

Caulerpa taxifolia

ELEMENTS DE SYNTHÈSE

O C T O B R E 2 0 0 0



SOMMAIRE

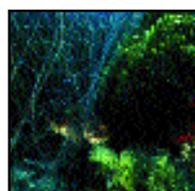
Caulerpa taxifolia,
une algue tropicale

4



Caulerpa taxifolia, les
enjeux de son expansion

8



Les instruments réglementaires
contre les espèces introduites

16



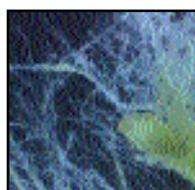
Que faire ?

20



Caulerpa taxifolia va-t-elle
continuer son expansion ?

29



Document réalisé par le Groupement d'Intérêt Scientifique Posidonie, Parc Scientifique et Technologique de Luminy, Marseille [<http://www.com.univ-mrs.fr/gisposi>] dans le cadre d'un financement de la Direction Régionale de l'Environnement Provence-Alpes-Côte d'Azur contribuant au programme européen LIFE, le Tholonet - Aix-en-Provence.

Remerciements au Professeur A. Meinesz (LEML-UNSA), au Professeur P. Nival, à P. Robert, N. Jensen et N. Quelin (membres du comité de pilotage du Plan d'Action Interministériel relatif à l'algue *C. taxifolia* en Méditerranée) pour la relecture critique de ce document, ainsi qu'à François Soragna et Olivier Chandru (sté. Les Indépendants, Marseille) et l'équipe de la revue *Terres Marines* pour nous avoir inspiré la mise en page de ce document.

Photos de couverture et dos de couverture : A. Rosenfeld (Photoceans) ; P. Francour (LEML-UNSA). Flashage : Black Out medias, Impression : Fouque S.A.R.L. - 04.91.03.87.80

PREAMBULE

L'algue verte d'origine tropicale *Caulerpa taxifolia* prolifère en Méditerranée Nord Occidentale depuis le milieu des années 1980. *Caulerpa taxifolia* n'est pas la seule à envahir les écosystèmes marins ; plusieurs autres espèces ont été introduites accidentellement en Méditerranée. Cependant elles se fondent par leur couleur dans le paysage sous-marin ou ne prolifèrent pas aussi activement sur tous les substrats.

Son expansion rapide suscite de nombreuses interrogations sur la biologie de l'algue, son impact environnemental, ses incidences socio-économiques,... Cette algue de couleur vert-jaune, facile à distinguer, offre des avantages pour l'étude d'une invasion et la mise au point d'une méthode de régulation des espèces introduites. Dans ce contexte de nombreuses recherches et publications scientifiques ont été réalisées, en particulier avec le concours de l'Etat.

Dès 1992, l'Etat s'est mobilisé sur ce thème et a, notamment, participé au financement de programmes de recherche. A la demande du Ministre de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire, un plan national interministériel a été mis en place en 1998 pour :

- évaluer les risques qui pourraient être liés à *Caulerpa taxifolia*,
- prévoir l'évolution de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée,
- mettre au point des techniques utilisables dans l'hypothèse d'une lutte éventuelle.

Pour répondre à ces objectifs le plan d'action est scindé en trois volets :

- la recherche : nature et origine de l'algue *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée les impacts sur les écosystèmes et la biodiversité, les impacts socio-économiques)
- l'observatoire : veille géographique et évolution des écosystèmes, et observatoire socio-économique
- la prévention, le droit et la mise au point des moyens de lutte : prévention générale de la dissémination, possibilité d'intervention à des échelles locales sur des zones sensibles identifiées, aspects juridiques.

Dans ce contexte national et international, la Direction Régionale de l'Environnement Provence-Alpes-Côte d'Azur a souhaité produire un document de synthèse destiné plus particulièrement aux décideurs et gestionnaires du littoral. Ce document, réalisé par le GIS Posidonie, a vocation à répondre dans la mesure des connaissances actuelles aux interrogations les plus fréquentes sur la prolifération de l'algue *Caulerpa taxifolia*.



Caulerpa taxifolia, une Algue tropicale

L'algue verte *Caulerpa taxifolia*, originaire des mers tropicales, a été introduite en Méditerranée au début des années 80. Elle présente des adaptations qui la rendent très compétitive vis-à-vis des espèces Méditerranéennes... *Caulerpa taxifolia* a non seulement réussi à survivre à un nouvel environnement (conditions différentes de celles des eaux tropicales), mais elle prolifère et se développe au point de susciter des inquiétudes sur les conséquences de son expansion.

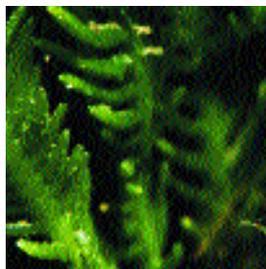
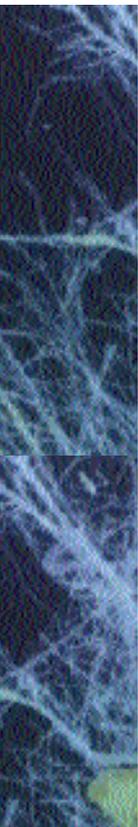
Caulerpa taxifolia est une algue verte, que l'on peut trouver dans les mers tropicales. Elle a été observée pour la première fois en Méditerranée en 1984.

Le genre *Caulerpa* comporte près d'une centaine d'espèces et de variétés, répandues dans les mers tempérées et surtout les mers chaudes. En Méditerranée une seule espèce de caulerpe est commune, avec une large répartition : *Caulerpa prolifera*. D'autres espèces de *Caulerpa* sont plus rares en Méditerranée : *Caulerpa scalpelliformis* (Turquie, côtes levantines, Egypte) et *Caulerpa mexicana* (observée également sur les côtes levantines). Une dernière espèce, *Caulerpa racemosa*, est généralement considérée comme un immigrant lesespisien mais pourrait être, en réalité, originaire d'autres régions du monde. *Caulerpa racemosa* présente, depuis une dizaine d'années, une extension de son aire de répartition en Méditer-

ranée : initialement signalée en Tunisie (à Sousse, 1926) elle a été découverte en Méditerranée orientale puis, récemment, sur les côtes méditerranéennes occidentales.

Introduite en Méditerranée à partir d'un aquarium

Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer l'apparition soudaine de *C. taxifolia* en Méditerranée, mais c'est l'introduction à partir d'un aquarium qui est apparue comme la plus probable. En effet, *C. taxifolia* a été utilisée pour la décoration des aquariums en Europe, dès le début des années 60, puis en France et à Monaco au début des années 80. Ce sont les travaux d'une équipe suisse sur la génétique de *C. taxifolia* qui ont permis de confirmer cette hypothèse : la souche cultivée dans les aquariums et celle trouvée en Méditerranée sont parfaitement identiques, alors qu'elles se dif-



férencient des souches des mers tropicales.

Une "cellule" unique

Caulerpa taxifolia présente la particularité d'être coenocytique, c'est à dire qu'elle n'est pas composée de cellules différenciées, mais d'une "cellule" unique géante renfermant le **cytoplasme** et des millions de **noyaux**. On peut distinguer sur l'algue les stolons (= "rhizomes"), portant les frondes (= "feuilles") et les piliers terminés par des rhizoïdes, qui jouent le rôle de "racines". Lorsqu'une partie de l'algue est sectionnée, la cicatrisation est rapide, la partie séparée peut alors se développer indépendamment (bouture). Cette reproduction végétative semble être le seul mode de reproduction de *C. taxifolia* en Méditerranée. L'ensemble des colonies de *Caulerpa taxifolia* de Méditerranée semble donc être un **clone** constitué, génétiquement, d'un seul et même individu fragmenté en de nombreux individus identiques.

La souche méditerranéenne de *Caulerpa taxifolia* présente des caractéristiques morphologiques et physiologiques inhabituelles par rapport aux souches tropicales : longueur des frondes supérieure (jusqu'à 80 cm au lieu de 25 cm dans les eaux tropicales), densité exceptionnelle (jusqu'à 14 000 frondes par m²), adaptation à un large spectre de températures, synthèse de substances toxiques, etc.

L'algue peut survivre à des températures comprises entre +7°C et +31°C. Il est donc peu probable qu'elle disparaisse naturellement à la suite d'un hiver trop rigoureux ou d'un réchauffement des eaux, contrairement à ce que l'on a pu espérer initialement. La croissance des stolons commence en mai-juin et les meilleures conditions de croissance sont observées en août-septembre (jusqu'à 1,5 cm de croissance par jour) lorsque la température de l'eau est comprise entre +20°C et +30°C. Les stolons peuvent ainsi s'étendre sur près de 2 m en une année et tisser un réseau très dense : on a mesuré jusqu'à 350 m linéaires de stolons par m² de fond.

Une expansion rapide

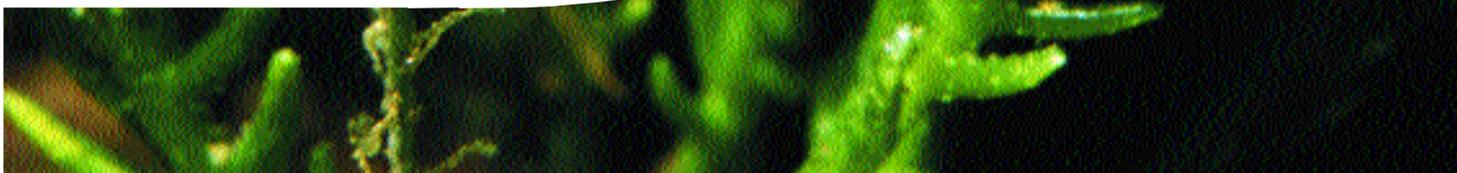
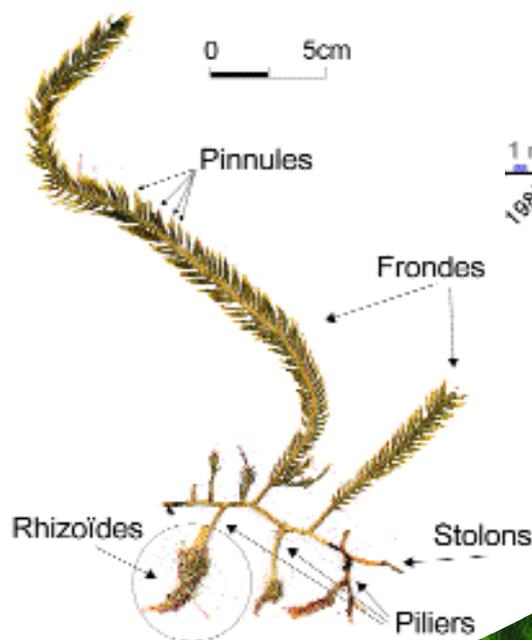
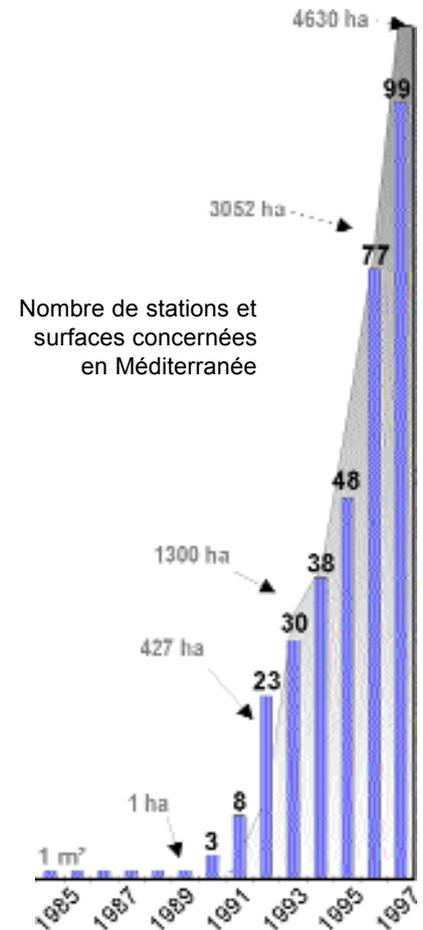
Observée pour la première fois en Méditerranée en 1984, à Monaco, *Caulerpa taxifolia* a été trouvée en 1990 dans les Alpes-Maritimes, à Roquebrune-Cap Martin, puis dans le Var, à Toulon. Son expansion devient alors rapide. En 1991, elle est signalée dans plusieurs nouveaux sites des Alpes-Maritimes, 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 (Impéria en Ligurie et Livourne en Toscane), et en Espagne, aux Baléares (Majorque).

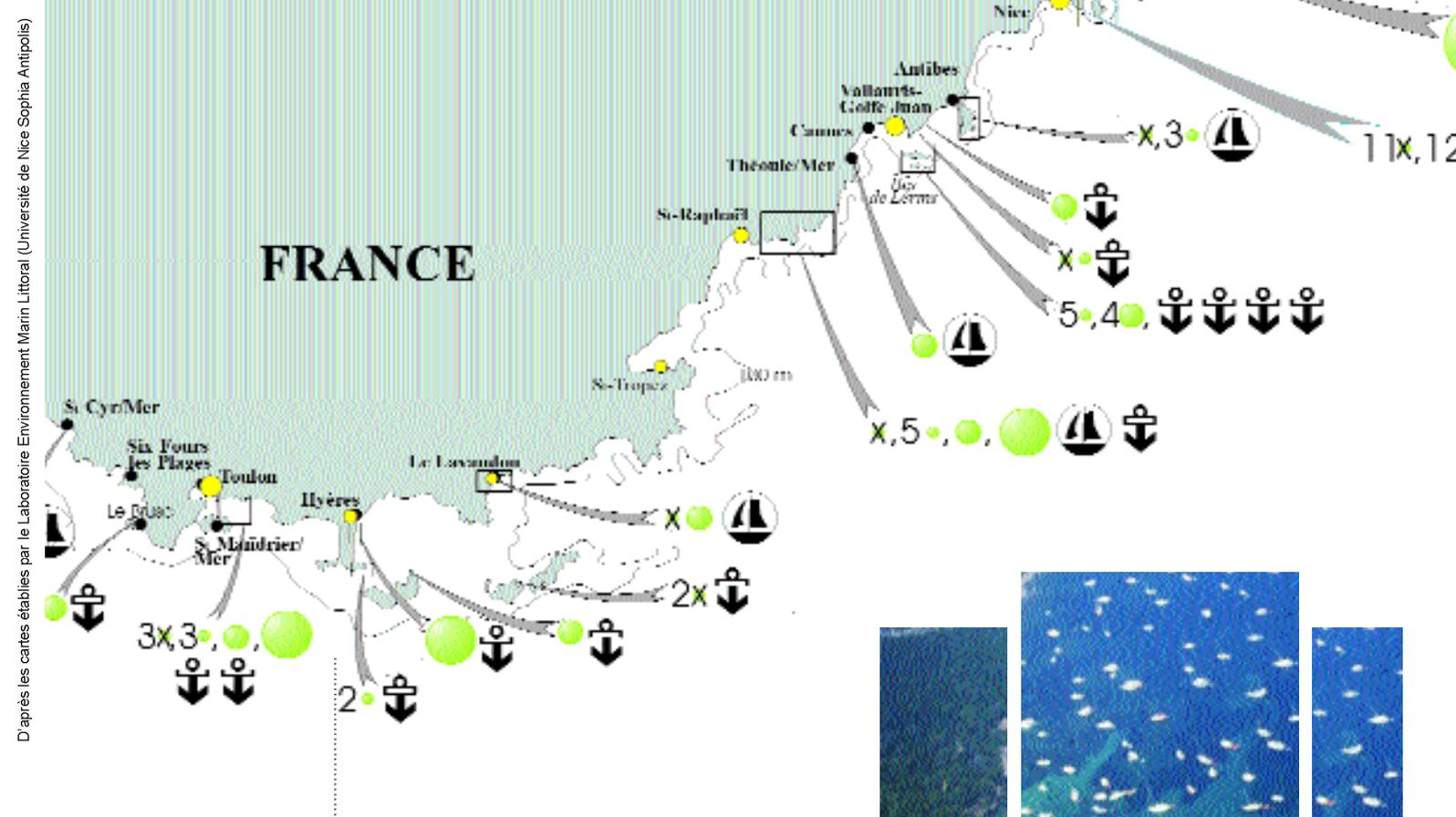
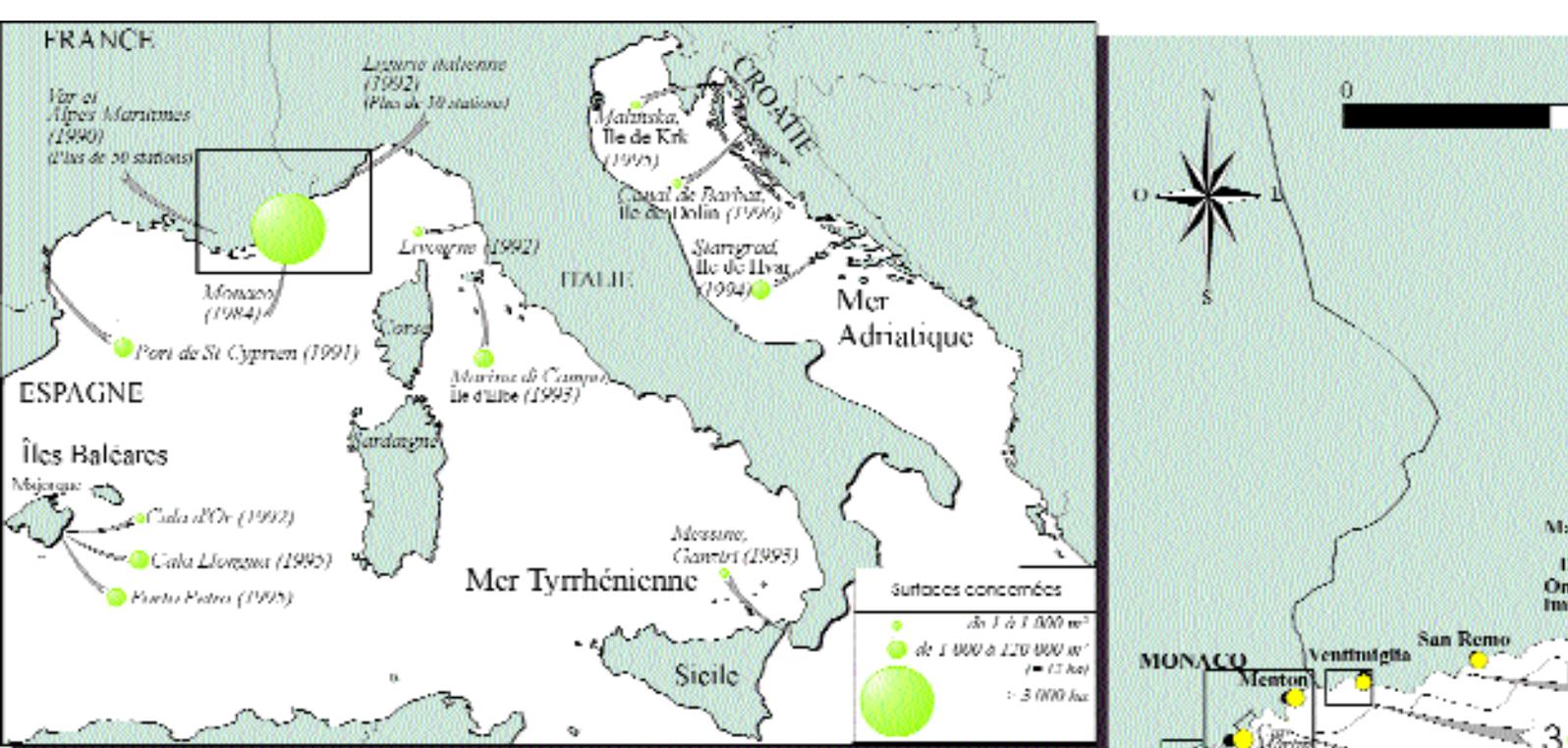
En 1993, *Caulerpa taxifolia* est signalée en Sicile (Messine), à l'île d'Elbe (Toscane), et de nouvelles stations sont découvertes en Ligurie italienne et sur la Côte d'Azur française. En janvier 1994, *C. taxifolia* est signalée pour la première fois en mer Adriatique, en Croatie. En mars 2000, *C. taxifolia* atteint les côtes méridionales de la Méditerranée, elle est signalée devant Sousse (Tunisie).

Six pays sont actuellement concernés par ce phénomène (Monaco, la France, l'Espagne, l'Italie la Croatie et la Tunisie) et il est possible que des colo-

nies n'aient pas encore été découvertes. A ce jour, la Corse, l'Espagne continentale et la Sardaigne ne semblent pas encore atteintes.

La surface concernée par *Caulerpa taxifolia* était de l'ordre de 1 m² en 1984. Fin 2000, elle est estimée, en Méditerranée, entre 8 000 et 10 000 ha.

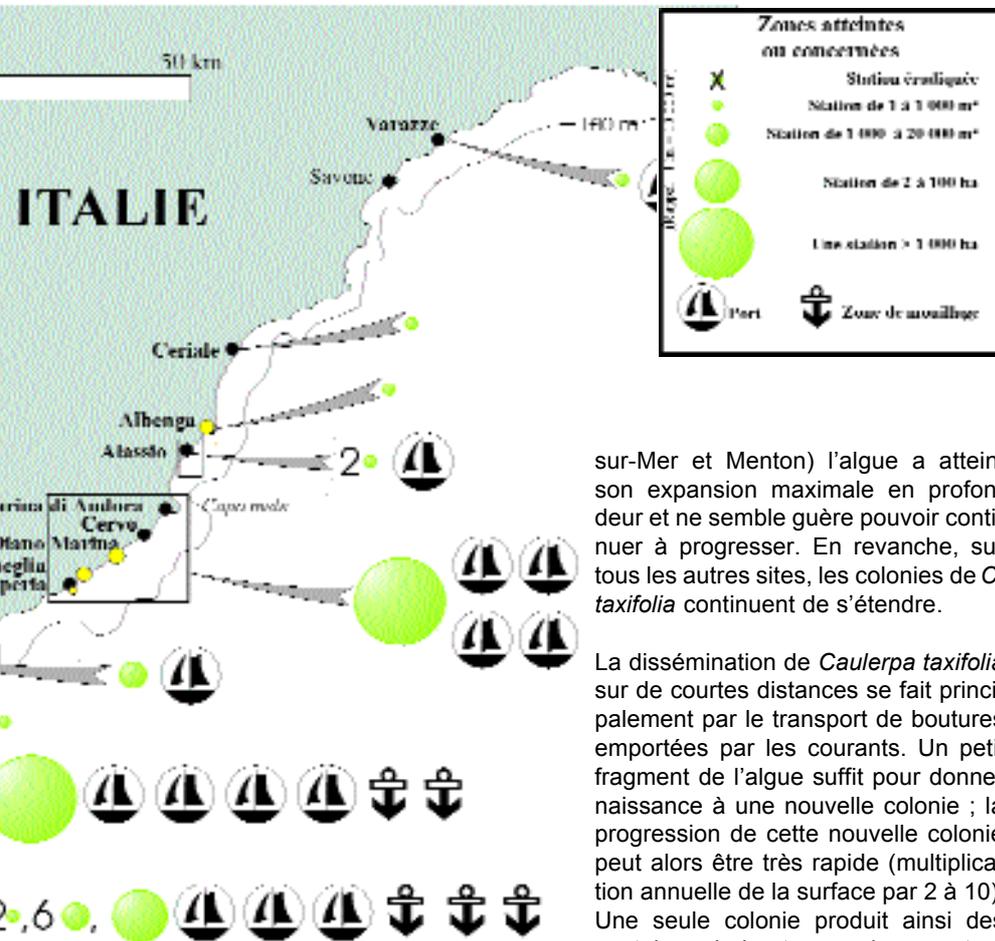




Situation générale de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée et en Adriatique au début de l'année 1998. A ce jour, l'algue n'a pas été signalée en Corse, en Sardaigne, ni le long des côtes de l'Espagne continentale. De nombreux sites d'implantation correspondent à des zones de mouillage forains et des ports...



L'île de Porquerolles en période estivale. A. Jedy de Grissac©



sur-Mer et Menton) l'algue a atteint son expansion maximale en profondeur et ne semble guère pouvoir continuer à progresser. En revanche, sur tous les autres sites, les colonies de *C. taxifolia* continuent de s'étendre.

La dissémination de *Caulerpa taxifolia* sur de courtes distances se fait principalement par le transport de boutures emportées par les courants. Un petit fragment de l'algue suffit pour donner naissance à une nouvelle colonie ; la progression de cette nouvelle colonie peut alors être très rapide (multiplication annuelle de la surface par 2 à 10). Une seule colonie produit ainsi des centaines de boutures qui peuvent se disperser sur des distances de plusieurs dizaines à centaines de mètres. L'extension se poursuit de proche en proche, l'aire de répartition atteint ainsi la profondeur de 40 à 50 m (parfois plus) au bout d'une dizaine d'années. La colonisation se poursuit alors préférentiellement latéralement, de part et d'autre de la zone atteinte, le côté situé sous le courant dominant pro-

Quinze ans après sa découverte en Méditerranée, 97% des colonies se trouvent toujours concentrées 200 km à l'est et 200 km à l'ouest de la zone de sa première observation, dans une région comprise entre Toulon, en France, et Ceriale, en Italie. En France, dans les régions les plus anciennement colonisées (entre Villefranche-

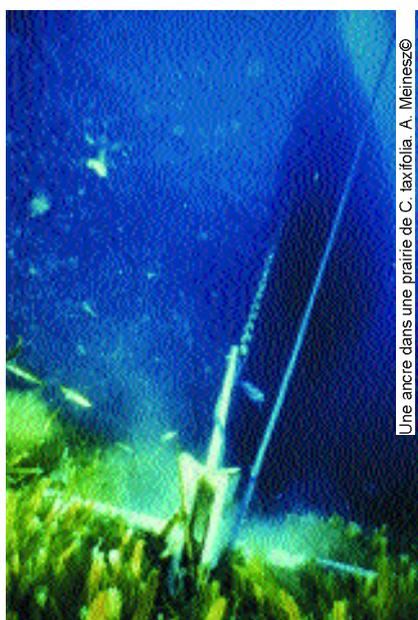
gressant plus vite.

La dissémination de boutures dans les sites très éloignés des secteurs fortement contaminés ne se fait que par les activités humaines, comme la navigation de plaisance et la pêche artisanale.

Les fragments de l'algue, accrochés aux ancres et chaînes des bateaux de plaisance, aux engins de pêche, voire au matériel de plongée, peuvent survivre 10 jours dans un endroit humide à l'abri du soleil (puits d'ancre, filets, sac de plongée), régénérer et former une nouvelle colonie une fois rejetés en mer.

La dissémination sur de longues distances augmente régulièrement sans être exponentielle

Compte tenu de l'augmentation récente du nombre des zones fortement colonisées on aurait pu s'attendre à une plus grande augmentation du nombre de nouvelles colonies. De juin 98 à juillet 2000, 24 nouvelles zones colonisées ont été décrites devant les côtes françaises où 51 zones colonisées étaient connues dont 10 très étendues (foyers de dissémination). On peut y voir le succès des campagnes de sensibilisation, auprès des plaisanciers notamment.



Une ancre dans une prairie de *C. taxifolia*. A. Meinesz©



Un gangui, petit chalut côtier. F. Bonthomme©

Les fragments de l'algue accrochés aux filets de pêche ou sur les ancres des navires de plaisance, sont susceptibles de régénérer et de former de nouvelles colonies s'ils sont rejetés en mer ... Chaque nouvelle colonie se dissémine alentours en même temps que sa surface augmente.



Caulerpa taxifolia : les enjeux de son expansion

La souche de *Caulerpa taxifolia* qui colonise la Méditerranée présente des adaptations qui la rendent très compétitive. Elle est susceptible de coloniser de très nombreux types de fonds et son expansion peut avoir une influence sur les habitats, la biodiversité marine et certaines activités humaines. La toxicité de l'algue lui procure un avantage supplémentaire dans la compétition avec les espèces de Méditerranée ; aucun risque pour la santé humaine n'est toutefois mis en évidence.

Lorsque *Caulerpa taxifolia* s'implante, ses axes rampants et ses rhizoïdes tissent rapidement une couverture compacte qui piège les sédiments et stoppe la lumière. Le substrat devient peu à peu inaccessible aux autres organismes fixés, aux autres algues en particulier. Une prairie monotone et pauci-spécifique (pauvre en espèces) à *Caulerpa taxifolia* peut ainsi remplacer la vingtaine de **communautés** et de faciès algaux existant généralement dans les petits fonds.



Dans l'hypothèse où l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée se poursuit, il ne peut être exclu qu'un certain nombre d'espèces de l'étage **infralittoral** (étage qui s'étend généralement de la surface à 30-40 m de profondeur et qui héberge la majeure partie de la **biodiversité** algale) soient menacées de disparition à long

terme : c'est le cas en particulier de plusieurs espèces d'algues du genre *Cystoseira* (espèces protégées par la Convention de Berne).

Caulerpa taxifolia pénètre et colmate l'herbier de posidonie, l'un des écosystèmes les plus importants de Méditerranée. L'installation de *C. taxifolia* est toutefois moins rapide dans les herbiers de posidonie que dans les peuplements d'algues sur roche. Elle ne semble coloniser que les zones les plus clairsemées de l'herbier et ne s'implante que sporadiquement au sein de l'herbier dense.

En automne cependant, les frondes de *Caulerpa taxifolia*, à leur maximum de développement, masquent la lumière. L'issue de la compétition entre les deux végétaux (pour l'espace et la lumière) est actuellement en cours d'étude.

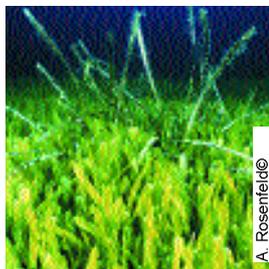
La posidonie présente une certaine résistance à la colonisation par *C. taxifolia*, en particulier lorsque l'herbier est dense ...

Quelle sera l'issue de cette compétition ?



Ce type de peuplement hégémonique peut se traduire par un fort appauvrissement en terme d'écodiversité et de biodiversité.

Sous la notion globale de **biodiversité**, on entend la diversité du monde vivant à tous les niveaux : diversité génétique, diversité des espèces, diversité des fonctions (herbivores, carnivores, etc.) ou encore la diversité écologique (écodiversité ou diversité des **écosystèmes**). La biodiversité constitue le fondement des écosystèmes et permet leur fonctionnement. Or sous l'effet direct ou indirect des activités humaines, de nombreuses espèces disparaissent, et cette tendance s'accélère ; les répercussions de ces modifications peuvent s'étendre à l'ensemble des espèces, directement ou indirectement liées, ainsi qu'à l'homme *in fine*. Une diminution des ressources exploitables peut ainsi être la conséquence de telles modifications, alors perceptibles à l'échelle humaine.



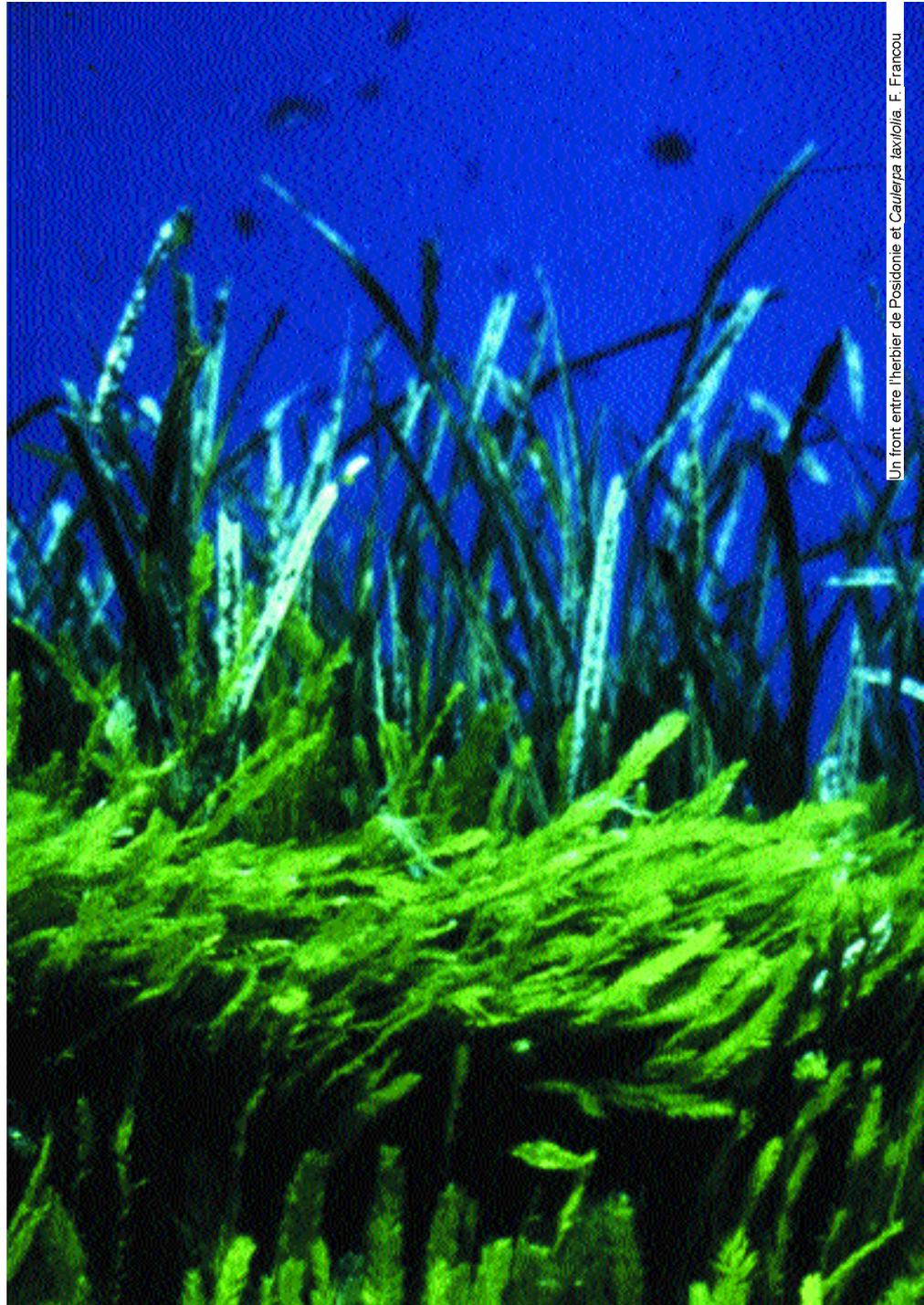
A. Rosentheil ©

La conservation de la biodiversité est donc aujourd'hui une priorité à l'échelle planétaire.

Quelles que soient les connaissances dont on dispose sur l'impact des introductions d'espèces sur le milieu naturel, le **Principe de Précaution**, édicté lors de la conférence sur la diversité biologique (Rio, 1992) suffit à justifier que l'expansion de *Caulerpa taxifolia* soit prise en compte.

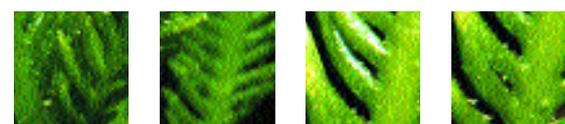
Celui-ci stipule que...

"en cas de risque de dommages graves ou irréversibles, l'absence de certitude absolue ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives, visant à prévenir la dégradation de l'environnement ..."



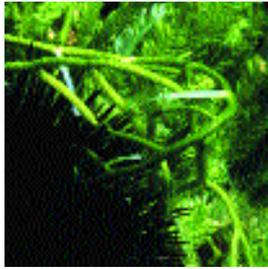
Un front entre l'herbier de Posidonie et Caulerpa taxifolia. F. Francou

La biodiversité constitue le fondement des écosystèmes et permet leur fonctionnement. La conservation de la biodiversité est donc aujourd'hui une priorité





Les fonds sédimentaires sans végétation sont également un milieu propice à la colonisation par *Caulerpa taxifolia*. Son implantation peut provoquer de profondes modifications des caractéristiques physico-chimiques et biologiques du substrat : envasement, enrichissement en matière organique, établissement de conditions **anoxiques** (pénurie en oxygène) avec comme conséquence une modification de la faune **endogée** (=qui vit dans le substrat).



Il faut enfin souligner que dans les zones les plus anciennement colonisées, la richesse en espèces, la densité et l'abondance du peuplement de poissons sont maintenant significativement plus faibles que dans les zones proches encore indemnes. Sur substrat meuble, toutefois, la diversité en espèces et l'abondance des peuplements de poissons peuvent augmenter, et pour certaines espèces, les prairies à *Caulerpa taxifolia* semblent constituer un milieu favorable, au moins pour une partie de leur cycle de développement.

Caulerpa taxifolia n'est peu ou pas consommée par l'oursin comestible

Paracentrotus lividus.

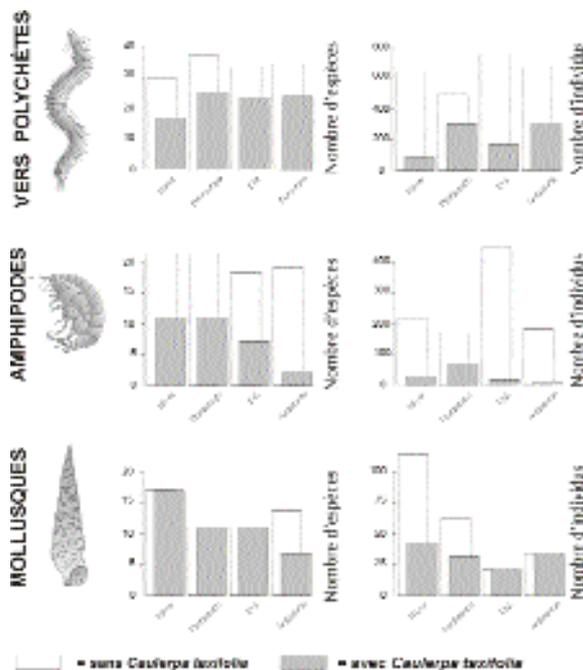
Ses populations déclinent dans les zones fortement colonisées...

Les premières observations réalisées sur les peuplements du coralligène (peuplements à algues calcaires, sur lesquels sont fixés les grandes formes d'invertébrés comme les gorgones et le corail) semblent également indiquer un impact important. Elles doivent être confirmées par des études spécifiques.

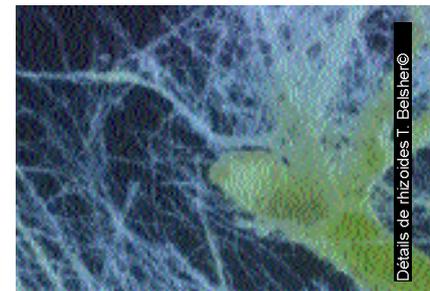
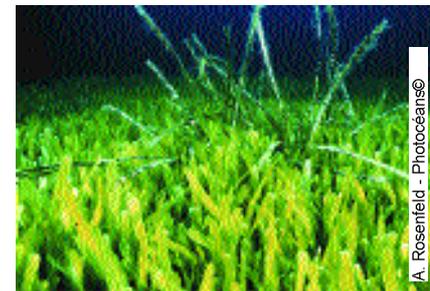
La petite faune d'invertébrés qui vit dans les peuplements algaux est fortement modifiée par l'installation de *Caulerpa taxifolia* et la disparition du peuplement algal originel ; les observations réalisées sur quelques groupes d'animaux (les Mollusques, les Crustacés Amphipodes et les Vers Polychètes) montrent que leurs populations y sont en général plus ou moins fortement réduites, en nombre d'individus comme en nombre d'espèces, par rapport aux peuplements de référence (peuplements indigènes). Il en va de même pour l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* qui peut disparaître totalement des prairies denses de *C. taxifolia*.

Il est donc inexact de dire qu'il n'y a plus de poissons dans les prairies de *C. taxifolia*, cependant il est certain qu'il s'agit d'une modification profonde des peuplements et d'une diminution globale de leur abondance. D'une manière générale, on observe une uniformisation des peuplements de poissons.

La richesse en espèces comme l'abondance des groupes d'invertébrés sont - à l'exception des mollusques - beaucoup plus faibles dans les peuplements de *Caulerpa taxifolia* que dans les peuplements indigènes de référence.



peuplements de *Caulerpa taxifolia* que dans les peuplements indigènes de référence.



On peut estimer que ces incidences sur la faune seront amplifiées à long terme par la poursuite de la colonisation, avec des modifications telles que la réduction des ressources pour les espèces herbivores, et donc indirectement les espèces carnivores, ou encore la perte des habitats et des abris.

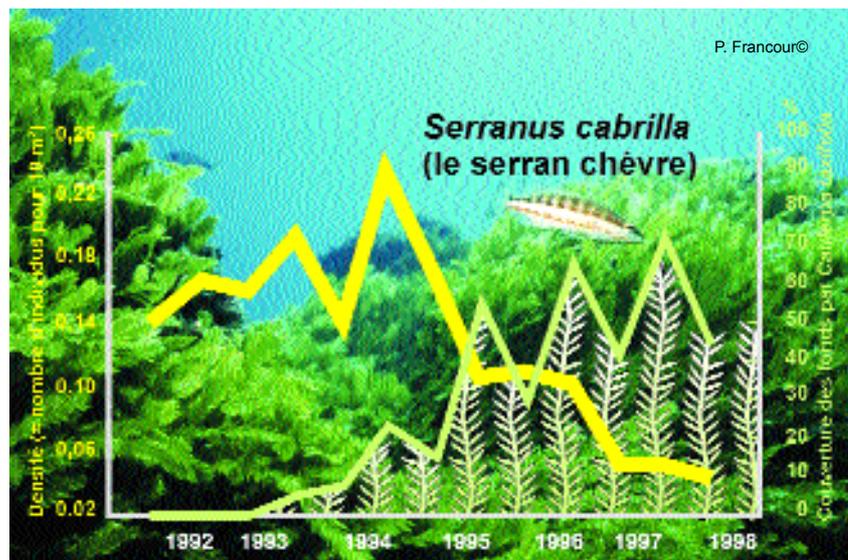
Le succès compétitif de *Caulerpa taxifolia* vis-à-vis des espèces **indigènes** est sans doute dû à sa taille, à la densité des peuplements qu'elle consti-

tue, à sa vitesse de croissance, aux changements physico-chimiques et biotiques qu'elle induit, mais également aux substances chimiques qu'elle synthétise.

*Les espèces de poissons réagissent différemment face à ce nouvel environnement. Certaines comme le sar *Diplodus sargus* ou le serran chèvre *Serranus cabrilla* voient leur population diminuer fortement.*

D'autres espèces, principalement

*les Labridés du genre *Symphodus* augmentent en densité, mais selon des schémas différents (par exemple pour *S. ocellatus*, cette augmentation ne concerne que le stade juvénile et ne se traduit pas en une augmentation de la densité des adultes) ...*





Herbier de posidonie colonisé par *C. taxifolia* P. Francour©

Caulerpa taxifolia, comme de nombreux végétaux, synthétise des substances toxiques qui la protègent des prédateurs (herbivores) et parfois des compétiteurs (autres espèces d'algues qui s'installent sur les mêmes types de fond).

Neuf substances toxiques ont été découvertes chez la souche méditerranéenne de *C. taxifolia*, parmi lesquelles la caulerpényne qui est majoritaire (0,1 à 13% du poids sec).

Pour tester la toxicité d'une substance, des "modèles" expérimentaux sont utilisés (cellules ou organismes vivants) sur lesquels la réponse aux composés est observée. La caulerpényne présente des effets antiraux, antifongiques, cytotoxiques, ichtyotoxiques, répulsifs ; elle inhibe en particulier le développement des oeufs d'oursins.

Les connaissances sur les toxines métabolisées par *Caulerpa taxifolia* sont encore partielles mais il semble que le risque le plus important soit bien celui de la modification des équilibres écologiques et non pas d'une menace directe pour la santé humaine.

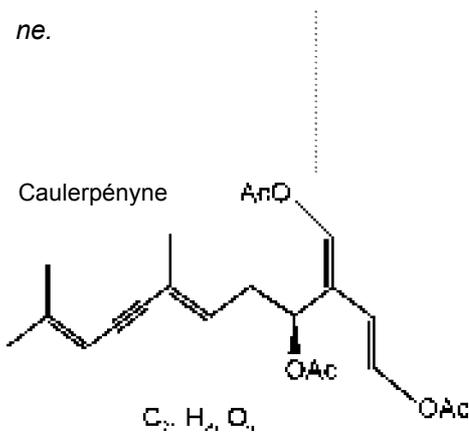
La toxicité de *Caulerpa taxifolia* lui procure un avantage compétitif face aux espèces de Méditerranée, mais aucun risque pour la santé humaine n'a été démontré...

Les études menés *in vitro* ont permis de démontrer que la caulerpényne peut se diffuser en petites proportions dans l'eau de mer (la caulerpényne n'est pas hydrosoluble) et contaminer ainsi l'eau entourant les prairies denses de *C. taxifolia*. Elle est ensuite rapidement dégradée sous l'effet de la lumière, en présence d'oxygène et de chlorophylle, pour donner naissance à une famille de composés qui, toutefois, présentent encore une certaine toxicité (sur les oeufs d'oursins en particulier).

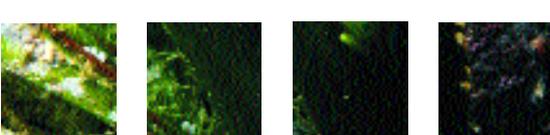
le milieu naturel pourrait avoir des répercussions indirectes importantes sur l'ensemble de la chaîne alimentaire.

Pour le moment, aucun risque potentiel de toxicité pour l'homme n'a été démontré. Aucune accumulation des toxines de *Caulerpa taxifolia* le long de la chaîne alimentaire n'a été mise en évidence ; les espèces herbivores consommées par l'homme - essentiellement la sape et l'oursin comestible - 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.

Enfin, si certaines espèces de *Caulerpa* sont recherchées en Asie pour leur consommation comme condiments (*Caulerpa lentilifera*), ce n'est pas le cas de *Caulerpa taxifolia* ce qui exclut, *a priori*, les risques d'intoxication directe par ingestion.



Les souches de bactéries marines présentent également des sensibilités différentes aux toxines synthétisées par *Caulerpa taxifolia*. En milieu naturel, une sélection en faveur des populations de bactéries gram-négatives a été montrée dans les zones fortement colonisées par *C. taxifolia*. Une modification des populations bactériennes, base de la **chaîne alimentaire**, dans





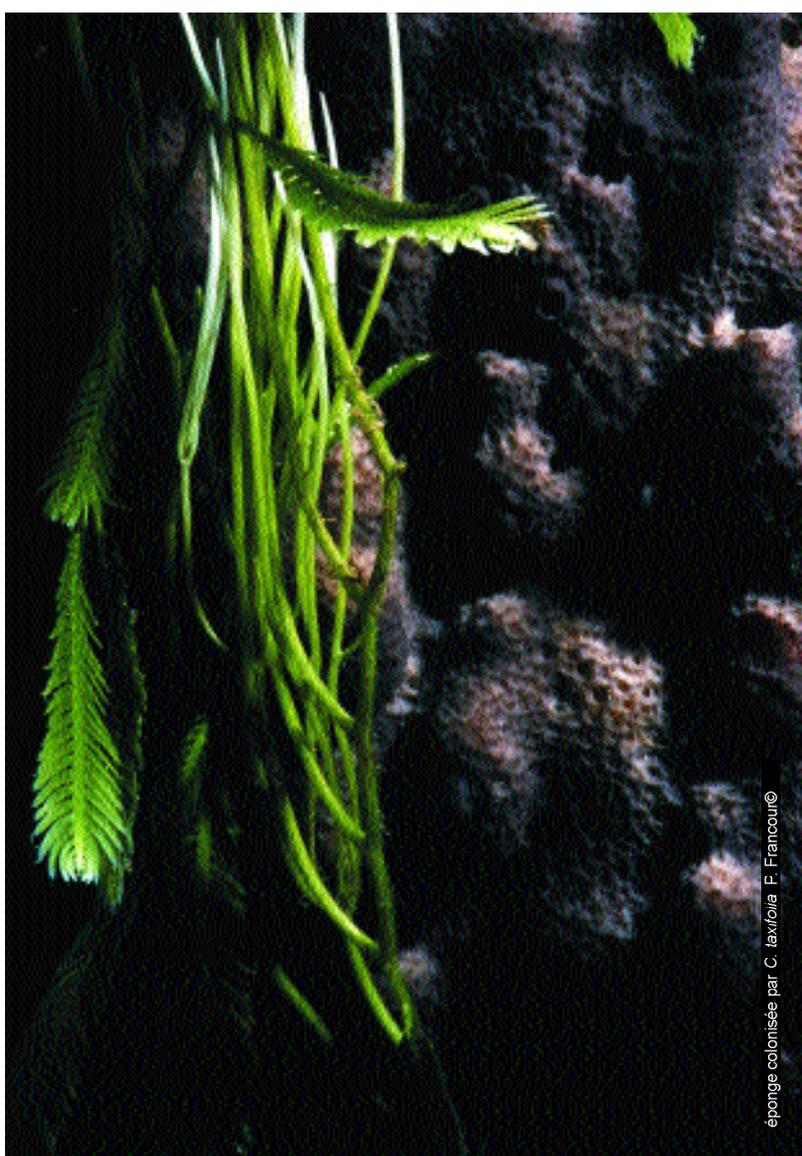
***Caulerpa taxifolia* :**

La souche méditerranéenne présente des caractéristiques morphologiques et physiologiques particulières ;

Elle présente une aptitude à coloniser de nombreux habitats où elle peut devenir dominante ;

Son implantation peut modifier les caractéristiques physico-chimiques et biotiques des fonds colonisés ;

La synthèse de toxines l'avantage, directement ou indirectement, dans la compétition avec les peuplements indigènes.



*L'ensemble conduit à une homogénéisation des fonds
(perte de diversité spécifique),
une modification de la structures des peuplements
colonisés et à un impact sur la biodiversité ...*



Dans les zones les plus fortement colonisées, *Caulerpa taxifolia* peut constituer une gêne pour les activités en mer, comme la pêche artisanale et la plongée sous-marine...

Quinze ans après son introduction en Méditerranée, dans les stations où elle est devenue dominante, *Caulerpa taxifolia* peut constituer une gêne sérieuse pour la pêche artisanale et la plongée sous-marine.

Certains pêcheurs des zones fortement colonisées, dans les Alpes-Maritimes en particulier (prud'homie de Menton /Roquebrune/Cap Martin) attribuent aux peuplements de *C. taxifolia* une diminution de la ressource et donc une diminution des prises (jusqu'à -50% selon les déclarations). Le colmatage des fonds rocheux par *C. taxifolia* et donc la perte d'abris pour les poissons des petits fonds pourrait être à l'origine de cette baisse des prises.

En outre, les filets calés dans les secteurs densément colonisés par *C. taxifolia* se chargent de fragments de frondes et perdent ainsi de leur efficacité : "le poisson voit le filet". Ils sont rendus lourds à manipuler et leur nettoyage est long et difficile (trempage dans l'eau douce pendant une dizaine de jours puis séchage à l'air libre). Le temps nécessaire à ces manipulations réduit d'autant les temps de pêche !

Certains pêcheurs déclarent ainsi avoir été obligés d'investir dans l'achat de plusieurs jeux de filets, qui sont utilisés par rotation, ou d'adapter leur technique de pêche à des secteurs plus profonds. Or les petites unités exerçant dans ces zones sont essentiellement armées pour la petite pêche artisanale.

Dans les secteurs les plus touchés, les

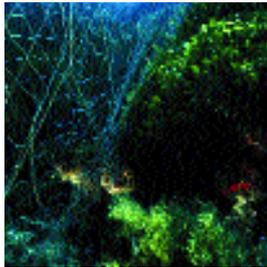
professionnels semblent peu optimistes quant à la pérennité de l'activité (au moins pour la petite pêche côtière). En décembre 1998, l'un des patrons pêcheurs de la prud'homie de Menton est venu témoigner de l'inquiétude de la profession face à l'expansion de *C. taxifolia*, lors d'une réunion à l'Assemblée nationale. En

Italie, la situation a conduit les pêcheurs professionnels de Ligurie (mieux représentés que dans les Alpes-Maritimes) à demander une déclaration de "catastrophe naturelle" pour leur zone d'activité.

Dans les secteurs moins touchés, comme le Var, les pêcheurs professionnels disent toutefois ne pas ressentir l'impact de la présence de *Caulerpa taxifolia* sur leurs prises, la pêche ne se pratiquant peu ou pas sur les secteurs fortement colonisés.

L'expansion de *Caulerpa taxifolia* constitue également une gêne pour la plongée sous-marine. Les clients des clubs de plongée ont une motivation principalement esthétique et c'est la beauté paysagère des sites, la diversité des organismes, la beauté des couleurs qui sont déterminantes.

Dans les zones colonisées, les vastes



Les filets colmatés par des fragments de *C. taxifolia* séchent au soleil. P. Bonhomme©



Bateaux de pêche armés aux "petits métiers" P. Bonhomme©

prairies denses et monotones de *C. taxifolia* font perdre tout leur attrait aux petits fonds rocheux habituellement recouverts d'une grande diversité de peuplements algaux, ou aux tombants coralligène lorsqu'ils sont dépouillés de leurs gorgones.

Les clubs de plongée des Alpes-Maritimes, qui sont généralement de petites structures de type associatif, évitent maintenant d'aller sur les fonds colonisés par *Caulerpa taxifolia*.

Enfin, certains ports colonisés par *Caulerpa taxifolia* risquent d'être confrontés à des surcoûts pour certaines opérations d'entretien. L'envasement des bassins portuaires entraîne un exhaussement des fonds qui rend nécessaire leur dragage périodique. Les produits de dragage sont généralement, après expertise et autorisation, rejetés au large. Le rejet en mer des vases de port, contenant des fragments de *C. taxifolia*, représente un risque de dissémination important qu'il est nécessaire d'éviter. La solution alternative, le transport

puis le stockage à terre des produits de dragage dans des décharges, représente cependant un coût triple en comparaison avec celui du rejet en mer.

Pour éviter la dissémination de *Caulerpa taxifolia*, des secteurs fortement colonisés peuvent se voir interdits au mouillage, à la navigation, ou au chalutage. C'est déjà le cas de trois secteurs du Var (Porquerolles, Port d'Hyères à la Capte, Le Brusç).

Dans les zones où *Caulerpa taxifolia* devient l'un des peuplements dominants des fonds littoraux,

elle peut donc occasionner un manque à gagner pour les pêcheurs professionnels, mais elle représente également une "gêne" pour d'autres activités telle que la diminution de l'attrait des sites de plongée. L'évaluation socio-économique de cette gêne n'a pas encore été déterminée, mais une étude est actuellement en cours. L'expansion continue de l'algue, posera la question de façon cruciale dans un avenir proche.



Bateau armé au "ganguin" P. Bonhomme©





Les instruments réglementaires

contre les espèces introduites

L'introduction d'espèces est considérée comme l'un des grands problèmes environnementaux du XXI^{ème} siècle par les organismes internationaux. On estime, à l'heure actuelle, que ce phénomène est responsable d'un tiers des pertes de la biodiversité mondiale. Les évaluations des coûts économiques et environnementaux des espèces introduites par le passé ont ainsi conduit certains pays à mettre en place une politique contraignante pour la maîtrise de ce phénomène. En revanche, en Europe comme en Méditerranée, l'intégration dans les législations nationales des mesures préconisées dans les instruments internationaux reste exceptionnelle .

En 1994, à Barcelone, le 2^{ème} "Colloque international sur *Caulerpa taxifolia* " clôturait le premier programme d'étude international réalisé sous l'égide de la Commission Européenne. Les scientifiques présents ont tenu à adopter un texte commun, l'Appel de Barcelone ("*Caulerpa taxifolia* : confirmation d'un risque majeur pour les écosystèmes littoraux de Méditerranée").

Ce texte indiquait notamment :
"Les scientifiques font leur travail de recherche et prennent la responsabilité d'alerter les autorités. Il appartient maintenant aux gouvernements des pays concernés, ainsi qu'aux organismes internationaux en charge de l'environnement, de mettre en oeuvre le principe de précaution (dont fait état la Convention sur la

*Diversité Biologique de Rio de Janeiro) et de définir une stratégie internationale cohérente adaptée au problème posé [par l'expansion de *Caulerpa taxifolia*]".*

Les instruments internationaux

Des instruments pour lutter ...

Le risque constitué par l'introduction d'espèces exotiques, sur la **biodiversité**, les **habitats** et les activités humaines, comme c'est le cas de *C. taxifolia*, a été reconnu et formalisé par certaines conventions internationales. Ces conventions lient les Etats et leurs organes internes (Parlement, Gouvernement, Juridiction) et leur violation engage la responsabilité de l'Etat sur le plan international.

De manière générale, "*Aucun Etat n'a le droit de faire usage ou de permettre*

qu'il soit fait usage de son territoire de manière à causer des dommages... sur le territoire d'un Etat voisin". Sur ce fondement, un Etat qui aurait par erreur ou manque de diligence, laissé se développer une espèce envahissante dans ses eaux territoriales, entraînant une contamination ou un risque de contamination d'un autre Etat, serait théoriquement susceptible de se voir condamner par un Tribunal Arbitral ou par la Cour de justice internationale de la Haye.

Parmi les instruments internationaux qui mentionnent de manière explicite les espèces introduites, dès 1979, la **Convention de Berne** issue du Conseil de l'Europe, dispose que les parties contractantes s'engagent à ...

"contrôler strictement l'introduction des espèces non indigènes." (art. 11.2)

Ce sont là des obligations de base auxquelles les Etats européens qui sont Parties à ces Conventions ont souscrit.

La nécessité d'une maîtrise des introductions est également inscrite dans la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer de **Montego Bay**, 1982 (en vigueur depuis le 16 novembre 1994) qui stipule que...

"Les Etats prennent toutes les mesures nécessaires pour prévenir, réduire et maîtriser (...) l'introduction intentionnelle ou accidentelle en une partie du milieu marin d'espèces étrangères ou nouvelles pouvant provoquer des changements considérables et nuisibles." (article 196.1)

La **Convention sur la Diversité Biologique de Rio de Janeiro** (juin 1992) prévoit la maîtrise des introductions d'espèce mais également leur contrôle ou leur éradication en mentionnant que chaque partie, dans la mesure du possible ...

"empêche d'introduire, contrôle ou éradique les espèces exotiques qui menacent des écosystèmes,

des habitats ou des espèces." (art. 8h de la Convention).

Des préoccupations similaires sont également inscrites dans le **Protocole Relatif aux Aires Spécialement Protégées et à la diversité biologique en Méditerranée** de la **Convention de Barcelone** (juin 1995) qui prévoit que les Parties contractantes doivent prendre...

"toutes les mesures appropriées pour régler 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 en outre 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".

Instruments nationaux

Malgré l'existence des engagements internationaux cités, l'intégration dans les législations nationales d'articles concernant les espèces introduites est exceptionnelle en Europe comme sur le pourtour méditerranéen. Quelques textes portant sur les introductions d'espèces, parfois spécifiques à *Caulerpa taxifolia*, existent toutefois pour certains pays.

... contre les espèces introduites

De manière générale c'est l'**Espagne et ses communautés autonomes** qui possèdent les outils législatifs les plus avancés pour la lutte contre les espèces introduites (incluant *C. taxifolia*). Le gouvernement central ainsi que les communautés autonomes littorales de Catalogne, de Valencia, des Baléares et des Canaries, ont ainsi adopté des textes



Détail des rhizoïdes d'un stolon de *Caulerpa taxifolia* ©IFREMER

La législation sur les espèces introduites est particulièrement ferme dans les pays anglo-saxons (USA, Australie, Nouvelles-Zélande, Canada). Aux Etats-Unis par exemple, où une enquête du Congrès a évalué à 97 milliards USD les coûts directs et indirects des introductions pour le XX^{ème} siècle, la politique de lutte contre ce phénomène est devenue une priorité présidentielle (Clinton Act, 03.02.1999).



considérant comme des infractions la commercialisation, la distribution et la vente, et le cas échéant, l'introduction ou l'arrachage de *Caulerpa taxifolia*. La **Croatie**, la **Principauté de Monaco**, et l'**Italie**, ne disposent pas de législation sur l'introduction d'espèces non indigènes et ne possèdent pas non plus de textes spécifiques à *C. taxifolia*. Il est remarquable cependant que, malgré l'absence de texte prévoyant la lutte contre les espèce introduites, la **Croatie** ait engagé, à l'échelon régional, une stratégie de lutte contre *C. taxifolia*. C'est donc ici plus une volonté réelle de conservation des milieux ou la mise en œuvre du "principe de précaution" qui semble s'exprimer plutôt qu'une obligation réglementairement encadrée.

En ce qui concerne la **France**, avant l'adoption de la "loi Barnier" (2 février 1995), il n'existait pas de texte réglementant l'introduction d'espèces non indigènes dans le milieu naturel. Cette loi établit maintenant des règles générales claires sur les introductions d'espèces. Dans l'attente des Décrets d'application, c'est l'article 5 de la loi du 10 juillet 1976 sur la protection de la nature qui est utilisé pour la lutte contre *C. taxifolia*, via l'arrêté du 4 mars 1993 (prorogé jusqu'au 25 mars 2001), qui interdit...

"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. 1)



Convention de Berne



... Convention de Montego Bay



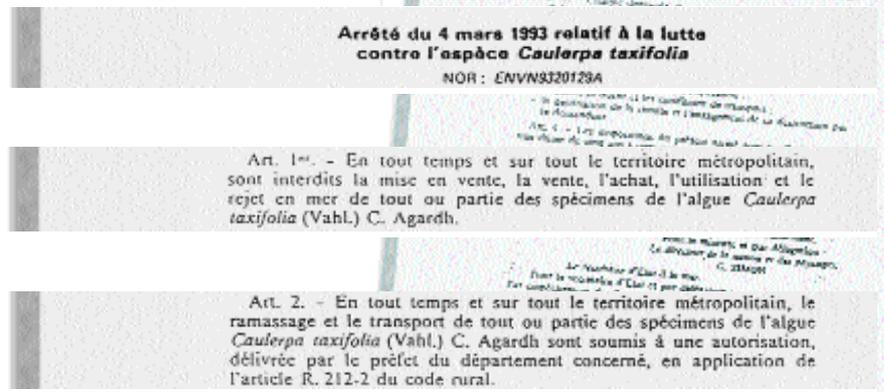
Interdiction de *C. taxifolia* en Catalogne

• • • Convention sur la Diversité biologique, Rio de Janeiro

Interdiction de *C. taxifolia* en France



L'arrêté du 4 mars 1993, prorogé jusqu'au 25 mars 2001, relatif à la lutte contre *Caulerpa taxifolia* en France...



.. et soumet à autorisation du préfet du département concerné le ramassage et le transport de ces derniers. Des arrêtés préfectoraux, interdisant la circulation et le mouillage dans des secteurs colonisés (Var) sont également utilisés dans la lutte contre *C. taxifolia*.

En France toujours, un Plan d'action interministériel relatif à *Caulerpa taxifolia* a été mis en place en 1998. Ce plan d'action est composé d'un Comité de pilotage qui regroupe les différents ministères compétents, les collectivités ainsi que les établissements publics techniques ou scientifiques et d'un Conseil scientifique spécifique.

Ce plan d'action, d'une durée de 5 ans, est doté d'une enveloppe de 5 millions de francs et comprend 3 volets : la recherche (sur la nature et l'origine de l'algue, ses impacts socio-économiques et sur les écosystèmes), l'observation du phénomène et la prévention (veilles cartographique, écologique et économique), le droit et la mise au point de moyens de lutte

(information des usagers de la mer et des organismes publics maritimes, recueil des techniques de contrôle et préconisations, inventaires des sites sensibles).

Les recommandations

A côté des instruments réglementaires cités, des recommandations, émanant d'organismes internationaux, ont été émises pour la prévention et le contrôle des introductions d'espèces ; certaines concernent *Caulerpa taxifolia* de manière spécifiques.

Ainsi, le **Conseil de l'Europe** demande aux Etats membres d'interdire toute introduction dans le milieu naturel d'espèces non indigène (recommandation R14 du 21/06/94), même si...

"les risques et les répercussions de l'introduction d'une espèce non indigène sont dans la plupart des cas, incalculables et imprévisibles, même si l'on a effectué des recherches minutieuses"

Ce même texte demande aux Etats



Les scientifiques des pays méditerranéens, réunis sous l'égide du Programme des Nations Unies pour l'Environnement, ont adoptées 11 recommandations pour le contrôle de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* (les Recommandations d'Héraklion). Le présent document est inspiré de ces recommandations.

membres de mettre en place une collaboration dont l'objectif est la prévention et l'information sur les introductions d'espèces.

De manière spécifique à *Caulerpa taxifolia*, et dans le prolongement de la Convention de Berne, le **Comité permanent** de la convention recommande aux parties contractantes de...

*“procéder à un contrôle scientifique de l'apparition et de l'expansion de *Caulerpa taxifolia*...”*

et de procéder à...

“l'éradication (...) lorsque cela est encore possible, puis à un contrôle des repousses successives, en intervenant de façon prioritaire dans les espaces protégés”

... et souligne également la nécessité d'une action coordonnée entre les pays concernés, ou susceptibles de l'être, en vue de l'adoption d'une stratégie commune de lutte (recommandation 45 du 24.03.95).

Enfin, en mars 1998, le **Programme des Nations Unies pour l'Environnement** (Plan d'Action pour la Méditerranée) a organisé, à Héraklion (Crète), un séminaire sur les espèces envahissantes de *Caulerpa* en Méditerranée. Les participants, dont les scientifiques représentant officiellement 19 pays riverains de la Méditerranée, ont adopté des conclusions qui

confirment l'appel lancé à Barcelone en 1994 et proposent, à l'ensemble des pays, 11 recommandations pour une stratégie de contrôle effective de l'expansion de ces espèces envahissantes.

Cet ensemble de textes, s'ils ne sont pas forcément contraignants pour les Etats, formalisent au moins une prise de conscience mondiale de l'incidence des introductions d'espèces sur le milieu naturel et les activités économiques.

1999

*Interdiction de *Caulerpa taxifolia* aux USA et en Australie*

Plan d'Action pour cinq ans en France

RECOMMANDATIONS D'HERAKLION



UNEP

1998

*Interdiction de *Caulerpa taxifolia* par le Gouvernement central espagnol*

1996

Recommandations du Comité permanent de la Convention de Berne

Convention de Barcelone

*Interdiction de *C. taxifolia* en région de Valencia, Espagne*

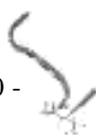
Recommandations du Conseil de l'Europe

*Interdiction de toute espèce de *Caulerpa non indigène*, aux Baléares*

1994

Nouvelle loi sur l'environnement (loi Barnier, 1995) en France

1995



Que Faire ?

La prise de conscience du risque que représente l'expansion continue de *Caulerpa taxifolia* s'est accompagnée d'une réflexion - locale puis internationale - sur les moyens de maîtrise du phénomène. S'il apparaît clairement que l'éradication de l'ensemble des colonies de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée n'est plus réaliste, une stratégie de ralentissement et de contrôle de son expansion doit être adoptée. Partout où une telle stratégie a été mise en place, des opérations de contrôle ou de ralentissement des colonies ont pu être réalisées avec succès.

Les éléments d'une stratégie pour le contrôle de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* sont pour la plupart recommandés par les différents comités français créés pour la lutte contre *Caulerpa taxifolia*, comme par le Comité permanent de la Convention de Berne, ou encore par les scientifiques réunis à Héraklion par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

Interdire son utilisation en aquariologie

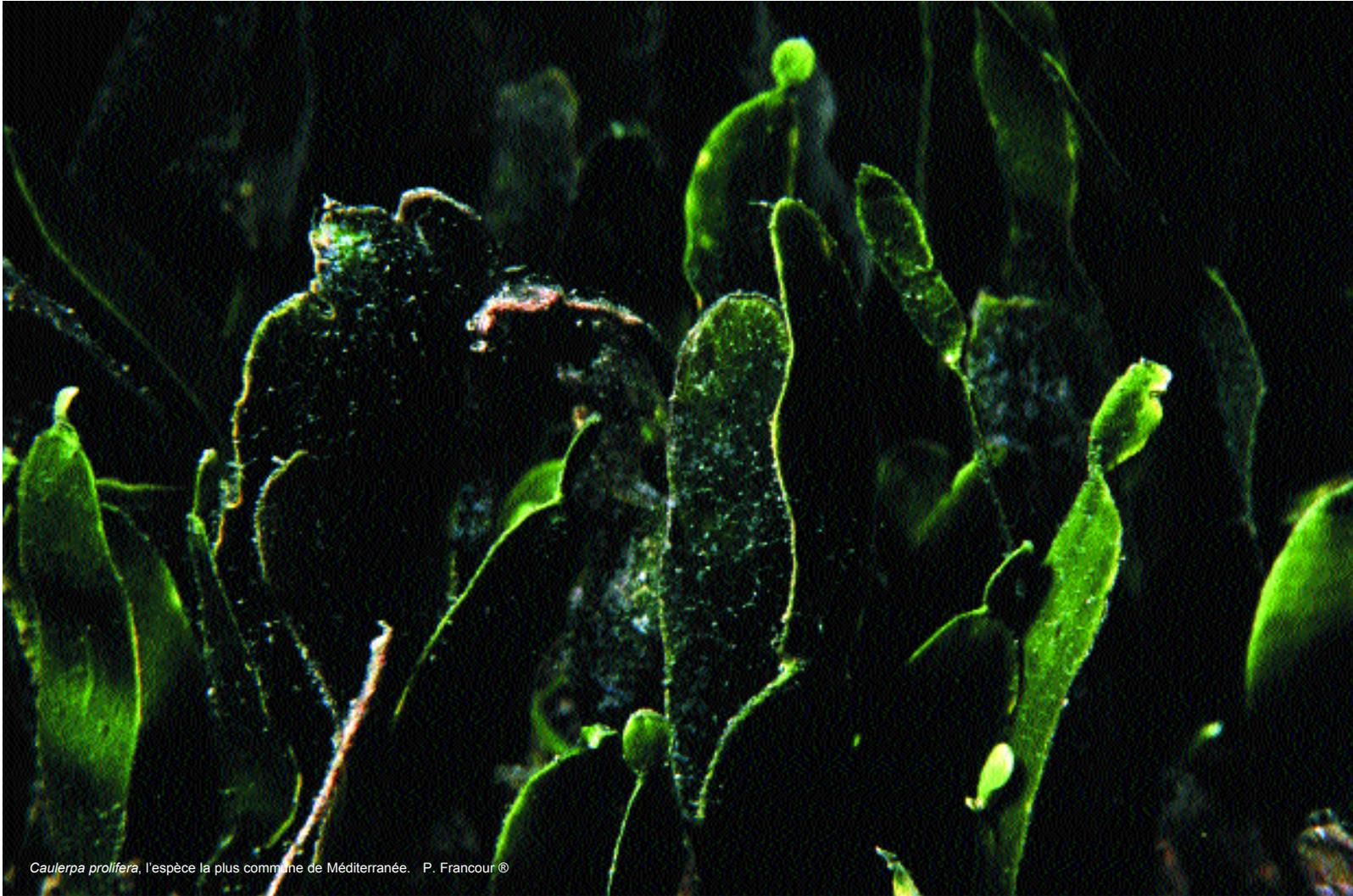
Très tôt les biologistes marins ont émis l'hypothèse que la première colonie de *Caulerpa taxifolia* provenait du rejet en mer d'un aquarium. En effet, si les principaux vecteurs d'introduction sont bien connus (aquaculture, eaux de ballasts et salissures des coques des navires, migration lessepsienne), aucun ne permettait d'expliquer de manière satisfaisante l'arrivée de l'espèce sur nos côtes. La possibilité d'une implan-

tation de *Caulerpa taxifolia* par le rejet du contenu d'un aquarium avait d'ailleurs été vérifiée lors de la découverte, en 1992 dans le port des Lecques (Var), d'une colonie au milieu de coraux tropicaux morts qui lui servait de support.

Or, cette souche "aquariologique", appréciée pour sa vigueur et sa résistance au froid, est aujourd'hui encore présente dans de nombreux aquariums dans le monde.

Une stratégie de contrôle

La maîtrise de la source première d'introduction de *Caulerpa taxifolia*, consiste donc à éviter que d'autres individus puissent être rejetés en mer et passe, pour cela, par l'interdiction de l'utilisation de l'espèce dans les aquariums. Cette mesure a été l'une des premières adoptée en Espagne (dès 1992 pour la Catalogne) comme en France (mars 1993). Il est actuellement interdit de posséder cette espèce dans un aquarium, de la vendre et



Caulerpa prolifera, l'espèce la plus commune de Méditerranée. P. Francour ©

Caulerpa prolifera, l'espèce de Caulerpe la plus commune de Méditerranée (indigène d'Atlantique tropical), ne peut pas être confondue avec *Caulerpa taxifolia* ...

L'interdiction de son utilisation dans les aquariums peut permettre la maîtrise de la source première d'introduction de *Caulerpa taxifolia* en mer.

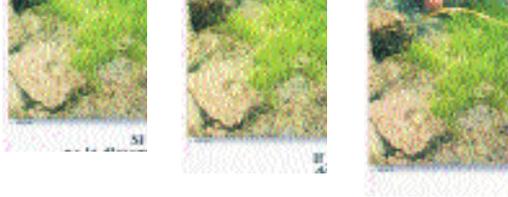
même de la transporter. En Australie et aux États-Unis, *C. taxifolia* est également interdite à l'importation.

Malgré ces interdictions, l'espèce peut aujourd'hui encore être achetée dans de nombreux magasins d'aquariologie ou présentée dans des aquariums privés et publics. Ainsi donc, outre l'adoption de textes d'interdiction, il est nécessaire que les réglementations reçoivent une publicité suffisante et soient, le cas échéant, suivies de contrôles.

Dans l'absolu, et considérant l'accélé-

ration du nombre des introductions, les organismes internationaux de protection de l'environnement proposent de remplacer les listes d'espèces interdites, pour lesquelles un risque est mis en évidence (*Dirty lists* en anglais), par des listes d'espèces autorisées (*Clean lists*) pour lesquelles l'absence de risque a été confirmé.

Les recommandations émises à Héraklion (PNUE) proposent ainsi d'interdire l'ensemble des espèces du genre *Caulerpa* à l'exception de l'espèce commune en Méditerranée *Caulerpa prolifera*. Cette mesure permettrait en outre de faciliter les opérations de contrôle car cette dernière espèce, à l'inverse des autres espèces de *Caulerpa*, est aisément identifiable.



Signaler les nouvelles colonies, adopter de nouvelles pratiques : la sensibilisation des usagers pour ralentir l'expansion de *Caulerpa taxifolia*

L'information et la sensibilisation des usagers sont des outils primordiaux dans une stratégie de suivi et de ralentissement de l'expansion d'une espèce introduite.

Pour *Caulerpa taxifolia*, ces actions de sensibilisation sont plus particulièrement ciblées vers les plaisanciers (petite navigation côtière de proximité, croisières de longue distance), les métiers de la pêche, les clubs de plongée et le tourisme estival. Leurs objectifs sont, d'une part, l'adoption de nouvelles pratiques en mer, qui limitent les risques de dissémination de *Caulerpa taxifolia* et, d'autre part, l'appel à la signalisation de nouvelles colonies lorsqu'elles sont découvertes.

Si vous la rencontrez, signalez-la !

Ainsi, chaque année, depuis 1991, plus de 200 000 dépliants (disponibles dans les capitaineries des ports), affiches et vidéogrammes, en 8 langues, ont été diffusés auprès de la population littorale de 7 pays méditerranéens. Outre la présentation de l'algue, la cinétique et les conséquences de son expansion, deux messages principaux sont délivrés :

1, "si vous la rencontrez, signalez-la !"

Un réseau de suivi cartographique a en effet été mis en place et différents organismes sont mobilisés pour recueillir les signalisations, valider la présence des nouvelles colonies et en faire le suivi cartographique dans le temps. Pour chacune des régions concernées, les coordonnées de ces organismes sont indiquées dans les docu-

ments correspondants.

2, "évittez de la disséminer !"

Les activités de l'homme en mer sont en effet l'un des principaux vecteurs de dissémination de *Caulerpa taxifolia*. Un fragment de l'algue, accroché à un filet, une ancre, un équipement de plongée sous-marine, ne doit pas être rejeté en mer mais à terre dans un conteneur à ordures. De même certaines activités doivent être évitées au-dessus des prairies de *Caulerpa taxifolia*, tel le mouillage des navires de plaisance ou la pêche au moyens d'engins traînants (petits chalut, gan-guis).

L'efficacité des campagnes de sensibilisation

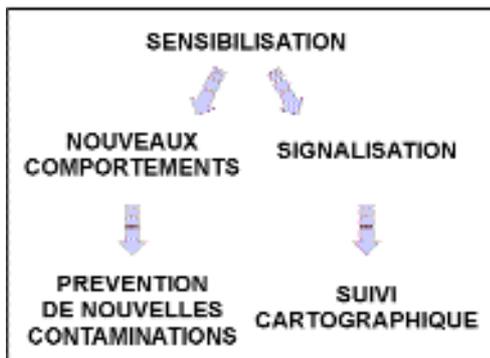
Le renouvellement régulier des campagnes d'information et de sensibilisation - sur des supports spécifiques -, l'homogénéité des messages délivrés et le contact régulier avec les usagers concernés sont des éléments qui augmentent la perméabilité du public aux messages délivrés.

Evitez de la disséminer !

On remarque par ailleurs, sur la base des suivis cartographiques, que la plus grande partie des colonies connues à ce jour (99%) a été découverte puis signalée par des usagers sensibilisés au cours des campagnes d'information. En outre, **dans plus de 70% des cas, les nouvelles colonies signalées présentaient des surfaces inférieures à 20 m²**, c'est à dire à un stade précoce de colonisation.

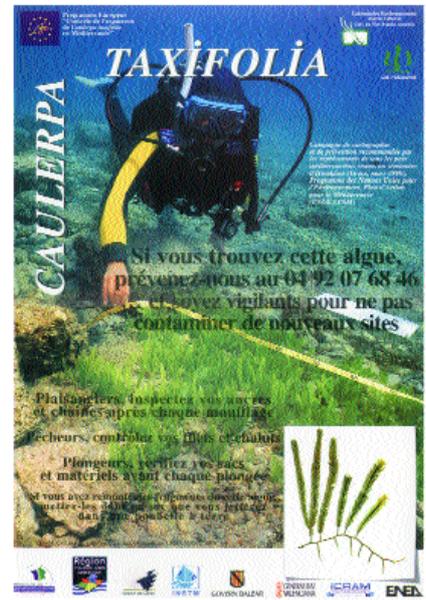
Bien que le nombre de nouvelles colonies découvertes augmente toujours régulièrement (24, en France, ces

REGIONS CONCERNÉES PAR LES CAMPAGNES DE SENSIBILISATION EN 1998





Ancre dans une prairie de *Caulerpa taxifolia*. A. Meinesz ©



.....

99% des colonies connues à ce jour ont été découvertes puis signalées par des usagers sensibilisés par les campagnes d'information ...

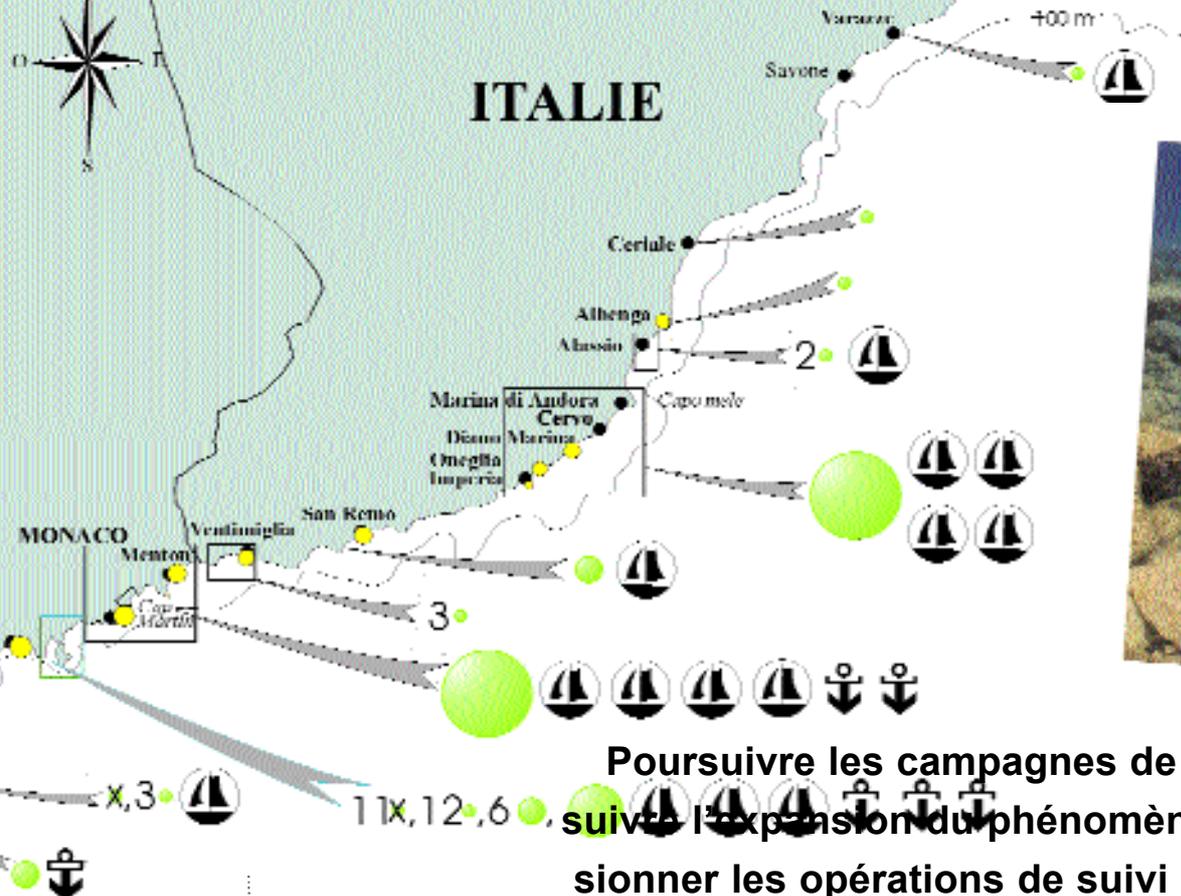
deux dernières années) on aurait pu s'attendre à une augmentation plus forte, en rapport avec le nombre de foyers de dissémination (10 zones largement atteintes, en France). Il n'est pas interdit de penser qu'il s'agit là d'un effet positif des mesures préconisées dans les documents de sensibilisation.

Poursuivre et pérenniser l'effort d'information et de sensibilisation

S'il apparaît nécessaire dans l'avenir de pérenniser les opérations d'information et de sensibilisation (comme cela est actuellement le cas, en France, dans le cadre de l'Observatoire national de suivi de l'expansion de *Caulerpa taxifolia*), il apparaît également important de mobiliser les points

de distribution : administrations de la mer, autorités portuaires, offices du tourisme, centres nautiques et de manière générale l'ensemble des points d'accueil du public susceptibles de diffuser l'information.

La prise en compte des appels à signalisation et l'adoption des nouvelles pratiques conseillées sont des **actes volontaires** qui ne sont concrétisés qu'en fonction de la perception par l'utilisateur de l'utilité de son acte. Cette prise de conscience peut donc être renforcée par "l'officialisation" des messages délivrés, en incluant par exemple des instructions dans les formations obligatoires (permis de navigation) ou les documents de bords (livres de bord, cartes nautiques).



Cartographie des prairies de *Caulerpa taxifolia*. A. Meinesz ©

Poursuivre les campagnes de cartographie : suivre l'expansion du phénomène pour dimensionner les opérations de suivi et de contrôle.

*Dans les six pays concernés, une dizaine d'équipes travaillent en collaboration sur le suivi cartographique de l'expansion de *Caulerpa taxifolia*, avec des méthodes standardisées...*

Les résultats alimentent, depuis 1991, un système d'information géographique, base de connaissances qui doit être utilisée par les décideurs.

C'est par le suivi cartographique des colonies de *Caulerpa taxifolia* et la connaissance de l'état de l'expansion des colonies que peuvent être planifiées, puis financièrement dimensionnées, les interventions de contrôle.

Les nouvelles colonies sont le plus souvent signalées par le biais de la sensibilisation. Toutefois, sur des secteurs ciblés de littoral ou des secteurs "sensibles" (zones de mouillages, ports), des missions de surveillance systématique sont réalisées. Actuellement, toutes les stations découvertes en Méditerranée sont suivies régulièrement, en plongée sous-

marine ou au moyen de caméras vidéo - tractées par des navires - pour les zones les plus profondes. L'ensemble des informations recueillies alimente, depuis 1991, un Système d'Information Géographique (SIG) et est régulièrement publié sous forme de rapports cartographiques dans le cadre de l'Observatoire de l'expansion de *Caulerpa taxifolia*, soutenu par le Conseil régional Provence-Alpes-Côte-



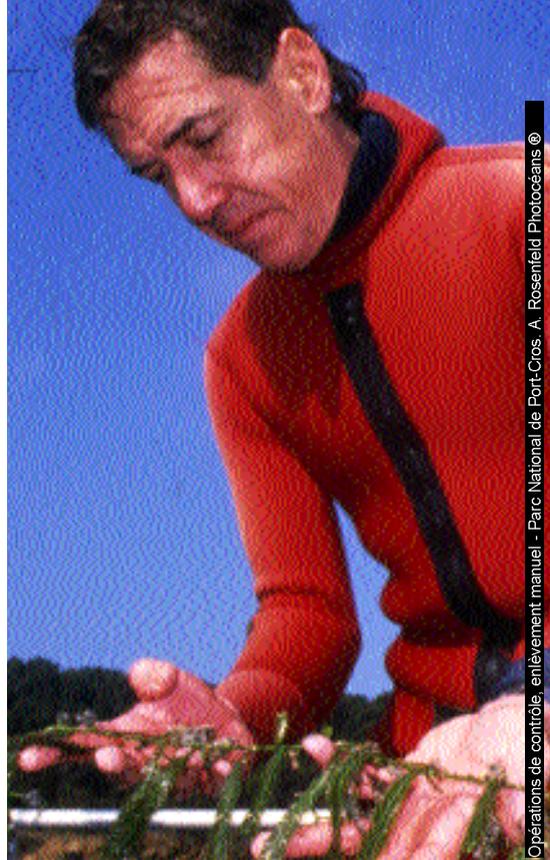
d'Azur, le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse. Les informations cartographiques col-

lectées sont capitales. Elles permettent avant tout de connaître la cinétique du phénomène et son étendue spatiale. Des travaux de modélisation informatique, visant à prévoir l'expansion d'une colonie à partir d'une contamination initiale, sont actuellement en cours.

Ces informations, ainsi que les renseignements tels que la profondeur où se trouve la colonie, sa proximité par rapport à d'autres colonies de grande envergure, le type de substrat sur lequel elle se trouve ou la vulnérabilité du site permettent également de statuer sur le bien fondé d'une opération de contrôle.

Soutenir les équipes chargées de recueillir les signalisations, prévoir des campagnes de prospection

La vitesse de dissémination et d'expansion géographique des colonies de *Caulerpa taxifolia* rendent le travail de suivi cartographique difficile à réaliser. Il est donc nécessaire de soutenir les équipes chargées de recueillir les signalisations des usagers, et de prévoir des campagnes de prospection, de cartographie, de saisie informatique et d'analyse des données, en France comme dans les autres pays actuellement concernés.



Opérations de contrôle, enlèvement manuel - Parc National de Port-Cros - A. Rosenfeld Photocéans®



Découpage manuel d'une colonie de *Caulerpa taxifolia*. A. Rosenfeld - Photocéans®

*L'enlèvement manuel, mis en oeuvre dans un site d'importance patrimoniale : le Parc national de Port-Cros, a permis un contrôle effectif de colonies de faibles surface. L'expansion de *Caulerpa taxifolia* y a ainsi été stoppée ...*

Dans certains secteurs, l'enlèvement manuel systématique des colonies de petite taille, peut permettre de limiter l'expansion de *Caulerpa taxifolia*

L'enlèvement manuel, effectué par des plongeurs sous-marins professionnels est actuellement la seule technique pour laquelle existe, en France, un protocole opératoire validé au niveau national, et finalisé par le Parc National de Port-Cros.

La facilité avec laquelle l'algue se régénère à partir de fragments isolés rend cette opération délicate. L'éradication (c'est-à-dire l'élimination totale et définitive) de l'algue n'est alors possible que lorsque la totalité de l'algue et de ses fragments a été effectivement enlevée de la zone traitée.

Le succès des enlèvements manuels

Un certain nombre de sites ont ainsi été préservés avec succès. Ceci a été le cas de certains sites de plongée sous-marine où l'enlèvement minutieux des stolons isolés, identifiés par les clubs de plongée, a permis de ralentir l'implantation et l'expansion de *Caulerpa taxifolia*. Cette méthode,

mise en oeuvre dans un site d'importance patrimoniale, le Parc national de Port-Cros, a également permis un contrôle effectif de colonies de surface

inférieure à 10 m². L'expansion de *Caulerpa taxifolia* y a ainsi été stoppée.

Le succès de l'enlèvement manuel dépend fortement de la nature du substrat : sur un substrat meuble (sable, vase, matre morte de Posidonie), c'est la totalité du support de l'algue qui doit être découpé sur une dizaine de centimètres d'épaisseur, afin de garantir que l'ensemble des parties de l'algue enfouies dans le sédiment est enlevé.

Sur un substrat qui présente de nombreuses anfractuosités (roche, herbier de Posidonie), le succès des opérations reste, en revanche, incertain.

On estime le rendement moyen d'une telle opération à un mètre carré de *C. taxifolia* par heure et par plongeur. En outre, dans la plupart des cas, ces opérations doivent être répétées chaque année afin d'éliminer les

repousses issues de fragments passés inaperçus.

D'autres techniques sont utilisées...

En Espagne et en Croatie, sur des surfaces plus importantes, des **suceuses hydrauliques sous-marines** ont été utilisées. Elles permettent d'aspirer, et de stocker dans un conteneur, l'algue et son substrat. Cette opération présente un rendement bien supérieur à l'arrachage manuel (14 à 37 m² par heure), mais nécessite une logistique lourde (notamment un groupe électrogène en surface) et reste, en outre, beaucoup moins efficace : de nombreux fragments sont laissés sur place et parfois même disséminés autour du site traité.



Une troisième méthode est également utilisée en Croatie : les colonies de *Caulerpa taxifolia* sont recouvertes de **films opaques**, qui arrêtent totalement la lumière. Installés au début de l'hiver, ils sont laissés en place durant trois mois,

jusqu'à la mort des colonies recouvertes. Cette méthode ne peut toutefois être utilisée que dans des sites faiblement agités où les films, lestés et fixés au niveau du fond, ne peuvent être arrachés par les tempêtes hivernales. L'installation des films est aisée en plongée sous-marine (de l'ordre de 15m²/heure) c'est leur fixation sur le fond qui représente la tâche la plus importante.



Quelles que soient les méthodes mises en oeuvre, il s'agit actuellement de contrôler la colonisation de sites localisés, à un stade très précoce...

Plusieurs autres méthodes sont actuellement développées

Parmi les méthodes, imaginées et testées pour la lutte contre *Caulerpa taxifolia*, on citera le faucardage, le chalu-meau, la carboglace, la dénaturation par eau chaude, l'injection d'hypochlorite de sodium, l'utilisation d'ultrasons ou encore l'épandage de chlorure de sodium. Mais ces méthodes ne per-

Les techniques expérimentales actuellement les plus prometteuses utilisent le pouvoir algicide du cuivre, déjà utilisé depuis longtemps en agriculture pour combattre les espèces nuisibles...

*pa taxifolia au cuivre (un seul gramme suffit pour tuer 10 kg, en masse humide, de *Caulerpa taxifolia*), par comparaison avec d'autres espèces végéta-*



Traitement de colonies de *Caulerpa taxifolia* avec des couvertures imprégnées de solution de cuivre. A. Rosenfeld - Photocéans ©



Épandage de Chlorure de Sodium sur des colonies de *Caulerpa taxifolia*. CPIE Îles de Lérins ®

mettent pas d'intervenir sur des colonies très étendues. Il s'agit donc plutôt de contrôler la colonisation, à un stade très précoce, de sites localisés.

Actuellement, les techniques les plus prometteuses cherchent à utiliser le pouvoir **algicide** de l'ion cuivrique (Cu^{2+}), déjà utilisé depuis longtemps, en agriculture. Les chercheurs ont ainsi pu mesurer expérimentalement le haut degré de sensibilité de *Cauler-*

les méditerranéennes.

Le cuivre est un élément toxique qu'il convient d'utiliser avec discernement. Les opérations de contrôle réalisées pour l'instant sur des surfaces extrêmement réduites n'impliquent, de fait, qu'un enrichissement très localisé du milieu en cuivre. Il convient toutefois de suivre dans le temps, l'évolution des teneurs en cuivre dans le milieu environnant à l'issue d'une intervention.

Plusieurs équipes travaillent ainsi à la mise au point de méthodes qui permettent de maîtriser et de minimiser l'apport en ion cuivrique en le faisant agir directement au niveau des colonies de *Caulerpa* que l'on désire éliminer.

Pour ce faire, différents prototypes ont été élaborés ; il s'agit (i) de couvertures plastiques dont une des faces est imprégnée d'une solution de cuivre qui

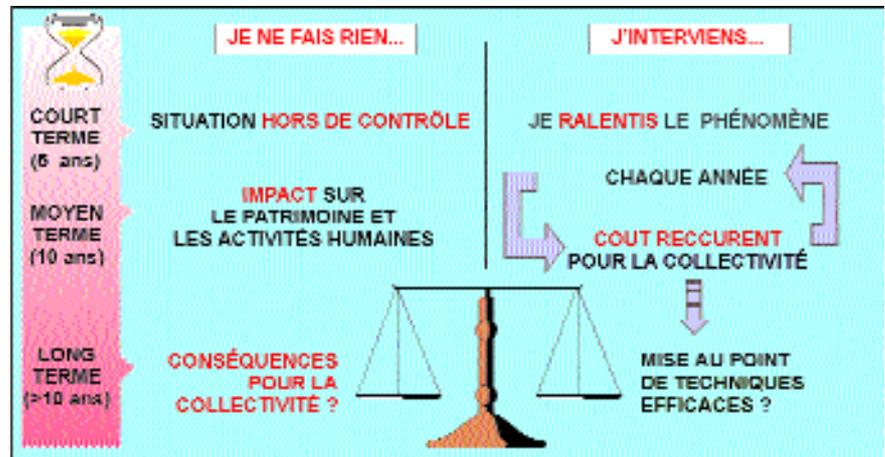


... le facteur temps entre la découverte de nouvelles colonies de *Caulerpa taxifolia* et leur contrôle est donc un élément fondamental

diffuse au contact des colonies à traiter, (ii) d'enceintes composées d'électrodes (anode et cathode en cuivre) qui, une fois mises sous tension, réalisent un bain électrolytique traversé par les ions cuivre, (iii) de la diffusion d'une solution de cuivre suffisamment saturée en chlorure de sodium pour que l'augmentation de sa densité en permette le confinement sur le fond au niveau de la colonie de *Caulerpa taxifolia*.

De manière générale, pour toutes les méthodes présentées ci-dessus, le succès d'une intervention dépend fortement de la nature du substrat. Les substrats meubles (sables, vases) et présentant peu d'anfractuosités sont ceux pour lesquels les meilleurs résultats ont été observés alors que les substrats durs ou les herbiers de *Posidonie* eux-même ne permettent pas de garantir le succès des interventions. La profondeur du site à traiter est également l'un des facteurs importants à prendre en compte : le temps d'intervention des plongeurs sous-marin, diminue en effet fortement avec des profondeurs croissantes.

Les périodes hivernales semblent être les périodes d'interventions optimales, au moins pour les méthodes méca-



niques, dans la mesure où les chances de régénération d'une bouture arrachée y sont beaucoup plus faible



A. Rosenthal-Photocéans®

qu'en période de croissance (période estivale). Enfin, le facteur temps, entre le moment de la découverte de nouvelles colonies de *Caulerpa taxifolia* et celui de l'intervention pour leur contrôle, est un élément fondamental. Dans la plupart des cas, les nouvelles colonies signalées représentent une surface de quelques mètres carrés seulement ; l'investissement nécessaire à leur contrôle croît proportionnellement à l'extension de l'algue.

Sans intervention, l'expansion d'une nouvelle colonie devient ainsi hors de contrôle à court terme (5 ans) et peut présenter un effet notable sur les activités humaines et le patrimoine naturel, à moyen terme (>10 ans).

Dans tous les cas, les interventions requièrent des suivis réguliers.

Le coût de ces opérations - supporté par la communauté - doit donc être considéré comme récurrent, aspect récurrent qui, toutefois, caractérise toutes les interventions de l'homme, en milieu continental comme en milieu marin : lutte contre les incendies de forêts, éradication de la Jussie dans les eaux douces, lutte contre les marées noires, etc.

Des protocoles opératoires pour la mise en oeuvre des opérations de contrôle doivent être mis au point puis validés (contrainte des techniques utilisées, méthodes de cartographies, maîtrise du risque de dissémination, mise en oeuvre des suivis). Les structures chargées de les coordonner devront être identifiées, comme cela se fait pour la lutte contre les pollutions par exemple.



Contrôle de *C. taxifolia* dans le Parc National de Port-Cros A. Rosenfeld-Photocéans ©



L'enlèvement manuel, seule technique pour laquelle existe un protocole opératoire, finalisé par le Parc National de Port-Cros ...

A côté des méthodes physiques ou chimiques, une autre voie de recherche est constituée par la lutte biologique, c'est-à-dire la limitation des peuplements de l'algue par un organisme vivant (un agent de lutte) tel qu'un consommateur. Cette méthode de lutte est utilisée, avec des succès divers, dans le milieu continental, pour la protection des cultures ou des milieux naturels face à des espèces considérées comme nuisibles.

En Méditerranée, *Caulerpa taxifolia* est peu consommée par la faune et parmi les organismes qui la broutent occasionnellement, aucun n'a pour l'instant établi de populations suffisamment importantes pour en limiter l'expansion. C'est dans les mers tropicales que deux petites limaces marines - consommatrices habituelles et exclusives d'algues du genre *Caulerpa* - ont pu être découvertes ; elles pourraient un jour constituer un agent de contrôle biologique. Cependant, avant de pouvoir tenter d'introduire en Méditerranée des populations suffisamment grandes et viables de

ces limaces, les scientifiques doivent garantir, de façon expérimentale, que la prédation sur l'algue sera suffisante pour permettre un ralentissement de son expansion ou même une réduction de la prairie de *C. taxifolia*, et surtout que ces espèces ne risquent pas de nuire, directement ou indirectement, aux espèces indigènes.

la normalisation des protocoles...



La limace tropicale *Elysia subornata* sur une fronde de *Caulerpa taxifolia*. A. Menezes ©



Caulerpa taxifolia

va-t'elle
continuer son

E xpansion ?

L'issue de la compétition des peuplements de *Caulerpa taxifolia* avec les autres espèces de Méditerranée reste encore à déterminer avec certitude.

Leur disparition naturelle apparaît toutefois comme improbable

Il est souvent énoncé qu'à la fin de la phase d'expansion, une espèce introduite présente un déclin naturel ou une stabilisation. En réalité, l'étude des cas d'introduction, en mer et sur terre, montre que ce déclin n'est pas la règle, et qu'il ne se réalise, au contraire, que très rarement ...

Les nombreux travaux permettent de comprendre comment l'algue se développe et s'étend localement, et de fournir un diagnostic. Cependant la connaissance des phénomènes l'influençant à grande échelle, en particulier la dynamique des écosystèmes dans laquelle elle s'installe, n'est pas suffisante pour prédire avec précision l'évolution de son rythme d'expansion et l'issue de sa compétition avec les

autres espèces. De manière générale, les processus d'introduction d'espèces impliquent quatre phases successives : l'arrivée, la phase d'implantation (naturalisation), la phase d'expansion et la phase de persistance.

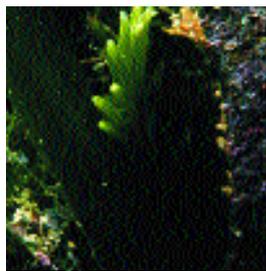
Cette dernière phase signifie que l'espèce introduite peut occuper tous les biotopes disponibles sur l'ensemble de l'étendue géographique accessible à l'espèce.

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 l'espèce envahissante aient été occupés. Durant cette phase, l'expansion de l'algue atteint un plateau et présente ensuite, comme pour les espèces indigènes, des fluctuations plus ou moins grandes, liées, par exemple, aux relations prédateurs-proies, parasites-hôtes, au succès du recrutement, etc.

Dans le cas de *Caulerpa taxifolia*, il apparaît, en fonction des connaissances actuelles, que l'espèce est bien susceptible de coloniser à terme la plupart des biotopes présentant des substrats stables (les fonds rocheux, les herbiers de phanérogames, les mattes mortes de ces phanérogames, certains fonds sableux et vaseux incluant certaines lagunes et zones portuaires), de quelques mètres sous la surface à 30-50 m de profondeur, et cela sur une grande partie du pourtour

méditerranéen.

Dans le cas où une régulation naturelle des peuplements de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée interviendrait dans les années qui viennent, par exemple sous la forme d'un prédateur dont l'explosion des effectifs exige un certain délai, la récupération de certaines communautés, telles que les peuplements d'algues sur roche, pourrait se faire. En revanche, la destruction de certaines autres, telles que les peuplements de gorgones et du coralligène ou les herbiers à *Posidonia oceanica*, devrait être considérée comme irréversible à l'échelle humaine (la régénération naturelle de ces peuplements est excessivement lente).



Développer les techniques de contrôle de demain

Considérant l'état actuel des méthodes, un effort particulier doit être réalisé afin de développer les techniques de contrôle fiables de demain - comme les techniques à

base de cuivre -, et d'acquérir ainsi une expérience, exportable le cas échéant. Enfin, il est important de poursuivre les programmes de recherches susceptibles de déboucher sur des applications en termes de contrôle des peuplements : caractéristiques de la souche méditerranéenne de *C. taxifolia*, exigences écologiques, physiologie et modalités de régénération, de multiplication et de reproduction.

Les connaissances

sont elles suffisantes ?

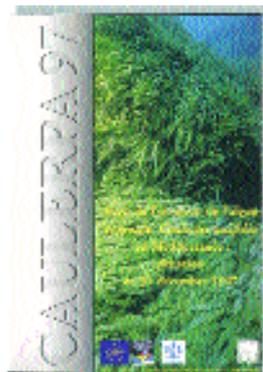
Le hasard a voulu que l'implantation de *Caulerpa taxifolia* se produise dans une région de Méditerranée où existe une forte concentration de biologistes marins. Le phénomène, grâce au soutien financier des communes, des régions, des Etats et de l'Union européenne, a pu être étudié dès son origine. Actuellement, après dix années d'étude, les connaissances sur les différents aspects de l'algue et de son développement sont importantes. Il s'agit en fait, aujourd'hui, de l'espèce marine envahissante la mieux documentée au monde.

Inconnue de Méditerranée il y a encore 15 ans, la souche méditerranéenne de *Caulerpa taxifolia* a suscité une forte mobilisation des chercheurs méditerranéens et européens de nombreuses disciplines.

Cette mobilisation s'est faite dans le cadre de programmes régionaux, nationaux et de deux programmes européens ; elle a permis la collaboration, aux côtés des universités, de l'ensemble des grands organismes de recherche en France (CNRS, IFREMER, INRA), en Espagne (CSIC), en Italie (CNR, ICRAM, ENEA), en Croatie (IOF) et en Tunisie (INSTM). C'est en fait plus de 400 chercheurs qui ont été impliqués dans des recherches sur le phénomène.

Les financements qui ont permis de réaliser l'ensemble de ces recherches proviennent de la Commission européenne, des états - via leurs ministères de l'environnement ou leurs organismes de recherche (CNRS, IFREMER, INRA, Universités, pour la France) -, des collectivités locales (régions, départements communes) ou même de certaines entreprises privées. Ces financements représentaient environ 16 Millions de Francs (dont la moitié correspond à l'implication de chercheurs salariés par l'état) pour les deux programmes européens entre 1994-1995 et 1996-1999.

Les résultats de ces différents travaux ont été présentés dans de nombreuses publications scientifiques (dont 65 dans des revues internationales à comité de lecture très sélectifs) ou lors de colloques internationaux. Des rapports de synthèse ou des documents d'information ont en outre été réalisés à l'attention des décideurs. Les connaissances les plus utiles ou les plus importantes ont, enfin, été diffusées sous la forme de documents grand-public.

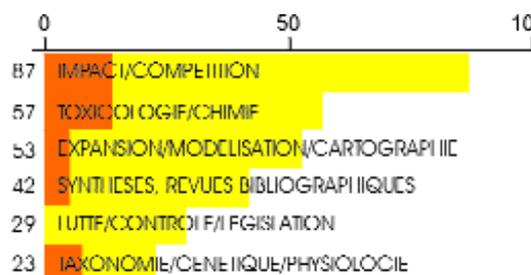


Suivi cartographique de l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée. Situation au 31 décembre 1997. LEML-UNSA publ., 1998
238 pages.



Actes de l'atelier sur les espèces de *Caulerpa* envahissantes en Méditerranée. Héraklion, Crète, Grèce, 18-20 mars 1998. MAP Technical Reports Series n° 125
317 pages.

De nombreuses réponses ont bien sûr été apportées par l'ensemble de ces travaux : biologie et écologie de l'algue, origine du phénomène, cinétique, états de l'expansion, risques pour l'homme, les activités humaines ou



l'environnement et stratégie du contrôle. Egalement, la communauté scientifique a montré son aptitude à organiser rapidement un réseau d'échange et de collaborations afin d'apporter rapidement des réponses aux questions soulevées par un phénomène imprévu.

Il reste bien sûr de nombreux aspects encore inconnus et à préciser sur *Caulerpa taxifolia* elle-même, sur l'évolu-

tion des milieux qu'elle colonise et sur les moyens de contrôle. On peut toutefois considérer que les travaux futurs ne modifieront pas de manière fondamentale les grands traits de la connaissance actuelle du phénomène. Ils devraient, en revanche, permettre de consolider des protocoles d'action pour son contrôle.

Ce glossaire se rapporte aux mots indiqués en gras dans le texte, il vous permettra d'en approfondir la compréhension.

Algicide. Substance qui a le pouvoir de tuer les algues.

Anoxiques (conditions -). Pénurie d'oxygène dans un milieu (eau ou sédiment par exemple).

Ballast. Chargement d'un navire qui vise à en assurer l'équilibrage. L'eau de ballast est de l'eau de mer (anciennement de la roche ou du sable) pompée avant le voyage de retour d'un bateau vide. Ce ballast est rejeté en mer, parfois à des milliers de kilomètres de distance du lieu de prélèvement, avant le chargement de la cargaison du navire. La gestion des risques d'introduction par ces eaux de ballasts est recommandée par l'Organisation maritime internationale.

Biocénose. Association équilibrée d'animaux et de végétaux qui vivent dans un même milieu, leur *biotope*.

Biotope. Milieu soumis à des conditions écologiques homogènes, support physique d'une biocénose (on utilise également le terme "habitat").

Biodiversité. Diversité du monde vivant, depuis le niveau des gènes (diversité génétique) et des espèces (diversité spécifique) jusqu'à celui des fonctions et des écosystèmes (biodiversité structurale ou écodiversité).

Chaîne trophique ou **Chaîne alimentaire** : ensemble des relations qui s'établissent entre des organismes en fonction de la façon dont ceux-ci se nourrissent. On distingue différents niveaux dans cette chaîne alimentaire, des producteurs (par exemple, algues) des consommateurs primaires (herbivores), des consommateurs secondaires (carnivores) et des décomposeurs (ou détritivores). Le terme de réseau trophique (du grec trophê, nourriture) est en fait plus approprié.

Clone. Population composée d'individus tous génétiquement identiques ; elle résulte de la multiplication végétative (borgeonnement) d'un individu unique.

Colonie. Réunion d'individus d'une même espèce.

Cytoplasme. Contenu cellulaire à consistance de gel, qui constitue l'"intérieur" de la cellule et qui contient le (ou les) noyau(x) et les divers organites.

Ecosystème. Ensemble du biotope et de la biocénose qui s'y établit.

Endémique. Qui a une distribution géographique limitée, limitation qui revêt une signification au regard de la biogéographie et de l'histoire des espèces.

Endogé. Qui vit à l'intérieur du substrat.

Habitat : cf. *biotope*. Le biotope est constitué d'habitats.

Indigène. Se dit d'un organisme originaire de la région où il vit.

Infralittoral. Etage marin défini par la présence des phanérogames marines et des algues photophiles. En Méditerranée, il s'étend entre le voisinage du niveau moyen de la mer et 20-40 m de profondeur.

Invertébrés. Organismes ne possédant pas de colonne vertébrale, comme c'est le cas chez de nombreux organismes : vers, mollusques, crustacés, éponges, etc.

Noyau. Organite contenu dans la cellule et contenant le matériel génétique.

Plan d'Action pour la Méditerranée. Le PAM, mis en place par les pays méditerranéens, dans le cadre du Programme des Nations Unies pour l'environnement, engage la coopération de ces pays, de l'Union européenne et de nombreuses organisations internationales. Ses objectifs sont notamment l'analyse prospective, l'aide à la gestion du littoral, la surveillance de l'environnement, le contrôle des pollutions et la promotion de la mise en place de sites marins protégés.

Station. La station correspond à un espace où l'algue a été rencontrée.

Substrat. Support sur lequel vit un organisme ou une communauté (ex. substrat dur : la roche, une épave ; substrat meuble : le sable, la vase).

Pour en savoir plus ...

Sites internet

De nombreux sites internet sont accessibles via les moteurs de recherche, les principaux sites français sont :

<http://www.unice.fr/LEML>

<http://www.com.univ-mrs.fr/gisposi> (liste complète des références bibliographiques)

<http://www.ifremer.fr>

Dernier état cartographique

Suivi de l'invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée : situation au 31 décembre 1997. Edité par le laboratoire Environnement Marin littoral.

Prochaine édition, été 2000.

Actes de colloques

Proceedings of the Workshop on invasive *Caulerpa* species in the Mediterranean (Heraclion, Crete, Greece, 18-20 March 1998), MAP Technical Reports Series n°125, United Environment Programme - Mediterranean Action Plan, Athens, 1999. ISBN 92-807-1772-3.

Third international Workshop on *Caulerpa taxifolia* (Marseille, France, 19-20 septembre 1997), GIS Posidonie publ., Marseille, France 1998. ISBN 2-905540-23-0. (nb : les actes des colloques précédents sont épuisés).

Séminaire international "Dynamique d'espèces invasives : application à l'expansion de *Caulerpa taxifolia* en méditerranée", Académie des Sciences et CNRS, édition Lavoisier, Paris, France.

Si vous la rencontrez, signalez la !
caulerpa@unice.fr



Caulerpa taxifolia, une algue tropicale

Les enjeux de son expansion

*les instruments réglementaires
contre les espèces introduites*

Que faire ?

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

