



**Programme des
Nations Unies
pour l'environnement**



UNEP(OCA)/MED WG.139/3
12 mars 1998

Original: FRANCAIS

PLAN D'ACTION POUR LA MEDITERRANEE

Atelier sur les espèces *Caulerpa* invasives
en Méditerranée

Heraklion, Crète, Grèce, 18-20 mars 1998

**LA PRESENCE DES ESPECES CAULERPA INVASIVES
EN MER MEDITERRANEE**

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 Vincent Gravez (GIS Posidonie, France), Marc Verlaque et C.F. Boudouresque (UMR CNRS 6540 DIMAR, France), A. Meinesz et J.-M. Cottalorda (Laboratoire Environnement Marin Littoral, France).

TABLE DES MATIERES

	<u>Page No.</u>
Introduction	1
Distribution	1
Qui est <i>Caulerpa</i> ?	9
Ecologie de <i>Caulerpa taxifolia</i>	12
Comment expliquer les caractéristiques particulières des prairies à <i>Caulerpa taxifolia</i> en Méditerranée?	13
Impact de <i>Caulerpa racemosa</i> et <i>Caulerpa taxifolia</i> sur le milieu naturel	14
Toxicité de <i>Caulerpa taxifolia</i>	17
Il y a t-il un risque pour l'homme ?	19
<i>Caulerpa taxifolia</i> va-t-elle continuer son expansion ?	20
Existe-il un risque qu'une nouvelle espèce soit introduite en Méditerranée et créer le même problème ?	20
<u>Propositions pour une stratégie de contrôle de l'expansion de <i>Caulerpa taxifolia</i> en Méditerranée</u>	22
1. Poursuivre et pérenniser l'étude et le suivi du phénomène, identifier les pôles d'expertises	23
2. Adopter des mesures de prévention	23
3. Adapter et renforcer les mesures de prévention dans les sites d'importance patrimoniale	24
4. Mettre en place des mesures de contrôle	25
5. Adopter un calendrier dans le cadre d'une convention internationale	26
REFERENCES	26
REMERCIEMENTS	31

Introduction

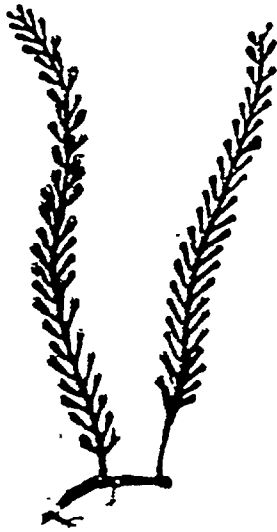
Depuis 1984 on assiste, en Méditerranée nord-occidentale, à l'expansion rapide d'une algue d'origine tropicale: *Caulerpa taxifolia*. Depuis 1992, près de 250 chercheurs de 63 centres de recherche et organismes méditerranéens ont été réunis afin d'étudier ce phénomène dans le cadre de programmes nationaux et de deux importants programmes soutenus par la Commission européenne (programme LIFE DGXI). Une abondante littérature est maintenant disponible sur le phénomène (Boudouresque *et al.*, 1998); il est d'ailleurs probable que jamais une autre espèce marine invasive n'ait été autant documentée.

Caulerpa racemosa (Forsskål) J. Agardh (Figure 1) est une espèce pan-tropicale à tempérée chaude largement distribuée dans le monde (Figure 2). Cette espèce est décrite dans la littérature avec de nombreuses variétés et formes différentes qui pourraient en fait masquer plusieurs espèces distinctes comme le laissent entendre certains travaux récents (Benzie *et al.*, 1997). *C. racemosa* s'étend en Méditerranée orientale et a été récemment signalé à Gênes en Italie et à Marseille en France.

Distribution

La première signalisation de *Caulerpa racemosa* en Méditerranée, a été faite par Hamel (1926) qui l'a récolté dans le port de Sousse en Tunisie. Par la suite, elle a été signalée au Liban (Rayss, 1941), en Egypte (Aleem, 1950, 1992), en Syrie (Huvé, 1957), en Israël (Rayss & Eldestein, 1960) et en Turquie (Cirik et Ozturk, 1991). *C. racemosa* est largement distribuée en mer Rouge (Nasr, 1947). A partir du début des années 1990, parallèlement à la découverte de nouvelles stations dans les pays du Moyen Orient (Figure 3), *C. racemosa* est découverte dans la lagune de Bizerte (nord de la Tunisie, Djellouli *et al.*, sous presse) en Sicile, (Alongi *et al.*, 1993), en Sardaigne, en Toscane (Piazzi *et al.*, 1994; Cossu & Gazale, 1997), en Ligurie italienne (Busotti *et al.*, 1997) et en France, à Marseille (Gravez *et al.*, inédit; Figure 4). La fréquence des découvertes récentes, leur distance par rapport aux colonies de Méditerranée orientale et la faible taille de ces nouvelles colonies semblent indiquer une phase d'expansion rapide de l'aire de répartition de l'espèce en Méditerranée.

L'algue *Caulerpa taxifolia* (Figure 5) 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. Cette même année, elle est découverte dans un autre département français, dans le Var, à Toulon. Son expansion devient alors relativement rapide. En 1991, elle est à nouveau signalée dans plusieurs sites en France, dans les départements des Alpes-Maritimes, du Var et des Pyrénées-Orientales, à la frontière Espagnole. En 1992, alors que de nouvelles stations sont découvertes en France, elle est observée pour la première fois en Italie (Livourne et en Toscane), et en Espagne au Baléares (Majorque, Cala d'Or). En 1993, *C. taxifolia* est découverte en Sicile (Messina), à l'île d'Elba, et de nouvelles stations sont découvertes en Ligurie italienne et française. En janvier 1995, *Caulerpa taxifolia* est signalée pour la première fois en mer Adriatique, en Croatie. Au début 1997, 5 pays sont concernés par ce phénomène (Monaco, la France, l'Espagne, l'Italie et la Croatie). Un total de 77 stations sont recensées (le double qu'en 1994) et il est très probable que de nombreuses colonies n'ont pas encore été découvertes (Figures 6-7). La Corse, l'Espagne continentale et la Sardaigne ne semblent pas, en l'état des connaissances, concernées. Les sites où *C. taxifolia* s'est implantée sont essentiellement, à l'Ouest de Monaco, des zones de mouillage et des ports de plaisance et, à l'Est, des zones de pêche et des ports de pêche. Les stations lointaines (Baléares, Croatie) sont également des ports et des zones de mouillage (Meinesz *et al.*, 1997).



Caulerpa racemosa

Fig. 1 Aspect général de l'algue *Caulerpa racemosa*

La surface occupée par *Caulerpa taxifolia* était de l'ordre de 1 m² en 1984. La surface atteinte est évaluée à 3 ha en 1990, 30 ha en 1991, 470 ha en 1992, 1300 ha en 1993, 1500 ha en 1994. Au début 1997, la surface totale atteinte est estimée à 3100 ha (Figure 8). Quatorze années après la date probable de l'introduction, 99% des surfaces atteintes par des colonies de *C. taxifolia* sont situées dans une région qui s'étend entre Toulon, en France, et Alassio, en Italie. Dans les régions les plus anciennement colonisées (entre Villefranche-sur-Mer et Menton) l'algue a atteint son expansion maximale et ne peut guère continuer à progresser (Figure 9). Sur tous les autres sites, les colonies de *C. taxifolia* présentent une vitesse de croissance importante et aucun ralentissement de sa progression n'est pour le moment perceptible. Aucune régression naturelle, même localisée n'a été signalée.

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 les courants (la réussite de la reproduction sexuée n'a pas été établie 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 colonie; la progression de cette nouvelle colonie devient alors très rapide (croissance exponentielle de facteur 2 à 10; Figure 10). Au bout d'une dizaine d'années, lorsque l'aire de dispersion a atteint la limite inférieure de l'expansion de l'algue (entre -40 à -50 m), on observe un palier dans l'accroissement annuel de la surface atteinte. En effet, la colonisation ne peut alors se faire que latéralement, de part et d'autre de la zone atteinte (Figure 11), la partie située sous le courant dominant progressant plus vite.

On peut remarquer que ces sites éloignés, actuellement colonisés, sont des zones de mouillage de bateaux de plaisance, des ports de plaisance, des zones de pêches ou des 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.

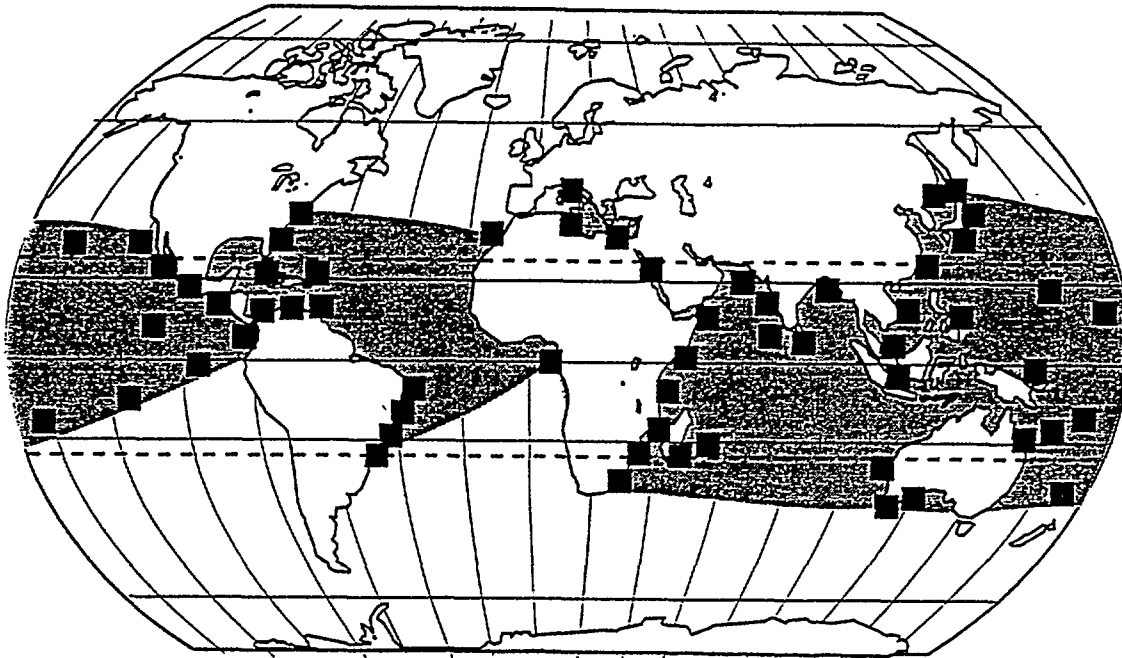


Fig. 2 La distribution mondiale de *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh sens lato (D'après Verlaque, inédit).

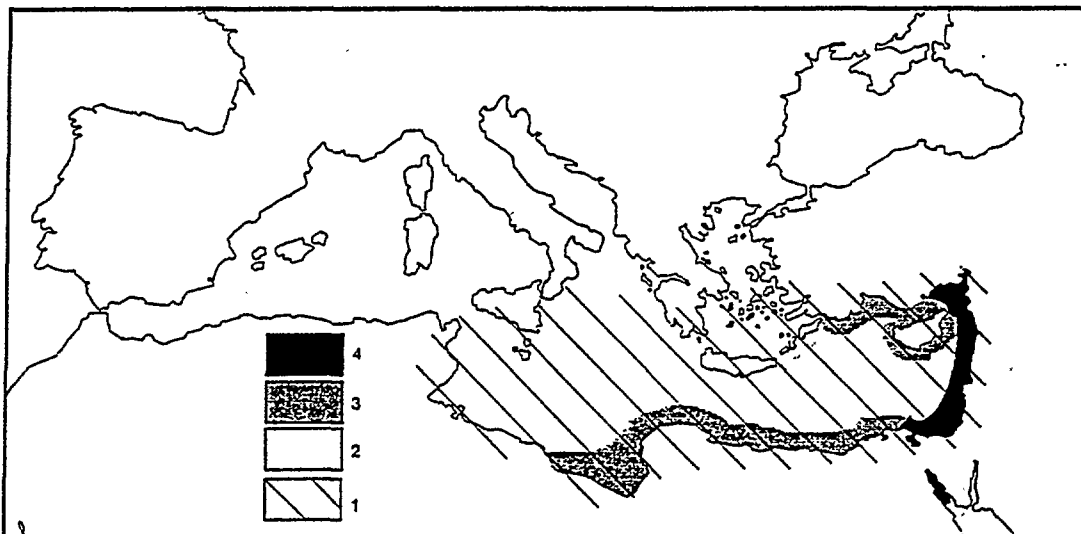


Fig. 3 La province lessepsienne. L'importance relative des immigrants lessepsiens est indiquée par des grisés de différentes densité (D'après Por, 1978).

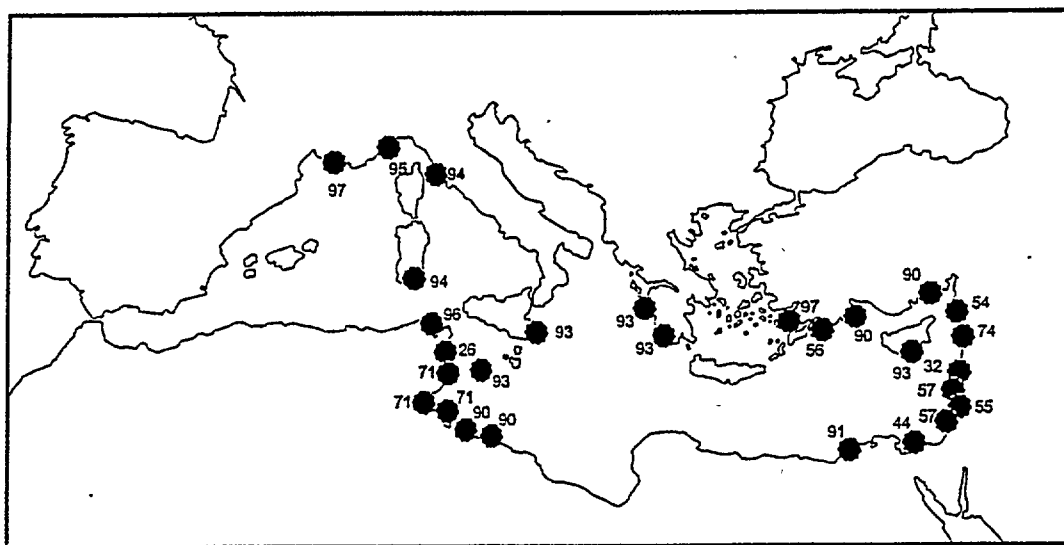


Fig. 4 Etat de l'expansion de *Caulerpa racemosa* en Méditerranée. La station de Marseille (France) est inédite.

Afin de tester cette hypothèse, l'étude de la résistance de *Caulerpa taxifolia* à la dessiccation a été réalisée. 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.

Il n'en reste pas moins, que quel que soit l'ancienneté et la genèse de l'implantation de *C. racemosa* en Méditerranée, la rapidité de son expansion actuelle en Méditerranée doit être expliquée.

Le succès de l'implantation de migrants végétaux, dans un environnement favorable, dépend de leur compétitivité vis-à-vis des autres espèces (compétition inter-spécifique), de leur résistance au broutage (prédation) et de l'existence de niches écologiques vacantes. Pour Verlaque (1994), les espèces végétales introduites gênantes en Méditerranée présentent une ou plusieurs des caractéristiques suivantes: large valence écologique, persistance du peuplement, compétitivité élevée, résistance au broutage, forte reproduction ou forte multiplication (ex: nombreux gamètes, bouturage intense). On observe que *C. racemosa* présente l'ensemble de ces caractéristiques (cf Cossu & Gazale, 1997).

Par ailleurs, la cinétique de l'expansion dépendra des vecteurs de sa dissémination. Le modèle de dissémination des macrophytes, de proche en proche, correspond relativement bien avec celui de la circulation des eaux de surface (Verlaque, 1994). L'apparition de *C. racemosa* dans des sites éloignés des stations déjà connues suggère l'existence de vecteurs de dissémination d'origine anthropique: engins de mouillage de bateaux et navires (Cossu & Gazale, 1997; Djellouli *et al.*, sous presse), activités conchylicoles (Djellouli *et al.*, sous presse). Par ailleurs, l'introduction par le biais des activités d'aquariologie - à l'instar de *C. taxifolia* - reste une possibilité dans la mesure où *C. racemosa* fait partie, avec *C. taxifolia* et *C. sertularioides* (Gmelin) Howe, des espèces de caulerpes couramment utilisées en aquariologie (Verlaque comm. pers.).

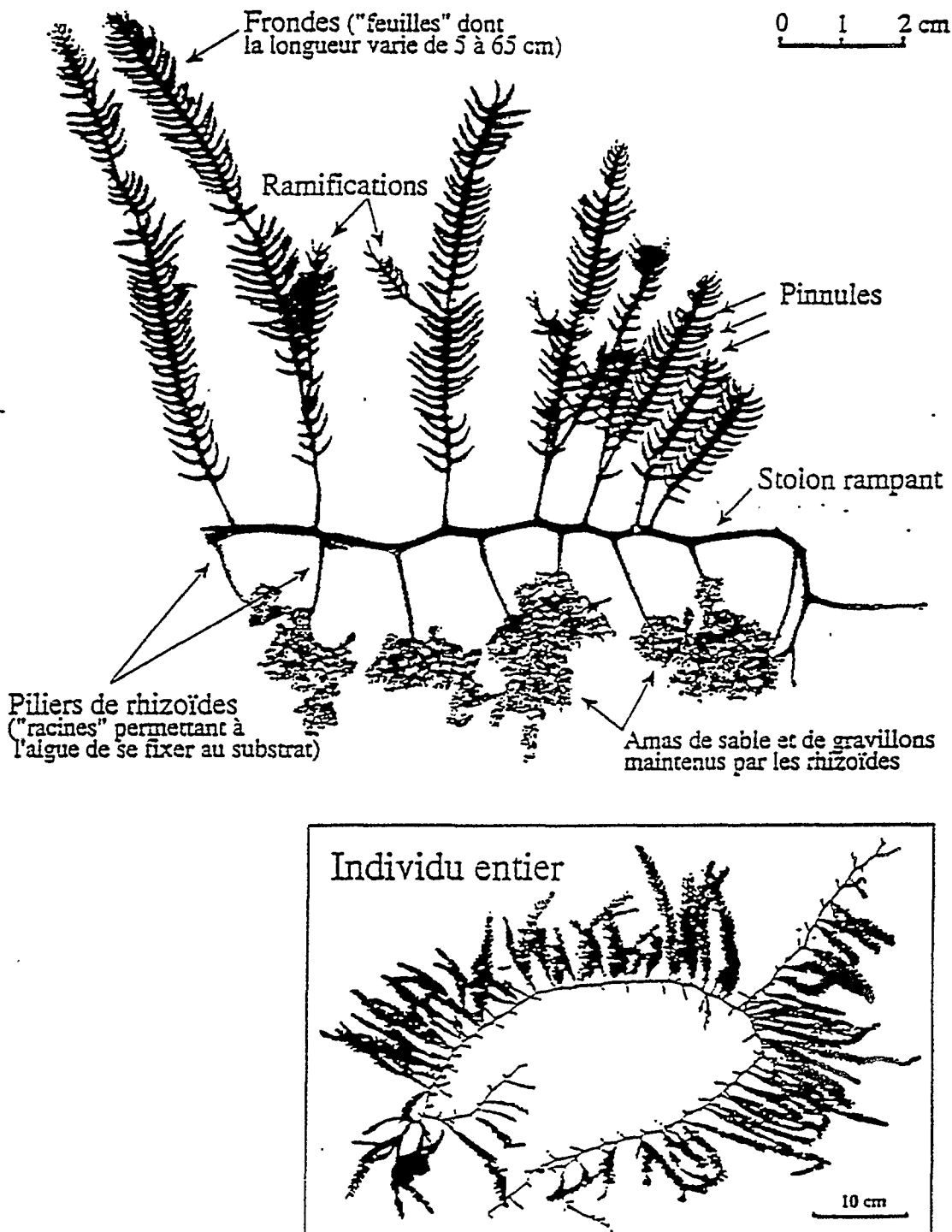


Fig. 5 Aspect général de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* (D'après Meinesz et al., 1997)

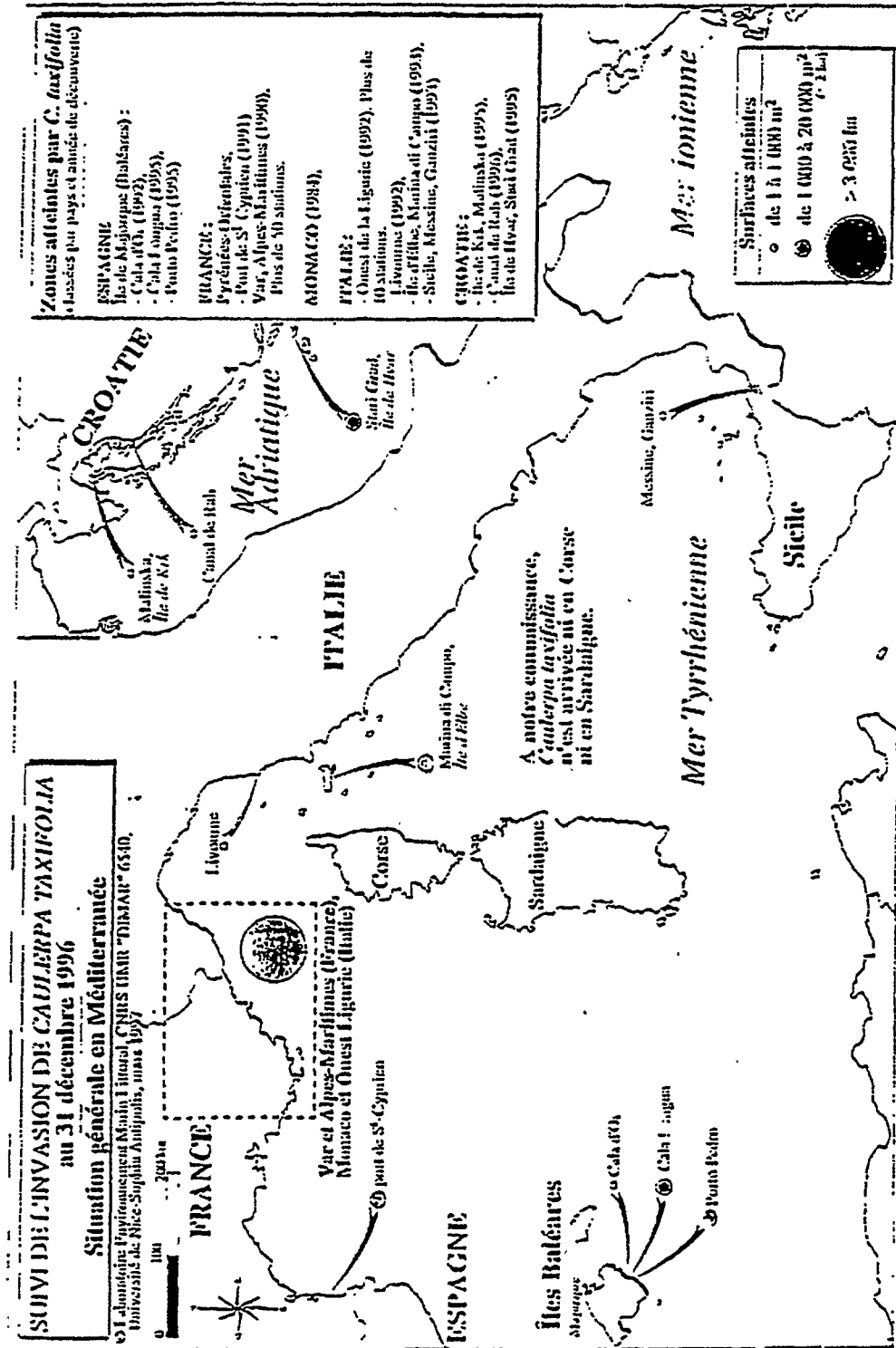


Fig. 6 Etat de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée à la fin 1996 (D'après Meinesz et al., 1997).

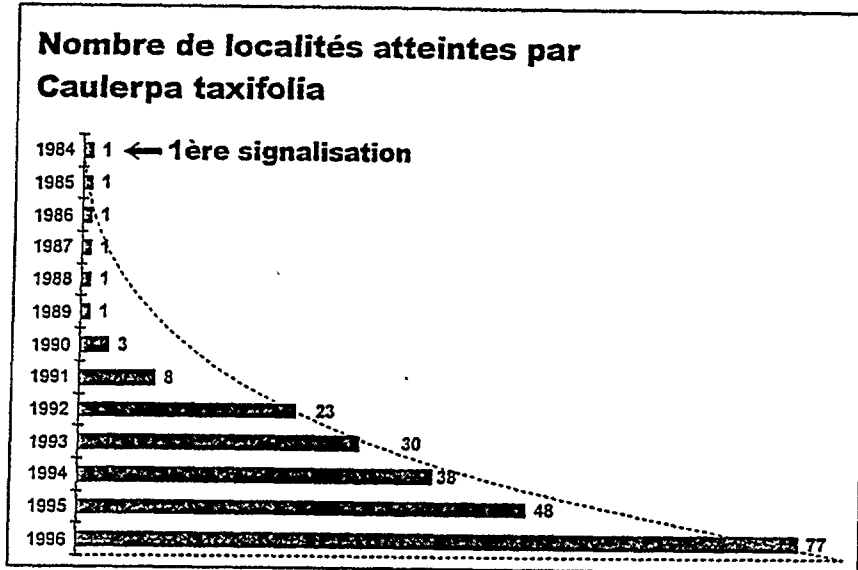


Fig. 7 Nombre de localités où *Caulerpa taxifolia* a été signalée depuis 1984. L'ensemble des localités atteintes en Méditerranée n'est certainement pas encore connue (D'après Meinesz *et al.*, 1997).

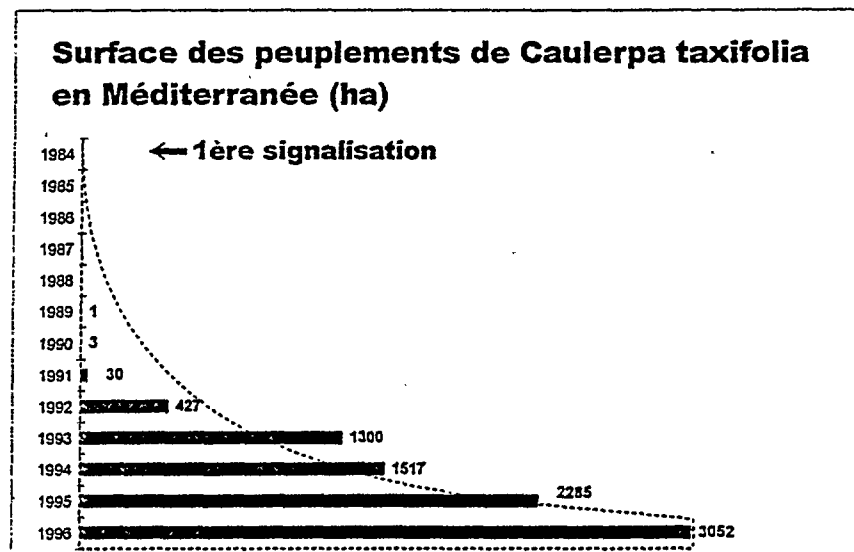


Fig. 8 Evolution des surfaces des peuplements de *Caulerpa taxifolia* dans les zones atteintes depuis 1984 en Méditerranée (en hectares; D'après Meinesz *et al.*, 1997).

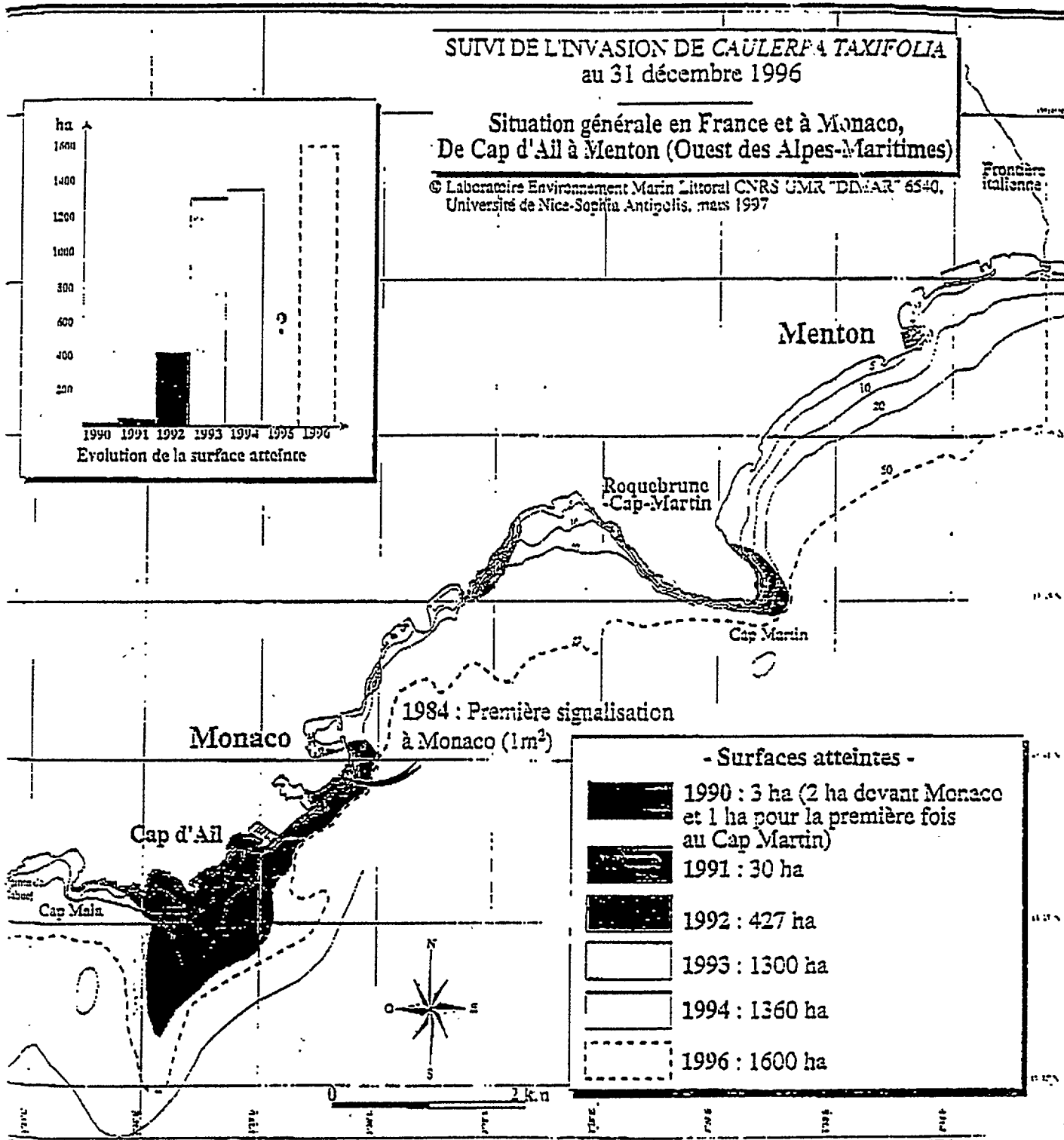


Fig. 9 Etat de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* dans le secteur le plus fortement colonisé à la fin 1996 (in Meinesz et al., 1997).

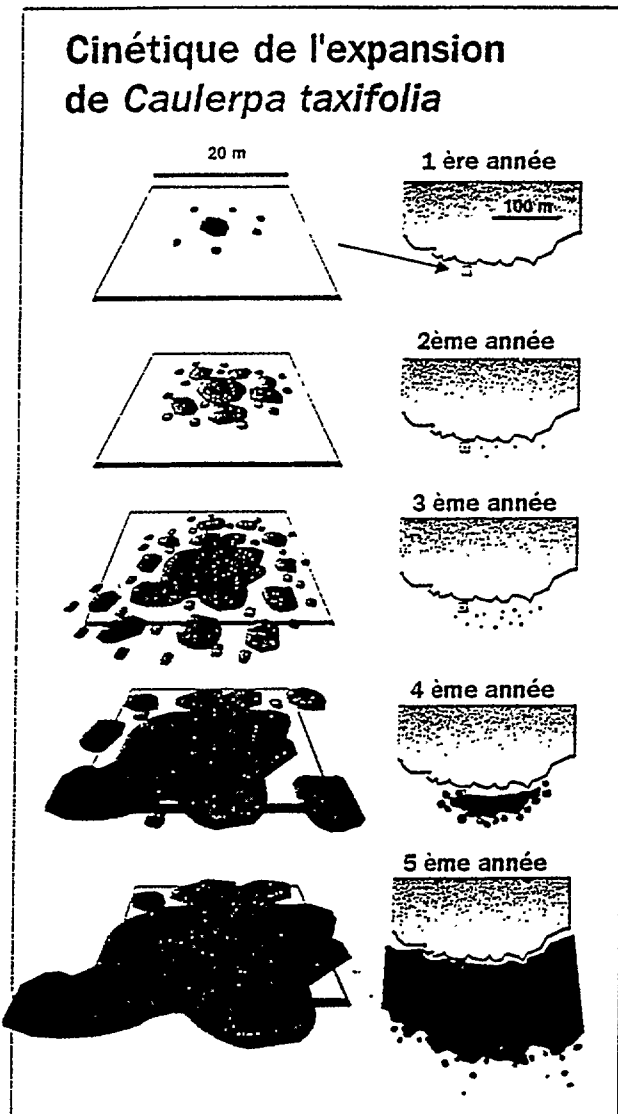


Fig. 10 Cinétique de l'expansion sur 5 années de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée à partir d'une tâche isolée. Ce schéma a été défini d'après les observations réalisées au Cap Martin (Alpes-Maritimes, France; Meinesz et al., 1995).

Qui est *Caulerpa* ?

Le genre *Caulerpa* comporte plus d'une centaine d'espèces, répandues dans les mers tempérées et surtout les mers chaudes. *Caulerpa taxifolia* (Valh) C. Agardh 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, Bangladesh, Malaisie, Indonésie, Philippines, Vietnam, Chine, Japon, Hawaii, Fidji, Nouvelle-Calédonie, Australie, etc (Figure 12). En Méditerranée, deux espèces de *Caulerpa* sont indigènes de façon certaine: *Caulerpa prolifera* (Forsskål) Lamouroux et *Caulerpa ollivieri* Dostal. Deux espèces de *Caulerpa* sont des immigrants lessepsiens probable (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), c'est

EVOLUTION DES SURFACES ATTEINTES

© Laboratoire Environnement Marin Littoral, CNRS UMR "DEMAR" 6540, Université de Nice-Sophia Antipolis, mars 1997

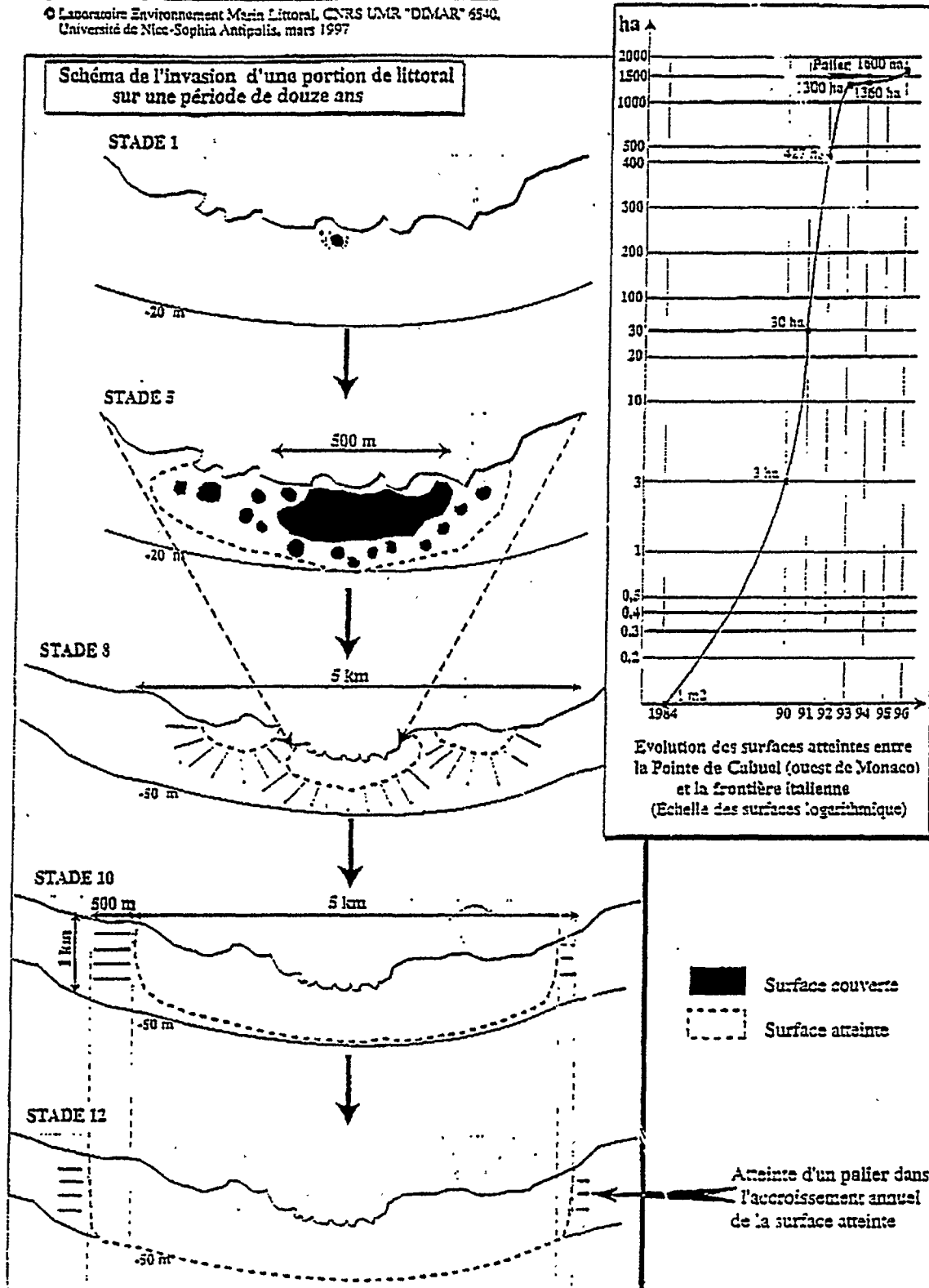


Fig. 11 Schéma de l'invasion d'une portion de littoral sur une période de douze années (*in Meinez et al., 1997*).

à dire des espèces de Mer Rouge entrées en Méditerranée par le canal de Suez: *Caulerpa scalpelliformis* (Brown ex Turm.) C. Agardh (Turquie et côtes levantines) et *Caulerpa mexicana* Sonder ex Kützing (côtes levantines). *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh, est généralement considérée comme un immigrant lessepsien, mais pourrait être en réalité un immigrant pré-lessepsien voire une espèce indigène (Verlaque, 1994). *C. racemosa* présente, depuis une dizaine d'années, une extension de son aire de répartition en Méditerranée, puisque initialement signalée en Tunisie (à Sousse, 1926) elle a été découverte en Méditerranée orientale puis sur les côtes nord-occidentales.

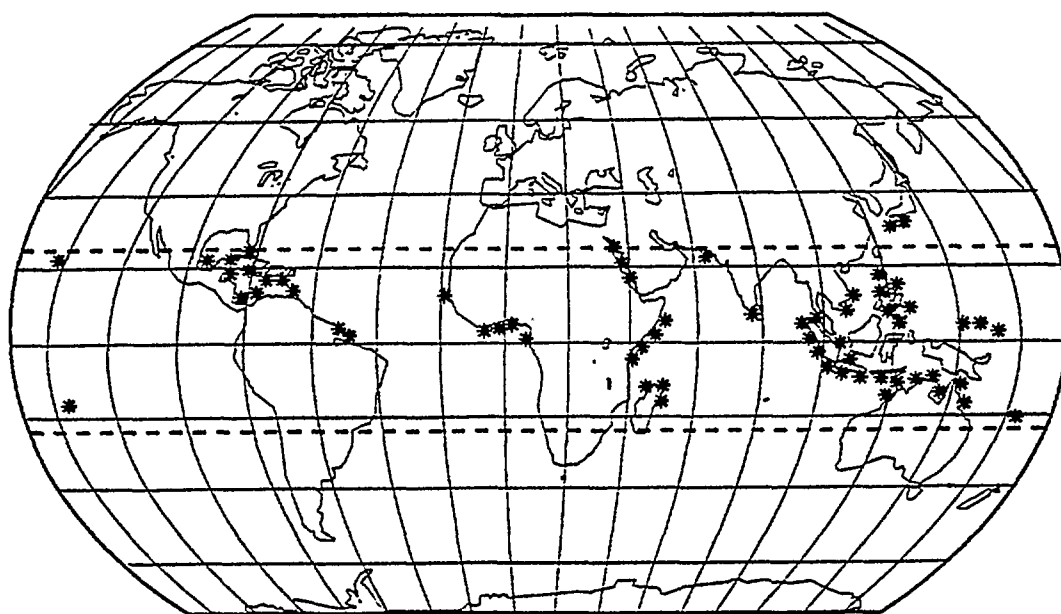


Fig. 12 La distribution de *Caulerpa taxifolia*. On observe que la distribution mondiale de cette espèce est essentiellement limitée à la zone intertropicale.

Plusieurs hypothèses peuvent être émises sur l'origine de *C. racemosa*, espèce à affinité tropicale, en Méditerranée: origine naturelle, introduction lessepsienne ou pré-lessepsienne:

- L'hypothèse que *C. racemosa* soit autochtone en Méditerranée est relativement peu probable. Il est maintenant admis que peu d'algues indo-pacifiques ont dû réussir à supporter les crises de salinité du Messinien (5-6 millions d'années) (Por, 1978). Les espèces à affinité tropicale qui présentent une bonne probabilité d'appartenir à ce stock de reliques tertiaires sont les espèces de Méditerranée orientale qui se retrouvent également dans le bassin occidental et/ou le proche Atlantique (Verlaque, 1994). Bien qu'aucune hypothèse ne doit être écartée *a priori*, ce ne semble pas être le cas de *C. racemosa* qui n'a été observée dans le bassin occidental qu'à partir des années 90'.
- A plusieurs reprises, dans les temps pharaonique (premières dynasties) puis romain et arabe, l'homme a ouvert des voies navigables entre la Méditerranée et la Mer Rouge en faisant communiquer le golfe de Suez avec une branche du Nil (Por, 1978). A ces occasions,

des espèces de mer Rouge ont pu pénétrer ou être transportées en Méditerranée. Ce processus, s'il s'avérait exact, constituerait sans doute le plus ancien exemple d'introduction d'espèces marines par l'homme en Méditerranée (Verlaque, 1994). Cette migration qualifiée de pré-lessepsienne est tout-à-fait plausible pour les espèces de *Caulerpa* et notamment *C. racemosa*.

- Enfin, même si une migration entre la Mer Rouge et la Méditerranée à une période antérieure au creusement du Canal de Suez (1869) reste une possibilité, l'hypothèse de l'introduction de *C. racemosa* par le biais du Canal de Suez (migration lessepsienne) est généralement adoptée par une large communauté de scientifiques. En Méditerranée, les migrants lessepsiens représentent le contingent le plus important d'espèces introduites. En ce qui concerne les macrophytes marins, Verlaque (1994) estime à 34 le nombre d'espèces lessepsiennes, Ribera & Boudouresque (1995) l'estiment à 22-26.

Il est à noter, dans ce dernier cas, que *C. racemosa* semble être le seul macrophyte lessepsien découvert à l'Ouest du seuil siculo-tunisien et, celui qui représente la distribution la plus septentrionale.

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 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.

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/m²), 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: $<+7^{\circ}\text{C}$ et $>+30^{\circ}\text{C}$. 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^2 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 varient entre $+10^{\circ}\text{C}$ 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 fond en Méditerranée. Elle colonise, en effet, tous les types de substrat: roche, sable, vase, matre morte de Posidonies, herbier à Posidonies.

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 intervenues en aquariums à la faveur de conditions particulières de température, d'éclairage, 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 industrielles car ils sont susceptibles d'apporter une vigueur hybride à des espèces d'intérêt commercial.

Impact de *Caulerpa racemosa* et *Caulerpa taxifolia* sur le milieu naturel

Pour le moment, il n'a pas été montré que l'expansion de *C. racemosa* induisait un impact notable sur les peuplements indigènes de Méditerranée ni une gêne pour les activités humaines. La prudence reste toutefois de rigueur dans la mesure où:

- l'implantation de l'espèce dans les stations nouvellement signalées semble récente;
- plusieurs des caractéristiques de cette espèce (valence écologique, compétitivité élevée, facilité de dissémination, absence de prédateur) en font une espèce potentiellement dangereuse;
- le succès des migrants de mer Rouge est généralement important. Les espèces lessepsiennes ne restent pas des espèces occasionnelles et développent de grandes populations souvent dominantes et stables (Por, 1978; 1990);
- l'acclimatation et l'extension de cette espèce à affinité tropicale peuvent être facilitées -et/ou peut être en relation - avec le début d'une phase climatique de réchauffement (Verlaque, 1994)
- les observations les plus récentes réalisées en Turquie montrent que l'espèce tend à établir des peuplements continus et denses (Evirgen, 1997)

Il apparaît donc que l'expansion de *C. racemosa* doit être suivie. L'évolution des peuplements qu'elle forme et leur impact éventuel sur l'écodiversité, la biodiversité et les activités humaines doivent être étudiés.

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 d'écodiversité et 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 13). 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 14-16).

Caulerpa taxifolia entre également en compétition avec l'herbier à *Posidonia oceanica*, l'un des écosystèmes les plus importants de Méditerranée. 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/m²) 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.

Les fonds sédimentaires sans végétation sont également un milieu très propice à la colonisation par *C. taxifolia*. Cette colonisation entraîne une modification profonde des caractéristiques physico-chimiques et biotiques de ces types de milieu: envasement, enrichissement en matière organique, diminution du potentiel redox conduisant à des conditions anoxiques; modification de la faune endogée. Les conséquences de la colonisation de ces

**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

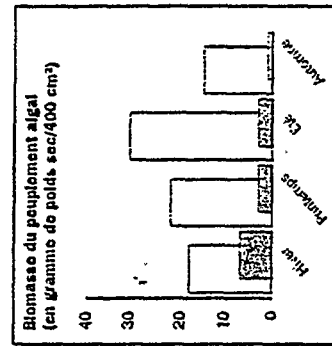
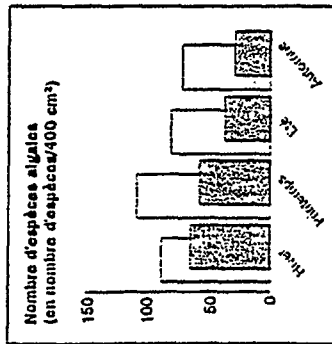


Fig. 13 Comparaison des richesses spécifiques et biomasse algale dans les peuplements de références et les prairies à *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. D'après les données de Verlaque & Fritayre, 1994

POLYCHETES

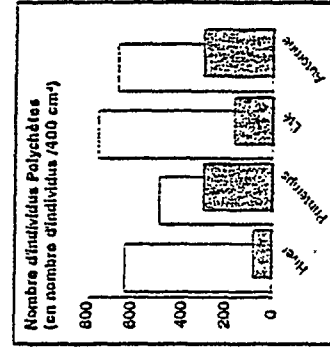
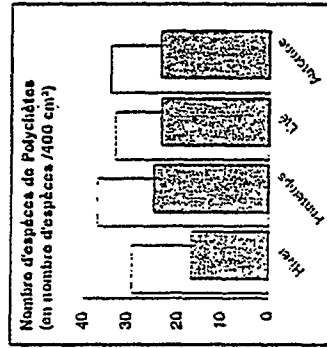


Fig. 15 Comparaison des richesses spécifiques et nombre d'individus de Polychètes dans les peuplements de références et les prairies à *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. D'après les données de Bellan-Santini *et al.*, 1994

MOLLUSQUES

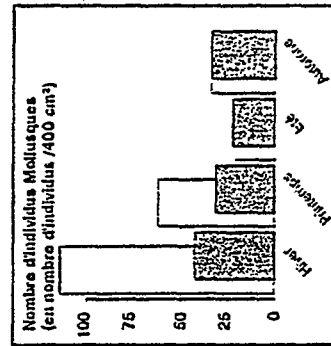
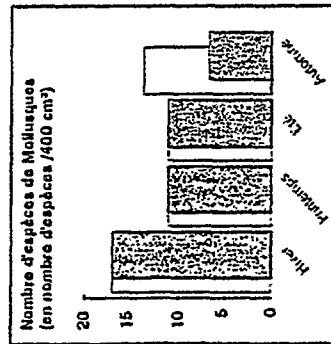


Fig. 14 Comparaison des richesses spécifiques et nombre total d'individus de mollusques dans les peuplements de références et les prairies à *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. D'après les données de Bellan-Santini *et al.*, 1994

AMPHIPODES

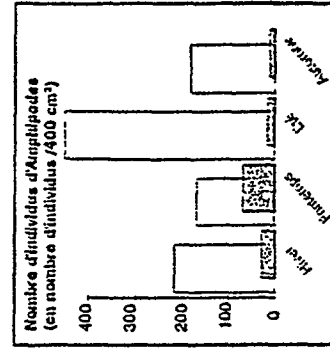
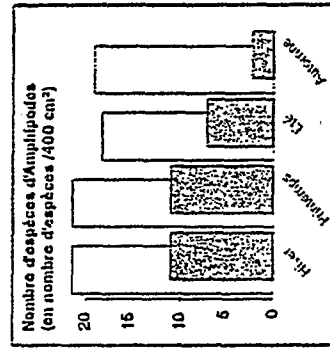


Fig. 16 Comparaison des richesses spécifiques et nombre d'individus d'Amphipodes dans les peuplements de références et les prairies à *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. D'après les données de Bellan-Santini *et al.*, 1994

fonds importants pour les équilibres littoraux (transferts sédimentaires, recyclage des nutriments) et pour les espèces démersales restent encore relativement peu étudiées (Romero, 1997).

Il faut enfin souligner que, dans les zones les plus anciennement colonisées, la richesse spécifique, la densité et la biomasse du peuplement de poissons, sont maintenant significativement plus faibles, en moyenne, que dans les zones de référence proches. De même, on observe dans ces zones un déclin marqué des peuplements de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus*. Cette espèce disparaît totalement des prairies denses de *C. taxifolia*. Les oursins se rassemblent alors dans les zones non encore colonisées par *C. taxifolia* (peuplements algaux, îlots de Posidonies) et y déterminent alors un surpâturage susceptible de favoriser indirectement l'expansion de *C. taxifolia*. Les premières observations réalisées sur le coralligène semblent également indiquer un impact important. De manière générale, on peut estimer que les incidences sur la faune seront amplifiées, à terme, par la poursuite de la colonisation avec des modifications telles que la réduction des ressources pour les espèces herbivores et donc pour les carnivores, perte des habitats, la banalisation du paysage.

Le succès compétitif de *Caulerpa taxifolia* vis-à-vis les 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 des compétiteurs (autres espèces sessiles). Ce type de métabolite est bien connu dans le genre *Caulerpa*. Il était donc important d'évaluer les risques sur la santé humaine et sur le milieu naturel liés aux métabolites secondaires contenus dans la souche méditerranéenne de *Caulerpa taxifolia*.

Chez *Caulerpa taxifolia*, les chercheurs ont découvert 9 substances toxiques, sesqui- et mono-terpènes (Guerrero *et al.*, 1992, 1993), parmi lesquelles la caulerpényne - longtemps considérée comme caractéristique du genre *Caulerpa* -, est qui est majoritaire. Elle représente 0.1 à 13% du poids sec pour la souche méditerranéenne de *Caulerpa taxifolia* et seulement 0.1 à 2% pour les souches tropicales. L'ensemble des autres métabolites secondaires minoritaires représentent un peu moins de 0.004% du poids sec de l'algue en Méditerranée. Ces métabolites ne peuvent toutefois pas être négligées; leur action sur les organismes vivants pouvant être spécifique ^ de faibles doses et/ou agir de manière synergique.

Pour tester la toxicité d'une substance, des « modèles » expérimentaux sont utilisés (cellules ou organismes vivants) sur lesquels la réponse des composés (à différentes doses) est testée. La caulerpényne présente des effets antibactérien, antiviraux, antifongiques, cytotoxiques, ichtyotoxiques, répulsifs, et inhibe l'activité de certaines enzymes. Les extraits aqueux de *Caulerpa taxifolia* sont actifs sur les fibroblastes de hamster, et les oeufs d'oursins (*Paracentrotus lividus*). Le 10,11-epoxycaulerpenyne est le métabolite le plus actif sur les fibroblastes de souris et de hamster, alors que la caulerpényne, le métabolite principal, est le plus actif sur les oeufs d'oursins (Lemée *et al.*, 1993). Ce métabolite présente une action spécifique sur le développement des oeufs d'oursin entraînant l'inhibition des événements du cycle cellulaire proches de la mitose (stade pseudo-métaphase; Pesando *et al.*, 1996 et soumis).

Il a également été montré que certains ciliés¹ sont particulièrement sensibles, à faible doses, à différents terpènes de *C. taxifolia* (0.5-1.0 µg.ml⁻¹; Dini *et al.*, 1996). De même, la sensibilité de différentes souches de bactéries marines (gram +) aux effets toxiques des métabolites secondaires conduit à une importante modification des populations bactériennes dans les sites colonisés (Giannotti *et al.*, 1996). 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*. Enfin, si l'inhibition de la croissance de microalgues est montrée avec des extraits de *C. taxifolia* ou de la caulerpényne purifiée (Lemée *et al.*, 1994), de tels résultats n'ont pas encore été obtenus sur la productivité de macroalgues indigènes de Méditerranée (Ferrer *et al.*, 1994).

L'expansion continue de *Caulerpa taxifolia* et l'importante production de caulerpényne laisse penser que la quantité de ce métabolite peut être importante dans l'eau entourant les prairies denses de *C. taxifolia*. Les études menées *in vitro* ont permis de démontrer que la caulerpényne peut diffuser dans l'eau de mer, toutefois, elle y est rapidement dégradée (dégradation totale après 25 heures) pour donner naissance à une famille de composés qui présentent une toxicité sur le modèle oursin. *In situ*, les substances extraites des microorganismes planctoniques filtrés sur les prairies de *C. taxifolia* présentent également des activités biologiques similaires (Amade *et al.*, sous presse). Il a été montré, d'autre part, que la caulerpényne se dégradait rapidement à la lumière, en présence d'air et de chlorophylle ou de phéophytine. Le phénomène de dégradation conduit alors à une détoxification des substances en jeu. Il est maintenant nécessaire de savoir si ce phénomène et cette détoxification ont bien lieu *in situ* dans les débris et les parties sénescents de l'algue (Pietra, 1997).

Il est probable que la présence de ces métabolites secondaires toxiques expliquent que *Caulerpa taxifolia* soit fortement évitée, principalement en été et en automne, par les deux principaux macro-herbivores de Méditerranée, le poisson *Sarpa salpa* et l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Ruitton & Boudouresque, 1994). En été et en automne, lorsque la toxicité de *C. taxifolia* est maximale, *P. 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 (Lemée *et al.*, 1994).

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 antimototique de la caulerpényne sur les oeufs d'oursins pourrait affecter le recrutement et la densité de *P. lividus* dans les sites envahis par *C. taxifolia*. Un tel déclin des populations est effectivement observé, dans les secteurs les plus envahis (ex. Menton, France).

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.

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

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 lentilifera* 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 est actuellement 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 pour chaque hectare dense 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 chronique 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 envahie (par exemple la Jacinthe d'eau, *Eichhornia crassipes*).

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). Il convient également de mettre en place une stratégie de prévention afin d'éviter que de nouveaux sites et pays soient atteints par l'algue.

***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.

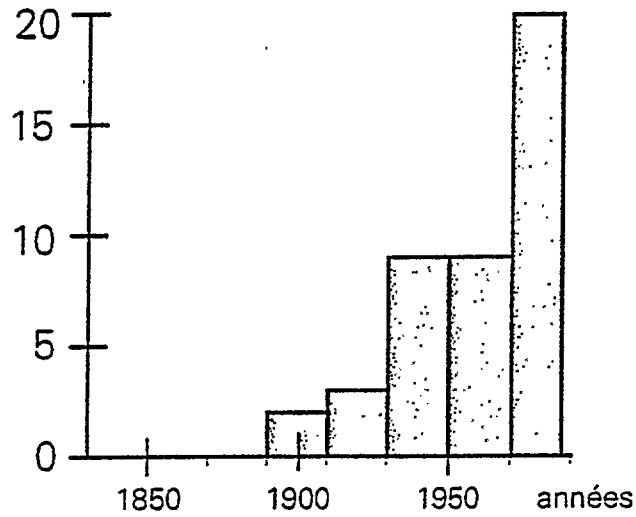
Une des questions que l'on peut maintenant se poser est celle-ci: la souche de *Caulerpa taxifolia* qui colonise la Méditerranée, et qui semble originale, n'est-elle pas susceptible de coloniser d'autres régions du monde, et en particulier les mers tropicales ?

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

Caulerpa taxifolia n'est pas la première algue introduite accidentellement en Méditerranée occidentale depuis le début du XXème 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 17). 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 (environ 95 espèces introduites en Méditerranée), 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).

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



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

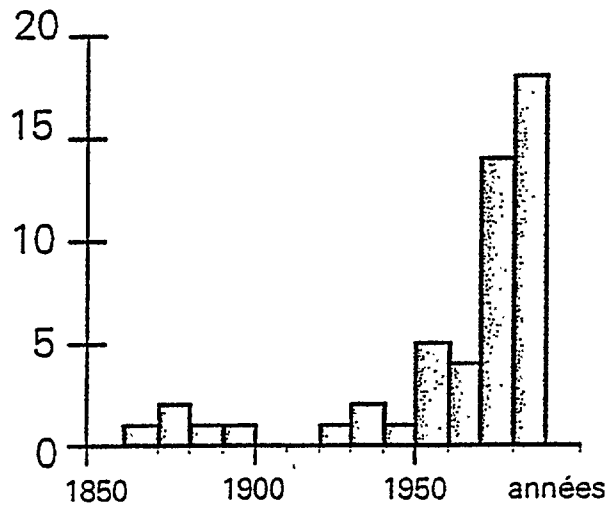


Fig. 17

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

Il est aujourd'hui urgent d'infléchir cette tendance si nous ne voulons pas que le XXIème 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 et les mesures de prévention et de contrôle 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.

Propositions pour une stratégie de contrôle de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée

En effet, l'expansion de *C. taxifolia* apparaît 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 la sensibilisation et l'information des scientifiques et des décideurs des différents pays riverains de la Méditerranée. 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. Il est d'ailleurs probable qu'aucun cas d'espèce marine envahissante dans le monde ne soit autant documenté. Les travaux réalisés, notamment dans le cadre des programmes européens, et l'expérience ainsi acquise sur le phénomène, permettent de définir les axes d'une stratégie cohérente de contrôle de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée.

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, 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 » (Protocole relatif aux aires spécialement protégées et à la diversité biologique en

Méditerranée).

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).

Depuis la fin de 1992, les scientifiques ont déclaré que l'éradication totale de la souche de *Caulerpa taxifolia* de Méditerranée n'est plus un objectif réaliste. Ainsi, la stratégie qui doit être 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 d'importance 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 des mesures ci-dessous devrait être adoptée.

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

Il est important de poursuivre les programmes de suivi cartographique de l'expansion et les recherches en cours 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, facteurs limitants en Méditerranée et dans les populations naturelles.

La stratégie de contrôle de l'expansion de *C. taxifolia* doit 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 être apportée par les ONG.

2. Adopter des mesures de prévention

La lutte contre la progression de *Caulerpa taxifolia* est 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.

2.1. 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* (telles que celles adoptées en Catalogne et en France) soient adoptées par l'ensemble des pays riverains de la Méditerranée. Il convient, à l'évidence, que toute la publicité nécessaire soit faite sur ces mesures réglementaires. Le personnel chargé de l'application de ces règlements sur le terrain doit recevoir des instructions et une formation spécifique.

2.2. Informer et sensibiliser

L'information et la sensibilisation des usagers de la mer et du grand public apparaît comme l'outil primordial dans 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. Le développement de la plongée sous-marine est très important sur l'ensemble de la Méditerranée. Il y a ainsi un énorme potentiel d'observateurs qu'il faut continuer à mobiliser. De telles actions de sensibilisation sont réalisées chaque année en Méditerranée nord-occidentale, depuis 1991, par des laboratoires universitaires dans le cadre de programmes régionaux, nationaux et européens. Ces actions doivent être officialisées, pérennisées et amplifiées par les organismes responsables des pays riverains. Les usagers peuvent être informés par les médias mais surtout par les brochures et affiches diffusées dans les ports, clubs, structures fédératives et syndicats professionnels. Par ailleurs, les autorités portuaires et polices maritimes doivent également se voir attribuer des missions d'information, de conseil et le cas échéant de contrôle.

3. Adapter et renforcer les mesures de prévention 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. 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, notamment ceux issus de la « Directive habitat » de l'Union européenne, s'ajouteront prochainement à ceux-ci (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 invasives telles que *C. taxifolia* doit être adoptée. Une telle stratégie a été mise en place dans le Parc national de Port-Cros (France). Elle est basée sur la formation du personnel, la sensibilisation des visiteurs, une prospection systématique des principaux secteurs à risque et d'opérations de contrôle lorsqu'une contamination est constatée. Cette stratégie doit également comprendre, pour ces secteurs à risque, la réglementation et le contrôle des sites de mouillage et de pêche.

4. Mettre en place des mesures de contrôle

4.1 Gestion des sites fortement colonisés

Afin d'éviter la dissémination d'origine anthropique à partir des stations existantes, il convient, parallèlement aux campagnes de sensibilisation, d'informer les usagers sur la situation des sites colonisés, de réglementer, d'interdire ou d'aménager les sites colonisés. Ces instructions pourraient figurer dans les livres de bord avec une actualisation annuelle des zones atteintes. Une attention particulière doit être apportée pour le cas du dragage des bassins portuaires atteints par *C. taxifolia*. Ces mesures préventives - afin d'être respectées - doivent rencontrer l'adhésion des usagers et des autorités locales et donc être accompagnées d'un effort particulier d'information.

4.2 Développer les techniques de contrôle sur les colonies existantes

Pour le moment, hormis quelques expériences isolées, aucune technique n'a permis l'éradication totale et définitive 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. Ces opérations de contrôle doivent, dans ce cas, être réalisées régulièrement. Le coût de ces opérations - supporté par la communauté - est donc rémanent. On doit toutefois considérer, lors de la prise de décision, que sans intervention le phénomène 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).

Des techniques susceptibles de présenter un rendement plus important sont, pour l'instant, 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 exportable. Un effort particulier doit être entrepris dans la définition de techniques de chantier dans les bassins portuaires. Il serait nécessaire de recenser les différentes techniques de contrôle des espèces aquatiques envahissantes utilisées dans le monde et d'étudier la possibilité de leur adaptation au contrôle de *Caulerpa taxifolia*.

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. Elle nécessite la définition de lignes de fronts sur lesquelles se porteront en priorité les efforts coordonnés et doit 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.

4.3 Recenser les équipes opérationnelles pour des opérations de contrôle

Les équipes de plongeurs sous-marins professionnels susceptibles d'intervenir dans le cadre d'opérations de contrôle doivent être identifiées. Ces équipes doivent, au préalable à

toute intervention, recevoir une formation. Un cahier des charges visant à optimiser les prestations de contrôle et les suivis doit être adopté.

4.4. Mettre en place des structures de coordination .

On doit insister sur 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. Dans le meilleur des cas, les nouvelles colonies signalées représentent une surface de quelques mètres carrés. L'investissement nécessaire à leur contrôle croît proportionnellement à la vitesse du développement de *Caulerpa taxifolia* (extension annuelle d'un facteur 2 à 10).

4.5. Étudier la possibilité de la lutte biologique

L'émergence de plusieurs invasions d'espèces introduites nocives pour la biodiversité des écosystèmes marins, 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*, représentent un possible agent de contrôle. Si les expériences en aquarium offrent un espoir de contrôle, des expériences contrôlées *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 *et al.*, sous presse). Face à des espèces exotiques invasives telles que *C. taxifolia*, un des espoirs d'un contrôle à long terme réside dans l'élaboration d'un programme international et coordonné de lutte biologique.

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 de 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. Un calendrier des actions proposées ci-dessus doit donc très rapidement être adopté par les pays du pourtour méditerranéen. Les responsabilités (niveaux décisionnels) inhérentes à la prise en charge des budgets, des maîtrises d'ouvrages et des opérations de contrôle doivent être clairement définies. Les outils financiers adéquats doivent être mis en place.

REFERENCES

- ALEEM A. 1992.- *Caulerpa racemosa* (Chlorophyta) on the Mediterrean coast of Egypt. *Phycologia*, 31(2):205-206.
- ALEEM A., 1950. - Some new records of marine algae from Mediterrean sea with reference to geographical distribution. *Acta hortiGotonurgensis*, 18:275-288.
- ALONGI G., CORMACI M., FURNARI G., GIACCONE G., 1993.- Prima segnalazione di *Caulerpa racemosa* (Chlorophyceae, Caulerpale) per le coste italiane. *Boll. Acc. Gioenia Sci. Nat.* 26(242):46-53.

- AMADE P., & LEMEE R., 1998. - Chemical defences of the Mediterranean alga *Caulerpa taxifolia*: Influence of season and depth of water. *Aquatic Toxicol.* (sous-presse).
- AMADE P., JONCHERAY L., BROCCO S., LEMEE R. & PESANDO D. (sous presse). - Devenir de la caulerpénynne dans le milieu marin: études préliminaires expérimentales et *in situ*. Third International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. Boudouresque C.F., Gravez V., Meinesz A. & Palluy F. edit., GIS Posidonie publ., Fr.
- BELLAN-SANTINI D., ARNAUD P.M., BELLAN G., VERLAQUE M., 1994. Résultats préliminaires 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. édit., GIS Posidonie publ., Fr, pp.365-369.
- BENZIE J.A., PRICE I.R., BALLEMENT E., 1997.- Population genetics and taxonomy of *Caulerpa* (Chlorophyta) from the Great Barrier reef, Australia. *J. Phycol.*, 33:491-504.
- BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., GRAVEZ V., 1998. Scientific documents dealing with the alga *Caulerpa taxifolia* introduced to the Mediterranean. Eighth edition. GIS Posidonie publishers, Marseilles, Fr.
- BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., GRAVEZ V., édit., 1994. First international workshop on *Caulerpa taxifolia*, GIS Posidonie publ., Fr, pp.1-391.
- BOUDOURESQUE C.F., RIBERA M.A., 1994. Les introductions d'espèces végétales et animales en milieu marin - conséquences écologiques et économiques et problèmes législatifs. *First international workshop on Caulerpa taxifolia*, BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., GRAVEZ V. édit., GIS Posidonie publ., Fr., pp.29-102.
- BUSSOTI S., CONTI M., GUIDETTI P., MARTINI F., MATRICARDI G., 1997.- First record of *Caulerpa racemosa* along the coast of Genoa (N-E Mediterranean) Dorigana, It., VI(294):1-5.
- 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.
- CIRIK S. & OZTURK B., 1991.- Note sur la présence d'une forme rare de *Caulerpa racemosa* en Méditerranée orientale. *Flora Mediterranea* 1:217-219.
- COSSU A. & GAZALE V., 1997.- Sulla presenza di *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh in Sardegna. Atti del Convegno internazionale « Introduzione di nuove specie nel Mediterraneo e compatibilità con quelle presenti », Cagliari, Poseidon publ., it., pp.87-97.
- 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.
- DINI F., CAPOVANI C., DURANTE M., PIGHINI M., RICCI N., TOMEI A., 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*, RIBERA M.A., BALLESTEROS E., BOUDOURESQUE C.F., GOMEZ A., GRAVEZ V. edit., Univ. Barcelona publ., Spain, pp.247-254.

- DJELLOULI A., LANGAR H. & EL ABED A., sous presse. - *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh : biogéographie et écologie. Third International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. Boudouresque C.F., Gravez V., Meinesz A. & Palluy F. edit., GIS Posidonie publ., Fr.
- EVIRGEN A., 1997.- Katil Yosunlar - Aramizda ! Sualti dünyasi, kasim 97, tur., pp.10-14.
- FERRER E., GOMEZ-GARRETA A., RIBERA M.A., 1996. Effect of *Caulerpa taxifolia* on two Mediterranean macrophytes. *Second international workshop on Caulerpa taxifolia*, RIBERA M.A., BALLESTEROS E., BOUDOURESQUE C.F., GOMEZ A., GRAVEZ V. edit., Univ. Barcelona publ., Spain, pp.271-276.
- FERRER E., RIBERA M.A., GOMEZ-GARRETA A., 1994b. Effet de la diffusion des toxines de *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh sur la productivité d'autres macroalgues. *First international workshop on Caulerpa taxifolia*, BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., GRAVEZ V. edit., GIS Posidonie publ., Fr., pp.223-227.
- GIANNOTTI A., GHELARDI E., DINI F., PIETRA F., SENESI S., 1996. Progressive modification of Mediterranean bacterial communities along with the spreading of *Caulerpa taxifolia*. *Second international workshop on Caulerpa taxifolia*, RIBERA M.A., BALLESTEROS E., BOUDOURESQUE C.F., GOMEZ A., GRAVEZ V. edit., Univ. Barcelona publ., Spain, pp.255-260.
- GIS POSIDONIE, 1997.- National and international legislation and conventions dealing with introduction of exotic species with special attention to *Caulerpa taxifolia*. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr., pp.1-14.
- GUERRIERO A., D'AMBROSIO M., GUELLA G., DINI F., PIETRA F., 1994. Secondary metabolites of the green seaweed *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean sea, and a comparison with ciliates of the genus *Euplotes*. *First international workshop on Caulerpa taxifolia*, BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., GRAVEZ V. edit., GIS Posidonie publ., Fr., pp.171-175.
- GUERRIERO A., DEPENTORI D., D'AMBROSIO M., DURANTE M., DINI F., GERONI C., PIETRA F., 1996. Ecologically harmful though photodegradable terpenoids from the green seaweed *Caulerpa taxifolia* adapted to the Mediterranean Sea. *Second international workshop on Caulerpa taxifolia*, RIBERA M.A., BALLESTEROS E., BOUDOURESQUE C.F., GOMEZ A., GRAVEZ V. edit., Univ. Barcelona publ., Spain, pp.233-246.
- GUERRIERO A., DEPENTORI D., D'AMBROSIO M., DURANTE M., DINI F., PIETRA F., 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., MEINESZ A., D'AMBROSIO M., PIETRA F., 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.
- HAMEL G., 1926.- Quelques algues rares ou nouvelles pour la flore méditerranéenne. *Bull. Muséum d'Histoire Naturelle*, 32:420 p.
- HUVE H., 1957.- Sur une variété nouvelle pour la Méditerranée de *Caulerpa racemosa* (Forssk.) J. Agardh. *Recueil trav. stat. mar. Endoume*, 12:67-73.

LEMEE R., BOUDOURESQUE C.F., MARI X., MEINESZ A., 1994b. Influence d'une nourriture exclusive à base de *Caulerpa taxifolia* sur la physiologie de *Paracentrotus lividus*. *First international workshop on Caulerpa taxifolia*, BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., GRAVEZ V. édit., GIS Posidonie publ., Fr., pp.245-249.

LEMEE R., PESANDO D., DURAND-CLEMENT M., DUBREUIL A., MEINESZ A., GUERRIERO A., PIETRA F., 1993. Preliminary survey of toxicity of the green alga *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean. *Journal of applied Phycology*, 5 :485-493.

MEINESZ A. & THIBAUT T. (sous presse).- Lutte biologique contre un agent envahissant en mer: nécessité d'une décision internationale. Third International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. Boudouresque C.F., Gravez V., Meinesz A. & Palluy F. edit., GIS Posidonie publ., Fr.

MEINESZ A., COTTALORDA J.M., CHIAVERINI D., BRAUN M., CARVALHO N., FEBVRE M., IERARDI S., MANGIALAJO L., PASSERON-SEITRE G., THIBAUT T. & VAUGELAS J. de, 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.

MEINESZ A., HESSE B., 1991. Introduction et invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée nord-occidentale. *Oceanologica Acta*, 14(4):415-426.

MEINESZ A., VAUGELAS de J., 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 françaises de la Méditerranée. Situation au 31 décembre 1994. Rapport Laboratoire Environnement marin littoral, Université de Nice Sophia-Antipolis: pp.1-122.

NASR A.H., 1947.- Synopsis of the marine algae of the Egyptian Red Sea coast. *Bull. Fac. Sci. Fouad I*, Univ. press, 26:1-155.

PESANDO D., HUITOREL P., DOLCINI V., AMADE P. & GIRARD J.P. (sous presse).- Effet de la caulerpénine, toxine majoritaire de *Caulerpa taxifolia*, sur les événements mitotiques chez les oeufs d'oursins. Third International Workshop on *Caulerpa taxifolia*. Boudouresque C.F., Gravez V., Meinesz A. & Palluy F. edit., GIS Posidonie publ., Fr.

PESANDO D., LEMEE R., FERRUA C., AMADE P., GIRARD J.P., 1996. Effects of caulerpenyne, the major toxin from *Caulerpa taxifolia* on mechanisms related to sea urchin egg cleavage. *Aquatic Toxicology*, 35:139-155.

PIAZZI L., BALESTRI E., CINELLI F., 1994.- Presence of *Caulerpa racemosa* (Forssk.) J Agardh. *Micronesica*, 8:63-86.

PIETRA F., 1997. Biochimie des métabolites secondaires de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée, par comparaison avec les autres espèces de *Caulerpa*. Séminaire Académie des Sciences. Lavoisier publ. Paris, Fr., pp.255-208.

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

POR F.D., 1978.- Lessepsian migration. The influx of Red Sea biota into the Mediterranean by way of the Suez canal. *Ecological studies*, 23. Springer Verlag, Berlin, Germany, 288 p.

POR F.D., 1990.- Lessepsian migration. An appraisal and new data. *Bull. Inst. océanogr. Monaco*, n° spécial, 7:1-10.

RAYSS T. & ELDESTEIN T., 1960.- Deux caulerpes nouvelles sur les côtes Méditerranéennes d'Israël. *Rev. Gén. Bot.*, 67:602-620.

RAYSS T., 1941.- Sur les caulerpes de la côte palestinienne. *Palestine Journal of Botany*, Jerusalem, 2:103-124.

RIBERA M.A. & BOUDOURESQUE C.F., 1995.- Introduced marine plants, with special reference to macroalgae: mechanisms and impact. *Progress in Phycological Research*, 11:187-268.

RIBERA M.A., BALLESTEROS E., BOUDOURESQUE C.F., GOMEZ A., GRAVEZ V., 1996. Second international workshop on *Caulerpa taxifolia*. Publications de la Universitat de Barcelona, Spain, pp.1-457.

RIBERA M.A., BOUDOURESQUE C.F., 1995. Introduced marine plants, with special reference to macroalgae: mechanisms and impact. *Progress in phycological Research*, ROUND F.E. and CHAPMAN D.J. edit., Biopress Ltd publ., UK, 11:187-268.

ROMERO J., 1997. Conséquence de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. Dynamique d'espèces invasives: application à l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. Séminaire Académie des Sciences. Lavoisier publ. Paris, Fr., pp.241-254.

RUITTON S., BOUDOURESQUE C.F., 1994. Impact de *Caulerpa taxifolia* sur une population de l'oursin *Paracentrotus lividus* à Roquebrune-Cap Martin (Alpes-Maritimes, France). *First international workshop on Caulerpa taxifolia*, BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., GRAVEZ V. édit., GIS Posidonie publ., Fr., pp.371-378.

UNEP, 1995. The presence of the tropical alga *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean Sea. *Joint meeting of the Scientific and technical Committee and the Socio-Economic Committee, Athens, 3-8 April 1995*. UNEP (OCA)/MED WG 89/inf.9, pp.1-24.

VERLAQUE M., 1994. Inventaire des plantes introduites en Méditerranée: origines et répercussions sur l'environnement et les activités humaines. *Oceanologica Acta*, Fr., 17(1):1-23.

VERLAQUE M., 1994.- Inventaire des plantes introduites en Méditerranée: origines et répercussions sur l'environnement et les activités huamines. *Oceanologia Acta*, 17(1):1-23.

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

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 & Technologique de Luminy, 13288 Marseille (France). Tél. 33/(0)4.91.82.91.35 - Fax. 33/(0)4.91.41.12.65 - e-mail: gravez@com1.com.univ-mrs.fr

Centre d'Océanologie de Marseille, UMR CNRS 6540 DIMAR, Parc Scientifique & Technologique de Luminy, Marseille (France).

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

Laboratoire de Physiologie et Toxicologie Environnementale, Université de Nice-Sophia Antipolis (France).