



**TABLE DES MATIERES**

	<u>Page No.</u>
INTRODUCTION	1
I - LE CONSTAT	
<i>Caulerpa taxifolia</i> , l'expansion rapide d'une algue tropicale en Méditerrané	1
Qui est <i>Caulerpa taxifolia</i> ?	7
Comment <i>Caulerpa taxifolia</i> est-elle arrivée en Méditerranée ?	8
● Ecologie de <i>Caulerpa taxifolia</i>	8
Comment expliquer les caractéristiques particulières des prairies à <i>Caulerpa taxifolia</i> en méditerranée?	9
Impact de <i>Caulerpa taxifolia</i> sur le milieu naturel	9
Toxicité de <i>Caulerpa taxifolia</i>	12
Il y a t-il un risque pour l'homme ?	13
Les conséquences écologiques, économiques, sociales et culturelles d'un tel scénario seraient alors incalculables	14
<i>Caulerpa taxifolia</i> va-t'elle continuer son expansion ?	14
● Existe-il un risque qu'une nouvelle espèce soit introduite en Méditerranée et créer le même problème ?	15
II - PROPOSITIONS POUR UNE STRATEGIE DE CONTROLE DE L'EXPANSION DE CAULERPA TAXIFOLIA EN MEDITERRANEE	
A - Mesures de prévention	17
B - Stratégie de ralentissement	17
REFERENCES	19
REMERCIEMENTS	19
ANNEXE I : «L'Appel de Barcelone»	24
ANNEXE II : Arrêté relatif à la lutte contre l'espèce <i>Caulerpa taxifolia</i> (France)	25

## INTRODUCTION

Depuis 1984 on assiste, en Méditerranée nord-occidentale, à l'expansion rapide d'une algue d'origine tropicale : *Caulerpa taxifolia*. Depuis 1992, 150 chercheurs de 34 centres de recherche méditerranéens ont été réunis afin d'étudier ce phénomène dans le cadre de programmes nationaux et d'un important programme de l'Union Européenne (Direction générale XI "Environnement, sécurité nucléaire et protection civile"). Les résultats issus de ces travaux mettent en évidence l'existence d'un risque écologique sans précédent en Méditerranée.

Ces résultats sont synthétisés dans ce document. Les bases d'une stratégie de contrôle du phénomène sont proposées. Ce document a été réalisé pour le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, Unité de coordination du Plan d'Action pour la Méditerranée, par le Professeur Charles-F. Boudouresque (Université d'Aix-Marseille, France), le Docteur Panayotis Panayotidis (Centre National de Recherches Marines, Grèce) et Vincent Gravez (GIS Posidonie, France)

Il est composé de deux parties:

I - Le Constat, qui est une synthèse des connaissances sur l'expansion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. Ces résultats ont été acquis dans le cadre des programmes d'étude nationaux (France, Italie, Espagne) et du programme international de l'Union Européenne (LIFE DGXI).

II - Propositions pour une stratégie de contrôle, qui trace les grandes lignes d'une stratégie internationale de prévention et de ralentissement de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. Ces propositions n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne représentent pas forcément les vues du Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

## I - LE CONSTAT

### ***Caulerpa taxifolia*, l'expansion rapide d'une algue en Méditerranée**

L'algue *Caulerpa taxifolia* (Figure 1) a été observée pour la première fois en mer Méditerranée en 1984 à Monaco. En 1990, elle a été trouvée pour la première fois en France à Roquebrune-Cap Martin (Alpes-Maritimes; 5 km à l'Est de Monaco), où elle aurait été observée dès 1987 par des plongeurs locaux. Elle est, toujours en 1990, signalée dans le Var, à Toulon. Son expansion devient alors relativement rapide. En 1991, elle est signalée dans les Alpes-Maritimes à Cap d'Ail et Menton, dans le Var à Saint Raphaël et au Lavandou, dans les Pyrénées-Orientales à Saint-Cyprien. En 1992, elle est observée en Italie à Livorno et à Imperia (Porto Maurizio), dans les Alpes-Maritimes à Villefranche-sur-Mer, dans le Var à Hyères, à Six-Frour-les Plages et à Saint-Cyr-sur Mer et à Majorque (Baléares) à Cala Dor. En 1993, *Caulerpa taxifolia* a été observée en Sicile à Messina, à l'île d'Elba, dans divers ports de Ligurie (San Remo, Bordighera, Diana marino, San Bartolomeo al Mare) et dans les Alpes-Maritimes à Saint-Jean-Cap-Ferrat et Théoule-sur-Mer. En 1994, elle est signalée à Cannes (Alpes-Maritimes), à Hyères (aux Pesquiers et dans le Parc National de Port-Cros ; Var), à Capo Berta, Vintimiglia, Marina d'Andora en Ligurie italienne. En janvier 1995, *Caulerpa taxifolia* est signalée pour la première fois en mer Adriatique, en Croatie (Figures 2 et 3). Les dates probables d'installation sont généralement antérieures, de 1 à 3 ans, aux dates de première observation.

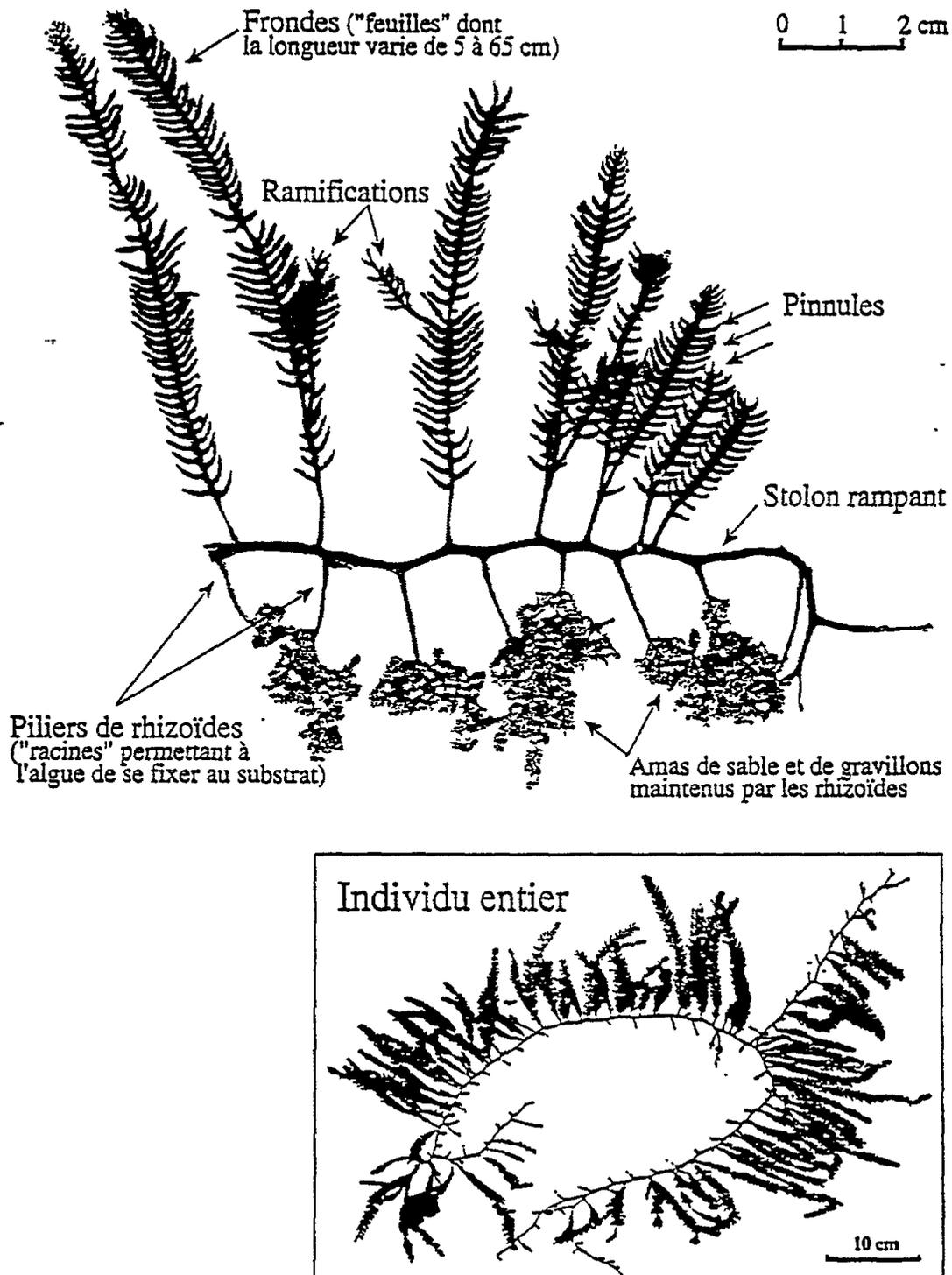


Fig. 1 Aspect général de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia*. (D'après Meinesz et al., 1995)

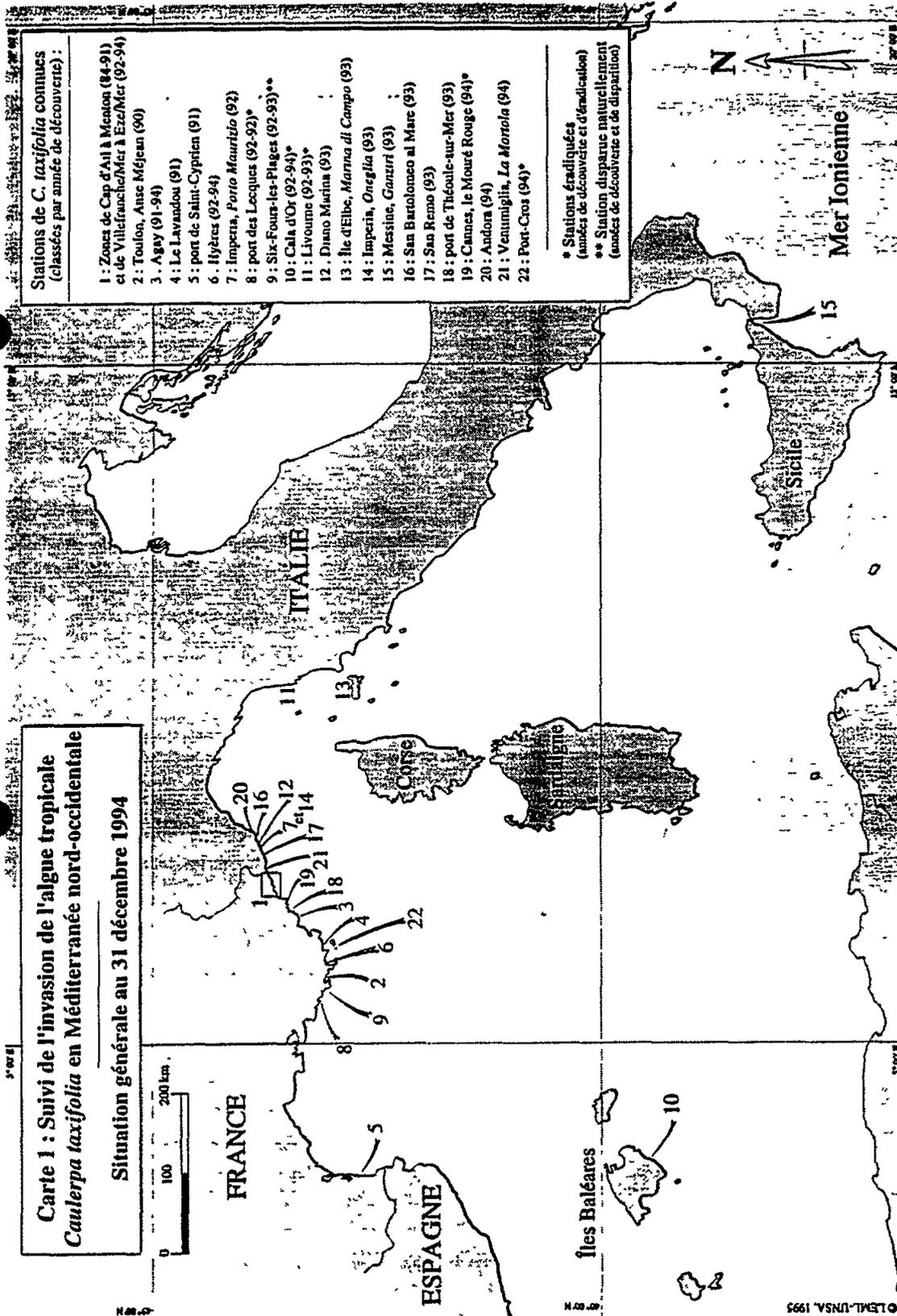


Fig. 2 Etat de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée à la fin 1994. (D'après Meinesz et al., 1995)

La surface occupée par *Caulerpa taxifolia* était de l'ordre de 1 m<sup>2</sup> en 1984. La surface atteinte est évaluée à 3 ha en 1990, 30 ha en 1991 et 470 ha en 1992. En 1993, la surface atteinte par *Caulerpa taxifolia* est évaluée à 1300 ha et à la fin 1994 à environ 1500 ha (Figure 4). Ce dernier chiffre ne traduit cependant pas un ralentissement de l'expansion ; à l'intérieur des zones "partiellement colonisées" le taux d'occupation a progressé et, dans la région la plus anciennement colonisée (entre Villefranche-sur-Mer et Menton), l'algue a atteint son expansion maximale et ne peut donc continuer à progresser (Figure 5). Dans les régions récemment colonisées (Var, Ligurie italienne, île d'Elba, Messina) bien que le taux de progression soit très rapide, les surfaces concernées restent encore relativement modestes. De 1984 à 1994, la raison de la progression annuelle de la surface couverte totale a été de l'ordre de 6.

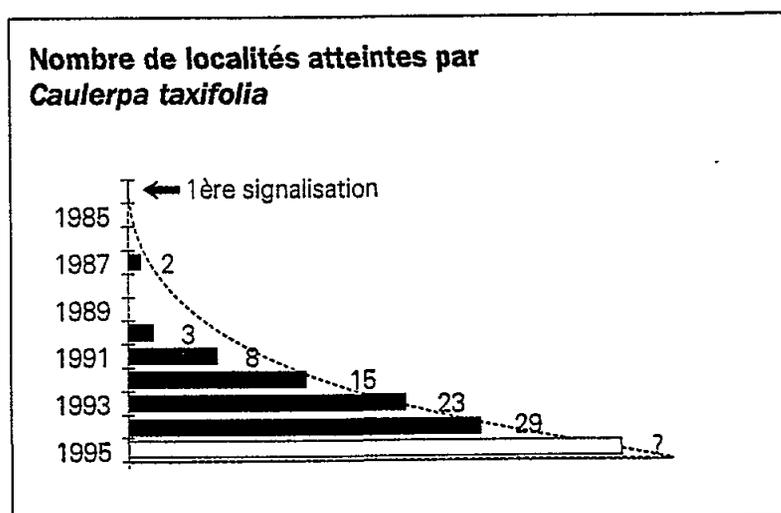


Fig. 3 Nombre de localités où *Caulerpa taxifolia* a été signalée depuis 1984. L'ensemble des localités atteintes en Méditerranée n'est certainement pas encore connue

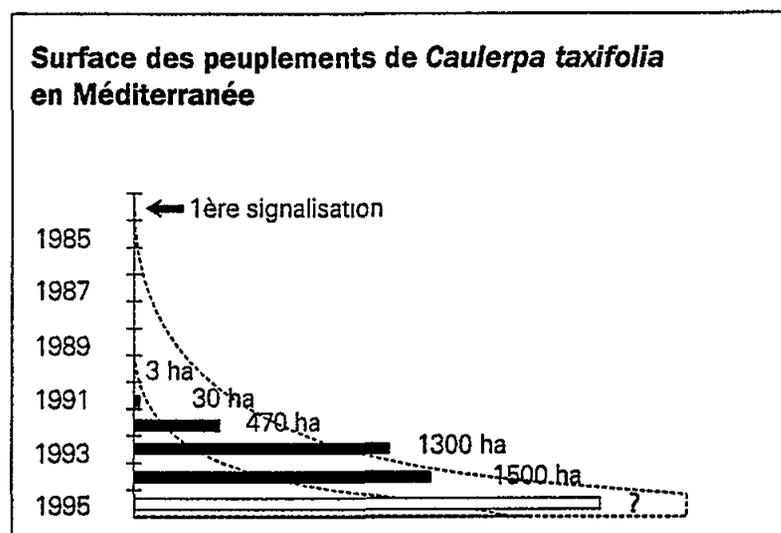
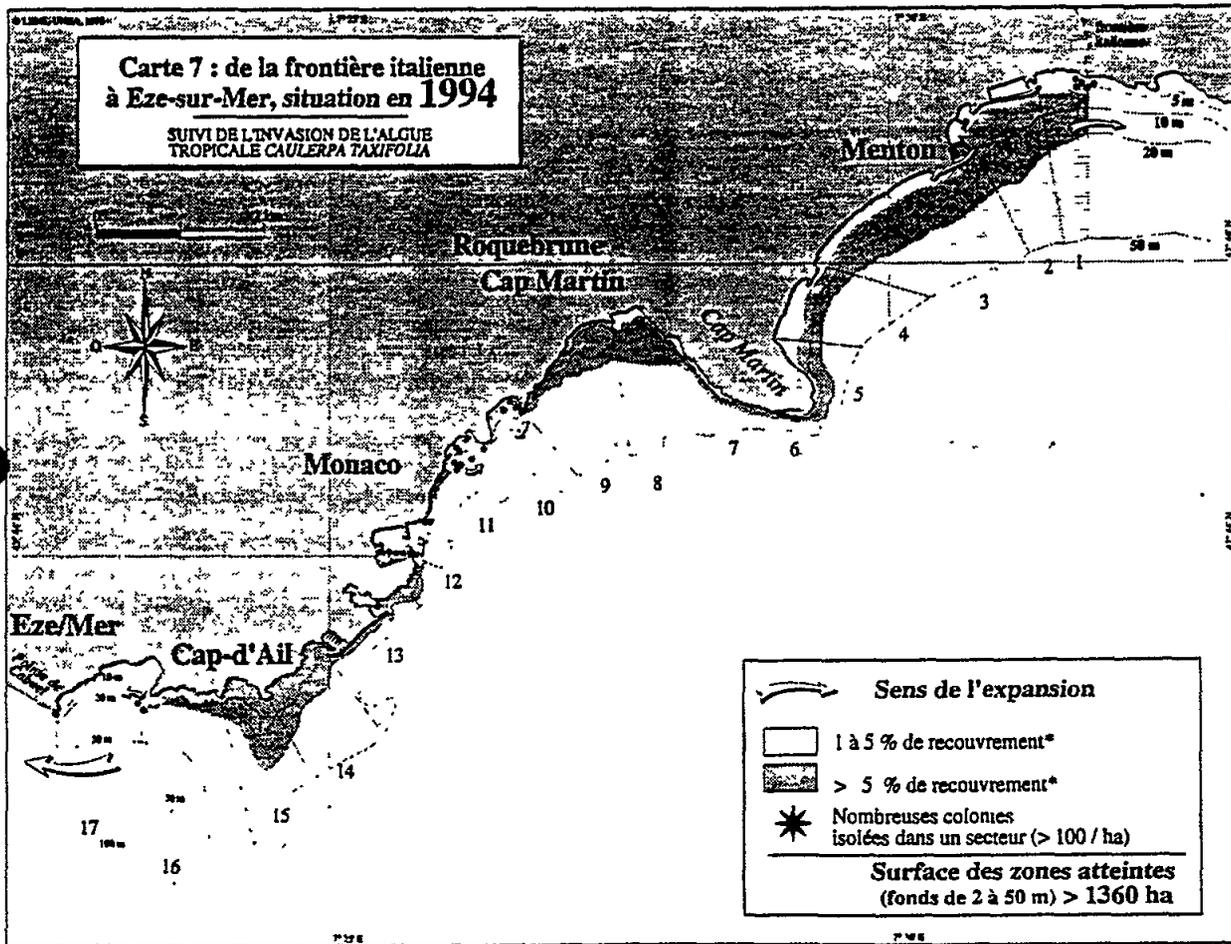


Fig. 4 Surface des peuplements de *Caulerpa taxifolia* a été signalée depuis 1984 en Méditerranée (en hectares)



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

Fig. 5 Etat de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* dans le secteur le plus fortement colonisé (Eze-sur-Mer à la frontière italienne) en 1994. (D'après Meinesz et al., 1995)

Aucun ralentissement de la progression de *Caulerpa taxifolia* n'est pour le moment perceptible ; aucune régression naturelle, même localisée, n'a été signalée, à l'exception de la lagune du Brusç (Var), où une petite tache, observée en 1992, n'a pas survécu aux très basses températures hivernales.

Les nouvelles colonies de *Caulerpa taxifolia* ont toujours été observées entre 1 et 14 mètres de profondeur. Dans un premier temps, elles s'étendent le long de la côte. Puis se produit l'extension vers de plus grandes profondeurs. La dissémination sur de courtes distances se fait principalement par des boutures transportées par l'hydrodynamisme (la reproduction sexuée pas été observée pour le moment). Le phénomène de bouturage est important puisqu'il suffit d'un petit fragment de cette algue pour qu'elle puisse former une nouvelle tache; la progression de cette nouvelle tache devient alors très rapide (Figure 6).

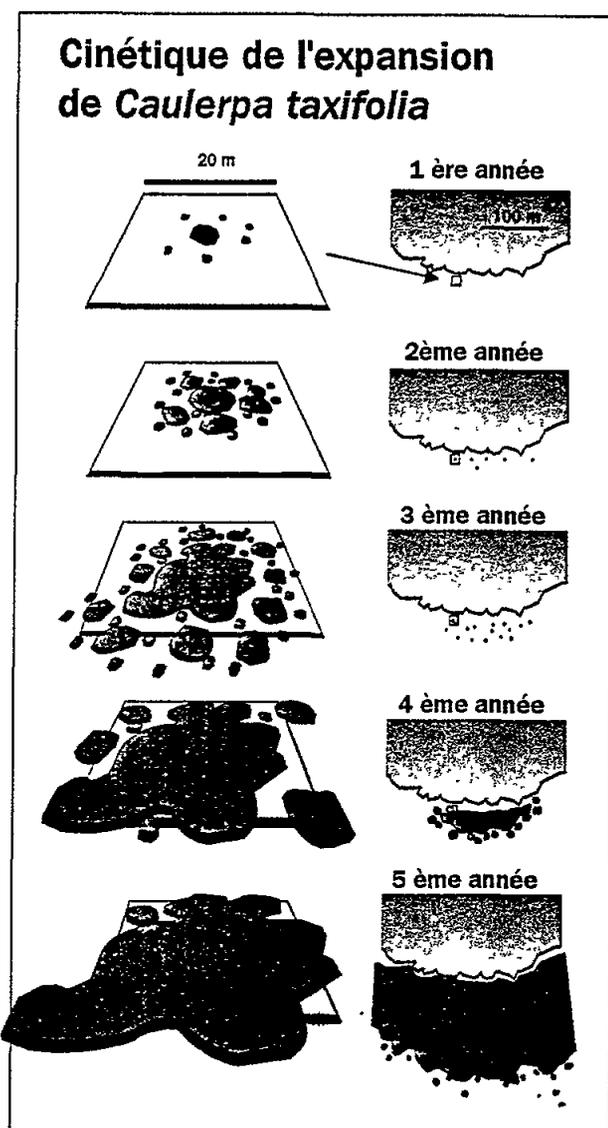


Fig. 6 Cinétique de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée à partir d'une tâche isolée. Ce schéma a été défini d'après les observations réalisées au Cap-Martin (Alpes-maritime; Meinesz et al., 1995)

Ce schéma de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* par dissémination de boutures à proximité des taches existantes n'explique toutefois pas sa présence dans tous les sites et notamment ceux éloignés de sites où *Caulerpa taxifolia* est installée depuis plusieurs années (Monaco, Alpes-Maritimes) et où elle forme des peuplements importants.

On peut remarquer que ces sites éloignés, actuellement colonisés, sont des zones de mouillage de bateaux de plaisance ou des petits ports de pêche. Il a alors été émis l'hypothèse que l'algue pouvait être disséminée sur de grandes distances par des fragments restés attachés aux filets des pêcheurs ou aux ancres des bateaux.

Afin de tester cette hypothèse, l'étude de la résistance de *Caulerpa taxifolia* à la dessiccation a été réalisée (encadré 1, p. 21). Les résultats obtenus concordent avec cette hypothèse qui permet d'expliquer la dissémination à longue distance de l'algue, par exemple son arrivée à Hyères, aux Baléares, à l'île d'Elba, dans le Parc National de Port-Cros ou en Croatie. La dissémination rapide à travers l'ensemble de la Méditerranée est donc possible et doit être considérée avec la plus grande gravité.

### Qui est *Caulerpa taxifolia* ?

Le genre *Caulerpa* comporte plus d'une centaine d'espèces, répandues dans les mers tempérées et surtout les mers chaudes. *Caulerpa taxifolia* est une algue verte largement répandue dans l'ensemble des mers tropicales : Brésil, Venezuela, Colombie, Costa-Rica, Antilles, Golfe de Guinée, Mer Rouge, Somalie, Kenya, Tanzanie, Madagascar, Maldives, Seychelles, Pakistan, Inde, Ceylan, Bengladesh, Malaisie, Indonésie, Philippines, Vietnam, Chine, Japon, Hawaii, Fidji, Nouvelle-Calédonie, Australie, etc (Figure 7). En Méditerranée, deux espèces de *Caulerpa* sont indigènes de façon certaine: *Caulerpa prolifera* et *Caulerpa olivieri*. Trois espèces de *Caulerpa* sont des immigrants lessepsiens, c'est à dire des espèces de Mer Rouge entrées en Méditerranée par le canal de Suez: *Caulerpa scalpelliformis* (Turquie et côtes levantines), *Caulerpa mexicana* (côtes levantines) et *Caulerpa racemosa*. *Caulerpa taxifolia* n'est pas une espèce Méditerranéenne, elle n'y avait jamais été observée avant 1984 (cf. encadré 2, p. 21)

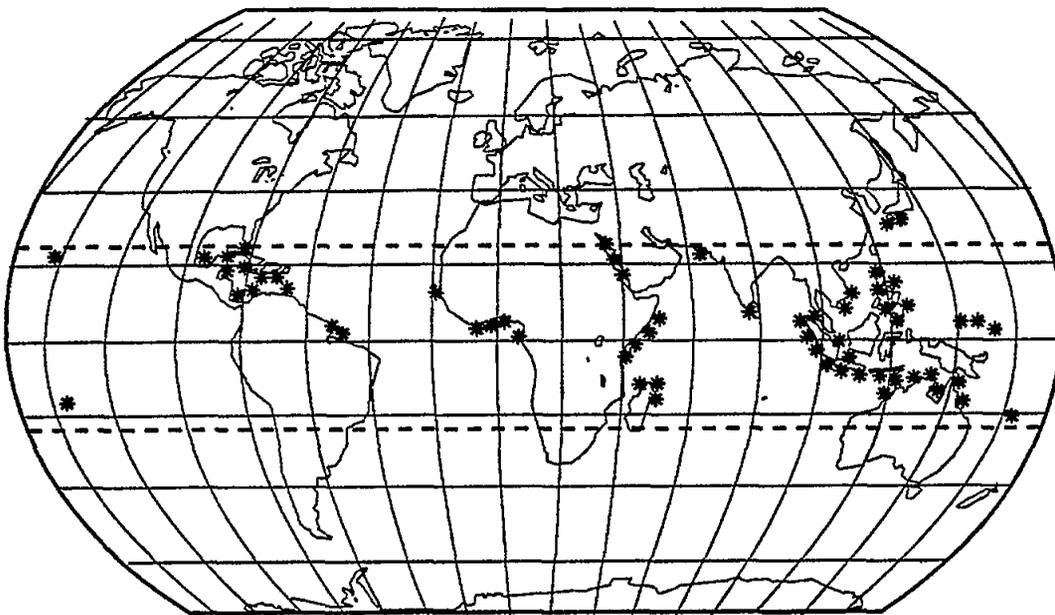


Fig. 7 La distribution de *Caulerpa taxifolia*. On observe que la distribution mondiale de cette espèce est essentiellement limitée à la zone intertropicale

## Comment *Caulerpa taxifolia* est-elle arrivée en Méditerranée ?

Bien qu'aucune hypothèse ne doit être exclue *a priori*, les *Caulerpa taxifolia* qui colonisent la Méditerranée nord-occidentale proviennent probablement d'aquariums tropicaux. En effet, depuis, 1980 environ, cette algue est utilisée à titre décoratif par un grand nombre d'aquariums tropicaux en Allemagne, en France puis à Monaco. En France et en Espagne, elle était d'ailleurs en vente dans les magasins d'aquariologie ou sur catalogue. La découverte de coraux tropicaux (*Porites somaliensis*) au centre de la petite tache de *Caulerpa taxifolia* qui s'était développée au pied d'une jetée du port des Lecques (Var, France ; tache éradiquée) confirme la possibilité de contamination à partir du rejet du contenu d'aquariums tropicaux.

## Ecologie de *Caulerpa taxifolia*

La souche de *Caulerpa taxifolia* qui colonise la Méditerranée présente des caractéristiques morphologiques et physiologiques inhabituelles par rapport à ses régions d'origine. Par exemple, la longueur moyenne des frondes (= «feuilles») n'est que de 2 à 15 cm dans les mers tropicales, alors que ces frondes peuvent dépasser 60 cm de longueur en Méditerranée ; des frondes de 80 cm de longueur ont même été observées à l'automne 1993. En Méditerranée, les prairies peuvent présenter une densité exceptionnelle (jusqu'à 14 000 feuilles/m<sup>2</sup>), alors qu'elles sont très clairsemées dans les mers tropicales.

Des études de la croissance de la souche méditerranéenne de *Caulerpa taxifolia* en fonction de la lumière ont été faites: elles montrent une adaptation à de nombreuses conditions d'éclairement dans le milieu naturel et notamment que *Caulerpa taxifolia*, est capable de vivre jusqu'à 90 m de profondeur dans les eaux plus claires de la Méditerranée centrale. Les campagnes d'observation par caméra vidéo ou au moyen du sous-marin Griffon ont montré que *Caulerpa taxifolia* pouvait se rencontrer, fixée, jusqu'à 100 m de profondeur dans les Alpes-Maritimes, ce qui est tout-à-fait cohérent avec les résultats de ces recherches menées en laboratoire.

Les courbes de croissance en fonction de la température de l'eau montrent une adaptation de cette souche à un large spectre de température. Les températures léthales ont été mesurées en laboratoire : <+7°C et >+30°C. D'une manière générale, la croissance et le développement augmentent en fonction de la température des eaux. La croissance des stolons (=tiges rampantes) commence en mai-juin (13.5 à 16°C). Les meilleures conditions sont observées entre 20°C et 30°C et c'est en août-septembre que leur croissance est la plus rapide (5-14 mm/jour). Au total, sur une année, la croissance cumulée d'un seul stolon est comprise entre 88 et 186 cm. On a mesuré 350 m de stolons par m<sup>2</sup> ce qui est énorme.

Les températures compatibles avec le développement de *Caulerpa taxifolia* montrent qu'il est peu probable que cette algue disparaisse à la suite d'un hiver trop rigoureux ou d'un réchauffement des eaux (en Méditerranée, en mer ouverte, la température des eaux varie entre +10°C et 28°C) et qu'elle possède de larges potentialités de vie dans la plus grande partie de la Méditerranée. Il s'agit d'un résultat surprenant pour une algue «tropicale», qui confirme que la souche qui colonise la Méditerranée possède des caractéristiques bien différentes de celles des régions tropicales d'origine.

Il ne semble pas y avoir de lien entre la localisation des populations de *Caulerpa taxifolia* et la qualité des eaux ; les observations de terrain (plongée, caméra vidéo-tractée par navire océanographique) ont confirmé l'absence de relation entre la répartition de *Caulerpa taxifolia* et les sources de pollution (sorties d'émissaires, ports).

On a mesuré expérimentalement que l'enrichissement en nutriments augmente la productivité de *Caulerpa taxifolia* d'un facteur 1.5 à 2.5 en avril et en septembre, quand la productivité des témoins (algues méditerranéennes) est à son minimum annuel. Aux autres périodes de l'année, il n'y a pas de limitation de la croissance par les nutriments, quels que soient leurs taux. Il s'agit d'un résultat surprenant, puisque les nutriments sont un facteur limitant en été pour les algues méditerranéennes, époque où la température et l'éclairement sont par ailleurs optimum pour la croissance. Bien qu'il n'y ait pour le moment pas d'explication à ce comportement de *Caulerpa taxifolia*, il pourrait s'avérer important pour comprendre le succès de la compétition de *Caulerpa taxifolia* sur la plupart des algues et des phanérogames de Méditerranée.

Les différents aspects de sa biologie (adaptation à une large gamme d'éclairement, de température, de types de substrats, croissance rapide) indiquent que *Caulerpa taxifolia* est susceptible de coloniser de nombreux types de fonds en Méditerranée. Elle colonise, en effet, tous les types de substrat : roche, sable, vase, matre morte de Posidonies, herbier à Posidonies (voir encadré 4, p. 22).

#### **Comment expliquer les caractéristiques particulières des prairies à *Caulerpa taxifolia* en méditerranée?**

D'une manière générale, lorsqu'une espèce exotique est introduite dans une région elle se trouve isolée de tous ses ennemis naturels (maladies, parasites, prédateurs, compétiteurs), qui dans son aire d'origine en limitent l'expansion. Dans le cas de *Caulerpa taxifolia*, le formidable succès de son implantation s'explique donc avant tout par l'absence de facteurs limitant son expansion. En effet, à l'heure actuelle, en Méditerranée, aucun prédateur susceptible d'en limiter le développement (espèce herbivore) n'a été observé et les espèces végétales indigènes ne montrent pas une aptitude à la compétition qui soit suffisante pour permettre de cantonner *Caulerpa taxifolia* à une niche écologique particulière.

Cependant, on peut ajouter que *Caulerpa taxifolia* présente, en Méditerranée, une extraordinaire vitalité. Différentes hypothèses tentent d'expliquer cette grande vitalité ainsi que ses caractéristiques écologiques particulières par comparaison avec celles des populations tropicales.

En raison de l'origine probable de son introduction, il est vraisemblable que la souche de *Caulerpa taxifolia* qui colonise la Méditerranée soit le résultat de modifications d'individus (cf. encadré 3, p. 21) intervenues en aquariums à la faveur de conditions particulières de température, d'éclairement, de qualité de l'eau par exemple. Ces phénomènes de modifications artificielles du patrimoine génétique d'individus sont relativement bien connus et sont parfois provoqués expérimentalement à des fins scientifiques ou industrielle car ils sont susceptibles d'apporter une vigueur hybride à des espèces d'intérêt commercial.

#### **Impact de *Caulerpa taxifolia* sur le milieu naturel**

Lorsque *Caulerpa taxifolia* s'implante sur des fonds dominés par des algues (généralement installées sur roche), on observe un appauvrissement drastique du peuplement algal : la plupart des espèces tendent à disparaître et seules quelques espèces (encroûtantes) semblent résister plus longtemps. La pauvreté maximale s'observe lorsque la vitalité de *Caulerpa taxifolia* est maximale (été-automne) : ses axes rampants et ses feuilles font barrage à la lumière et piègent le sédiment, le substrat s'envase, et l'élimination des autres algues peut alors être quasi-totale.

Lorsque *Caulerpa taxifolia* s'installe dans un tel peuplement, ses axes rampants et ses rhizoïdes tissent rapidement une couverture compacte qui piège les sédiments et stoppe la lumière. La roche devient peu à peu inaccessible aux autres organismes fixés. Une fois la prairie de *Caulerpa taxifolia* installée au détriment des autres algues, sa couverture et sa biomasse restent assez stables toute l'année. Ce type de peuplement hégémonique se traduit par un fort appauvrissement en terme de biodiversité.

Le taux d'appauvrissement d'un peuplement ainsi colonisé atteint 75% si l'on se limite aux algues principales du couvert végétal méditerranéen initial (Figure 8). En terme d'abondance (c'est-à-dire sous l'aspect quantitatif) la plupart des algues autochtones régressent et tendent à disparaître comme l'illustre la chute de leur biomasse qui peut atteindre presque 100%.

Plus d'une vingtaine de communautés et de faciès dominés par des algues peuvent ainsi être remplacés par une prairie monotone et pauci-spécifique à *Caulerpa taxifolia*. Si l'on considère que l'étage infralittoral, qui s'étend généralement en Méditerranée nord-occidentale entre le voisinage du niveau moyen de la mer et 30-40 m de profondeur, héberge la majeure partie de la biodiversité algale, il apparaît que l'expansion de *Caulerpa taxifolia*, si elle se poursuivait, conduirait à la raréfaction drastique de nombreuses espèces. Il ne peut être exclu qu'un certain nombre d'espèces, endémiques de la Méditerranée et cantonnées à l'étage infralittoral, soient menacées de disparition : c'est le cas en particulier de plusieurs espèces du genre *Cystoseira*, espèces recommandées à la protection (UNEP-IUCN-GIS Posidonie, 1990).

La petite faune d'invertébrés qui vit dans ces peuplements algaux de Méditerranée est également fortement perturbée par l'installation de *Caulerpa taxifolia*.

Les observations réalisées sur les Mollusques, les Amphipodes et les Polychètes montrent que leurs populations sont plus ou moins fortement réduites, en nombre d'individus, dans la prairie à *Caulerpa taxifolia*, par rapport aux peuplements indigènes. Comme pour les espèces algales, une réduction du nombre d'espèces s'observe chez les Polychètes et surtout chez les Amphipodes ; la diversité spécifique des Mollusques peut en revanche augmenter (Figures 9-11).

*Caulerpa taxifolia* entre également en compétition avec l'herbier à *Posidonia oceanica*, l'un des écosystèmes les plus importants de Méditerranée (cf. encadré 4, p. 22). L'installation de *Caulerpa taxifolia* est toutefois moins rapide dans les prairies à *Posidonia oceanica* que dans les peuplements d'algues sur roche. La densité des faisceaux de feuilles de Posidonies est en effet importante (jusqu'à 800 faisceau/m<sup>2</sup>) et les feuilles, longues au printemps, constituent un site peu favorable à l'implantation de *Caulerpa taxifolia* qui colonise alors seulement les zones les plus clairsemées de l'herbier de Posidonie et ne s'implante que sporadiquement au sein de l'herbier dense. En automne, toutefois, les feuilles de Posidonies sont plus courtes et les frondes de *Caulerpa taxifolia* à leur maximum de développement. Les longues frondes des taches de *Caulerpa taxifolia* installées au sein de l'herbier dense masquent alors la lumière perturbant la croissance des jeunes feuilles de Posidonies. La compétition directe entre ces deux végétaux (pour l'espace et la lumière) tourne alors à l'avantage de *Caulerpa taxifolia*.

Lorsque s'établit une telle compétition, on observe une diminution de la largeur, de l'épaisseur, du nombre et de la longévité des feuilles de Posidonie. Des nécroses apparaissent sur les feuilles de Posidonies et les tiges feuillées meurent.

**COMPARAISON DES RICHESSES EN ESPECES ET DU NOMBRE TOTAL D'INDIVIDUS  
DANS LES PEUPELEMENTS DE REFERENCE ET DANS LES PRAIRIES A CAULERPA TAXIFOLIA**

□ Peuplement de référence

■ Peuplement à *Caulerpa taxifolia*

**ALGUES**

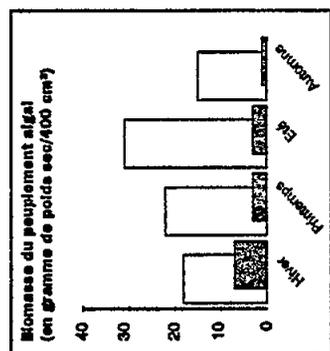
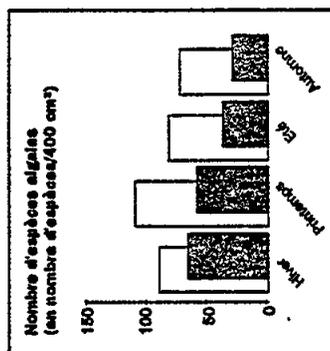


Figure 8 : comparaison des richesses spécifiques et biomasse algale dans les peuplements de références et les prairies à *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. D'après les données de Verlaque et al., 1984.

**POLYCHETES**

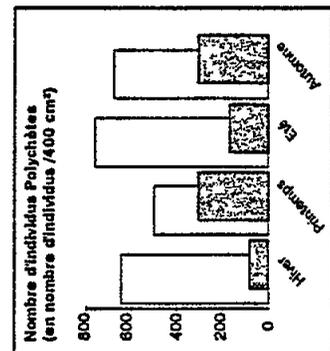
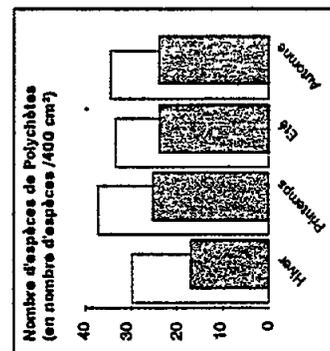


Figure 10 : comparaison des richesses spécifiques et nombre d'individus de Polychètes dans les peuplements de références et les prairies à *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. D'après les données de Bellan-Santini et al., 1994.

**MOLLUSQUES**

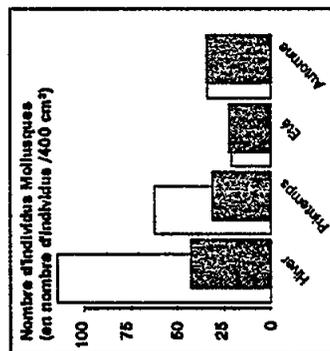
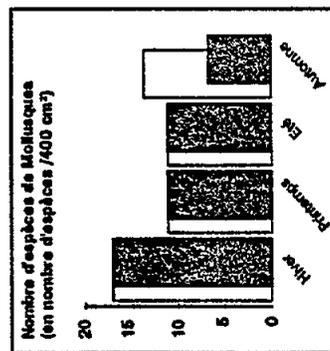


Figure 9 : comparaison des richesses spécifiques et nombre total d'individus de mollusques dans les peuplements de références et les prairies à *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. D'après les données de Bellan-Santini et al., 1994.

**AMPHIPODES**

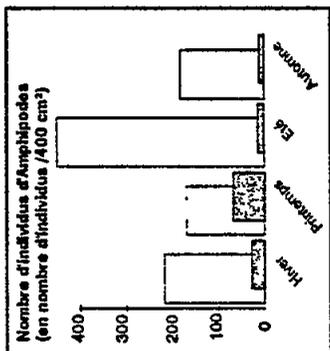
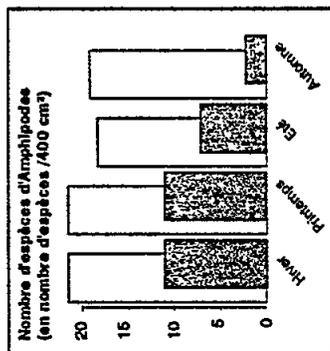


Figure 11 : comparaison des richesses spécifiques et nombre d'individus d'Amphipodes dans les peuplements de références et les prairies à *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. D'après les données de Bellan-Santini et al., 1994.

Le succès compétitif de *Caulerpa taxifolia* vis-à-vis des espèces indigènes est sans doute dû à sa taille, à la densité des peuplements qu'elle constitue, à sa vitesse de croissance, aux changements physico-chimiques et biotiques qu'elle induit mais également aux métabolites toxiques qu'elle synthétise.

### **Toxicité de *Caulerpa taxifolia***

De nombreux végétaux, dont plusieurs espèces algales, synthétisent des substances toxiques qui les protègent des prédateurs - herbivores - ou compétiteurs. Ce type de métabolites est bien connue dans le genre *Caulerpa*. Chez *Caulerpa taxifolia*, les chercheurs ont découvert 9 substances toxiques (cf. encadré 5, p. 23) dont la Caulerpényne, spécifique du genre *Caulerpa* est majoritaire. Elle représente 0.3 à 1.3% du poids frais pour la souche méditerranéenne de *Caulerpa taxifolia* et seulement 0.15% pour les Caulerpes tropicales.

Les effets des composés minoritaires toxiques ne doivent toutefois pas être oubliés; leur action sur les organismes vivants pouvant être spécifique et/ou agir de manière synergique. Il était donc important d'évaluer les risques sur la santé humaine et sur le milieu naturel. Une méthode d'extraction et de dosage a été développée, afin de quantifier la caulerpényne (jusqu'à des concentrations très faibles : 5 ng par échantillon).

La teneur de *Caulerpa taxifolia* en caulerpényne varie de 3 mg/g de poids frais au printemps à 13 mg/g en été, pour redescendre à 7 mg/g en automne. On vérifie, en aquarium, que la production de caulerpényne augmente avec la température. Les études menées en aquarium ont permis de vérifier que la caulerpényne peut diffuser dans l'eau de mer. Ceci n'a toutefois pas encore été vérifié en milieu naturel.

Pour tester la toxicité d'une substance "modèles" expérimentaux sont utilisés (cellules ou organismes vivants) sur lesquels la réponse aux différents composés (à différentes doses) est testée. Les extraits méthanoliques de *Caulerpa taxifolia* sont actifs sur les fibroblastes de hamster, sur la souris et sur les oeufs de l'oursin *Paracentrotus lividus*. Il a également été montré que certains ciliés<sup>1</sup> sont sensibles aux différents terpènes de *Caulerpa taxifolia* à faibles doses (0.5-1.0 µg/ml) ; en conséquence, on considère qu'une discontinuité dans la chaîne trophique menant aux espèces de grandes tailles existe probablement dans les régions densément peuplées par *Caulerpa taxifolia*.

Il est probable que la présence de ces métabolites secondaires toxiques qui explique que *Caulerpa taxifolia* soit fortement évitée, en été et en automne, par les deux principaux macro-herbivores de Méditerranée, le poisson *Sarpa salpa* et l'oursin comestible *Paracentrotus lividus*. En été et en automne, lorsque la toxicité de *Caulerpa taxifolia* est maximale, *Paracentrotus lividus* ne consomme cette dernière que si aucune autre nourriture n'est disponible. Les rations alimentaires, mesurées expérimentalement, diminuent progressivement pour devenir nulle ; le taux d'absorption est alors excessivement faible et les oursins meurent au bout de 3 mois.

Au printemps et en hiver, lorsque la toxicité de *Caulerpa taxifolia* est moindre, *Paracentrotus lividus* consomme cette algue mais au bout de quelques semaines des effets physiologiques négatifs sont observés. Cet affaiblissement général des animaux, ajouté à l'activité antimotile de la caulerpényne sur les oeufs d'oursins (empêchant la division des

---

<sup>1</sup> Les ciliés sont des organismes unicellulaires qui se situent tout à fait à la base des chaînes alimentaires marines et qui jouent donc un rôle important, bien qu'encore mal connu, dans le fonctionnement des écosystèmes.

oeufs lors des différentes phases de la reproduction), pourrait affecter le recrutement et la densité de *Paracentrotus lividus* dans les sites envahis par *Caulerpa taxifolia*. Un tel déclin des populations a été effectivement observé, dans une zone fortement colonisée par *Caulerpa taxifolia*. Au Cap Martin entre 1993 et 1994 : les effectifs d'oursins y ont en effet diminué des trois quarts. Les oursins se rassemblent alors en surnombre dans les zones non encore colonisées par *Caulerpa taxifolia* (peuplements algaux, îlots de Posidonies) et y déterminent alors un surpâturage susceptible de favoriser indirectement l'expansion de *Caulerpa taxifolia*.

Notons cependant que chez les oursins ayant consommé *Caulerpa taxifolia*, il ne semble pas y avoir accumulation de la caulerpényne, tout au moins dans les gonades, parties de l'oursin consommées par l'homme, bien que la caulerpényne y ait été effectivement détectée.

En ce qui concerne les peuplements de poissons, après trois années de suivis et plus de 1000 dénombrements réalisés *in situ*, en plongée, il apparaît que le nombre moyen d'espèces, le nombre d'individus, la biomasse et le poids moyen par individu sont significativement plus faibles, en automne comme au printemps, dans les herbiers à *Caulerpa taxifolia*.

Enfin, en ce qui concerne les animaux que l'on force à consommer *Caulerpa taxifolia*, ils ne présentent pas de troubles graves irréversibles au cours des quelques semaines que durent les expériences. Cependant, des lésions d'organes et des pathologies localisées apparaissent. Ceci pourraient avoir pour conséquence, dans le milieu naturel, un affaiblissement des animaux les rendant plus vulnérables aux agents pathogènes ou aux prédateurs.

### Il y a-t-il un risque pour l'homme ?

Pour le moment, aucun risque potentiel de toxicité pour l'homme n'a été démontré. Si certaines espèces de Caulerpes sont consommées dans le monde (*Caulerpa lentillifera* et *Caulerpa racemosa* en Asie notamment), *Caulerpa taxifolia* n'est pas réputée pour ses qualités organoleptiques ce qui exclut, *a priori*, les risques d'intoxication par ingestion.

Pour le moment, aucun risque d'accumulation des toxines le long de la chaîne alimentaire n'a été démontré ; les espèces herbivores consommées par l'homme - essentiellement la saupe (*Sarpa salpa*) et l'oursin comestible (*Paracentrotus lividus*) - préfèrent éviter *Caulerpa taxifolia* et ne la consomment, dans tous les cas, qu'à la saison où celle-ci présente une faible concentration en toxines. A ce jour, aucun cas d'intoxication n'a pu être imputé à *Caulerpa taxifolia*.

Il ne faut toutefois pas oublier que les connaissances sur les toxines métabolisées par *Caulerpa taxifolia* sont encore partielles ; les recherches ont, à l'heure actuelle, surtout été focalisées sur la principale toxine, la caulerpényne. L'impact des autres toxines comme l'impact des produits de leur dégradation doit être étudié en gardant à l'esprit que les quantités de métabolites synthétisées sont très importantes ; au printemps lorsque la biomasse de *Caulerpa taxifolia* est maximale, se sont près de 70 kg de caulerpényne qui sont présents par hectare d'herbiers denses de *Caulerpa taxifolia*.

Enfin, soulignons que la dangerosité d'une substance ne doit pas prendre en compte sa seule toxicité aiguë potentielle ; de nombreuses substances sont aujourd'hui interdites en raison des risques de toxicité chroniques qu'elles présentent.

Le risque le plus important est celui de modification des équilibres écologiques, qui est amplifié par le caractère dominant et exubérant de *Caulerpa taxifolia*. La plupart des types de fonds littoraux de la Méditerranée sont susceptibles d'être colonisés par *Caulerpa taxifolia*. Le caractère hégémonique des peuplements qu'elle forme ainsi que l'appauvrissement drastique que subissent alors les peuplements indigènes, tant en terme de biodiversité et d'écodiversité qu'en terme d'espèces d'intérêt commercial doit être pris en compte avec le plus grand sérieux.

Si le schéma d'expansion que l'on observe actuellement sur la Côte d'Azur française devait se généraliser à l'ensemble de la Méditerranée, il s'agirait d'un bouleversement majeur de ses écosystèmes. Ce scénario d'une expansion à tout le littoral méditerranéen et d'une catastrophe écologique de grande ampleur est, en l'état des connaissances tout à fait plausible; on connaît, dans le monde, de tels cas d'expansion se poursuivant sur une longue durée jusqu'à ce que la totalité des milieux favorables à cette espèce ait été envahi (par exemple la Jacinthe d'eau, *Eichhornia crassipes*).

**Les conséquences écologiques, économiques, sociales et culturelles d'un tel scénario seraient alors incalculables**

Il est donc primordial de poursuivre les études en cours sur le phénomène ; plusieurs axes de recherches doivent être privilégiés ; ils portent sur les caractéristiques de l'espèce, ses exigences écologiques, sa physiologie, les facteurs limitants en Méditerranée, la toxicité et le devenir de ses métabolites et le fonctionnement du nouvel écosystème créé par *Caulerpa taxifolia*. Il convient également de continuer le suivi de l'expansion au niveau international par l'appel à signalisation auprès du public, et la recherche active dans les sites potentiels d'introduction (zones de mouillage, ports de pêche).

***Caulerpa taxifolia* va-t-elle continuer son expansion ?**

L'évolution future des peuplements à *Caulerpa taxifolia* de Méditerranée ne peut être prédite pour le moment :

(1) Une régulation naturelle peut intervenir dans les années qui viennent, par exemple sous la forme d'un prédateur dont l'explosion des effectifs exige un certain délai. Il n'est pas rare en effet que des espèces introduites, après une phase initiale d'expansion spectaculaire, voient leur exubérance se réduire, et s'intègrent aux écosystèmes indigènes. Dans ce cas, la récupération des peuplements d'algues sur roche pourra se faire ; en revanche, la destruction des herbiers à *Posidonia oceanica* devra être considérée comme irréversible à l'échelle humaine (on sait en effet que la régénération naturelle de ces herbiers est excessivement lente, et demande des siècles).

(2) L'expansion peut se poursuivre ; s'agissant d'une algue tropicale, et la Côte d'Azur n'étant pas la région la plus chaude de Méditerranée, on peut imaginer que *Caulerpa taxifolia* envahisse la totalité de la Méditerranée, et même que son expansion s'accélère maintenant qu'elle a atteint des eaux plus chaudes (Baléares et Sud de l'Italie). Il faut également garder à l'esprit qu'un des vecteurs de sa dissémination à longue distance, la navigation de plaisance, est un loisir en pleine expansion ; les côtes du littoral méditerranéen sont reliées entre elles par un réseau de routes maritimes particulièrement fréquentées en saison estivale. Il est d'ailleurs probable que certains pays soient déjà contaminés par *Caulerpa taxifolia* sans qu'on ne le sache encore.

Une des questions que l'on peut maintenant se poser est celle-ci : la souche de *Caulerpa taxifolia* qui colonise la Méditerranée, et qui semble originale, n'est-elle pas susceptible de coloniser d'autres régions du monde, et en particulier les mers tropicales ?

**Existe-il un risque qu'une nouvelle espèce soit introduite en Méditerranée et crée le même problème ?**

*Caulerpa taxifolia* n'est pas la première algue introduite accidentellement en Méditerranée occidentale depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle. Certaines n'ont pas posé de problème particulier, se sont simplement intégrées aux écosystèmes en place et y ont occupé une niche écologique précise et limitée. Mais, jamais une espèce introduite en Méditerranée occidentale n'avait réuni les caractéristiques de *Caulerpa taxifolia* : dominance, toxicité, occupation de la totalité des biotopes de l'Infralittoral, absence ou rareté des consommateurs, longévité, etc.

Mais il est vrai que le cas de *Caulerpa taxifolia* doit être replacé dans le contexte général des introductions d'espèces. On observe en effet une extraordinaire accélération du phénomène des introductions en Méditerranée depuis le début des années 60 (Figure 12). Rien qu'en Méditerranée, on peut estimer à 350 le nombre d'espèces introduites. Les espèces introduites représentent actuellement 3 à 7% selon les groupes taxonomiques considérés. Pour les seules espèces végétales par exemple, le rythme des introductions depuis le début du siècle peut être ajusté à un modèle exponentiel. Selon ce modèle, en 2050, le nombre d'espèces végétales introduites en Méditerranée, seraient de 250 à 1000. Dans ce dernier cas le nombre d'espèces végétales introduites serait le même que le nombre d'espèces indigènes (Boudouresque & Ribera, 1994).

Il est aujourd'hui urgent d'infléchir cette tendance si nous ne voulons pas que le XXI<sup>ème</sup> siècle soit celui d'une uniformisation planétaire des communautés et des paysages sous-marins qui aurait des conséquences incalculables pour les populations riveraines de la Méditerranée.

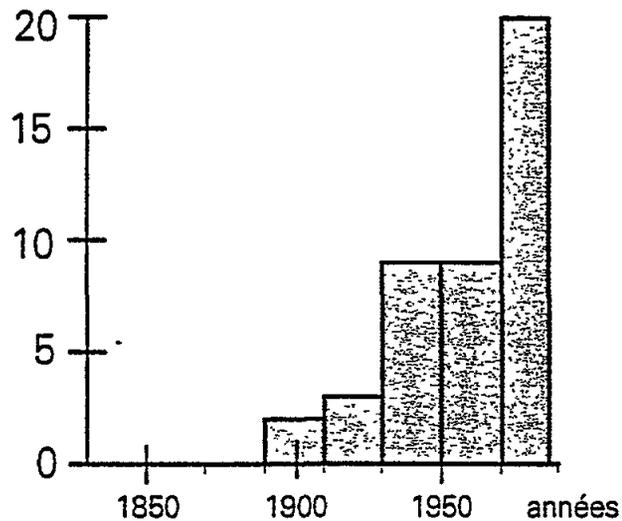
En Méditerranée, les législations nationales et internationales sont tout à fait inadaptées aux risques d'introduction actuels (aquaculture, aquariologie, eaux de ballast): il est urgent de les réviser afin de ralentir le rythme des introductions.

Une mauvaise maîtrise de ces problèmes d'introduction peut être extrêmement coûteuse ; une commission d'enquête du Congrès des USA a chiffré à 97 milliards de dollars US les dommages économiques causés à ce pays depuis le début du siècle par les espèces introduites (milieux terrestres et marins confondus). Dans ce même pays, il a été établi que 15% des espèces introduites ont causé des dommages économiques ou environnementaux. Pour ces raisons, certains pays, notamment les USA et l'Australie, se sont dotés d'une législation particulièrement ferme contre les risques d'introduction.

## **II - PROPOSITIONS POUR UNE STRATEGIE DE CONTROLE DE L'EXPANSION DE CAULERPA TAXIFOLIA EN MEDITERRANEE**

Lors du "Séminaire international sur *Caulerpa taxifolia*", tenu à Barcelone en 1994 et clôturant le programme d'étude réalisé sous l'égide de l'Union Européenne, les scientifiques présents ont tenu à adopter un texte commun (cf Annexe I) indiquant: «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

Nombre de macro-algues introduites en Méditerranée  
(espèces lessepsiennes incluses)



Nombre d'invertébrés introduits en Méditerranée  
(immigrants lessepsiens exclus)

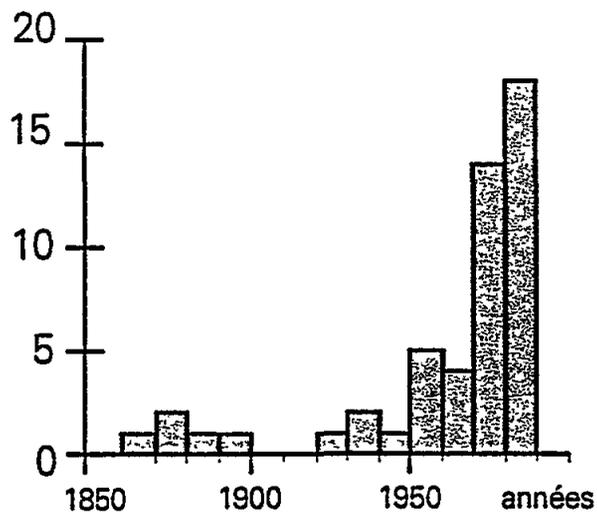


Fig. 12 En haut - nombre de macroalgues introduites en Méditerranée (espèces lessepsiennes exclues); En bas - nombres d'invertébrés introduits en Méditerranée (immigrants lessepsiens inclus). On remarque la formidable accélération du phénomène depuis les années 1950. D'après Boudouresque et Ribera, 1994

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>2</sup>) et de définir une stratégie internationale cohérente adaptée au problème posé».

### A - Mesures de prévention

Il n'appartient pas, bien sûr, aux scientifiques de décider. Toutefois, un consensus sur la stratégie qui devrait être adoptée, au moins dans un premier temps, existe : la lutte contre la progression de *Caulerpa taxifolia* est indissociable de mesures concrètes de prévention destinées:

- (i) à éviter de nouvelles contaminations à partir d'aquariums privés ou publics ;  
et
- (ii) à éviter sa dissémination à longue distance à partir des peuplements existants.

Pour éviter de nouvelles contaminations, il est indispensable que des dispositions interdisant la vente, l'achat, le transport et la détention de *Caulerpa taxifolia* (telles que celles adoptées en Catalogne et en France ; cf. annexe II) soient adoptées par l'ensemble des pays riverains de la Méditerranée.

Ces textes doivent être suivis de mesures concrètes réelles ; en effet, on observe que, près de deux ans après l'adoption de telles dispositions par la France et la Catalogne, *Caulerpa taxifolia* est toujours en vente dans le commerce. Il convient, à l'évidence que toute la publicité nécessaire soit faite sur les mesures d'interdiction adoptées.

Pour éviter la dissémination à longue distance à partir des stations existantes, il convient d'une part de mieux informer les plaisanciers sur la nécessité de nettoyer leur ancre sur place après mouillage dans une zone contaminée, et d'autre part d'interdire ou d'aménager le mouillage dans les secteurs les plus fortement contaminés. De même, il convient d'interdire la pêche (chalut et filet) dans ces même secteurs.

Des documents grand-public existent déjà: il conviendrait d'en faire de nouvelles éditions dans les différentes langues des pays de la Méditerranée et de les diffuser largement, par le biais des autorités responsables des ports de plaisance et les prud'homies de pêche. Ces informations doivent être reprises par les médias spécialisés. Parallèlement, les découvertes de *Caulerpa taxifolia* dans des sites non encore recensés doivent être signalées soit auprès des autorités soit auprès des laboratoires déjà impliqués dans les programmes de recherche. Il convient également de diffuser largement des appels à signalisation auprès des fédérations nationales et clubs de plongée sous-marine et presse spécialisée en insistant sur la précision des localisations.

### B - Stratégie de ralentissement

Enfin, il doit impérativement être mis en oeuvre une stratégie de ralentissement de l'extension de *Caulerpa taxifolia*, sur l'ensemble du bassin méditerranéen, par éradication des

---

<sup>2</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.

taches de petite dimension déjà localisées ou qui seront découvertes en dehors des zones fortement contaminées du secteur Menton-Cap d'Ail (Est des Alpes-Maritime, France) et d'Imperia (Italie).

En fonction des techniques actuellement recensées, l'éradication totale de la souche de *Caulerpa taxifolia* qui colonise la Méditerranée n'est pas réaliste. L'éradication manuelle par plongeurs, mise en oeuvre avec succès à Mallorca (Baléares) est la seule technique qui a apporté ses preuves dans le cadre de peuplements de faible surface.

Pour le moment, aucune technique ne permet l'éradication totale et définitive, ni le traitement de surfaces supérieures à l'hectare ; les techniques susceptibles de présenter un rendement d'éradication important ne sont, pour l'instant, développées que de manière expérimentale et il convient de leur apporter - sous contrôle scientifique - l'aide financière nécessaire. Une mission scientifique et technique doit être chargée de recenser les différentes techniques de contrôle des espèces envahissantes mises en oeuvre dans le monde et de juger de leur adaptation à l'éradication de *Caulerpa taxifolia*. Enfin, il est important de poursuivre les programmes de suivis de l'expansion et les recherche en cours susceptibles de déboucher sur des applications en termes de contrôle des peuplement : caractéristiques de la souche méditerranéenne, exigences écologiques, physiologie et modalités de régénération, de multiplication et de reproduction, facteurs limitants en Méditerranée et dans les populations naturelles.

Quelques principes généraux se dégagent dès maintenant:

- (i) L'éradication partielle d'une tache est inutile: la recolonisation latérale à partir de la zone non éradiquée est très rapide;
- (ii) L'éradication n'étant jamais totale, des retours réguliers sur les zones éradiquées sont indispensables de façon à éliminer les repousses;
- (iii) L'arrachage manuel est particulièrement adapté (vitesse, coût) au retour sur les sites dont la plus grande partie du peuplement à *Caulerpa taxifolia* a été éradiquée antérieurement (éventuellement au moyen d'une autre méthode).

Les équipes de plongeurs sous-marins (Marine Nationale, plongeurs professionnels) susceptibles d'intervenir dans le cadre d'éradications doivent être recensées. Ces équipes doivent, en préalable à toute intervention recevoir une formation minimum. Un cahier des charges garantissant les qualités des prestations d'éradication et du suivi doit être adopté. Les responsabilités (niveaux décisionnels) inhérentes à la prise en charge des budgets, des maîtrises d'ouvrages et des opérations de prévention et d'éradication doivent être clairement définies. Les outils financiers adéquats doivent être mis en place.

On doit insister sur la bonne coordination entre le moment de la découverte de nouvelles taches de *Caulerpa taxifolia* et celui de l'intervention pour l'éradication. Par expérience, il apparaît que les taches nouvellement signalées sont postérieures de 2 à 3 ans à la date d'installation de l'algue. Dans le meilleur des cas, la tache nouvellement signalée représente une surface de plusieurs mètres carrés. L'investissement nécessaire à son éradication croît proportionnellement à la vitesse de développement de *Caulerpa taxifolia* (extension annuelle d'un facteur 6 environ).

Les mesures à adopter par les pays réunis dans le cadre de la Convention de Barcelone doivent être effectives très rapidement ; chaque printemps la vitesse de croissance des peuplements de *Caulerpa taxifolia* augmente le coût des interventions visant à contrôler

le phénomène. La multiplication des déplacements des navires de plaisance à la saison estivale augmente les risques de dissémination dans des zones littorales non surveillées. On estime que la répartition géographique de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée est actuellement relativement bien connue ; il est fortement probable que d'ici quelques années, à la veille de l'an 2000, la situation soit totalement hors de contrôle.

Un calendrier des actions proposées ci-dessus doit donc être adopté par les différents pays. Enfin, un séminaire international dont le principal objectif serait de définir les modalités pratiques de la stratégie de contrôle de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée doit être organisé.

## REFERENCES

BELLAN-SANTINI D., ARNAUD P.M., BELLAN G. & VERLAQUE M., 1994.- Résultats préliminaire sur la faune d'invertébrés du peuplement à *Caulerpa taxifolia* des côtes de Provence (Méditerranée Nord-occidentale). *First International Workshop on Caulerpa taxifolia*. Boudouresque C.F., Meinesz A. & Gravez V. edit., GIS Posidonie publ., Fr : 365-369.

BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A. & GRAVEZ V. (edit.), 1994.- *First International Workshop on Caulerpa taxifolia*. GIS Posidonie publ., Fr : 1-392.

BOUDOURESQUE C.F. & RIBERA M.A., 1994.- Les introductions d'espèces végétales et animales en milieu marin - conséquence écologiques et économiques et problèmes législatifs. *First International Workshop on Caulerpa taxifolia*. Boudouresque C.F., Meinesz A. & Gravez V. edit., GIS Posidonie publ., Fr : 29-102.

MEINESZ A., VAUGELAS J. de, COTTALORDA J.M., CAYE G., CHARRIER S., COMMEAU T., DELAHAYE L., FEBVRE M., JAFFRENOU F., LEMEE R., MOLENAAR H., & PIETKIEWICZ D., 1995.- *Suivi de l'invasion de l'algue tropicale Caulerpa taxifolia, devant les côtes française de la Méditerranée : situation au 31.12.1994*. LEMML-UNSA edit., Fr : 1-122.

PNUE/IUCN/GIS POSIDONIE, 1990. - *Livre rouge "Gérard Vuignier" des végétaux, peuplements et paysages marins menacés de Méditerranée*. MAP Technical Report Series N° 43, UNEP, Athens : 1-250.

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

## REMERCIEMENTS

Les organismes suivants ont été associés à l'élaboration de ce document:

Groupement d'Intérêt Scientifique pour l'Etude de l'Environnement Marin (GIS Posidonie), Parc Scientifique et Technologique de Luminy, Marseille (France).

Laboratoire Environnement Marin Littoral, EP CNRS 75, Université de Nice-Sophia Antipolis (France).

INSERM, Laboratoire de Physiologie Cellulaire et Comparée, U303, Université de Nice-Sophia Antipolis (France).

Laboratoire de Biologie Marine et d'Ecologie du Benthos, EP CNRS 75, Faculté des Sciences de Luminy, Université d'Aix Marseille II (France).

Laboratoire Benthos, CNRM Athènes (Grèce).

Les auteurs tiennent tout particulièrement à remercier le Prof. A. Meinesz (LEML), Dr. Marc Verlaque (CNRS - LBMEB), Dr. D. Pesando et Dr Ph. Amade (INSERM), Dr H. Molenaar, R. Lemée et J.M. Cottalorda (LEML - GIS Posidonie).

## ENCADRE 1

Dans des conditions de dessiccation qui sont celles qui régissent sur le pont d'un navire (70-75% d'humidité de l'air, température de 22-24°C), la résistance de *Caulerpa taxifolia* est de courte durée : *Caulerpa taxifolia* a peu de chance de survivre à un transport de plus d'une heure à l'air libre. Toutefois, dans les conditions de dessiccation qui régissent dans un puits d'ancre par exemple (obscurité, 85-90% d'humidité de l'air, température de 18°C), *Caulerpa taxifolia* résiste bien, et ce pendant plus de 10 jours. Réimmergée, elle survit et peut se développer. Le transport à longue distance de fragments vivants de *Caulerpa taxifolia* dans le puits d'ancre des bateaux, mais aussi dans un tas de filets ou dans un sac de plongée, apparaît donc comme possible.

## ENCADRE 2

### Une migration naturelle ?

L'éloignement des sites nouvellement colonisés en Méditerranée nord-occidentale des zones tropicales (distribution naturelle) montre que l'entrée en Méditerranée de *Caulerpa taxifolia* à la faveur d'une migration naturelle de l'espèce est fort peu vraisemblable:

*Caulerpa taxifolia* n'a pas pu entrer en Méditerranée par Gibraltar, l'algue n'est en effet pas connue des régions atlantiques avoisinantes, et aucune station intermédiaire (entre Gibraltar et la Côte d'Azur française) ne permet de valider un tel itinéraire.

L'origine lessepsienne (c'est ainsi que l'on appelle les espèces introduites par le biais du canal de Suez, du nom de l'ingénieur chargé de son creusement, Fernand Lesseps) de *Caulerpa taxifolia* est également improbable: (i) plus d'un siècle après l'ouverture du canal, aucune des algues lessepsiennes n'a encore été observée au delà de la Sicile; (ii) la route suivie par les végétaux lessepsiens peut être reconstituée grâce à de nombreuses stations intermédiaires - ce qui n'est pas le cas pour *Caulerpa taxifolia*; enfin (iii), les caractères des *Caulerpa taxifolia* de la Côte d'Azur semblent plus proches de ceux des populations de l'Atlantique tropical américain que de ceux des populations de l'Indo-Pacifique. La possibilité d'une introduction d'un individu fixé sur la coque d'un navire (comme ce peut être le cas pour des espèces de très petite taille), paraît peu probable.

## ENCADRE 3

### Une vigueur hybride...

L'addition de deux stocks chromosomiques différents lors d'une hybridation confère souvent à l'organisme qui en résulte une vigueur supérieure à celle des parents ; cette particularité est appelée "vigueur hybride".

Différentes hypothèses permettent d'expliquer l'exceptionnelle vitalité (vigueur hybride) de la souche de *Caulerpa taxifolia* trouvée en Méditerranée ; cette souche peut provenir:

- d'une sélection par l'homme (lors de la récolte dans son milieu d'origine) d'une souche particulière dont les qualités (par exemple aspect esthétique, croissance rapide, résistance aux chocs thermiques, etc) ont pu être appréciées des aquariologistes ;
- d'une mutation, c'est-à-dire une modification accidentelle du matériel génétique (informations contenues dans l'ADN) spontanée ou provoquée par des agents mutagènes (ultraviolets ou produits chimiques par exemple). Il est en effet courant, par exemple, en aquariologie, d'utiliser les ultraviolets pour lutter contre les parasites ; une mutation aurait alors pu être provoquée par de tels agents mutagènes ;
- d'une hybridation, c'est-à-dire du croisement, en aquarium, de deux souches de *Caulerpa taxifolia* d'origines différentes ou de *Caulerpa taxifolia* avec une autre espèce du genre *Caulerpa* qui aurait alors donné naissance à un nouvel organisme (= hybride) aux caractéristiques originales ;
- d'une polypléidie, c'est-à-dire une modification du matériel génétique par addition d'un nouveau lot de chromosomes ( $2n \rightarrow 3n, 4n, 5n$ , etc) soit par multiplication accidentelle des chromosomes de *Caulerpa taxifolia* (autopolyploïdes  $2n \rightarrow 4n, 8n$ , etc) soit par hybridation avec une souche ou une espèce différente puis polypléidie (allopolyploïde).

Ces différentes hypothèses ne pourront être vérifiées qu'à l'occasion d'études génétiques de la souche méditerranéenne de *Caulerpa taxifolia* et de la comparaison avec les souches d'origine tropicale.

#### ENCADRE 4

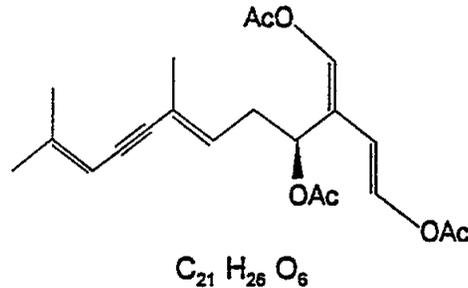
##### Les herbiers de Posidonie

La Posidonie, *Posidonia oceanica*, est une plante à fleurs qui forme de vastes prairies sous-marines entre la surface et 30 à 40 m de profondeur. Ces prairies sous-marines sont protégées par une Directive de l'Union Européenne et des législations régionales et nationales (Directive Européenne "habitats" du 21 mai 1992 - 92/43/CEE ; Arrêté de protection de *Posidonia oceanica* en France et législations régionales en régions de Valencia et Catalogne) en raison de son rôle fondamental dans l'équilibre de la mer Méditerranée (forte production biologique, nursery pour les juvéniles de nombreuses espèces, forte biodiversité, etc). Au même titre que la forêt sur terre, elles se doivent d'être protégées comme un patrimoine commun des pays méditerranéens. L'expansion de *Caulerpa taxifolia* constitue un risque majeur pour les herbiers de Posidonie.

## ENCADRE 5

### Un cocktail de toxines

La caulerpényne est un métabolite secondaire majeur de *Caulerpa taxifolia* ; c'est un sesquiterpène acétylénique spécifique du genre *Caulerpa*.



La caulerpényne peut avoir les effets suivants :

- antibactérien, antiviral, antifongique ;
- cytotoxique (toxique pour les cellules) ;
- ichtyotoxique (toxique pour les poissons) ;
- rôle répulsif ou anti-appétent envers les herbivores (défense chimique).

Huit autres métabolites sont synthétisés par *Caulerpa taxifolia* :

- Oxytoxine 1 ;
- 10-11 Epoxy-caulerpényne ;
- Taxifolial A ;
- Taxifolial B ;
- Taxifolial C ;
- Caulerpénynol ;
- Taxifolial D ;
- Taxifolione ;

qui pourraient être des précurseurs ou des dérivés de la caulerpényne.

Ces métabolites sont présents en moindre quantité mais certains d'entre-eux ont une forte activité toxique. En outre, les produits de dégradation de l'ensemble de ces métabolites ne sont pas encore connus ; ils constituent un des axes de recherches prioritaires des prochains programmes d'étude.

ANNEXE I

«Appel de Barcelone»

Appel de Barcelone \*

*Caulerpa taxifolia* : confirmation d'un risque majeur pour les écosystèmes littoraux de la Méditerranée.

En dix années, l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* s'est largement étendue en Méditerranée. A Monaco, zone où elle a été observée la première fois, et dans l'Est des Alpes-Maritimes (Sud Est de la France), les peuplements de l'algue ont atteint (couverture discontinue du substrat) près de 1350 hectares. En Italie, 150 ha sont maintenant atteints près d'Imperia. En dehors de ces zones, on a découvert près de 15 stations de surfaces plus modestes (de quelques dizaines de m<sup>2</sup> à 1 ha), mais chacune de ces colonies s'étend au même rythme que celui observé dans les premiers sites atteints. Ces colonies se répartissent sur les côtes septentrionales de la Méditerranée, des Baléares jusqu'en Sicile. Toutes ces disséminations louches sont vraisemblablement dues au transport de boue par les systèmes d'ancrage des bateaux de plaisance et par les engins de pêche.

L'algue se développe sur tous les substrats (roche, sable, vase, herbiers) entre 1 et 30 mètres de profondeur. Elle a été rencontrée de -30 m jusqu'à -99 m, mais en densité beaucoup plus faible. Elle s'adapte à toutes les conditions de milieu (dans les eaux éloignées de toutes sources de pollution comme dans les ports), et à toutes les configurations des côtes (devant les caps, dans les baies abritées). Elle est susceptible de résister 3 mois à 10 degrés. Cette caractéristique physiologique est l'une des différences qui permettent de distinguer la *Caulerpa taxifolia* introduite en Méditerranée des *Caulerpa taxifolia* des mers tropicales. Son développement et sa survie en Méditerranée ne sont donc pas liés avec l'éventuel réchauffement des eaux ou du climat.

Le développement de l'algue se poursuit jusqu'à ce qu'elle recouvre tout le substrat. Cette végétation permanente élimine rapidement la plupart des autres algues et altère les herbiers de Posidonies. La faune associée à la végétation d'origine subit de profonds changements : régression de certaines espèces, ce qui favorise d'autres espèces. Globalement, dans les écosystèmes typiques de la Méditerranée envahis par *Caulerpa taxifolia*, on assiste à une baisse de la biodiversité.

L'algue connaît des toxines qui jouent un rôle répulsif sur la faune herbivore et qui peuvent agir sur les spores, les oeufs, la microflore et la microfaune. L'impact écologique est amplifié par le caractère dominant de cette algue.

Ce bilan résume quatre années d'études dont les derniers résultats viennent d'être communiqués au Second Séminaire International sur *Caulerpa taxifolia*.

Même si on ne peut encore prévoir toutes les conséquences de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* sur les milieux littoraux de Méditerranée, et même si certaines hypothèses venaient à ne pas être vérifiées, les données recueillies à ce jour confirment qu'il y a un risque majeur pour la biodiversité, les équilibres écologiques et les ressources exploitées.

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 (PNUE, Convention de Barcelone, UICN, ...), de mettre en oeuvre le principe de précaution (dont fait état la Convention de Rio de Janeiro) et de définir une stratégie internationale cohérente adaptée au problème posé.

Barcelone, le 16 décembre 1994

\* Texte approuvé en Assemblée plénière par les scientifiques présents au Second Séminaire International sur *Caulerpa taxifolia* tenu à Barcelone du 15 au 17 décembre 1994.

Le Comité de Pilotage du Programme DG XI Life

Prof. Dr<sup>o</sup> Antonia Ribera (Sp) Prof. Francesco Ricciulli - Italia  
M. R. Bodo Ricciulli

Prof. Alexandru Feinesz - France  
Feinesz

Dr Danielle BESANCO  
INSERM France  
D. Besanco

Dr. Enric Bellesera, España  
Enric Bellesera

CFM  
Prof. C.F. Bourdeau-Made

ANNEXE II

Arrêté relatif à la lutte contre l'espèce *Caulerpa taxifolia* (France)

**Arrêté du 4 mars 1993 relatif à la lutte  
contre l'espèce *Caulerpa taxifolia*  
NOR : ENVN9320129A**

Le ministre de l'environnement et le secrétaire d'Etat à la mer,  
Vu le livre II du code rural relatif à la protection de la nature,  
notamment ses articles L. 211-1, L. 211-2 et L. 212-1;  
Vu l'avis du conseil national de la protection de la nature,

Arrêtent :

Art. 1<sup>er</sup>. - En tout temps et sur tout le territoire métropolitain, sont interdits la mise en vente, la vente, l'achat, l'utilisation et le rejet en mer de tout ou partie des spécimens de l'algue *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh.

Art. 2. - En tout temps et sur tout le territoire métropolitain, le ramassage et le transport de tout ou partie des spécimens de l'algue *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh. sont soumis à une autorisation, délivrée par le département concerné, en application de l'article R. 212-2 du code rural.

Art. 3. - Chaque demande d'autorisation précise :

- L'identité du demandeur;
- le nom de la ou des personnes chargées de l'opération;
- les parties de la plante récoltées;
- la quantité prévue (nombre de pieds ou surface de la tache...);
- le lieu précis du ramassage;
- la méthode de ramassage prévue;
- les dates et durées prévues de l'opération;
- le mode, la durée et les conditions de transport;
- la destination de la récolte et l'engagement de sa destruction par le demandeur.

Art. 4. - Les dispositions du présent arrêté sont applicables pour une durée de cinq ans à compter de sa publication.

Art. 5. - Le directeur de la nature et des paysages et le directeur des pêches maritimes et des cultures marines sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 4 mars 1993.

*Le ministre de l'environnement,*  
Pour le ministre et par délégation :  
*Le directeur de la nature et des paysages.*  
G. SIMON

*Le secrétaire d'Etat à la mer,*  
Pour le secrétaire d'Etat et par délégation :  
Par empêchement du directeur des pêches maritimes  
et des cultures marines :  
*Le sous-directeur,*  
B. BOYER