the competitive response of *C. taxifolia*. In general, differences in competitive abilities may be due to initial plant size (to traits such as leaf area, plant height and mass) (e.g., Epp & Aarssen, 1989) and competitive ability may influence the outcome of interactions (Gerry & Wilson, 1995). Furthermore, the experiment was performed at two different depths since the importance of processes in structuring plant communities can best be understood by comparing them along gradients of abiotic stress, besides among different sizes and densities of interacting species.

Results have shown that the depth significantly influence *C. taxifolia* blade size in this habitat, since greater size were found at the deeper. Therefore, we provided evidence that the competitive ability of *C. taxifolia* in this habitat can be enhanced at deeper site and we predict that the outcome of the interaction between the two species that is the displacement of the seagrass by the overgrowth of the alga, could be altered by the depth.

Results have also indicated that higher blade size of *C. taxifolia* was found at the edge of defoliated seagrass (10% of the density). Therefore, this study provides the first strong indication that the facilitative effect of *P. oceanica* on the alga observed in a descriptive study (Ceccherelli & Cinelli, 1998) was higher at lower shoot density of the seagrass, hence where levels of negative effects on the alga are lower and mechanisms of interaction towards it are at a best compromise. Positive and negative interactions will probably occur simultaneously: although they improve some environmental conditions, nurse plants will tend to have negative effects on other factors (Holmgren *et al.*, 1997). For example, shading by the canopy of nursing species had been shown to have inhibitory effects on a number of plants in aquatic systems, at intertidal (Sousa, 1979) and subtidal (Dayton, 1975) habitats, in salt marshes (Callaway, 1994) and terrestrial systems as steppe and savannas (Belsky, 1994; Soriano *et al.*, 1994). However, the condition required to facilitation to occur is that improvement in an environmental factor (e.g., nutrient, herbivory) under the canopy must exceed the increased "demand" for that factor caused by deterioration in another factor (e.g., light). In the system studied *C. taxifolia* could be positively affected by the reduced water flow velocity and, although it was shown to be very tolerant to shading conditions (Komatsu *et al.*, 1997), evidence in Exp 2 suggested that the alga was negatively affected by light reduction at the deeper site of experiment 1.

Water flow velocity and light are naturally inversely related along a depth gradient: the deep habitats with low levels of hydrodynamic and irradiance condition and the shallow habitats with high water movements and high-light availability. The experiment 2 suggests that these two factors can have contrasting effects on the blade growth of *C. taxifolia* so that they could inversely affect the alga, since light reduction was shown to represent a cost paid for protection. Its size could be dependent on the point along the water flow:light gradient at which the plant is a superior competitor. Although manipulation of the canopy could alter the natural ranking of levels of these factors, no significant interaction term with depth was found, thus showing that this factor has a strong effect on *C. taxifolia* blade size, independently on *P. oceanica* condition (either density and height).

Among neighbours, the net effect of one plant on another plant can easily change depending on the environmental conditions (Holmgren *et al.*, 1997). In this system we believe that conditions at the greater depth could have added a further positive influence to the positive net effect of *P. oceanica* on *C. taxifolia* due to environmental favourable factors so that we found algal size greater at the deeper site in this habitat. Therefore we predict that patches of *P. oceanica* at 10 m depth are likely to be more vulnerable to algal invasions than at 2 m depth, since the greater size of *C. taxifolia* gives indication of a greater competitive ability for light.

In fact, another possible competitive mechanism of interaction between the two species is through the whiplash of *P. oceanica*: as it is moved by wave surge, *P. oceanica* may sweep *C. taxifolia* from the substratum or abrade and tear respectively not complete and well established specimens. The negative effect of the whiplash could be proportional to the length of seagrass leaves. This mechanism can explain the fact that the reduction of height of the seagrass canopy could lower differences found among treatments of shoot density at natural canopy height.

Such indirect effects of plants, especially plants providing structure to the habitat are probably quite common and extremely important organising features of many ecological systems. Further work to isolate mechanisms involved will promote extension to other systems and construction of predictive models of how structural attributes of plants influence subcanopy species. Our results contribute to a growing body of evidence that supports interspecific facilitation as an important determinant of plant distributions in natural ecosystems.

## 5. CONCLUSIONS

Results of this study have indicated that higher blade size of *C. taxifolia* was found at the 10 m deep site and at the edge of defoliated seagrass (10% of the density) of natural height, and also where the seagrass canopy was not shading. The results obtained suggest that hydrodynamic disturbance is probably the main limiting factor for algal growth and that the positive effect of *P. oceanica* on its size consists in nursing it. However, at the deeper site even protection has a cost because algal blades were taller where they occur at the edge of transparent plants, hence where light is allowed to get through the seagrass canopy. Therefore, we predict that dense *P. oceanica* meadows are likely to be less vulnerable to the seaweed invasion respect to sparse ones which, conversely, represent a good compromise condition of protection and shading, two contrasting effect of the seagrass on the alga. Many questions remain, but the results of our study serve adequately to broaden our understanding of the mechanisms by which *P. oceanica* habitat structure in this system has important combination of effects on *C. taxifolia*.

## 6. ACKNOWLEDGEMENTS

We are sincerely thankful to Luigi Spinetti, Martina Austoni, Fabio Bulleri for valuable help at the field. We are grateful to L Benedetti-Cecchi, S L Williams, M Menconi for advice and comments during field work and manuscript preparation. This study are part of a Ph.D thesis by GC.

## 7. REFERENCES

- Aarssen, L.W. and G.A. Epp (1990), Neighbour manipulation in natural vegetation: a review. *J. Veg. Sci*, 1:13-20
- Belsky, A.J. (1994), Influences of trees on savanna productivity: tests of shade, nutrients and tree-grass competition. *Ecology*, 75:992-932
- Callaway, R.M. (1994), Facilitative and interfering effects of *Arthrocnemum subterminale* on winter annuals. *Ecology*, 75(3):681-686
- Carlton, J.T. (1989), Man's role in changing the face of the ocean: biological invasions and implications for conservation of near-shore environments. *Conserv. Biol.*, 3:265-273
- Carlton, J.T. and J.B. Geller (1993), Ecological roulette: the global transport of nonindigenous marine organisms. *Science*, 261:78-82
- Ceccherelli, G. and F. Cinelli (1997), Short-term effects of nutrient enrichment of the sediment and interactions between the seagrass *Cymodocea nodosa* and the introduced green alga *Caulerpa taxifolia* in a Mediterranean bay. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 217(2):165-177
- Ceccherelli, G. and F. Cinelli (1998), Habitat effect on spatio-temporal variability of size and density of the introduced alga *Caulerpa taxifolia*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, in press
- Connolly, R.M. (1994), Removal of seagrass canopy: effects on small fish and their prey. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 184:99-110
- Connolly, R.M. (1995), Effects of removal of seagrass canopy on assemblages of small, motile invertebrates. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 118:129-137
- Cuny, P., L. Serve, H. Jupin and C.F. Boudouresque (1995), Water soluble phenolic compounds of the marine phanerogam *Posidonia oceanica* in a Mediterranean area colonised by the introduced chlorophyte *Caulerpa taxifolia*. *Aquat. Bot.*, 52:237-242
- Dayton, P.K. (1975), Experimental studies of algal canopy interactions in a sea otter-dominated kelp community at Amchtka Island, Alaska. *Fish. Bull. US*, 73:230-237
- Epp, G.A. and L.W. Aarssen (1989), Predicting vegetation patterns from attributes of plant growth in grassland species. *Canadian Journal of Botany*, 647:2953-2959
- Francour, P., M. Harmelin-Vivien, J.G. Harmelin and J. Duclerc (1995), Impact of *Caulerpa taxifolia* colonization on the littoral ichthyofauna of North-Western Mediterranean sea: preliminary results. *Hydrobiologia*, 300/301:345-353

- Gambi, M.C., M.C. Buia, E. Casola and M. Scardi (1989), Estimates of water movement in *Posidonia oceanica* beds: a first approach. In: International Workshop on *Posidonia* Beds, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz, E. Fresi and V. Gravez. GIS Posidonie 2, pp.101-112
- Gambi, M.C., A.R.M. Nowell and P.A. Jumars (1990), Flume observations on flow dynamics in *Zostera marina* (eelgrass) beds. *Mar.Ecol.Prog.Ser.*, 61:159-169
- Gerry, A.K. and S.D. Wilson (1995), The influence of initial size on the competitive responses of six plant species. *Ecology*, 76(1):272-279
- Holmgren, M., M. Scheffer and M.A. Huston (1997), The interplay of facilitation and competition in plant communities. *Ecology*, 78(7):1966-1975
- Komatsu, T., A. Meinesz and D. Buckles (1997), Temperature and light responses of alga *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean Sea. *Mar.Ecol.Prog.Ser.*, 146:145-153
- Lemée, R., C.F. Boudouresque, J. Gobert, P. Malestroit, X. Mari, A. Meinesz, V. Menager and S. Ruitton (1996), Feeding behaviour of *Paracentrotus lividus* in presence of *Caulerpa taxifolia* introduced in the Mediterranean. *Ocean Acta*, 19:245-253
- Lodge, D.M (1993), Biological invasions: lessons for ecology. *Trends Ecol.Evol*, 8(4):133-137
- Rejmánek, M. and J. Lepš (1996), Negative associations can reveal interspecific competition and reversal of competitive hierarchies during succession. *OIKOS*, 76:161-168
- Ruitton, S. et C.F. Boudouresque (1994), Impact de *Caulerpa taxifolia* sur une population de l'oursin *Paracentrotus lividus* à Roquebrune-Cap Martin (Alpes-Martimes, France). In: First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez . GIS Posidonie, Marseille, pp.371-378
- Soriano, A., O.E. Sala and S.B. Perelman (1994), Patch structure and dynamics in a Patagonian arid steppe. *Vegetatio*, 111:127-135
- Sousa, W. (1979), Experimental investigations of disturbance and ecological succession in a rocky intertidal algal community. *Ecol.Monogr.*, 49:227-254
- Villèle, de X and M. Verlaque (1995), Changes and degradation in a *Posidonia oceanica* bed invaded by the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia* in the north western Mediterranean. *Bot.Mar.*, 38:79-87

## MONITORING PROGRAMME OF THE SPREADING OF *CAULERPA TAXIFOLIA* IN THE BALEARIC ISLANDS. YEARS 1995-1997

by

Antoni M. GRAU, Jaume DARDER, Enric MASSUTI, Guillermo PALMER,  
Rafel NICOLAU and Francesc RIERA

Direcció General de Pesca i Cultius Marins  
Conselleria d'Agricultura, Comerç i Indústria, Govern Balear  
C/ Foners, 10, 07006 Palma de Mallorca, Spain

### 1. INTRODUCTION

The tropical green alga *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh is spreading all over the Western Mediterranean and Adriatic coasts (Meinesz *et al.*, 1997), and since September 1992 (Pou *et al.*, 1993) its presence is known in the Balearic Islands (Cala d'Or, Majorca). *Caulerpa taxifolia* has a strong invading capacity and is able to colonize most of the Mediterranean littoral ecosystems.

Since 1992, the Fisheries Department (Conselleria d'Agricultura, Comerç i Indústria) of the Regional Government of the Balearic Islands has a monitoring programme on *Caulerpa taxifolia*, focused to the eradication of the known settlements and to the surveillance of the Balearic shores. In 1995, because of the finding of new colonies in theoretically under surveillance places, this programme experienced an important revision. As a result of that revision, the surveillance of the shores has been directly assumed by the Fisheries Department team, while the cartographic and eradication works are hired to independent tenders, under our technical supervision.

In this communication we report on the actions taken by the Fisheries Department (Conselleria d'Agricultura, Comerç i Indústria) between 1995 and 1997 in order to control the spreading of *Caulerpa taxifolia* and to detect as soon as possible new settlements of this species or other exotic algae in Balearic shores.

### 2. PREVENTION AND SURVEILLANCE

#### 2.1 Methods

The first step was to provide a legal cover against new introductions. For this, the Regional Government, to reduce the chance of new introductions, in October 1995 published a Decree prohibiting the commercialization, distribution and sale of exotic algae of the genus *Caulerpa* (Decret 125/1995, October 24, BOCAIB 140, p. 11003).

About the surveillance of the shores, the priority level of surveillance of the different areas and islands was revised. The Balearic Islands have 1057 km of coast and, finally, 122 places (marinas, coves, small beaches and, in general, the areas with greater risk of colonization) were selected. The mean criteria of selection were the vicinity to the known settlements, the frequency of reception of recreational boats coming from the mainland and the frequency of recreational boats moorings.

Surveys were carried out from February to August, and the main survey system was the visit by snorkeling and/or SCUBA divers, sometimes with the aid of underwater propellers. However, in some points, the shore was surveyed from the coast. Also, all the shoreline within

a radius of 2.5 km from the known settlements was meticulously surveyed by SCUBA divers in December 1996, July 1997 and December 1997.

The known colonies were cartographed in July-October 1995, December 1996 (Cala d'Or), July 1997 and December 1997, by means SCUBA divers, sometimes with the aid of underwater propellers. The surveyed areas were 266.400 m<sup>2</sup> at Cala d'Or and 322.000 m<sup>2</sup> at Portopetro.

## 2.2 Results

The number of surveyed stations was 32 in 1995, 55 in 1996 and 133 in 1997, and the total number was 141 in the 3 years. The increase of the number of stations visited each year was done by adding new stations to the list, including all the stations of the former year (with the exception of 6 stations visited only in 1995, and 2 more not visited in 1997). The geographic distribution of the surveyed points was 80 in Majorca, 24 in Minorca, 33 in Ibiza and 5 in Formentera.

*Caulerpa taxifolia* or other exotic *Caulerpa* species were not detected in any survey. Therefore we can assert, except for the previously known sites, that *Caulerpa taxifolia* was absent or it did not constitute new extensive settlements in all the visited stations. The only exotic species detected was the red alga *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan. This species was found in 1993 by first time in Minorca (Ballesteros & Rodríguez-Prieto, 1996) and now is present also in Majorca. In 1997, *Asparagopsis taxiformis* was found in 3 stations of Majorca and in the main part of Minorca.

The results of the cartographic surveys are presented in the Table 1, following the criteria of Meinesz *et al.* (1993).

Table 1

Results of the cartographic surveys

<b>Cala d'Or</b>			
Year	Covered surface (m <sup>2</sup> )	Affected surface (m <sup>2</sup> )	Concerned surface (m <sup>2</sup> )
1995	1200	120.000	
1996	1634	120.000	
1997	2475	70.000	
<b>Portopetro</b>			
Year	Covered surface (m <sup>2</sup> )	Affected surface (m <sup>2</sup> )	Concerned surface (m <sup>2</sup> )
1995	5.600	120.000	
1996	10.000*	120.000*	165.430
1997	10.000		

\*(estimation)

### 3. ERADICATION

#### 3.1 Methods

Since July 1995, 4 eradication actions have been made in the colonized stations: July 1995 (Portopetro), February 1997 (Cala d'Or), September-November 1997 (Portopetro) and November 1997 (Cala d'Or and Portopetro).

The eradication of November 1997 was manual, following the method described in Pou *et al.* (1993) and Riera *et al.* (1994), but in the other 3 cases, the eradication was made by means electric pumps in order to eradicate the main patches of *Caulerpa taxifolia*.

The mechanical eradications were made with a electric pump ( $60 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ ) operated by a experienced professional diver. The diver dredged the sea bottom with the pump, as well as a sucking, and the dredged material were conducted by a plastic pipe to a net bags. When the bags were full, they were carried to a rubbish dump.

The works were organised in shifts of 3 diving hours, 2 divers every day, for a total of 6 to 8 hours of effective work by day.

#### 3.2. Results

The results of the different actions are showed in the Table 2. The efficiency of collected *Caulerpa taxifolia* by hour was, approximately, double in mechanical eradication than in manual eradication.

Table 2

Results of the eradication actions

<b>1. Mechanical eradications</b>				
Date	Days (effective work)	Diving hours	Dredged surface (m <sup>2</sup> )	Dredged material (kg)*
July 95	20(10)	80	8 000	5.060
Feb. 97	11(11)	88	1.250	9.100
Autumn 97	28(17)	136	5.000	7.830
* The average of <i>C. taxifolia</i> in the dredged material fluctuates between 25% to 60%				
<b>2. Manual eradications</b>				
Date	Days (effective work)	Diving hours	Surface operated on (m <sup>2</sup> )	Collected material (kg)*
Portopetro				
Nov 97	20(15)	135	80.000	2.210
Cala d'Or				
Nov. 97	12(10)	135	70.000	2 420
* 100 % <i>Caulerpa taxifolia</i>				



#### 4. CONCLUSION

*Caulerpa taxifolia* is still present in the Balearic coasts but it is even confined in a small section of the South-East coast of Majorca.

We are not optimist about the future evolution of the presence of *C. taxifolia* at the Balearic Islands. However, if we consider that this presence is, at least, 9 years old and we compare our situation with other areas which were invaded at the same time, the results show that is possible to slow down significantly the spreading of *Caulerpa* with manual and mechanical methods.

#### 5. REFERENCES

- Ballesteros, E. and C. Rodríguez-Prieto (1996), *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan a Balears. *Bull.Soc.Hist.Nat. Balears*, 39:135-138
- Meinesz, A., J. De Vaugelas, L. Benichou, G. Caye, J.M. Cottalorda, L. Delahaye, M. Febvre, S. Garin, T. Komatsu, R. Lemee, X. Mari, H. Molenaar, L. Perney et A. Venturini (1993), Suivi de l'invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. Situation au 31 décembre 1992. Nice, Éd. Laboratoire Environnement Marin Littoral, Université de Nice-Sophia Antipolis. 80 p.
- Meinesz, A., J.M. Cottalorda, D. Chiaverini, M. Braun, N. Carvalho, M. Febvre, S. Ierardi, L. Mangialajo, G. Passeron-Seitre, T. Thibault et J. De Vaugelas (1997), Suivi de l'invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* devant les côtes françaises de la Méditerranée. Situation au 31 décembre 1996. Nice, Éd. Laboratoire Environnement Marin Littoral, Université de Nice-Sophia Antipolis. 190 p.
- Pou, S., E. Ballesteros, O. Delgado, A.M. Grau, F. Riera and B. Weitzmann (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
- Riera, F., S. Pou, A.M. Grau, O. Delgado, B. Weitzmann and E. Ballesteros (1994), Eradication of a population of the tropical green alga *Caulerpa taxifolia* in Cala d'Or (Mallorca, Western Mediterranean): methods and results. In: First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez. Marseille, GIS Posidonie Publ., pp.327-331

**THE PROBLEM OF *CAULERPA TAXIFOLIA* IN LIGURIA  
(NW MEDITERRANEAN SEA)**

by

Andrea PEIRANO

ENEA Marine Environment Research Centre, P.O. Box 316,  
19100 La Spezia, Italy

The ENEA, the Italian National Agency for New Technology, Energy and the Environment, is involved in national and international programmes concerning biodiversity, oceanography and climate changes.

The ENEA Centre for Marine Research of S.Teresa (La Spezia) has approximately 70 researchers of whom 50 are ENEA employees and 20 are from CNR Institute of Physical Oceanography. They take part in joint research programs concerning the study of the Mediterranean marine environment with a multidisciplinary approach.

The Centre has a long experience and tradition in the study of benthos especially regarding the Mediterranean coastal assemblages of *Posidonia oceanica* and Coralligenous. These two communities are the more important among the coastal communities both from an economic and from scientific point of view. For example, their presence on coastal bottoms is crucial for the creation of the Italian marine national parks.

At present the efforts of scientists of the Centre are concentrated to study and monitor these two communities in Liguria, the second Mediterranean region where *Caulerpa taxifolia* reached the largest extension.

The presence of *C. taxifolia* in Liguria is known since 1992 (Morucci *et al.*, 1994; 1996) and the alga rapidly spread on the seafloors of the region probably through dissemination operated by fishermen and yachtmen. In December 1996 *C. taxifolia* was recorded in the harbour of Varazze nearby Genova and one year later a little patch was eradicated in the shallow bottom of Chiavari, few miles from the marine park of Portofino. Hence, in five years the alga was disseminated in nearly half of the region (Fig. 1) menacing at least three natural reserves. Observations carried on with SCUBA transects (Meinesz *et al.*, 1997) evidenced that alga invaded the bottoms between Capo Mele and Imperia but, at present, we do not know exactly how many hectares of Ligurian coastal seafloors are covered by *C. taxifolia*.

In Figure 2 two mid-term (decadal) scenarios for *Cymodocea nodosa*, *Posidonia oceanica* and Coralligenous assemblages invaded by *C. taxifolia* are proposed taking into account the model suggested by Bellan *et al.* (1985).

The first one concerns a diversification phase with coexistence of the alga and other assemblages, the second one sees the total substitution of indigenous populations with a monospecific *C. taxifolia* 'facies'.

During the diversification phase it is hypothesised that *C. nodosa* and Coralligenous could compete with the alga and possibility of recovering is considered. This potentiality is based on the assumption that *C. nodosa* is a pioneer species and has a colonisation pattern, with spreading patches on sable and mud bottoms, similar to *C. taxifolia* (Duarte and Sand-Jensen, 1990). These attributes could advantage *C. nodosa* populations in sites exposed to storms, a disturbance that damages *C. taxifolia* (Meinesz, personal communication).

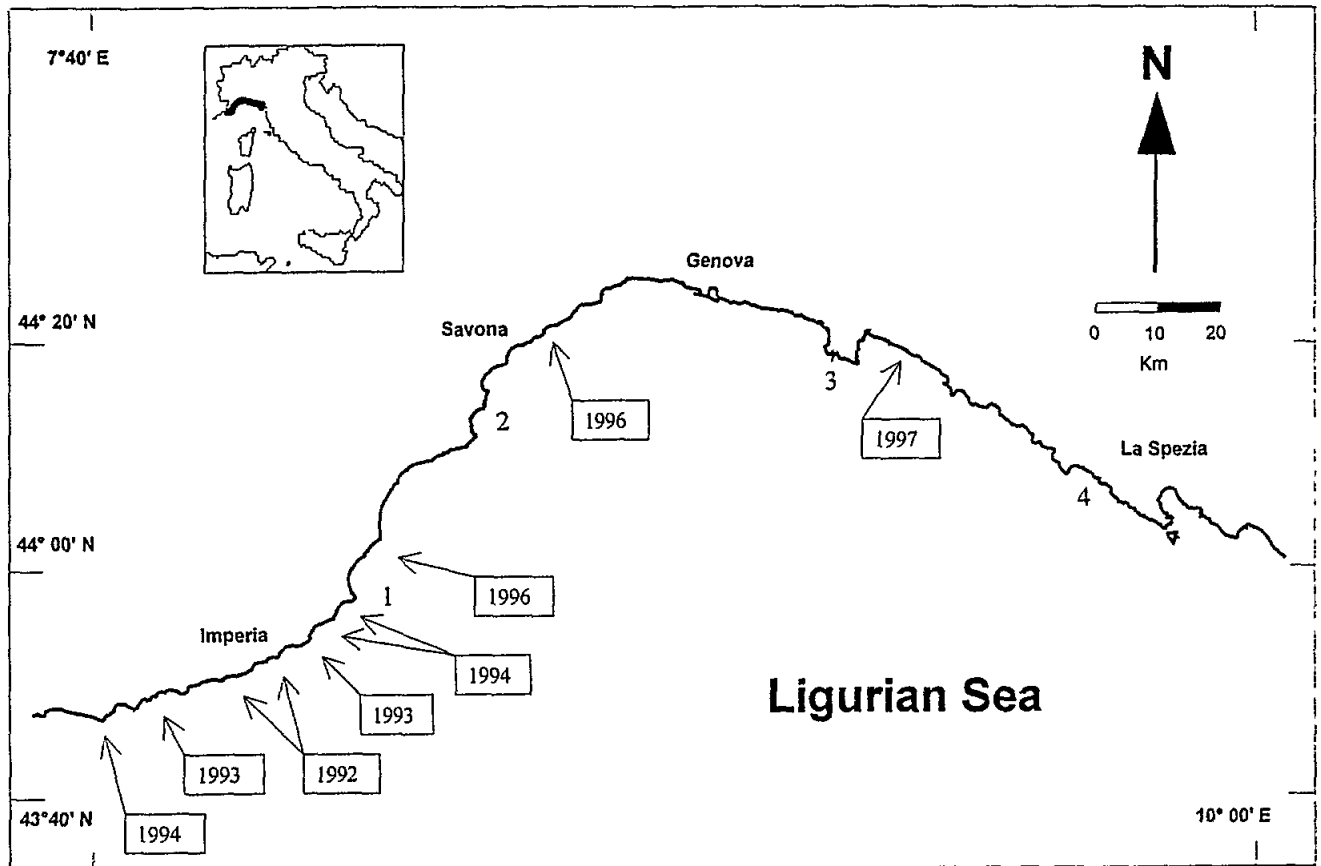


Fig. 1 Chronological spreading of *Caulerpa taxifolia* in Liguria (from various sources). The numbers indicate the planned marine national parks: 1=Gallinara Island, 2=Bergoggi Island, 3=Portofino, 4='5 Terre' Coast.

In the case of the Coralligenous the possibility of competition with *C. taxifolia* cannot be denied because, at the moment, none scientific studies is available on the subject.

*P. oceanica* recovery is not considered because of the general degraded status of the meadows of Liguria (Bianchi and Peirano, 1995) that, according to Ceccherelli and Cinelli (1998), is the optimum for *C. taxifolia* colonisation.

The second scenario concerning the complete substitution of assemblages with a monospecific *C. taxifolia* population is the more apocalyptic. The loss of seagrasses and Coralligenous on coastal bottoms would have enormous natural and economic consequences. The disappearance of *P. oceanica* meadows would increase coastal erosion and change in fish population and the loss of Coralligenous in Liguria would mean the destruction of isolated, mature and self-sustained invertebrate populations, with a general decrease of biodiversity.

To react to this situation in February 1998 the ENEA Centre organised a meeting inviting all Italian scientists interested in the spreading of the genus *Caulerpa* along the Italian coasts.

MID-TERM (DECADAL) SCENARIOS FOR COASTAL BENTHIC  
COMMUNITIES OF LIGURIA

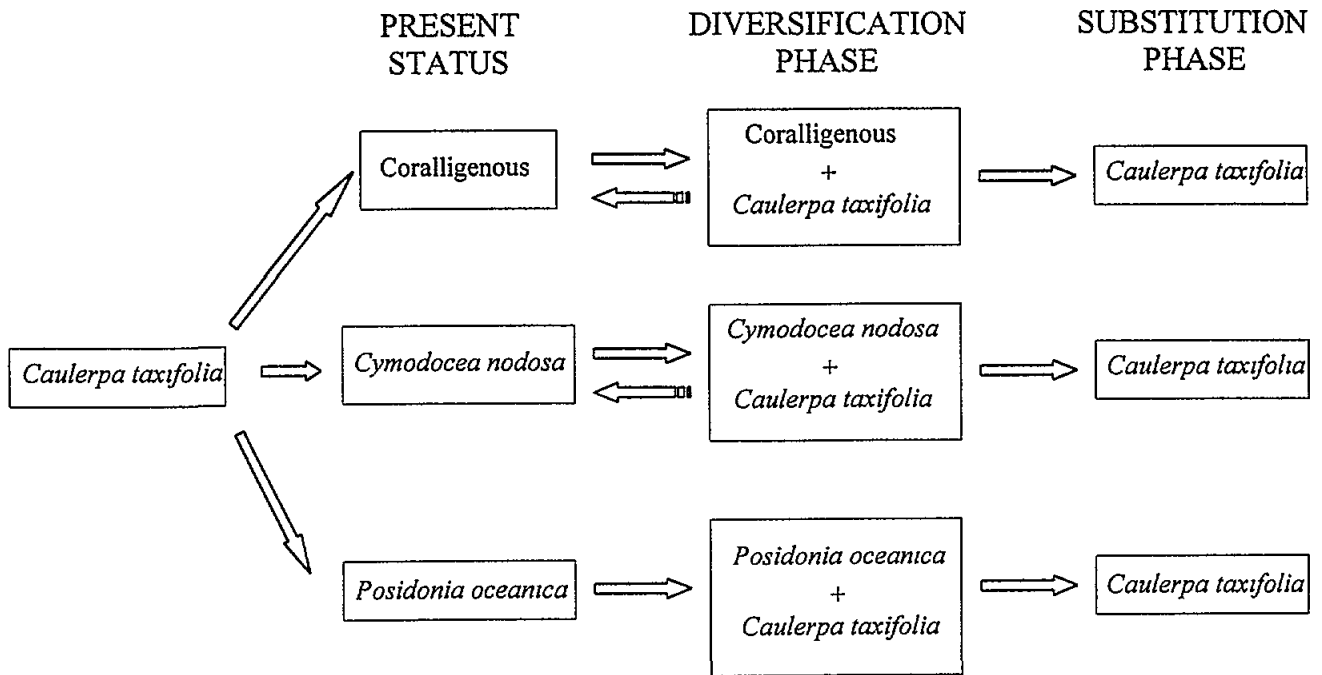


Fig. 2 Hypothesis about coastal assemblages evolution in Liguria as a result of the invasion of *Caulerpa taxifolia*.

The 24 participants presented their works and decided to concentrate the initial efforts on the two following points:

- 1) constitution a Forum of experts to which the local and national organisations could refer for suggestions and news about *Caulerpa*.
- 2) mapping of the three species of *Caulerpa* (*taxifolia*, *racemosa*, *prolifera*) along the Italian coasts before summer with the help of media and of volunteers (divers, fishermen, sailors etc.).

REFERENCES

Bellan, G., M. Bourcier, J. Picard, C. Salen-Picard et G. Stora (1985), Consequences structurelles dues aux perturbations affectant les biocenoses benthiques méditerranéennes de substrat meuble. *Rapp.Comm.int.Mer Médit.*, 29(5):215-221

- Bianchi, C.N. and A. Peirano (1995), *Atlante delle Fanerogame marine della Liguria: Posidonia oceanica e Cymodocea nodosa*. Enea, Centro Ricerche Ambiente Marino, La Spezia: 146 p. (44 tavv).
- Ceccherelli, G. and F. Cinelli (1998), Habitat effect on spatio-temporal variability of size and density of the introduced alga *Caulerpa taxifolia*. *Mar.Ecol.Progr.Ser.*, 163:289-294
- Duarte, C.M. and K. Sand-Jensen (1990), Seagrass colonization: patch growth in *Cymodocea nodosa*. *Mar.Ecol.Prog.Ser.*, 65:193-200
- Meinesz, A., J.M. Cottalorda., D. Chiaverini, M. Braun, N. Carvalho, M. Febvre, S. Ierardi, L. Mangialajo, G. Passeron-Seitre, T. Thibaut et J. Vaugelas (1997), Suivi de l'invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* devant les côtes françaises de la Méditerranée: Situation au 31 décembre 1996. Ed. Laboratoire Environment Marin Littoral, Université de Nice-Sophia Antipolis: 190 p.
- Morucci, C., R. Sandulli, G. Tripaldi, R. Casolino, F. Cinelli, A. Proietti-Zola, L. Benedetti-Cecchi and F. Della Pietà (1994), Primi risultati della campagna di sensibilizzazione e localizzazione attiva europea sulla propagazione di *Caulerpa taxifolia*. Situazione lungo le coste italiane alla fine del 1993. In: First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez, GIS Posidonie publ., Fr., pp.127-132
- Morucci, C., R. Sandulli, G. Tripaldi, R. Casolino, F. Cinelli, G. Ceccherelli, M. Austoni and L. Lavelli (1996), Latest data on the spread of *Caulerpa taxifolia* along the western Ligurian coasts. In: Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gómez and V. Gravez, Publicacions Universitat Barcelona, pp.75-80

## LE PHYTOBENTHOS MARIN MAROCAIN DE L'ATLANTIQUE A LA MEDITERRANÉE ET LE *CAULERPA TAXIFOLIA*?

par

Larbi NAJIM et M.C. ALAOUI KASMI

Laboratoire de Botanique, U.R. d'Algologie  
Département de Biologie, Faculté des Sciences,  
Rabat, Maroc

### RESUME

La flore algale benthique marine du Maroc est relativement riche, plus de 390 espèces sont répertoriées. Ce sont les Rhodophyceae qui sont les plus nombreuses (56,12 %) suivies des Phaeophyceae (20,66 %), des Chlorophyceae (19,13 %). Le groupe des Cyanophyceae est le moins représenté dans la flore algale (4,08 %).

Au niveau de la composition spécifique, nous avons mis en évidence l'existence de trois associations d'espèces: Les espèces atlantico-méditerranéennes correspondant à une transition ou à un passage progressif de l'Atlantique à la Méditerranée et qui comprend des espèces qui peuvent être aussi bien atlantiques que méditerranéennes. La deuxième association comprend des espèces exclusivement méditerranéennes; la troisième association regroupe essentiellement des espèces atlantiques.

L'hydrodynamisme élevé dans certaines zones de l'Atlantique favorise une richesse spécifique relativement importante autant dans la répartition verticale que géographique des algues.

La flore algale marocaine, d'une manière générale présente une affinité tempérée chaude, elle présente aussi des affinités avec la flore algale du côté de l'Atlantique américain.

Au niveau méditerranéen, le *Caulerpa taxifolia* qui a été signalé du côté occidentale semble absent à l'heure actuelle du côté marocain.

**THE MARIN MOROCCAN PHYTOBENTHOS FROM THE ATLANTIC  
TO THE MEDITERRANEAN SEA AND THE *CAULERPA TAXIFOLIA* ?**

by

Larbi NAJIM and M.C. ALAOUI KASMI

Laboratoire de Botanique, U.R. d'Algologie  
Département de Biologie, Faculté des Sciences,  
Rabat, Maroc

ABSTRACT

Benthic marin algal flora of Morocco, is relatively rich, more than 390 species are reported. The Rhodophyceae are numerous (56.12%) followed by the phaeophyceae (20.66%) and the Chlorophyceae (19.13%). The group of the Cyanophyceae is the less represented in the algal flora(4.08%).

Concerning the specific composition, we have shown the existence of three species associations: species atlantico-mediterranean corresponding to a transition or to a progressif passage from the Atlantic the Mediterranean sea and concluding the species that could be either from the Atlantic or from the Mediterranean sea, the second association group together essentially the atlantic species.

The higher hydrodynamism in certain Atlantic zones favourises a relatively important specific richness as much in the vertical or geographical repartition of the algae.

The moroccan algal flora, generally presents a hot and tempered affinity. They also present affinities with the American Atlantic algal flora.

At the level of the Mediterranean sea, *Caulerpa taxifolia*, was found in the occidental coast and seems to be absent at this moment from the moroccan coasts.

## 1. INTRODUCTION

Situé au nord ouest de l'Afrique, entre la Méditerranée et l'Atlantique, le Maroc appartient à la fois aux mondes méditerranéen, océanique et saharien.

L'influence océanique est la plus marquée; elle se fait sentir le long d'une côte rocheuse bordée de plaines et de plateaux peu élevés et mal protégés de la houle du large. L'influence de la Méditerranée est moins importante, la côte est moins étendue, plus étroite (450 km) et aussi plus isolée par le relief accidenté de la chaîne du Rif.

Les côtes marocaines s'étendent sur environ 3500 km, le plateau continental en Atlantique est le siège de remontées d'eaux profondes riches en sels nutritifs assurant une activité biologique élevée.

La flore marine marocaine a suscité l'intérêt de plusieurs algologues depuis le 19ème siècle (Bornet, 1892; Lemoine, 1928; Dangeard, 1949; Gayral, 1958 et 1961; Werner, 1962). La plupart des travaux ont été réalisés sur la côte atlantique.

Cependant, depuis 1983, des études effectuées par notre équipe, aussi bien sur la côte atlantique que sur la côte méditerranéenne (Alaoui, 1984; Ouahi, 1987; Berday, 1989; Kazzaz, 1989; Benhissoune, 1995) ont permis d'établir un catalogue des cryptogames marines, comportant des espèces signalées pour la première fois sur nos côtes.

## 2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'étude systématique des algues présente beaucoup d'intérêts autant pour les scientifiques que pour les industriels. Ces études, sur le plan régional ou national se soldent par des inventaires algologiques. En effet, un inventaire algologique apporte énormément de données sur l'état écologique et sur l'environnement du milieu marin.

Mais, un inventaire a aussi un intérêt particulier il révèle la biodiversité d'un espace et permet de suivre en parallèle l'évolution dans le temps et surtout de marquer la compétition avec des algues "invasives" s'il y a lieu ou de constater une pollution quelconque...

Au Maroc et dans les régions avoisinantes aussi bien atlantiques que méditerranéennes plusieurs inventaires donnent une idée de la flore algale benthique (Tableau 1).



Tableau 1

Nombre d'espèces d'algues benthiques dans quelques localités de la Méditerranée et de l'Atlantique. Benhissoune (1995), et complété par Najim *et al.* (1998)

Localités	Nombre d'espèces	Références
Banyuls (France)	426	Feldmann (1938)
La Galite (Tunisie)	93	Feldmann (1961)
Rade d'Hyères (France)	336	Belsher (1975)
Port-Vendre (France)	133	Belsher (1977)
Martigue-Pontheau (France)	212	Verlaque (1977)
Pantellaria (Italie)	261	Giaccone (1974)
Linosa (Italie)	237	Cinelli <i>et al.</i> (1976)
Tabarka (Tunisie)	118	Boudouresque (1970)
Zembra (Tunisie)	96	Boudouresque (1970)
Port-Cros et Bagaud (France)	419	Perret et Boudouresque (1985)
Mohammedia (Maroc)	200	Ouahi (1987)
El Jadida (Maroc)	143	Berday (1989)
Ksar, C.Negro, Tamernout (Maroc)	237	Kazzaz (1989)
Rabat-Mohammedia (Maroc)	245	Benhissoune (1995)
Essaouira (Maroc)	190	Alaoui (1998)
Tanger (Maroc)	210	Najim <i>et al.</i> (1998)
Agadir (Maroc)	110	Ouahi (1998)

### 3. INVENTAIRE FLORISTIQUE

#### **Cyanophyceae**

##### **O/Chroococcales**

##### **F/Chroococcaceae**

-*Gleocapsa crepidinum* (Rab.) Thuret

##### **F/Entophysalidaceae**

-*Entophysalis granulosa* Kutzing

-*Placoma vesiculosa* Schousboei

**O/Oscillatoriales**

**F/Oscillatoriaceae**

- Lyngbia aestuarii* (Mert.) Lieb.
- Lyngbia confervoides* Agardh
- Lyngbia majuscula* (Dillw.) Harv.
- Microcoleus chthonoplastes* (F.D.) Thur.
- Oscillatoria fundamentata* Schousboei
- Oscillatoria margaritifera* Kutzing

**F/Rivulariaceae**

- Calothrix oerugionosa* Thuret
- Isactis plana* Thuret
- Rivularia atra* Roth.
- Rivularia bullata* (Poiret) Berkeley

**O/Chamaesiphonales**

**F/Dermocarpaceae**

- Dermocarpa parasina* (Reinsch.) Born.& Thur.

**F/Pleurocapsaceae**

- Hyella caespitosa* Born.& Flah.
- Xenococcus schousboei* Thuret

**Chlorophyceae**

**O/Acrosiphonales**

**F/ Acrosiphonaceae**

- Urospora laeta* (Schousb.) Borgesen

**O/Chaetophorales**

**F/Chaetophoraceae**

- Endoderma viride* (Reinke) Largerhein
- Pilinia rimosa* Kutzing
- Pringshmiella scutata* (Reinke) Schm.& Petr.
- Ulvella lens* Crouan
- Ulvella setchellii* P.Dangeard

**O/Cladophorales**

**F/Cladophoraceae**

- Chaetomorpha aerea* P.Dangeard
- Chaetomorpha capillaris* (Kutz.) Borgesen
- Chaetomorpha linum* (Muller) Kutz.
- Chaetomorpha pachynema* Montagne
- Cladophora albida* (Huds.) Kutz.
- Cladophora coellothrix* Kutzing
- Cladophora expansa* (Mert.) Kutzing
- Cladophora hirta* Kutzing
- Cladophora laetivirens* (Dillw.) Kutz.
- Cladophora ramosissima* (Drap.) Kutz.
- Cladophora pellucida* (Huds.) Kutz.
- Cladophora prolifera* (Roth.) Kutz.
- Cladophora punica* Hamel
- Cladophora utriculosa* Kutz.
- Rhizoclonium hierglyphicum* (Kutz.) Stockmayer
- Rhizoclonium riparium* Harv.

- Rhizoclonium kernerii* Stockm.
- Urospora laeta* (Schousb.) Born.

## O/Siphonales

### F/Bryopsidaceae

- Bryopsis adriatica* (J.Ag.) Menegh.
- Bryopsis balbisia* Lamouroux
- Bryopsis corymbosa* J.Agardh
- Bryopsis cupressina* Lamouroux
- Bryopsis hypnoides* Lamouroux
- Bryopsis muscosa* Lamouroux
- Bryopsis pennata* Lamouroux
- Bryopsis plumosa* (Huds.) C.Agardh

### F/Caulerpaceae

- Caulerpa prolifera* (Forsk.) Lamouroux

### F/Codiaceae

- Codium adhaerans* (Cabrera) C.Agardh
- Codium bursa* (L.) Agardh
- Codium difforme* Kutz.
- Codium elongatum* C.Agardh
- Codium tomentosum* (Huds.) Stackhouse
- Pseudochlorodermis furcellata* (Zanardini) Borgesen

### F/Derbesiaceae

- Derbesia lamourouxii* (J.Ag.) Solier
- Derbesia neglecta* Berthold
- Derbesia tenuissima* (De Not.) Crouan

### F/Halicystidaceae

- Halicystis parvula* Schmitz

### F/Valoniaceae

- Valonia macrophysa* Kutz.
- Valonia utricularis* (Roth.) C.Agardh

## O/Ulothricales

### F/Ulothricaceae

- Ulothrix flacca* (Dillw.) Thuret
- Ulothrix pseudoflacca* Wille

## O/Ulvales

### F/Monostromaceae

- Monostroma obscurum* (Kutz.) J.Agardh
- Monostroma oxycoccum* (Kutz.) Thuret

### F/Ulvaceae

- Blidingia marginata* (J.Ag.) Dangeard
- Blidingia minima* (Kutz.) Kylin
- Enteromorpha clathrata* (Roth.) J. Agardh
- Enteromorpha compressa* (Linnaeus) Greville
- Enteromorpha flabellata* P.Dangeard
- Enteromorpha gayralii* P.Dangerd
- Enteromorpha hendayensis* P.Dangeard
- Enteromorpha intestinalis* (Linnaeus) Link.
- Enteromorpha lingulata* J.Agardh
- Enteromorpha linza* (Linnaeus) J.Agardh
- Enteromorpha longissima* P.Dangeard

- Enteromorpha ralfsii* Harvey
- Enteromorpha ramulosa* (Smith) Hooker
- Enteromorpha rivularis* P.Dangeard
- Enteromorpha scopulorum* (P.Dangeard) Villot.
- Enteromorpha stipitata* P.Dangeard
- Enteromorpha tuberculosa* Dangeard
- Ulva dangeardii* P.Gayral
- Ulva elegans* P.Gayral
- Ulva gayralii* R.Cauro
- Ulva fasciata* Delile
- Ulva lactuca* (Linnaeus) Le Jolis
- Ulva lactuca fa crispa* P.Dangeard
- Ulva linearis* P.Dangerd
- Ulva olivacea* P.Dangeard
- Ulva rigida* C.Agardh
- Ulvopsis gravillei* (Thuret) P.Dangeard

## Phaeophyceae

### O/Chordariales

#### F/Chordariceae

- Levringia brasiliensis* (Mont.) Joly.
- Mesogloia griffithsiana* Greville

#### F/Corynophleaceae

- Corynophlea umbellata* J.Agardh
- Leathesia difformis* (L.) Aresch.

#### F/Elashistaceae

- Elashista flaccida* (Dillw.) Areschoug
- Elashista neglecta* Kuckuck
- Lithosiphon laminariae* (Lyngb.) Harv.

### O/Cutleriales

#### F/Cutleriaceae

- Aglaozonia chilosa* Fakenberg
- Aglaozonia melanoidea* (Schousb.) Sauvageau
- Aglaozonia parvula* (Grev.) Zanardini
- Cutleria adspersa* (Mert.) De Notaris

### O/Dictyotales

#### F/Dictyotaceae

- Dictyopteris membranacea* (Stack.) Batters
- Dictyota dichotoma* (Huds.) Lmx. var. *dichotoma*
- Dictyota dichotoma* Huds. var. *intricta*
- Dilophus fasciola* (Roth.) Howe
- Dilophus ligulatus* (Kutz.) Feldmann
- Padina pavonia* (Linné) Gaillon
- Spatoglossum areschougii* J.Agardh
- Spatoglossum solierii* (Chain.) Kutzing
- Taonia atomaria* (Woodward) J.Agardh
- Zonaria tournefortii* (Lamouroux) Montagne

## O/Ectocarpales

### F/Ectocarpaceae

- Bachelotia fulvescens* (Schousb.) Bornet
- Ectocarpus confervoides* (Roth) Le Jolis
- Ectocarpus fasciculatus* Harvey
- Ectocarpus granulatus* (Engl.Bot.) C.Agardh
- Ectocarpus irregularis* Kutzing
- Ectocarpus mitchelae* Harvey
- Ectocarpus siliculosus* (Dillw.) Lyngbye
- Ectocarpus simplex* Crouan
- Ectocarpus terminalis* Kutzing
- Feldmannia globifera* (Kutz.) Ham.
- Feldmannia lebelii* (Ares.) Crouan
- Feldmannia rallsiae* Vickers
- Giffordia granulosa* (Engl.Bot.) Ham.
- Giffordia hincksiae* Harvey
- Giffordia secuida* (Kutz.) Batters
- Herponema valianthei* (Bornet) Ham.

### F/Nemodermataceae

- Nemoderma tingitanum* Schousboei

### F/Ralfsiaceae

- Ralfsia verrucosa* (Aresch.) J.Agardh

### F/Myrionemataceae

- Entonema parasiticum* (Sauv.) Hamel
- Streblonema deformans* (P.Dangeard) Hamel

## O/Fucales

### F/Fucaceae

- Fucus axillaris* J.Agardh
- Fucus lutarius* Kutzing
- Fucus spiralis* Linné
- Fucus vesiculosus* Linné

### F/Sargassaceae

- Bifurcaria tuberculata* (Huds.) Stackhouse
- Cystoseira crinita* Duby.
- Cystoseira compressa* (Esper) Gerloff
- Cystoseira concatenata* (Light.) Lamour.
- Cystoseira discors* C.Agardh
- Cystoseira ericoides* (Linné) Agardh
- Cystoseira fibrosa* (Huds.) Agardh
- Cystoseira foeniculaceae* (Lin.) Greville
- Cystoseira granulata* Agardh
- Cystoseira humilis* (Schousb.) Kutzing
- Cystoseira platyclada* Sauvageau
- Cystoseira selaginoides* (Nacc.) Val.
- Cystoseira stricta* Sauvageau
- Cystoseira tingitana* Sauvageau
- Cystoseira mediterranea* Sauvageau
- Cystoseira myriophylloides* Sauvageau
- Sargassum vulgare* C.Agardh

**O/Punctariales**

**F/Scytosiphonaceae**

- Colpomenia peregrina* Sauv.
- Colpomenia sinuosa* (Mertens) Derb. & Solier
- Petalonia fascia* (Muller) O.Kuntze
- Scytosiphon lomentaria* (Lyngb.) Endlicher

**O/Sphacelariales**

**F/Sphacelariaceae**

- Cladostephus spongiosus* C.Agardh
- Cladostephus verticillatus* (Ligtf.) Lyngbye
- Halopteris filicina* (Grat.) Kutzing
- Halopteris scoparia* (Linné) Sauv.
- Sphacelaria cirrhosa* (Roth.) C. Agardh
- Sphacelaria fusca* (Huds.) C.Agardh
- Sphacelaria radicans* (Dillw.) Harvey
- Sphacelaria tribuloides* Menegheni

**O/Laminariales**

**F/Laminariaceae**

- Laminaria ochroleuca* De la Pylaie
- Laminaria rodriguesii* Sauvageau

**F/Phyllariaceae**

- Phyllaria purpurascens* (Agardh) Rostafinsky
- Phyllaria reniformis* (Lamour.) Rostafinsky
- Sacchoriza bulbosa* (Huds.) De la Pylaie

**O/Desmarestiales**

**F/Desmarestiaceae**

- Desmarestia ligulata* Lamouroux

**O/Sporochnales**

**F/Sporochnaceae**

- Carpomitra costata* (Stachh.) Batlen var. *mediterranea*

**Rhodophyceae**

**O/Bangiales**

**F/Bangiaceae**

- Bangia fuscopurpurea* (Dillw.) Lyngbye
- Erythrocladia bertholdii* Batters
- Erythrocladia carnea* (Dillw.) J.Agardh
- Erythrocladia irregularis* Rosenvinge
- Erythrocladia subintegra* Rosenvinge
- Erythrotrichia boryana* (Mont.) Bert.
- Erythrotrichia carnea* (Dillw.) J.Agardh
- Erythrotrichia welwitschi* (Rup.) Batt.
- Erythrotrichia obscura* Berthold
- Porphyra leucostica* Thuret
- Porphyra umbilicalis* (Linné) J.Agardh

**O/Goniotrichales**

**F/Goniotrichaceae**

- Goniotrichum alsidii* (Zanard.) Howe
- Goniotrichum cornu-cervi* (Reinsch) Hauck

**O/Nemalionales**

**F/Helminthocladiaceae**

- Helminthocladia clavadosii* (Lamour.) Setchell
- Helminthocladia hudsoni* Batt.
- Nemalion helminthoides* (Velley) Batters
- Nemalion multifidum* (Web. & Mohr) J. Agardh

**F/Chaetangiaceae**

- Scinaia furcellata* (Turner) Bivona
- Scinaia subcostata* (J. Ag.) Chemin

**F/Chantransiaceae**

- Acrochaetium codii* (Crouan) Bornet
- Acrochaetium crassipes* Borgesen
- Acrochaetium daviesii* (Dillw.) Nageli
- Acrochaetium microspicum* Nageli
- Acrochaetium virgatulum* (Harvey) J. Agardh
- Rhodochorton purpureum* (Lightf.) Rosenvinge
- Rhodochorton rothii* (Thurt.) Nageli

**O/Bonnemaisoniales**

**F/Bonnemaisoniaceae**

- Asparagopsis armata* Harvey
- Asparagopsis hamifera* Okam.
- Bonnemaisonia asparagoides* (Woodw.) Agardh
- Falkenbergia rufolanosa* (Harvey) Schmitz

**O/Gelidiales**

**F/Gelidiaceae**

- Gelidiella sanctarum* Feldmann & Hamel
- Gelidiella tenuissima* (Thuret) Feldm.
- Gelidiocolax verruculata* Ouahi & Najim
- Gelidium attenuatum* Thuret
- Gelidium coerulescens* Kutzing
- Gelidium crinale* (Turn.) Lamouroux
- Gelidium intertextum* P. Dangerd
- Gelidium latifolium* (Grev.) Born. & Thuret
- Gelidium melanoideum* (Schousb.) Born.
- Gelidium pannosum* Gum.
- Gelidium pulchellum* Kutzing
- Gelidium pusillum* (Stackh.) le Jolis
- Gelidium reptans* (Suhr.) Kylin
- Gelidium sesquipedale* (Turn.) Thuret
- Gelidium spathulatum* (Kutz.) Bornet.
- Gelidium spinulosum* (Ag.) J. Agardh
- Pterocladia capillacea* (Gmel.) Thur. & Born.

**O/Cryptomeniales**

**F/Dumontiaceae**

-*Dudresnaya coccinea* (Ag.) Crouan

**F/Squamariaceae**

-*Peyssonnelia coriacea* J.Feldmann

-*Peyssonnelia dubyi* Crouan

-*Peyssonnelia squamaria* (Gmel.) Decsne

**F/Hildenbrandtiaceae**

-*Hildenbrandtia prototypus* Nardo.

**F/Corallinaceae**

-*Amphiroa beauvoisii* Lamouroux

-*Amphiroa cryptarthrodia* Zanardini

-*Amphiroa fragilissima* (L.) Lamour.

-*Amphiroa rigida* Lamouroux

-*Choreonema thureti* (Born.) Schm.

-*Corallina granifera* Ell. & Sol.

-*Corallina mediterranea* Areschoug

-*Corallina officinalis* Linné

-*Corallina squamata* Ellis & Solander

-*Dermatholithon haplidoides* (Crouan) Foslie

-*Dermatholithon pustulatum* (Lamour.) Foslie

-*Fosiella cruciata* (Lamour.) Howe

-*Fosiella farinosa* (Lamour.) Howe

-*Fosiella lejolisii* (Rosanoff) Howe

-*Fosiella mediterranea* (Foslie) J.Feldmann

-*Fosiella zonalis* (Crouan) J.Feldmann

-*Jania corniculata* (Linné) Lamour.

-*Jania longifurca* Zanardini

-*Jania rubens* Linné & Lamour.

-*Lithophyllum africanum* Foslie

-*Lithophyllum dentatum* (Kutz.) Foslie

-*Lithophyllum incrustans* Philippi

-*Lithophyllum papillosum* (Zan.) Foslie

-*Lithophyllum retusum* Foslie

-*Lithophyllum tortuosum* (Esper) Foslie

-*Lithothamnion calcareum* (Pall.) Aresch.

-*Lithothamnion fruticosum* (Kutz.) Foslie

-*Lithothamnion lenormandii* (Areschoug) Foslie

-*Lithothamnion philippi* Foslie

-*Lithothamnion polymorphum* (L.) Aresch. var *papillata*

-*Lithothamnion tenuissimum* Foslie

-*Mesophyllum lichenoides* (Ellis) Lemoine

-*Melobesia membranacea* (Esper.) Lamour.

-*Neogoniolithon notarsii* (Dufour.) Setchell

-*Pseudolithophyllum expansum* (Philippi) Lemoine

-*Schmitziella endophraea* Bornet & Batters

**F/Grateloupiaceae**

-*Cryptomenia lomation* (Bert.) J Agardh

-*Cryptomenia seminervis* J. Agardh

-*Grateloupia filicina* (Wulfen) C. Agardh

-*Grateloupia lanceola* J.Agardh



**F/Furcellariaceae**

- Halarachnion ligulatum* (Wood.) Kutz. var. *stricta*

**F/Callymeniaceae**

- Callophylis laciniata* Hudson
- Callymenia schizophylla* (Harvey) J.Agardh

**F/Gloeosiphonaceae**

- Thuretella schousboei* Schmitz

**F/Rhizophyllidaceae**

- Rhizophyllis squamariae* (Menegheni) Kutzing

**O/Ceramiales**

**F/Ceramiaceae**

- Aglaothamnion neglectum* G.Feldmann
- Aglaothamnion polyspermum* (J.Agardh) G.Feldm.
- Aglaothamnion scopulorum* (J.Agardh) G.Feldm
- Antithamnion elegans* Berthold
- Antithamnion pteroton* Born.
- Antithamnion plumula* (Ellis) Thuret
- Bornetia secundiflora* (J.Agardh) Thuret
- Callithamniella tingitana* (Schousboei) G.Feldmann
- Callithamnion byssoides* Borgesen
- Callithamnion corymbosum* (Smith) Lyngbye
- Callithamnion granulatum* (Duclezeau) C.Agardh
- Callithamnion tetragonium* (Withering) Gray
- Callithamnion tetricum* (Dillwyn) Kutzing
- Ceramium byssoideum* (Harvey) G.Mazoyer
- Ceramium ciliatum* (Ellis) Duclezeau
- Ceramium circinatum* (Kutz.) J.Agardh
- Ceramium clavulatum* J Agardh
- Ceramium diaphanum* (Roth) Harvey
- Ceramium echinotum* J.Agardh
- Ceramium flabelligerum* J.Agardh
- Ceramium rubrum* (Hudson) C.Agardh
- Ceramium tenerrimum* (Mart.) Okam
- Ceramium tenuissimum* (Lyngbye) J.Agardh
- Compsothamnion gracillimum* C.Agardh
- Compsothamnion thyoides* (Smith) Schmitz
- Crouania attenuata* (Bornem.) Agardh
- Griffithsia opuntoides* J.Agardh
- Griffithsia phylomphora* J.Agardh
- Griffithsia tenuis* C.Agardh
- Gymnothamnion elegans* (Schousb.) J.Agardh
- Halurus equistifolius* (Lightfoot) Kutzing
- Neomonospora pedicellata* (Smith.) G.Feldmann & Meslin
- Neomonospora furcellata* (J.Agardh) G.Feld. & Meslin
- Pleonosporium borneri* (Smith) Nageli
- Pleonosporium flexuosum* (Agardh) Bornet
- Ptilothamnion plumula* (Dillw.) Thuret
- Spermothamnion gorgoneum* (Mont.) Bornet
- Spermothamnion reptans* (Dillw.) Rosenv.
- Spermothamnion sacchoriza* G.Feldmann
- Sphondylothamnion multifidum* (Hudson) Nageli
- Spyridia aculeata* (Schimp) Kutzing

- Spyridia filamentosa* Harvey
- Vickersia baccata* (J.Agardh) Karsak & Borgesen

**F/Dasyaceae**

- Dasya arbuscula* (Dillw.) C.Agardh
- Dasya corymbifera* J.Agardh
- Heterosiphonia coccinea* (Hudson) Lamour.
- Heterosiphonia plumosa* (Ellis) Batters

**F/Delesseriaceae**

- Acrosorium uncinatum* (J.Agardh) Kylin
- Apoglossum rusCIFolium* (Turner) C.Agardh
- Cottoniella filamentosa* (Howe) Borgesen
- Cryptopleura lacerata* (Grev.) Kylin
- Delesseria schousboei* J.Agardh
- Erythroglossum sundrianum* (Zanard.) Kylin
- Hypoglossum woodwardii* Kutzing
- Myriogramme costata* P.Dangeard
- Nithophyllum punctatum* Harvey
- Tanioma macrourum* Thuret

**F/Rhodomelaceae**

- Bostrychia scorpioides* (Gmelin) Montagne
- Chondria arcuata* Hollenberg
- Chondria coeruleascens* (Thuret) Falkenberg
- Chondria dasyphylla* (Woodw.) Agardh
- Ctenosiphonia hypnoides* (Welw.) Falkenberg
- Dipterosiphonia rigens* (Schousb.) Falkenberg
- Halopitys pinnastroides* (Gomel.) Kutzing
- Herposiphonia secunda* (Agardh) Nageli
- Herposiphonia tenella* (Agardh) Nageli
- Laurencia caespitosa* Lamouroux
- Laurencia obtusa* Lamouroux
- Laurencia pinnatifida* (Gmelin) Lamouroux
- Leptosiphonia schousboei* (Thuret) Kylin
- Ophidocladus simpliciscula* (Crouan) Falkenberg
- Polysiphonia fruticulosa* (Wulen) Sporengel
- Polysiphonia furcellata* (C.Agardh) Harvey
- Polysiphonia macrocarpa* Harvey
- Polysiphonia thyoides* Harvey
- Polysiphonia violacea* (Roth.) Greville
- Pterosiphonia complanata* (Clemente) Fikenberg
- Pterosiphonia parasitica* (Huds.) Falkenberg
- Pterosiphonia pennata* (Roth.) Falkenberg
- Rytiphlea tinctoria* (Clemente) C.Agardh

**O/Gigartinales**

**F/Cruoriaceae**

- Petrocelis cruenta* Agardh
- Cruoria pillita* (Lyngbye) Fries

**F/Gigartinaceae**

- Gigartina acicularis* (Wulfen) Lamour.
- Gigartina falcata* J.Agardh
- Gigartina hybrides* (Wulfen) Lamour.
- Gigartina mamillosa* J.Agardh
- Gigartina pistillata* (Gonnell) Stackh.

-*Gigartina teedii* Lamouroux

**F/Gracilariaceae**

- Gracilaria armata* J.Agardh
- Gracilaria cervicornis* (Turner) J.Agardh
- Gracilaria compressa* (C.Agardh) Greville
- Gracilaria conferta* (Schousb.) Feldmann
- Gracilaria confervoides* (Linné) Greville
- Gracilaria dura* (C.Agardh) J.Agardh
- Gracilaria multipartita* (Clem.) Harvey
- Holmsella psychyderma* Sturch.

**F/Hypneaceae**

- Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamour.

**F/Nemastomaceae**

- Schizymenia dubyi* J.Agardh

**F/Phylloporaceae**

- Gymnogongrus griffithsiae* (Turner) Martens
- Gymnogongrus norvegicus* (Gunner) J.Agardh
- Gymnogongrus patens* J.Agardh
- Phyllophora heredia* J.Agardh
- Phyllophora palmetoides* J.Agardh

**F/Plocamiaceae**

- Plocamium coccineum* (Huds.) Lyngbye
- Plocamium raphelisianum* (J.Agardh) Dangeard

**F/Rhabdomaceae**

- Catenella opuntia* (Good. & wood.) Greville

**F/Rhodophyllidaceae**

- Calliblepharis ciliata* Kutzing
- Calliblepharis jubata* (Good. & Wood.) Kutzing
- Rhodophyllis bifida* (Good. & Wood.) Kutz. var. *divaricata*
- Rhodophyllis bifida* (Good. & Wood.) Kutz. var. *wernerii*

**F/Sphaerococcaceae**

- Caulacanthus ustulatus* (Merton) Kutz.
- Sphaerococcus coronopifolius* (Good. & Wood.) C. Agardh

**O/Rhodymeniales**

**F/Champiaceae**

- Chylocladia squarrosa* (Kutz.) Le Jolis
- Champia parvula* (C.Agardh) Harvey
- Gastroclonium clavulatum* (Roth.) Ardissonne
- Gastroclonium ovatum* (Huds.) Lyngbye
- Lomentaria articulata* (Huds.) Lyngbye
- Lomentaria clavellosa* (Turner) Gaillon
- Lomentaria reflexa* Chauv.

**F/Rhodymeniaceae**

- Rhodymenia caespitosa* P.Dangeard
- Rhodymenia delicatula* P.Dangeard
- Rhodymenia palmetta* (L.) Greville var. *fuscopurpurea*
- Rhodymenia pseudopalmata* (Lamour.) Silva

L'inventaire ci-dessus comporte des espèces algales benthiques signalées dans des relevés déjà publiés par des auteurs ayant fait des études sur les côtes marocaines (Lemoine, 1924; Gatefosse et Wrener, 1935; Dangeard, 1949; Gayral, 1958 et 1961; Ouahi, 1987; Kazzaz, 1989; Berday, 1989; Benhissoune, 1995) ou récoltées lors des sorties algologiques effectuées par notre unité de recherche.

L'étude que nous avons faite sur la flore algologique benthique des côtes atlantique et méditerranéenne nous a permis de recenser 393 espèces dont 16 Cyanophyceae, 76 Chlorophyceae, 81 Phaeophyceae, et 220 Rhodophyceae.

Nous constatons que:

\* Le rapport R/P, rapport du nombre de Rhodophyceae sur le nombre de Phaeophyceae; proposé par Feldmann (1938) montre que la valeur de ce rapport augmente des zones froides vers les zones chaudes. Ce rapport est voisin de l'unité dans les zones arctiques et boréales, il atteint 1,6 à Cherbourg, 2,3 sur la côte basque française, 3,7 aux Canaries, 4,6 aux Bahamas.

\* Pour le Maroc, ce rapport est variable selon les régions il va de 2,7 à 3,8 (Tableau 2). Cependant nos calculs donnent pour l'ensemble des côtes marocaines un rapport de 2,7. Ce rapport peut être comparé aux rapports trouvés pour Banyuls: 2,7 (Feldmann, 1938), les Pyrénées orientales: 2,9 (Boudouresque, 1984).

\* La flore algologique du Maroc peut être aussi comparée au point de vue du nombre des espèces à la flore algale de Corse: 370 (Boudouresque et Perret, 1977).

Tableau 2

Pourcentage du nombre de Chlorophyceae, Phaeophyceae et Rhodophyceae dans différentes localités des côtes marocaines, ainsi que le rapport R/P.

N.t: Nombre total

Localité	N.t	CH %	PH %	RH %	R/P
Tamernoute (Kazzaz, 1989)	157	16,6	20,4	59,2	2,9
Cabo-Negro (Kazzaz, 1989)	182	15,9	21,4	57,7	2,7
Ksar-Sghir (Kazzaz, 1989)	194	14,9	18	62,4	3,5
Mohammedia (Ouahi, 1987)	200	16	18	64	3,6
El Jadida (Berday, 1989)	143	16,1	17,5	66,4	3,8
Rabat-Mohammedia (Benhissoune, 1995)	245	18,36	17,9	62,8	3,5
Essaouira (Alaoui <i>et al.</i> , 1998)	190	17,3	18,2	63,9	3,5
Tanger (Najim <i>et al.</i> , 1998)	210	18,1	19	62,7	3,3
Agadir (Ouahi, 1998)	110	16,1	17,8	65,8	3,7

\* Cette flore renferme un certain nombre d'espèces des mers chaudes ou tempérées. Parmi ces espèces on peut citer *Callymenia schizophylla* de l'Afrique du Sud et des îles du Cap Vert, *Chondria arcuata* de la Californie du Sud, *Gracilaria cervicornis* et *Amphiroa fragilissima* des Antilles (Dangeard, 1949).

\* Certaines espèces sont nouvelles pour la flore algologique marocaines:

- Ulvella lens*
- Valonia macrophysa*
- Elashista neglecta*
- Aglaozonia chilosa*
- Aglaozonia melanoidea*
- Aglaozonia parvula*
- Dictyota dichotoma* var. *dichotoma*
- Dictyota dichotoma* var. *intricta*
- Erythrocladia bertholdii*
- Erythrocladia irregularis*
- Acrochaetium crassipes*
- Acrochaetium microspicum*
- Peyssonnelia dubyi*
- Fosiella cruciata*
- Fosiella zonalis*
- Gelidiocolax verruculata*

\* Diverses espèces ne franchissent pas le Sud de Tanger, ville située à la jonction de deux mers:

- Bonnemaisonia asparagoides*
- Callithamniella tingitana*
- Chrysomenia ventricosa*
- Chrysomenia vesiculosa*
- Cladostephus spongiosus*
- Corynophlea umbellata*
- Cystoseira crinita*
- Cruoria pellita*
- Dudresnaya coccinea* (Ag.) Crouan
- Gelidium pannosum*
- Mesogloia griffithsiana*
- Phyllophora nervosa*
- Spermothamnion irregulare*
- Thuretalla schousboei*
- Ulva myriotrema*

\* Pour quelques unes, une localisation assez singulière. Ainsi, au Nord de Casablanca, demeurent:

- Ceramium circinatum*
- Ceramium tenuissimum*
- Compsothamnion gracillimum*
- Crouania attenuata*
- Dilophus fasciola*
- Lithophyllum hapaloides*
- Spatoglossum areschougii*

\* Au Sud de Casablanca on peut trouver:

- Callymenia schizophylla*
- Cystoseira granulata*
- Ectocarpus fasciculatus*
- Gelidium intertextum*
- Myriogramme costata*
- Ptilothamnion pluma*
- Rhodymenia caespitosa*
- Rhodymenia delicatula*
- Spyridia aculeata*

\* Et plus au Sud, autour d'Agadir et Sidi Ifni:

- Amphiroa fragilissima*
- Chondria arcuata*
- Dasya arbuscula*
- Gelidium reptans*
- Gracilaria cervicornis*
- Neomonospora furcellata*
- Sphacelaria tribuloides*
- Vickersia baccata*

\* D'autres existent à la fois au Nord et au Sud de la côte atlantique marocaine:

- Bangia fuscopurpurea*
- Gelidiella sanctarum*
- Goniotrichum cornu-cervi*
- Griffithsia floosculosa*
- Griffithsia phyllamphora*
- Pleonosporium flexuosum*
- Sphondylothamnion multifidum*

\* Certaines espèces sont localisées dans la côte atlantique:

- Antithamnion pteroton*
- Cheatomorpha pachynema*
- Chondria arcuata*
- Chrysomenia vesiculosa*
- Delesseria schousboei*
- Enteromorpha clathrata*
- Fucus axillaris*
- Gelidium intertextum*
- Gelidium spinulosum*
- Rhodymenia delicatula*
- Urospora laeta*

\* Des espèces localisées en Atlantico-méditerranéen:

- Acrosorim uncinatum*
- Bostrichyia scorpioides*
- Bryopsis plumosa*
- Catenella opuntia*
- Ceramium rubrum*

- Champia parvula*
- Chondria dasyphylla*
- Codium tomentosum*
- Dictyopteris membranacea*
- Dictyota dichotoma*
- Ectocarpus confervoides*
- Enteromorpha clathrata*
- Enteromorpha compressa*
- Enteromorpha intestinalis*
- Enteromorpha lingulata*
- Enteromorpha ramulosa*
- Epilithon membranaceum*
- Gelidium pusillum*
- Gigartina acicularis*
- Gracilaria confervoides*
- Grateloupia filicina*
- Halopteris scoparia*
- Jania rubens*
- Fosiella farinosa*
- Plocamium cartilaginum*
- Pterocladia capillacea*
- Scytosiphon lomentarius*
- Sphacelaria cirrhosa*
- Ulva lactuca*
- Ulva rigida*

\* Des espèces localisées dans la Méditerranée, s'arrêtent à l'extrême limite occidentale du détroit de Gibraltar:

- Callithamniella tingitana*
- Carpomitra costata* var. *mediterranea*
- Chrysiomenia ventricosa*
- Codium bursa*
- Corynophlea umbellata*
- Cystoseira concatenata*
- Cystoseira crinita*
- Cystoseira platyclada*
- Cystoseira stricta*
- Phyllophora nervosa*
- Spermothamnion irregulare*
- Ulva myriotrema*

Les causes de cette répartition souvent inégale des algues au Maroc se laissent difficilement élucider. Pour les espèces de très petite taille, on peut admettre qu'elles soient passées inaperçues et pourraient se retrouver ailleurs, ces espèces seraient peut être révélées par des recherches beaucoup plus minutieuses. Dans l'ensemble, il faut se référer aux conditions hydrologiques régnant le long des côtes marocaines, plus particulièrement à la température des eaux de surface; probablement faut-il aussi invoquer des différences de déplacement des courants, de salinité, de l'évaporation, du vent et des facteurs microclimatiques locaux.

Des données océanographiques montrent que trois zones froides se rencontrent au Maroc, l'une au sud d'Agadir, l'autre s'étend d'Essaouira à Safi et la troisième à Tanger, cette dernière est provoquée par un courant d'eaux froides de profondeur diffusant de la

Méditerranée vers l'Atlantique par le détroit de Gibraltar. Entre ces zones froides se trouvent des zones plus chaudes dont une, est due à un courant issu du large et se dirigeant sur le Cap Rhir (Agadir).

Le Maroc est situé en région florale méditerranéenne. Les côtes et les mers proches (Madère et Canaries) sont soumises sans doute, au même climat. Il est donc normal de trouver nos côtes peuplées, avant tout, par un élément algal méditerranéen fondamental. Dans cet élément on peut distinguer:

\* Un groupe d'espèces strictement stationnées dans la mer Méditerranée et lui étant propre, ces espèces se rencontrent sur la côte marocaine méditerranéenne sans passer dans l'Atlantique. Elles s'arrêtent à l'extrême limite occidentale du détroit de Gibraltar (Tanger); comme raison, on peut invoquer principalement la température de l'eau et des différences de salinité.

\* Un groupe d'espèces communes à la mer Méditerranée et à l'Océan atlantique méditerranéen, ces espèces sont plus nombreuses mais en proportions variables. Leur stationnement est également plus au moins discontinu.

\* Un groupe d'espèces localisées dans l'Océan atlantique méditerranéen et ne pénétrant pas dans la mer Méditerranée.

Le nombre de 392 espèces reste moindre si on considère la totalité du littoral marocain qui s'étend sur 3500 km; il nous paraît probable que ce chiffre ne traduise pas une pauvreté relative en espèces algales de nos côtes; mais plutôt l'insuffisance de son exploration, surtout, au niveau de l'étage infralittoral. De nombreux taxons tels que *Caulerpa taxifolia*, *Liagora*, *Galaxaura*..., présents sur les côtes voisines des nôtres, n'ont jamais été signalé par les auteurs au Maroc.

Concernant, le genre *Caulerpa*, seule *Caulerpa prolifera* est signalée dans la lagune de Nador qui est fort polluée (Méditerranée). L'absence de *C. taxifolia* à l'heure actuelle au Maroc, est probablement liée aux travaux insuffisants sur la côte méditerranéenne. Les recherches effectuées à ce jour ne dépassent pas les limites de plongée en apnée. Il est donc vraisemblable, que *C. taxifolia*, vue la vitesse avec laquelle elle évolue puisse se retrouver au Maroc. Cependant, le Maroc se trouve dans une zone à hydrodynamisme élevé (détroit de Gibraltar, Atlantique, Méditerranée) qui peut empêcher l'installation de *C. taxifolia*!

Enfin la seule espèce algale endémique du Maroc est *Gelidiocolax verruculata* (Ouahi, 1993).

#### 4. BIBLIOGRAPHIE

Alaoui Kasmi, M.C (1984), Etude de quelques éléments minéraux chez certaines agarophytes du genre *Gelidium*. Mém.C.E.A. Fac.Sc.Rabat

Alaoui Kasmi, M.C. (1998), Etude du peuplement algal benthique de la côte d'Essaouira (Atlantique marocain ). Communication personnelle

Belsher, T. (1975), Recherches sur le genre *Peyssonnelia* (Rhodophyceae) VI. Etude d'une population de *Peyssonnelia atropurpurea* de Roscoff. Cahiers de Biol.Marine. Tome XVI:395-413



- Belsher, T. (1977), Le phytobenthos. In: Etude écologique; site Flaman ville, 1er cycle. Rapport général CNEXO, Unité littorale, pp.184-197
- Benhissoune, S. (1995), Contribution à l'étude phyto-écologique du phytobenthos marin de la région de Rabat-Mohammedia (Atlantique marocain). *Thèse de 3ème cycle. Fac. Sc. Rabat*
- Berday, N. (1989), Contribution à l'étude du phytobenthos de la zone littorale de la région D'Le Jadida. *Thèse de 3ème cycle. Fac. Sc. Rabat*
- Bornet, E. (1892), Les Algues de P.-K.-A Scousboe récoltées au Maroc et dans la Méditerranée de 1815 à 1829. *Mem. Soc. Sc. Nat. et Math. de Cherbourg. 3ème série, 28:165-378*
- Boudouresque, C.F. (1970), Recherches de Bionomie analytique, structurale et expérimentale sur les peuplements benthiques sciaphiles de la Méditerranée occidentale (Fraction algale) la sous strate sciaphile des peuplements des grandes Cystoseira de mode battu. *Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille, 31:141-151*
- Boudouresque, C.F. (1984), Groupes écologiques d'algues marines et phytocénoses benthiques en Méditerranée nord-occidentale. *Rev. Giornale Botanico italiano. Vol. 118, suppl., 2:7-42*
- Boudouresque, C.F. et M. Perret (1977), Inventaire de la flore marine de Corse (Méditerranée): Rhodophyceae, Phaeophyceae, Chlorophyceae et Bryopsidophyceae. *Bibliotheca Phycologia, 25:1-171*
- Cinelli, F., C.F. Boudouresque, E. Fresi, J. Marcot et L. Mazzella (1976), L'aire minima du phytobenthos dans le port de Sant Angelo (Ischia, Italie). *Rapp. comm. inter. mer. Médit., 24:149-156.*
- Dangeard, P. (1949), Les algues marines de la côte occidentale du Maroc. *Le Botaniste, Série 34:89-189*
- Feldmann, J. (1938), Recherches sur la végétation marine de la Méditerranée: la côte des Alberes. *Revue Algologique. XI:247-330*
- Feldmann, J. (1961), Note sur les algues marines de la Galite (Tunisie). *Rapp. P. V. Réun. Com. Intern. Explor. Sci. Médit., Monaco, 16(2):503-508*
- Gayral, P. (1958), Algues de la côte atlantique marocaine. *La Nature du Maroc II. Casablanca. 523 p.*
- Gayral, P. (1961), Liste commentée des algues marines nouvelles pour le Maroc. *Bull. Soc. Sc. Nat. Phys. du Maroc, 41:1-17*
- Gattefosse, J. et R.G. Werner (1935), Catalogus algarum marocanorum adhuc cognitorum. *Bull. Soc. Sc. Nat. Phys. du Maroc, 15:72-107*
- Giaccone, G. (1974), Tipologia delle comunità fitobentoniche del Mediterraneo. *Mem. Biol. Mar. Ocean. N. S. Ital., 4(4-6):149-152*

- Kazzaz, M. (1989), Contribution à l'étude de la flore algale de la région ouest de la Méditerranée. Thèse de 3ème cycle. Fac.Sc.Rabat
- Lemoine, P. (1924), Corallinacées du Maroc. *Bull.Soc.Sc.Nat.Maroc*, 4:113-133
- Lemoine, P. (1928), Corallinaceae du Maroc. *Bull.Soc.Sc.Nat.Phys. du Maroc*, 4:113-133
- Najim, L., K.M.C. Alaoui et S. Benhissoune (1998), Guide des algues marines du Maroc. (in press)
- Ouahi, M. (1987), Contribution à l'étude de la végétation algale marine de la zone de Mohammedia. Mém.C.E.A.Fac.Sc.Rabat
- Ouahi, M. (1993), Contribution à l'étude biologique, systématique, phénologique et écologique du *Gelidiocolax verruculata* sp.nov., parasite des gelidiaceae du littoral marocain. Thèse de 3ème cycle. Fac.Sc.Rabat
- Ouahi, M. (1998), Etude des algues benthiques de la côte d'Agadir (Atlantique marocain). Communication personnelle
- Peret, M. et C.F. Boudouresque (1985), Inventaire des algues marines benthiques des îles de Port-Cros et de Bagaud (Var.France). Rapport de contrat Univ. Marseille II. Luminy Lab. Ecol. Benthos. Fr., pp.1-90
- Verlaque, M. (1977), Etude du peuplement phytobenthique au voisinage de la centrale thermique de Martigue-Pontéau (Golf de Fos, France). Thèse de 3ème cycle. Univ.Aix-Marseille II, Luminy, Fr., pp.1-172
- Werner, R.G. (1962), Essai d'une étude de la répartition des cryptogames marines et maritimes du Maroc. *Bull.Soc.Sc.Nat.Phys.du Maroc*, 42:1-34

## LE GENRE *CAULERPA* EN TUNISIE : SITUATION ACTUELLE

par

Aslam DJELLOULI\*, Habib LANGAR\*\* et Amor EL ABED\*\*

\* Laboratoire de Botanique Fondamentale et Appliquée, Département des Sciences  
Biologiques, Faculté des Sciences de Tunis, Tunisie

\*\* Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, Carthage Salambô, Tunisie

### 1. INTRODUCTION

Parmi les espèces du genre *Caulerpa* inventoriées en Méditerranée, trois d'entre elles retiennent notre intérêt :

- *C. prolifera* : considérée comme un élément de la flore tunisienne, elle ne fera donc pas l'objet de notre discussion ici.
- *C. racemosa* : n'est signalée en Tunisie que depuis la première moitié de ce siècle.
- *C. taxifolia* : présente sur les rives nord occidentales de la Méditerranée. Elle n'a pas été signalée dans la rive Sud de la Méditerranée.

Les deux dernières espèces attirent particulièrement notre attention et constituent une large part de nos travaux car le suivi de l'apparition et la prévention de l'expansion de nouvelles espèces marines en Tunisie (introduction ou migration), sont régulièrement assurés par l'I.N.S.T.M.

### 2. *CAULERPA RACEMOSA* : BIOGEOGRAPHIE ET ECOLOGIE

*Caulerpa racemosa* (FORSSKAAL) J. AGARDH est communément citée comme une espèce pantropicale d'origine indo-pacifique. Son introduction en Méditerranée, attribuée à l'ouverture du canal de Suez, fournirait un exemple typique de migration Lessepsienne.

#### 2.1. Description

*Caulerpa racemosa* est une algue d'aspect robuste, composée de stolons rampants cylindriques fixés au substrat par des touffes de rhizoïdes. Les stolons portent des rameaux dressés (frondes) garnis sur toute leur hauteur de ramules vésiculeux claviformes. La disposition des ramules le long des rameaux permet de distinguer de nombreux taxons infraspécifiques (variétés et formes).

#### 2.2. *Caulerpa racemosa* en Méditerranée

*C. racemosa* est signalé pour la première fois en Méditerranée par Hamel (1926) qui observa sa présence en Tunisie, dans le port de Sousse. Depuis, plusieurs signalisations viennent confirmer son introduction en Méditerranée orientale et sa progression (fig. 1).

#### 2.3. *Caulerpa racemosa* en Tunisie

D'après les travaux de Ben Maiz *et al.* (1987), la répartition de *C. racemosa* en Tunisie se limitait à 5 localités situées sur les côtes méridionales du pays (fig. 2). Nous avons observé

pour la première fois *C. racemosa* dans la Lagune de Bizerte, au Nord de la Tunisie, en août 1996. Cette station constitue une étape supplémentaire dans la progression de l'algue en Tunisie.



Fig. 1 Signalisations et progression de *C. racemosa* en Méditerranée: (1) Tunisie (Hamel, 1926, 1930), (2) Syrie (Huvé, 1957), (2 et 3) Syrie et Liban (Hamel, 1930; Lami, 1932; Rayss, 1941; Aleem, 1950; Mayhoub, 1976), (4) Israël (Rayss et Hedelstein, 1960; Lipkin et Friedman, 1967), (5) Egypte (Aleem, 1948, 1992), (6) Egypte (Aleem, 1950), (7) Tunisie (Ben Alaya, 1971), (8) Tunisie (Ben Maiz *et al.*, 1987), (9) Turquie (Cirik et Oztürk, 1991), (10 et 11) Italie (Alongi *et al.*, 1993), (12) Grèce (Panayotidis et Montesanto, 1994), (13) Italie (Piazzi *et al.*, 1994).

#### 2.4. Ecologie

Selon la littérature, *C. racemosa* colonise différents substrats à différentes profondeurs. Toutefois les conditions du milieu semblent avoir une grande incidence sur le développement morphologique des individus et un grand polymorphisme de l'espèce est ainsi reporté. Ceci concorde avec nos propres observations effectuées sur des cultures réalisées en aquarium au Musée Océanographique de Salambô et qui confirment celles de Piazzi *et al.* (1994). D'autre part nos observations, réalisées entre août 1996 et ce jour, nous ont permis de relever le caractère semi-perrénant de l'algue : présentes en été et en automne, les fondes disparaissent lors de la saison hivernale.

#### 2.5. Conclusion

Jusqu'aux années 80, la présence de *C. racemosa* en Méditerranée a été liée à la migration de l'espèce à partir de la Mer Rouge et à son accommodation avec les particularités thermiques des régions de Méditerranée orientale où elle était observée (Ben Maiz, 1984).

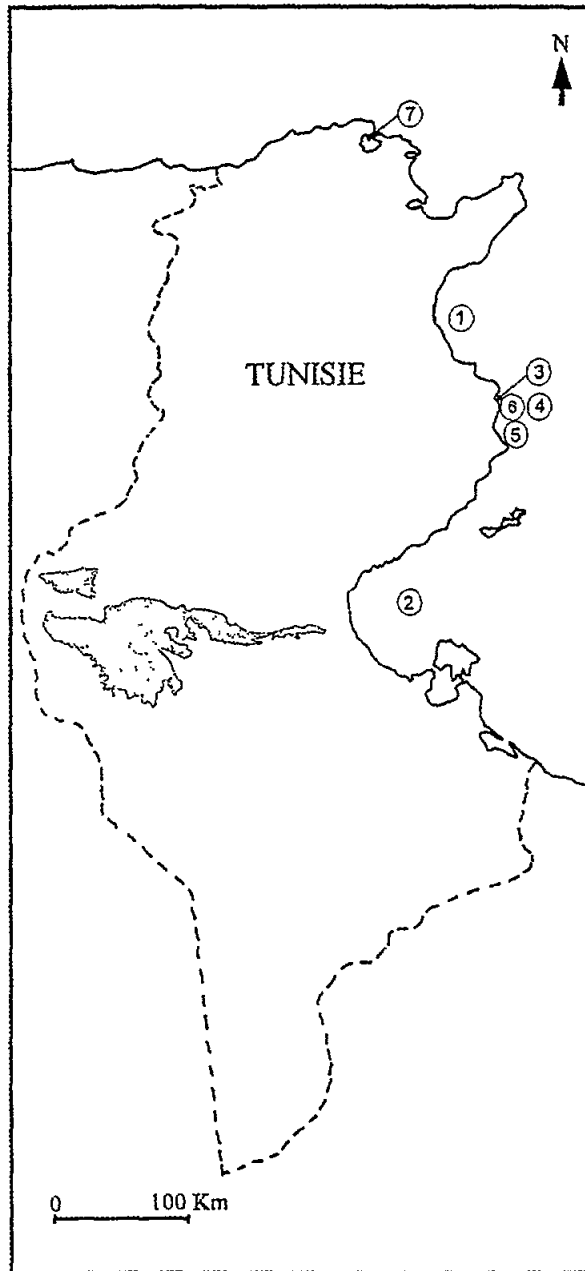


Fig. 2 Signalisations de *C. racemosa* en Tunisie: (1) Port de Sousse (Hamel, 1926), (2) Golfe de Gabès (Ben Alaya, 1971), (3) Port de Mahdia (Ben Zlaya, 1971), (4) au large de Salakta (Ben Alaya, 1971), (5) Port de Salakta (Ben Maiz, 1984), (6) Plage de Salakta (Ben Maix, 1984), (7) Lagune de Bizerte (Présent travail).

Depuis quelques années, les découvertes de *C. racemosa* dans plusieurs autres sites de Méditerranée orientale : Turquie et Grèce (Panayotidis et Montesanto, 1994) ; côtes Est de l'Italie en Sicile et à Lampedusa (Alongi *et al.*, 1993), mais aussi de Méditerranée occidentale: Côte Ouest de l'Italie (Piazzini *et al.*, 1994), soulèvent l'hypothèse de la multiplicité des origines de l'introduction de l'espèce.

L'arrivée de *C. racemosa* dans la Lagune de Bizerte en Tunisie, dans une localité septentrionale soumise plutôt à l'influence des courants de l'Atlantique, n'est certainement pas le résultat d'une progression naturelle à partir d'anciennes stations. Sa présence pourrait être liée soit à l'importation de naissains d'huîtres qui n'ont pas subi un traitement désinfectant suffisant ; soit à un transport de boutures par des embarcations ayant jeté l'ancre dans les zones envahies par l'espèce, comme ce qui se passe actuellement, selon Meinesz *et al.* (1995), dans le cas de *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh au Nord de la Méditerranée.

En l'état actuel il est prématuré de tirer des conclusions définitives. A notre avis, il est recommandé de faire le point sur la situation actuelle, aussi bien à l'échelle de la Tunisie que de toute la Méditerranée, afin de pouvoir suivre avec précision l'évolution des peuplements de cette espèce. Cette mise au point devra concerner non seulement la répartition géographique de l'espèce mais aussi son polymorphisme. En effet; *C. racemosa*, qualifiée d'espèce très polymorphe, a été décrite sous plusieurs formes et variétés (Huvé, 1957 ; Ben Maiz, 1984 ; Cirik et Ozturk, 1991 ; Panayotidis et Montesanto, 1994), mais rien n'exclut l'éventualité d'existence de souches génétiquement différentes.

### 3. CAULERPA TAXIFOLIA

L'expansion de *C. taxifolia* sur le littoral septentrional de la Méditerranée et sa récente apparition sur les côtes de Sicile, font de la prévention à son émigration et de sa recherche une priorité pour les tunisiens.

#### 3.1. Campagne de recherche

Dans ce cadre, une campagne de prospection à été menée sur le littoral nord tunisien (fig. 3), elle concerne 25 stations (Tableau 1) localisées sur des sites jugés les plus sensibles de part leur proximité des pays contaminés. Ainsi des ports, des zones de mouillages organisés ou forains ainsi que les secteurs les plus fréquentés par les plaisanciers en période estivale, ont été prospectés. La recherche a été réalisée en plongée subaquatique au moyen de scaphandres autonomes. Aucune colonie de *C. taxifolia* n'a été observée. Malgré ce résultat, il n'est toutefois pas admis d'affirmer avec certitude l'absence de l'algue du littoral Tunisien et nos recherches continuent dans ce sens.

#### 3.2. Campagnes de sensibilisation

Un dépliant de vulgarisation et de sensibilisation, présentant l'algue, les conséquences de son extension sur la biodiversité et par conséquent sur les activités de pêche ainsi que la conduite à tenir en cas de sa découverte, à été réalisé par un groupe de travail INSTM/FST. Edité en arabe et en Français, en 10 000 exemplaires (5 000 pour chacune des deux langues), il a été distribué à tous les utilisateurs de la mer (pêcheurs, plaisanciers, plongeurs, capitaineries des ports...) et mis à la disposition du public dans les musées océanographiques et dans les magasins de matériel de pêche et de plongée. Une journée d'information sur l'algue *Caulerpa taxifolia* a été organisée par le centre d'activités régionales pour les aires spécialement protégées (CAR/SPA) sous l'égide du Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire (MEAT). Cette journée comportait un aperçu sur *Caulerpa taxifolia* donné par le Professeur Charles-François Boudouresque (Université Aix-Marseille II) passant en revue sa description, sa biologie, les différentes hypothèses expliquant son apparition en Méditerranée,

ses modes de dissémination, l'impact de sa présence sur l'écosystème méditerranéen, et la dernière situation générale connue en Méditerranée.

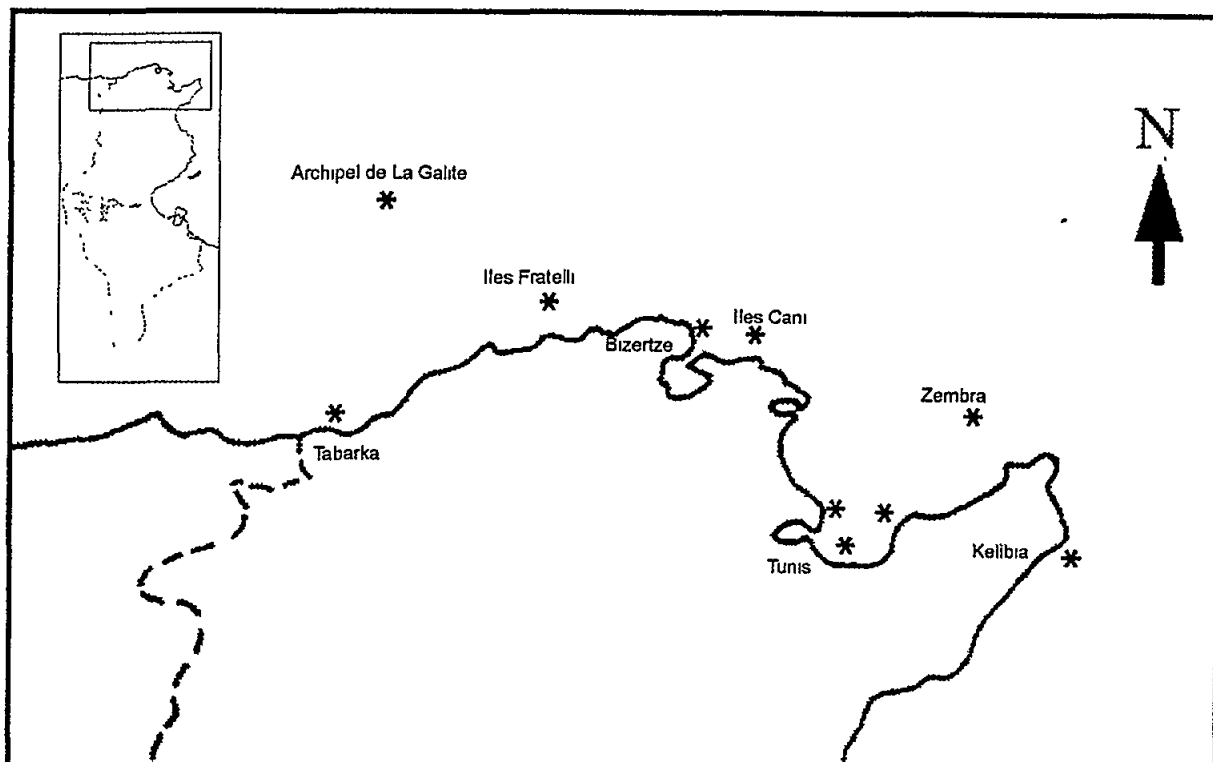


Fig. 3 Carte de la localisation des zones de recherche de *Caulerpa taxifolia* dans le nord de la Tunisie (\* = zone de prospection).

Tableau 1

Localisation des stations dans les zones de prospection à la recherche de *C. taxifolia* dans le nord de la Tunisie

ZONE	NOMBRE DE STATIONS	LIEU DES STATIONS
Kélibia	2	rade et port
Ile de Zembra	5	zones de mouillage
Archipel de la Galite	6	zones de mouillage
Tabarka	2	port et plage
Iles Fratelli	3	zones de mouillage
Bizerte	2	ports
Iles Cani	2	zones de mouillage
Tunis	3	zones de mouillage
TOTAL	25	

D'autre part nous avons intégré le Programme Life de la DG XI afin de travailler en concertation avec les pays européens sur les moyens préventifs de suivi et de contrôle de *C. taxifolia*.

Sur le plan national, nous contribuons encore à l'effort de suivi de cette algue en coopérant avec différentes institutions et O.N.G. concernées :

- Ministère de la Défense Nationale.
- Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire.
- Ministère de l'Agriculture.
- Fédération des Activités Subaquatiques de Tunisie.
- Green Peace Tunisia.

#### 4. CONCLUSION GENERALE

L'I.N.S.T.M. accorde une très grande importance au suivi et à la surveillance de nos côtes. Cette volonté de demeurer toujours en état d'alerte s'explique par une position de principe prise par l'I.N.S.T.M., en concordance totale avec les départements nationaux intéressés par la mer, et consistant à faire preuve d'un maximum de vigilance à l'encontre des phénomènes d'introduction (naturels ou anthropiques) de toute espèce animale ou végétale dans les écosystèmes littoraux tunisiens. En effet, outre l'importance de la biodiversité qui devrait être préservée le long du littoral tunisien, une attention toute particulière est accordée au Golfe de Gabès dont les spécificités floristiques et faunistiques ainsi que la morphologie, caractérisée par l'étendue de son plateau continental, en font un écosystème unique en Méditerranée et sont à préserver. Il appartient à chacun la responsabilité d'œuvrer dans ce sens.

#### 5. BIBLIOGRAPHIE

- Aleem, A.A. (1948), The migration of certain indopacific algae from the Red Sea into the Mediterranean. *New Phycol.*, 47:88-94
- Aleem, A.A. (1950), Some new records of marine algae from the Mediterranean. *Meddel. Fran. Göteborgs Bot. Träg.*, 18:275-288
- Aleem, A.A. (1992), *Caulerpa racemosa* (Chlorophyta) on the Mediterranean coast of Egypt. *Phycologia*, 31(2):205-206
- Alongi, G., M. Cormacl, G. Furnari et G. Giaccone (1993), Prima segnalazione di *Caulerpa racemosa* (Chlorophyceae, Caulerpales) per le coste italiane. *Boll.Accad.Gioena Sci.Nat.*, 342:49-53
- Ben Alaya, H. (1971), Sur la présence de *Caulerpa racemosa* J. Agardh dans le Golf de Gabès et le port de Mahdia. *Bull.Inst.Océanogr.Pêche, Salambô*, 2(1):53-54
- Ben Maiz, N. (1984), Contribution à la distribution, l'écologie et la systématique des algues marines benthiques de Tunisie. *Mémoire D.E.A., Univ. Aix-Marseille II*, 65 p.
- Ben Maiz, N., C.F. Boudouresque et F. Ouahchi (1987), Inventaire des algues et phanérogames marines benthiques de Tunisie. *Giorn.Bot.Ital.*, 121(5-6):259-304
- Cirik, S. et B. Oztürk (1991), Notes sur la présence d'une forme rare du *Caulerpa racemosa*, en Méditerranée orientale. *Flora Méditerranaea*, 1:217-219



- Hamel, G. (1926), Quelques algues rares ou nouvelles pour la flore Méditerranéenne. *Bull. Mus. Hist. Nat. Paris*, 6:420
- Hamel, G. (1930), Les Caulerpales méditerranéennes. *Rev. Alg.*, 5:229-230
- Huvé, H. (1957), Sur une variété, nouvelle pour la Méditerranée, du *Caulerpa racemosa* (Forsskål) Agardh. *Rec. Trav. Stat. Mar. Endoume*, 21:67-73
- Lami, R. (1932), Quelques algues du grand lac Amer (Basse-Egypte) récoltées par le Professeur Gruvel, en avril 1932. *Rev. Algol.*, 6:355-356
- Lipkin, Y. et I. Friedmann (1967), Persistent juvenil stage of *Caulerpa racemosa* (Forsskål) Agardh in the Mediterranean. *Pub. Staz. Zool. Napoli*, 35:243-249
- Mayhoub, H. (1976), Recherches sur la végétation marine de la côte syrienne. Etude expérimentale sur la morphogénèse et le développement de quelques espèces peu connues. *Thèse Doct. d'Etat, Univ. Caen, France*, 286 p.
- Meinesz, A., J. de Vaugelas, J.M. Cottalorda, S. Charrier, T. Commeau, L. Delahaye, M. Febvre, F. Jaffrenou, H. Molenaar et D. Pietkiewicz (1995), Suivi de l'invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* devant les côtes françaises de la Méditerranée. Situation au 31 décembre 1994. *Ed. Lab. Env. Mar. Litt., Univ. Nice Sophia Antipolis*, 116 p.
- Panayotidis, P. and B. Montesanto (1994), *Caulerpa racemosa* (Chlorophyta) on the greek coasts. *Cryptogamie Algol.*, 15(2):159-161
- Piazzini, L., E. Balestri and F. Cinelli (1994), Presence of *Caulerpa racemosa* in the north-western Mediterranean. *Cryptogamie Algol.*, 15(3):183-189
- Rayss, T. (1941), Sur les caulerpes de la Côte Palestinienne. *Palestine J. Bot., Jerusalem Ser.*, 2:103-124
- Rayss, T. et T. Hedelstein (1960), Deux caulerpes nouvelles sur les côtes méditerranéennes d'Israël. *Rev. Gén. Bot.*, 67:602-619

## ALBANIA

Lefter KASHTA

University of Shkodra "Luigj Gurakuqi"

The general length of Albanian seacoast is 470 km, out of which 284 km belong to the Adriatic Sea. The Adriatic part spreads in a N-S direction and from a geomorphological point of view, it is shallow, generally accumulative, with a lot of sandy beaches, wet lands and lagoons. Almost all Albanian rivers, carrying a large amount of silt and gravel, end up in it.

The Ionian part, which spreads in NW-SE direction, is a high rocky coast, generally abrasive. The isobats of the abrasive zone are near the coastline, whereas they go away in the accumulative zone, some hundreds meter from the coastline.

The main bays are those of Drini, Lazli, Durres, Vlora and Saranda.

Among the hydrological characteristics of the Albanian coast, we can mention: the perennial average value temperature of superficial waters varying from 19.2°C (Saranda) to 17.7°C (Shengjin), and the highest value 29.8° and the lowest value 7.7°C; the water salinity changes within 30 ‰-39 ‰; the currents follow from South to North direction.

The biological studies of our coasts are limited. A small team of Albanian scientists have been involved in the faunistic and floristic studies of some benthic groups. About 150 taxa of macrophyt algae and 4 marine fanerogams were identified. In general, the benthic population of the Albanian coast have typical Mediterranean-Atlantic species.

Because of the geographical position, Albanian seacoast hosts some species from different bio-geographical units, for example: *Fucus virsoides* (from Northern Adriatic), *Lithophyllum lichenoides* (from Western Mediterranean), *Lithophyllum trochanter* and *Tenarea tortuosa* (from Eastern Mediterranean), *Halophila stipulacea* (a lessepsian immigrant). At the hard bottoms there is a great variety of algae. The most characteristic communities are those dominated by species of *Cystoseira*. Soft bottoms of the infralitoral are mainly occupied by seagrasses: *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa*.

*Posidonia* beds cover the Ionian coasts from the depth of a few centimeters down to 40 m, while *Cymodocea* is widely spread along the Adriatic coast. Unfortunately their distribution is not mapped.

The only species from the genus *Caulerpa* found in Albania is *Caulerpa prolifera*. It is known that *Caulerpa prolifera* is an indigenous species and it is present in quite all the Mediterranean coasts (Gallardo *et al.*, 1993). Nevertheless, according to different authors, its presence in the Adriatic is limited.

Hauck (1885) does not mention it as an Adriatic species. Furthermore, it is not mention even in a work related to the green algae of the Adriatic (Cammerloher, 1915). It is considered as little widespread in the Italian Adriatic coasts (Giaccone, 1978).

It has been identified in quite all the Albanian coast, especially in the Adriatic one, where the substrate is mainly sandy-muddy (Kashta, 1986). More frequently and with a greater coverage, it has been found in the Vlora Bay, in a depth starting from a couple of centimeters down to 40-50 m.

An interesting fact is that it is not mentioned in the records of the "Hvar" expedition (1948) which has got samples in this area (Ercegovic, 1960).

It is worth to be mentioned, that in the northern part of the Albanian coast (Shengjin), this alga has not been found for several consecutive years (1974-1979). It has been found for the first time in 1980 (Kashta, 1986).

In the Ionian coast of Albania, *Caulerpa prolifera* is more present in Ksamil (in front of Corfu), in a sheltered bay with *Halophila stipulacea* (3-4m deep) and in the margins of the *Posidonia* beds (Kashta, 1981). In other points it is rare (Kashta, 1986).

In Vlora Bay it covers a large surface, in sandy-muddy substrate, with *Cymodocea nodosa*, and in the spaces between *Posidonia* beds. During the winter (3.1.1975) it has been found in Vlora Bay, near the port, with normally developed fronds, but covered by highly developed colonies of diatoms. Most of the individuals in 30-40 m depth, have rather thin, quite filiform fronds. Others have stolons coming out of the fronds (Kashta, 1988).

In Shengjin, in a sandy-muddy substrate, many individuals, with fronds covered by dozen of small proliferation (June, 1980), as well as with stolones and rhizoids, have been found.

*Caulerpa taxifolia* has not been found yet in the Albanian coasts. However we can not state or sure that it has not invaded our coasts, even for the fact that in the last years no studies have been made on the marine flora. We must admit that a monitoring system is not organized even.

What we can do is to create an observation network in collaboration with equivalent institutions in the Mediterranean countries.

Let's hope that an initiative of this kind will start in this workshop!

## REFERENCES

- Cammerloher, H. (1915), Die Grünalgen der Adria. Berlin
- Ercegovic, A. (1960), La vegetation des Algues sur le Fonds peschereux de l'Adriatique. Split. "Hvar" - Rap. 6(4):1-32
- Gallardo, T., A. Gomez Garreta, M.A. Ribera, M. Cormaci, G. Furnari, G. Giaccone and C.F. Boudouresque (1993), Check-list of Mediterranean Seaweeds. II Chlorophyceae Wille s.l. Botanica Marina, 36:399-421
- Giaccone, G. (1978), Revisione della flora marina del Mare Adriatico. Supplemento dell'annuario 1997 del WWF - Parco Marino Miramare, vol. 6, N.19:2-115
- Hauck, F. (1885), Die Meersalgen Deutschlands und Österreichs in Rabenhorst's Kryptogamenflora. Band. 2
- Kashta, L. (1981), Data on the marine phytobenthos of the Saranda shores. Buletini I Shkencave Natyrore, Tirana, Nr. 1:75-82
- Kashta, L. (1986), The marine macroalgae of Albania (Ph.D. Thesis). Tirana, 187 p.
- Kashta, L. (1988), Ecological and geographical data of green algae in the Bay of Vlora. Buletini I Shkencave Natyrore, Tirana, Nr. 1:97-103

## CROATIA

Ante ŽULJEVIĆ and Boris ANTOLIĆ

Institute of Oceanography and Fisheries, Split

### 1. INTRODUCTION

Up to the present, only one invasive species of the genus *Caulerpa* - (*Caulerpa taxifolia*) has been found in the Croatian part of the Adriatic. It was reported at a total of three locations (Špan *et al.*, 1998).

The first observation of the alga *Caulerpa taxifolia* in the Adriatic Sea was in Stari Grad Bay (Hvar Island, Croatia) during the summer of 1994. In November 1994, the alga was spotted by divers in Malinska, Island of Krk. The third and last recording was on the north-west side of Dolin Island in the Barbat Channel (between the Islands of Dolin and Rab) in October 1996 (Fig. 1). It was estimated that the alga was brought into the areas of the Stari Grad Bay and Malinska harbour in 1991 and into the Barbat Channel in 1995.

At the end of 1997, the alga in the Croatian part of the Adriatic Sea covered, in total 39 100 m<sup>2</sup>, on affected surfaces of 132500 m<sup>2</sup>, and 3155 m of affected shoreline.

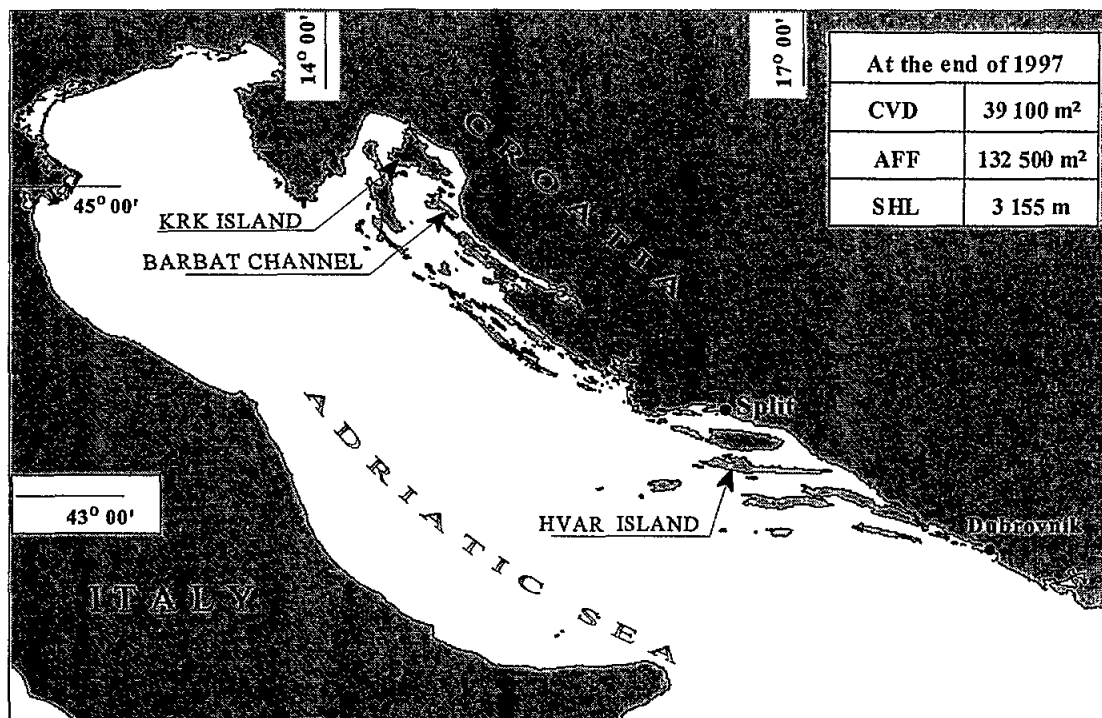


Fig.1 *Caulerpa taxifolia*: locations in the Adriatic Sea at the end of 1997.

Different methods were used at each location during the process of eradication: manual extraction, extraction by suction pump and covering of algae with black PVC foil. The eradications were financed by the local government.

Monitoring of the species *C. taxifolia* in the Croatian part of the Adriatic Sea is done by the Laboratory of Phytobenthos at the Institute of Oceanography and Fisheries in Split (IOF-LPB) and the Institute "Ruđer Bošković" Center for Marine Research in Rovinj.

## 2. SITUATION AT THE AFFECTED LOCATIONS

### 2.1 Barbat channel

This location was discovered in September 1996. At that time, about 20 m<sup>2</sup> of surface was covered on 350 m<sup>2</sup> of affected zone. The alga was found in the photophilous biocenoses on a hard bottom and in a *Cymodocea nodosa* seagrass bed on a sandy bottom between depths of 2.5 and 8 m. It was inferred that the arrival of the first fragment was probably in 1995 (Špan *et al.*, 1998).

In October 1996, the diving club *Amfora* from the Town of Rab carried out eradication of the algae. The algae was manually extracted from October 5 - 14. Approximately 130 hours of diving time in total was needed for the process.

Following eradication, there were a number of follow-up investigations of both the eradicated area, as well as the surrounding area ( $\pm 1$  miles); no algae was found. The last follow-up investigation of this region was in January 1998 by the IOF-LPB and no algae was found at this time.

### 2.2 Malinska, Krk Island

The first observation was in November 1994 in Malinska harbour. It was estimated that the alga was brought into this area in 1991 (1992). By the end of 1997, four large distant colonies were observed in a total range of 1200 meters of shoreline. The alga was found on a muddy -sandy bottom between depths of 4 and 12 meters (Špan *et al.*, 1998).

Eradication of the colonies was done twice: Feb. - Apr. 1996 and Feb. - Apr. 1997. Before eradication, in the spring of 1996, the covered area of four colonies was approximately 3200 m<sup>2</sup>, on the affected surfaces of 20400 m<sup>2</sup>. The alga was pumped together with ten centimetres of muddy bottom, using a suction water pump. The material was filtrated through a system of sieves.

After the procedure was repeated, the alga was eradicated from the area of the harbour. In this region, the alga covered about 1300 m<sup>2</sup> on the 16000 m<sup>2</sup> of contaminated sea bottom. In the other colonies, due to the existence of algae thallus remains upon eradication, recolonisation of the algae occurred (Žuljević, 1997).

According to the estimations of the Center for Marine Research in Rovinj at the end of 1997 the alga had spread on the affected surfaces of 10000 m<sup>2</sup>, effectively covering approximately 3000 m<sup>2</sup> of the sea bottom.

### 2.3 Stari Grad Bay, Hvar Island

The Stari Grad Bay was probably colonised by *C. taxifolia* in 1991. The first observation was in the summer of 1994 (Špan *et al.*, 1998; Žuljević *et al.*, 1998). Before eradication, at the end of 1997, one large and five small stations existed in the bay area covering 36100 m<sup>2</sup> of the

affected surfaces of 122500 m<sup>2</sup> and 1955 m of the shoreline in total. The alga was found at depths between 0.5 and 20 metres, on a hard bottom with photophilic and sciaphilic biocenoses and on a sandy and muddy bottom with seagrass beds (*Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa* and *Zostera noltii*).

In October 1997, eradication of border algae colonies was carried out at the central station and complete eradication of algae was done at all remaining smaller stations. The purpose was to prevent further expansion throughout the bay. Due to hydrodynamism, the areas of new smaller colonies could rapidly expand in subsequent seasons.

Eradication was done manually with the aid of a suction pump and by covering the colony with black PVC foil. The eradication process lasted 15 days and included 8 divers (202 hours of total diving time). Manual extraction was utilized and with the aid of a suction pump, 250 m<sup>2</sup> of smaller individual colonies was extracted (average surface up to 1 m<sup>2</sup>). In total, 512 m<sup>2</sup> of the algae colonies was covered with black PVC foil (approx. 990 m<sup>2</sup> of black PVC foil was used). In January 1998, the covered alga had completely disappeared and no fragment could be found under the foil.

### 3. ACTIVITY OF THE RESPECTIVE INSTITUTES

The activities of the Institute in Split and in Rovinj regarding the problem of *C. taxifolia* are focused on:

- Increased public awareness of the problem
- The eradication of colonies
- Scientific research

#### 3.1 Increased public awareness of the problem

From the initial observation of *C. taxifolia* up to the present, much has been done to increase public awareness of the problem. Many articles have been published in magazines and newspapers; as well numerous programs have been broadcast on both radio and television. Lectures have been given, particularly in diving clubs and in regions where the alga has appeared.

In 1995, the IOF-LPB composed and distributed brochures in English and Croatian containing basic information regarding the alga. The brochure "Wanted *Caulerpa taxifolia*" published by project LIFE, was distributed among approximately 2000 addresses: port authorities, marinas and ports, diving clubs and centres, recreational fishing associations, elementary and high schools, tourist associations...

The goal of this program is the early discovery of new colonies and the prevention of further spreading from existing colonies to new locations by human activities.

#### 3.2 Eradication of colonies

Eradication processes were organized at all three known sites. The site in the Barbat Channel was eradicated in total; whereas, the site in Malinska was only partially eradicated. In the region of Stari Grad Bay, action was undertaken to prevent further expansion in the area of new locations in subsequent seasons.

### 3.3 Scientific research

The sites in Malinska and Stari Grad Bay are monitored constantly; samples are taken so that the dynamics of the algae population and its influence on existing communities can be determined. Specifically, effective methods of eradication are investigated.

## 4. PLANNED ACTIVITY

On the basis of previous results obtained regarding the eradication and applied methods, further activity is planned for eradication of the sites. Special attention is paid to the monitoring of the situation in the entire coastal region and the prevention of further spreading due to human activities.

The organization of a monitoring network based on the principle of incidental observations and reports (brochures, posters, lectures and other media), as well as organized monitoring by diving clubs is planned. Seminars will be organized during which the members of the diving clubs will be taught in what way and where to organize monitoring in order to uncover new potential sites.

## 5. REFERENCES

- Špan, A., B. Antolić and A. Žuljević (1998), The genus *Caulerpa* (Caulerpales, Chlorophyta) in Adriatic Sea. *Rapp.Comm.int.Mer Médit.*, 35: (in press)
- Žuljević, A. (1997), Pojava, širenje i uklanjanje tropske alge *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh u Malinskoj (otok Krk) - Appearance, spreading and eradication of tropical alga *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh in Malinska (Island Krk). *Pomorski zbornik*, 35: 259-269
- Žuljević, A., B. Antolić and A. Špan (1998), Spread of the introduced tropical green alga *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh in Starigrad bay (Island Hvar, Croatia). *Third International Workshop on Caulerpa taxifolia*. (in press)

## FRANCE

Thomas BELSHER

IFREMER/Brest

### 1. INTRODUCTION

#### 1.1 Les Caulerpes invasives de Méditerranée

Parmi les espèces de caulerpes présentes actuellement en Méditerranée, deux sont actuellement considérées comme suivant un processus d'invasion : *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa*.

##### 1.1.1 *Caulerpa taxifolia*

*Caulerpa taxifolia* est présente en zone intertropicale, où elle est rare et en populations peu abondantes.

A partir des années 70, l'aquarium de Stuttgart (Allemagne) a disposé d'une souche de *Caulerpa taxifolia* particulièrement intéressante pour l'aquariologie, en raison de sa robustesse et de sa résistance au froid (Meinesz *et al.*, 1995b). Au début des années 80, cette souche a été distribuée à un grand nombre d'aquariums publics, en Europe (Nancy, Monaco, Genève) et ailleurs dans le monde. Dans les années 90, elle est apparue dans le circuit commercial de l'aquariologie (Meinesz *et al.*, 1995b, 1997). La première signalisation méditerranéenne de *C. taxifolia*, en mer ouverte, à proximité d'un grand aquarium, date de 1984. Aussi, l'hypothèse d'une origine aquariophile a été estimée hautement probable (Meinesz et Hesse, 1991). Des études génétiques en cours devraient le confirmer ou l'infirmer. La chronologie du cheminement de l'espèce dans le circuit aquariophile serait la suivante: 1970, présence dans l'aquarium de Stuttgart; 1980, distribution de la souche aux aquariums publics; 1984, première signalisation en mer ouverte, à proximité d'un aquarium public et enfin, en 1990, distribution par le circuit commercial de l'aquariophilie.

Depuis, elle progresse de façon relativement rapide en Méditerranée occidentale. La majeure partie des fonds plus ou moins colonisés sont situés **entre Nice et San Remo** (53%), et dans la région de **Imperia** en Ligurie italienne (43%); l'espèce est également présente dans les Pyrénées-Orientales et le Var (France), à Majorque (Baléares, Espagne), en Toscane et en Sicile (Italie) et en Croatie (Meinesz et Hesse, 1991; Relini et Torchia, 1992; Meinesz *et al.*, 1993, 1995b, 1997; Pou *et al.*, 1993; Belsher *et al.*, 1994; Frada-Orestano *et al.*, 1994; Boudouresque *et al.*, 1995; Meinesz et Boudouresque, 1996; Ribera Siguan, 1996).

De nombreux travaux, depuis 1991, se sont attachés à cerner les caractéristiques morphologiques, physiologiques, biochimiques de l'espèce, la dynamique de sa progression, sa modélisation, les conséquences de son expansion, ainsi qu'à déterminer les moyens de lutte les plus efficaces.

##### 1.1.2 *Caulerpa racemosa*

*Caulerpa racemosa* présente une large répartition géographique pantropicale; à la différence de *C. taxifolia*, elle est, dans sa zone d'origine, généralement commune et souvent abondante. Elle y est représentée par une grande variété de formes ou sous-espèces, dont la valeur systématique a été discutée (Coppejans, 1992; Benzie *et al.*, 1997). Il est probable qu'il



s'agisse en fait d'un complexe d'espèces "cryptiques" jusqu'ici confondues (Benzie *et al.*, 1997).

En Méditerranée, *C. racemosa* a été signalée, **des années 1930 aux années 1980**, dans un petit nombre de localités de Tunisie (Hamel, 1930), d'Egypte (Aleem, 1950), d'Israël (Rayss et Edelstein, 1960), du Liban (Hamel, 1931; Rayss, 1941) et du Sud de la Turquie (Huve, 1957), où elle est restée très localisée.

Au **début des années 90**, *Caulerpa racemosa* semble avoir brusquement adopté le comportement d'une espèce invasive, en multipliant ses stations et en y progressant très rapidement; en outre, ces nouvelles stations sont situées dans l'ensemble de la Méditerranée, d'Est en Ouest et du Nord au Sud, soit très au-delà du Sud et de l'Est du bassin oriental de la Méditerranée où elle était jusque là cantonnée (Cirik et Ozturk, 1991; Nizamuddin, 1991; Aleem, 1991; Alongi *et al.*, 1993; Gallardo *et al.*, 1993; Panayotidis et Montesanto, 1994; Piazzini *et al.*, 1994, 1997; Pandolfo et Chemello, 1995; Bussotti *et al.*, 1996; Cossu et Gazale, 1997).

Les travaux concernant *Caulerpa racemosa* en Méditerranée traitent surtout de sa distribution géographique et de sa morphologie. L'impact sur les espèces et les communautés indigènes n'a été que peu abordé.

Aussi l'historique et le bilan ci après concerneront essentiellement *Caulerpa taxifolia*.

## 2. CAULERPA TAXIFOLIA

### 2.1 Emergence du problème

Les dates suivantes marquent la reconnaissance de l'espèce, en tant qu'introduite à la Méditerranée, par le Prof. A. Meinesz, et font état des premières inquiétudes quant à sa rapide expansion.

- février 1988 : première signalisation et détermination *in vitro*
- août 1988 : première expertise *in situ* à Monaco
- juillet 1990 : première signalisation en France (Cap Martin)
- mai 1991 : campagne de sensibilisation ciblée

### 2.2 Prise en considération

La prise en considération par les pouvoirs publics et les organismes officiels de recherche a fait suite à une série d'interventions du Prof. A. Meinesz :

- août 1989 à décembre 1991 : courriers, interventions orales et publication scientifique.
- services officiels contactés : Direction du Musée Océanographique de Monaco, Direction des Affaires maritimes, Conseil général des Alpes Maritimes, Préfecture des Alpes maritimes, Ministère de l'Environnement, Mission Interministérielle de la mer, IFREMER...
- décembre 1991: table ronde à Nice, suivie par une conférence de presse.
- janvier 1992 à novembre 1993 : réunions des Comités scientifique et technique et de Coordination mis en place par le Secrétariat d'Etat à la Mer, déplacements des Ministres de l'Environnement successifs, du Secrétaire d'Etat à la Mer et de nombreuses autres personnalités à Toulon et à Nice, pour une prise d'informations directe des problèmes posés.

- mars 1994 : table ronde au Ministère de l'Environnement, animée par le Ministre, dans le cadre des « Entretiens de Ségur » sur *Caulerpa taxifolia* et les espèces introduites.

### 2.3 Financements

Les financements ont plusieurs origines.

- mai 1991 : le Conseil général des Alpes maritimes et le Conseil Régional Provence-Alpes-Côte d'Azur financent une campagne de sensibilisation (120 000FF).

- décembre 1993 et septembre 1996 : la Communauté européenne, dans le cadre LIFE DGXI (Environnement), finance, à hauteur de 50%, deux programmes internationaux d'études et de sensibilisation, coordonnés par le Prof. C.F. Boudouresque, à chaque fois pour une durée de deux ans.

Le premier programme reçoit un apport de la CEE à hauteur de 3.2 MF pour la partie française, représentée par 19 équipes et laboratoires. Le second bénéficie d'un apport de la CEE de 3.1 MF, répartis entre 21 équipes et laboratoires français, espagnols et italiens.

Une part importante du financement, en fait, comprend la comptabilisation des temps/chercheurs consacrés à ces programmes.

Le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement apporte sa garantie financière à ces programmes et des crédits incitatifs. Les autres partenaires financiers nationaux sont les Instituts de recherches, tels l'IFREMER, les Conseils généraux et régionaux, les Mairies et Communes ainsi que diverses associations.

Entre les deux programmes européens, des financements ont été attribués notamment par le Ministère de l'Environnement, l'IFREMER ainsi que par le PNUE dans le cadre de son Plan d'Action pour la Méditerranée (PAM).

Dès 1992, les Instituts de recherche, tels l'IFREMER, le CNRS, et les pouvoirs publics, tels la Marine Nationale, les Douanes contribuent en temps/chercheur et moyens logistiques (campagnes à bord des navires océanographiques « Roselys » et « l'Europe », plongée avec le sous-marin « Griffon », plongeurs autonomes, hélicoptère). Une idée des coûts engagés peut être donnée par les estimations d'une plongée du « Griffon » (200 000 F), d'une journée de bateau océanographique cotier (33 000 F) et d'une heure d'hélicoptère (5 000 F) sachant qu'à ce jour trois plongées ont été réalisées ainsi que trois journées de survols aériens et six campagnes océanographiques d'une durée moyenne chacune d'une dizaine de jours.

Par ailleurs, au cours de plusieurs de ces campagnes, l'appui des Services de l'Environnement et de la Marine monégasques a permis de bénéficier de moyens nautiques complémentaires ainsi que de plongeurs de la Principauté.

Des clubs de plongée, sensibilisés par les chercheurs, apportent également, avec leur collaboration, leur soutien et constituent l'une des pièces maîtresses du réseau d'informateurs géré par le Laboratoire Environnement marin Littoral de l'Université de Nice.

Il est également nécessaire de reconnaître la part importante et non chiffrable due à la participation bénévole de nombreuses personnes dans et hors de ce réseau d'information.

## 2.4 Programmes développés

Deux programmes européens ont été successivement présentés et acceptés par la CEE dans le cadre de la DGXI (Environnement). Ils sont coordonnés par le Prof. C.F. Boudouresque. Ils s'intitulent successivement «Expansion de l'algue verte, tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée» (1993 à 1995) et «Contrôle de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée» (1996 à 1998).

D'autres programmes et actions ont été développés parallèlement, dans le cadre d'organismes de recherche ou bien résultent d'actions indépendantes : le métabolisme comparé *in situ*, la modélisation de l'expansion, la recherche de techniques de lutte par électrolyse...

L'ensemble témoigne de l'intérêt suscité par l'expansion de cette espèce d'origine tropicale.

## 3. RÉSULTATS

### 3.1 Scientifiques

Les résultats scientifiques ont fait l'objet de 3 symposiums internationaux (Nice 1994, Barcelone 1994, et Marseille 1997) publiés par le GIS Posidonie (Boudouresque *et al.*, 1994) et l'Université de Barcelone (Ribera *et al.*, 1996).

Au 1er mars 1998, 358 documents, publications, rapports étaient référencés sur le sujet par le GIS Posidonie (Boudouresque *et al.*, 1998) dont :  
4 livres, 3 chapitres dans des livres à auteurs multiples, 46 articles dans des revues scientifiques internationales, 35 rapports scientifiques, 5 thèses, 53 fiches d'informations pour le grand public...

Parmi les principaux résultats, on relève :

*la rapidité de sa dissémination en Méditerranée*

- 1990 : 3 stations, 3 ha
- 1996 : 77 stations, 3050 ha

\* 57% des stations sont situées dans des mouillages forains; 35% dans les ports de plaisance et de pêche artisanale, dues vraisemblablement en grande partie au nettoyage des filets et aux ancres.

\* 53% des fonds colonisés le sont entre Nice et San Remo et pour la partie italienne, dans l'état actuel des connaissances, 43% de la colonisation concerne la région d'Imperia.

*les modalités de la dissémination*

- parmi les différents modes de dissémination envisagés, celui du à la flottabilité négative des boutures a conduit à un modèle mathématique qui a montré qu'elles ne s'éloignent pas à plus de 1800 m du point d'origine; 80% de celles ci sont disséminées à moins de 150 m (Hill *et al.*, 1996 in Ribera *et al.*, 1996; Coquillard et Hill, 1997). Des exceptions sont cependant possibles, notamment dans des zones de très forts courants (Chisholm *et al.*, 1996).

### *les conséquences écologiques*

- l'impact est significatif sur certains groupes taxonomiques (macro-algues benthiques, digènes, annélides polychètes, crustacés, poissons) et fonctionnels (herbivores) ainsi que sur des communautés (biocénose des algues photophiles, prairies à Cymodocées, précoraligène). De nombreuses publications en attestent : Verlaque *et al.*, 1994; Boudouresque *et al.*, 1995, 1996; Bellan-Santini *et al.*, 1996, Lemée *et al.*, 1997,...

### *les caractéristiques morphologiques, biochimiques et physiologiques*

Meinesz *et al.*, 1995a; Valls *et al.*, 1994; Gacia *et al.*, 1996; Gayol et Falconetti, 1996; Chisholm *et al.*, 1996; Ghisholm et Jaubert, 1997...

En définitive, la souche se développe dans la plupart des biotopes des étages infralittoral et circalittoral et concerne donc la majorité du système phytal.

### 3.2 Juridiques

L'arrêté du 04/03/1993 a interdit pour cinq ans la vente, l'achat, l'utilisation et le rejet en mer de *Caulerpa taxifolia*; son ramassage et son transport ont été soumis à autorisation préfectorale. Cet arrêté a récemment été prorogé d'un an.

Pour mémoire, la loi n°95-101 du 02/02/1995, relative au renforcement de la protection de l'Environnement (article L.211-3 du Code rural), de portée plus générale, interdit «l'introduction dans le milieu naturel de tout spécimen d'une espèce végétale à la fois non indigène au territoire d'introduction et non cultivée».

### 4. PROPOSITIONS D'ACTIONS DE RECHERCHES (SÉMINAIRE SUR LES ESPÈCES INVASIVES TENU À L'ACADÉMIE DES SCIENCES EN 1997)

Un Séminaire sur la Dynamique d'espèces marines invasives (Application à l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée) s'est tenu à Paris, à l'Académie des Sciences en 1997, à l'initiative du Ministère de l'Environnement et du CNRS. Les Actes de ce Séminaire ont été publiés par l'éditeur Lavoisier (Académie des Sciences, 1997).

Nous citons ici des extraits des Actes de colloque (Académie des Sciences, 1997) résultants de ce Séminaire. Les propositions d'actions de recherches ont fait l'objet d'un rapport à l'attention de Mme la Ministre de l'Environnement.

*«L'algue verte *Caulerpa taxifolia* prolifère en Méditerranée depuis quelques années. Elle occupe aujourd'hui une trentaine de km<sup>2</sup> (avec un taux de recouvrement du fond, variable entre 1% et plus de 90%), principalement entre Toulon et Gênes. Des interrogations subsistent quant à l'origine de cette algue dans cette mer, quant aux mécanismes de colonisation qu'elle utilise, enfin quant à l'impact de cette espèce sur l'écosystème de la Méditerranée.*

.....

*De nombreux intervenants ont souligné l'importance des introductions d'espèces allochtones dans les diverses provinces maritimes (plus de 300 actuellement recensées pour la seule Méditerranée, une nouvelle espèce toutes les 24 semaines (ndlr:c.a.d. tous les 6 mois) dans la baie de San Francisco...)*

....

Dans ce milieu, sauf exception, les espèces introduites ne disparaissent pas : elles s'installent définitivement plus ou moins rapidement en s'ajoutant aux espèces existantes sans les éliminer (*Codium fragile*, *Colpomenia peregrina*, par exemple)

Toutefois, le Séminaire a souligné que le cas de *Caulerpa taxifolia* mériterait d'être traité comme un cas d'école, un modèle dont l'étude devrait apporter des informations utiles pour une vision plus internationale et une prévention mieux coordonnée des problèmes posés par les espèces invasives marines.

Les principales conclusions et recommandations du Séminaire sont énoncées ci-dessous.

#### 4.1 Structure des populations de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée

Des interrogations subsistent quant au statut génétique de *Caulerpa taxifolia*. Le problème principal est de savoir s'il existe un ou plusieurs écotypes et de comprendre les bases biologiques de la vigueur exceptionnelle de cette algue entre Toulon et Gênes.

.....

**Le Séminaire a recommandé que ces questions soient étudiées par des approches moléculaires en utilisant un ensemble de marqueurs génétiques appropriés**

.....

**Pour ce qui est de l'approche écophysiologique** les études devraient viser à réunir un ensemble de données aussi complètes que possible sur diverses espèces de *Caulerpa* et divers écomorphes de *Caulerpa taxifolia* visant à mettre en lumière les avantages sélectifs à l'oeuvre en Méditerranée occidentale. En particulier, la question des mécanismes de résistance à divers stress abiotiques (tels que le froid) ou biotiques (tels que le broutage) est apparue comme essentielle.

.....

Enfin, une attention particulière devrait être portée aux possibles avantages sélectifs de type hétérotrophie éventuellement conférés par la symbiose avec divers micro-organismes.

.....

#### 4.2 Impact de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* sur les écosystèmes de Méditerranée

La rapidité de la propagation de *Caulerpa taxifolia* entre Toulon et Gênes est établie.....

De même, les conséquences de cette invasion dans la région concernée-diminution de la biodiversité benthique, uniformisation des paysages sous-marins, modification des équilibres de sédimentation- sont préoccupants à l'heure actuelle et de ce point de vue, *Caulerpa taxifolia* est manifestement source de nuisances. Toutefois, il n'y a pas à ce jour suffisamment de données pour prévoir si la Méditerranée va être colonisée dans sa globalité et quelles en seraient les conséquences. Le scénario le plus pessimiste ne peut non plus être écarté....

.....

**Dans ce contexte, le Séminaire a souligné la nécessité d'effectuer des recherches détaillées sur l'évolution de la biodiversité dans les prairies à *Caulerpa taxifolia*.** Le cas de la compétition avec les herbiers de *Posidonies* devra particulièrement être analysé en prenant en compte la dimension «qualité du milieu» (eutrophisation, présence de micropolluants,

*etc.). Il importe également de suivre avec soin l'évolution de la propagation de l'algue et de mieux comprendre les mécanismes de sa dissémination.*

...

*En plus des études biologiques, il faut veiller à améliorer les modèles de simulation de l'expansion...*

.....

*.....il nous paraît important d'encourager des recherches visant à préciser le métabolisme et les fonctions de ces composés en tant que système de défense ou en tant qu'élément de la compétition interspécifique. Ces études devraient également avoir pour but de préciser quels sont les composés chimiques émis par *Caulerpa taxifolia* dans le milieu.*

.....

#### 4.3 Vers la définition d'une stratégie de lutte, actuelle et à venir, en réponse à l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée

.....

*Il semble désormais impossible d'éradiquer *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée: là où son expansion est trop importante, tant en raison de l'impossibilité d'éliminer tous les stolons présents (et donc d'empêcher la reprise de la croissance de l'algue) qu'en raison du coût que représenterait un résultat nul à moyen terme, il ne faut pas y compter.*

.....

*Les potentialités invasives et les caractéristiques biologiques de cette algue en Méditerranée en font un danger potentiel pour l'avenir de nombreux écosystèmes méditerranéens.*

.....

*Le principe de précaution impose de préparer les outils nécessaires à un éventuel contrôle de cette algue. En tout état de cause, de tels outils apparaissent d'ores et déjà nécessaires au maintien des équilibres dans certaines zones d'intérêt écologique (réserves sous-marines) ou d'intérêt économique (élevage de coquillages...).*

....

##### 4.3.1 Prévention

*Il faut définir les zones sensibles dont l'intégrité doit être protégée, dans lesquelles par conséquent, le mouillage des bateaux devrait être réglementé ou interdit, ainsi que certaines pratiques de pêche*

##### 4.3.2 Traitements

*Il apparaît que seul le micro arrachage manuel contrôlé et réitéré donne de bons résultats sur les toutes petites colonies (de quelques mètres carrés au maximum).*

.....

*...la mise en place d'un réseau d'observation national (et si possible international) pourrait permettre une surveillance permanente des zones sensibles. ..*

*Devront être favorisées les recherches expérimentales de moyens mécaniques et chimiques...*

...

*Il convient également d'explorer les potentialités que peut offrir la lutte biologique ...*

**... il faut exclure d'introduire toute espèce exotique en Méditerranée pour lutter contre la *Caulerpa taxifolia* et notamment des mollusques ascoglosses, aussi longtemps au moins que l'efficacité et les possibilités d'utilisation des espèces indigènes n'auront pas été évaluées.**

*Il faut donc initier et soutenir les recherches expérimentales permettant d'établir le bilan précis des potentialités de lutte biologique par l'utilisation des espèces indigènes en Méditerranée, en particulier des Ascoglosses méditerranéens, mais sans négliger les autres agents biologiques.*

*Il conviendrait donc de dégager une stratégie globale au niveau des différents pays européens riverains à la Méditerranée et de mettre un terme à la pratique de tentatives dispersées, insuffisantes quels que soient les moyens humains, financiers ou matériels mis en oeuvre; et donc de mettre en place une instance de coordination des observations, des interventions et des expérimentations en mésocosmes comme en mer. Cette instance devra impliquer les acteurs locaux, permettre de définir où, quand et comment intervenir, et assurer le suivi spatial et temporel des résultats de l'opération....*

## 5. CONCLUSION

Les actions menées en France quant à la prolifération de l'algue *Caulerpa taxifolia* ont initiées l'un des volumes de travaux le plus important au monde en ce qui concerne les espèces invasives. Il est traduit en 1998 par **358 documents et publications scientifiques**. Cette action a entraîné l'implication de nombreux laboratoires étrangers, donnant ainsi toute sa dimension au problème de plus en plus préoccupant que pose l'introduction, accidentelle ou non, d'espèces étrangères à leur biotope.

Les pouvoirs publics, les organismes de recherche, les organismes locaux ont progressivement apporté leur soutien, tant en moyens financiers et matériels qu'humains.

Ces actions de soutien se poursuivent . Elles contribuent:

**au suivi de l'expansion qui nécessite la concertation et la connexion des réseaux de surveillance institutionnels des pays méditerranéens et des spécialistes.**

**à l'amélioration des moyens de contrôle de cette expansion qui nécessite une concertation également internationale.**

**à l'étude du fonctionnement de ces nouveaux écosystèmes et des conséquences possibles de ces modifications sur le fonctionnement global de la Méditerranée.**

**M. V. BENTATA**, du Ministère de l'Aménagement, du Territoire et de l'Environnement va maintenant vous exposer le projet de Plan d'Action français relatif à l'expansion de *Caulerpa taxifolia* pour les années à venir.

## 6. REMERCIEMENTS

Ils vont tout naturellement à M. G.P. Gabrielides, Administrateur de programme à l'Unité de Coordination du PAM, pour l'excellence de son accueil et l'organisation de l'Atelier, ainsi qu'au GIS Posidonie pour les documents fournis.

## 7. BIBLIOGRAPHIE (citée dans le texte)

Académie des Sciences (1997), Dynamique d'espèces marines invasives : application à l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée (Séminaire international organisé avec le concours du Ministère de l'Environnement et le CNRS, à Paris, du 13 au 15 mars 1997). Actes de colloques, Lavoisier edit., Paris : 382 p.

Aleem, A.A. (1950), Some new records of marine algae from the Mediterranean sea, with reference to their geographical distribution. *Medd.Bot.Sverige*, 18:275-288

Aleem, A.A. (1991), *Caulerpa racemosa* (Chlorophyta) on the Mediterranean coast of Egypt. *Phycologia*, 31(2):205-206

Alongi, G., M.R. Cormaci, G. Furnari and G. Giaccone (1993), Prima segnalazione di *Caulerpa racemosa* (Chlorophyceae, Caulerpales) per le coste italiane. *Boll. Accad.gioenia Sci. nat.*, 26(342):49-53

Bellan-Santini, D., P.M. Arnaud, G. Bellan and M. Verlaque (1996), The influence of the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia*, on the biodiversity of the Mediterranean marine biota. *J.Mar.Biol.Assoc.U K.*, 76:235-237

Belsher, T., G. Youenou, J. Dimeet, J.M. Raillard, S. Bertrand et N. Mereau (1994), Eléments cartographiques et évolution de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée (Alpes-Maritimes et Monaco, 1992). *Oceanol.Acta*, 17(4):443-451

Benzie, J.A., I.R. Price and E. Ballment (1997), Population genetics and taxonomy of *Caulerpa* (Chlorophyta) from the Great Barrier Reef, Australia. *J.Phycol.*, 33:491-504

Boudouresque, C.F., A. Meinesz and V. Gravez (1994), First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, GIS Posidonie publ., Fr. 391 p.

Boudouresque, C.F., A. Meinesz, M.A. Ribera and E. Ballesteros (1995), Spread of the green alga *Caulerpa taxifolia* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean : possible consequences of a major ecological event. *Scientia marina*, 59(suppl. 1):21-29

Boudouresque, C.F., A. Meinesz and V. Gravez (1998), Scientific papers and documents dealing with the alga *Caulerpa taxifolia* introduced to the Mediterranean. Ninth edition. GIS Posidonie publ., Fr., 60 p.

Bussotti, S., M. Cont, P. Guidetti, F. Martini and G. Matricardi (1996), First record of *Caulerpa racemosa* (Forssk.) J. Agardh along the coast of Genoa (North-western Mediterranean). *Doriana*, 6(294):1-5

Chisholm, J.R.M., C. Dauga, E. Ageron, P.A.D. Grimont and J.M. Jaubert (1996), "Roots" in mixotrophic algae. *Nature*, 381:382



- Cirik, S. et B. Ozturk (1991), Notes sur la présence d'une forme rare du *Caulerpa racemosa* en Méditerranée orientale. *Flora medit.*, 1:217-219
- Coppejans, E. (1992), Marine algae of Papua New Guinea (Mandang Prov.). 2. Revised and completed list of *Caulerpa* (Chlorophyta, Caulerpales). *Blumea*, 36:383-410
- Coquillard, P. et D.R.C. Hill (1997), Modélisation et simulation d'écosystèmes. Des modèles déterministes aux simulations à événements discrets. Masson publ., Paris Milan et Barcelone : i-xx + 1-273
- Cossu, A. and V. Gazale (1997), Sulla presenza di *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh in Sardegna. In: Introduzione di nuove specie nel Mediterraneo e compatibilità con quelle presenti, Cagliari, 25 nov. 1996, édit. A. Cossu et M.M. Meloni, Poseidon publ., Ital., pp.87-97
- Frada-Orestano, C., S. Calvo and M. Ferreri (1994), First record of *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh in the southwestern Mediterranean. *Giorn.bot.ital.*, 128(3-4):813-815
- Gacia, E., C. Rodriguez-Prieto, O. Delgado and E. Ballesteros (1996), Seasonal light and temperature responses of *Caulerpa taxifolia* from the northwestern Mediterranean. *Aquatic Botany*, 53:215-225
- Gallardo, T., A. Gómez-Garreta, M.A. Ribera, M. Cormaci, G. Furnari, G. Giaccone and C.F. Boudouresque (1993), Checklist of Mediterranean seaweeds. II. Chlorophyceae Wille s.l. *Botanica marina*, Allem., 36:399-421
- Gayol, P. et C. Falconetti (1996), Effets des conditions de culture sur la production primaire de *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh mesurée à trois températures différentes. In: Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gomez et V. Gravez, Univ. Barcelona publ., Spain, pp.203-207
- Chisholm, J.R.M. and J.M. Jaubert (1997), Photoautotrophic metabolism of *Caulerpa taxifolia* (Chlorophyta) in the NW Mediterranean. *Mar.Ecol.Progr.Ser.*, 153:113-123
- Hamel, G. (1930), Les caulerpes méditerranéennes. *Rev.algol.*, 5:229-230
- Hamel, G. (1931), Origine de la flore de la Méditerranée orientale. *Trav.cryptog. dédiés L. Mangin*, Paris, 311 p.
- Hill, D., P. Coquillard, J. de Vaugelas et A. Meinesz (1996), Simulation sur ordinateur de l'expansion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. Résultats préliminaires. Second international Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gomez and V. Gravez. Univ. Barcelona publ., Spain, pp.119-127
- Huve, H. (1957), Sur une variété nouvelle pour la Méditerranée du *Caulerpa racemosa* (Forskål) J. Agardh. *Rec.Trav.Stat.mar.Endoume*, 12(21):67-73
- Lemée, R., D. Pesando, C. Issanchou and P. Amade (1997), Microalgae : a model to investigate the ecotoxicity of the green alga *Caulerpa taxifolia* from the Mediterranean Sea. *Mar.Environ.Res.*, 44(1):13-25

- Meinesz, A. et B. Hesse (1991), Introduction et invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée nord-occidentale. *Oceanol.Acta*, 14(4):415-426
- Meinesz, A. et C.F. Boudouresque (1996), Sur l'origine de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. *C.R. Acad.Sci., Sci.Vie, Fr.*, 319:603-613
- Meinesz, A., J. de Vaugelas, B. Hesse and X. Mari (1993), Spread of the introduced tropical green alga *Caulerpa taxifolia* in northern Mediterranean waters. *J.applied Phycology*, 5 :141-147
- Meinesz, A., L. Benichou, J. Blachier, T. Komatsu, R. Lemée, H. Molenaar and X. Mari (1995a), Variations in the structure, morphology and biomass of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean Sea. *Botanica marina*, 38:499-508
- Meinesz, A., J. de Vaugelas, J.M. Cottalorda, G. Caye, S. Charrier, T. Commeau, L. Delahaye, M. Febvre, F. Jaffrenou, R. Lemée, H. Molenaar et D. Pietkiewicz (1995b), Suivi de l'invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* devant les côtes françaises de la Méditerranée. Situation au 31 décembre 1994. Rapport Laboratoire Environnement marin littoral, Université de Nice Sophia-Antipolis, pp.1-122
- Meinesz, A., J.M. Cottalorda, D. Chiaverini, M. Braun, N. Carvalho, M. Febvre, S. Ierardi, L. Mangialajo, G. Passeron-Seitre, T. Thibaut et J. de Vaugelas (1997), Suivi de l'expansion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée : situation au 31 décembre 1996. Rapport Laboratoire Environnement marin Littoral, Université de Nice Sophia-Antipolis publ., Nice, pp.1-189
- Nizamuddin, M. (1991), The green marine algae of Lybia. Elga publ., Berne : pp.1-227
- Panayotidis, P. and B. Montesanto (1994), *Caulerpa racemosa* on the Greek coasts. *Cryptog.Algol.*, 15(2) :159-161
- Pandolfo, A. et R. Chemello (1995), Prime note sulla malacofauna associata a *Caulerpa racemosa* nella Baia di Santa Panagia (Sicilia orientale). *Biol.mar.Medit.*, 2(2):649-651
- Piazzì, L., E. Balestri and F. Cinelli (1994), Presence of *Caulerpa racemosa* in the north-western Mediterranean. *Cryptog.Algol.*, 15(3):183-189
- Pou, S., E. Ballesteros, O. Delgado, A.M. Grau, F. Riera et B. Weitzmann (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
- Rayss, T. (1941), Sur les caulerpes de la côte palestinienne. *Palest.J.Botany*, Jerusalem, 2:103-124
- Rayss, T. et T. Edelstein (1960), Deux caulerpes nouvelles sur les côtes méditerranéennes d'Israël. *Rev.gén.Bot.*, 67:602-620 + 1 pl. h.t
- Relini, M. et G. Torchia (1992), Prima segnalazione di *Caulerpa taxifolia* in acque italiane. *Doriana*, 6(279):1-4

Ribera Siguan, M.A. (1996), The spread of the tropical alga *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean Sea. *Aliens*, 3:12

Ribera, M.A., E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gomez and V. Gravez (1996), Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. Publications de la Universitat de Barcelona, Spain, 457 p.

Valls, R., J. Artaud, P. Amade, N. Vicente and L. Piovetti (1994), Determination of caulerpenyne, a toxin from the green alga *Caulerpa taxifolia* (Caulerpaceae). *J.Chromatogr., A*, 663:114-118

#### Quelques adresses de sites Internet

-Ministère de l'Aménagement et du Territoire:<http://www.envir.gouv.fr>

-GIS POSIDONIE (Marseille):<http://com.univ-mrs.fr/gisposi.htm>

-LEML(Nice):<http://www.unice.fr>

#### BIBLIOGRAPHIE (non citée dans le texte; pour en savoir plus/for more information)

Bartoli, P. and C.F. Boudouresque (1997), Transmission failure of parasites (igenea) in sites colonized by the recently introduced invasive alga *Caulerpa taxifolia*. *Mar.Ecol.Progr.Ser.*, 154:253-260

Boudouresque, C.F. (1997), Population dynamics of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean, including the mechanisms of interspecific competition. Actes du colloque "Dynamique d'espèces invasives : application à l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée", Acad. Sciences Paris édit., Lavoisier publ., Fr., pp.145-162

Boudouresque, C.F., R. Lemée, X. Mari and A. Meinesz (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. et M.A. Ribera (1994), Les introductions d'espèces végétales et animales en milieu marin - conséquences écologiques et économiques et problèmes législatifs. In: First international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez, GIS Posidonie publ., Fr., pp.29-102

Caye, G., P. Chambet, L. Delahaye, A. Meinesz, D. Pietkiewicz et K. Ryder (1996), Différences entre *Caulerpa taxifolia* de Méditerranée et *C. taxifolia* des mers tropicales. In: Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gomez and V. Gravez, Univ. Barcelona publ., Spain, pp.171-176

Ceccherelli, G. and F. Cinelli (1997), Short-term effects of nutrient enrichment of the sediment and interaction between the seagrass *Cymodocea nodosa* and the introduced green alga *Caulerpa taxifolia* in a Mediterranean bay. *J.exp.mar.Biol. Ecol.*, 217:165-177

- Chisholm, J.R.M., J. Jaubert and G. Giaccone (1995), *Caulerpa taxifolia* in the northwest Mediterranean : introduced species or migrant from the Red Sea ? C.R. Acad.Sci.Paris, Sci.Vie, 318:1219-1226
- Delgado, O., C. Rodriguez-Prieto, E. Gacia and E. Ballesteros (1996), Lack of severe nutrient limitation in *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh, an introduced seaweed spreading over the oligotrophic northwestern Mediterranean. *Botanica marina*, 39:61-67
- De Klemm, C. (1994), The introduction of exotic species and the Law. In: Introduced species in European coastal waters, edited by C.F. Boudouresque, F. Briand and C. Nolan, European Commission publ., Luxembourg, pp. 85-92
- Dini, F. (1997), Aspetti ecotossicologici relativi alla rapida espansione nel Mediterraneo di popolazioni dell'alga di origine tropicale, *Caulerpa taxifolia*. Atti del Convegno internazionale "Introduzione di nuove specie nel Mediterraneo e compatibilità con quelli presenti", Cagliari, 28 nov. 1996, edit. A. Cossu et M.M. Meloni, Poseidon publ., Sardinia, Ital., pp.50-68
- Ferrer, E., A. Gomez-Garreta and M.A. Ribera (1996), Effect of *Caulerpa taxifolia* on two Mediterranean macrophytes. In: Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gomez and V. Gravez, Univ. Barcelona publ., Spain, pp.271-276
- Ferrer, E., A. Gómez-Garreta and M.A. Ribera (1997), Effect of *Caulerpa taxifolia* on the productivity of two Mediterranean macrophytes. *Mar.Ecol.Progr.Ser.*, 149:279-287
- Francour, P., M. Harmelin-Vivien, J.G. Harmelin and J. Duclerc (1995), Impact of *Caulerpa taxifolia* colonization on the littoral ichthyofauna of North-western Mediterranean : preliminary results. *Hydrobiologia*, 300-301:345-353
- Galgani, I., D. Pesando, J. Porthe-Nibelle, B. Fossat and J.P. Girard (1996), Effect of caulerpenyne, a toxin extracted from *Caulerpa taxifolia* on mechanisms regulating intracellular pH in sea urchin eggs and sea bream hepatocytes. *J.Biochem.Toxicol.*, 11(5):243-250
- Gayol, P., C. Falconetti, J.R.M. Chisholm and J.M. Jaubert (1994), Effects of light, temperature and nutrients on *Caulerpa taxifolia* photosynthesis and respiration. In: First international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez, GIS Posidonie publ., Fr., pp.291-293
- Gayol, P., C. Falconetti, J.R.M. Chisolm and J.M. Jaubert (1995), Metabolic responses of low-temperature-acclimated *Caulerpa taxifolia* (Chlorophyta) to rapidly elevated temperature. *Botanica marina*, 38:61-67
- Gravez, V., M. Verlaque, C.F. Boudouresque, A. Meinesz et J.M. Cottalorda (1998), La présence des espèces *Caulerpa* invasives en Mer Méditerranée. UNEP(OCA)/MED WG.139/3, 31p.

- Guerriero, A., D. Depentori, M. D'Ambrosio, M. Durante, F. Dini and F. Pietra (1994), Chlorophyll-photosensitised photodegradation of caulerpenyne; a potentially harmful sesquiterpenoid from tropical green seaweeds in the genus *Caulerpa*. *J.Chem.Soc., chem. commun.* , pp.2083-2084
- Guerriero, A., D. Depentori, M. D'Ambrosio and F. Pietra (1995), Caulerpenyne-amine reacting system as a model for *in vivo* interactions of ecotoxicologically relevant sesquiterpenoids of the Mediterranean-adapted tropical green seaweed *Caulerpa taxifolia*. *Helvetica Chimica Acta*, 78:1755-1762
- Guerriero, A., F. Marchetti, M. D'Ambrosio, S. Senesi, F. Dini and F. Pietra (1993), New ecotoxicologically and biogenetically relevant terpenes of the tropical green alga *Caulerpa taxifolia* which is invading the Mediterranean. *Helvetica Chimica Acta*, 76:855-864
- Guerriero, A., A. Meinesz, M. D'Ambrosio and F. Pietra (1992), Isolation of toxic and potentially toxic sesqui- and monoterpenes from the tropical green seaweed *Caulerpa taxifolia* which has invaded the region of Cap Martin and Monaco. *Helvetica Chimica Acta*, 75:689-695
- Harmelin-Vivien, M., J.G. Harmelin and P. Francour (1996), A 3-year study of the littoral fish fauna of sites colonized by *Caulerpa taxifolia* in the N.W. Mediterranean (Menton, France). In: Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gomez and V. Gravez, Univ. Barcelona publ., Spain, pp. 391-397
- Komatsu, T., A. Meinesz et D. Buckles (1994), Données préliminaires sur l'influence de la température et de la lumière sur le développement et la croissance de *Caulerpa taxifolia* en culture. In: First international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz et V. Gravez, GIS Posidonie publ., Fr., pp.301-307
- Komatsu, T., A. Meinesz and D. Buckles (1997), Temperature and light responses of alga *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean Sea. *Mar.Ecol.Progr.Ser.*, 146:145-153
- Lemée, R., C.F. Boudouresque, J. Gobert, P. Malestroit, X. Mari, A. Meinesz, V. Menager and S. Ruitton (1996), Feeding behaviour of *Paracentrotus lividus* in presence of *Caulerpa taxifolia* introduced in the Mediterranean. *Oceanol.Acta*, 19(3-4):245-253
- Lemée, R., D. Pesando, M. Durand-Clement, A. Dubreuil, A. Meinesz, A. Guerriero and F. Pietra (1993), Preliminary survey of toxicity of the green alga *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean. *Journal of applied Phycology*, 5:485-493
- Meinesz, A. (1980), Contribution à l'étude des Caulerpales (Chlorophytes) avec une mention particulière aux espèces de la Méditerranée occidentale. Thèse Doct. Sci., Univ. Nice, pp.1-262
- Menager, V., L. Puddy and C.F. Boudouresque (1995), The daily intake and degree of absorption of the sea-urchin *Paracentrotus lividus* fed upon *Caulerpa taxifolia* (Chlorophyta), *Cystoseira compressa* and *Halopteris scoparia* (Fucophyceae). *Rapp.Comm.intern.Mer Médit.*, Monaco, 34:36

- Meyer, U. (1996), Clogging up of a *Posidonia oceanica* meadow due to the invasion of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean Sea. Diplomarbeit Freie Universität Berlin, Germany, 97 p.
- Meyer, U., H. Molenaar, J. de Vaugelas et A. Meinesz (1996), Colmatage d'un herbier de *Posidonia oceanica* du fait de l'invasion de *Caulerpa taxifolia*. *Symposium Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes*, Ecole Normale Supérieure, Paris, 12-14 Juin 1996, 69 p.
- Pedrotti, M.L., B. Marchi and R. Lemée (1996), Effects of *Caulerpa taxifolia* secondary metabolites on the embryogenesis, larval development and metamorphosis of the sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Oceanol. Acta*, 19(3-4):255-262
- Piazzini, L., E. Balestri, M. Magri et F. Cinelli (1997), Expansion de l'algue tropicale *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh (Bryopsidophyceae, Chlorophyta) le long de la côte toscane (Italie). *Cryptog. Algol.*, 18(4) :343-350
- Poizat, C. et C.F. Boudouresque (1996), Méiofaune du sédiment dans des peuplements à *Caulerpa taxifolia* du Cap Martin (Alpes-Maritimes, France). *In*: Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gomez and V. Gravez, Univ. Barcelona publ., Spain, pp.375-386
- Por, F.D. (1978), *Lessepsian migrations. The influx of Red Sea biota into the Mediterranean by way of the Suez canal*. Springer publ., Berlin : i-viii + 1-228
- Ribera, M.A. and C.F. Boudouresque (1995), Introduced marine plants, with special reference to macroalgae : mechanisms and impact. *In*: Progress in phycological Research, edited by F.E. Round and D.J. Chapman, Biopress Ltd publ., UK, 11:187-268
- Romero, J. (1997), Conséquences de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. *Dynamique d'espèces marine invasives : application à l'expansion de Caulerpa taxifolia en Méditerranée*, Lavoisier publ., Paris, Fr., pp.241-254
- Sant, N., O. Delgado, C. Rodriguez-Prieto and E. Ballesteros (1996), The spreading of the introduced seaweed *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh in the Mediterranean Sea : testing the boat transportation hypothesis. *Botanica marina*, 39:427-430
- Valero, M. (1997), *Gracilaria verrucosa*, un exemple de la génétique des populations des algues marines. *Dynamique d'espèces marine invasives : application à l'expansion de Caulerpa taxifolia en Méditerranée*, Lavoisier publ., Paris, Fr., pp.37-48
- Verlaque, M. (1994), Inventaire des plantes introduites en Méditerranée : origines et répercussions sur l'environnement et les activités humaines. *Oceanol. Acta*, Fr., 17(1):1-23
- Verlaque, M. et P. Fritayre (1994), Modifications des communautés algales méditerranéennes en présence de l'algue envahissante *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh. *Oceanol. Acta*, 17(6):659-672
- Villele, X. de and M. Verlaque (1995), Changes and degradation in a *Posidonia oceanica* bed invaded by the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia* in the North Western Mediterranean. *Botanica Marina*, 38:79-87

Williamson, M. and A. Fitter (1996), The varying success of invaders. *Ecology*, 77(6):1661-1666

Zibrowius, H. (1991), Ongoing modification of the Mediterranean marine fauna and flora by the establishment of exotic species. *Mésogée, Fr.*, 51:83-107

## FRANCE

Vincent BENTATA

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Paris

### 1. INTRODUCTION

M. Thomas BELSHER vient de vous exposer le bilan qu'il tire du passé, tel qu'il l'a perçu depuis son poste à l'IFREMER. Il m'appartient maintenant d'aborder l'avenir en vous présentant le projet de plan d'action que s'apprête à mettre en place la France, à l'initiative de son Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.

En Méditerranée, l'algue verte du genre *Caulerpa* qui est généralement déterminée comme *Caulerpa taxifolia* (bien qu'elle semble se distinguer des souches de référence par plusieurs caractères d'ordre morphologique et physiologique), a connu une expansion extrêmement rapide, principalement dans le bassin occidental. Cette expansion doit-elle être uniquement interprétée comme un facteur agissant ou aussi comme un éventuel révélateur de dégradation de cette mer? Le processus écologique de cette expansion demeure insuffisamment compris d'un point de vue scientifique et l'on ignore comment vont évoluer en Méditerranée les divers écosystèmes à *Caulerpa taxifolia*, une fois passées les phases pionnières. En France, le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement accorde la plus grande attention à cette évolution qui a déjà fait l'objet de nombreuses publications et dont la cartographie est assurée depuis plusieurs années.

#### 1.1 Enjeux et motivations : résultats attendus du plan d'action

A la demande du Ministère de l'Environnement et en partenariat avec lui, l'Académie des sciences et le CNRS (Programme "Environnement, Vie, Sociétés") ont organisé, du 13 au 15 mars 1997, un séminaire scientifique international intitulé : "dynamique d'espèces marines invasives : application à l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée" qui s'est tenu dans les locaux de l'Institut de France, à Paris. Ce séminaire a clarifié les questions relatives à l'expansion de *Caulerpa taxifolia* et le rapport issu de l'Académie des sciences a permis au Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement d'élaborer sa stratégie.

Le projet de plan d'action exposé ci-après est fondé sur un programme d'observations et de recherches à 5 ans. Son objectif consiste à **prévoir l'évolution** de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée, à **évaluer les risques** qui pourraient lui être liés et à **mettre au point des techniques utilisables dans l'hypothèse d'une lutte éventuelle**.

La question prioritaire consiste à savoir quels sont les modèles de référence pertinents : se dirige-t-on - et à quel terme - vers un bouleversement historique majeur de la Méditerranée ou va-t-on assister, au contraire, à des phases de stabilisation, puis de décroissance de la participation de *Caulerpa taxifolia* à tout ou partie des écosystèmes benthiques littoraux méditerranéens? Il faut essayer de prévoir l'avenir et d'évaluer les conséquences de cette expansion sur les paysages sous-marins, sur l'écologie et sur l'économie de la Méditerranée. Les volets "observatoire" et "recherche" du plan d'action visent à réunir les éléments qui permettront de répondre à ces questions.



## 1.2 Appui aux travaux réalisés antérieurement.

Un programme d'expérimentation (notamment), a été engagé depuis 1992, grâce aux soutiens financiers de l'Union Européenne et du ministère français chargé de l'Environnement. Ainsi, l'Union Européenne (D.G. XI : Environnement) a débloqué deux fois de suite des crédits sur contrats LIFE : plus de 6 millions de francs au total, qui correspondent à peu près à la moitié d'une somme supérieure à 12 millions de francs de budgets alloués. Le soutien de la France s'est notamment concrétisé par des crédits incitatifs (ministère chargé de l'Environnement : 500.000 F. en 1992/1994, 400.000 F. en 1996/1997, avec engagement de sa garantie financière), par les salaires des chercheurs et par la mise à leur disposition de matériels parfois très coûteux (navires océanographiques ... ).

## 2. DESCRIPTION DU PLAN D'ACTION

Le présent projet de plan d'action comprend 3 volets complémentaires : "recherche"(2.1), "observatoire" (2.2) et "prévention et moyens de lutte éventuelle"(2.3). Ce plan d'action doit être **interministériel** et mis en oeuvre **en liaison avec les autres pays riverains**. La valorisation des résultats pour la prévision, la prévention et les moyens de lutte éventuelle sera considérée comme un critère majeur d'appréciation des efforts à consentir au titre de l'observatoire et de la recherche.

### 2.1 Recherche

Il s'agit essentiellement de mettre en évidence et d'analyser les facteurs de domination et d'expansion de *Caulerpa taxifolia* et aussi, d'en évaluer les conséquences économiques et certains aspects de société. Dans ce but, le programme de recherche doit aborder les points ci-dessous.

a) Les raisons et l'origine de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée ayant fait l'objet d'hypothèses alternatives, il est souhaitable de déterminer s'il y existe un ou plusieurs écotypes de cette algue. Les techniques de biologie moléculaire pourraient apporter des informations essentielles sur la question du statut génétique et de l'origine de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. On espère non seulement savoir s'il y existe une seule ou plusieurs souches, mais surtout, distinguer et comprendre ce qui distingue la souche incriminée des autres souches connues.

b) La rapidité de l'expansion de cette algue témoigne d'une vigueur exceptionnelle dont il est urgent de bien comprendre les **bases biologiques**. Dans ce but, des recherches sur l'écophysiologie des différentes souches de *Caulerpa taxifolia* (mécanismes adaptatifs tels que la résistance aux basses températures...) ont lieu d'être poursuivies.

c) La toxicité de *Caulerpa taxifolia* est liée à une substance nommée caulerpényne, analysée et testée en laboratoire depuis un certain temps. Des recherches en écotoxicologie pour connaître l'impact de la caulerpényne et de ses dérivés sur les communautés marines animales et végétales, dans les écosystèmes méditerranéens, permettront d'utiliser et de valoriser les résultats de travaux de toxicologie déjà réalisés en laboratoire.

d) Les moyens et la dynamique de l'expansion de l'algue sont actuellement incomplètement connus.

Dans un objectif prédictif, une synthèse des connaissances par l'établissement de modèles mathématiques simulant la dynamique spatio-temporelle de l'expansion est indispensable. Elle doit aussi contribuer à optimiser le recueil des données (lors du séminaire international de Paris en

1997, le CNRS a manifesté son intérêt pour de telles recherches).

L'étude des pratiques qui contribuent à la dissémination de *Caulerpa taxifolia* doit aussi être conduite, en étroite liaison avec ce travail théorique.

e) Certaines conséquences de l'expansion de l'algue sont actuellement préoccupantes : diminution locale de la biodiversité benthique, uniformisation de paysages sous-marins, modification des équilibres de sédimentation ... Des recherches détaillées **sur l'évolution de la biodiversité**, là où *Caulerpa taxifolia* est présente, et notamment en cas de compétition avec les herbiers à Posidonie, sont nécessaires. Plus fondamentalement, la maturation des écosystèmes concernés sera analysée (valorisation scientifique du deuxième volet (2.2.b) en particulier).

f) Différentes techniques susceptibles d'être opposées localement au développement de l'algue doivent être mises au point puisque l'éradication est jugée impossible au stade désormais atteint par l'expansion. Parmi ces actions, des propositions de recherches sur la **lutte biologique au moyen d'espèces indigènes** mériteraient d'être soutenues ; en revanche, l'introduction d'espèces exotiques n'est pas retenue.

g) Les conséquences économiques actuelles et à venir doivent être évaluées, cette expansion engendrant des incidences écologiques et biologiques susceptibles de se répercuter sur la pêche (éventuellement par raréfaction ou disparition locale d'espèces de poissons consommées, par diminution de l'efficacité de capture des engins de pêche ...) ou sur le tourisme (par modifications des paysages sous-marins ...).

h) Les difficultés de l'expertise rencontrées à l'occasion des travaux déjà réalisés ont retardé les réponses à toutes ces questions. Des recherches sur l'analyse des enjeux et des stratégies d'acteurs (scientifiques, presse, représentants des intérêts locaux) seront donc menées.

Dans cet ensemble de recherches souhaitables, celles qui sont relatives à la connaissance des moyens et de la dynamique de l'expansion, ainsi qu'à l'évaluation de ses conséquences écologiques et socio-économiques apparaissent aujourd'hui prioritaires.

## 2.2 Observatoire de l'évolution géographique de l'algue et de l'évolution des écosystèmes auxquels elle participe

Deux missions distinctes d'observations et de suivi sont nécessaires.

a) La cartographie est la première de ces missions ; engagée depuis longtemps, elle doit être poursuivie pour mettre en évidence l'évolution des zones de présence et d'absence de l'algue et pour donner des informations sur l'évolution de sa densité, là où elle est présente. *A priori*, cette mission semble aisée à envisager, notamment sur les 38 sites actuels du réseau "Posidonies" ; les flottes du CNRS/INSU et de l'IFREMER devraient y être associées.

b) Suivre localement l'évolution des écosystèmes sur certains sites, au fur et à mesure que les nouvelles biocénoses à *Caulerpa* (et en particulier à *Caulerpa taxifolia*) avancent en maturité, est également nécessaire. Cela permettra répondre à la question décisive : comment ces écosystèmes vieillissent-ils, après les phases pionnières? **Ce point est essentiel, donc prioritaire car il conditionne la compréhension des mécanismes dont dépend l'avenir des peuplements à *Caulerpa taxifolia* et, par conséquent, de notre stratégie** ; on peut ainsi espérer ouvrir la voie à une véritable protection de la diversité biologique des fonds méditerranéens.

Cette mission, qui devra être préparée et conduite en étroite liaison avec le volet recherche (2.1), nécessitera une mise au point méthodologique particulière et la détermination de sites appropriés (cf., notamment, le point 2.1.e).

**En France**, l'organisation de ce **double réseau** (pour mettre en oeuvre les 2 missions : 2.2.a et 2.2.b ci-dessus) est à étudier en particulier avec l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse (RMC). Il faut envisager un dispositif spécifique, à confier au nouveau Réseau du Littoral Méditerranéen (RLM) qui prévoit, dans le cadre d'un Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) élargi, la surveillance accrue des écosystèmes à Posidonies et de la qualité de l'eau de mer.

**L'extension de ce réseau aux autres pays riverains de la Méditerranée**, ou sa connexion avec les moyens d'observation de ces pays, doit faire l'objet des concertations appropriées.

### 2.3 Prévention et moyens de lutte

L'hypothèse de l'éradication de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée ne paraissant pas crédible, les recommandations du séminaire de l'Académie des sciences (1997) ont porté sur la **prévention générale de la dissémination** et sur les **possibilités d'intervention à échelle locale**.

a) Pour la prévention générale, on est largement tributaire des résultats des 2 premiers volets (recherche et observatoire). C'est ainsi que l'on attend en particulier de l'observation géographique (2.2.a), de la modélisation mathématique et de l'étude des pratiques qui contribuent à la dissémination de l'algue (2.1.d), que leurs résultats contribuent à mettre en évidence la part respective des différents facteurs de dissémination.

Dès à présent, toutefois, il y a lieu de poursuivre la recherche et l'évaluation des possibilités d'ordres technique (2.3.b) et réglementaire (2.3.c) susceptibles de contribuer à prévenir la propagation de *Caulerpa taxifolia*.

b) Techniquement. Pour d'éventuelles interventions locales, seules des actions renouvelées (le **micro-arrachage manuel** en particulier) sont généralement considérées comme efficaces, sous réserve qu'elles soient exécutées sur de très petites surfaces (moins de 10 mètres carrés), dans le cadre d'une surveillance pluriannuelle et renouvelées autant que de besoin. En l'état actuel de nos connaissances, c'est la pratique à recommander **pour protéger certaines zones sensibles** en Méditerranée.

Ces zones doivent être **identifiées** sur la base de leur valeur au titre **du patrimoine naturel** (sites classés, réserves marines, zones naturelles marines d'intérêt floristique et floristique dites ZNIEFF-MER, par exemple ...) ou de leur **intérêt économique** (élevages de coquillages ...).

Dans le souci d'assurer la publicité nécessaire aux précautions techniques indispensables à la mise en oeuvre d'éventuelles interventions de protection, une fiche pratique, relative à la réalisation de telles opérations, doit être tenue à jour, à la disposition des opérateurs. Au fur et à mesure que seront acquis des résultats nouveaux susceptibles d'améliorer les capacités d'intervention (éventuellement par des espèces indigènes d'auxiliaires de lutte biologique, par exemple, cf. 2.1.f), ils devront être intégrés à ce guide.

c) Les aspects juridiques doivent faire l'objet d'une attention particulière : les questions des responsabilités et du droit d'intervention, notamment, devront être analysées, tant au regard du droit français que du droit international.

### 3. ORGANISATION ET MOYENS DU PLAN D'ACTION

Un **comité de pilotage** du plan d'action, réunissant les représentants des administrations, des financeurs et des principales parties intéressées, sera constitué. Ses missions consisteront à définir les priorités, à mobiliser les crédits nécessaires et à veiller à la valorisation des résultats du plan d'action. Des instances d'orientation *ad hoc* seront mises en place le cas échéant (exemple : un comité d'orientation pour la gestion du volet recherche).

Un **conseil scientifique** sera mis en place.

- En ce qui concerne le volet "recherche" (2.1), ce conseil sera consulté sur les appels à propositions des recherches à lancer, sur l'évaluation scientifique des réponses et sur le suivi des projets retenus.
- En ce qui concerne le volet "observatoire" (2.2), ce conseil sera consulté sur l'élaboration des protocoles, sur leur mise en oeuvre et sur l'évaluation des résultats.
- En ce qui concerne le volet "prévention et moyens de lutte éventuelle" (2.3), ce conseil, à la demande du comité de pilotage et en tant que de besoin, sera consulté et chargé de l'examen scientifique des projets de recommandations.

Au terme de 5 années de travail, un bilan devra être dressé et faire apparaître, s'il y a lieu, les efforts supplémentaires que pourrait justifier l'évolution de la situation.

### 4. BIBLIOGRAPHIE

Institut de France - Académie des sciences (1997), Dynamique d'espèces marines invasives: application à l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée (Séminaire international organisé avec le concours du ministère de l'Environnement et du programme "Environnement, Vie, Sociétés" du CNRS les 13-14-15 mars 1997). Edité par Lavoisier Technique et Documentation, Paris, 382 p.

## GREECE

Panayotis PANAYOTIDIS

National Center of Marine Research (NCRM), Athens

### 1. INTRODUCTION

The genus *Caulerpa* (Chlorophyta) is represented on the Greek coasts by two species: *C. prolifera* and *C. racemosa*. The species *C. taxifolia* which is known as an invasive species in the Mediterranean (Boudouresque *et al.*, 1992) has never been reported from the Greek coasts. Nevertheless, the important length of the Greek coasts (about 16000 Km) and the presence of more than 3000 islands in the Greek archipelago, make impossible any complete investigation.

### 2. REVIEW OF THE EXISTING RESULTS

*Caulerpa prolifera* is a wide spread native species (Gerloff & Geissler, 1974; Athanassiadis, 1987), consisting a very common element of the biocoenosis SVMC (Sable Vaseux Mode Calme, according Peres & Picard, 1964) together with *Cymodocea nodosa*, but also at the limits of *Posidonia oceanica* beds. Thus, *C. prolifera* coexists with marine Angiosperms and no invasive characteristics have been observed.

*Caulerpa racemosa* has been reported from the Greek coasts recently (Panayotidis & Montesanto, 1994). The first samplings were collected by SCUBA diving in Laganas Bay (Zakynthos Island, 37:40 N, 20:45 E) during summer 1993 and by dragging in Pylos Bay (Western Greek coasts, 36:50 N, 21:40 E), during autumn 1993. The *C. racemosa* specimens which were found on *P. oceanica* beds, at 25-35 m depth, formed small patches covering the free space between the *P. oceanica* shoots. In the studied areas the deeper limit of *P. oceanica* beds was observed at 40-45 m. depth, thus, the water masses could be characterized as very oligotrophic. Nevertheless, in other Mediterranean coasts the presence of *C. racemosa* was reported on shallow rocky coasts near urban areas (Ben Maiz, 1984 and Aleem, 1992), at Tunisia and Egypt respectively.

Since 1993 a rapid progression of *C. racemosa* has been observed on the Greek coast: this species can be found actually at the Ionian and South Aegean coasts (Panayotidis & Montesanto, 1997) and recently it has been found at the coasts of Crete (Siakavara pers. com.). In one case, at the port Nyssiros Island (Dodecanese, S. E. Aegean) *C. racemosa* is now a dominant element of the marine vegetation (Degaita, pers. com.).

The examined specimens on the Greek coasts are very similar with *C. racemosa* v. *macrophysa* (Kützting) Taylor, described by Taylor (1960). The cylindrical stolons are 2-3 mm large, and the erect axes are 2 mm large and 3.0-10.0 cm long. The branchlets are attached to them at intervals of 3-5 mm. The branchlets are subconical 3-4 mm long, and 2-3 mm large. Thus, the specimens of *C. racemosa* observed on the Greek coasts present different morphological characteristics from the specimens described from the Mediterranean in the beginning of the 20th century (Hamel, 1926). The examined specimens are also different from those described by Ben Maiz (1984). Nevertheless, *C. racemosa* is a very polymorphic species and the genetic value of the varieties is doubtful. Calvert (1976) reports that assimilators of var. *macrophysa* in the 1350 lx culture are 1-3 cm tall and bear uncrowded imbricate ramuli, similar

to the specimens of *C. racemosa* described by Ben Maiz (1984). The same material at 650 lx culture presented assimilators which showed a marked elongation up to 10 cm, the ramular placement became bilateral with opposite ramuli spaced at 5-7 mm, similar to our specimens.

### 3. CONCLUSION

*Caulerpa racemosa* can be considered as invasive species at the Greek coasts, modifying the native marine ecosystem. The presence of *C. racemosa* on the Greek coasts does not seem to be related to water quality or light conditions: it can grow at oligotrophic sites as well as in ports, from the surface to 35 m. depth. Up to now, no harmful effects related to the presence of *C. racemosa* have been reported, on fisheries or any other marine activity.

In the Mediterranean it is already known the opportunistic behaviour of some other subtropical species as *Halophila stipulacea* (Lessepsian migrator) which is very abundant in the free spaces between *P. oceanica* shoots, when there is a decline of the seagrass beds due to the pollution (Panayotidis, 1988). It is also known that the man introduced species *C. taxifolia* has an antagonistic behavior against *P. oceanica* (Villette & Verlaque, 1992). Thus, it is interesting to survey the distribution invasive *Caulerpa* species in the Greek coasts for the next years, in order to compare their ecological strategies and be able to eradicate the harmful species at the first stages of their installation.

### 4. BIBLIOGRAPHY

- Athanassiadis, A. (1987), A survey of the seaweeds of the Aegean Sea. PhD thesis, Univ. of Goeteborg, 389 p.
- Aleem, A.A. (1992), *Caulerpa racemosa* (Chlorophyta) on the Mediterranean coast of Egypt. *Phycologia*, 31(2):205-206
- Ben Maiz, N. (1984), Contribution à la distribution, à l'écologie et à la systematique des algues marines benthiques de Tunisie. D.E.A., Univ. Aix-Marseille III, Fr., pp.1-65
- Boudouresque, C. F., A. Meinesz, M. Verlaque and M. Knoepffler-Peguy (1992), The expansion of the tropical alga *Caulerpa taxifolia* (Chlorophyta) in the Mediterranean. *Cryptogamie Algol.*, 13(2):144-145
- Calvert, H.E. (1976), Culture studies on some Florida species of *Caulerpa*: Morphological responses to reduced illumination. *Brit. Phycol. J.*, 11:203-214
- Hamel, (1926), Quelques algues rares ou nouvelles pour la flore méditerranéenne. Bull. Mus. Nation. Hist. Nat. Paris, T32, no 6, 420 p.
- Gerloff, J and U. Geissler (1974), Eine revidierte Liste der Meeresalgen Griechenlands. *Nova Hedwigia*, 12:721-793
- Panayotidis, P. (1988), Etude de l'impact de la pollution sur les herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, dans le Golfe Saronikos (Mer Egée, Grèce). UNEP, Athens, MAP Technical Reports Series n. 22: pp.85-104

Panayotidis, P. and B. Montesanto (1994), *Caulerpa racemosa* (Chlorophyta) on the Greek coasts. *Criptogamie Algol.*, 15(2):159-161

Panayotidis, P. and B. Montesanto (1997), Recent expansion of *Caulerpa racemosa* (Chlorophyta) in the Mediterranean. 3<sup>rd</sup> International Workshop on Caulerpa, Marseilles 19-20 Septembre 1997

Peres, J. M. and J. Picard (1964), Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. *Rec. Trav. Stn. Mar. Endoume*, 31(47):1-137

Taylor, W. R. (1960), *Marine algae of the Eastern Tropical and Subtropical Coasts of the Americas*. University Michigan Press, 870 p.

Villele, X. de and M. Verlaque (1992), Incidence de *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh sur les herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Rapport du Laboratoire de Biologie Marine et d'Ecologie du Benthos et du GIS Posidonie, 17 p.

## ISRAEL

Rachel EINAV

Dep. of Life Sciences, Bar Ilan University, Ramat-Gan

1. *CAULERPA MEXICANA* SONDER EX KÜTZING=*CAULERPA CRASSIFOLIA* (C. AG.) J. AG

*Caulerpa mexicana* is quite a common algae in the Israeli coast. It can be found almost all the year round in Rosh Hanikra, Habonim, and in between. Sometimes the main front disappears, but the plant appears again on the same place.

Prof. Rayss (Rayss, 1941) in her work on the *Caulerpas*, describe some dichotomic type of *Caulerpa mexicana*, there are specimens still kept in Jerusalem Herbarium, but I had never seen any dichotomic *Caulerpa mexicana* in nature (yet).

Since sometimes *Caulerpa taxifolia* looks like *Caulerpa mexicana* and the two species are very close, *Caulerpa taxifolia* plants, the subspecies that looks like *Caulerpa mexicana* can very easily hide in a big stand of *Caulerpa mexicana*. A special attention should be paid while watching *Caulerpa mexicana* communities.

Last years observations that we have of *Caulerpa mexicana* are mostly from the northern part of the country but Rayss had found it in Gaza, Ashcalon and Tel Aviv areas as well. It might be that the habitats were damaged or that they disappeared for other reasons. Since there is less research in the South of the country then in the North, it might still be there and not detected.

Described from Israel in Rayss, 1941; Lipkin, 1962; Lipkin and Safriel, 1971; Nemlich and Danin, 1964; Ben Yitshak-Monselize, 1978, Ramon, 1985; Lundberg, 1986.

2. *CAULERPA SCALPELLIFORMIS* (R. BROWN EX TURNER) C. AG.

The plant is still present at the coast. Usually found in the northern part of the country, every year on the same place.

Edelstein (1960, 1962) and Tom (1976) had found *Caulerpa scalpelliformis* in deep waters. Edelstein described the plants from all kind of habitats all around the year, at depth of 20 to 80 meters. Tom had found *Caulerpa scalpelliformis* in 40-50 m depth. Both, Edelstein and Tom, described it covered with epiphytes, from the Porifera, Hydrozoa and Ascidiacea. We don't have observation from deep waters that were done lately.

Described from Israel in Carmin, 1934; Rayss, 1941; Edelstein, 1960; Lipkin, 1962; Nemlich and Danin, 1964; Lipkin and Safriel, 1971; Tom, 1976; Ben Yitshak-Monselize, 1978; Ramon, 1985; Lundberg, 1991, 1996; Einav, 1993.

3. *CAULERPA RACEMOSA* (FORSSKÅL) J. AGARDH

*Caulerpa racemosa* is basically a red-sea species that immigrated to the Mediterranean. It is found in Egypt at the coast and in the Suez Canal (Aleem, 1993). It always was a rare species in Israel (there is only one specimen in Jerusalem herbarium). Edelstein (1960) has found only two small specimens in deep waters, (about 60 and 70 m depth), she suggests that



*Caulerpa racemosa* took place of *Caulerpa scalpelliformis* (vicari) and grows in the same niche in northern habitats.

All the descriptions of *Caulerpa racemosa* that we have are from more than 20 years ago. I have never found it in our coasts. More research should be done especially in deep waters.

Described from Israel in Rayss, 1941; Rayss and Edelstein, 1960; Edelstein, 1960, 1962; Lipkin, 1962; Lipkin and Friedmann, 1967; Lipkin and Safriel, 1971; Dothan, 1977; Ramon, 1985; Lundberg, 1996.

#### 4. CAULERPA PROLIFERA (FORSSKÅL) LMOUROUX

*Caulerpa prolifera* was once a very common alga on the coast, it was mentioned in many articles and we have plenty of specimens in Jerusalem herbarium. For the past 20 years the plant was found only twice, Dr. Lundberg had found one thaluss on October 1991, in Shikmona (Haifa) and About 10 specimens of *Caulerpa prolifera* were found at Habonim coast, as drift algae, in the May 1997, by me (Einav, 1998; in press).

*Caulerpa prolifera* was once abundant in the intertidal as well as in deep water habitat. It seems to have disappeared from the intertidal during the last 20 years. The specimens that were collected by me were drifted, not connected to the substrate, all of them were covered by Hydrozoan epiphytes. I assume that a population of *Caulerpa prolifera* still exists in deep waters. Its disappearance from the intertidal might be a result of herbivores, such as *Siganus rivulatus* (Lundberg and Lipkin, 1992) or that of other changes in the marine environment.

Described from Israel in Rayss, 1941; Edelstein, 1960; Lipkin, 1962; Nemlich and Danin, 1964; Lipkin and Safriel, 1971; Ramon, 1985, Lundberg, 1996, Einav, 1998.

#### 5. SUMMARY

In the Israeli coast we have 4 species of *Caulerpa*, *Caulerpa mexicana* and *Caulerpa scalpelliformis* are common and found in most rocky habitats, in holes and at the open sea.

*Caulerpa prolifera* and *Caulerpa racemosa* are mainly deep water algae. In the past, they used to be found also in the intertidal habitats, but now it seems that they are extinct.

For the past 20 years we don't have observations of deep-water communities. We don't have any observation of *Caulerpa taxifolia*.

#### 6. REFERENCES

- Aleem, A.A. (1993), Marine algae of Alexandria. Goteborgs Universitet, Avd for Marin Botanik. 135 p
- Ben Yitshak-Monselize, E. (1978), Photobiology of *Elysia timida* (Mollusca Opisthobranchia). PhD. Thesis. Ben Gurion Uni. Beer Sheba (in Hebrew)
- Carmin, J. (1934), Algae of Palestine shores. Bulletin de l'Institut Oceanographique de Monaco. No. 6531-7
- Dothan, A. (1977), Communities of animals in the region of Shahaf and Nachlieli Islands. Unpublished MSc. Thesis, Department of Zoology, Tel Aviv University, 80 p. (In Hebrew)

- Edelstein, T. (1960), The biology and ecology of deep sea algae of the Haifa Bay. Unpublished PhD. Thesis, The Hebrew University, Jerusalem, (in Hebrew)
- Edelstein, T. (1962), On the algal associations and the ecology of the Benthonic flora of the Haifa Bay. *Rec. Trav. St. Mar. End. Bull.*, 27 Fasc. 42209-211
- Einav, R. (1993), Ecophysiological adaptation strategies of intertidal marine macroalgae, Mediterranean, Israel. Ph.D. theses, *Dissertationes Botanicae*. Berlin, Stuttgart. Band 208, 75 p.
- Einav, R. (1998) (in press), Two observations of seaweeds from the Israeli coast *Boodleopsis pusilla* and *Caulerpa prolifera* (Forsskal) Lamouroux, (Chlorophyta, Caulerpales). *Israel J. of Botany*.
- Lipkin, Y. (1962), Ecological observations at Mikhmoret coast. The estival aspect of marine vegetation. Unpublished M. Sc. Thesis. The Hebrew University, Jerusalem. (in Hebrew)
- Lipkin, Y. and I. Friedmann (1967), Persistent juvenile stage of *Caulerpa racemosa* (Forskål) Agardh in the eastern Mediterranean. *Pubblicazioni di Stazione Zoologica di Napoli* 35243-249
- Lipkin, Y. and U. Safriel (1971), Intertidal zonation on rocky shores at Mikhmoret (Mediterranean, Israel). *J.Ecol.*, 591-30
- Lundberg, B. (1986), Variations in algal vegetation along the Mediterranean shore line of Israel as possible basis for planning of marine nature reserves. *In: Environmental Quality and Ecosystem Stability*, edited by Z. Dubinsky and Y. Steinberger. Bar-Ilan Univ. Press, Ramat Gan. III A/B pp.221-231
- Lundberg, B. (1991), Algal vegetation on vermetid platforms, Haborim, Israel. *Oebalia*, 17493-507
- Lundberg, B. (1996), Composition of the seaweed vegetation along the Mediterranean coast of Israel. *Nature Conservation in Israel, Research and Surveys*, Suppl. 3, 112p . Nature Reserves Authority, Jerusalem
- Lundberg, B. and Y. Lipkin (1992), Seasonal, Grazing Site and Fish size effects on Patterns of Algal Consumption by the Herbivorous fish, *Siganus rivulatus*, at Mikhmoret (Mediterranean, Israel). *In: Environmental Quality and Ecosystem Stability*, edited by A. Gasit, A. Adin, Y. Steinberger and J. Garty. ISEEQS Publication. Vol. V/B, pp.577-583
- Nemlich, C. and Z. Danin (1964), Marine algae of the coast of Israel. Hakibbutz Hameuchad Publishing House Ltd, Tel Aviv, 199 p. (in Hebrew)
- Ramon, E. (1985), Algae. *In: Plants and animals of the land of Israel*, edited by A. Alon, pp.12-92. (in Hebrew)
- Rayss, T. (1941), Sur les caulerpes de la côte Palestinienne. *Palestine Journal of Botany Jerusalem*, Series 2103-124
- Rayss, T. et T. Edelstein (1960), Deux caulerpes nouvelles sur les côtes Méditerranéennes d'Israël. *Revue Générale de Botanique*, 67:602-620
- Tom, M (1976), The benthic faunal associations of Haifa Bay. Unpublished M. Sc. Thesis, Department of Zoology, Tel Aviv University, (in Hebrew)

## ITALIE

Giuseppe GIACCONE et Vincenzo DI MARTINO

Dipartimento di Botanica dell'Università, Catania

### 1. AVANT-PROPOS

À la demande du Ministère des Affaires Étrangères (Secrétariat à l'Environnement), ce rapport a été écrit (collaborateur Dr. Vincenzo Di Martino) pour informer les participants à l'atelier concernant les caulerpes organisé par l'U.N.E.P. à Héraklion, en Crète, sur les études menées en Italie concernant la propagation des différentes espèces de caulerpes et les conséquences éventuelles qui en découlent dans la situation actuelle.

Sur les côtes italiennes occidentales et méridionales *Caulerpa prolifera* est toujours très largement répandue, tandis que sa présence est rare et peu significative sur les côtes orientales (Adriatiques occidentale) où, jusqu'à présent, sont absentes aussi bien *C. racemosa* que *C. taxifolia*.

*C. racemosa* est l'espèce la plus répandue en mer Ionienne dans le détroit de Sicile, dans la mer Tyrrhénienne, dans le Golfe de Cagliari en Sardaigne et aussi dans la mer Ligurienne. *C. taxifolia* comprend deux populations présentant un comportement phytosociologique différent: l'une à l'aspect *mexicanoïde* est la plus commune sur les côtes siciliennes et de la Calabre et l'autre à l'aspect *taxifolioïde* est la plus commune sur les côtes de Toscane et de Ligurie (Fig. 1).

La Société Italienne de Biologia Marine (S.I.B.M.) s'est occupée des problèmes relatifs à la propagation des caulerpes en tenant une table ronde internationale au cours du XXVe Congrès à Sassari en 1994. Une autre réunion internationale concernant aussi ces mêmes problèmes a aussi eu lieu en Sardaigne au cours de 1996. Un groupe de travail a été réuni par l'E.N.E.A. à La Spezia en février 1998 pour préparer un projet national de recherche sur les caulerpes.

En outre, les chercheurs scientifiques italiens ont aussi participé à tous les congrès et les réunions internationales qui se sont tenus en Europe sur ces problèmes.

Une récapitulation de la littérature scientifique italienne concernant ces questions se trouve à la fin de ce rapport (Liste des travaux réalisés par les chercheurs scientifiques italiens). En ce qui concerne les centres de recherche, on peut considérer que huit universités et cinq instituts de recherche extra universitaires s'occupent de développer des recherches sur les caulerpes grâce à un groupe au total d'environ 40 chercheurs spécialisés en taxonomie, génétique, chimie, écologie, phytosociologie, bionomie benthique et toxicologie.

### 2. SITUATION CONCERNANT LA PROPAGATION

Les recherches sur la bionomie benthique en général, et sur la végétation marine en particulier, sur les côtes italiennes sont nombreuses et s'étendent sur tout le territoire national. Ceci assure à la fois un échantillonnage fréquent et une surveillance des changements des communautés vivantes et des migrations ou introductions d'espèces nouvelles.

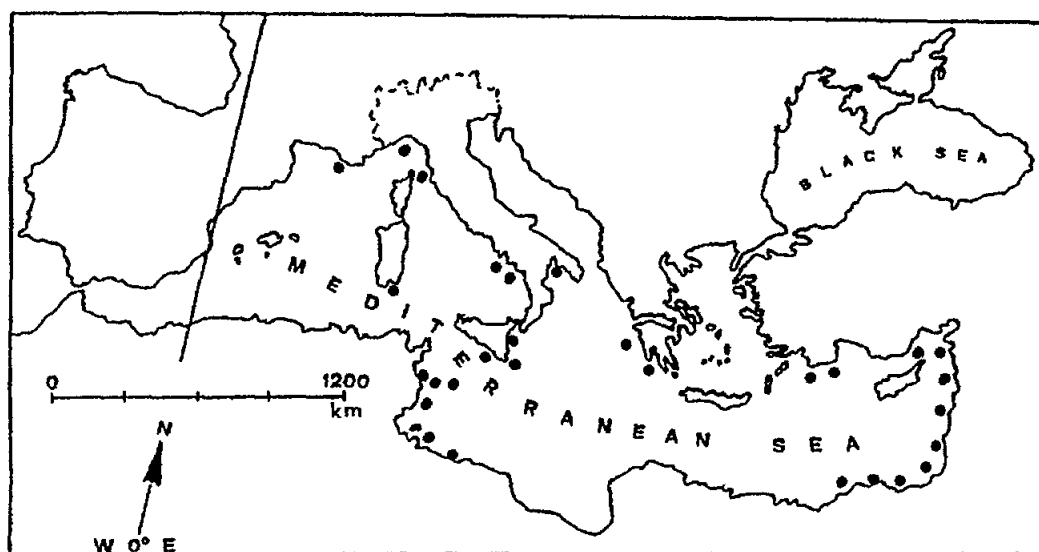


Fig. 1 Localisations connues de *Caulerpa racemosa* en Méditerranée.

Sur la base de ces recherches on peut affirmer qu'avant 1990 il est très probable que ni *Caulerpa racemosa* ni les deux populations de *Caulerpa taxifolia* n'étaient présentes sur les côtes italiennes.

*C. taxifolia* a été trouvée pour la première fois à Imperia en 1992. En 1993, elle a été signalée à l'île d'Elbe et à Livourne en Toscane et dans d'autres localités de la Ligurie.

Toujours en 1993, cette algue a été trouvée à Torre Faro sur le détroit de Messine en Sicile. Tandis qu'en 1994, elle était signalée à Vintimille sur la frontière franco-italienne où on aurait pu s'attendre qu'elle arrive en premier lieu. Depuis cette époque, *C. taxifolia* n'a pas été signalée en dehors des régions des premiers sites de signalisation. Il y a eu un accroissement des surfaces colonisées, surtout en Ligurie.

La présence de l'algue en Ligurie a entraîné la supposition d'une provenance de l'aire franco-monégasque, la présence du peuplement du détroit de Messine (Sicile nord orientale et Calabre méridionale) a fait supposer une provenance du Canal de Suez.

Les populations de la Toscane, et plus généralement toutes celles d'Italie, devraient faire l'objet d'analyses génétiques et phytosociologiques pour reconnaître si elles sont plus apparentées à celles de Monaco ou à celles de Messine et ainsi si elles sont d'origine Indo-Pacifique ou d'origine Atlantique.

Si pour la population de *C. taxifolia* il y a un doute sur une origine unique ou double, il n'y a par contre aucun doute sur l'origine méridionale de *C. racemosa* qui se répand tout au long du trajet des courants géostrophiques qui longent les côtes italiennes. Il est intéressant de noter que la première signalisation de *C. racemosa* en 1993 est à Lampedusa (détroit de Sicile) et à Syracuse (S. Panagia), en Sicile orientale. Mais presque en même temps en 1994 elle est signalée à Livourne en Toscane ainsi que dans le Golfe de Cagliari en Sardaigne, et depuis 1995 elle occupe une vaste surface le long du détroit de Sicile et sur les côtes

méridionales et orientales de la Sicile.

En 1997, cette espèce a atteint le Golfe de Gênes, en Ligurie, et le Golfe de Marseille, en France. Toujours en 1997, d'autres localisations ont été fournies dans le Golfe de Salerne, en mer Tyrrhénienne et dans le Golfe de Tarente, en mer Ionienne.

En association à ces deux espèces de caulerpes, on trouve d'autres espèces d'algues d'origine Indo-Pacifique, qui par la voie du Canal de Suez, ont envahi la côte italienne de la Sicile à la Toscane et se sont propagées jusqu'à Monaco et à la France. Parmi ces espèces les plus remarquables sont les algues rouges filamenteuses *Acrothamnion preissii* et *Womersleyella setacea*, qui constituent l'association des épibiontes sur les frondes de *Caulerpa taxifolia*, mais qui occupent aussi de larges surfaces même là où les caulerpes ne sont pas encore arrivées. Certainement ces deux *Ceramiales*, comme d'autres algues qui ont été signalées à d'autres occasions, vont suivre une direction de propagation Sud-Nord le long des courants géostrophiques. Le même modèle de propagation a été mis en évidence pour l'angiosperme marine *Halophila stipulacea*, signalée en Sicile orientale en 1988 qui est maintenant répandue en mer Tyrrhénienne tout le long de la côte septentrionale de la Sicile et des îles Éoliennes.

Cette angiosperme quelques années auparavant avait été signalée à Malte et s'était répandue progressivement dans les années antécédentes dans toute la mer Égée en progressant du Sud-Est vers le Nord-Ouest.

En ce qui concerne la propagation de *C. taxifolia* et de *C. racemosa* nous pouvons dire qu'elles sont arrivées sur les côtes italiennes presque au même temps après 1990 et qu'elles se sont propagées, en 1992 - 1993 - 1994, à partir de deux points focaux: la Sicile et la Toscane. Mais alors que pour *C. racemosa* on accepte un modèle de propagation le long des courants géostrophiques, pour la population de *C. taxifolia* les discussions persistent entre les experts et il paraît nécessaire de connaître les affinités génétiques des populations des différents emplacements avec la population de Monaco encore d'origine incertaine, et la population de Messine, d'origine probable Indo-Pacifique.

Mais alors qu'avec deux populations *C. taxifolia* recouvre en Italie environ 1.320 hectares de fond marin (mais seulement 3 hectares en dehors de la province de Imperia), *C. racemosa* recouvre près de 3.000 hectares et est en expansion rapide partout.

### 3. HYPOTHÈSE ÉCOLOGIQUE SUR L'EXPANSION DES CAULERPES

Voici la teneur de nos opinions, en ce qui concerne l'hypothèse écologique sur l'expansion des caulerpes, telles que nous les avons présentées à l'Académie de France à Paris en 1997.

Depuis environ une décennie, nous assistons, en Méditerranée, à une phase d'intensification du phénomène d'expansion des espèces tropicales et des espèces sud-orientales, mais avec des niches eltoniennes encore peu définies, caractérisées par le fait qu'elles sont euryvalentes, eurycoriques et souvent même eurybathes dans le système phytal, comme par exemple les espèces du genre *Caulerpa* et certaines *Dictyotales* et *Ceramiales*. Nous remarquons actuellement, si non de véritables extinctions, certainement une contraction dans la distribution horizontale et verticale des espèces endémiques, sténovales, sténocoriques et sténobathes, comme par exemple *Posidonia oceanica*, *Cystoseira sauvageauana*, *Cystoseira crinita*, *Cystoseira spinosa* v. *spinosa*, etc...

Il nous semble pouvoir en trouver l'explication dans les paradigmes plus généraux de l'écologie de l'origine et de la diffusion des espèces. La pression anthropique sur l'environnement côtier agit en synergie avec les changements climatiques (même légers), et oblige les espèces, qui ont évolué durant la longue période froide du Pléistocène, dans les niches de la zonation bionomique de cette mer, à une adaptation à un environnement qui n'a jamais cessé de se modifier au cours de l'Holocène. La sélection naturelle permet toujours, même à travers les mécanismes évolutifs épigénétiques, aux organismes de s'adapter aux changements des habitats. Van Valen a illustré ce mécanisme d'exclusion compétitive avec la course de la Reine Rouge de Lewis Carrol, qui était obligée de courir, en permanence, pour pouvoir continuer à gouverner son territoire mobile.

En termes écologiques cela signifie que si une espèce ne "court" pas, c'est à dire si elle n'évolue pas en synchronisme avec les changements de son environnement, son habitat disparaît, sa niche reste vide et d'autres espèces l'occupent. Par exemple, lorsque les prairies à angiospermes, sur des substrats mobiles de la zone côtière, se sont vidées consécutivement à une modification de la granulométrie et des processus d'oxydoréduction (en particulier dans le paléoendémisme de *Posidonia oceanica* caractérisée par une faible diversité génétique) les conditions environnementales ont favorisé l'expansion d'espèces lessepsiennes ou introduites euryvalentes et dotées d'une importante plasticité génétique. C'est le cas des espèces du genre *Caulerpa* ainsi que certaines *Ceramiales* et *Dictyotales*. Une fois qu'elles se sont fixées dans l'habitat qui s'est transformé, ces espèces occupent l'espace et empêchent le retour des espèces qu'y se trouvaient auparavant.

Le succès de la colonisation des espèces tropicales, qui se vérifie sous nos yeux dans la Méditerranée, provoque une évolution modérée (évident sur les côtes de la Sicile sud-orientale riches de nouveaux taxa pour la science) consécutive au relâchement écologique dans les niches vidées par la dégradation de l'environnement ou par la relative uniformisation des paramètres environnementaux, qui déterminent la zonation bionomique du benthos, surtout dans l'infralittoral photophile (ceintures à cistoseires dans les horizons des différents sous-étages). Mais le travail de recherche pour mesurer les axes de niche en est encore à ses débuts.

Cela confirme notre hypothèse selon laquelle les espèces opportunistes se comportent comme des compactrices de niche dans des environnements en équilibre (mais mutés dans la zonation écologique) et comme des génératrices de nouvelle biodiversité dans des environnements stressés par les dégradations anthropiques.

En effet, la diversité des algues épiphytes et non épiphytes, dans les prairies à *Caulerpa* en substrat mobile selon "le principe de la cueillette" de Colinvaux suggère qu'une faune très diversifiée exerce une pression de pâturage qui touche sélectivement les algues caractérisées par une fine couverture d'épibiontes. Cette fonction prévisible d'induction de diversité végétale, due à la diversité des herbivores et prédateurs présents dans les associations de caulerpes, est établie par les données expérimentales de Pandolfo et Chemello en 1995 et de Bedini et Canali en 1997.

En conséquence les comportements de *Caulerpa taxifolia* et de *Caulerpa racemosa*, espèces dotées d'une grande plasticité génétique, comme le montre la multitude d'entités subordonnées aux espèces (formes, écades, variétés), peuvent être considérés comme des phénomènes écologiques naturels connus depuis longtemps, comme le relâchement écologique dans les zones de niches semi-vides; déjà étudiés aux îles Galapagos par Darwin par rapport aux pinsons et démontrés scientifiquement avec le mécanisme du déplacement des caractères par Grant en 1986 et la pré-acquisition des niches et des dynamiques de dispersion

par paquet d'espèces, fréquentes parmi les lessepsiennes émigratrices en Méditerranée (ex. *C. taxifolia* + *Acrothamnion preissii* + *Womersleyella setacea* + Sacoglosses, etc.).

Ces espèces, ne sont donc ni des monstres, ni des espèces tueuses, mais des organismes normaux, dont le comportement est conforme aux modèles généraux d'écologie évolutive, de relâchement écologique dans des fonds marins avec des habitats en mutation rapide et en cours de phénomènes de pré-acquisition d'espaces de niche, qui excluent le retour des espèces implantées précédemment pendant des périodes de longueur imprévisible et dont elles constituaient d'une certaine manière, dans leurs lieux d'origine, les équivalents écologiques partiels.

Par conséquent l'approche phytosociologique ou biocénotique, nous semble la plus utile pour comprendre les rapports sociologiques de ces espèces, en phase d'expansion, avec d'autres espèces avec les quelles elles se mettent en contact dans les différentes niches du bassin Méditerranéen.

L'utilité de la description formelle des associations végétales de caulerpes par nous proposée en 1997, ainsi que de leur hiérarchie syntaxonomique est basée sur les considérations reportées par Guinochet en 1973: "Si l'on a bien compris qu'une connaissance complète des associations végétales est le moyen le plus efficace pour, d'une part, diagnostiquer les habitats, de l'autre, prévoir comment la végétation peut évoluer en un lieu donné, il est, alors, évident que la phytosociologie peut rendre d'éminents services pour l'exploitation des cultures et pour l'exploitation rationnelle des prairies, des pâturages et des forêts". Ces affirmations s'appliquent de manière ponctuelle à la végétation à caulerpes, qui présente d'intéressantes perspectives pour l'exploitation de la mariculture (ex *Caulerpa racemosa*) et dans l'assainissement de la zone côtière dégradée par l'excessive pression anthropique.

L'ample dimension spatiale de l'aire de dispersion de la végétation à caulerpes peut être à l'origine, localement, de simples accommodements entre les espèces en communautés durables autant que les habitats qui les hébergent; mais cela, avec des dimensions temporelles différentes, s'applique à toutes les associations végétales définies improprement climatiques.

#### 4. NOTES D'INFORMATION SUR LES ÉTUDES ET LES TRAVAUX RÉALISÉS SUR LES CAULERPES EN ITALIE

En Italie les axes de recherche sur les caulerpes comprennent la quasi-totalité des problèmes relevés à ce sujet par la communauté internationale scientifique et qui ont été exposés à Paris à l'occasion d'un séminaire tenu près de l'Académie des Sciences en 1997.

La liste des publications qui ont été faites en Italie à ce sujet est dressée en références bibliographiques.

Les premiers travaux ont été constitués par les signalisations floristiques effectuées par de nombreux chercheurs entre 1992 et 1997. À l'Université de Catane (groupe coordonné par le Professeur Giuseppe Giaccone) ont été réalisées de 1995 à 1997 des recherches taxonomiques, phytosociologiques et écologiques, qui incluent les conséquences sur l'environnement et la biodiversité des communautés associées, côtoyées, ou pénétrées par *C. taxifolia*, *C. prolifera* et *C. racemosa*. Les rapports avec les formations végétales des prairies à Posidonies et à Cymodocées sont analysés au cours de cet atelier par le Professeur Francesco Cinelli de l'Université de Pise. Les recherches faunistiques (faune épiphytique et

poissons) sont développées à l'Université de Gêne (groupe coordonné par le Professeur Giulio Relini).

Les recherches de génétique moléculaire sont actuellement développées à l'Université de Pise par le Professeur Ferdinando Dini, qui participe à cet atelier et qui s'occupe aussi de toxicologie, et à l'Université de Palerme par le Professeur Goffredo Cognetti.

Les recherches de chimie des métabolites secondaires sont développées à l'Université de Catane (groupe coordonné par le Professeur Vincenzo Amico) et aux Universités de Pise et de Trente (groupes coordonnés par le Professeur Francesco Pietra).

Les recherches sont financées principalement par des fonds italiens du M.U.R.S.T., du C.N.R. et des régions intéressées, mais quelques groupes participent aussi au projet de la Communauté Européenne DG XI LIFE depuis 1992.

## 5. CONCLUSION

Dans l'état actuel des connaissances il nous semble que nous pouvons conclure comme nous l'avons fait au séminaire international de Paris en mars 1997.

On peut raisonnablement affirmer que la phase actuelle de dispersion invasive de certaines espèces végétales, en Méditerranée, est due à des causes complexes agissant séparément et (ou) de façon synergique, comme par exemple :

- o la dégradation excessive de la zone côtière,
- o le trafic maritime et la pêche au filet sur les fonds à caulerpes,
- o l'approfondissement du Canal de Suez (après 1966),
- o la fermeture de la digue d'Assouan (après 1965),
- o la multiplication des aquariums et des sites de mariculture,
- o l'augmentation des valeurs moyennes de la température de l'eau de mer (données du "World Climate Disc", 1992) et les courants géostrophiques,
- o des phénomènes évolutifs et des mécanismes épigénétiques d'origine environnementale probablement en cours dans les populations à *Caulerpa* de Méditerranée,
- o des phénomènes de compactage de niche et de relâchement écologique dans les habitats transformés et (ou) dépourvus d'espèces sténovalentes.

La théorie de Hutchinson, connue sous la dénomination de "hommage à Sainte Rosalie", semble s'appliquer aux caulerpes, dans les environnements en équilibre. Dans ce cas, ces algues semblent se comporter comme des "compactrices de niche". En revanche, dans les environnements stressés, elles semblent avoir un rôle d'assainissement et d'augmentation de la biodiversité. Selon le modèle de Grime, ce sont des espèces invasives qui ont des stratégies de résistance au stress et qui se reproduisent normalement, de façon asexuée, par clones végétatifs. Ce sont donc des compétitrices, qui réussissent à occuper des niches partiellement vides et s'y maintiennent ensuite en formant des populations très denses.

Notre comportement, par rapport au succès actuel des organismes à multiplication végétative rapide comme les espèces du genre *Caulerpa* en Méditerranée, ne doit pas relever du militantisme environnementaliste, mais uniquement de l'action scientifique et des concepts acquis par l'écologie moderne. "Prévoir que le climax n'arrivera jamais et que toute communauté est sous le stress de la colonisation" est selon Colinvaux une bonne hypothèse



de travail. On ne comprendrait pas pourquoi les communautés de *Posidonia* et de *Cystoseira* échapperaient à cette règle, d'autant plus qu'elles sont très diversifiées, mais peut être insuffisamment structurées au niveau des associations et donc particulièrement sujettes à l'invasion.

En conclusion, nous rappellerons l'explication biogéographique que donnait Lüning en 1990 à propos du succès de la colonisation des espèces émigratrices ou introduites en Méditerranée: "À cause de la recolonisation relativement récente de son milieu marin, il y a environs 5 millions d'années, la Méditerranée semble manifester une plus grande réceptivité aux espèces émigratrices ou différemment adaptées qu'un écosystème ancien et évolué dans lequel l'espace est compté et la compétition est grande". Le succès des espèces invasives peut aussi être expliqué par les mécanismes décrit par Colinvaux en 1995: "Tout processus qui réduit une population d'organismes autochtones diminue la capacité de cette population à résister aux compétiteurs. Le climat et les saisons pourraient aussi mimer l'action des prédateurs en imposant d'importantes fluctuations aux organismes ayant des cycles vitaux courts comme les insectes et les plantes herbacées annuelles. En conditions climatiques variables, une communauté est fréquemment ouverte à l'invasion, notamment chaque fois que des ressources sont sous-utilisées parce que la densité des populations locales reste sous la barre du seuil maximal".

Les communautés biologiques sont définies par des habitats. Or les habitats de la Méditerranée ont été modifiés, au cours des dernières 40 années, par des causes météorologiques, biotiques et anthropiques. En conséquence, les communautés changent. La fin du deuxième millénaire est ainsi particulièrement propice au développement des caulerpes et des algues mucilagineuses. Mais ce n'est pas la fin du monde, ni même celle de la Méditerranée. Ce n'est qu'une autre étape de plus dans l'histoire multiforme de la vie qui caractérise l'environnement tourmenté (ex. les crises de sapropels) dans ce habitat de l'Océan mondial qui est la mer Méditerranée.

## 5. LISTE DES TRAVAUX RÉALISÉS PAR LES CHERCHEURS SCIENTIFIQUES ITALIENS

Alongi, G., M. Cormaci, G. Furnari and G. Giaccone (1993), Prima segnalazione di *Caulerpa racemosa* (Chlorophyceae, Caulerpales) per le coste italiane. *Boll.Acc.Gioenia Sci.Nat.*, 26(342):49-53

Amico, V., G. Oriente, C. Piattelli, E. Fattorusso, S. Magno and L. Mayol (1978), Caulerpenyne, an unusual sesquiterpenoid from the green alga *Caulerpa prolifera*. *Tethraedron Lett.*, 38:3593-3596

Balestri, E., L. Piazzini, F. Cinelli and S. Schincaglia (1994), L'introduzione di alghe tropicali del genere *Caulerpa* (Chlorophyta) nel Mediterraneo Nord-Occidentale. *Quaderni dell'Acquario*, 1:47-50

Bedini, R. and M.G. Canali (1997), Studio preliminare sulle zoocenosi associate a *Caulerpa taxifolia* nella Baia di Galenzana (Isola d'Elba). *Atti XXVII Congresso S.I.B.M.*, Trani (BA); in press

Buia, M.C., A. Petroceli and O.D. Saracino (1997), *Caulerpa racemosa* spread in the Mediterranean Sea: first record in the Gulf of Taranto. *Atti XXVII Congresso S.I.B.M.*, Trani (BA); in press

- Bussotti, S., M. Conti, P. Guidetti, F. Martini and G. Matricardi (1997), First record of *Caulerpa racemosa* along the coast of Genova (NW Mediterranean). *Doriana*, 6(294):1-5
- Ceccherelli, G. (1997), Aspetti ecologici di *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh (Chlorophyta, Caulerpales): interazioni biotiche e fattori fisici e chimici. Tesi Dottorale, Università di Pisa, 138 p.
- Ceccherelli, G., C. Cini and F. Cinelli (1996), Studio pilota di arricchimento di nutrienti nel sedimento in un habitat misto di *Cymodocea nodosa* e *Caulerpa taxifolia*. S.IT.E., Atti, 17:309-312
- Ceccherelli, G., L. Benedetti-Cecchi and F. Cinelli (1996), Spatio-temporal variability in size and density of *Caulerpa taxifolia* in the Elba Island population. Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*; edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gometz and V. Gravez, Publicacions Universitat Barcelona, Spain, pp.:177-183
- Ceccherelli, G. and L. Benedetti-Cecchi (1997), Effetto dello strato fogliare di *Posidonia oceanica* sulla taglia delle fronde di *Caulerpa taxifolia*. *Biol.Mar Medit.*, 4(1):122-126
- Ceccherelli, G. and F. Cinelli (1997), Interazioni tra *Caulerpa taxifolia* e le fanerogame *Cymodocea nodosa* e *Posidonia oceanica*. Atti del Convegno S.O.S. *Caulerpa?* Introduzione di nuove specie nel Mediterraneo e compatibilità con quelle presenti. Cagliari 25 Novembre 1996, pp.69-86
- Ceccherelli, G. and F. Cinelli (1997), Short-term effects of nutrient enrichment of the sediment and interaction between the seagrass *Cymodocea nodosa* and the introduced green alga *Caulerpa taxifolia* in a Mediterranean bay. *J.Exp.Mar.Biol.Ecol.*, 217(2):165-177
- Ceccherelli, G. and F. Cinelli (1997), Habitat effect on spatio-temporal variability of size and density of the introduced alga *Caulerpa taxifolia*. *Mar.Ecol.Progr.Ser.*; in press
- Ceccherelli, G. and F. Cinelli (1997), The nurse effect of the seagrass *Posidonia oceanica* on the tropical alga *Caulerpa taxifolia*, recently introduced in the Mediterranean. VII Pacific Science Inter-Congress, 13-19 Luglio, Surva, Isole Fiji. Abstract
- Chemello, R. and V. Di Martino (1997), Prima segnalazione di *Oxynoe olivacea* Rafinesque su *Caulerpa mexicana* Sonder ex Kützinger. Atti XXVIII° Congresso S.I.B.M. Trani (BA); in press
- Chisholm, J.R.M., J.M. Jaubert and G. Giaccone G. (1995), *Caulerpa taxifolia* in the NW Mediterranean: introduced species or migrant from the Red Sea?. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*. 318:1219-1226
- Cimino, G., A. Crispino, V. Di Marzo, M. Gavagnin and J.D. Ros. (1990), Oxytoxins, bioactive molecules produced by the marine opisthobranch mollusc *Oxynoe olivacea* from a diet-derived precursor. *Experientia*, 46:767-770

- Cinelli, F., G. Ceccherelli, M. Austoni, L. Lavelli, C. Morucci, R. Sandulli and G. Tripaldi (1996), Progressione della prateria a *Caulerpa taxifolia* all'Isola d'Elba (1993-1994). Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*; edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gometz and V. Gravez, Publicacions Universitat Barcelona, Spain, pp.85-90
- Cinelli, F. and L. Lavelli (1994), Cartografia della prateria a *Caulerpa taxifolia* in località Marina di Campo (Isola d'Elba). Actes du Séminaire International sur *Caulerpa taxifolia*. Nice; Résumés
- Cossu, A. and V. Gazale (1997), Sulla presenza di *Caulerpa racemosa* (Forsskäl) J. Agardh in Sardegna. Atti del Convegno S.O.S. *Caulerpa?* Introduzione di nuove specie nel Mediterraneo e compatibilità con quelle presenti. Cagliari 25 Novembre 1996, pp.69-86
- De Napoli, L., E. Fattorusso, S. Magno and L. Mayol (1981), Furocaulerpin, a new acetylenic sesquiterpenoid from the green alga *Caulerpa prolifera*. *Experientia*, 37:1132
- Di Martino, V. and G. Giaccone (1995), *Caulerpa mexicana* Sonder ex Kützing: un'altra migrante lessepsiana arrivata in Sicilia. *Biol.Mar.Medit.*, 3(1):143-146
- Di Martino, V. and G. Giaccone (1995), Biodiversità in associazioni dipendenti di epibionti vegetali in prati a Caulerpe nel Mediterraneo. *Biol.Mar.Medit.*, 3(1):32-39
- Di Martino, V. and G. Giaccone G. (1997), La vegetazione a *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh nel Principato di Monaco. *Boll.Acc.Gioenia Sci.Nat.*, Catania; 29(351):169-183
- Dini, F. (1997), Aspetti ecotossicologici relativi alla rapida espansione nel Mediterraneo di popolazioni dell'alga verde di origine tropicale, *Caulerpa taxifolia*. Atti del Convegno S.O.S. *Caulerpa?* Introduzione di nuove specie nel Mediterraneo e compatibilità con quelle presenti. Cagliari 25 Novembre 1996, pp.50-68
- Dini, F., A. Guerriero, P. Giubbilini, A. Meinesz, D. Pesando, M. Durand-Clement and F. Pietra (1992), I. Ciliate as a probe for biological pollution produced by the seaweed *Caulerpa taxifolia*. Third Asian Conference on Ciliate Genetics, Cell Biology, and Molecular Biology, Shenzhen (Cina): 8.1. Abstract
- Dini, F., A. Guerriero, P. Giubbilini, A. Meinesz, D. Pesando, M. Durand-Clement and F. Pietra (1992), II. Ciliate as a probe for biological pollution produced by the seaweed *Caulerpa taxifolia*. Atti 54° Congresso dell'Unione Zoologica Italiana (Italy): 307. Abstract
- Dini, F., A. Guerriero, F. Erra, M. D'Ambrosio and F. Pietra (1994), Assessment of detrimental effects imposed to eukaryotic microbial communities by exposure to products of the green seaweed *Caulerpa taxifolia*: I Product toxicity. Séminaire International sur *Caulerpa taxifolia*, Nice (France): 25. Abstract
- Dini, F., G. Rosati, A. Guerriero, F. Verni, M. D'Ambrosio and F. Pietra (1994), Assessment of detrimental effects imposed to eukaryotic microbial communities by exposure to products of the green seaweed *Caulerpa taxifolia*: II Ultrastructural modifications. Séminaire International sur *Caulerpa taxifolia*, Nice (France): 25. Abstract

- Dini, F., G. Rosati, F. Erra, F. Verni and F. Pietra (1994), The environmental toxicity of secondary metabolites produced by the Mediterranean-adapted seaweeds *Caulerpa taxifolia* using marine ciliate protist as a model. International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz et V. Gravez, GIS Posidonie Publ., Franc., pp.203-207
- Dini, F., C. Capovani, M. Durante, M. Pighini, N. Ricci, A. Tomei and F. Pietra F. (1996), Principles of operation of the toxic system of *Caulerpa taxifolia* that undertook a genetically conditioned adaptation to the Mediterranean Sea. Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gometz and V. Gravez, Publicacions Universitat Barcelona, Spain, pp.247-254
- Durante, M., F. Dini, A. Guerriero, D. Depentori and F. Pietra (1994), Effects of terpenoids extracted from the seaweed *Caulerpa taxifolia* on *Nicotiana glauca* tissue cells cultured *in vitro*. III Congresso Nazionale Società di Mutagenesi Ambientale, Viterbo (S.I.M.A.): 56. Abstract
- Ferla, S., A. Tomasello, B. Ferreri, C. Fradà Orestano and S. Calvo (1994), Preliminary notes on epiphyte macroflora of *Caulerpa taxifolia* in the Straits of Messina. *Giorn.Bot.Ital.*, 128(6):1096-1098
- Fishel, J.R., R. Lemee, P. Formento, C. Caldani, J.L. Moll, D. Pesando, A. Meinesz, P. Grelier, P. Pietra, A. Guerriero and G. Milano (1995), Cell growth inhibitory effects of caulerpenyne, a sesquiterpenoid from the marine algae *Caulerpa taxifolia*. *Anticancer Research*, 15:2155-2160
- Fradà Orestano, C., S. Calvo and B.M. Ferreri (1994), First record of *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C.Agardh in the southwestern Mediterranean. *Giorn.Bot.Ital.*, 128(3/4):813-815
- Fradà Orestano, C. and S. Calvo (1995), Diffusione di *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh nelle acque dello Stretto di Messina. *Biol.Mar.Medit.*, 2(2):645-647
- Gambi, M.C. and A. Terlizzi (1997), Record of large population of *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh (Chlorophyceae) in the Gulf of Salerno (Southern Tyrrhenian Sea, Italy) Atti XXVII Congresso S.I.B.M., Trani (BA); in press
- Giaccone, G. and V. Di Martino (1995), La vegetazione a *Caulerpa racemosa* (Forsskål) C.Agardh nella Baia di S.Panagia (Sicilia Sud-Orientale). *Boll.Acc.Gioenia Sci. Nat.*, 28(349):59-73
- Giaccone, G. and V. Di Martino (1995), La vegetazione a *Caulerpa mexicana* Sonder ex Kützing nello Stretto di Messina (Sicilia Nord-Orientale). *Boll.Acc.Gioenia Sci. Nat.*, 28(349):75-91
- Giaccone, G. and V. Di Martino (1995), La dispersione in Mediterraneo di alghe tropicali del genere *Caulerpa*. *Boll.Acc.Gioenia Sci.Nat.*, Catania; 28(349):693-705
- Giaccone, G. and V. Di Martino (1995), Le Caulerpe in Mediterraneo: un ritorno del vecchio bacino Tetide verso il dominio Indo-Pacifico. *Biol.Mar.Medit.*, 2(2):607-612

- Giaccone, G. and V. Di Martino (1997), Inquadramento fitosociologico ed ecologia della vegetazione a caulerpe in Mediterraneo. Atti del Convegno S.O.S. *Caulerpa?* Introduzione di nuove specie nel Mediterraneo e compatibilità con quelle presenti. Cagliari 25 Novembre 1996, pp.69-86
- Giaccone, G. and V. Di Martino (1997), Phytosociologie et écologie des algues Caulerpes en Méditerranée. Actes de "Séminaire International "Dynamique d'espèces marines invasives: application à l'expansion de *Caulerpa taxifolia*"; Académie des Sciences - Paris; 13/15.03.1997, pp.131-144
- Giaccone, G. and V. Di Martino (1997), Biodiversità algale, fitosociologia ed ecologia dei prati a caulerpe in Mediterraneo. 5° Workshop Progetto Strategico Clima, Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno Amalfi, 28-30 Aprile 1993; Atti II Tomo a cura di V. Piccione e C. Antonelli; Editor A. Guerrini, pp.325-355
- Giaccone, G. and V. Di Martino (1997), Vegetazione marina relitta in Mediterraneo. *Biol.Mar.Medit.*; 4(1):388-392
- Giannotti, A., E. Ghelardi and S. Senesi (1994), Characterization of seawater bacterial communities within environments colonized by the tropical green seaweed *Caulerpa taxifolia*. International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz et V. Gravez, GIS Posidonie Publ., Franc., pp.197-201
- Giannotti, A., E. Ghelardi, F. Dini, F. Pietra and S. Senesi (1996), Progressive modification of Mediterranean bacterial communities along with the spreading of *Caulerpa taxifolia*. Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*; edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gometz e V. Gravez, Publicacions Universitat Barcelona, Spain, pp.255-260
- Guerrero, A., A. Meinesz, M. D'Ambrosio and F. Pietra (1992), Isolation of toxic and potentially toxic Sesqui- and Monoterpenes from tropical green seaweed *Caulerpa taxifolia* which has invaded the region of Cap Martin and Monaco. *Helv.Chim.Acta.*, 75:689-695
- Guerrero, A., F. Marchetti, M. D'Ambrosio, S. Senesi, F. Dini and F. Pietra (1993), New ecotoxicologically and biogenetically relevant terpenes of the tropical green seaweed *Caulerpa taxifolia* which is invading the Mediterranean. *Helv.Chim.Acta*, 76:855-864
- Guerrero, A., D. Depentori, M. D'Ambrosio, M. Durante, F. Dini and F. Pietra (1994), Chlorophyll-sensitized photodegradation of caulerpenyne; a potential harmful sesquiterpenoid from tropical green seaweeds in the genus *Caulerpa*. *J.Chem.Soc., Chem. Commun.*, 12:30-32
- Guerrero, A., G. Guella, M. D'Ambrosio, F. Dini and F. Pietra (1994), On the secondary metabolism of the green seaweed *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean Sea. Resemblance with ciliates of the genus *Euplotes*. Séminaire International sur *Caulerpa taxifolia*, Nice (France): 23. Abstract
- Guerrero, A., M. D'Ambrosio, G. Guella, F. Dini and F. Pietra (1994), Secondary metabolites of the green seaweed *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean Sea, and a comparison with ciliates of the genus *Euplotes*. International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz et V. Gravez, GIS Posidonie Publ., Franc., pp.171-175

- Guerriero, A., D. Depentori, M. D'Ambrosio and F. Pietra (1995), Caulerpenyne-amine reacting system as a model for in vivo interactions of ecotoxicologically-relevant sesquiterpenoids of the Mediterranean-adapted tropical green seaweed *Caulerpa taxifolia*. *Helv.Chim.Acta*, 78:1755-1762
- Guerriero, A., D. Depentori, M. D'Ambrosio, M. Durante, F. Dini, C. Geroni and F. Pietra. (1996), Ecologically harmful through photodegradable terpenoids from the green seaweed *Caulerpa taxifolia* adapted to the Mediterranean Sea. Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gometz and V. Gravez, Univ. Barcelona Publ., pp.233-246
- Lemée, R., D. Pesando, M. Durand-Clement, A. Dubreuil, A. Meinesz, A. Guerriero and F. Pietra (1993), Preliminary survey of toxicity of the green alga *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean. *J.Appl.Phycol.*, 5:485-493
- Marchetti, F., A. Giannotti, A. Meinesz, A. Guerriero, F. Pietra and S. Senesi (1992), Effetto di metaboliti prodotti da *Caulerpa taxifolia* su batteri marini del Mediterraneo. 24° Congresso Nazionale di Microbiologia, Genova (Italy): 74. Abstract
- Meinesz, A., F. Ballesteros, J. Blanchier, F. Cinelli, J.M. Cottalorda, C. Fradà Orestano, T. Komatsu, R. Lemée, H. Molenaar, C. Morucci, S. Pou, R. Sandulli, G. Tripaldi and J. De Vaugelas (1994), Latest news on the spread *Caulerpa taxifolia* introduced in the Mediterranean. 5<sup>th</sup> Int. Phycol. Congress, Quingdao, n° 164: 28. Abstract
- Morucci, C., C. Fradà Orestano, R. Sandulli, G. Tripaldi and S. Calvo (1996), Progression of *Caulerpa taxifolia* along the north-eastern coasts of Sicily (Messina, Italy). Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gometz and V. Gravez, Univ. Barcelona Publ., pp.81-84
- Morucci, C., R. Sandulli, G. Tripaldi, F. Cinelli, G. Ceccherelli, M. Austoni and L. Lavelli (1995), Evoluzione della distribuzione di *Caulerpa taxifolia* lungo le coste italiane. XXVI Congresso S.I.B.M. Sciacca (AG). Abstract
- Morucci, C., R. Sandulli, G. Tripaldi, F. Cinelli, G. Ceccherelli, M. Austoni and L. Lavelli (1996), Latest data on the spread *Caulerpa taxifolia* along the western Ligurian coasts. Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gometz and V. Gravez, Univ. Barcelona Publ., Spain, 75-80
- Pandolfo, A. and R. Chemello (1995), Prime note sulla malacofauna associata a *Caulerpa racemosa* nella Baia di Santa Panagia (Sicilia Orientale). *Biol.Mar.Medit.*, 2(2):649-651
- Piazzì, L., E. Balestri and F. Cinelli (1994), Presence of *Caulerpa racemosa* in the North-Western Mediterranean. *Cryptogamie, Algologie*, 15(3):183-189
- Piazzì, L., S. Acunto, M. Magri, F. Rindi and E. Balestri (1997), Osservazioni preliminari sull'espansione di *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh sulle secche della Meloria (Livorno, Italy). *Biol.Mar.Medit.*, 4(1):426-428
- Piazzì, L., E. Balestri, M. Magri and F. Cinelli (1997), Expansion de l'algue tropicale *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh (Bryopsidophyceae, Chlorophyta) le long de la côte Toscane (Italie). *Cryptogamie, Algologie*, 18(4):343-350

- Pietra, F. (1997), Biochimie des métabolites secondaires de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée, par comparaison avec les autres espèces de *Caulerpa*. Actes de "Séminaire International "Dynamique d'espèces marines invasives: application à l'expansion de *Caulerpa taxifolia*"; Académie des Sciences - Paris; 13/15.03.1997:234-268
- Pighini, M., F. Dini, F. Pietra and M. Durante (1995), Caratterizzazione del genoma dell'alga *Caulerpa taxifolia*. Atti del Convegno Congiunto BCD, AGI, BBM, MGBM, p. 181. Abstract
- Raffaelli, A., S. Pucci and F. Pietra (1997), Ionspray tandem mass spectrometry for sensitive, rapid determination of minor toxic sesquiterpenoids in the presence of major analogues of the foreign green seaweed *Caulerpa taxifolia* which is invading the Northwestern Mediterranean. Analytical Communications; 34:179-1832
- Relini, M. and G. Torchia (1992), Prima segnalazione di *Caulerpa taxifolia* in acque italiane. Doriana, Suppl. Ann. Mus. Civ. Stor. Nat. "G. Doria"; VI(279):1-4
- Relini, M., G. Torchia and G. Relini (1996), A comparison between fish and macrobenthos in an area colonized by the alga *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh and a control area of *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson. (Preliminary data). Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gometz and V. Gravez, Univ. Barcelona Publ., Sp, pp.399-404
- Relini, G., A. Molinari, M. Relini and G. Torchia (1997), Confronto tra la fauna epifita di *Caulerpa taxifolia* e *Cymodocea nodosa*. Atti XXVII Congresso S.I.B.M., Trani (BA); in press
- Relini, G., M. Relini and G. Torchia (1997), Fish biodiversity in a *Caulerpa taxifolia* meadow in the Ligurian Sea. CEI9, Trieste 25/30 Agosto 1997. In press
- Relini, G., M. Relini and G. Torchia (1997), Fish and epiphytic fauna on *Caulerpa taxifolia* and *Cymodocea nodosa* at Imperia (Ligurian Sea). Third International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, Marseille 19/20 September 1997. In press
- Ricci, N., C. Capovani, M. Cacciatori, F. Dini and F. Pietra (1995), The ethogram of *Euplotes crassus* and the toxic effect(s) of caulerpenyne, the major terpenoid isolated from the Mediterranean invading seaweed, *Caulerpa taxifolia*. Journal Eukaryotic Microbiology (U.S.A.; Society of Protozoologists), 42(1), 42(3), 23A. Abstract
- Ricci, N., C. Capovani and F. Dini (1997), Influence of caulerpenyne, the major terpenoid of mediterranean-adapted *Caulerpa taxifolia*, on the behaviour of *Euplotes crassus* (Ciliata, Hypotrichida): a new approach to biomonitoring. Séminaire International sur *Caulerpa taxifolia*, Marseilles (France): 48. Abstract
- Riggio, S. (1995), Il caso delle caulerpe: immigrazioni recenti e parallelismi con le invasioni di terraferma nell'area mediterranea. *Biol.Mar.Medit.*, 2(2):593-605
- Sandulli, R. C. Morucci, G. Tripaldi, F. Cinelli, A. Proietti-Zolla, L. Benedetti-Cecchi and F. Della Pietà (1995), Distribuzione dell'alga tropicale *Caulerpa taxifolia* nelle acque italiane: situazione al dicembre 1993. *Biol.Mar.Medit.*, 2(2):409-411

Tripaldi, G. and F. Cinelli (1995), Il progetto CEE-LIFE su *Caulerpa taxifolia*. *Biol.Mar.Medit.*, 2(2):653-654

Tunesi, L. (1992), Problemi connessi alla presenza di *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh sui fondali del mar Ligure. Atti del Convegno Int. ICRAM-IFREMER "Mediterraneo e Caraibi due mari in pericolo? Sversamenti accidentali di idrocarburi ed emergenze causate dalle alghe", Genova, pp.108-111

Tunesi, L. and M. Vacchi (1994), Considerazioni sul rinvenimento di *Caulerpa prolifera* (Forsskål) Lamouroux sui fondali del Golfo del Tigullio (Mar Ligure) Atti 10° Congresso A.I.O.L., Alassio, pp.413-419



## LIBAN

Ghazi BITAR

Université libanaise, Faculté des Sciences (Section I), Hadeth

### 1. INTRODUCTION

Les algues benthiques de la côte libanaise sont très mal connues. Les travaux, fragmentaires, et très peu nombreux dans ce domaine, ont été effectués dans le cadre de la bionomie benthique et la cartographie des faciès faunistiques et floristiques (Gravel, 1931; Bitar et Bitar-Kouli, 1995a; Bitar et Bitar-Kouli, 1995b; Bitar, 1996). Le travail de Basson *et al.* (1976) a été, le seul, consacré aux macrophytes de l'étage infralittoral supérieur. Ils y citent 190 espèces dont deux *Caulerpa*: *C. prolifera* et *C. racemosa*. Nous y ajoutons 18 espèces nouvelles ou très mal connues dont trois (marquées d'un astérisque) sont d'origine indopacifique. Elles se répartissent en deux phanérogames (*Halophila stipulacea*\* et *Cymodocea nodosa*) et 16 algues: *Ulva fasciata*, *Codium bursa*, *Caulerpa mexicana*\*, *Udotea sp.*, *Cystoseira discor*, *Cystoseira sp.*, *Styopodium zonale*\*, *Padina sp.* (indopacifique), *Dilophus spiralis*, *Pterocladia capillacea*, *Liagora sp.*, *Calaxaura sp.*, *Asparagopsis taxiformis*, *Lithophyllum byssoides var. trochanter*, *Lithophyllum grandiusculum*, *Lobophora variegata*.

### 2. ETAT DE CONNAISSANCES SUR LES CAULERPES AU LIBAN

La littérature parle de quatre espèces appartenant au genre *Caulerpa* dont chacune a été signalée une ou deux fois au Liban:

*Caulerpa prolifera*: cette espèce, indigène a été signalée pour la première fois en Méditerranée sur la côte de "Syrie" par Hamel en 1930. En 1976, Basson *et al.*, l'ont trouvée à Aaramane (au nord de la raffinerie de pétrole de Tripoli). Nous l'avons rencontrée, le 15/5/1993, à El Heri (70 km au nord de Beyrouth) dans le port de plaisance du complexe touristique Beaulieu sur mer. Elle y constitue un herbier dense dans les fonds de sable envasé et purifié; elle est suivie en profondeur (vers -4m) par l'herbier de *Cymodocea nodosa*.

*Caulerpa racemosa*: considérée comme un immigrant lessepsien, cette algue a été trouvée pour la première fois en Méditerranée, à Soussse en Tunisie (Hamel, 1926). Au Liban, elle est trouvée à Beyrouth par Aleem (1950) puis par Basson *et al.* (1976) à Aaramane. Nous l'avons rencontrée seulement à Tripoli, le 15/5/1993, sur un platier à vermetts et en contrebas du rebord jusqu'à -2m de profondeur. Elle n'y était pas abondante.

*Caulerpa mexicana*: cette espèce lessepsienne a été trouvée, en 1941, à Beyrouth (Rayss, 1941; 1955). Nous l'avons signalée seulement à El Manara (Beyrouth) juste en face de l'hôtel Riviera le 8/8/1991. Elle était installée, à -3m, sous forme d'une tâche ne dépassant pas un mètre carré sur un fond rocheux. Le substrat qui entoure la tâche était vide et ensablé. En 1992, elle a disparu de cette localité. Est-ce que cette disparition est due à l'échantillon que nous avons pris? ! Il est certain que l'hydrodynamisme intense a joué son rôle.

*Caulerpa scalpelliformis*: cette espèce lessepsienne est connue, en Méditerranée, de "Turquie et côtes levantines" (Boudouresque *et al.*, 1994). Elle a été signalée, pour la première fois, à Beyrouth par Hamel en 1930. En fait, nous l'avons jamais rencontrés depuis 1988, date de nos recherches scientifiques en plongée sous marine dans des fonds allant jusqu'à -26m de profondeur. Par contre, elle a été signalée, ainsi que les autres espèces, comme abondante, en Syrie (près de Tartous et Lattaquié (Mayhoub, 1976; Mayhoub et Abbas, 1992).

A ces quatre espèces, connue en Méditerranée, s'ajoute *Caulerpa taxifolia* qui fait, depuis son apparition en 1984 à Monaco, des ravages en Méditerranée nord occidentale. Cette espèce, introduite accidentellement, est reconnue comme "tueuse" et "envahissante". Elle est absente en Méditerranée orientale et en particulier au Liban. Par contre, il y a un problème similaire qui nous préoccupe depuis plusieurs années; c'est la présence en abondance, sur nos côtes, de l'algue brune *Styopodium zonale* (Mayhoub et Billard, 1991) ou *S. schimperi* (Verlaque et Boudouresque, 1991). En effet, nous l'avons trouvée tout le long de la côte libanaise; elle est bien adaptée et elle envahit des vastes surfaces tout en remplaçant les espèces indigènes. Ce phénomène a été suivi, en particulier, à Hannouch et à Barbara, où elle remplace les autres faciès comme, à titre d'exemple, celui de *Stypocaulon scoparium*. Cet envahissement est encore observé en Syrie (Mayhoub et Billard, 1991).

### 3. CONCLUSION

Depuis 1988, et d'après nos explorations en plongée sous marine jusqu'à -26m de profondeur, nous avons trouvé trois espèces du genre *Caulerpa*: une indigène (*C. prolifera*) et deux lessepsiennes originaires de l'océan indopacifique (*C. racemosa* et *C. mexicana*). Les deux dernières espèces ne présentent, actuellement, aucun problème sur les faciès caractéristiques de la côte libanaise. Nous signalons qu'il faut être vigilant et la surveillance de ces espèces migratrices est très important aussi bien en surface qu'en profondeur. Ceci ne pourra être réalisée sans l'aide des Ministères et des organismes concernés afin que les spécialistes accomplissent leurs tâches en la matière.

### 4. REFERENCES

- Aleem, A.A. (1950), Some new records of marine algae from the Mediterranean. *Acta Horti Göteborg*, 18:275-288
- Basson, P.W., J.T. Hardy and V. Lakkis (1976), Ecology of marine macroalgae in relation to pollution along the coast of Lebanon. *Acta Adriatica*, 18-19:307-325
- Bitar, G. (1996), Le macrozoobenthos. In: Etude de la biodiversité biologique du Liban. Pub.5: Faune et flore marines et côtières. Projet GF/6105-92-72. Minist. Agr.Liban, PNUE, 41-48, Tab. 22:113-126
- Bitar, G. et S. Bitar-Kouli (1995a), Aperçu de bionomie benthique et répartition des différents faciès de la roche littorale à Hannouch (Liban-Méditerranée orientale). *Rapp.Comm.int.Mer Médit.*, 34:19
- Bitar, G. et S. Bitar-Kouli (1995b), Impact de la pollution sur la répartition des peuplements de substrat dur à Beyrouth (Liban-Méditerranée orientale). *Rapp.Comm.int.Mer Médit.*, 34:19
- Boudouresque, C.F., A. Meinesz et V. Gravez (1994), Synthèse des résultats du programme CCE LIFE "expansion de l'algue verte tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée". First International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, a. Meinesz and V. Gravez, GIS Posidonie publ., Fr. pp.11-25
- Gruvel, A. (1931), Les Etats de Syrie. Richesses marines et pluviales. *Soc.Edit.Géogr.Marit. et Colon.*, Paris, 32, 6, 420 p.
- Hamel, G. (1926), Quelques algues rares ou nouvelles pour la flore méditerranéenne. *Bull.Mus.Nat.Hist.Nat.*, Paris, 32, 6, 420 p.

- Hamel, G. (1930), Les Caulerpes méditerranéennes. *Rev.Algol.*, 5:229-230
- Mayhoub, H. (1976), Recherches sur la végétation marine de la côte syrienne. Etude expérimentale sur la morphogenèse et le développement de quelques espèces peu connues. Thèse Doct. Etat, Caen, 286 p.
- Mayhoub, H. et C. Billard (1991), Contribution à la connaissance d'un *Styopodium* (Dictyotales, Phaephyceae) installé récemment sur les côtes syriennes. *Cryptog.-Algol.*, 12(2):125-136
- Mayhoub., H. et A. Abbas (1992) (en arabe). Algues marines d'intérêt économique et médical en Syrie. 2- Algues brunes et vertes. *Damascus Univ. journal*, 8(29,30):51-80
- Rayss, T. (1941), Sur les Caulerpes de la côte palestinienne. *Palestine J. Bot.Jerusalem*, 2:103-124
- Rayss, T. (1955), Les algues marines des côtes palestiniennes. I. Chlorophyceae. *The Sea Fish.Res.St.*, Haifa, 9:1-36
- Verlaque, M. et C.F. Boudouresque (1991), *Styopodium schimperi* (Buchinger ex Kutzing) Verlaque et Boudouresque *comb.nov.* (Dictyotales, Fucophyceae), algue de Mer Rouge récemment apparue en Méditerranée. *Cryptog.-Algol., Fr.*, 12(3):195-211

## MALTA

Darrin T. Stevens

Biodiversity & Protected Species Section  
Environment Protection Department  
Ministry of Foreign Affairs and the Environment

### 1. INTRODUCTION

The Maltese Islands lie in the central Mediterranean region along a sill separating the Western and Eastern Mediterranean basins. Consequently, the Maltese territorial waters are characterised by intermediate salinity, nutrient levels and temperature ranges when compared to either the Western or Eastern Mediterranean basins. Due to this, various species with a western distribution have their limit of distribution in the Maltese waters and vice-versa with respect to eastern Mediterranean taxa. Very often related taxa of Western or Eastern element are also both present. Hence, Lessepsian immigrants have also been able to colonise Maltese territorial waters as evidenced by *Halophila stipulacea*, first recorded in 1970 (Lanfranco, 1970) and *Caulerpa racemosa*, first discovered in 1997 (Lanfranco *et al.*, in preparation).

#### 1.1 Caulerpa species of the Maltese Islands

In the Maltese Islands, so far two species of *Caulerpa* have been recorded, namely *Caulerpa prolifera* and *Caulerpa racemosa* (Lanfranco, 1969; 1989; Lanfranco *et al.*, in preparation).

#### 1.2 Caulerpa prolifera

An indigenous species. It is used to form extensive meadows in sheltered areas on soft bottoms along the eastern part of the Maltese coastline. Though meadows are still present, they are not so extensive. It also grows in association with *Cymodocea nodosa* sea-grass meadows (Lanfranco, 1989). Due to physical disturbance in its area of distribution, it has been declining to the extent that it is listed in the Red Data Book of the Maltese Islands (Lanfranco, 1989).

#### 1.3 Caulerpa racemosa

*Caulerpa racemosa*, a recent discovery in the Maltese Islands, is possibly a Lessepsian immigrant, and is so far known from three sites (Lanfranco *et al.*, in preparation). Though still very rare on a Maltese standard, this is due to its localised distribution; nonetheless, it is very abundant in one of the sites where it has been discovered. The impact of this species on local biodiversity cannot at the moment be truly assessed since scientific research is still ongoing. What is definite is that it propagates vegetatively via stoloniferous growths.

Apparently, as present knowledge is available, the Central Mediterranean (Tunisia, Lampedusa, Maltese Islands and Hyblean Sicily) represents the westernmost distribution range of this otherwise Lessepsian entity in the Mediterranean (Alongi *et al.*, 1993).

#### 1.4 Caulerpa taxifolia

So far, *Caulerpa taxifolia* has not been reported from Maltese territorial waters, though its absence cannot be completely ascertained since no marine biodiversity monitoring project has ever been carried out in the Maltese Islands.

However, if not present, the Maltese waters are at high risk with respect to colonisation of this species:

- The species (*sensu lato*) is known from Sicily (Messina), which is relatively in close proximity of the Maltese Islands (Fradà Orestano *et al.*, 1994; Morucci *et al.*, 1996);
- Close links with Sicily and Italy due to intensive maritime exchange;
- Most of the Maltese territorial waters are shallow continental shelf, allowing a widespread distribution of this species;
- Maltese waters offer ideal conditions with respect to substrates, temperature and light intensity.

Apart from this, its establishment and subsequent dispersal is further enhanced due to:

- Massive use of fishing nets;
- Trawling along the inland territorial waters;
- Boating activities;
- Upwelling regions and hydrodynamic currents;
- Extensive rocky surface for colonisation.

A combination of the above would favour the spread of this species. Unfortunately, if this species spreads, it may have negative impacts, as suggested by various scientific authorities, on the ecology and economy of the country.

#### 1.5 Ecology

Due to its invasiveness, it may threaten local rocky and soft substrate mediolittoral communities, like the *Cystoseira*-based communities and sea-grass meadows (mainly *Posidonia*- and *Cymodocea*- based).

#### 1.6 Economy

One of the few natural resources of the Maltese Islands is the sea. This is exploited for various reasons, including fisheries and tourism. *Caulerpa* invasion may lead to a reduction in the important algal and sea-grass meadows on which local fisheries are dependent, but also create nuisance with respect to daily clearing of nets (due to the prolonged drying of the alga).

## 2. ACKNOWLEDGEMENTS

This report has been prepared with the help of Julie Tabone, who also provided many scientific papers on this issue. Special thanks are also due to Alfred E. Baldacchino and Edwin Lanfranco for correcting the draft report and again to Edwin Lanfranco for giving permission to quote his unpublished work.

### 3. REFERENCES

- Alongi, G., M. Cormaci, G. Furnari and G. Giaccone (1993), Prima segnalazione di *Caulerpa racemosa* (Chlorophyceae, Caulerpales) per le coste italiane. *Boll.Acc.Gioenia Sci.Nat.*, 26(342):49-53
- Fradà Orestano, C., S. Calvo and B.M. Ferreri (1994), First Record of *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh in the South-western Mediterranean. *Giorn.Ital.*, 128(3-4):813-815
- Lanfranco, E. (1969), A revised check-list of Maltese algae. Malta: National Press, 24 p.
- Lanfranco, E. (1970), The occurrence of *Halophila stipulacea* (Forsskål) Ascherson in Maltese waters. *Maltese Naturalist*, 1(1):16-17
- Lanfranco, E. (1989), The Flora. In: Red Data Book for the Maltese Islands, edited by P.J. Schembri and J. Sultana. Malta: Department of Information, pp.5-70
- Lanfranco, E., C. Mifsud and J. Borg (in preparation), First Records of *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh for the Maltese Islands. (Provisional Title)
- Morucci, C., C. Fradà Orestano, R. Sandulli, G. Tripaldi and S. Calvo (1996), Progression of *Caulerpa taxifolia* along the north-eastern coasts of Sicily (Messina, Italy). In: Second International Workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gomez and V. Gravez. Spain: Publications Universitat Barcelona, pp.75-80

## MONACO

Jean JAUBERT<sup>1,2</sup>, John R. M. CHISHOLM<sup>1</sup>, Herb RIPPLEY<sup>3</sup>,  
Laura PRITCHETT<sup>3</sup> et David CADOT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Observatoire Océanologique Européen, Centre Scientifique de Monaco,

<sup>2</sup>Université de Nice, Laboratoire d'Ecologie Expérimentale, Campus, Nice

<sup>3</sup>Hyperspectral Data International, One Research Drive, Dartmouth, Canada

Des images à haute résolution spectrale et spatiale des biotopes peu profonds de la baie de Menton, furent obtenues à l'aide d'un spectrographe imageur aéroporté (Compact Airborne Spectrographic Imager, CASI), monte sur un hélicoptère léger. Les images furent acquises en septembre et octobre 1997, dans des conditions météorologiques idéales (ciel sans nuage, mer calme, eau claire), à une époque proche du développement saisonnier maximum de *Caulerpa taxifolia*. Un étalonnage préalable avait permis de montrer que de bons résultats étaient obtenus avec une sélection de canaux correspondant aux régions bleues et bleu-vertes du spectre (bande de longueurs d'ondes comprises entre 0,4 et 0,5  $\mu\text{m}$ ). Les images furent corrigées radiométriquement et géométriquement et calées, géographiquement en coordonnées UTM, avec une précision de  $\pm 3$  m, en utilisant des photographies aériennes de l'Institut Géographique National (IGN) et un GPS différentiel. Par superposition des images géocodées et de cartes bathymétriques très précises (spécialement établies pour la circonstance) de la zone étudiée, il sera possible de définir avec précision la profondeur maximale à laquelle les populations de l'algue *Caulerpa taxifolia* et de la phanérogame *Posidonia oceanica* peuvent être identifiées à partir de leurs signatures spectrales respectives (soit environ 15-20 m). Les données obtenues au moyen du CASI semblent contredire de façon nette certaines revendications quant à l'étendue des zones densément colonisées dans la baie de Menton et à la capacité de l'algue à faire régresser les herbiers à posidonies. Dans la zone étudiée, le taux de recouvrement du fond par *Caulerpa taxifolia* a souvent été considéré comme l'un des plus élevés de la Côte d'Azur. Pourtant, les données du CASI indiquent un taux moyen de couverture de l'ordre de 2,5 %. Les populations denses de cette algue sont confinées à deux zones distinctes. La première population forme une bande qui s'étire, à faible profondeur, le long du rivage, très peuplée, de la face Est du Cap Martin. En profondeur, cette population atteint la limite supérieure d'un herbier clairsemé à posidonies. Bien que ces deux végétations s'entremêlent, aucune des touffes de posidonies repérées sur des photographies prises par l'IGN en 1988, n'a été éliminée ni même sensiblement réduite par *Caulerpa taxifolia* (Figure). La deuxième population dense de *Caulerpa taxifolia* occupe une zone d'environ 800 m de long et 200 m de large, située en face des deux déversoirs d'orages qui évacuent des eaux contenant des polluants entraînés par lessivage des sols de la ville de Menton et des collines du bassin versant. Il semble que *Posidonia oceanica* existait à cet endroit au début du siècle et qu'elle ait disparu avant l'apparition de *Caulerpa taxifolia*. Aujourd'hui, cette zone est colonisée par une population mixte à *Caulerpa taxifolia* et *Cymodocea nodosa* qui semblent coexister sur un substrat sablo-vaseux. L'une des observations les plus intéressantes de cette étude est que cette population mixte semble montrer les signes d'un début de colonisation par *Posidonia oceanica*. Si cette observation était confirmée et si le processus se poursuivait, on pourrait dire que *Caulerpa taxifolia* joue un rôle semblable à celui de *Caulerpa prolifera* dans la succession des populations pouvant aboutir à l'installation de l'herbier à posidonies.

## MONACO

Jean JAUBERT<sup>1,2</sup>, John R. M. CHISHOLM<sup>1</sup>, Herb RIPPLEY<sup>3</sup>,  
Laura PRITCHETT<sup>3</sup> and David CADOT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Observatoire Océanologique Européen, Centre Scientifique de Monaco,

<sup>2</sup>Université de Nice, Laboratoire d'Ecologie Expérimentale, Campus, Nice

<sup>3</sup>Hyperspectral Data International, One Research Drive, Dartmouth, Canada

High resolution spectral images of shallow, marine habitats in the Bay of Menton, French Riviera, were obtained using a Compact Airborne Spectrographic Imager (CASI) mounted on a small helicopter. Images were collected in September-October, 1997, when perfect sky and sea conditions (no cloud, flat sea-surface, high water clarity) coincided with maximum seasonal development of *Caulerpa taxifolia*. Initial calibration demonstrated maximum information return when the instrument was set to record, principally, in the blue and blue-green regions of the electromagnetic spectrum (0.4 - 0.5  $\mu\text{m}$  wavelength). The images were corrected for radiometric distortion and aircraft roll and located in the horizontal plane to  $\pm 3$  m using differential GPS (UTM coordinates) and aerial photography (French National Geographic Institute, IGN). Superimposition of the geo-referenced images on bathymetric charts of the study area, prepared using sonar (1 m resolution), demonstrated that populations of *Caulerpa taxifolia* and the seagrass, *Posidonia oceanica*, could be differentiated and mapped to a depth of 15-20 m on the basis of their spectral signatures. The data obtained by CASI contrast sharply with existing claims about both the cover of *C. taxifolia* in the Bay of Menton and the alga's capacity to overgrow beds of *P. oceanica*. The cover of *C. taxifolia* in the study area is considered to be higher than in most other parts of the French Riviera. CASI data indicate an average cover of only 2.5%. Dense populations of the alga are confined to 2 distinct localities. The first population exists in shallow-water along the more heavily developed eastern seaboard of Cap Martin; it extends from close to the shore to the upper limits of an ill-defined *P. oceanica* bed. While the two populations are mixed at their interface, none of the patches of *P. oceanica* that were recorded on photographs taken by the IGN in 1988 has been overgrown by *C. taxifolia* (Figure). The second population occupies an area 800 m long by 200 m wide in front of 2 storm-water drains that evacuate waste from the city of Menton and surrounding hills. Although, *P. oceanica* occurred here in the early part of this century it had disappeared before the emergence of *C. taxifolia*. In this locality, *C. taxifolia* shares the muddy-sand substratum with the phanerogam, *Cymodocea nodosa*. The most interesting aspect of the data is that this mixed community of *C. taxifolia* and *C. nodosa* is now showing evidence of de novo colonisation by *P. oceanica*. If this continues, it might be argued that *C. taxifolia* fulfils a similar early successional role to *Caulerpa prolifera* in the development of seagrass beds.



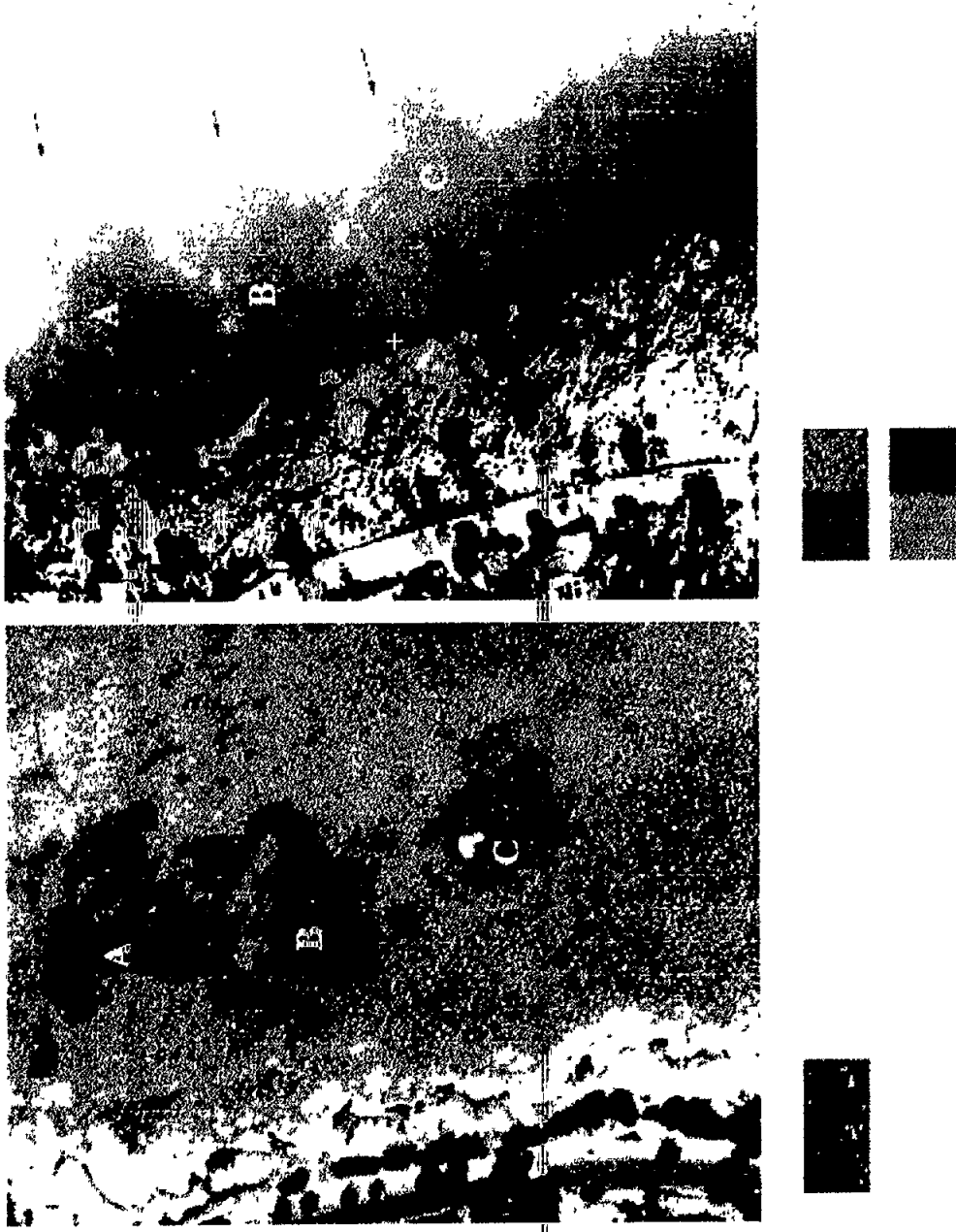


Figure: Samples of preliminary results (feasibility study). Left: aerial photo shot by the French National Geographic Centre (IGN), in 1988, showing *P. oceanica* beds (dark blue) along the eastern side of cape Martin (French Riviera). Right: colour composite image of the same area (data collected, in 1997, with a CASI) showing the distribution of *P. oceanica* beds (blue) and *C. taxifolia* stands (red).

## SLOVENIA

Robert TURK<sup>1</sup> and Aleksander VUKOVIČ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Regional Institute for Natural and Cultural Heritage Protection, Piran

<sup>2</sup> National Institute of Biology, Marine Biological Station, Piran

### 1. AREA DESCRIPTION

The Slovenian coastal area covers the southern part of the Gulf of Trieste in the North Adriatic. The Gulf of Trieste is a shallow marine ecosystem where characteristics of the coastal and open waters of the Northern Adriatic are combined. With few exceptions the depth does not exceed 25 m. Because of its shallowness and the freshwater inputs as well, the waters of the gulf experience considerable temperature and salinity variations. Also remarkable are the tidal amplitudes. Besides its physical, chemical and biological characteristics there is another important feature to be mentioned, namely the intensive urbanisation of its coastline and in consequence a serious degradation of the coastal ecosystems.

On the 46 km long Slovenian coast there are four major urban settlements, Koper, Izola, Piran and Portorož with approximately seventy thousands inhabitants. There is an important harbour in the town of Koper and a shipyard in Izola. Most of the industrial plants are also located around the two towns. As for the tourist facilities they are located mostly in the southernmost part of the coastal area, in the towns of Piran and Portorož. The last is a typical summer resort with hotels and all the adjoining facilities. There are also four yacht harbours, one in each town.

Out of the forty six kilometres there is all together less than eight kilometres of natural coastline left. It is obvious that even on this eight kilometres we can not talk about real naturalness since there are numerous indirect and direct impacts from various human activities. Among the indirect impacts are those due to sewage and industrial outlets, traffic and other activities placed on the urbanised part of the coastal area. Direct impacts on the remaining parts of natural coastline are derived mainly from tourism (leisure boats traffic, anchoring), fishing and collecting mussels.

### 2. PRESENT SITUATION AND ACTIVITIES

Regular and systematic research of the benthic flora is been carried out for more than 25 years now (Vukovič, 1980; Vrišer *et al.*, 1981; Vukovič, 1982; Vukovič, 1984; Vukovič and Semroud, 1984; Bussani and Vukovič, 1987; Turk, 1991; Vrišer and Vukovič, 1996). According to the available data and the current research, done mostly by the Marine biological Station in Piran, there is no evidence of the presence of *Caulerpa taxifolia* or any other species of the genus *Caulerpa* so far in the Slovenian sea and presumably in the entire Gulf of Trieste.

Giaccone (1978) states the presence of *Caulerpa prolifera* a bit southern on the western coast of Istria (Croatia). In spite of that, according to Jaklin (1998), there is no evidence of *Caulerpa* species in the current research done by the institute of Rovinj.

### 3. FUTURE ACTIVITIES

The planned activities in the forthcoming years, as the benthic flora is concerned, are aimed at the completion of existing inventories of algal species and associations of the Slovenian sea. Regular surveys will continue all along the coast and especially in the protected marine and coastal areas.

### 4. REFERENCES

- Bussani, M. and A. Vukovič (1987), Benthic algal species in the Miramare marine reserve. *Hydrores*, 4(5):1-44
- Giaccone, G. (1978), Revisione della flora marina del mare Adriatico. Supplemento dell'annuario 1977 del WWF - Parco marino di Miramare, Vol.VI, N. 19
- Jaklin, A. (1998) (pers. comm.)
- Turk, R. (1991), Main Features and Role of the Strunjan Marine and Coastal Reserve. M.Sc. Thesis
- Vrišer, B. and A. Vukovič (1996), Inventory of benthic associations of the Rt Madona protected area. 35 p.
- Vrišer, B., A. Avčin and A. Vukovič (1981), Typical features of the benthic associations in the gulf of Izola. *Slovensko morje in zaledje*, 4-5:201-206
- Vukovič, A. (1980), Algal associations in the gulf of Piran. *Biol.Bull.*, 28(2):103-119
- Vukovič, A. (1982), Benthic flora of the gulf of Koper. *Acta Adriatica*, 23(1/2):227-235
- Vukovič, A. (1984), Contribution to the knowledge on the algal species in the Slovenian sea. *Slovensko morje in zaledje*, 7(6-7):189-193
- Vukovič, A. and R. Semroud (1984), Marine phanerogams in the Slovene coastal sea. *Slovensko morje in zaledje*, 7(6-7):157-164

## ESPAGNE

Maria Antonia RIBERA SIGUAN

Laboratori Botànica, Facultat de Farmàcia  
Universitat de Barcelona

### 1. PRÉSENCE DU GENRE *CAULERPA* EN ESPAGNE

Deux espèces du genre *Caulerpa* (*C. prolifera* (Forsskäl) Lamour. et *C. taxifolia* (Vahl) C. Agardh) se trouvent actuellement sur les côtes méditerranéennes de l'Espagne.

*Caulerpa prolifera* est une espèce abondante sur les fonds mobiles des baies fermées, petits ports, lacunes côtières, constituant des populations photophiles caractéristiques le long de toute la côte méditerranéenne de la péninsule ibérique et des îles Baléares. Mais la distribution et, surtout, l'abondance de cette plante présente des importantes fluctuations au cours du temps; des populations sont en train de disparaître tandis que d'autres souffrent des accroissements assez spectaculaires. Ces deux phénomènes, qui ont parfois lieu en même temps, peuvent être dus à la fragilité des biotopes colonisés par cette algue, soumis souvent à des altérations anthropiques, mais aussi à son comportement d'espèce à croissance rapide et propagation facile

La présence de *Caulerpa taxifolia* en Espagne est, par contre, très récente et ponctuelle. *C. taxifolia* a été signalée pour la première fois dans nos côtes en 1992 à Cala d'Or à l'île de Mallorca. Actuellement elle existe dans deux localités de cette île: Cala d'Or avec une surface couverte de 2.475 m<sup>2</sup> sur une surface concernée de 134.000 m<sup>2</sup>, et Porto Petro avec une surface couverte de 10.000 m<sup>2</sup> sur une surface concernée de 165.000 m<sup>2</sup> (Meinesz *et al.*, 1997).

### 2. ACTIVITÉS DÉVELOPPÉS EN ESPAGNE CONCERNANT *CAULERPA TAXIFOLIA*

#### 2.1 Initiatives de l'Espagne

L'Espagne a commencé à s'intéresser au phénomène de l'expansion de *C. taxifolia* en Méditerranée en 1992, c'est à dire quand la présence de cette algue dans les côtes de Monaco et de France était déjà importante mais quand elle ne se trouvait pas encore dans les nôtres. La participation de l'Espagne aux activités en relation avec ce problème s'est initiée par des initiatives indépendantes.

- D'un côté le Centre d'Études Avancés de Blanes (CEAB), appartenant au Conseil Supérieur des Recherches Scientifiques de l'Espagne (CSIC), entreprit la surveillance des côtes de la Catalogne puisque l'algue se trouvait déjà très proche de la frontière avec l'Espagne, avec le financement de la Junta de Sanejament de la Département de l'Environnement du Gouvernement catalan.

- En même temps la Direction Générale de Pêche du Gouvernement des îles Baléares mit en place un plan de prévention contre cette algue et, dans ce cadre, une entreprise privée de Palma de Mallorca (DRAGOSUB), qui s'était intéressée à l'expansion de *Caulerpa*, se déplaça à la côte d'Azur pour voir *in situ* le phénomène.

- Et finalement, en même temps aussi, la Direction Générale de Politique de l'Environnement appartenant au Ministère des Travaux Publics, Transport et Environnement du Gouvernement central créa une Commission Nationale pour le suivie de *C. taxifolia*, comme existait déjà en France, intégrée par des représentants des différentes administrations aussi

bien centrales qu'autonomiques ainsi que des chercheurs des différents centres.

## 2.2 Participation de l'Espagne dans les programmes LIFE

Quand à la fin de 1992 le Projet du Programme LIFE "L'expansion de l'algue verte tropicale *C. taxifolia* en Méditerranée" fût présenté à la Direction Générale IX de la C.E, la Commission Nationale pour le suivie de *C. taxifolia* étudia de près l'élaboration de ce programme. Elle joua un rôle décisif pour obtenir le budget nécessaire comme co-financement espagnol en réussissant à y faire participer les administrations de presque toutes les régions autonomiques riveraines de la Méditerranée ainsi que le gouvernement central. Cette Commission cessa son activité en 1995, à la fin du Programme LIFE 1993-94. L'Espagne participa à 5 des sujets considérés: biologie-écologie, toxicité, sensibilisation, surveillance et cartographie, et contrôle de l'expansion.

Pour ce qui concerne le Programme LIFE 1996-98 "Contrôle de l'expansion de *C. taxifolia* en Méditerranée" l'Espagne participe aux sujets sensibilisation, surveillance et cartographie, contrôle de l'expansion et formation. Les importants changements politiques arrivés dans notre pays avec le nouveau gouvernement de l'état espagnol ont touché aussi la politique environnementale et le problème *C. taxifolia* a laissé de mériter leur attention. La principale conséquence a été le manque de co-financement des administrations du gouvernement de l'état espagnol à ce deuxième programme LIFE.

### 2.2.1 Recherche

Les études de biologie-écologie de *C. taxifolia*, réalisées par le Centre d'Études Avancés de Blanes avec le co-financement du Ministère des Travaux Publics, Transport et Environnement, ont traité tout particulièrement l'effet des variations de quelques paramètres comme nutriments, lumière et température sur la productivité de cette algue (Delgado *et al.*, 1996; Gacia *et al.*, 1996; Rodríguez Prieto *et al.*, 1996; Sant *et al.*, 1996a; Sant *et al.*, 1996b).

Des études de toxicité sur l'effet de la possible diffusion des toxines de *C. taxifolia* dans l'eau sur quelques algues de notre flore marine, en mesurant la croissance des peuplements pour les microalgues et la productivité des individus pour les macroalgues, ont été développés par le Laboratoire de Botanique de la Faculté de Pharmacie de l'Université de Barcelone, avec le co-financement du Ministère d'Éducation et Culture (Clavero *et al.*, 1994; Ferrer *et al.*, 1994; Ferrer *et al.*, 1997; Gómez Garreta *et al.*, 1996; Merino *et al.*, 1996)

### 2.2.2 Surveillance, cartographie et contrôle

Pour ce qui concerne la surveillance des côtes, elle comprend la côte méditerranéenne de l'Espagne, c'est à dire les régions autonomes des Baléares, de Catalogne, de Valence, de Murcie et d'Andalousie. La surveillance de la Murcie et l'Andalousie s'est déroulée pendant les années 1993-94 encadrée dans le premier programme LIFE. Par contre, la surveillance des côtes des îles Baléares et de la région valencienne s'est déroulée d'une façon ininterrompue, dès 1992 aux Baléares et 1993 à Valence, jusqu'à nos jours à cause de son majeur risque d'être colonisé par *C. taxifolia* tenant compte de la fréquentation de plaisanciers et de sa proximité à des zones déjà colonisées. Il faut signaler que, dans les deux cas, le programme de contrôle a profité du financement des deux programmes LIFE et que les administrations de chaque région ont apporté le co-financement nécessaire pour la surveillance de sa côte. Le programme de surveillance de la côte de Catalogne a été toujours uniquement financé par le gouvernement autonome puisque, par exprès désir de celui-ci, il n'a jamais été inclus dans les programmes LIFE.

- Le réseau de surveillance de la région de Valence, avec 446 km de côte, comprend 32 sites choisis en fonction du risque de l'implantation de *C. taxifolia*. Le contrôle des sites se fait

par des transects avec scooter ou bien des plongées ponctuelles. Dès 1997 l'exploration des fonds se réalise utilisant une vidéo sous-marine avec moniteur sur le bateau ce qui permet une plus grande efficacité de la surveillance surtout à l'intérieur des ports.

- Le programme de surveillance de la côte de Catalogne, initié en 1992, comporte le contrôle périodique de 111 points, distribués le long de la côte catalane, par deux plongeurs (Torres *et al.*, 1996).

- Le plan de prévention aux îles Baléares permit de détecter en 1992 la première population de *C. taxifolia* en Espagne. À Cala d'Or, au sud-est de l'île de Mallorca, on trouva plusieurs tâches de *C. taxifolia* avec une surface totale de 200 m<sup>2</sup> sur une zone considérée affectée de presque 20.000 m<sup>2</sup> (Pou *et al.*, 1993). Immédiatement le gouvernement autonome des îles Baléares prit la décision d'éradiquer cette population de *C. taxifolia* et prit à son charge les frais de cette opération; seulement 7 jours après l'observation de l'algue on initia l'éradication. La technique utilisée a été l'arrachage manuel, à l'aide d'une suceuse mécanique, par des plongeurs biologistes appartenant à la Direction Générale de Pêche des îles Baléares, à l'entreprise privée DRAGOSUB et au CEAB. La durée des travaux d'éradication a été d'approximativement 400 heures (Riera *et al.*, 1994). La présence de cette espèce aux Baléares obligea, d'un côté, à mener un intense plan de surveillance des côtes des quatre îles principales, avec un réseau de 124 sites et, d'un autre, à un contrôle de la zone affectée. Ce programme a été dirigé par la Direction Générale de Pêche des îles Baléares avec la collaboration de l'Institut Espagnol d'Océanographie pour ce qui concerne le réseau de surveillance, et de différentes entreprises privées pour les successives phases du contrôle de la zone affectée (Grau *et al.*, 1996). Quand la population de Cala d'Or semblait contrôlée puisque le nombre de jeunes repousses enlevées chaque année diminuait progressivement, deux nouvelles populations ont apparue en 1995 tout près de la première: une tâche située dans la petite calanque de Cala Llonga, dans la même baie de Cala d'Or, de 1200 m<sup>2</sup> de surface avec une zone affectée de 120.000 m<sup>2</sup>, et une autre, de 5.600 m<sup>2</sup> de surface sur une zone affectée de 120.000 m<sup>2</sup>, dans la baie de Porto Petro à trois kilomètres de Cala d'Or. La tâche de Cala Llonga peut avoir son origine à partir de quelques plantes de la première population de Cala d'Or tandis que celle de Porto Petro peut être due au transport par des plaisanciers. Ces nouvelles populations ont été objet aussi d'un plan de contrôle de son expansion avec des éradications partielles pendant les années 1995, 1996 et 1997, mais malheureusement la densité de la population et les caractéristiques du site ont permis tout juste ralentir l'expansion.

### 2.2.3 Sensibilisation

L'Espagne a participé aussi dans le programme de sensibilisation, coordonné par le Centre de d'Études Avancés de Blanes, inclus dans les deux programmes LIFE. Il a compris l'édition et la distribution de 41.000 brochures en castillan et catalan et 9.000 posters pour le premier LIFE et 20.000 brochures pour le deuxième LIFE. Toutes les 23 signalisations de *C. taxifolia* ont été validées avec un résultat toujours négatif (Ballesteros *et al.*, 1994; Ballesteros *et al.*, 1996).

### 2.3 Législation

L'expansion de *C. taxifolia* alerta sur le danger des activités réalisées avec des espèces exotiques et mit de relief les vides existants dans la législation actuelle sur ce sujet. La présence de *C. taxifolia* dans nos côtes et sa rapide progression en Méditerranée ont conduit, en septembre 1992, à la publication par le Gouvernement de Catalogne d'un décret sur l'interdiction de la commercialisation, distribution et vente de *C. taxifolia* en territoire catalan. Plus tard, dans les années 1994 et 1995, des décrets avec le même contenu ont été publiés par les gouvernements autonomes des îles Baléares et de la région de Valence. Finalement en 1996 fut publiée une *Ordre du Ministère d'Agriculture et Pêche du gouvernement central sur l'interdiction de l'extraction de C. taxifolia des eaux extérieures du littoral espagnol avec le but d'empêcher*

la dissémination de cette algue à partir de nos populations.

#### 2.4 Appel de Barcelone

En décembre 1994 a eu lieu à Barcelone le deuxième Workshop International sur *C. taxifolia* organisé par l'Université de Barcelone en collaboration avec le CEAB et le Musée de la Science de Barcelone. Dans ce séminaire les 210 participants, correspondant à 9 pays, ont exposé les conclusions sur tous les aspects traités dans le programme LIFE 1992-1994, qui ont donné lieu à la présentation de 54 communications (Ribera *et al.*, 1996). Tenant compte des résultats obtenus et de la constatation de la rapide progression de *C. taxifolia*, les participants au Workshop ont élaboré et approuvé un texte nommé Appel de Barcelone, qui voulait d'une façon très synthétique faire le point sur le problème *C. taxifolia* et alerter les autorités. Ce texte, qui a eu une grande diffusion, finissait en appelant aux gouvernements des pays concernés et aux organisations internationales comme l'UNEP à appliquer le principe de précaution et à définir une stratégie internationale à suivre.

### 3. RÉFÉRENCES

- Ballesteros, E., S. Pou, A.M. Grau, F. Riera, A. Aranda, A. Pérez-Ruzafa and C. Rodríguez-Hiralgo (1994), Primeros resultados de la campaña de sensibilización europea sobre la invasión de *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C.Agardh. Situación en las costas mediterráneas españolas a finales de 1993. First international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez, GIS Posidonie publ., Fr., pp.117-120
- Ballesteros, E., A. Aranda, S. Pou, A.M. Grau, F. Riera, A. Perez-Ruzafa and C. Rodríguez-Hiraldo (1996), Valoración de la campaña de sensibilización y vigilancia sobre la invasión de *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C.Agardh en las costas mediterráneas españolas. Programa Life (1993-1994). Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gómez and V. Gravez, Universitat Barcelona publ., Sp., pp.63-66
- Clavero, E., V. Merino and M. Hernández Mariné (1994), Comparison of the effect of *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C.Agardh and other macroalgae on the growth of marine microalgae. First international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez, GIS Posidonie publ., Fr., pp.229-232
- Delgado, O., C. Rodríguez Prieto, E. Gacia and E. Ballesteros (1996), Lack of severe nutrient limitation in *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh, an introduced seaweed spreading over the oligotrophic northwestern Mediterranean. *Botanica Marina*, 39:61-67
- Ferrer, E., M. Hernández Mariné, V. Merino, E. Clavero et M.A. Ribera (1994), Variations de la productivité de *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh en présence de microalgues. First international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez, GIS Posidonie publ., Fr., pp.219-221
- Ferrer, E., A. Gómez Garreta and M.A. Ribera (1997), Effect of *Caulerpa taxifolia* on the productivity of two Mediterranean macrophytes. *Mar.Ecol.Progr.Ser.*, 149:279-287
- Gacia, E., C. Rodríguez Prieto, O. Delgado and E. Ballesteros (1996), Seasonal light and temperature responses of *Caulerpa taxifolia* from the northwestern Mediterranean. *Aquatic Botany*, 53:215-225

- Gómez Garreta, A., E. Ferrer et M.A. Ribera (1996), Impact de *Caulerpa taxifolia* sur les zygotes de *Cystoseira mediterranea* (Fucales). Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gómez and V. Gravez, Universitat Barcelona publ., Sp., pp.277-280
- Grau, A.M., S. Pou, F. Riera, E. Pastor and E. Ballesteros (1996), Monitoring of the population of *Caulerpa taxifolia* in Cala d'Or (Mallorca, Western Mediterranean): situation at the end 1994, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gómez and V. Gravez, Universitat Barcelona publ., Sp., pp.131-133
- Meinesz, A., J.M. Cottalorda, D. Chiaverini, M. Braun, N. Carvalho, M. Febvre, S. Ierardi, L. Mangialajo, G. Passeron-Seitre, T. Thibaut et J. Vaugelas (1997), Suivi de l'invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* devant les côtes françaises de la Méditerranée: Situation au 31 décembre 1996. Ed Laboratoire Environnement Marin Littoral, Université de Nice-Sophia Antipolis. 190 p.
- Merino, V., E. Clavero and M. Hernández-Mariné (1996), Seasonal variations in the effect of *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh on the growth of marine microalgae. Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gómez and V. Gravez, Universitat Barcelona publ., Sp., pp.265-270
- Pou, S., E. Ballesteros, O. Delgado, A.M. Grau, F. Riera and B. Weitzmann (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
- Ribera, M.A., E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gómez and V. Gravez, edit (1996), Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*, Universitat Barcelona publ., Sp., 457 p.
- Riera, F., S. Pou, A.M. Grau, O. Delgado, B. Weitzmann and E. Ballesteros (1994), Eradication of a population of the tropical green algae *Caulerpa taxifolia* in Cala d'Or (Mallorca, Western Mediterranean): methods and results. First international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by C.F. Boudouresque, A. Meinesz and V. Gravez, GIS Posidonie publ., Fr., pp.327-331
- Rodríguez Prieto, C., E. Gacia, O. Delgado, N. Sant and E. Ballesteros (1996), Seasonality in the productivity of Mediterranean *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh in relation to light and temperature: January and April 1994. Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gómez and V. Gravez, Universitat Barcelona publ., Sp., pp.197-201
- Sant, N., O. Delgado, C. Rodríguez Prieto and E. Ballesteros (1996a), The spreading of the introduced seaweed *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh in the Mediterranean Sea: testing the boat transportation hypothesis. *Botanica Marina*, 39:427-430
- Sant, N., O. Delgado, C. Rodríguez Prieto, E. Gacia, G. Ribera and E. Ballesteros (1996b), Comparative study of photosynthetic characteristics between some autochthonous Mediterranean dominant macroalgae and *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh. Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gómez and V. Gravez, Universitat Barcelona publ., Sp., pp.265-270
- Torres, M. de., O. Delgado, B. Weitzmann, D. Martin, M. Maldonado, G. Ribera, N. Sant and E. Ballesteros (1996). Surveillance programme on the introduction of *Caulerpa taxifolia* in the Catalan coast. Years 1992-1994. Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*, edited by M.A. Ribera, E. Ballesteros, C.F. Boudouresque, A. Gómez and V. Gravez, Universitat Barcelona publ., Sp., pp. 67-73



## TUNISIE

Sami BELKHIRIA

Agence Nationale de Protection de l'Environnement, Tunis

Dans le cadre de la politique actuelle adoptée par la Tunisie en matière de conservation biologique, diverses campagnes de sensibilisation ont été menées ces dernières années de même que des programmes d'éducation environnementale ont été conduits afin de colporter les nouvelles idées écologiques et de transmettre auprès de chacun un réel souci de sauvegarde de patrimoine naturel national.

Sur le plan juridique, les principales conventions internationales pour la protection de la mer Méditerranée ont récemment été ratifiées (Loi n° 98-15) et une législation propre existe afin de prévenir toute introduction d'espèces étrangères (Loi n° 92-72; ...). Des procédures répressives sont d'ors et déjà d'application, notamment par le biais des activités de l'Agence Nationale de Protection de l'Environnement sanctionne tout contrevenant.

Plus spécifiquement, en réponse à la menace grandissante de jour en jour qui constitue l'expansion de *C. taxifolia* sur les rives Nord de la Méditerranée, un Programme d'Actions National a été initié sous l'égide du Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire (MEAT) avec la participation de plusieurs institutions nationales. Un comité de suivi réunissant des représentants de plusieurs Ministères (Environnement, Agriculture, Tourisme, Défense), d'organismes de recherche (Faculté des Sciences de Tunis, Institut National des Sciences et Technologies de la Mer), d'ONG, ainsi que du CAR/ASP, composante du PAM hébergée par la Tunisie.

Diverses actions ont déjà été menées:

- En août 1997, une campagne de prospection organisée par l'ONG Greenpeace Tunisia et soutenue par le MEAT réunissant pour la première fois scientifiques, décideurs, hommes de terrain, journalistes, à bord du navire Sirius.

Au total 25 stations réparties sur 8 zones le long du littoral Nord ont systématiquement été prospectées par des équipes de plongeurs. Aucune colonie de *C. taxifolia* n'a été découverte. Ceci laisse à penser que les côtes septentrionales de la Tunisie qui sont potentiellement les plus exposées à une éventuelle contamination sont toujours indemnes.

- Dans le but d'informer et de sensibiliser les populations concernées, des brochures explicatives ont également été conçues et distribuées aux différents utilisateurs de la mer. Une journée d'information destinée principalement aux cadres et aux décideurs de l'environnement a été organisée en collaboration avec le CAR/ASP.

- De même, des enquêtes ont été menées auprès des pêcheurs et des plaisanciers. C'est ainsi que trois témoignages émanants de trois pêcheurs basés dans des ports différents qui ont reconnu les photos et échantillons qui leur ont été présentés ont pu être récoltés. L'algue aurait été observée à la limite des eaux territoriales tunisiennes, sur les bancs de Talbot et des Esquerquisses. Un avis de recherche a été envoyé à tous les pêcheurs opérants dans ces zones. A ce jour, ces signalisations n'ont pu être vérifiées.

Jusqu'à présent, aucune observation ne vient confirmer la présence de l'algue *C. taxifolia* dans les eaux territoriales tunisiennes. Malheureusement, l'information demeure éparse et ne parvient pas systématiquement aux décideurs, ce qui ralentit considérablement toute action entreprise. C'est pourquoi, il est urgent de mettre en place, à l'échelle du bassin Méditerranéen,

une banque de données et une stratégie commune d'information et de concertation qui soient compatibles avec les besoins réels de chaque pays riverain.

Par ailleurs, qu'en est-il des autres espèces invasives? Ainsi, parmi les nombreuses espèces introduites en Méditerranée, une caulerpe autre que *taxifolia* mériterait un peu plus d'attention. Il s'agit de *C. racemosa*. Cette algue a été signalée pour la première fois en 1926 dans le port de Sousse. Elle a aujourd'hui colonisé une bonne partie des côtes tunisiennes.

La campagne effectuée en août 1997 confirme sa présence en plusieurs endroits et fait état de plusieurs colonies denses aux îles Cani là où, en 1992, elle n'était pas encore arrivée.

Certes, la présence de la *racemosa* en Méditerranée, n'a engendré aucune situation hautement alarmante à ce jour mais sa progression n'en demeure pas moins inquiétante puisqu'on la rencontre aussi actuellement sur les rives Nord du bassin Méditerranéen (notamment, sur le littoral français et en mer Egée).

*C. racemosa* s'observe jusqu'à des profondeurs supérieures à 40 mètres, et dans les herbiers de posidonies, elle se comporte en épiphyte. Son expansion n'aurait-elle donc pas, elle aussi, des conséquences désastreuses sur les écosystèmes?

Il serait pertinent d'étudier plus en profondeur la biologie et le comportement de cette algue. Il faut insister sur le fait que plus d'intérêts devraient être portés par la communauté scientifique internationale sur *C. racemosa* pour pouvoir parer à toute fâcheuse éventualité. Il en est de même pour les donateurs de fonds de la part desquels une plus grande implication est attendue afin de maintenir et de renforcer les efforts déjà engagés en matière de protection de la biodiversité.

## SYRIE

Kazem AHMAD

Ministère d'Etat pour des Affaires Environnementales, Damascus

### 1. INTRODUCTION

Les algues benthiques de la côte syrienne sont très mal connues. Le travail de Mayhoub *et al.* a été le seul consacré aux recherches sur la végétation marine de la côte Syrienne.

Il en cite 350 espèces, dont 175 algues rouges et (1976) qui sont très mal connues, dont *Coccolitus neohelis* sur la côte syrienne (Mayhoub, 1976) et 4 espèces de caulerpe: *C. prolifera*, *C. racemosa*, *C. scalpelliformis*, et *C. mexicana*.

### 2. ETAT DES CONNAISSANCES SUR LES CAULERPES EN SYRIE

*Caulerpa prolifera*: Cette espèce indigène a été signalée pour la première fois en 1930 par Hamel en Méditerranée sur le littoral syrien (Rayss, 1955). En 1976, Basson relève qu'elle constitue un herbier dense dans les fonds de sable envasé et purifié elle est suivie en profondeur (vers- 60m) par l'herbier de (NO3) sur le segment de Tartous. Lattaquié est cité dans Aroid et Jableh.

### 3. REFERENCES

Gruvel, A. (1931), Les Etats de Syrie. Richesses marines et pluviales. *Soc.Edit.Géogr.Marit. et Colon.*, Paris, 453 p.

Mayhoub, H. (1976), Recherches sur la végétation marine de la côte syrienne. Etude expérimentale sur la morphogenèse et le développement de quelques espèces peu connues. Thèse Doct. Etat, Caen, 286 p.

Mayhoub, H. et A. Abbas (1992) (en arabe), Algues marines d'intérêt économique et médical en Syrie. 2- Algues brunes et vertes. *Damascus Univ. journal*, 8(29-30):51-80

Mayhoub, H. et C. Billard (1991), Contribution à la connaissance d'un *Styopodium* (Dictyotales, Phaeophyceae) installé récemment sur les côtes syriennes. *Cryptog.-Algol.*, 12(2):125-136

Rayss, T. (1955), Les algues marines des côtes palestiniennes. I. Chlorophyceae. *Sea Fish.Res.St.*, 9:1-36

Verlaque, M. et C.F. Boudouresque (1991), *Styopodium schimperi* (Buchinger ex Kutzing) Verlaque et Boudouresque comb.nov. (Dictyotales, Fucophyceae), algue de Mer Rouge récemment apparue en Méditerranée. *Cryptog.-Algol.*, Fr., 12(3):195-211

## TURQUIE

Şükran CİRİK

Institut des Sciences et de Technologie Marines  
de l'Université de Dokuz Eylül, İzmir

### S U M M A R Y

The invasive Caulerpa, *Caulerpa racemosa* (Forskaal) J. Agarth in particular, can be seen in the tropical seas all around the world. The results of many scientific studies have indicated that *C. racemosa* has migrated to the Mediterranean after establishing the connection between the Red Sea and the Mediterranean through Suez Channel.

*Caulerpa racemosa* shows siphoned thallus, is composed of cylindrical ground stolons and has in lower part incolor rhizoid tufts and in the highest part straitened axis with the bunches of rapes aspect.

The species begins to give populations of great densities real grapes-field in Bodrum area particularly, in Taşucu, Kaş and Kuşadası.

### R E S U M E

Sur les côtes de Turquie plusieurs espèces de Caulerpes existent comme *C. prolifera*, *C. ollivieri*, *C. racemosa*, *C. racemosa* var. *lamourouxii* form *requienii* (Cirik, 1978; Cirik et Öztürk, 1991). Les deux premières espèces sont indigènes. *C. racemosa* a une tendance à s'étendre sur les côtes turques. Il y a dix ans on l'observait dans la partie sud tandis qu'actuellement elle remonte vers le nord de la mer Egée.

*Caulerpa racemosa* se repartit généralement sur les fonds des mers chaudes telles que les zones tropicales de l'océan Pacifique, Atlantique, Indien et la mer Rouge. L'ouverture du Canal de Suez a entraîné sa propagation et sa répartition dans les parties orientale et centrale de la Méditerranée. Cette espèce ainsi est appelée migrante lessepsienne.

*Caulerpa racemosa* possède un thalle siphonné à différenciation accentuée. Le thalle est cylindrique, stoloné allongé horizontalement et s'agrandi de manière apicale. Grâce à ses rhizoïdes incolores ramifiées, l'algue se fixe facilement sur le substrat meuble. Dans la partie supérieure de l'espèce, les rameaux portent des ramules vésicules à l'aspect de grappes de raisin. La longueur de ses vésicules est d'environ 3 mm. de diamètre 1 à 1.5 mm. La partie apicale des vésicules est plate (Cirik Ş. et Cirik S., 1995).

Cet espèce polymorphe à son jeune stade, le thalle ne peut pas posséder de ramles (Huve, 1957) et se présente dans ce cas sous la forme filamenteuse (Lipkin et Friedmann, 1967). L'aire de répartition de la *Caulerpa racemosa* était limité aux mers chaudes près l'ouverture du canal de Suez (1876), on la rencontre actuellement dans les parties orientale et centrale de Méditerranée:

- Egypte; Aleem 1948
- Israël; Rayss, 1941, Rayss et Edelstein, 1960
- Syrie; Huve, 1957
- Tunisie; Hamel, 1930; Ben Alaya, 1971; Ben Maiz *et al.*, 1993
- Italie; Alongi *et al.*, 1993
- Grèce; Panayotidis et Montesano, 1994

Lors de nos travaux, nous avons récolté cet espèce dans les parties Sud Ouest de la Turquie à Taşucu (profondeur (-2m), Kaş (-25m), Bodrum (-3m) Kuşadası (-25m).

Une forme plus petite de cet espèce nommé *C. racemosa var lamourouxii* (Turner) Weber Van Bosse form *requiennii* Weber Van Bosse a été signalé dans différentes régions de la Méditerranée orientale:

- Syrie; Huve, 1957
- Israël; Rayss et Edelstein, 1960; Lipkin et Friedmann, 1967
- Grèce; Huve, 1957
- Turquie; Cirik et Öztürk, 1991

## BIBLIOGRAPHIE

- Aleem, A.A. (1948), The recent migration of certain Indopacific algae from the Red sea into the Mediterranean. *New Phytol.*, 47:88-94
- Alongi, G., M. Cormaci, G. Furnari et G. Giaccone (1993), Prima segnalazione de *Caulerpa racemosa* (Chlorophyceae, Caulerpales) perle costa Italiana, *Boll.Accad.Gioena Sci.Nat.*, 343:49-53
- Ben Alaya, H. (1971), Sur la présence de *Caulerpa racemosa* J. Agardh dans le golfe de Gabès et le port de Madhia. *Bull.Inst.Oceanogr.Pêche*, Salammbô, 2, 1:53-54
- Ben Maiz, N., C.F. Boudouresque et G. Giaccone (1993), Inventaire des algues et phanerogames marines benthiques de Tunisie. *Giorn.Bot.Ital.*, 121, 5-6:259-304
- Cirik, Ş. (1978), Recherches sur la végétation marine des côtes Turques de la mer Egée. Etude particulière des Peyssonneliacées de Turquie. Thesis. Univ. Paris 172, 28 p.
- Cirik, Ş. et B. Öztürk (1991), Notes sur la présence d'une forme rare du *Caulerpa racemosa*, en Méditerranée orientale. *Flora Mediterranea*, 1:217-219
- Cirik, Ş. et S. Cirik (1995), Evolution des aires de développement de *Caulerpa racemosa* et *Halophila stipulacea* sur les côtes orientale de la Méditerranée (Turquie) (En turque, résumé en français) lième Congrès National d'Ecologie et d'Environnement, 11-13 Sept. 1995, Ankara, Turkey, 13 p.
- Hamel, G. (1930), Les Caulerpes méditerranéennes. *Rev.Algol.*, 5:229-230
- Huve, H. (1957), Sur une variété nouvelle pour la Méditerranée, du *Caulerpa racemosa* (Forsskall) Agardh. *Rec.Stat.Mar.Endoume*, 21:67-73
- Lipkin, Y and I. Friedmann (1967), Persistent juvenile stage of *Caulerpa racemosa* Forsskaal Agardh in the Mediterranean. *Pubbl.Staz.Zool.Napoli*, 35:243-249
- Panayotidis, P. and B. Montesano (1994), *Caulerpa racemosa* (Chlorophyta) on the Greek coasts. *Cryptogamie Algol.*, 15(2):159-161
- Rayss, T. (1941), Sur les Caulerpa de la Côte Palestinienne. *Palestine J.Bot.Jerusalem Ser.*, 2:103-124
- Rayss, T. et T. Eldestein (1960), Deux Caulerpes nouvelles sur les côtes méditerranéennes d'Israël. *Rev.Gen.Bot.*, 67:602-619

## PUBLICATIONS OF THE MAP TECHNICAL REPORTS SERIES

*Please note that MTS 1 - 20 are presently out of print (as marked with an \*).*

### **MTS 1. (\*)**

UNEP/IOC/WMO: **Baseline studies and monitoring of oil and petroleum hydrocarbons in marine waters (MED POL I)**. MAP Technical Reports Series No. 1. UNEP, Athens, 1986 (96 pgs.) (parts in English, French or Spanish only).

PNUE/COI/OMM: **Etudes de base et surveillance continue du pétrole et des hydrocarbures contenus dans les eaux de la mer (MED POL I)**. MAP Technical Reports Series No. 1. UNEP, Athens, 1986 (96 pgs.) (parties en anglais, français ou espagnol seulement).

### **MTS 2. (\*)**

UNEP/FAO: **Baseline studies and monitoring of metals, particularly mercury and cadmium, in marine organisms (MED POL II)**. MAP Technical Reports Series No. 2. UNEP, Athens, 1986 (220 pgs.) (parts in English, French or Spanish only).

PNUE/FAO: **Etudes de base et surveillance continue des métaux, notamment du mercure et du cadmium, dans les organismes marins (MED POL II)**. MAP Technical Reports Series No. 2. UNEP, Athens, 1986 (220 pgs.) (parties en anglais, français ou espagnol seulement).

### **MTS 3. (\*)**

UNEP/FAO: **Baseline studies and monitoring of DDT, PCBs and other chlorinated hydrocarbons in marine organisms (MED POL III)**. MAP Technical Reports Series No. 3. UNEP, Athens, 1986 (128 pgs.) (parts in English, French or Spanish only).

PNUE/FAO: **Etudes de base et surveillance continue du DDT, des PCB et des autres hydrocarbures chlorés contenus dans les organismes marins (MED POL III)**. MAP Technical Reports Series No. 3. UNEP, Athens, 1986 (128 pgs.) (parties en anglais, français ou espagnol seulement).

### **MTS 4. (\*)**

UNEP/FAO: **Research on the effects of pollutants on marine organisms and their populations (MED POL IV)**. MAP Technical Reports Series No. 4. UNEP, Athens, 1986 (118 pgs.) (parts in English, French or Spanish only).

PNUE/FAO: **Recherche sur les effets des polluants sur les organismes marins et leurs peuplements (MED POL IV)**. MAP Technical Reports Series No. 4. UNEP, Athens, 1986 (118 pgs.) (parties en anglais, français ou espagnol seulement).

### **MTS 5. (\*)**

UNEP/FAO: **Research on the effects of pollutants on marine communities and ecosystems (MED POL V)**. MAP Technical Reports Series No. 5. UNEP, Athens, 1986 (146 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE/FAO: **Recherche sur les effets des polluants sur les communautés et écosystèmes marins (MED POL V)**. MAP Technical Reports Series No. 5. UNEP, Athens, 1986 (146 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 6. (\*)**

UNEP/IOC: **Problems of coastal transport of pollutants (MED POL VI)**. MAP Technical Reports Series No. 6. UNEP, Athens, 1986 (100 pgs.) (English only).

**MTS 7. (\*)**

UNEP/WHO: **Coastal water quality control (MED POL VII)**. MAP Technical Reports Series No. 7. UNEP, Athens, 1986 (426 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE/OMS: **Contrôle de la qualité des eaux côtières (MED POL VII)**. MAP Technical Reports Series No. 7. UNEP, Athens, 1986 (426 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 8. (\*)**

UNEP/IAEA/IOC: **Biogeochemical studies of selected pollutants in the open waters of the Mediterranean (MED POL VIII)**. MAP Technical Reports Series No. 8. UNEP, Athens, 1986 (42 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE/AIEA/COI: **Etudes biogéochimiques de certains polluants au large de la Méditerranée (MED POL VIII)**. MAP Technical Reports Series No. 8. UNEP, Athens, 1986 (42 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 8. Add. (\*)**

UNEP: **Biogeochemical studies of selected pollutants in the open waters of the Mediterranean MED POL VIII). Addendum, Greek Oceanographic Cruise 1980**. MAP Technical Reports Series No. 8, Addendum. UNEP, Athens, 1986 (66 pgs.) (English only).

**MTS 9. (\*)**

UNEP: **Co-ordinated Mediterranean pollution monitoring and research programme (MED POL - PHASE I). Final report, 1975-1980**. MAP Technical Reports Series No. 9. UNEP, Athens, 1986 (276 pgs.) (English only).

**MTS 10. (\*)**

UNEP: **Research on the toxicity, persistence, bioaccumulation, carcinogenicity and mutagenicity of selected substances (Activity G). Final reports on projects dealing with toxicity (1983-85)**. MAP Technical Reports Series No. 10. UNEP, Athens, 1987 (118 pgs.) (English only).

**MTS 11. (\*)**

UNEP: **Rehabilitation and reconstruction of Mediterranean historic settlements. Documents produced in the first stage of the Priority Action (1984-1985)**. MAP Technical Reports Series No. 11. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1986 (158 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE: **Réhabilitation et reconstruction des établissements historiques méditerranéens. Textes rédigés au cours de la première phase de l'action prioritaire (1984-1985)**. MAP Technical Reports Series No. 11. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1986 (158 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 12. (\*)**

**UNEP: Water resources development of small Mediterranean islands and isolated coastal areas. Documents produced in the first stage of the Priority Action (1984-1985).** MAP Technical Reports Series No. 12. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (162 pgs.) (parts in English or French only).

**PNUE: Développement des ressources en eau des petites îles et des zones côtières isolées méditerranéennes. Textes rédigés au cours de la première phase de l'action prioritaire (1984-1985).** MAP Technical Reports Series No. 12. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (162 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 13. (\*)**

**UNEP: Specific topics related to water resources development of large Mediterranean islands. Documents produced in the second phase of the Priority Action (1985-1986).** MAP Technical Reports Series No. 13. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (162 pgs.) (parts in English or French only).

**PNUE: Thèmes spécifiques concernant le développement des ressources en eau des grandes îles méditerranéennes. Textes rédigés au cours de la deuxième phase de l'action prioritaire (1985-1986).** MAP Technical Reports Series No. 13. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (162 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 14. (\*)**

**UNEP. Experience of Mediterranean historic towns in the integrated process of rehabilitation of urban and architectural heritage. Documents produced in the second phase of the Priority Action (1986).** MAP Technical Reports Series No. 14. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (500 pgs.) (parts in English or French only).

**PNUE: MAP Technical Reports Series No. 14. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (500 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).**

**MTS 15. (\*)**

**UNEP: Environmental aspects of aquaculture development in the Mediterranean region. Documents produced in the period 1985-1987.** MAP Technical Reports Series No. 15. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (101 pgs.) (English only).

**MTS 16. (\*)**

**UNEP: Promotion of soil protection as an essential component of environmental protection in Mediterranean coastal zones. Selected documents (1985-1987).** MAP Technical Reports Series No. 16. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (424 pgs.) (parts in English or French only).

**PNUE: Promotion de la protection des sols comme élément essentiel de la protection de l'environnement dans les zones côtières méditerranéennes. Documents sélectionnés (1985-1987).** MAP Technical Reports Series No. 16. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (424 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).



**MTS 17. (\*)**

UNEP: **Seismic risk reduction in the Mediterranean region. Selected studies and documents (1985-1987).** MAP Technical Reports Series No. 17. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (247 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE: **Réduction des risques sismiques dans la région méditerranéenne. Documents et études sélectionnés (1985-1987).** MAP Technical Reports Series No. 17. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1987 (247 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 18. (\*)**

UNEP/FAO/WHO: **Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by mercury and mercury compounds.** MAP Technical Reports Series No. 18. UNEP, Athens, 1987 (354 pgs.) (English and French).

PNUE/FAO/OMS: **Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par le mercure et les composés mercuriels.** MAP Technical Reports Series No. 18. UNEP, Athens, 1987 (354 pgs.).

**MTS 19. (\*)**

UNEP/IOC: **Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by petroleum hydrocarbons.** MAP Technical Reports Series No. 19. UNEP, Athens, 1988 (130 pgs.) (English and French).

PNUE/COI: **Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les hydrocarbures de pétrole.** MAP Technical Reports Series No. 19. UNEP, Athens, 1988 (130 pgs.).

**MTS 20. (\*)**

UNEP/WHO: **Epidemiological studies related to environmental quality criteria for bathing waters, shellfish-growing waters and edible marine organisms (Activity D). Final report on project on relationship between microbial quality of coastal seawater and health effects (1983-86).** MAP Technical Reports Series No. 20. UNEP, Athens, 1988 (156 pgs.) (English only).

**MTS 21.**

UNEP/UNESCO/FAO: **Eutrophication in the Mediterranean Sea: Receiving capacity and monitoring of long-term effects.** MAP Technical Reports Series No. 21. UNEP, Athens, 1988 (200 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE/UNESCO/FAO: **Eutrophisation dans la mer Méditerranée: capacité réceptrice et surveillance continue des effets à long terme.** MAP Technical Reports Series No. 21. UNEP, Athens, 1988 (200 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 22.**

UNEP/FAO: **Study of ecosystem modifications in areas influenced by pollutants (Activity I).** MAP Technical Reports Series No. 22. UNEP, Athens, 1988 (146 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE/FAO: **Etude des modifications de l'écosystème dans les zones soumises à l'influence des polluants (Activité I).** MAP Technical Reports Series No. 22. UNEP, Athens, 1988 (146 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 23.**

UNEP: **National monitoring programme of Yugoslavia, Report for 1983-1986.** MAP Technical Reports Series No. 23. UNEP, Athens, 1988 (223 pgs.) (English only).

**MTS 24.**

UNEP/FAO: **Toxicity, persistence and bioaccumulation of selected substances to marine organisms (Activity G).** MAP Technical Reports Series No. 24. UNEP, Athens, 1988 (122 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE/FAO: **Toxicité, persistance et bioaccumulation de certaines substances vis-à-vis des organismes marins (Activité G).** MAP Technical Reports Series No. 24. UNEP, Athens, 1988 (122 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 25.**

UNEP: **The Mediterranean Action Plan in a functional perspective: A quest for law and policy.** MAP Technical Reports Series No. 25. UNEP, Athens, 1988 (105 pgs.) (English only).

**MTS 26.**

UNEP/IUCN: **Directory of marine and coastal protected areas in the Mediterranean Region. Part I - Sites of biological and ecological value.** MAP Technical Reports Series No. 26. UNEP, Athens, 1989 (196 pgs.) (English only).

**MTS 27.**

UNEP: **Implications of expected climate changes in the Mediterranean Region: An overview.** MAP Technical Reports Series No. 27. UNEP, Athens, 1989 (52 pgs.) (English only).

**MTS 28.**

UNEP: **State of the Mediterranean marine environment.** MAP Technical Reports Series No. 28. UNEP, Athens, 1989 (225 pgs.) (English only).

**MTS 29.**

UNEP: **Bibliography on effects of climatic change and related topics.** MAP Technical Reports Series No. 29. UNEP, Athens, 1989 (143 pgs.) (English only).

**MTS 30.**

UNEP: **Meteorological and climatological data from surface and upper measurements for the assessment of atmospheric transport and deposition of pollutants in the Mediterranean Basin: A review.** MAP Technical Reports Series No. 30. UNEP, Athens, 1989 (137 pgs.) (English only).

**MTS 31.**

UNEP/WMO: **Airborne pollution of the Mediterranean Sea. Report and proceedings of a WMO/UNEP Workshop.** MAP Technical Reports Series No. 31. UNEP, Athens, 1989 (247 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE/OMM: **Pollution par voie atmosphérique de la mer Méditerranée. Rapport et actes des Journées d'étude OMM/PNUE.** MAP Technical Reports Series No. 31. UNEP, Athens, 1989 (247 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 32.**

UNEP/FAO: **Biogeochemical cycles of specific pollutants (Activity K).** MAP Technical Reports Series No. 32. UNEP, Athens, 1989 (139 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE/FAO: **Cycles biogéochimiques de polluants spécifiques (Activité K).** MAP Technical Reports Series No. 32. UNEP, Athens, 1989 (139 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 33.**

UNEP/FAO/WHO/IAEA. **Assessment of organotin compounds as marine pollutants in the Mediterranean.** MAP Technical Reports Series No. 33. UNEP, Athens, 1989 (185 pgs.) (English and French).

PNUE/FAO/OMS/AIEA: **Evaluation des composés organostanniques en tant que polluants du milieu marin en Méditerranée.** MAP Technical Reports Series No. 33. UNEP, Athens, 1989 (185 pgs.).

**MTS 34.**

UNEP/FAO/WHO: **Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by cadmium and cadmium compounds.** MAP Technical Reports Series No. 34. UNEP, Athens, 1989 (175 pgs.) (English and French).

PNUE/FAO/OMS: **Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par le cadmium et les composés de cadmium.** MAP Technical Reports Series No. 34. UNEP, Athens, 1989 (175 pgs.).

**MTS 35.**

UNEP: **Bibliography on marine pollution by organotin compounds.** MAP Technical Reports Series No. 35. UNEP, Athens, 1989 (92 pgs.) (English only).

**MTS 36.**

PNUE/UICN: **Répertoire des aires marines et côtières protégées de la Méditerranée. Première partie - Sites d'importance biologique et écologique.** MAP Technical Reports Series No. 36. UNEP, Athens, 1990 (198 pgs.) (français seulement).

**MTS 37.**

UNEP/FAO: **Final reports on research projects dealing with eutrophication and plankton blooms (Activity H).** MAP Technical Reports Series No. 37. UNEP, Athens, 1990 (74 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE/FAO: **Rapports finaux sur les projets de recherche consacrés à l'eutrophisation et aux efflorescences de plancton (Activité H).** MAP Technical Reports Series No. 37. UNEP, Athens, 1990 (74 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 38.**

UNEP: **Common measures adopted by the Contracting Parties to the Convention for the Protection of the Mediterranean Sea against pollution.** MAP Technical Reports Series No. 38. UNEP, Athens, 1990 (100 pgs.) (English, French, Spanish and Arabic).

PNUE: **Mesures communes adoptées par les Parties Contractantes à la Convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution.** MAP Technical Reports Series No. 38. UNEP, Athens, 1990 (100 pgs.).

PNUE: **Medidas comunes adoptadas por las Partes Contratantes en el convenio para la Protección del Mar Mediterraneo contra la Contaminación.** MAP Technical Reports Series No. 38, UNEP, Athens, 1990 (100 pgs.).

**MTS 39.**

UNEP/FAO/WHO/IAEA: **Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by organohalogen compounds.** MAP Technical Reports Series No. 39. UNEP, Athens, 1990 (224 pgs.) (English and French).

PNUE/FAO/OMS/AIEA: **Evaluation de l'état de la pollution par les composés organohalogénés.** MAP Technical Reports Series No. 39. UNEP, Athens, 1990 (224 pgs.).

**MTS 40.**

UNEP/FAO: **Final reports on research projects (Activities H,I and J).** MAP Technical Reports Series No. 40. UNEP, Athens, 1990 (125 pgs.) (English and French).

PNUE/FAO: **Rapports finaux sur les projets de recherche (Activités H, I et J).** MAP Technical Reports Series No. 40. UNEP, Athens, 1990 (125 pgs.).

**MTS 41.**

UNEP: **Wastewater reuse for irrigation in the Mediterranean region.** MAP Technical Reports Series No. 41. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1990 (330 pgs.) (English and French).

PNUE: **Réutilisation agricole des eaux usées dans la région méditerranéenne.** MAP Technical Reports Series No. 41. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1990 (330 pgs.).

**MTS 42.**

UNEP/IUCN: **Report on the status of Mediterranean marine turtles.** MAP Technical Reports Series No. 42. UNEP, Athens, 1990 (204 pgs.) (English and French).

PNUE/UICN: **Rapport sur le statut des tortues marines de Méditerranée.** MAP Technical Reports Series No. 42. UNEP, Athens, 1990 (204 pgs.).

**MTS 43.**

PNUE/UICN/GIS Posidonie: **Livre rouge "Gérard Vuignier" des végétaux, peuplements et paysages marins menacés de Méditerranée.** MAP Technical Reports Series No. 43. UNEP, Athens, 1990 (250 pgs.) (français seulement).

**MTS 44.**

UNEP: **Bibliography on aquatic pollution by organophosphorus compounds.** MAP Technical Reports Series No. 44. UNEP, Athens, 1990 (98 pgs.) (English only).

**MTS 45.**

UNEP/IAEA: **Transport of pollutants by sedimentation: Collected papers from the first Mediterranean Workshop (Villefranche-sur-Mer, France, 10-12 December 1987).** MAP Technical Reports Series No. 45. UNEP, Athens, 1990 (302 pgs.) (English only).

**MTS 46.**

UNEP/WHO: **Epidemiological studies related to environmental quality criteria for bathing waters, shellfish-growing waters and edible marine organisms (Activity D). Final report on project on relationship between microbial quality of coastal seawater and rotavirus-induced gastroenteritis among bathers (1986-88).** MAP Technical Reports Series No.46. UNEP, Athens, 1991 (64 pgs.) (English only).

**MTS 47.**

UNEP: **Jellyfish blooms in the Mediterranean. Proceedings of the II workshop on jellyfish in the Mediterranean Sea.** MAP Technical Reports Series No.47. UNEP, Athens, 1991 (320 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE: **Les proliférations de méduses en Méditerranée. Actes des IIèmes journées d'étude sur les méduses en mer Méditerranée.** MAP Technical Reports Series No.47. UNEP, Athens, 1991 (320 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 48.**

UNEP/FAO: **Final reports on research projects (Activity G).** MAP Technical Reports Series No. 48. UNEP, Athens, 1991 (126 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE/FAO: **Rapports finaux sur les projets de recherche (Activité G).** MAP Technical Reports Series No. 48. UNEP, Athens, 1991 (126 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 49.**

UNEP/WHO: **Biogeochemical cycles of specific pollutants. Survival of pathogens. Final reports on research projects (Activity K).** MAP Technical Reports Series No. 49. UNEP, Athens, 1991 (71 pgs ) (parts in English or French only).

PNUE/OMS: **Cycles biogéochimiques de polluants spécifiques. Survie des Pathogènes. Rapports finaux sur les projets de recherche (activité K).** MAP Technical Reports Series No. 49. UNEP, Athens, 1991 (71 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 50.**

UNEP: **Bibliography on marine litter.** MAP Technical Reports Series No. 50. UNEP, Athens, 1991 (62 pgs.) (English only).

**MTS 51.**

UNEP/FAO: **Final reports on research projects dealing with mercury, toxicity and analytical techniques.** MAP Technical Reports Series No. 51. UNEP, Athens, 1991 (166 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE/FAO: **Rapports finaux sur les projets de recherche traitant du mercure, de la toxicité et des techniques analytiques.** MAP Technical Reports Series No. 51. UNEP, Athens, 1991 (166 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 52.**

UNEP/FAO: **Final reports on research projects dealing with bioaccumulation and toxicity of chemical pollutants.** MAP Technical Reports Series No. 52. UNEP, Athens, 1991 (86 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE/FAO: **Rapports finaux sur les projets de recherche traitant de la bioaccumulation et de la toxicité des polluants chimiques.** MAP Technical Reports Series No. 52. UNEP, Athens, 1991 (86 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 53.**

UNEP/WHO: **Epidemiological studies related to environmental quality criteria for bathing waters, shellfish-growing waters and edible marine organisms (Activity D). Final report on epidemiological study on bathers from selected beaches in Malaga, Spain (1988-1989).** MAP Technical Reports Series No. 53. UNEP, Athens, 1991 (127 pgs.) (English only).

**MTS 54.**

UNEP/WHO: **Development and testing of sampling and analytical techniques for monitoring of marine pollutants (Activity A): Final reports on selected microbiological projects.** MAP Technical Reports Series No. 54. UNEP, Athens, 1991 (83 pgs.) (English only).

**MTS 55.** UNEP/WHO: **Biogeochemical cycles of specific pollutants (Activity K): Final report on project on survival of pathogenic organisms in seawater.** MAP Technical Reports Series No. 55. UNEP, Athens, 1991 (95 pgs.) (English only).

**MTS 56.**

UNEP/IOC/FAO: **Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by persistent synthetic materials which may float, sink or remain in suspension.** MAP Technical Reports Series No. 56. UNEP, Athens, 1991 (113 pgs.) (English and French).  
PNUE/COI/FAO: **Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les matières synthétiques persistantes qui peuvent flotter, couler ou rester en suspension.** MAP Technical Reports Series No. 56. UNEP, Athens, 1991 (113 pgs.).

**MTS 57.**

UNEP/WHO: **Research on the toxicity, persistence, bioaccumulation, carcinogenicity and mutagenicity of selected substances (Activity G): Final reports on projects dealing with carcinogenicity and mutagenicity.** MAP Technical Reports Series No. 57. UNEP, Athens, 1991 (59 pgs.) (English only).

**MTS 58.**

UNEP/FAO/WHO/IAEA: **Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by organophosphorus compounds.** MAP Technical Reports Series No. 58. UNEP, Athens, 1991 (122 pgs.) (English and French).  
PNUE/FAO/OMS/IAEA: **Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les composés organophosphorés.** MAP Technical Reports Series No. 58. UNEP, Athens, 1991 (122 pgs.).

**MTS 59.**

UNEP/FAO/IAEA: **Proceedings of the FAO/UNEP/IAEA Consultation Meeting on the Accumulation and Transformation of Chemical contaminants by Biotic and Abiotic Processes in the Marine Environment (La Spezia, Italy, 24-28 September 1990), edited by G.P. Gabrielides.** MAP Technical Reports Series No. 59. UNEP, Athens, 1991 (392 pgs.) (English only).

**MTS 60.**

UNEP/WHO: **Development and testing of sampling and analytical techniques for monitoring of marine pollutants (Activity A): Final reports on selected microbiological projects (1987-1990).** MAP Technical Reports Series No. 60. UNEP, Athens, 1991 (76 pgs.) (parts in English or French only).  
PNUE/OMS: **Mise au point et essai des techniques d'échantillonnage et d'analyse pour la surveillance continue des polluants marins (Activité A): Rapports finaux sur certains projets de nature microbiologique (1987-1990).** MAP Technical Reports Series No. 60. UNEP, Athens, 1991 (76 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 61.**

UNEP: **Integrated Planning and Management of the Mediterranean Coastal Zones. Documents produced in the first and second stage of the Priority Action (1985-1986).** MAP Technical Reports Series No. 61. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1991 (437 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE: **Planification intégrée et gestion des zones côtières méditerranéennes. Textes rédigés au cours de la première et de la deuxième phase de l'action prioritaire (1985-1986).** MAP Technical Reports Series No. 61. UNEP, Priority Actions Programme, Regional Activity Centre, Split, 1991 (437 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 62.**

UNEP/IAEA: **Assessment of the State of Pollution of the Mediterranean Sea by Radioactive Substances.** MAP Technical Reports Series No. 62, UNEP, Athens, 1992 (133 pgs.) (English and French).

PNUE/AIEA: **Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les substances radioactives.** MAP Technical Reports Series No. 62, UNEP, Athens, 1992 (133 pgs.).

**MTS 63.**

PNUE/OMS: **Cycles biogéochimiques de polluants spécifiques (Activité K) - Survie des pathogènes - Rapports finaux sur les projets de recherche (1989-1991).** MAP Technical Reports Series No. 63. UNEP, Athens, 1992 (86 pgs.) (français seulement).

**MTS 64.**

UNEP/WMO: **Airborne Pollution of the Mediterranean Sea. Report and Proceedings of the Second WMO/UNEP Workshop.** MAP Technical Reports Series No. 64. UNEP, Athens, 1992 (246 pgs.) (English only).

**MTS 65.**

UNEP: **Directory of Mediterranean Marine Environmental Centres.** MAP Technical Reports Series No. 65, UNEP, Athens, 1992 (351 pgs.) (English and French).

PNUE: **Répertoire des centres relatifs au milieu marin en Méditerranée.** MAP Technical Reports Series No. 65. UNEP, Athens, 1992 (351 pgs.).

**MTS 66.**

UNEP/CRU: **Regional Changes in Climate in the Mediterranean Basin Due to Global Greenhouse Gas Warming.** MAP Technical Reports Series No. 66. UNEP, Athens, 1992 (172 pgs.) (English only).

**MTS 67.**

UNEP/IOC: **Applicability of Remote Sensing for Survey of Water Quality Parameters in the Mediterranean. Final Report of the Research Project.** MAP Technical Reports Series No. 67. UNEP, Athens, 1992 (142 pgs.) (English only).

**MTS 68.**

UNEP/FAO/IOC: **Evaluation of the Training Workshops on the Statistical Treatment and Interpretation of Marine Community Data.** MAP Technical Reports Series No. 68. UNEP, Athens, 1992 (221 pgs.) (English only).

**MTS 69.**

UNEP/FAO/IOC: **Proceedings of the FAO/UNEP/IOC Workshop on the Biological Effects of Pollutants on Marine Organisms (Malta, 10-14 September 1991)**, edited by **G.P. Gabrielides**. MAP Technical Reports Series No. 69. UNEP, Athens, 1992 (287 pgs.) (English only).

**MTS 70.**

UNEP/IAEA/IOC/FAO: **Organohalogen Compounds in the Marine Environment: A Review**. MAP Technical Reports Series No. 70. UNEP, Athens, 1992 (49 pgs.) (English only).

**MTS 71.**

UNEP/FAO/IOC: **Selected techniques for monitoring biological effects of pollutants in marine organisms**. MAP Technical Reports Series No. 71. UNEP, Athens, 1993 (189 pgs.) (English only).

**MTS 72.**

UNEP: **Costs and Benefits of Measures for the Reduction of Degradation of the Environment from Land-based Sources of Pollution in Coastal Areas. A - Case Study of the Bay of Izmir. B - Case Study of the Island of Rhodes**. MAP Technical Reports Series No. 72. UNEP, Athens, 1993 (64 pgs.) (English only).

**MTS 73.**

UNEP/FAO: **Final Reports on Research Projects Dealing with the Effects of Pollutants on Marine Communities and Organisms**. MAP Technical Reports Series No. 73. UNEP, Athens, 1993 (186 pgs.) (English and French).

PNUE/FAO: **Rapports finaux sur les projets de recherche traitant des effets de polluants sur les communautés et les organismes marins**. MAP Technical Reports Series No. 73. UNEP, Athens, 1993 (186 pgs.).

**MTS 74.**

UNEP/FIS: **Report of the Training Workshop on Aspects of Marine Documentation in the Mediterranean**. MAP Technical Reports Series No. 74. UNEP, Athens, 1993 (38 pgs.) (English only).

**MTS 75.**

UNEP/WHO: **Development and Testing of Sampling and Analytical Techniques for Monitoring of Marine Pollutants (Activity A)**. MAP Technical Reports Series No. 75. UNEP, Athens, 1993 (90 pgs.) (English only).

**MTS 76.**

UNEP/WHO: **Biogeochemical Cycles of Specific Pollutants (Activity K): Survival of Pathogens**. MAP Technical Reports Series No. 76. UNEP, Athens, 1993 (68 pgs.) (English and French).

PNUE/OMS: **Cycles biogéochimiques de polluants spécifiques (Activité K): Survie des pathogènes**. MAP Technical Reports Series No. 76. UNEP, Athens, 1993 (68 pgs.).

**MTS 77.**

UNEP/FAO/IAEA: **Designing of monitoring programmes and management of data concerning chemical contaminants in marine organisms**. MAP Technical Reports Series No. 77. UNEP, Athens, 1993 (236 pgs.) (English only).



**MTS 78.**

UNEP/FAO: **Final reports on research projects dealing with eutrophication problems.** MAP Technical Reports Series No. 78. UNEP, Athens, 1994 (139 pgs.) (English only).

**MTS 79.**

UNEP/FAO: **Final reports on research projects dealing with toxicity of pollutants on marine organisms.** MAP Technical Reports Series No. 79. UNEP, Athens, 1994 (135 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE/FAO: **Rapports finaux sur les projets de recherche traitant de la toxicité des polluants sur les organismes marins.** MAP Technical Reports Series No. 79. UNEP, Athens, 1994 (135 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 80.**

UNEP/FAO: **Final reports on research projects dealing with the effects of pollutants on marine organisms and communities.** MAP Technical Reports Series No. 80. UNEP, Athens, 1994 (123 pgs.) (English only).

**MTS 81.**

UNEP/IAEA: **Data quality review for MED POL: Nineteen years of progress.** MAP Technical Reports Series No. 81. UNEP, Athens, 1994 (79 pgs.) (English only).

**MTS 82.**

UNEP/IUCN: **Technical report on the State of Cetaceans in the Mediterranean.** MAP Technical Reports Series No. 82. UNEP, Regional Activity Centre for Specially Protected Areas, Tunis, 1994 (37 pgs.) (English only).

**MTS 83.**

PNUE/IUCN: **Les aires protégées en Méditerranée. Essai d'étude analytique de la législation pertinente.** MAP Technical Reports Series No. 83. PNUE, Centre d'activités régionales pour les aires spécialement protégées, Tunis, 1994 (55 pgs.) (français seulement)

**MTS 84.**

UNEP: **Integrated Management Study for the Area of Izmir.** MAP Technical Reports Series No. 84. UNEP, Regional Activity Centre for Priority Actions Programme, Split, 1994 (130 pgs.) (English only).

**MTS 85.**

UNEP/WMO: **Assessment of Airborne Pollution of the Mediterranean Sea by Sulphur and Nitrogen Compounds and Heavy Metals in 1991.** MAP Technical Report Series No. 85. Athens, 1994 (304 pgs.) (English only).

**MTS 86.**

UNEP: **Monitoring Programme of the Eastern Adriatic Coastal Area - Report for 1983-1991.** MAP Technical Report Series No. 86. Athens, 1994 (311 pgs.) (English only).

**MTS 87.**

UNEP/WHO: **Identification of microbiological components and measurement development and testing of methodologies of specified contaminants (Area I) - Final reports on selected microbiological projects.** MAP Technical Reports Series No. 87. UNEP, Athens, 1994 (136 pgs.) (English only).

**MTS 88.**

UNEP: **Proceedings of the Seminar on Mediterranean Prospective.** MAP Technical Reports Series No. 88. UNEP, Blue Plan Regional Activity Centre, Sophia Antipolis, 1994 (176 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE: **Actes du Séminaire débat sur la prospective méditerranéenne.** MAP Technical Reports Series No. 88. UNEP, Blue Plan Regional Activity Centre, Sophia Antipolis, 1994 (176 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 89.**

UNEP: **Iskenderun Bay Project. Volume I. Environmental Management within the Context of Environment-Development.** MAP Technical Reports Series No. 89. UNEP, Blue Plan Regional Activity Centre, Sophia Antipolis, 1994 (144 pgs.) (English only).

**MTS 90.**

UNEP: **Iskenderun Bay Project. Volume II. Systemic and Prospective Analysis.** MAP Technical Report Series No. 90. Sophia Antipolis, 1994 (142 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE: **Projet de la Baie d'Iskenderun. Volume II. Analyse systémique et prospective.** MAP Technical Reports Series No. 90. UNEP, Sophia Antipolis, 1994 (142 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 91.**

PNUE: **Une contribution de l'écologie à la prospective. Problèmes et acquis.** MAP Technical Reports Series No. 91. Sophia Antipolis, 1994 (162 pgs.) (français seulement).

**MTS 92.**

UNEP/WHO: **Assessment of the State of Pollution in the Mediterranean Sea by Carcinogenic, Mutagenic and Teratogenic Substances.** MAP Technical Reports Series No. 92. UNEP, Athens, 1995 (238 pgs.) (English only).

**MTS 93.**

UNEP/WHO: **Epidemiological studies related to the environmental quality criteria for bathing waters, shellfish-growing waters and edible marine organisms.** MAP Technical Reports Series No. 93. UNEP, Athens, 1995 (118 pgs.) (English only).

**MTS 94.**

UNEP: **Proceedings of the Workshop on Application of Integrated Approach to Development, Management and Use of Water Resources.** MAP Technical Reports Series No. 94. UNEP, Athens, 1995 (214 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE: **Actes de l'Atelier sur l'application d'une approche intégrée au développement, à la gestion et à l'utilisation des ressources en eau.** MAP Technical Reports Series No. 94. UNEP, Athens, 1995 (214 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 95.**

UNEP: **Common measures for the control of pollution adopted by the Contracting Parties to the Convention for the Protection of the Mediterranean Sea against Pollution.** MAP Technical Reports Series No 95. UNEP, Athens, 1995 (69 pgs.) (English and French).

PNUE: **Mesures communes de lutte contre la pollution adoptées par les Parties contractantes à la Convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution.** MAP Technical Reports Series No. 95. UNEP, Athens, 1995 (69 pgs.).

**MTS 96.**

UNEP/FAO: **Final reports of research projects on effects (Research Area III) - Pollution effects on plankton composition and spatial distribution, near the sewage outfall of Athens (Saronikos Gulf, Greece).** MAP Technical Reports Series No. 96. UNEP, Athens, 1996 (121 pgs.) (English only).

**MTS 97.**

UNEP/FAO: **Final reports of research projects on effects (Research Area III) - Pollution effects on marine communities.** MAP Technical Reports Series No. 97. UNEP, Athens, 1996 (141 pgs.) (English and French).

PNUE/FAO: **Rapports finaux des projets de recherche sur les effets (Domaine de recherche III) - Effets de la pollution sur les communautés marines.** MAP Technical Reports Series No. 97. UNEP, Athens, 1996 (141 pgs.).

**MTS 98.**

UNEP: **Implications of Climate Change for the Albanian Coast.** MAP Technical Reports Series No. 98. UNEP, Athens, 1996 (179 pgs.) (English only).

**MTS 99.**

UNEP: **Implications of Climate Change for the Sfax Coastal Area (Tunisia).** MAP Technical Reports Series No. 99. UNEP, Athens, 1996 (326 pgs.) (English and French).

PNUE: **Implications des changements climatiques sur la zone côtière de Sfax.** MAP Technical Reports Series No. 99. UNEP, Athens, 1996 (326 pgs.).

**MTS 100.**

UNEP: **State of the Marine and Coastal Environment in the Mediterranean Region.** MAP Technical Reports Series No. 100. UNEP, Athens, 1996 (142 pgs.) (English only).

**MTS 101.**

PNUE: **Etat du milieu marin et du littoral de la région méditerranéenne.** MAP Technical Reports Series No. 101. UNEP, Athens, 1996 (148 pgs.) (français seulement).

**MTS 102.**

UNEP: **Implications of Climate Change for the Coastal Area of Fuka-Matrouh (Egypt).** MAP Technical Reports Series No. 102. UNEP, Athens, 1996 (238 pgs.) (English only).

**MTS 103.**

UNEP/FAO: **Final reports on research projects dealing with biological effects (Research Area III).** MAP Technical Reports Series No. 103. UNEP, Athens, 1996 (128 pgs.) (English and French).

PNUE/FAO: **Rapports finaux sur les projets de recherche relatifs aux effets biologiques (Domaine de Recherche III).** MAP Technical Reports Series No. 103. UNEP, Athens, 1996 (128 pgs.).

**MTS 104.**

UNEP/FAO: **Final reports on research projects dealing with eutrophication and heavy metal accumulation.** MAP Technical Reports Series No. 104. UNEP, Athens, 1996 (156 pgs.) (English and French).

PNUE/FAO: **Rapports finaux sur les projets de recherche relatifs à l'eutrophisation et à l'accumulation des métaux lourds.** MAP Technical Reports Series No. 104. UNEP, Athens, 1996 (156 pgs.).

**MTS 105.**

UNEP/FAO/WHO: **Assessment of the state of pollution of the Mediterranean sea by zinc, copper and their compounds.** MAP Technical Reports Series No. 105. UNEP, Athens, 1996 (288 pgs.) (English and French).

PNUE/FAO/OMS. **Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par le zinc, le cuivre et leurs composés.** MAP Technical Reports Series No. 105. UNEP, Athens, 1996 (288 pgs.).

**MTS 106.**

UNEP/FAO/WHO: **Assessment of the state of eutrophication in the Mediterranean sea.** MAP Technical Reports Series No. 106. UNEP, Athens, 1996 (456 pgs.) (English and French).

PNUE/FAO/OMS: **Evaluation de l'état de l'eutrophisation en mer Méditerranée.** MAP Technical Reports Series No. 106. UNEP, Athens, 1996 (456 pgs.).

**MTS 107.**

UNEP/WHO: **Guidelines for authorization for the discharge of liquid wastes into the Mediterranean Sea.** MAP Technical Reports Series No. 107. UNEP, Athens, 1996 (200 pgs.) (English and French).

PNUE/OMS: **Lignes directrices concernant les autorisations de rejet de déchets liquides en mer Méditerranée.** MAP Technical Reports Series No. 107. UNEP, Athens, 1996 (200 pgs.).

**MTS 108.**

UNEP/WHO: **Assessment of the state of microbiological pollution of the Mediterranean Sea.** MAP Technical Reports Series No. 108. UNEP, Athens, 1996 (270 pgs.) (English and French).

PNUE/OMS: **Evaluation de l'état de la pollution microbiologique de la mer Méditerranée.** MAP Technical Reports Series No. 108. UNEP, Athens, 1996 (270 pgs.).

**MTS 109.**

UNEP/WHO: **Survey of pollutants from land-based sources in the Mediterranean.** MAP Technical Reports Series No. 109. UNEP, Athens, 1996 (188 pgs.) (English and French).

PNUE/OMS: **Evaluation de l'enquête sur les polluants d'origine tellurique en Méditerranée (MED X BIS).** MAP Technical Reports Series No. 109. UNEP, Athens, 1996 (188 pgs.).

**MTS 110.**

UNEP/WHO: **Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by anionic detergents.** MAP Technical Reports Series No. 110. UNEP, Athens, 1996 (260 pgs.) (English and French).

PNUE/OMS: **Evaluation de l'état de la pollution de la mer Méditerranée par les détergents anioniques.** MAP Technical Reports Series No. 110. UNEP, Athens, 1996 (260 pgs.).

**MTS 111.**

UNEP/WHO: **Guidelines for treatment of effluents prior to discharge into the Mediterranean Sea.** MAP Technical Reports Series No. 111. UNEP, Athens, 1996 (247 pgs.) (English only).

**MTS 112.**

UNEP/WHO: **Guidelines for submarine outfall structures for Mediterranean small and medium-sized coastal communities.** MAP Technical Reports Series No. 112. UNEP, Athens, 1996 (98 pgs.) (English and French).

PNUE/OMS: **Lignes directrices pour les émissaires de collectivités côtières de petite et moyenne taille en Méditerranée.** MAP Technical Reports Series No. 112. UNEP, Athens, 1996 (98 pgs.).

**MTS 113.**

UNEP/IOC: **Final reports of research projects on transport and dispersion (Research Area II) - Modelling of eutrophication and algal blooms in the Thermaikos Gulf (Greece) and along the Emilia Romagna Coast (Italy).** MAP Technical Reports Series No. 113. UNEP, Athens, 1996 (118 pgs.) (English only).

**MTS 114.**

UNEP: **Workshop on policies for sustainable development of Mediterranean coastal areas, Santorini island, 26-27 April 1996. Presentation by a group of experts.** MAP Technical Reports Series No. 114. UNEP, Athens, 1996 (184 pgs.) (parts in English or French only).

PNUE: **Journées d'étude sur les politiques de développement durable des zones côtières méditerranéennes, Ile de Santorin, 26-27 avril 1996. Communications par un groupe d'experts.** MAP Technical Reports Series No. 114. UNEP, Athens, 1996 (184 pgs.) (parties en anglais ou français seulement).

**MTS 115.**

**Methodes et outils pour les etudes systemiques et prospectives en Méditerranée, PB/RAC, Sophia Antipolis, 1996.** MAP Technical Reports Series No. 115. UNEP/BP, Athens, 1996 (117 pgs.) (français seulement).

**MTS 116.**

UNEP/IAEA: **Data Quality Review for MED POL (1994-1995), Evaluation of the analytical performance of MED POL laboratories during 1994-1995 in IAEA/UNEP laboratory performance studies for the determination of trace elements and trace organic contaminants in marine biological and sediment samples.** MAP Technical Reports Series No. 116. UNEP, Athens, 1997 (126 pgs.) (English only).

**MTS 117.**

UNEP: **La Convention de Barcelone pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution et le développement durable.** MAP Technical Reports Series No. 117. UNEP, Athens, 1997 (97 pgs.) (français seulement).

**MTS 118.**

UNEP/WMO: **The Input of Anthropogenic Airborne Nitrogen to the Mediterranean Sea through its Watershed.** MAP Technical Reports Series No. 118. UNEP, Athens, 1997 (95 pgs.) (English only).

**MTS 119**

UNEP: **Strategic Action Programme to Address Pollution from Land-Based Activities.** MAP Technical Reports Series No. 119. UNEP, Athens, 1998, (178 pgs) (English and French)  
PNUE: **Programme d'Actions Stratégiques visant à combattre la pollution due à des activités menées à terre.** MAP Technical Reports Series No. 119. Athens 1998, (178 pgs) (Français et anglais)

**MTS 120**

UNEP: **MED POL Phase III. Programme for the Assessment and Control of Pollution in the Mediterranean Region (1996-2005).** MAP Technical Reports Series No. 120. UNEP, Athens, 1998, (120 pgs).

**MTS 121**

PNUE: **MED POL Phase III. Programme d'évaluation et de maîtrise de la pollution dans la région Méditerranéenne (1996-2005).** MAP Technical Reports Series No. 121. Athens 1998, (123 pgs).

**MTS 122**

UNEP/WMO: **Atmospheric Input of Mercury to the Mediterranean Sea.** MAP Technical Reports Series No. 122. Athens, 1998, (78 pages).

**MTS 123**

UNEP/WMO: **MED POL Manual on Sampling and Analysis of Aerosols and Precipitation for Major Ions and Trace Elements.** MAP Technical Reports Series No. 123. UNEP, Athens, 1998, (166 pgs.).

**MTS 124**

UNEP/WHO: **Identification of Priority Hot Spots and Sensitive Areas in the Mediterranean.** MAP Technical Reports Series No. 124. UNEP, Athens, 1999. (102 pgs.).  
PNUE/OMS: **Identification des "Points Chauds" et "Zones Sensibles" de pollution prioritaire en Méditerranée.** MAP Technical Reports Series No. 124. UNEP, Athens, 1999 (102 pgs.).

**LIBRARY**

*United Nations Environment Programme,  
Coordinating Unit for the Mediterranean Action Plan  
48, Vas. Konstantinou  
11635 Athens, Greece  
Tel: 301 7273100  
E-mail: [adavaki@unepmap.gr](mailto:adavaki@unepmap.gr)*



Issued and printed by:

Mediterranean Action Plan  
United Nations Environment Programme

Additional copies of this and other publications issued by  
the Mediterranean Action Plan of UNEP can be obtained from:

Coordinating Unit for the Mediterranean Action Plan  
United Nations Environment Programme  
Leoforos Vassileos Konstantinou, 48  
P.O.Box 18019  
11610 Athens  
GREECE



Publié et imprimé par:

Plan d'action pour la Méditerranée  
Programme des Nations Unies pour l'Environnement

Des exemplaires de ce document ainsi que d'autres  
publications du Plan d'action pour la Méditerranée  
du PNUE peuvent être obtenus de:

Unité de coordination du Plan d'action pour la Méditerranée  
Programme des Nations Unies pour l'Environnement  
Leoforos Vassileos Konstantinou, 48  
B.P. 18019  
11610 Athènes  
GRECE