

**POSSIBILITÉ D'UNE CULTURE INDUSTRIELLE
DE L'ALGUE ROUGE *EUCHEUMA SPINOSUM*
DANS LE GOLFE DE TADJOURAH ⁽¹⁾**

par René PÉREZ et Jean-Paul BRAUD

— L'algue rouge *Eucheuma spinosum* (fig. 1) contient en forte proportion un produit de très haute qualité et relativement rare : le iota carraghénane. Ce composé est isolé par les usines d'extraction et utilisé, une



Fig. 1. — *Un plant typique d'Eucheuma spinosum prise deux mois après l'ensemencement à partir d'une bouture de 50 g.*

fois purifié, dans de nombreuses branches industrielles, notamment dans l'industrie alimentaire pour la constitution de la plupart des flans, laits gélifiés, glaces, pâtisseries, etc... —

(1) Les travaux qui vont être décrits ont été facilités par le Centre d'Études Géologiques et de Développement (C.E.G.D.) de la République de Djibouti.

L'aire de répartition de cette rhodophycée se situe presque uniquement sur les rivages de l'Indonésie. Au cours de ces dernières années, la demande a été telle que les peuplements naturels ont été surexploités et ont régressé. C'est pourquoi des essais de culture sont actuellement tentés tant aux Philippines qu'en Indonésie.

Les difficultés d'approvisionnement, dues à l'éloignement et à la raréfaction de cette matière première, nous ont conduits à rechercher la possibilité d'acclimater *Eucheuma spinosum* en dehors du secteur indonésien et surtout le plus près possible de notre centre d'extraction (1).

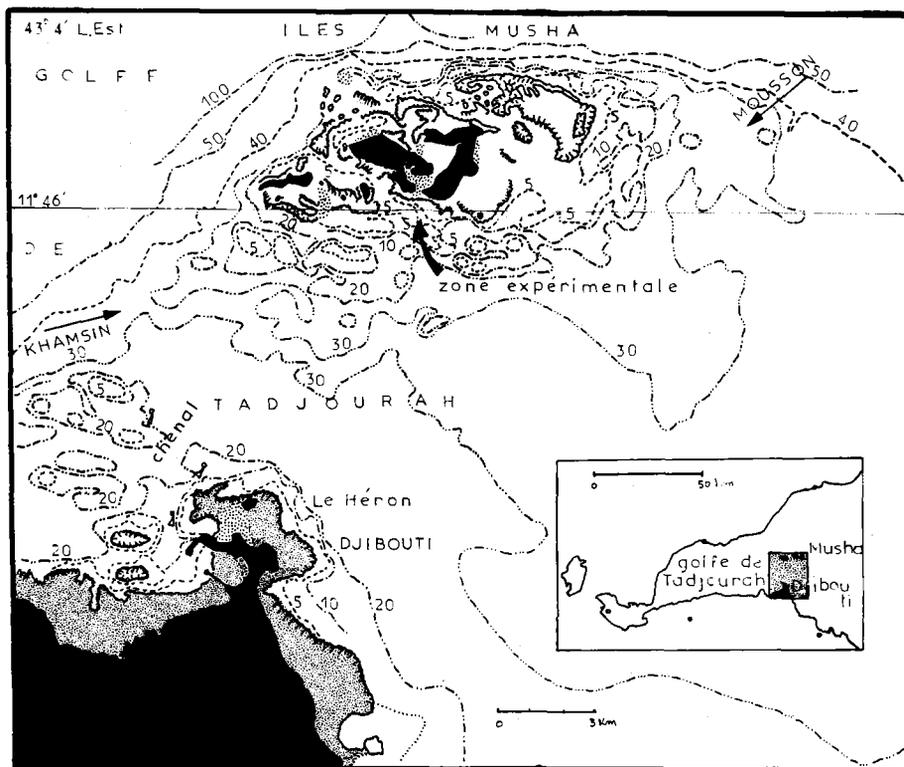


Fig. 2. — Localisation de la zone expérimentale au large de Djibouti. L'encart à droite permet de situer cette zone par rapport à l'ensemble du golfe de Tadjourah.

La République de Djibouti a été choisie pour cette recherche en raison de sa situation géographique et surtout parce que les conditions hydrologiques régnant sur ses côtes présentaient des analogies avec celles observées en Indonésie.

Dans un article paru en 1974, nous faisons état des expériences préliminaires réalisées au voisinage de Djibouti. Ces essais prouvèrent que l'adaptation de l'algue était parfaite, la croissance bonne et la multiplication par bouturage facile à réaliser, à condition que l'algue soit maintenue loin des coraux où les poissons herbivores la dévorent et au-dessus des fonds meubles où elle s'enlise et dégénère.

La culture semblait donc *a priori* possible mais il apparaissait que la rentabilité de celle-ci ne pouvait être précisée qu'après la mise au point d'un dispositif de culture adapté aux conditions locales et après une analyse basée sur la production de ce dernier.

Ainsi, pour définir les conditions de culture et d'exploitation, il fallait passer de l'échelle du laboratoire à

(1) La Société C.E.C.A. est maintes fois intervenue par ses encouragements, par son personnel (M. Jacquot, M. Wolf) et en mettant à notre disposition aux moments opportuns des moyens matériels et financiers sans lesquels cette étude n'aurait pas été possible. Un grand nombre de personnes parmi lesquelles M. Telo et M. Texier, nous ont apporté épisodiquement leurs concours. Que tous veuillent bien trouver ici l'expression de notre gratitude.

une échelle semi-industrielle. Ce programme fut entrepris en avril 1975 et poursuivi jusqu'en septembre 1976, date à laquelle nous avons considéré que l'étape de la culture expérimentale avait donné des résultats suffisamment positifs pour que la culture industrielle puisse être entreprise.

Nous décrivons ici les différentes phases de cette expérience où nous avons rencontré des difficultés de tous ordres auxquelles nous avons tenté d'apporter des solutions.



Fig. 3. — Notre barge, équipée de deux moteurs de 40 cv: ainsi propulsée, elle pouvait effectuer le trajet de Djibouti aux îles en moins de 25 mn (à vide); la plateforme en bois a servi au transport des blocs de 150 kg.

1. Choix du lieu.

Le lieu le plus favorable pour ces travaux a paru être l'archipel de Musha parce qu'il se situe à l'écart des grandes voies de navigation (fig. 2).

Date	23-9	12-1	17-1	23-1	28-1	23-2	3-3	23-3	30-3	5-4	25-5	2-6	12-6	23-6	1-8	15-8	30-8	6-10
Facteurs	1975	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976
Heure	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	9	10	10	10	10	10	10	10
Vent	ESE	NE	ESE	E	E	E	E	ENE	ENE	O	NE	ENE	ENE	ONO	ONO	ONO	ONO	ENE
Turbidité 1/10	—	6,5	5	3	2,5	4	7	2,5	4	—	8	7	8	4	3	3	6	—
Temp. air °C	35	26	27	26	26,5	27,5	27,5	28	28	30	32	30	33,5	34	31	31	32	32
Temp. eau °C	30	26	26	24	24	26,5	26,5	28	28	27	31,5	31	31	30	31	30,5	31	30,5

Tabl. 1. — Aperçu des conditions climatiques régnant aux îles Musha.

L'archipel se compose d'un chapelet d'îles situées à l'entrée et au milieu du golfe de Tadjourah. Lorsqu'on s'en approche, après 20 à 30 minutes de navigation avec notre barge équipée de deux moteurs de 40 cv (fig. 3) ou 75 minutes en boutre, sa constitution se précise : c'est un ensemble corallien bâti sur un socle métamorphique émergé depuis la dernière régression. Les taches sombres qui garnissent ses crêtes se

révèlent être des peuplement de palétuviers (*Avicennia officinalis*, *Rhizophora mucronata*) dominant de leur haute futaie une étendue relativement plane et monotone.

De belles plages de sable blanc alternent avec des rebords madréporiques déchiquetés par les vagues. De grandes lagunes bleu-clair séparent ou entaillent ces îles. L'eau de mer s'y chauffe au soleil avant de venir, entraînée par les courants de reflux, côtoyer les eaux plus fraîches du littoral. Ainsi, si de janvier à avril, la température côtière reste homogène et stable (24 à 26 °C), à partir de mai et jusqu'en novembre, elle présente des oscillations fréquentes et irrégulières (28 à 33 °C) en raison des déplacements de ces masses d'eau plus chaude, ce que traduit assez mal le tableau 1 regroupant les moyennes mensuelles.

Le fond marin abrite sur une bande large, selon les lieux de 50 à 350 m, de magnifiques massifs coralliens vivants, séparés les uns des autres par des bancs sablo-vaseux. Ces récifs sont peuplés par une faune très riche et très colorée où abondent les herbivores. A mesure que la profondeur augmente, le récif laisse la place à la vase et au sable. La présence de ces sédiments très fins explique que l'eau soit rarement limpide (excepté en mai et en octobre où il n'y a presque pas de vent), la moindre agitation élevant très rapidement la turbidité.

La flore algale macroscopique se compose principalement de *Caulerpa racemosa*, *Taonia atomaria*, *Hypnea musciformis*, *Laurentia pinnatifida*, *Turbinaria dentata*, *Padina pavonia*, *Sargassum crispifolium* et *S. giganteifolium*, *Halimeda opuntia*, espèces qui sont surtout abondantes de juin à octobre puis disparaissent (ou se raréfient). Les sargasses se détachent principalement de juillet à décembre ; elles constituent alors des nappes d'épaves fort gênantes puisqu'elles s'enroulent autour des flotteurs et des cordages qu'elles alourdissent d'autant plus que leur croissance se poursuit.

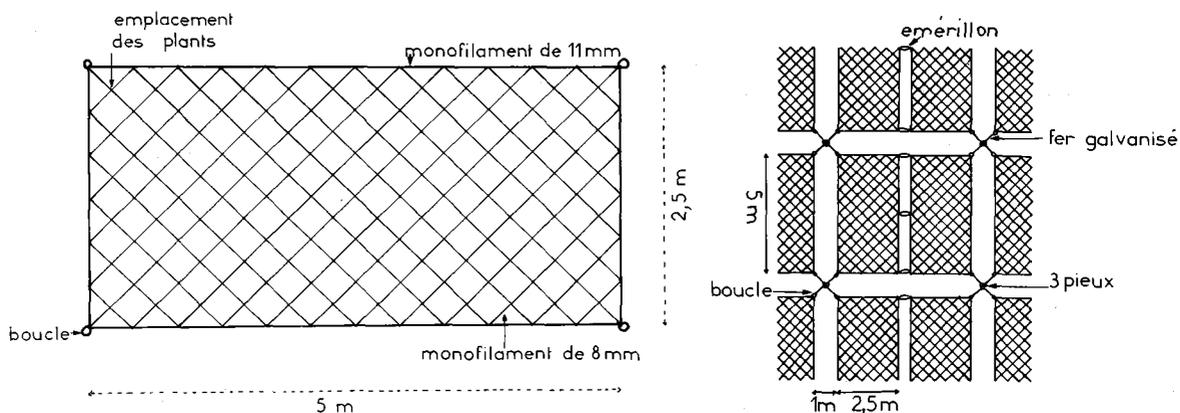


Fig. 4 et 5. — A gauche, schéma de l'unité de culture utilisée en Indonésie et aux Philippines pour la culture de l'espèce *Eucaema cottonii*; il s'agit d'un cadre en bambou de 5 × 2,5 m tendant un filet à mailles de 30 cm; les plants sont suspendus à l'intersection des filaments. A droite, dessin montrant comment sont associées en Indonésie et aux Philippines les unités de cultures pour couvrir une surface de 2 500 m² et constituer un module; un tel dispositif ne conviendrait pas aux côtes du T.F.A.I. en raison de la topographie des fonds et de l'exposition aux vents.

Les premières expériences d'acclimatation ont été réalisées dans le nord des îles. Les difficultés qui y furent rencontrées nous ont incités à choisir le versant sud pour les essais de culture. Cette zone est partiellement abritée de la mousson qui souffle du nord-est de novembre à avril. C'est ce vent qui déclenche les plus fortes tempêtes avec une houle longue et puissante. Le khamsin, vent d'ouest ou de sud-ouest, la remplace de la mi-juin à la mi-septembre ; il est aussi néfaste puisqu'il est capable de lever la mer en moins de dix minutes et de secouer violemment les petites embarcations par les vagues courtes et très brutales qu'il produit.

Ces deux vents donnent naissance le long du rivage sud des îles à un courant constant ouest-est de juin à septembre, nord-est/sud-ouest de novembre à avril. Ils apportent peu de pluie et provoquent une forte évaporation, d'où une salinité stable relativement élevée: 37‰. Notre premier objectif fut de mettre au

point par retouches successives un dispositif de culture capable de résister à la fois à la houle longue, induite par la mousson, et aux vagues courtes, provoquées par le khamsin.

2. Le dispositif de culture.

L'unité généralement employée par les indonésiens pour la culture de l'*Eucheuma cottonii* se compose d'un cadre rectangulaire (5 × 2,5 m) tendant un filet en nylon à mailles de 30 cm (fig. 4).

La construction selon l'agencement indiqué par la figure 5 de 200 unités de ce type reliées par des émerillons constitue un module qui couvre en principe 2 500 m².

Mais un tel dispositif implique l'existence de grandes surfaces à faible profondeur et l'absence de vents violents. Il ne peut convenir au golfe de Tadjourah dont la zone peu profonde (2 à 3 m à marée basse) se réduit le plus souvent à un liséré de bancs coralliens où les herbivores abondent. La culture d'*Eucheuma spinosum* se heurterait là à l'action de ces derniers : elle ne peut être réalisée qu'au-dessus des aires plus profondes (au-delà de 7 m) dépourvues de coraux. L'absence de massifs coralliens où ils peuvent se réfugier et la présence de carnivores (barracuda, aiguillette, carangue, dorade) suffisent à écarter les brouteurs.

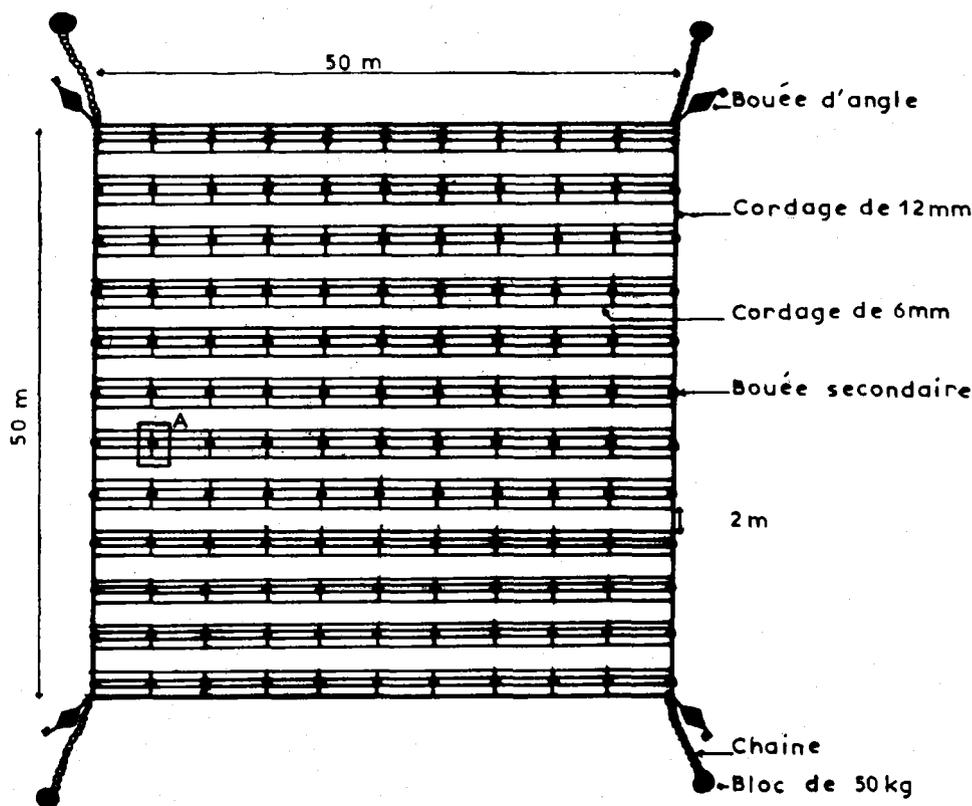


Fig. 6. — Notre première construction. L'espace de 2 m entre chaque série de quatre cordelettes (6 mm de diamètre) devait correspondre dans notre esprit aux passages des embarcations assurant la récolte; l'expérience montra qu'il était inutile.

1. Le cadre de cordage.

Nous avons été amenés à concevoir dans un premier temps le plan représenté par la figure 6. Les différents éléments du dispositif ont été réalisés au laboratoire, puis amenés aux îles et assemblés en un cadre souple fait de cordages, suspendu à 90 cm sous la surface de l'eau par quatre bouées principales en

plastique et un certain nombre de bouées secondaires. Le niveau choisi correspond à celui où, d'après les essais préliminaires, la croissance de l'algue est optimale.

Chaque cordage (12 mm de diamètre) mesurait 50 m de long. L'ensemble couvrait donc une surface de 2 500 m², identique à celle d'un module. Quatre plots de 50 kg en ciment, reliés chacun à un flotteur angulaire par une chaîne en fer galvanisé de 8 mm de diamètre (longueur : 20 m) devaient assurer l'ancrage du système. Sur ce cadre tendu, venaient s'appuyer des cordelettes de culture (50 m de long, 6 mm de diamètre) en nylon bitumé. Ces cordelettes étaient groupées par quatre et maintenues à 65 cm les unes des autres par fixation sur des lattes en bois peint (3 × 3 × 200 cm). La position horizontale de chaque latte découlaient d'un équilibre entre un poids en ciment de 1 kg suspendu en son milieu et un flotteur frappé à ses extrémités (fig. 7). Un espace de 2 m séparait chaque groupe de 4 cordes : il devait servir au passage des barques et des plongeurs récoltants.

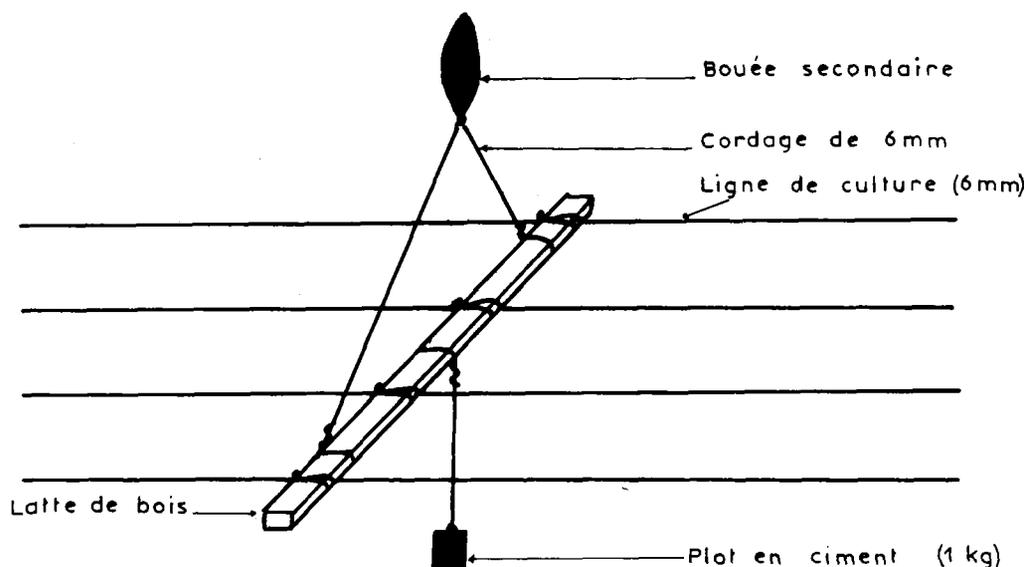


Fig. 7. — Détail de la disposition des lignes de culture maintenues à 65 cm les unes des autres par fixation sur une latte de bois. La disposition d'un plot en ciment fixé au centre et d'une bouée de 2 l attachée aux extrémités de la latte permet de la maintenir horizontale à 90 cm sous la surface de l'eau.

La mer soulevée par le khamsin (juillet 1975) eut rapidement raison de notre montage. Ses coups de boutoir déplacèrent les blocs d'ancrage, déformèrent les contours du cadre, brisèrent aisément les lattes de bois rongées en partie par les tarets et emmêlèrent les cordelettes à l'exception, par chance, des séries qui portaient les premiers plants d'*Eucheuma*.

La reconstitution du dispositif fut entreprise dès août 1975 malgré le khamsin, en remplaçant :

- les lattes de bois par des barres en fer (8 mm de diamètre),
- les plots d'ancrage initiaux (50 kg) par des blocs plats de 130 à 150 kg dont l'acheminement sur place posa de nombreux problèmes,
- les chaînes reliant ces derniers aux bouées d'angle par des orins en polypropylène (12 mm de diamètre) de 40 m de long.

La suppression des chaînes, alourdies par des quantités de balanes et d'huîtres perlières, fit que le module gagna en souplesse. En outre, la longueur et l'élasticité des orins lui permettaient de suivre, même tendu à l'extrême, le mouvement des marées. Plus tard, trois cordages transversaux furent installés perpendiculairement aux cordelettes de culture qui y furent attachées afin de renforcer le module et d'en assurer le parallélisme.

Le module ainsi modifié résista bien à la houle. Il fallut néanmoins intervenir assez souvent pour rattacher les cordelettes qui s'usaient rapidement au contact des barres de fer, coincer les manilles qui

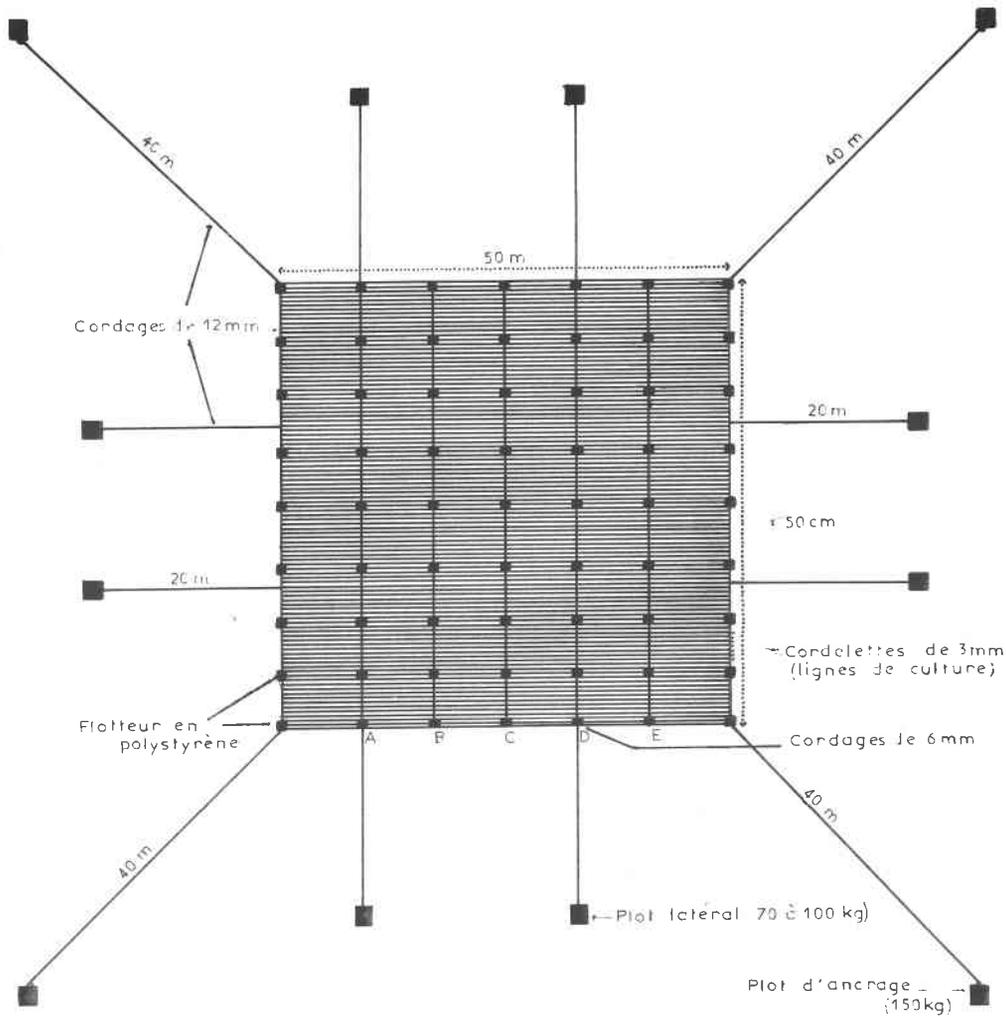


Fig. 8. — Plan du dispositif pour culture intensive : cet ensemble s'est révélé particulièrement résistant aux conditions climatiques ; il peut porter jusqu'à 19 000 plants ; il est fondamental pour la bonne stabilité du système que les plots d'encrage dépassent 130 kg. En deçà de ce poids, la mousson ou le khamsin parvient à les déplacer.



Fig. 9. — Vue en surface du dispositif pour culture intensive : les lignes de flotteurs s'incurvent dans le sens du courant ; la grande flottabilité des cubes en polystyrène évite que le champ ne s'enfonce lorsqu'il s'alourdit à mesure que les algues se développent.

MATERIEL	CARACTERISTIQUES	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	PRIX DE L'ARTICLE
Cordages	Nylon diamètre 12 mm	584 m	0,72	4 20 , 48
	Nylon diamètre 6 mm	432 m	0,25	1 08 , 00
	Nylon bitumé n° 2	5260 m	0,14	7 36 , 40
Ruban adhésif	Largeur 2 cm	3	3,20	9 , 60
Polystyrène expansé	Plaque 100x100x 30 cm	2,1 m ³	400,00	8 40 , 00
Rhodoïde	Plaque 30x20x0,5 cm	126	3,00	3 78 , 00
Manilles	n° 8	4	22,00	88 , 00
	n° 3	12	7,50	90 , 00
Fer	Rond diamètre 10 mm	1,60 m	7,00	11 , 20
Ciment	Portland	6 sacs	32,00	192 , 00
Sable	avec gravier	3 m ³	28,60	85 , 80
Carburant	Essence	400 l	1,80	720 , 00
Main d'oeuvre	4 autochtones	10 jours	700/mois/personne	920 , 00
TOTAL				4599 , 48
Prix en Francs Français établis en mai 1976				

Tabl. 2. — Calcul du prix de revient d'un module pour culture intensive. Les prix s'entendent en Francs français et ont été enregistrés en mai 1976.

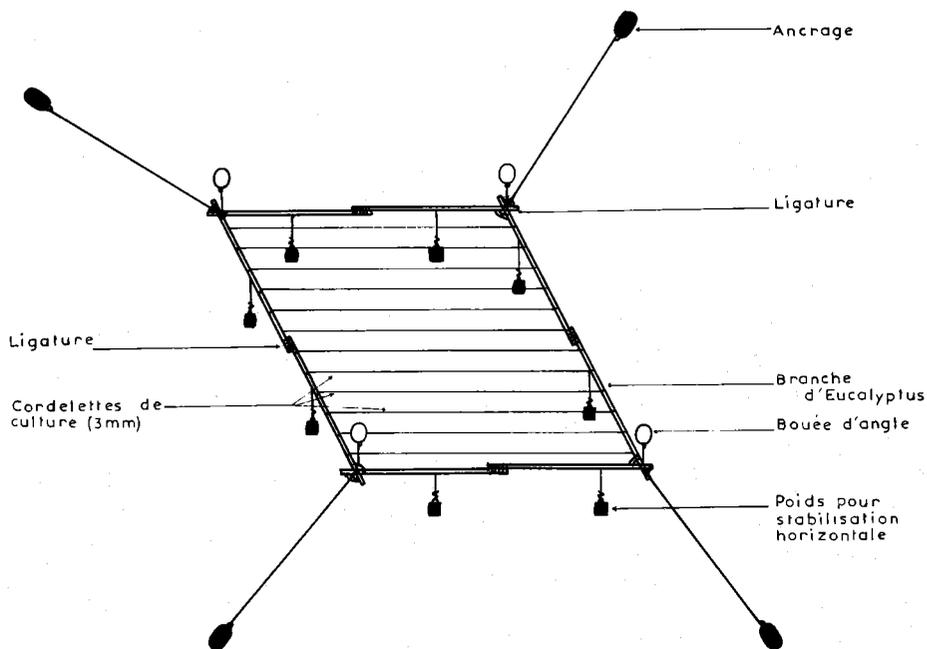


Fig. 10. — Le cadre (7 x 7 m) en branches d'Eucalyptus : les ligatures sont autant de points de faiblesse qui ne résistent pas à la longue aux chocs des vagues ; le maintien à l'horizontale à 90 cm sous la surface est une opération délicate du fait que le bois flotte au début puis tend à couler, ce qui nécessite des réglages constants.

parvenaient à se desserrer et renforcer certains cordages. Ces interventions permirent de déceler les points faibles du système et d'en tenir compte pour la construction du module de culture intensive.

Ce module (fig. 8 et 9) a les mêmes dimensions que le module expérimental décrit précédemment, ces dimensions nous ayant paru parfaitement adaptées aux conditions du milieu : relativement modestes pour ne pas offrir trop de prise à la houle, assez importantes cependant pour assurer la rentabilité de la culture.

Les espaces primitivement réservés au passage des embarcations n'ont pas été maintenus ; il est en effet apparu que les plongeurs se contentent d'un couloir étroit et que les barques peuvent circuler aisément au-dessus des cordelettes sans inconvénient. Des cordelettes supplémentaires occupent ces espaces. Ce module peut donc être le siège d'une culture intensive puisqu'il offre 99 lignes de culture au lieu de 48 et peut porter jusqu'à 19 000 plants. Les barres de fer ont été supprimées et remplacées par cinq cordages transversaux (A, B, C, D, E sur la figure 8).

Les bouées en polypropylène, fort onéreuses et à flottabilité variable, ont laissé la place à 63 flotteurs en polystyrène (30 x 30 x 20 cm) dont la flottabilité ne diminue que de 4 % en 1 an. Toutes les attaches importantes sont doublées de façon à ce que, si l'une cède, on puisse la renforcer avant que l'autre ne cède à son tour. Huit plots de 80 à 100 kg disposés latéralement, quatre sur chaque côté, empêchent que le module ne s'infléchisse sous le poids des algues.

L'expérience a démontré la solidité et la souplesse de ce dispositif qui s'adapte parfaitement aux mouvements de vagues et des marées et qui résiste bien aux tempêtes. Le plus important est sans doute l'ancrage des quatre flotteurs d'angle : les plots qui l'assurent doivent peser plus de 130 kg et être relativement plats de façon à bien adhérer au fond.

La préparation et le montage du dispositif nécessitent quatre personnes travaillant pendant dix jours. Le tableau 2 permet de calculer le coût global de l'opération, compte tenu des salaires et des prestations sociales versées aux autochtones en 1976. Une telle construction, pour peu qu'elle soit correctement entretenue, peut servir au moins trois ans.

2. Le cadre en bois.

A la demande de quelques pêcheurs, nous avons aussi testé des cadres en bois d'eucalyptus résistant en principe aux tarets. Certains ont bien voulu nous fournir quelques branches de 4 m qui furent associées deux par deux au moyen d'une ligature de façon à former des perches de 7,30 m (fig. 10). Des carrés de 7 m de côté purent être construits sur les îles et amarrés en mer, chacun au moyen de quatre blocs d'ancrage.

Il est incontestable que ce montage est beaucoup plus facile que celui du module. En outre, les cordelettes de culture restent toujours parfaitement tendues. Mais les inconvénients sont nombreux.

Le niveau d'immersion est difficile à fixer. Dans un premier temps, le cadre flotte ; pour qu'il se stabilise en position horizontale à 90 cm de la surface, il faut donc l'alourdir par des poids (en ciment). Deux à trois mois plus tard, ayant absorbé de l'eau et s'étant plus ou moins chargé de coquillages, le cadre s'enfoncé alors trop profondément et il est de nouveau nécessaire d'effectuer des réglages.

L'action des tarets, bien que limitée, apparaît cependant dès le sixième mois. Le cadre, affaibli par cette attaque, par la présence de ligatures qui se détendent et par sa propre rigidité, se rompt ou se désarticule sous les coups de la houle.

La multiplication d'un tel système nécessiterait la multiplication des corps morts et des cordages, ce qui conduirait à un coût élevé par rapport à la surface de culture disponible. On pourrait certes envisager de relier les différents cadres par des émerillons comme en Indonésie, mais nous doutons que cette technique leur permette d'affronter des mers levées par la mousson ou le khamsin.

Enfin, l'eucalyptus ne peuple pas cette région et doit, par conséquent, être importé. Pour toutes ces raisons, nous déconseillons cette méthode au profit du module précédemment décrit.

Le module en cordage pourrait sans doute être encore amélioré pour faciliter l'ensemencement et la récolte. Mais, tel qu'il est, il nous a paru bien adapté aux conditions régionales et aux exigences de la rentabilité puisque le nombre de boutures qu'on peut y fixer et la croissance de celles-ci garantissent une récolte importante.

3. Ensemencement et production du module expérimental.

1. Le transport des algues depuis l'Indonésie.

Pour les premiers essais d'acclimatation en 1973, les plants d'*Eucheuma spinosum* vivants ont été apportés des îles indonésiennes à Djibouti en les maintenant pendant la durée du transport (35 h) dans un important volume d'eau de mer saturée en oxygène.

Il est évident que si cette méthode est envisageable pour un faible poids d'algues, elle ne peut convenir lorsqu'il s'agit d'importer 200 à 250 kg, car la quantité d'eau à transporter serait considérable.

Nous avons donc tenté de trouver une méthode plus simple. Quatre lots d'échantillons furent placés respectivement :

- en atmosphère humide à la température du lieu de récolte ;
- entourés de coton imprégné d'eau de mer, à la température du lieu de récolte ;
- en atmosphère humide surchargée en oxygène, à la température du lieu de récolte ;
- en atmosphère humide à 5°C.

Après une période de 44 h dans ces conditions, les algues ont été fixées sur les bords internes d'une nasse lestée et immergée par 2 m de profondeur à proximité de Djibouti.

Quinze jours plus tard, on pouvait constater que les quatre échantillons avaient survécu et se développaient normalement. Nous avons choisi le procédé le plus simple : celui qui consiste à transporter les plants dans une bourse en plastique en milieu humide et à la température du lieu de récolte.

200 kg d'*Eucheuma spinosum* ont été récoltés en Indonésie par l'un de nous aidé du représentant de la C.E.C.A. à Singapour. Ces algues furent maintenues en viviers alimentés en eau de mer courante jusqu'à l'aéroport de départ, puis placées par lots de 10 kg dans des bourses en plastique, enfermées individuellement dans une enceinte isotherme.

Nous ne nous étendons pas sur les difficultés rencontrées. Disons pourtant que l'expédition aurait tourné court sans l'intervention du C.E.G.D., qui affrêta un avion spécial pour le trajet Aden-Djibouti, et sans l'aide de l'Attaché Commercial français à Aden qui sut être notre interprète auprès des douaniers yémennites.

Dès l'arrivée à Djibouti, fin juin 1975, les plants ont été disposés en mer à l'intérieur d'une grande nasse (dite tahitienne) de façon à ce qu'ils ne soient pas trop entassés, puis transportés aux îles pour la fixation sur les cordelettes de culture.

2. L'ensemencement et la récolte.

Le procédé de fixation se rapproche de celui utilisé en Indonésie pour la culture d'*Eucheuma cottonii*. Il consiste à suspendre un brin de 50 à 60 g sous la cordelette de culture au moyen d'un lien de 10 à 15 cm de long. Ce lien est un ruban en plastique de 1 cm de large et de 0,3 mm d'épaisseur. Les boutures sont espacées en moyenne de 30 cm.

Par suite des chocs subis pendant le transport, les algues s'étaient émiettées en fragments de 4 à 6 cm de long. Il fallut donc en regrouper plusieurs dans un même paquet pour obtenir le poids souhaité (fig. 11).

Les quatre premières lignes du module expérimental purent êtreensemencées de 460 boutures de 50 g chacune. Sur les 200 kg d'algues importées, 23 kg seulement étaient parvenus en bon état apparent à Djibouti, soit une perte de 90 % due surtout aux attentes interminables dans les aéroports de transit, qui nous ont obligés à garder les plants à l'obscurité pendant plus de 72 h, aux manipulations et à l'écrasement d'enceintes isothermes par les transporteurs.

Quelques jours après le bouturage, des brins qui nous avaient pourtant paru sains, se nécrosèrent et s'effritèrent, provoquant le relâchement du lien qui enserrait le paquet d'algues et, du même coup, la dispersion des éléments sains. Ceci explique pourquoi le bilan des pertes enregistrées deux mois plus tard (fin août 1975) était très élevé. Mais les plants restants s'étaient parfaitement adaptés et présentaient un très bon développement. Le poids moyen se situait à 378 g, ce qui est un excellent résultat, étant donné la durée

de l'émergence qu'avaient eu à subir ces *Eucheuma* lors du transport. Il fut donc possible de ré-ensemencer totalement les quatre premières lignes au moyen de cette première production.

Fin octobre, soit deux mois plus tard, le pourcentage de boutures perdues ne dépassait pas 5 %. La plupart purent d'ailleurs être récupérées sur le fond par les plongeurs. Septembre et octobre sont généralement des mois sans vent ; ceci explique certainement l'absence de pertes. Les plants formaient de belles grappes qui pesaient de 600 à 900 g ; quelques-uns atteignaient le kilogramme. De nombreux *Eucheuma* étaient couverts de spores (fig. 12).

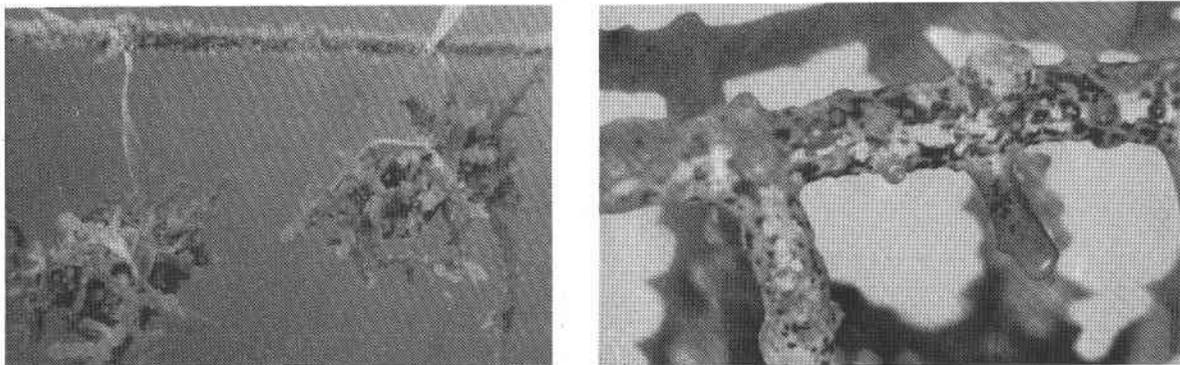


Fig. 11 et 12. — A gauche, les premières boutures : il ne s'agit pas d'un brin d'algue de 50 g mais d'un ensemble de débris attachés en un paquet de 50 g ; parmi ces débris, certains vont se nécroser et disparaître, ce qui détendra le lien entourant le paquet et provoquera la dispersion des fragments sains. A droite, une branche d'*Eucheuma spinosum* maculée de taches marron-foncé : ces taches sont des sores, c'est-à-dire des amas de spores ; ces spores sont libérées en masse en septembre et en avril.

Cette récolte a permis de confectionner (mi-novembre) 3 840 boutures et, par conséquent, d'ensemencer 24 lignes. Le module expérimental comportant 48 lignes, le calcul conduisait à penser qu'un mois suffirait pour disposer d'une production permettant de couvrir de boutures l'ensemble du module.

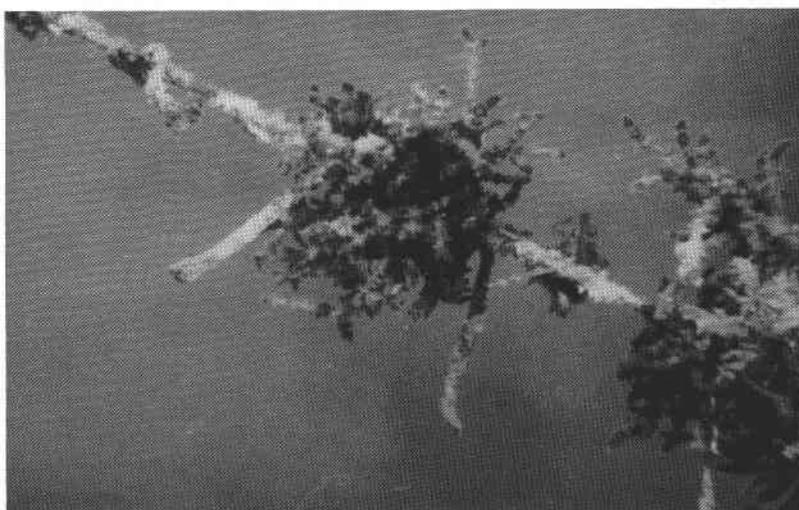


Fig. 13. — Une vue sous-marine des lignes de culture ensemencées de boutures pesant de 40 à 50 g, espacées de 20 à 30 cm.

C'est pourquoi la récolte suivante eut lieu en décembre. Ce fut une erreur, car si la croissance des plants avait été conforme à nos prévisions (la bouture pesait à la mi-décembre de 150 à 200 g), nous n'avions pas compté sur la violence de la mousson qui nous fit perdre près de la moitié de la semence. Nous sommes néanmoins parvenus à déposer les boutures sur 25 lignes (fig. 13).

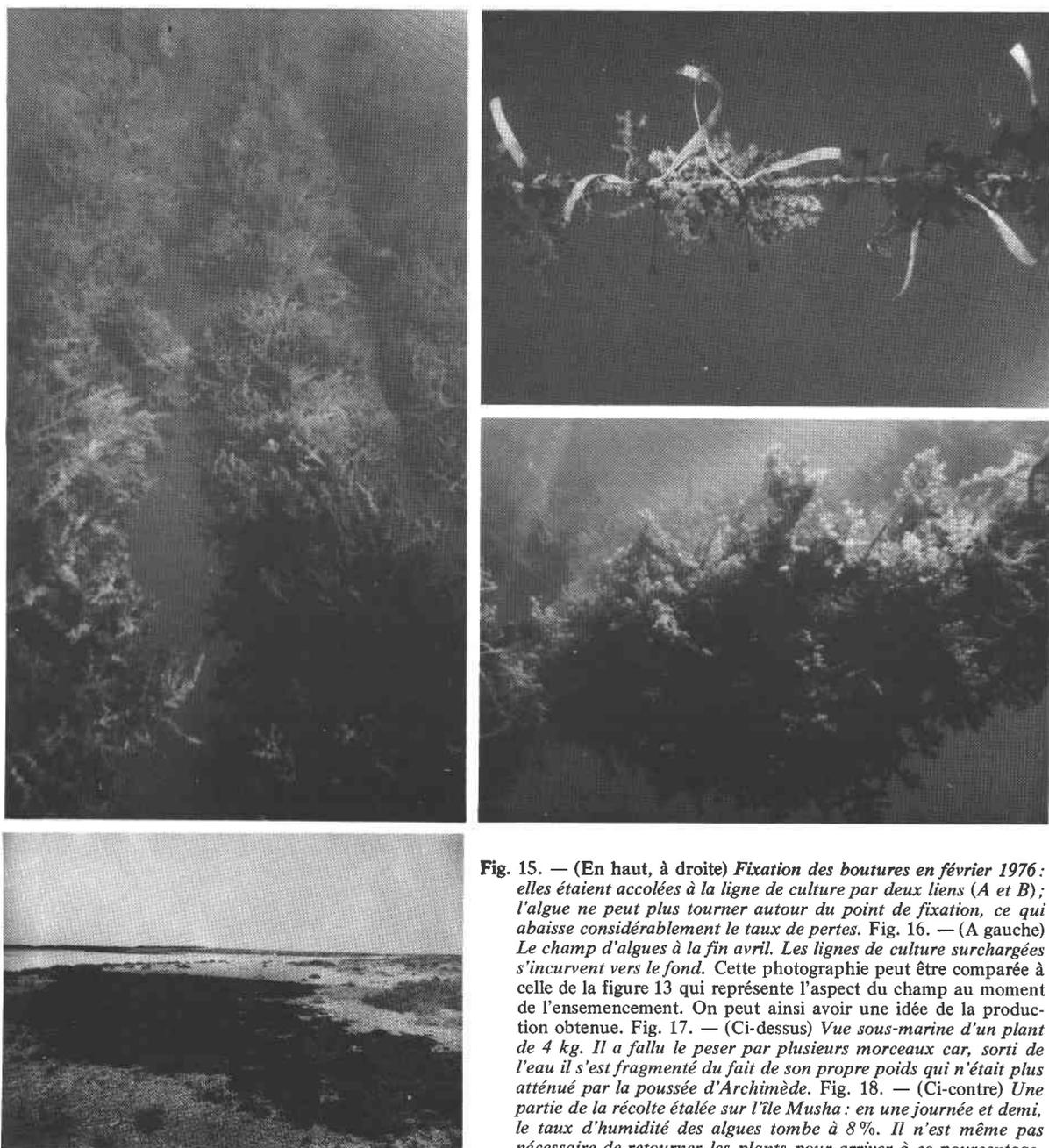


Fig. 15. — (En haut, à droite) *Fixation des boutures en février 1976 : elles étaient accolées à la ligne de culture par deux liens (A et B) ; l'algue ne peut plus tourner autour du point de fixation, ce qui abaisse considérablement le taux de pertes.* Fig. 16. — (A gauche) *Le champ d'algues à la fin avril. Les lignes de culture surchargées s'incurvent vers le fond.* Cette photographie peut être comparée à celle de la figure 13 qui représente l'aspect du champ au moment de l'ensemencement. On peut ainsi avoir une idée de la production obtenue. Fig. 17. — (Ci-dessus) *Vue sous-marine d'un plant de 4 kg. Il a fallu le peser par plusieurs morceaux car, sorti de l'eau il s'est fragmenté du fait de son propre poids qui n'était plus atténué par la poussée d'Archimède.* Fig. 18. — (Ci-contre) *Une partie de la récolte étalée sur l'île Musha : en une journée et demi, le taux d'humidité des algues tombe à 8%. Il n'est même pas nécessaire de retourner les plants pour arriver à ce pourcentage.*

Deux mois plus tard (mi-février 1976), on constatait à nouveau de lourdes pertes, mais beaucoup de plants purent être récupérés sur le fond. Leur examen révéla alors : soit que l'algue se brisait en deux parties au point où le lien l'enserrait, chacun des fragments tombant alors sur le fond ; soit que le lien se torsadait jusqu'à se rompre (fig. 14).

Le développement des plants avait été très important ; certains atteignaient 1 300 g tandis que la moyenne s'établissait autour de 1 056 g.

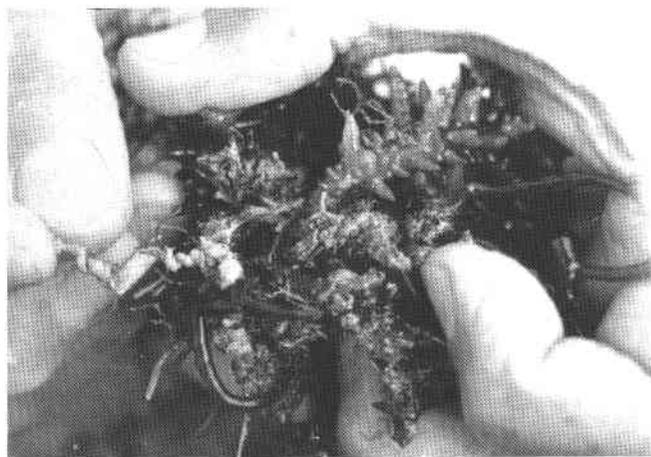


Fig. 14. — Photographie montrant comment peut se briser le lien suspendant l'algue : celle-ci tourne toujours dans le même sens sous l'influence d'un courant constant si bien que le lien vrille jusqu'à se rompre, d'autant plus rapidement que sa souplesse est réduite par l'incrustation de bryozoaires calcaires.

Il fut alors possible d'ensemencer l'ensemble du module expérimental au moyen de 8 000 boutures de 50 g environ. Mais, au lieu de suspendre la bouture sous la cordelette par un seul lien, nous l'avons attachée par deux liens, ce qui évitait la rupture de la cordelette au point central et empêchait la torsion des liens (fig. 15). Ce type de bouturage présente l'inconvénient d'une mise en œuvre très lente (25 jours pour 48 lignes avec 6 personnes).

De début mars à la fin avril, la production a été telle que, début mai, les bouées qui soutenaient le module ont dû être doublées pour que ce dernier ne s'effondre pas. Les lignes de cultures (fig. 16) s'incurvaient lourdement vers le fond sous le poids des plants. Les thalles pesaient entre 1 200 et 3 000 g (moyenne 1 884 g). Certains constituaient même d'énormes touffes de 4 000 g (fig. 17) dans lesquelles de très nombreux petits poissons multicolores se cachaient des prédateurs.

Les 48 lignes du module expérimental devaient alors supporter un poids de 10 à 11 t. La production de quatre lignes a suffi à ensemencer totalement le premier module de culture intensive (99 lignes), ce qui a nécessité 19 000 boutures de 50 g, soit 950 kg de tissu frais. On peut en déduire ce que supportaient les 48 lignes également chargées : $(950 \times 48) / 4 = 11\,400$ kg. Si l'on ajoute à cela les fragments séparés de la touffe principale par rupture en raison de leur propre poids, le stock était passé entre mars et mai de 500 kg à 13 t.

Deux modules de culture intensive ont été ensemencés fin mai au moyen de 1 900 kg par 10 autochtones en 30 jours en utilisant plusieurs types de liens et plusieurs méthodes de fixation. Le reste de la production fut ramassée et séchée sur l'île Musha (fig. 18). En raison des conditions climatiques, le séchage ne pose aucun problème. Les algues peuvent être mises en sac avec 8 à 9 % d'humidité après un jour et demi d'exposition. Elles gardent alors leur coloration sombre. Après 3 jours d'exposition, elles deviennent totalement blanches, sans doute sous l'action de la chaleur (45°C) qui provoque la destruction des pigments et aussi, comme nous l'avons vérifié, une baisse sensible de la qualité du carraghénane.

Période	Nombre de jours	Nombre de lignes ensemencées	Poids moyen de la semence	Poids extrêmes à la récolte	Poids moyen à la récolte	Croissance: % du poids initial/j	Pertes de plants (%)	Vent dominant	Exposition au vent
Fin juin Fin août	62	4	50	300-450	387	10,8	90	Khamsin fort	Exposé
Fin août fin octobre	61	4	50	600-900	812	25	5	Mousson très faible	Calme
Fin octobre fin novembre	31	24	50	130-230	178	11,8	92	Mousson forte	Agité
Fin décembre mi février	62	25	50	800-1300	1056	32,4	70	Mousson forte	Agité
Fin février fin avril	60	48	50	1200-4000	1884	60,1	25	Mousson faible	Abrité
Fin mai début août	63	198	50	620-870	730	21,8	98	Khamsin violent	TRES exposé

Tabl. 3. — Regroupement des résultats concernant la croissance des boutures selon la période de l'ensemencement. Le pourcentage de pertes représente la quantité de boutures qui se sont détachées des lignes de culture même si elles ont pu être récupérées par la suite en plongées sous-marines. La production obtenue entre février et avril est spectaculaire puisque à partir d'un ensemencement de 500 kg, la récolte a dépassé 12 t d'algues fraîches.

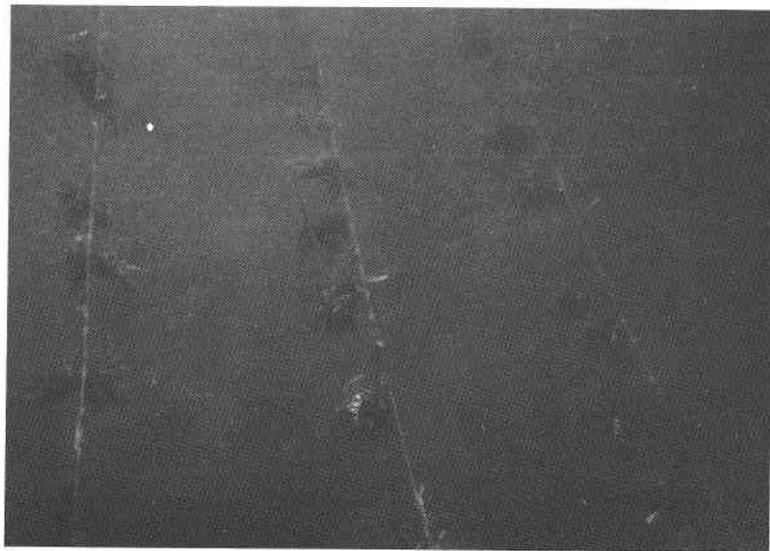


Fig. 21. — Photographie prise après la récolte. Les indigènes ont laissé une partie de chaque plant sur la cordelette de culture. Ce reliquat est attaché à la fois par le lien et par ses propres haptères. Il régénérera en deux mois une touffe de 500 g.

Pendant les mois de juin et juillet, un violent khamsin a occasionné de nombreuses pertes mais la croissance des plants intacts resta excellente, même si elle fut inférieure à celle exceptionnelle de mars-avril. Le poids moyen de la touffe se situait autour de 730 g.

3. Le développement de l'algue.

Nous avons pu constater que la croissance de la bouture d'*Eucheuma spinosum* est relativement faible au cours des 20 premiers jours. Durant cette période, elle est généralement épiphytée par des touffes vert-sombre d'*Urospora* formant autour d'elle comme une longue chevelure ondulante (fig. 19). Les autres algues (*Padina*, *Chaetomorpha*, *Hypnea*) se fixent uniquement sur les cordages et sur les flotteurs, rarement sur *Eucheuma*. L'observation attentive montre qu'elles sont généralement cramponnées, non sur l'*Eucheuma*, mais sur le lien qui l'enserme. *Sargassum* semble faire parfois corps avec *Eucheuma*. Mais il ne s'agit pas là d'un épiphytisme : poussée par la houle, la phéophycée est venue simplement enchevêtrer ses ramifications dans celles de la rhodophycée.

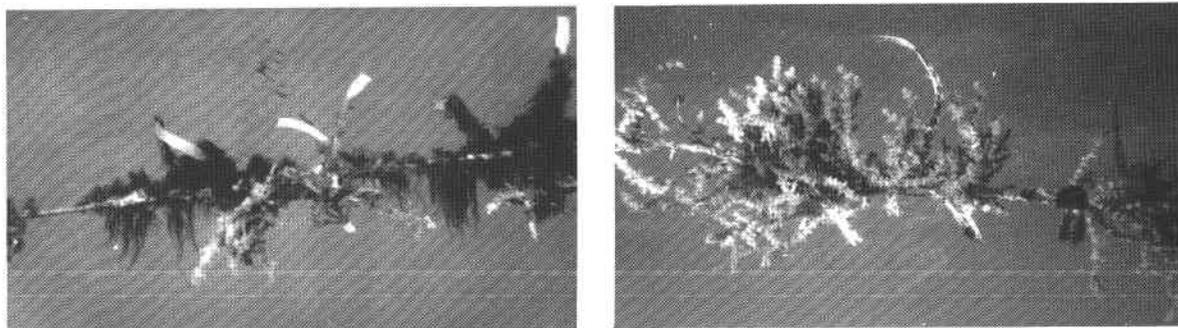


Fig. 19 et 20. — A gauche, 15 jours après la fixation de la bouture, celle-ci est épiphytée par des algues vertes filamenteuses qui l'enveloppent parfois totalement. A droite, la bouture 35 jours après l'ensemencement. La croissance est très rapide et les épiphytes verdâtres ont disparu. Ce phénomène d'auto-épurant mériterait une étude plus poussée ; l'*Eucheuma* agit-il en absorbant trop fortement les sels minéraux pour que les autres algues puissent survivre à son voisinage ou émet-il des substances particulières tuant les épiphytes ?

A partir de la troisième semaine, la croissance s'accélère jusqu'à dépasser, certains mois (mars et avril) 60 % par jour du poids initial de la bouture. On assiste pendant cette période à la disparition progressive des épiphytes comme si le plant parvenait à éliminer les autres algues (fig. 20). Ainsi, au bout de deux mois, obtient-on une touffe propre.

4. Possibilité de récoltes multiples.

Au début du mois de mai, les 200 touffes qui peuplaient les deux premières lignes du module expérimental ont été récoltées aux ciseaux de façon à laisser sur la ligne de culture un reliquat de 40 à 80 g (fig. 21). Cette méthode demande beaucoup de soins mais se traduit par un gain de temps puisque la récolte pratiquée ainsi correspond en même temps à une phase d'ensemencement.

A la fin juillet, on pouvait constater que les reliquats avaient régénéré des touffes de 400 à 500 g. La croissance avait donc été moins élevée que celle obtenue à partir de boutures renouvelées (730 g), mais le pourcentage de pertes en plants resta relativement réduit même après les tempêtes de début août (14 %).

Il semble que l'on puisse par cette méthode obtenir au moins deux récoltes pour un même ensemencement ; ces essais seraient à poursuivre pour déterminer si on ne peut aller au-delà de deux récoltes.

Le tableau 3 regroupe, pour une meilleure lecture, les résultats exposés ci-dessus. Il apparaît clairement que la production tissulaire d'*Eucheuma spinosum* acclimaté aux rivages du golfe de Tadjourah est excellente et devrait permettre une bonne rentabilité si on parvenait à réduire, sinon à éviter, les pertes de plants.

4. Technique de ligature des boutures.

La production réelle dépend non seulement de la croissance mais aussi du nombre de touffes présentes sur les lignes au moment de la récolte. Il faut donc que la bouture soit maintenue par un lien assez souple pour suivre le mouvement des vagues et pour soutenir l'algue sans la léser, assez solide pour ne pas se rompre, imputrescible dans l'eau de mer.

Le ruban plastique de 1 cm de large, 0,3 mm d'épaisseur et 15 cm de long nous avait paru répondre à ces critères. L'algue était suspendue à l'extrémité de celui-ci dans une boucle enserrant sa partie médiane (fig. 11). Les résultats ne furent pas satisfaisants. Sur certaines lignes, les pertes atteignirent jusqu'à 98 %, soit que l'algue se brisât au point de serrage (il ne restait alors qu'un ruban terminé par une boucle vide), soit que le ruban se tordît toujours dans le même sens jusqu'à se rompre (fig. 14).

Nous avons cherché à sélectionner un lien plus efficace en comparant plusieurs d'entre eux pendant une même période. C'est pourquoi, pour l'ensemencement en mai 1976 du module de culture intensive, les boutures furent fixées de la façon suivante (voir schémas du tableau 3) :

- a) 5 lignes, soit 1 160 plants, avec le lien décrit ci-dessus, *Eucheuma* étant suspendu ;
- b) 5 lignes avec ce même lien, mais l'algue est serrée contre la cordelette par un simple nœud ; l'expérience a montré que, bien que le nœud soit fortement serré, il parvient à se détendre et joue sur la cordelette contre laquelle il finit par s'user ;
- c) 5 lignes avec le même lien et l'algue serrée contre la ligne de culture ; mais, dans ce cas, les deux branches du lien font trois fois le tour de la ligne avant de se nouer ; contrairement à la disposition précédente, la surface de contact entre le ruban et la cordelette est assez large pour empêcher le jeu et l'usure ; en outre, lorsqu'on serre, le rapprochement des deux branches du lien provoque un coude de la cordelette, ce qui évite les glissements latéraux ;
- d) 5 lignes avec deux liens suspendant l'algue ;
- e) 5 lignes avec deux liens accolant la bouture à la ligne de culture par un simple nœud ;
- f) 5 lignes avec deux liens serrant la bouture contre la cordelette avec des nœuds du type C.

Des essais identiques ont été effectués sur les lignes suivantes avec : du lien en plastique de 2 cm de large produit par la Société Sanders, du lien de 4 cm de large mais ramené à 1 cm par pliage en accordéon. Ce dernier ressemble fort au ruban employé par les indonésiens (ruban appelé « Tie-Tie ») pour la culture d'*Eucheuma cottonii*. Il est produit par la société Saint-Frères.

Enfin, sur les dix dernières lignes, nous avons remplacé le ruban en plastique par une cordelette fine de 2 mm de diamètre en nylon bitumé.

Dans le cas où les algues sont suspendues, le lien s'enroule tôt ou tard en spirale autour de la ligne de culture. Le plant vient alors au contact de celle-ci et s'y heurte violemment : la disparition de nombreuses boutures en résulte sans doute.

L'analyse du tableau 4 montre clairement que le meilleur procédé (seulement 6 % de pertes) consiste à fixer l'algue contre la ligne de culture par deux liens type « Sanders » en prenant soin que chaque branche du lien fasse trois boucles autour de la ligne. Mais cette méthode est peu compatible avec les exigences d'une exploitation commerciale en raison du temps nécessaire pour l'appliquer. On peut en effet calculer qu'il faudrait 30 jours à 11 personnes pour parvenir à ensemercer un module de culture intensive.

En utilisant un seul de ces liens placé au milieu du plant, le pourcentage de perte atteint 16 % ; mais le gain de temps est considérable : le peuplement du module peut être réalisé par 8 personnes en 12 jours.

La fixation de la bouture à la corde de culture présente un autre avantage. Au cours de son développement, le plant produit quelques haptères par lesquels il se cramponne au substrat (cordelette) avec lequel il est en contact. Dans le cas où l'on opère de telle sorte qu'un ensemencement donne lieu à deux récoltes, le fragment d'algue laissé sur la ligne au moment de la première récolte (fig. 21) apparaît soudé à la ligne de culture à la fois par le lien et ses propres haptères, ce qui réduit considérablement les pertes et compense dans une certaine mesure le fait que la croissance soit moins élevée.

D'autres procédés sont également envisageables. Il serait par exemple possible de mettre au point une pince en plastique pouvant serrer entre ses mâchoires la bouture sans la léser et pouvant être accrochée automatiquement sur la ligne de culture. Le gain de temps, c'est-à-dire l'abaissement du coût de l'ensemencement, serait alors intéressant.

Quel que soit le lien, il ne peut éviter que la bouture, en se développant et en s'étendant autour du point de fixation, ne devienne de plus en plus sensible aux mouvements de la houle. Et, si cette dernière est trop violente, le plant s'émiette progressivement jusqu'à se réduire à un seul axe déchiqueté retenu par le lien. Nous avons pu observer début août des algues dont le poids est passé de 800 à 100 g après une journée de forte tempête.

Schéma	Mode d'utilisation	Pourcentage de Pertes			
		Ruban type "Patisserie", largeur: 1cm	Ruban "SANDERS", largeur: 2 cm	Ruban "FRERES", largeur: 4 cm, plié	Cordelette bitumée, diamètre: 2mm
	Algue suspendue 1 lien	6 0 %	4 8 %	5 5 %	7 7 %
	Algue accolée à la ligne 1 lien Nœud simple	4 0 %	2 5 %	4 1 %	6 1 %
	Algue accolée à la ligne 1 lien dont les brins sont enroulés autour de la ligne	3 0 %	1 6 %	2 7 %	
	Algue suspendue 2 liens	3 8 %	2 9 %	3 3 %	
	Algue accolée à la ligne 2 liens Nœud simple	2 4 %	1 2 %	1 8 %	
	Algue accolée à la ligne 2 liens dont les brins sont enroulés autour de la ligne	1 6 %	6 %	1 0 %	

Tabl. 4. — Résumé des pourcentages de pertes obtenues selon le type de lien utilisé et le mode d'utilisation. On notera que le minimum de pertes a lieu lorsqu'on emploie deux liens pour accoler la bouture à la ligne de culture.

La seule possibilité pour éviter ces pertes consiste évidemment à disposer les champs de culture à l'abri de tels phénomènes. A ce titre, le choix des îles Musha n'est pas idéal puisque, si la zone expérimentale est relativement protégée du vent dominant qui souffle d'octobre à avril, elle est pleinement exposée de juin à septembre aux tempêtes soulevées par le khamsin. On ne peut donc espérer obtenir en ce lieu un haut rendement à cette période.

Une exploitation s'étendant sur toute l'année devra donc être localisée dans des aires plus abritées comme par exemple le Ghubbet, le sud-est de Djibouti ou le sud des îles somaliennes au large de Zeila.

5. Remarques sur la reproduction.

1. Présence de spores.

Dès septembre 1974, nous avons constaté que les plants acclimatés se mouchetaient de taches sombres ayant 2 à 3 mm de diamètre, parfois confluentes (fig. 12), principalement à la base des ramifications importantes.

Des coupes transversales au microtome à congélation révélèrent qu'il ne s'agissait pas d'une simple reprise de pigmentation, mais bien de sores, c'est-à-dire de spores accumulées en des points de la zone corticale. Les différents états qui ont pu être observés permettent de comprendre le processus de différenciation. A de grandes cellules ovales au contenu compact (ou cellules-mères) enfoncées dans le cortex, succèdent, en allant vers l'extérieur, des cellules groupées par deux, résultat de la division de cellules-mères, puis des groupements par trois obtenus par division transversale d'une des cellules-filles. Enfin, on peut voir à la limite du cortex et forçant des passages dans l'alignement régulier des cellules photosynthétiques, des files de quatre cellules, stade final résultant de la division de la deuxième cellule-fille. Ces quatre cellules sont des spores.

La présence de sores a été observée de février à décembre ; mais la présence du stade final n'a été vue que de juin à octobre et de février à avril.

2. Travaux au laboratoire et le phénomène « Ice-Ice ».

Nous avons essayé de provoquer l'émission de ces éléments reproducteurs en maintenant des plants d'*Eucheuma* fertiles dans un système d'aquariums (fig. 22) irrigués par de l'eau de mer courante enrichie en nitrates et en phosphates.

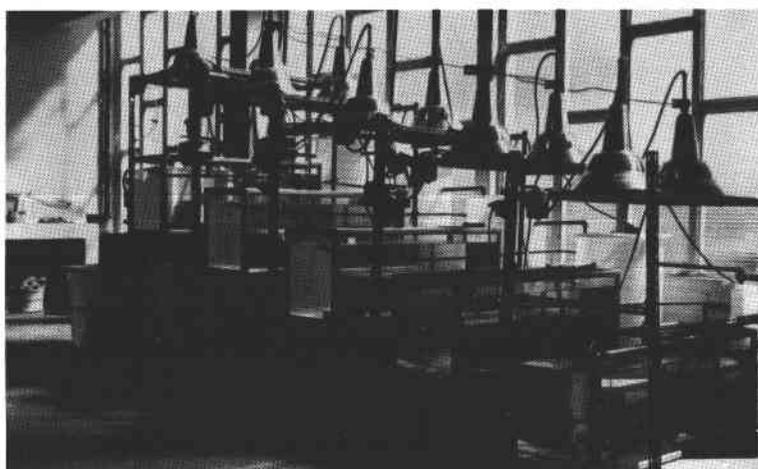


Fig. 22. — Les installations à La Trinité-Sur-Mer. Ce dispositif permet de créer des conditions proches de celles observées dans le milieu marin à Djibouti; malheureusement, les *Eucheuma* n'ont pas survécu à l'attaque bactérienne d'un *Pseudomonas*.

Mais les algues dégénéraient régulièrement : dès le troisième jour, des taches circulaires blanchâtres apparaissaient en quelques points, puis s'étendaient à l'ensemble de la fronde. En moins d'une semaine, l'algue devenait décolorée et déliquescence.

Ce phénomène est à rapprocher de celui observé en Indonésie et aux Philippines dans des peuplements d'*Eucheuma cottonii* cultivés dans des zones caractérisées par une faible profondeur et une relative stagnation de l'eau. Lorsque ce type de nécrose apparaît, un champ entier peut être décimé en quelques jours. Les marins le désignent sous le nom de « Ice-Ice ».

Yaphe et Baxter (1955) ont montré que cette nécrose est due à une attaque bactérienne. Ils ont, en effet, isolé à partir de l'eau de mer et de certaines rhodophycées, une souche bactérienne hydrolysant le kappa carraghénane et décrite comme *Pseudomonas carraghenovora*. (Cette souche est répertoriée au National Research Council sous le n° 8786.)

En nous fondant sur ces faits, nous avons isolé, d'une part une souche (Q1) à partir des *Eucheuma spinosum* maintenus en aquariums, et d'autre part deux souches (III et VI) provenant respectivement des eaux et d'*Eucheuma spinosum* indonésiens.

a) *Méthode d'isolation.*

Le procédé utilisé s'apparente à celui décrit par Yaphe et Baxter. Dans un premier temps, des fragments d'algues, ou 10 ml d'eau de mer, sont introduits dans 50 ml de milieu synthétisé selon les proportions suivantes: Iota carraghénane: 5,0 g; NaCl: 30,0 g; MgSO₄: 0,50 g; K₂HPO₄: 1,0 g; FeCl₃: 0,02 g; NaNO₃: 0,50 g; H₂O distillée: 1 000 ml.

Tests \ Souches	T	Q ₁	III	VI
Gram	-	-	-	-
Mobilité	+	+	+	+
Pigment	-	-	-	+
Oxydase	+	+	+	+
H ₂ S	+	+	+	+
Galactosidase	+	+	+	+
Nitratase	+	-	+	+
Indole	-	-	-	-
Uréase	-	+	+	-
Liquéfaction gélatine	+	+	+	+
Hugh-Leifson	oxydant	oxydant	oxydant	oxydant
Lactase	-	-	-	+ -
Arabinose	+	+	+ -	+
Xylose	+	+	+ -	+
Saccharose	+	+	+	+
Dulcitol	-	-	+	-
Mannose	+	+ -	+	+
Maltose	+	+	+ -	-
Hydrolyse Carraghénane kappa	+++	++	+	+
Hydrolyse Carraghénane iota	+	++	+++	+++

Tabl. 5. — Résumé des tests bactériologiques ayant conduit à l'identification du *Pseudomonas* détruisant les *Eucheuma* maintenus en aquariums.

Les colonies sont ensuite isolées par repiquages successifs et leur pouvoir hydrolysant testé sur un milieu solide ayant la même composition que celui décrit plus haut sauf en ce qui concerne les carraghénanes qui représentent alors 3 % de l'ensemble.

Afin de mieux apprécier l'hydrolyse du milieu, nous avons également ajouté 10 ml d'une solution

aqueuse de rouge de phénol à 0,2 %. Les colonies actives sont ainsi cernées d'une auréole jaune sur fond rouge plus facile à déceler qu'un anneau de liquéfaction.

Les colonies repérées ont été analysées selon la gamme classique des tests adaptés aux organismes marins et les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 5.

b) Résultats.

Les souches T, Q₁, III présentent des colonies circulaires de 1 à 2 mm de diamètre, proéminentes, dépourvues de pigmentation. Par contre, la souche VI forme des colonies de dimensions plus importantes (3 à 5 mm de diamètre) et colorées en jaune-orangé. Les organismes de ces quatre souches sont des bâtonnets allongés extrêmement mobiles, dépourvus de capsules et ne formant pas de spore.

En examinant le tableau 5, nous pouvons remarquer qu'il existe quelques différences entre Q₁, III, VI et la souche de référence T. Q₁ est dépourvue de nitratase, possède une uréase et présente une action faible sur le mannose. III possède également une uréase et acidifie le dulcitol, mais utilise peu l'arabimose, le xylose et le maltose. Ces deux souches font partie du groupe II des *Pseudomonas* selon la classification de Shewan et coll. (1960).

En dehors de sa pigmentation, la souche VI ne diffère de la référence que par le fait qu'elle n'utilise pas le maltose. Le pigment est fluorescent et diffusible, mais ces caractères ne sont pas nettement marqués. Nous la classerons donc provisoirement dans les *Pseudomonas* du groupe I.

Le pouvoir hydrolysant sur le iota carraghénane est net pour la souche Q₁ et particulièrement fort pour les souches III et VI. Un milieu contenant 3 % de iota carraghénane est complètement liquéfié en 24 h. Yaphe (communication personnelle) vient également d'isoler une souche bactérienne iota hydrolysante dans le secteur hawaïen, mais nous n'avons pas encore pu la comparer à celles décrites dans cette étude.

La maladie dénommée « Ice-Ice », observée tant dans le milieu naturel qu'au laboratoire, semble bien être provoquée chez *Eucheuma spinosum*, comme chez *Eucheuma cottonii*, par un germe du genre *Pseudomonas*. Le fait qu'il existe des peuplements sains au milieu d'une région contaminée nous conduit à penser, en accord avec Doty, (communication personnelle) que la bactérie existe à l'état latent chez *Eucheuma spinosum* et ne se manifeste que lorsque les facteurs physiques ou chimiques s'écartent notablement des limites de tolérance de l'algue. Nous n'avons observé aucune trace de « Ice-Ice » à Djibouti.

c) Travaux en boîtes de Pétri.

Des fragments (0,3 cm) de thalles chargés de spores ont été disposés dans des boîtes de Pétri (18 mm de diamètre) dont le fond était tapissé de lames de verre (2,6 × 7,6 × 0,2 cm) et qui contenaient du milieu nutritif ASP 6 renouvelé tous les jours.

Les conditions suivantes furent testées : séjour en obscurité totale ; séjour de 12 h sous un éclairage de 3 200 lux fournis par des tubes « TL lumière du jour » ; séjour de 24 h sous 3 200 lux ; éclairage à la fois par dessus et par dessous pendant des périodes variables (6 h, 12 h, 18 h) ; séjour en eau sursalée (40 ‰) durant 3 h puis en eau normale (34 ‰) : séjour en eau dessalée (30 ‰ et 25 ‰) durant 3 h puis en eau normale (34 ‰) ; trempage en eau douce puis en eau de mer ; trempage en eau de mer chauffée (40 °C) suivi d'un séjour à 29 °C ; macération à 5 °C pendant 3 h puis à 29 °C ; exposition pendant 2 h à — 18 °C puis à 29 °C ; séjour à — 18 °C pendant 2 h puis à 35 °C pendant 1 h ; trempages successifs de 6 h en eau sursalée (40 ‰) et dessalée (25 ‰) ; déshydratation partielle puis réhydratation.

Lorsque la température, l'éclairage et la salinité ne sont pas précisés, il s'agit respectivement de 29 °C, 3 200 lux et 34 ‰.

Nous n'avons obtenu la libération des spores qu'une seule fois, après une brusque exposition à la lumière suivant une période d'obscurité ; mais ce résultat ne put être renouvelé. En outre, les spores n'ont pas survécu. Il semble que, comme pour d'autres algues, la présence des spores ne soit pas une indication du moment de l'émission, cette dernière n'ayant sans doute lieu qu'après une certaine période de maturation.

Il sera sans doute nécessaire, dans le cas de culture intensive, de définir les mécanismes permettant la

libération des éléments reproducteurs. Cela permettrait le renouvellement des boutures, une sélection des meilleures variétés et conduirait à un nouveau mode d'ensemencement des modules.

d) *Germination de jeunes plants d'Eucheuma spinosum.*

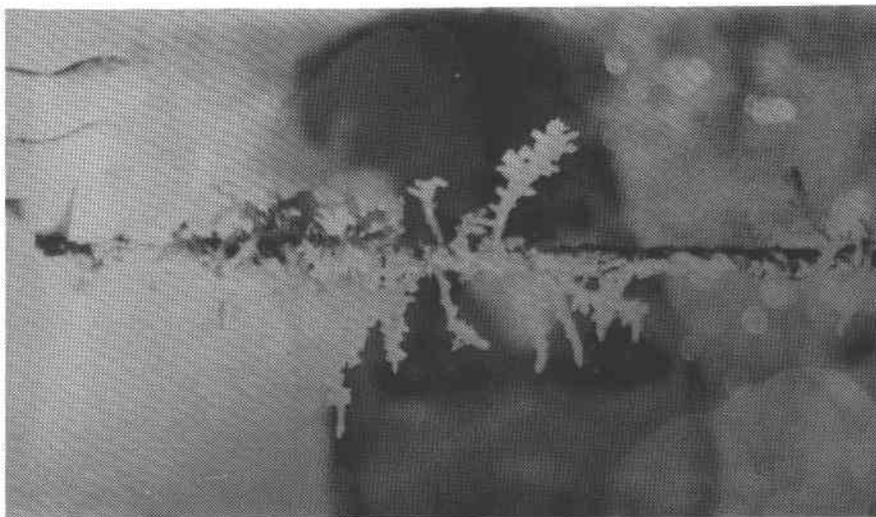


Fig. 23. — *Quelques jeunes plants apparus en novembre 1975. A cette période, il y en avait relativement peu.*

En novembre 1975, nous avons constaté la présence de quelques rares plants nés sur les cordages du champ expérimental (fig. 23). Ils mesuraient 2 à 3 cm de haut et se situaient principalement sur les

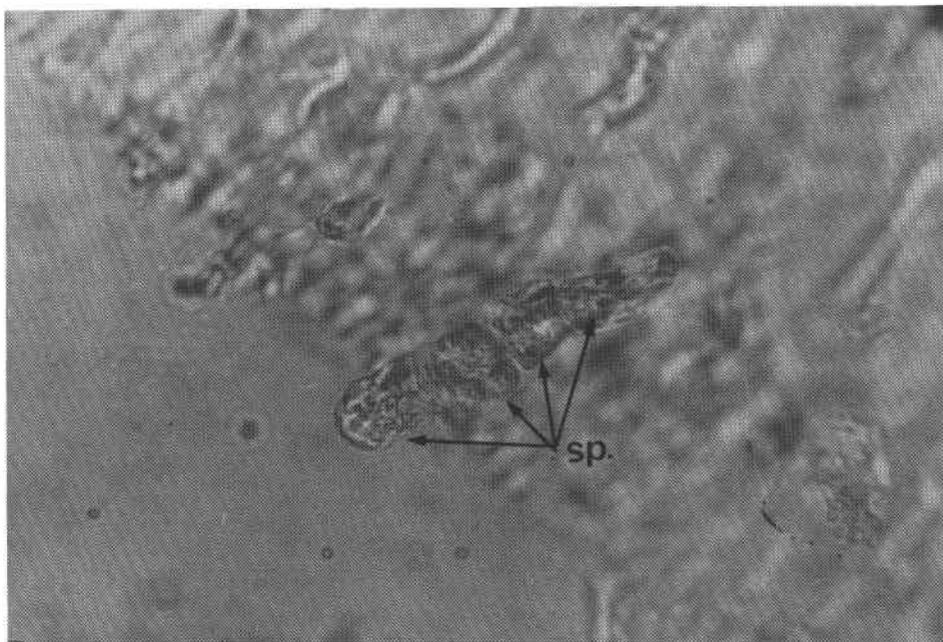


Fig. 24. — *Coupe transversale d'une ramification d'Eucheuma spinosum au niveau d'un sore; on peut observer la position de la tétrade de spores juste avant l'émission (sp. = spore).*

cordages nord-est. Or, le courant ne se dirige du sud-ouest au nord-est qu'entre juillet et août. L'émission des éléments reproducteurs ayant provoqué ces germinations doit donc se situer à cette période (fig. 24).

Ces plants paraissent plus compacts et plus épineux que ceux ramenés d'Extrême-Orient. En décembre, un des échantillons présentait sur certaines pinnules renflées des taches annulaires sombres. L'observation microscopique de coupes transversales indiqua qu'il s'agissait de cystocarpes (fig. 25).

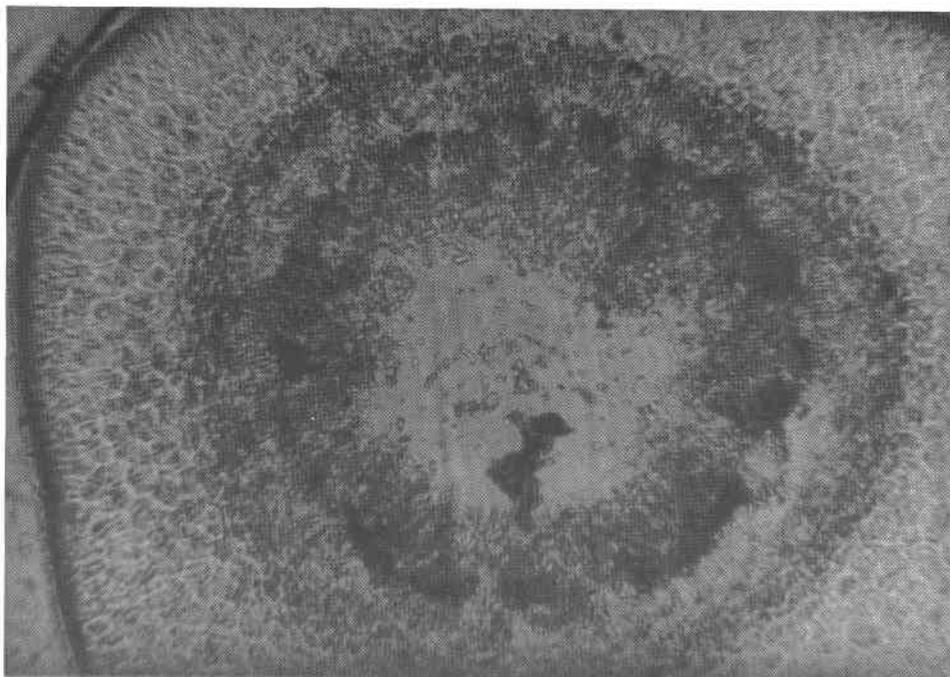


Fig. 25. — *Vue au microscope d'une coupe transversale dans un cystocarpe d'Eucheuma spinosum ; nous avons constaté que la présence de ces appareils de reproduction est très rare chez cette espèce.*

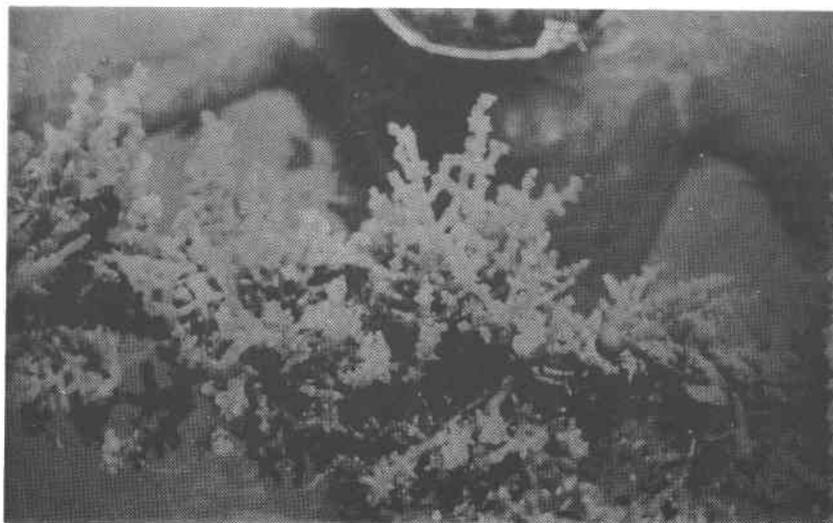


Fig. 26. — *Cordage couvert de jeunes germinations d'Eucheuma spinosum apparues à la fin avril 1976. La photographie a été prise en août, soit trois mois après. L'ensemble des cordages côté sud-ouest présentait le même aspect.*

La deuxième apparition de jeunes plants eut lieu à la fin avril. Des germinations de 2 à 3 cm de haut couvraient littéralement tous les cordages sud-ouest, c'est-à-dire, là encore, sur l'aval du module par rapport au courant qui allait du nord-est au sud-ouest à cette période.

En juillet, ces jeunes plants mesuraient déjà 15 à 20 cm de long et entouraient les cordages d'un véritable manchon végétal (fig. 26). Les coups de mer de début août occasionnèrent relativement peu de pertes parmi eux en comparaison des pertes enregistrées pour les boutures. La fixation naturelle semble donc plus solide et plus souple que celle des liens artificiels.

L'aspect de ces *Eucheuma* « autochtones » mérite quelques remarques. La plupart avaient les caractéristiques externes des algues originaires d'Indonésie. Ils présentaient des sores bien différenciés dès la mi-septembre, soit moins de cinq mois après leur apparition.

Il s'agissait donc de sporophytes.

D'autres, peu nombreux, étaient plus compacts, couverts de pinnules émoussées. Ils ressemblaient à ceux observés en septembre de l'année précédente. Pourtant, c'étaient aussi des sporophytes puisqu'ils portaient des sores sur les ramifications basales.

En définitive, nous n'avons pu reconnaître avec certitude l'existence de gamétophytes que dans le cas signalé plus haut.

A part quelques rares pieds fertiles dont la potentialité sexuelle n'a pu, de ce fait, être définie, les boutures de février 1976 se composaient de sporophytes pourvus de spores. Or, les germinations apparues en avril étaient aussi des sporophytes. Nous n'avons pas observé entre ces deux périodes des gamétophytes porteurs de cystocarpes.

Si l'on se réfère au cycle onthogénique proposé par Kylin pour *Eucheuma*, nous aurions dû constater la présence de nombreux plants gamétophytiques fertiles entre les deux périodes à sporophytes.

On est donc conduits à admettre l'une des deux hypothèses suivantes : ou bien les gamétophytes sont devenus fertiles et il y a eu production d'une très grande quantité de carpospores dans un laps de temps si court que ce phénomène a échappé aux observations pourtant fréquentes ; ou bien les sporophytes ont la propriété de se multiplier par monospores.

L'hypothèse selon laquelle les gamétophytes seraient passés inaperçus parce qu'ils seraient morphologiquement différents des sporophytes est *à priori* à rejeter puisque nos observations prouvent qu'ils existent et qu'ils ressemblent aux sporophytes.

Puisque la fixation naturelle est plus solide que la fixation artificielle, puisque la production de jeunes peut être abondante et leur croissance rapide, on conçoit aisément l'intérêt qu'il y aurait à baser la culture, non sur une multiplication par bouturage, mais sur un ensemencement par éléments reproducteurs obtenus par émissions massives et contrôlées au laboratoire ou par captage dans le milieu naturel à l'aide de collecteurs.

La multitude de germinations apparues en avril sur les cordages du module prouve que cette dernière technique pourrait être rapidement appliquée et serait très efficace.

6. Caractéristiques physico-chimiques du carraghénane extrait.

Nous ne reviendrons pas sur les méthodes permettant de déterminer la teneur en carraghénane et la qualité de ce produit. Le mode opératoire a déjà été décrit dans une précédente publication ⁽¹⁾.

Les analyses en spectrophotométrie infra-rouge ont toujours donné un spectre caractéristique du carraghénane iota.

Teneur en carraghénane.

La variation annuelle de la teneur en carraghénane iota est représentée par la figure 27. Il n'est pas à proprement parler possible d'y déceler une variation saisonnière : le profil est en effet très irrégulier et ne semble pas pouvoir être mis en corrélation avec la température de l'eau ou la croissance des algues.

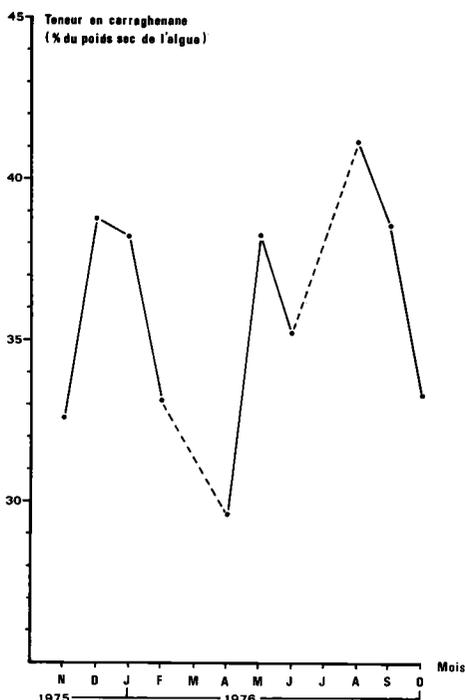
La teneur moyenne (36,2 %) peut avantageusement être comparée à celle des *E. spinosum* d'Indonésie (34,2 %).

Les algues indonésiennes sont commercialisées blanchies. Ce blanchissement est involontaire : il résulte des conditions de séchage qui est très difficile en raison des précipitations fréquentes, particulièrement en

(1) *Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches marit.*, n° 238, juillet-août 1974.

période de mousson humide. Afin d'obtenir une meilleure comparaison des teneurs, nous avons blanchi artificiellement quelques lots d'*Eucheuma* au moyen de lavages à l'eau douce suivis de séchages au soleil. Les résultats des analyses sont consignés dans le tableau 6.

Nous constatons que les algues débarrassées de toute impureté et des différents sels qui ont été emportés par les eaux de lavage, ont une teneur moyenne remarquable (60,2 % contre 37,9 % pour les algues brutes, soit une différence positive de 22,3 %).



Date	Teneur en carraghénane (%MS)	
	Algue blanchie	Algue non blanchie
12 _ 1975	60,8	38,8
01 _ 1976	55,9	34,0
02 _ 1976	65,2	43,3
06 _ 1976	58,9	35,3

Fig. 27. et Tabl. 6. — A gauche, évolution de la teneur en carraghénane iota au cours de l'année chez les *Eucheuma spinosum* cultivés à Djibouti. A droite, comparaison de la teneur en carraghénane d'*Eucheuma spinosum* soumis à des types de séchage différents, l'un donnant des algues de couleur sombre, l'autre des algues blanchies.

En outre, les conditions climatiques exceptionnelles de la République de Djibouti permettent d'amener aisément les algues à un taux moyen d'humidité résiduelle de 8 à 9 % en moins de 36 h d'exposition sur le littoral.

Viscosité.

Bien que la viscosité soit un facteur secondaire dans la détermination de la qualité d'un carraghénane iota, nous avons suivi les variations de celle-ci au cours de l'année (fig. 28). Les viscosités maximales ont été obtenues sur les algues prélevées de janvier à mai, c'est-à-dire pendant la période où les températures de l'eau sont les plus basses.

Force du gel au lait.

Tous les échantillons ont présenté une force de gel supérieure à 200 000 centipoises (cp), sauf ceux récoltés en juin et en août qui ont respectivement donné 144 000 cp et 164 000 cp. Le seuil de 200 000 cp est généralement considéré comme excellent et les valeurs de juin et août peuvent être qualifiées de très bonnes.

7. Rentabilité de la culture.

Nombreux sont les facteurs qui interviennent dans l'établissement de la rentabilité d'une culture.

Parmi les plus importants, il faut citer : le taux de croissance des plants, le nombre de récoltes annuelles, la qualité du produit récolté, les pertes dues aux intempéries, le coût de la main d'œuvre, le coût et la longévité des installations, les dimensions de l'exploitation.

En prenant ces divers éléments en compte, nous avons essayé de préciser le rendement végétal annuel à l'hectare de la culture telle que nous l'avons réalisée.

Toutefois, pour simplifier l'analyse, nous supposerons que les champs sont situés dans des zones abritées et que, par conséquent, il n'y a pas de pertes importantes.

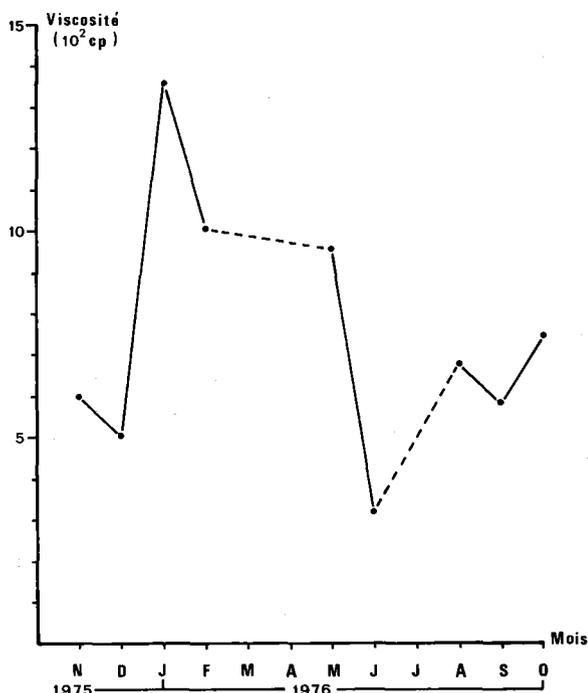


Fig. 28. — Variation au cours de l'année de la viscosité de la solution de carraghénane iota extraite des *Eucheuma spinosum* cultivés à Djibouti.

Pour ce qui concerne la nature de l'exploitation, nous considérons seulement le cas d'une entreprise artisanale ayant pour but de cultiver, récolter, sécher et vendre les algues à des courtiers qui en assureraient eux-mêmes l'acheminement vers les centres de traitement.

Le tableau 2 montre que la production moyenne sur deux mois conduit à des plants de 900 g, ce qui constitue pour une bouture de 50 g une augmentation de poids de 850 g de matière fraîche.

Eucheuma spinosum ayant une teneur en eau de 87 %, l'augmentation convertie en tissu sec est de 110,5 g. Connaissant le nombre de boutures (19 000) que peut porter un module à culture intensive (2 500 m²), il est aisé de calculer le poids total sec de la production d'un hectare :

$$19\ 000 \times 110,5 \times 4 = 8\ 396\ \text{kg.}$$

La durée séparant chaque récolte est en principe de 2 mois, mais, de mars à mai, il sera souhaitable d'effectuer le ramassage avant ce laps de temps, c'est-à-dire avant que les touffes ne pèsent 2 000 g car lorsqu'elles atteignent ce poids, elles se cassent en fragments difficiles à récupérer. Ainsi, entre mars et mai, il serait possible d'effectuer 2 récoltes. Durant un cycle annuel, 7 récoltes sont donc possibles. La quantité de matière sèche produite sur un hectare peut atteindre dans l'année : $8,396 \times 7 = 58,77\ \text{t}$ arrondi à 59 t.

L'algue obtenue à Djibouti peut, en raison de sa très haute qualité, trouver aisément preneur sur le marché mondial au cours de 2 500 F la tonne contenant 10 % d'eau (taux pratiqué en 1977).

Les 59 tonnes produites sur un hectare représentent 64,9 t à 10 % d'humidité et une valeur de 162 250 F.

Compte tenu de l'investissement et des divers frais occasionnés par la mise en culture, la récolte, le séchage, la mise en balles et le transport, on arrive à la conclusion que la culture de l'algue *Eucheuma spinosum* à Djibouti rapporterait à chaque personne de l'équipe qui la réaliserait un salaire au moins deux fois supérieur au salaire moyen défini par la convention collective nationale et nettement plus élevé que celui des habitants des pays voisins.

Cette culture permettrait de créer de nombreux emplois dans une région où le chômage sévit de façon permanente.

Ces estimations découlent de notre propre expérience et du comportement de notre équipe locale. Mais, dans le cadre d'une exploitation, le nombre de personnes pour un hectare pourrait sans doute être réduit : par l'emploi d'un système de fixation plus rapide que le lien en plastique, par la limitation des ensemencements si la récolte est effectuée de telle sorte qu'un reliquat d'algue serve de nouvelle bouture.

Enfin, le personnel que nous avons recruté n'était pas préparé au métier de cultivateur marin auquel il a dû se livrer. Les opérations auraient été sans doute effectuées plus rapidement avec des spécialistes habitués à ce travail.

Conclusion.

Le premier objectif qui consistait à mettre au point un dispositif de culture susceptible d'être utilisé sur de grandes surfaces a été atteint. Le système proposé permet la réalisation d'une culture intensive suspendue, indépendamment de la profondeur à laquelle se situe le substratum et loin des zones riches en poissons herbivores.

Ce dispositif nous a paru être parfaitement adapté aux conditions locales. Il peut supporter un nombre élevé de plants dont le développement est aussi rapide au centre qu'en bordure du dispositif.

Les essais qui ont été réalisés sur ce dernier ont montré que l'algue *Eucheuma spinosum* atteint un taux de développement exceptionnel puisqu'il dépasse toutes les valeurs enregistrées ailleurs, y compris dans le pays d'origine de l'espèce.

La nécrose bactérienne, tant redoutée ailleurs, est totalement absente ici. L'algue parvient même à se débarrasser de ses propres épiphytes et constitue une matière de très haute qualité.

Certes, des améliorations sont dès à présent envisageables en ce qui concerne la technique de fixation des boutures, la possibilité d'obtenir plusieurs récoltes à partir d'un même ensemencement et, surtout, la possibilité d'utiliser des collecteurs de spores pour disposer de semence nouvelle.

Mais il ne fait pas de doute que la culture d'*Eucheuma spinosum* peut être parfaitement réalisée et être rentable par la simple application de la méthode que nous avons définie. Ainsi, dans cette région de l'Afrique où les ressources continentales semblent négligeables, où l'agriculture souffre du manque d'eau, où la chaleur est si intense que tout travail à terre s'avère pénible, la mer offre toutes les conditions pour une culture végétale rémunératrice.

Sur un autre plan, on peut aussi ajouter que cette expérience constitue l'un des rares exemples où une tentative scientifique d'aquaculture peut être transférée au plan de l'exploitation professionnelle après une période expérimentale relativement courte.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BONEY (A.D.), 1965. — Aspects of biology of seaweeds of economic importance. — *Advances in marine Biology*, 3.
- DOTY (M.S.), 1969. — The *Euclidean* opportunity. — *Science Review*, august., p. 1-11.
1971. — Physical factors in the production of tropical benthic marine algae. — In Costlow J., Fertility of the sea. — New-York, Gordon and Breach Publishers.
1974. — Farming the red seaweed *Euclidean* for carrageenans. — *Micronesia*, 9, 59-73.
- BRAUD (J.P.), PEREZ (R.) et LACHERADE (G.), 1974 — Étude des possibilités d'adaptation de l'algue rouge *Euclidean spinosum* aux côtes du Territoire Français des Afars et des Issas. — *Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches marit.*, n° 238, juillet-août.
- DAWES (C.J.), 1974. — On the mariculture of the florida seaweed *Euclidean isiforme*. — *Florida Sea Grant Program*, rep. 5, august.
- DAWES (C.J.), LAWRENCE (J.M.), CHENEY (D.P.) et MATHIESON (A.C.), 1974. — Ecological study of floridian *Euclidean* (Rhodophyta Gigartinales). *Bull. of marine Science*, 24 (2), p. 235-299.
- GAVINO. (C.) et TRONO (J.A.), 1973. — *Euclidean cottonii* cultures. — *National Res. Council. Philippines*, p. 3438.
- KRAFT (G.T.), 1970. — The redalgal Genus *Euclidean* in the Philippines. *Hawaii Botanical Science*, 18. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, 358 p.
- MATHIESON (A.C.), DAWES (C.J.), 1954. — Studies on mucilage from the seaweed *Euclidean spinosum* (L.) A.G. — *Bull. Jap. Soc. Scient. Fisch.*, 20, p. 501-505.
- MSHIGENI (K.E.), 1970. — Seaweed resources in Tanzania. — Botany Department. University college Dar Es Salam, april 1970.
- PARKER (H.S.), 1974. — The culture of the red algal genus *Euclidean* in the Philippines. — *Aquaculture*, 3, p. 425-439.
- STANCIOFF (D.J.) et STANLEY N.F., 1969. — Infrared and chemical studies on algal polysaccharides. — *Proc. 6th Intern. Seaweed Symp. Santiago de Compostella, Espagne*, p. 595-609.
- TAYLOR (W.R.), 1960. — Marine algae of the Eastern tropical and subtropical coasts of Americas. — *Un. Mich. Press, Ann. Arbor*, 870 p.
- WEBER-VAN BOSSE. (A), 1928. — Liste des algues du « Siboga ». — « *Siboga* » *Exped.* 59, p. 404-424.
- YAPHE (W.) et BAXTER (B.), 1955. — The enzymic hydrolysis of carrageenine. — *Applied Microbiol.* 3 (6), p. 380-383.
- ZANEFELD, (J.S.) 1959. — The utilization of marine algae in tropical South and East Asia. — *Economic Botany*, 13, p. 89-131.