

# Culture expérimentale de l'algue *Undaria pinnatifida* sur les côtes de France

René PEREZ, Raymond KAAS et Olivier BARBAROUX  
ISTPM, BP 1049 - 44037 Nantes Cedex

## AVANT-PROPOS

*L'aquaculture fournit annuellement à l'homme près de 3 300 000 t de produits frais dont 2 400 000 t sont constituées par des algues alimentaires ou industrielles, soit plus des deux tiers. En Corée, la culture des algues représente un chiffre d'affaires de 10 milliards de francs pour une récolte de 80 000 t de Porphyra et 330 000 t d'Undaria. Au Japon, le chiffre d'affaires de la culture algale est 8 fois supérieur à celui de l'ostréiculture japonaise qui est elle-même 5 fois supérieure à la nôtre. Grâce à la culture, les États-Unis entretiennent les peuplements de *Macrocystis* existants et en créent de nouveaux, ce qui autorise une exploitation intensive et continue de 350 000 t de tissus frais par an. Les Philippines fournissent à elles seules, par culture, 90 % des algues rouges (*Euclima spinosum*, *E. cottonii*) vendues sur le marché mondial.*

*La Chine détient depuis 1979 le record de production d'algues par culture puisqu'elle récolte annuellement 1 300 000 t de *Laminaria japonica*, espèce introduite, acclimatée et présentant une croissance très améliorée par hybridation. Elle s'est lancée en 1980 dans la culture de l'algue *Macrocystis pyrifera* avec pour objectif la production d'alginate. Il faut environ 6 ans pour qu'un peuplement de *Macrocystis* soit exploitable. En 1987, la Chine sera donc en mesure de prendre une place importante sur le marché des phycocolloïdes comme elle a acquis une place de premier plan, avec *Laminaria japonica*, sur le marché des algues alimentaires.*

*Devant cette évolution sans précédent, seuls les pays qui auront à temps ajouté à l'exploitation des algues sauvages la culture intensive pourront rester compétitifs. La France doit être de ceux-là. Les travaux concernant l'algue *Undaria pinnatifida* l'engagent dans cette voie.*

EXPERIMENTAL CULTURE  
OF THE BROWN SEAWEED  
*UNDARIA PINNATIFIDA*  
ALONG THE COASTS OF FRANCE

Different culture experiments have been carried out along the Brittany coast (île d'Ouessant, île de Groix, Saint-Malo) on the brown seaweed *Undaria pinnatifida* which naturally grows on the French shore since 1971. Main work has been done on the sowing processes of spread ropes into the sea.

Two methods have been tested. The first one, classic, is based on the mass emission of the seed on maturity, while the other one uses the vegetative multiplication of gametophytes where the whole reproduction process is under laboratory («Free living» technique).

The first experiment in open sea occurred at the end of September and harvesting was possible since February. Density was variable and depended on the method. It was much higher on the ropes which were sowed with the free living solution: 40 to 60 plants per meter were counted, i.e. an average production of 17 to 18 kg.m<sup>-1</sup> fresh weight. Generally the plants were longer (3 m) than those harvested in Korea or Japan (1,50 to 2 m). Because of the low water temperature along the North Brittany coast, it would be possible to expect several harvests per year. Different tests are in progress to check this hypothesis.

EXPERIMENTELLE ALGENKULTUR VOR  
*UNDARIA PINNATIFIDA*  
AN DER FRANZÖSISCHE KÜSTE

Die braunalge *Undaria pinnatifida* die an der Französische Küste seit 1971 lebt, wurde zur algenkultur in verschiedliechen pünkte der Küste der «Bretagne» (île d'Ouessant, île de Groix, Saint-Malo) benutzt.

Überhaupt wurden die Aussaat verfahren studiert. Zwei methoden wurden getestet. Die erste klassische Methode benutzte die massive Sporenausgabe von vielerlei reifen Algen. Die zweite Methode bestand darin dass das vegetative vermehren der Gametophyten und der ganze vermehrungs cyklus ganz under labor kontrolle stand («Free living» technik).

Das erste experiment im offenen meer fand ende September statt und die ernte war seit Februar möglich. Die Dichte war wechselnd entsprechend der Methode die verwendet wurde. Die Dichte war viel grösser bei den sailen die mit der Free living lösung anfbereitet wurden. 40 bis 60 algen prometer wurden aufgezählt die eine mittelproduktion von 17 bis 18 kg.m<sup>-1</sup> frisch gewicht ergeben. Ins gesammte waren die Algen länger (3 m) als Die die mann in Korea oder Japan erntet (1,50 bis 2 m). Es scheint, als ob, der niedrigen Temperatur wegen die mann in der Nord Bretagne findet, mann auf mehrere Ernten im Jahren zählen könnte. Verschiedene Experimente sind aktuel in gang um diese annahme zu prüfen.

— En 1971, un ostréiculteur de l'étang de Thau (lagune méditerranéenne) découvrait dans son parc à huîtres une algue qui lui paraissait étrange pour le lieu : il s'agissait en effet de l'espèce *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar, originaire du Japon, sans doute introduite involontairement sous forme de planctons ou de spores en même temps que le naissain d'huîtres importé d'Extrême-Orient. Loin de disparaître, l'espèce a peu à peu étendu son aire de répartition dans l'étang en se fixant indifféremment sur les structures qui soutiennent les parcs et sur les poches à moules ou à huîtres. En 1981, elle a franchi les limites du bassin de Thau puisqu'on la signale en milieu ouvert le long des digues protégeant le port de Sète. On ne devrait pas être surpris qu'elle se répande progressivement le long du rivage méditerranéen. —

**L**es ostréiculteurs de l'étang de Thau considèrent cette algue, comme une nuisance parce qu'elle les oblige à un nettoyage supplémentaire de leurs installations. Contrairement aux espèces *Laminaria japonica* et *Sargassum muticum* elle n'est qu'une nuisance passagère puisque *Undaria pinnatifida* (fig. 1) est une espèce annuelle, la forme macroscopique apparaissant vers la mi-novembre et disparaissant totalement vers la mi-juillet.

*Undaria pinnatifida* (algue brune Laminariale) est remarquable par sa teneur en protéines (15 % du poids sec) en sels minéraux et en vitamines. C'est pourquoi elle fait partie, en Extrême-Orient, des algues les plus consommées par l'homme. La demande, en dépassant de loin la production naturelle, a eu pour conséquence le développement de la culture, d'abord extensive, puis intensive : ainsi, le Japon produit annuellement 100 000 t d'*Undaria* pour une consommation potentielle de 140 000 t. De même, en Corée où un effort considérable a été fait au cours de ces cinq dernières années tant sur le plan de la recherche que sur celui de l'organisation de la culture intensive, la récolte est actuellement de l'ordre de 330 000 t par an dont une partie est exportée. Plus de 170 000 ha sont consacrés dans ce pays à cette culture qui occupe à plein temps quelques 2 700 algoculteurs et représente un chiffre d'affaires de plus de 10 milliards de francs.

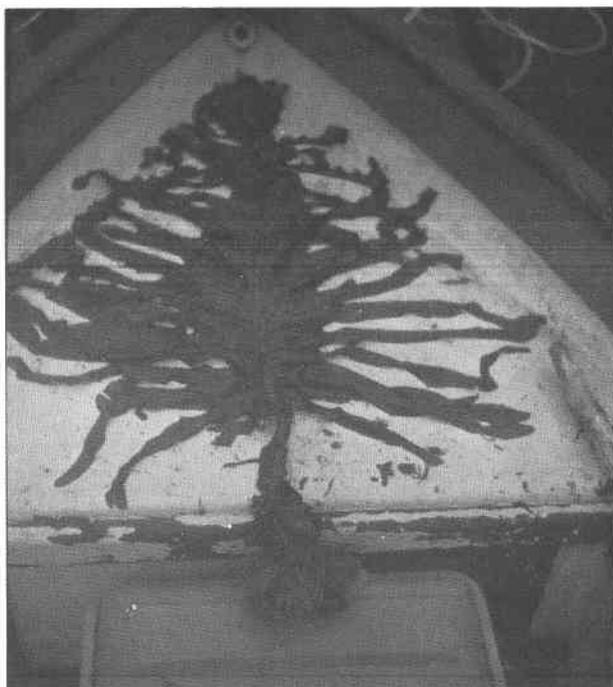


Fig. 1. — *Undaria pinnatifida* échantillon arraché en mars dans l'étang de Thau. Les ailes commencent à s'élargir de part et d'autre du stipe et constitueront les zones portant en mai et juin les éléments reproducteurs.

(1) Avec la collaboration de :

MM. NA G.H., Directeur de l'écloserie de HALIM (République de Corée), PRATT J.B., technicien de l'A.P.I.P., MOIGNE J.Y., Directeur du groupement aquacole d'Ouessant et ARBONA J.F., algoculteur à Saint-Malo.

Il existe pour cette algue, tant en Europe qu'aux États-Unis, un marché non négligeable représenté par les émigrés asiatiques qui s'approvisionnent pour l'instant régulièrement en Extrême-Orient, par les restaurants exotiques (plus de 4 000 seulement en région parisienne) ainsi que par les chaînes homéopathiques, végétariennes et diététiques dont le nombre va croissant. De ce fait, *U. pinnatifida* pourrait constituer sur nos côtes une ressource intéressante à exploiter. C'est pourquoi elle fait l'objet d'un programme de recherche ayant pour but de définir dans un premier temps sa biologie dans ce nouveau biotope qu'est pour elle le rivage méditerranéen, puis, dans un deuxième temps, de mettre au point la technique de culture intensive en adaptant à nos rivages et à nos habitudes certaines des méthodes utilisées en Extrême-Orient.

### Préparation du « wakame »

Une fois récoltée, l'algue est ébouillantée pendant 3 mn, puis immergée dans un bain froid, enfin égouttée. Elle s'est réduite alors à 20 % de son poids initial. Saturée en sel, séparée de sa « nervure » centrale, découpée en lanières et emballée, elle est vendue sous le nom de « wakame » (la « nervure » centrale est utilisée sous d'autres formes). C'est le mode de conditionnement le plus fréquent, mais elle peut aussi être vendue après un simple séchage à l'air atmosphérique ou à l'air chauffé. Des essais sont actuellement faits pour parvenir à la vente fraîche, en stérilisant par ionisation, immédiatement après la récolte, des lames préalablement emballées dans un emballage plastique transparent et étanche.

### Croissance d'*Undaria pinnatifida* dans l'étang de Thau

L'étude a débuté en 1980\* et s'est poursuivie en 1982 et 1983. L'espèce apparaît à l'œil nu vers la mi-novembre sous l'aspect de plantules à forme lancéolée pourvues déjà d'une lame et d'un stipe bien différenciés. Le stipe se prolonge dans la lame sous forme d'une « nervure » centrale (fig. 2).

La croissance a lieu pendant l'hiver. En février, la lame constitue un ruban de 50 à 60 cm de longueur puis s'élargit plus de sa base que du sommet tout en se découpant en lanières horizontales. Début mars, elle atteint ses dimensions maximales :

longueur totale (lame + stipe) : 73 à 80 cm  
longueur du stipe : 17 à 20 cm  
largeur de la lame : 48 à 50 cm  
largeur du stipe : 0,7 cm  
poids total : 182 g.

La partie basale du stipe commence à s'élargir dès le mois de février en deux « ailes », d'abord planes, qui vont, à mesure qu'elles se développent, se tordre jusqu'à donner l'impression d'une spirale entourant le stipe. Sur ces ailes apparaissent vers la mi-mai, les taches sombres formées par l'accumulation de sacs microscopiques, les sporocystes, contenant chacun 30 à 50 grains de 5 à 6  $\mu$ m de diamètre : les spores.

A partir du moment où elle devient fertile, l'algue ne croît plus. Elle se désagrège progressivement du sommet vers la base jusqu'à se réduire à un stipe de plus en plus court et déchiqueté. Il ne reste en juillet que la partie spiralée portant encore quelques éléments reproducteurs et de nombreux épiphytes sur la bordure. Fin juillet, on n'en trouve plus trace.

Si, au Japon et en Corée, les *Undaria* sauvages constituent des peuplements denses jusqu'à 7 m de profondeur et parviennent à l'état clairsemé jusqu'à 13 m, dans l'étang de Thau l'espèce se localise près de la surface puisqu'elle ne descend jamais en dessous de 2 m. La limitation à ce niveau est liée à l'énergie lumineuse et à la température élevées dont le gamétophyte femelle a besoin pour devenir fertile.

On constate un retard de croissance de 2 à 3 mois d'*Undaria* dans l'étang de Thau par rapport à la même espèce cultivée en Corée et au Japon. Par contre, en prenant comme référence, non les peuplements cultivés mais les peuplements naturels, on n'enregistre aucune différence entre les trois pays. Seul, le processus de culture permet de gagner 2 à 3 mois sur l'évolution naturelle, comme nous le verrons plus loin, ce qui se traduit par un gain de qualité.

### Techniques de culture

Le principe de la culture consiste à obtenir en bassins de nombreuses plantules fixées sur une cordelette enroulée autour d'un cadre, cordelette et cadre jouant le rôle de collecteur de semence (fig. 3). La cordelette portant les plantules est ensuite disposée autour d'un cordage de soutien de 12 à 15 mm de diamètre, tendu en mer parallèlement à la houle et maintenu à 1 m sous la surface en y fixant tous les 5 m un flotteur de 2 litres et un poids de 300 à 500 g en équilibre de forces (fig. 4). Les plantules, d'abord fixées sur la cordelette, s'agrippent progressivement au cordage de soutien au fur et à mesure d'un développement de nouveaux haptères.

De temps en temps, il est nécessaire de secouer fortement les cordages de façon à provoquer la chute des algues vertes indésirables (*Ulva*, *Enteromorpha*, *Cladophora*). Si cette opération n'est pas suffisante, on place temporairement le cordage à 5 ou 6 m de profondeur, niveau où ces chlorophytes ne subsistent en principe pas.

\* Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches marit., n° 315 juillet 1981.

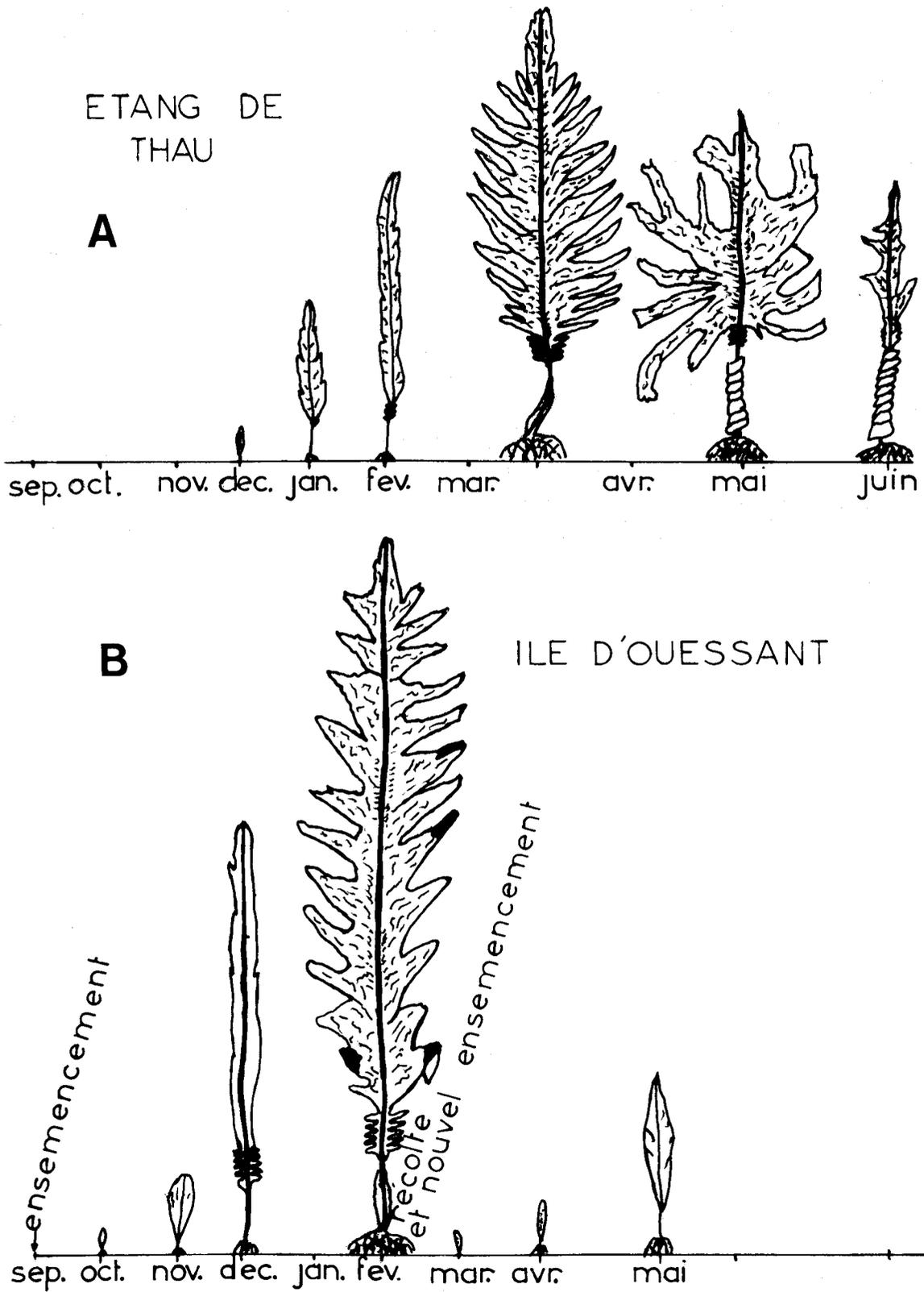


Fig. 2. — Schémas retraçant l'évolution d'*Undaria* ; (A) à l'état sauvage dans l'étang de Thau, et (B) en culture à l'île d'Ouessant, dans le second cas, on remarquera la précocité et la taille de l'algue.

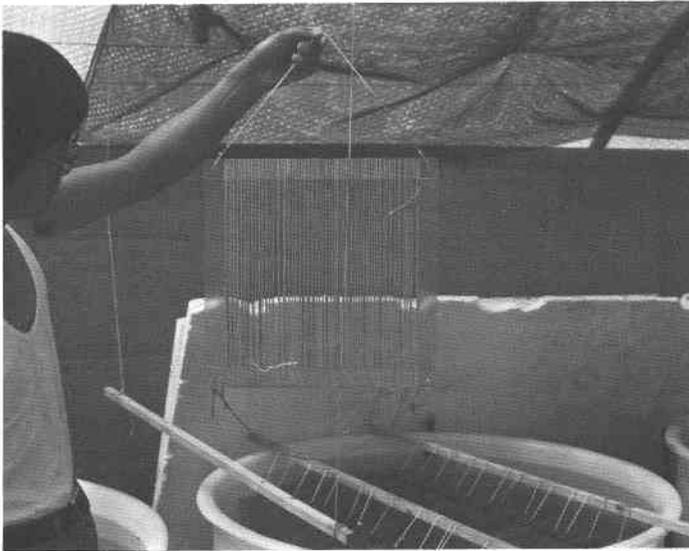


Fig. 3. — Collecteur: il se compose d'un cadre sur lequel est enroulée une cordelette dont chaque tour est séparé du précédent par un espace de 2 à 3 mm de façon à permettre une meilleure circulation de l'eau.

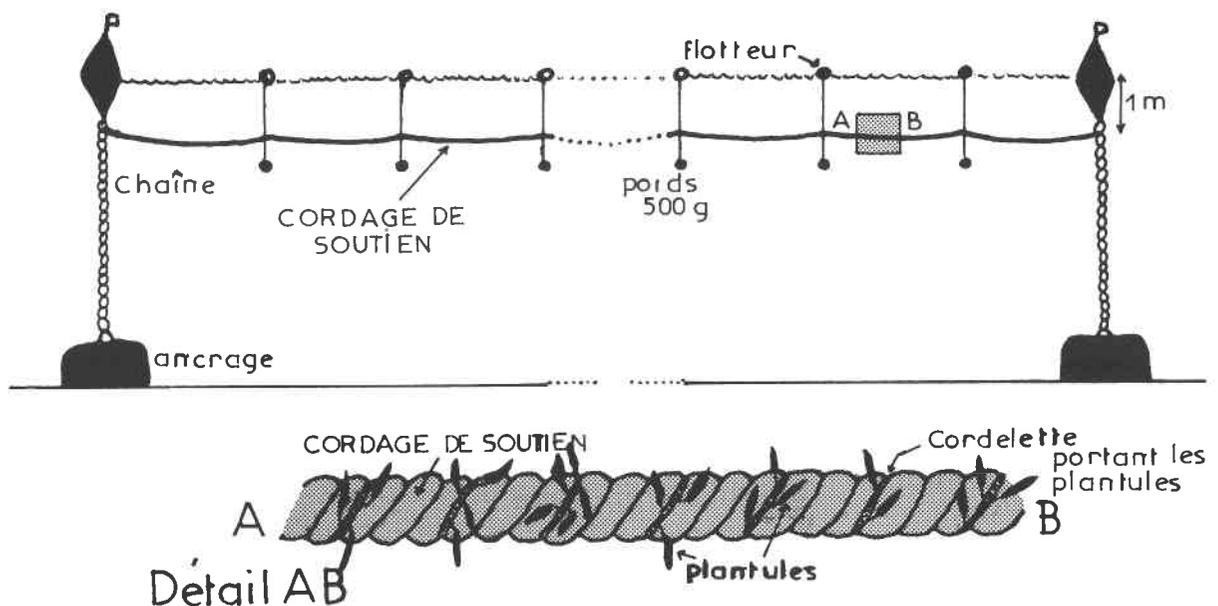


Fig. 4. — Disposition en mer des cordages de soutien (ou porteur) placés perpendiculairement à la houle et maintenus à 1 m sous la surface par un jeu de flotteurs; le détail AB montre la disposition de la cordelette portant les plantules autour du cordage de soutien.

La récolte a lieu en mars-avril. On doit obtenir pour une bonne rentabilité, une moyenne de 10 kg de tissus frais par mètre de cordage. La culture occupe un algoculteur pendant 4 à 5 mois.

La production finale dépend directement du taux d'ensemencement de la cordelette. La cordelette doit porter assez de plantules pour qu'on obtienne au moment de la récolte et malgré les pertes, au moins un plant tous les dix centimètres de cordage. Cette phase capitale, l'ensemencement, est conditionnée par les facteurs contrôlant le cycle de reproduction ainsi que par la nature du collecteur.

Lorsque l'algue parvient à maturité, l'aile disposée en spirale (elle peut atteindre jusqu'à 10 cm de largeur) autour du dernier tiers basal du stipe se couvre de taches marron-foncé de plus en plus étendues. Ces taches sont constituées par des milliers de sacs microscopiques contenant des granulations sphériques de 5 à 6  $\mu$  m de diamètre: les spores. Une fois libérées dans le milieu, les spores naissent de quelques minutes à quelques heures (selon les conditions ambiantes) à l'aide de leurs deux flagelles puis se fixent et germent en filaments microscopiques plus ou moins ramifiés: les gamétophytes.

**Le cycle de reproduction (fig. 5)**

Les gamétophytes mâles libèrent des gamètes flagellés alors que les gamétophytes femelles produisent des gamètes pratiquement immobiles. Le gamète mâle vient féconder le gamète femelle. *L'œuf ou zygote issu de cette union germe en une plantule lancéolée et peu échancrée sans aile sur le bas du stipe.* Les divisions horizontales et les ailes spiralées apparaîtront plus tard au cours du développement.

**Le collecteur (fig. 3)**

La réalisation du collecteur de spores, c'est-à-dire du cadre supportant la cordelette de culture pose quelques problèmes. En Corée et au Japon, la profession utilise des cadres fabriqués par des usines spécialisées.

Après divers essais, notre choix s'est orienté vers des cadres composés de 4 barrettes de plastique «Altuglas» de 30 cm de long, 3 cm de large et 1 cm

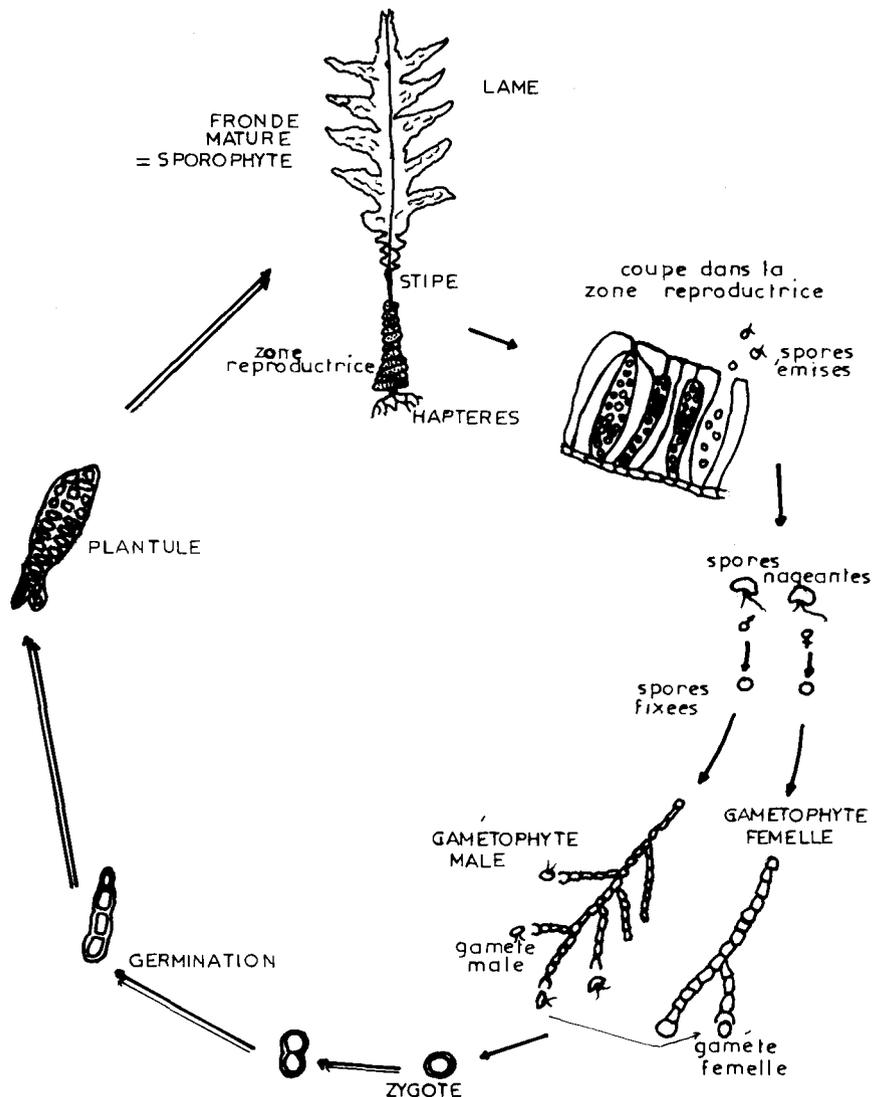


Fig. 5. — Cycle de reproduction d'*Undaria pinnatifida* (typique d'une laminaire) la phase macroscopique s'étend de fin novembre à fin juin.

d'épaisseur collées perpendiculairement les unes par rapport aux autres. On obtient ainsi un matériel solide, pratiquement inusable (coût 32 F). Le diamètre de la cordelette doit être ni trop large pour des raisons d'encombrement, ni trop fin pour éviter qu'elle ne se casse au cours des différentes manipulations des cadres. Le fil en polyamide type Kuralon de 1,05 mm de diamètre, composé de trois torons, s'est révélé être la meilleure solution. Les cordelettes en polyéthylène n'ont pas donné de bons résultats : les spores, les gamétophytes et les zygotes d'*Undaria* ont, semble-t-il, des difficultés à s'y fixer alors que les algues concurrentes s'y fixent hélas parfaitement bien.

L'expérience a montré que trois précautions importantes doivent être prises.

- Pour éliminer la toxicité initiale de la cordelette, on peut la laisser tremper pendant 10 à 15 jours en eau de mer courante. La cordelette se charge de particules ou d'algues microscopiques qu'il est difficile ensuite d'éliminer. Aussi a-t-on préféré un passage de 2 à 3 heures dans de l'eau bouillante. Le fil en «Kuralon» est ensuite enroulé autour du cadre qui a séjourné préalablement une semaine en eau douce courante.

- Pour faciliter la circulation de l'eau à travers le collecteur, le fil est enroulé de telle façon que chaque tour de spire soit séparé du suivant par un espace de 2 à 3 mm ; les bords supérieur et inférieur du cadre sont entaillés à la scie : la cordelette se trouve ainsi stabilisée à l'intérieur de ces encoches.

- Enfin, pour éviter la naissance de plantules sur les barbules du fil où elles auraient des difficultés à se maintenir, le collecteur est passé rapidement devant une flamme de lampe à souder pour éliminer les barbules.

Chaque collecteur ainsi fabriqué porte environ 70 m de cordelette.

Jusqu'en 1982, la seule technologie connue pour l'ensemencement des cordelettes était l'utilisation directe des spores. C'est cette méthode dite traditionnelle qu'emploient les algoculteurs japonais et coréens. Début 1983, une nouvelle méthode dite en «vie libre» («free living» en anglais) a été mise au point en laboratoire. Nous avons essayé les deux méthodes en tentant de discerner les avantages et les inconvénients de chacune de façon à sélectionner celle qui pourrait facilement applicable au littoral français.

### **Ensemencement direct par les spores** (technique traditionnelle)

Les premiers essais réalisés au Centre ISTPM de Sète ne donnèrent aucun résultat du fait que, les bassins étant extérieurs au laboratoire, il était impossible de maintenir l'éclairement et la température de l'eau de mer en-dessous des limites critiques.

La plupart des expériences décrites ici ont été faites à la station ISTPM de Bouin (Vendée) où une

serre a été mise à notre disposition. L'eau de mer a été prélevée dans le canal d'alimentation directement relié à l'océan, filtrée d'abord sur une toile de rhovyl, puis par passage à travers une série de filtres en cartouche permettant de retenir les particules de dimension supérieure à 1  $\mu$  m.

En mai, juin et juillet, de nombreuses bases fertiles furent récoltées dans l'étang de Thau. Le choix s'est porté sur les plus sombres et les plus larges, c'est-à-dire les plus riches en spores.

Les bases fertiles étaient soigneusement brossées, rincées dans de l'eau de mer rendue azoïque par ultra-filtration, séparées les unes des autres et disposées pendant 10 à 12 heures sur le sol d'une chambre isothermes à 18° C, au sec et à l'obscurité avec un léger courant d'air provoqué par un ventilateur. Dans ces conditions, l'algue subit un début de déshydratation ; elle devient rêche au toucher et colore l'extrémité des doigts de traînées marrons, signe qu'elle est prête à émettre les spores.

Tout a été mis en œuvre pour que les opérations d'ensemencement aient lieu entre 9 et 10 heures ; c'est, d'après les auteurs coréens, le meilleur moment. Après 11 heures, en effet, la libération des spores est moins intense et pratiquement nulle l'après-midi.

Les bases furent immergées brusquement dans un bassin (dit d'ensemencement) contenant de l'eau de mer filtrée, dans la proportion de 10 kg par m<sup>3</sup>. La remise à l'eau produit un gonflement brusque des tissus végétaux et l'éclatement des sporocystes, ce qui permet la libération des spores. L'eau du bassin a été vigoureusement agitée pendant 20 à 30 mn, ce qui a eu pour conséquence d'accélérer et d'amplifier cette libération.

L'eau, claire au départ, devient progressivement brunâtre en raison de la multitude des spores libérées (ils ont chacun un chromatophore brun) et des substances mucilagineuses exsudées. L'évolution de la quantité des spores nageantes a été suivie par des prélèvements d'eau observés au microscope (grossissement  $\times 100$ ). Pour un ensemencement correct, il faut compter dans le cercle lumineux du microscope, 30 à 40 spores nageantes. Les bases fertiles ne doivent pas être laissées plus de 20 à 30 mn dans le bassin d'ensemencement car la quantité de substances mucilagineuses exsudées deviendrait telle qu'elle provoquerait la mort des spores.

On a procédé aussitôt à l'immersion des collecteurs dans le bassin d'ensemencement. Les cadres ont été disposés verticalement. *Au hasard de leurs déplacements, des spores ont rencontré les cordelettes et s'y sont fixées.* Au bout de 40 à 45 mn, les cadres ont été retirés du premier bassin et placés, toujours en position verticale, dans un autre bassin (bassin de développement) contenant de l'eau de mer filtrée (fig. 6).

Le cycle de reproduction s'est déroulé alors sur la cordelette. Les spores ont germé au bout de 3 à 4 jours en gamétophytes mâles ou femelles qui se sont ramifiés et sont devenus visibles à l'œil nu après la 5<sup>e</sup> semaine sous forme de minuscules points noirs. Il faut en compter 3 à 4 par 10 cm pour que l'ense-

mencement soit considéré comme correct; dix à quinze jours plus tard, ils ont produit des gamètes. La rencontre des gamètes mâles et femelles a donné naissance à des zygotes qui ont germé en autant de plantules. A cette période (juin à septembre), le milieu naturel n'est pas favorable au développement des plantules en raison de la température estivale trop élevée. C'est pourquoi les collecteurs ont dû être maintenus en bassin pendant plus de trois mois (jusqu'en octobre).

De juin à septembre, l'eau des bassins a été changée, d'abord tous les trois jours durant le pre-

essais, il est apparu inutile d'ajouter des sels nutritifs et de provoquer une agitation par bullage car à cette période (juillet-août) ces conditions profitent plus aux diatomés et aux cyanophycées qu'aux germinations d'*Undaria* en phase de latence.

Début septembre, on a enlevé les plaques de polystyrène recouvrant les bacs, la croissance a repris. Fin septembre, les plantules mesuraient 2 à 3 mm de longueur: les cordelettes ont été alors placées en mer.

L'application de la méthode traditionnelle nécessite les conditions suivantes.

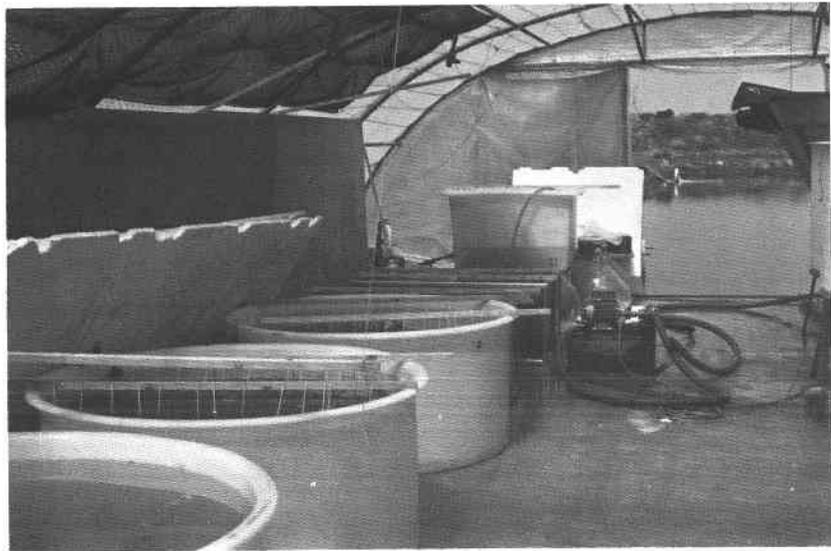


Fig. 6. — Collecteurs disposés verticalement dans les bassins dit « de développement » (40 collecteurs pour 600 litres d'eau de mer à renouveler chaque semaine).

mier mois, puis tous les sept jours. Hebdomadairement, il a fallu débarrasser les cordelettes des épiphytes, des bryozoaires et des mollusques qui s'y fixaient. De plus, il a été nécessaire d'enlever fréquemment avec un pinceau à poils doux la fine couche de sédiment qui se déposait sur les collecteurs et qui risquait d'étouffer les germinations.

On a opéré de façon à ce que les plantules mesurent 1 à 3 mm de longueur à la fin septembre, c'est-à-dire lorsque la température du milieu marin devient propice à l'espèce. Il a donc été nécessaire, pendant tout l'été, de freiner leur croissance sinon elles auraient dépassé rapidement la taille à partir de laquelle elles n'auraient plus accepté les conditions de bassins alors qu'elles n'étaient pas encore en mesure de supporter celles du milieu extérieur; la mortalité aurait été élevée et la production finale faible.

Pour freiner la croissance, on a limité l'éclairage à 500 lux. C'est la raison pour laquelle la serre d'expérimentation a été recouverte d'une toile blanche en rhovyl et chaque bac contenant les collecteurs d'une plaque de polystyrène expansé. Ce niveau d'éclairage a aussi l'avantage de freiner le développement des espèces concurrentes comme *Ulva*, *Enteromorpha*, *Ceramium* ou *Ectocarpus*. Après quelques

- Utiliser de très nombreuses bases fertiles afin d'avoir une quantité suffisante de spores pour un ensemencement correct. Les bases amènent dans le bac d'ensemencement, accolés ou fixés à elles, des éléments reproducteurs d'autres espèces qui se comportent par la suite en compétiteurs vis-à-vis d'*Undaria*, ce qui oblige à de très nombreux nettoyages pour les éliminer. Coûteux en main-d'œuvre, ces nettoyages provoquent l'arrachage et la disparition de nombreuses plantules.

- Il faut transférer fréquemment de grands volumes d'eau qu'il est difficile d'obtenir toujours limpide et azoïque. Ainsi la production maximale n'est jamais atteinte. Le résultat est considéré comme convenable lorsqu'on peut récolter un plant tous les 10 cm de cordage.

- L'émission massive et brusque des spores ne peut être réalisée efficacement que pendant la période de fertilité naturelle de l'algue. Si l'algue les libère peu à peu, la densité en éléments reproducteurs n'est pas suffisante pour ensemen- cer les collecteurs. Or, c'est précisément le problème posé par la plupart des laminariales. Ainsi, l'ensemencement des collecteurs par la méthode traditionnelle ne permet pas économiquement la culture intensive de nos laminaires.

## Ensemencement par zygotes (œufs)

### obtenus en culture contrôlée

En 1982, le Pr HUE de la « Fisheries Research and Development Agency » (République de Corée) a essayé pour la première fois une méthode d'ensemencement des collecteurs avec des zygotes obtenus par « free living ». Elle n'est pas encore employée sur le terrain par les algoculteurs attachés à leurs traditions.

La technique a pu être réalisée en France à partir d'échantillons provenant de l'étang de Thau. Le premier avantage de cette nouvelle technique réside dans le fait qu'il n'est pas besoin de faire appel à de très nombreuses bases : un seul fragment fertile suffit à lancer le processus de production.

### Mise en route du processus

Au cours de cette phase, toutes les manipulations ont été effectuées à 15° C avec l'eau de mer stérilisée par ultrafiltration. Il est capital d'éliminer dès le départ toute trace d'épibiontes (et surtout d'épiphytes) qui risqueraient d'envahir le milieu de culture dès l'adjonction de sels nutritifs. C'est pourquoi le fragment de base fertile est longuement lavé et brossé avec un pinceau à poils doux dans une succession de bains ;

- bain d'eau de mer javelisée à 0,5 % ;
- bain d'eau de mer avec oxyde de germanium (10 ppm) ;
- bains de rinçage en eau de mer azoïque.

Après un léger séchage à l'air doux pendant deux heures, le fragment fertile est mis en agitation magnétique dans un bécher contenant de l'eau de mer fraîche (15° C) préalablement stérilisée. Au



Fig. 7. — Vue au microscope d'une goutte de solution du milieu de « vie libre » : les gamétophytes (4-5 μm de longueur) se développent tout en restant stériles tant que la température est maintenue au-dessus de 21 °C.

cours de cette opération, il faut prendre garde à ce que la température du bain ne s'élève pas : c'est la raison pour laquelle la base du bécher a été entourée de paillettes de glace concassée. Les spores sont en principe libérées au bout de 10 à 15 mn.

L'eau contenant les spores est filtrée à plusieurs reprises à travers un tamis à mailles fines (60 μm) retenant les substances mucilagineuses exsudées par l'algue, substances qui, à la longue, seraient létales pour les spores. On obtient ainsi un filtrat F renfermant les spores nageantes.

Le filtrat F (30 ml) est versé dans un ballon d'un litre rempli d'un milieu nutritif composé :

- d'eau de mer stérilisée
- 2 ml de solution de Miguel A
- 1 ml de solution de Miguel B
- 1 ml de solution de Provasoli type 6.

Au bout de quelques dizaines de secondes, il se forme un précipité cotonneux qui occupe la moitié inférieure du ballon. Ce précipité joue un rôle fondamental. Pour survivre et germer, la spore a besoin de se fixer sur un substrat. Or, il faut éviter qu'elle se fixe sur les parois du ballon sans quoi elle ne pourrait plus être remise en suspension. *On lui offre donc comme substrat les fibres du précipité.* Deux à trois jours après la germination, on établit une agitation par bullage : le précipité se désagrège et les gamétophytes mâles et femelles nés de la germination des spores se trouvent libres dans les courants induits par le bullage d'où le nom : « vie libre » (« free living ») (fig. 7).

### Principe de la « vie libre »

On sait que la plupart des cellules composant le gamétophyte se transformeront en gamètes. Ainsi, plus le gamétophyte aura de cellules, plus la production de gamètes sera élevée et plus on obtiendra à terme de zygotes (= œufs) et de plantules.

Le principe de la « vie libre » consiste ainsi à forcer le gamétophyte à produire beaucoup de cellules tout en l'empêchant de devenir fertile, c'est-à-dire d'émettre des gamètes, car lorsqu'il en émet, la multiplication cellulaire s'estompe.

En d'autres termes, il faut établir les conditions à la fois favorables à la multiplication cellulaire et défavorables à la gamétogénèse. Pour *Undaria* ces conditions sont obtenues pour un éclaircissement de 2 000 lux et une température de 22° C. La température joue le rôle d'inhibiteur principal de la gamétogénèse.

### Multiplication des gamétophytes en « vie libre »

Pour éviter un choc thermique, létalement pour les jeunes gamétophytes, on dispose le ballon contenant la « solution » dans un bain-marie dont la température est élevée de 0,5° C par jour jusqu'à atteindre 22° C. Les gamétophytes se développent alors rapidement et s'allongent démesurément, se ramifient, se cassent en fragments sous l'effet de l'agitation. Chaque fragment s'allonge à son tour, se ramifie, se scinde en brins qui s'accroissent et se fragmentent à leur tour, et ainsi de suite.

### Avantages de la méthode en «vie libre»

La technique de production en «vie libre» constitue un progrès considérable par rapport à la méthode traditionnelle :

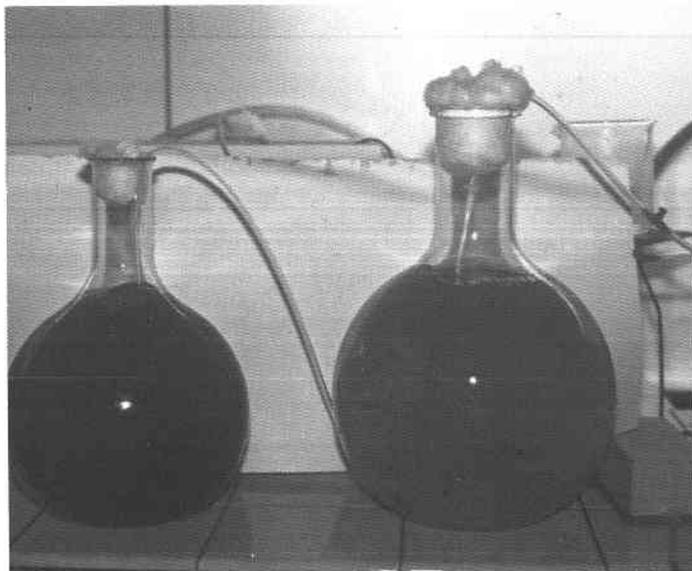
- Il suffit de disposer d'un simple fragment fertile pour lancer la production à volonté de gamétophytes et parvenir à un ensemencement plus intense que celui permis par la méthode classique.

- La dimension du fragment et la modicité des volumes d'eau utilisés permettent de travailler en milieu exempt d'espèces étrangères (axénique) c'est-à-dire que ce milieu ne contient que des gamétophytes et des zygotes d'une seule espèce d'algue : *U. pinnatifida*, à l'exclusion de tout autre compétiteur sérieux, ce qui autorise l'emploi d'engrais pour accélérer la croissance des plantules avant la mise en mer.

- Une fois la production gamétophytes en «vie libre» mise en route, on peut obtenir des gamétophytes à volonté sans limitation de quantité et de durée. Les solutions de vie libre utilisées au laboratoire de Nantes ont été commencées en juin 1983. Elles ont servi à ensemercer des collecteurs en septembre, en décembre et en mars avec la même efficacité.

Grâce à la méthode de production en «vie libre», l'algoculteur n'est plus tributaire de la période de fertilité naturelle de l'espèce. L'ensemencement peut être réalisé à n'importe quel moment ; on choisit bien entendu le plus propice, c'est-à-dire celui où la température de l'eau de mer en milieu naturel est ou devient compatible avec le développement de l'algue.

Enfin, la technique de production en «vie libre» permettrait la culture de la plupart de nos laminaires à destination alimentaire ou industrielle. Bien que ces dernières ne libèrent pas assez de spores pour un ensemencement suffisant des collecteurs, le passage par une phase de multiplication gamétophytique pourrait pallier cet inconvénient. Il reste à déterminer pour chacun les conditions qui induisent la production de «vie libre».



Le contenu du ballon, d'abord clair, s'assombrit au fil des jours à mesure que s'accélère la multiplication des gamétophytes, jusqu'à devenir opaque (fig. 8). On divise alors le contenu du premier ballon dans plusieurs autres ballons ayant reçu la solution nutritive appropriée : le processus de multiplication se poursuit ; les ballons deviennent opaques à leur tour et permettent d'en ensemercer d'autres ; on parvient ainsi à obtenir à volonté de grandes quantités de gamétophytes.

### L'ensemencement des collecteurs

Lorsque les conditions du milieu marin sont devenues favorables au développement de l'algue (octobre), on a procédé à l'ensemencement des collecteurs en trois étapes.

1 - L'éclairement est fixé à 500 lux et la température élevée à 27° C à raison de 0,5° C par jour : la prolifération des gamétophytes s'arrête tandis que leurs cellules acquièrent, en réaction aux nouvelles conditions, des parois épaisses qui les rendent plus

Fig. 8. — *Détail de la technique de production en «vie libre» : le contenu du ballon ayant reçu les spores nageantes devient de plus en plus sombre car la quantité de gamétophytes augmente rapidement (lorsque le contenu sera devenu opaque, il sera temps de l'utiliser pour ensemercer d'autres ballons). A droite : pulvérisation de la «solution» sur un collecteur.*



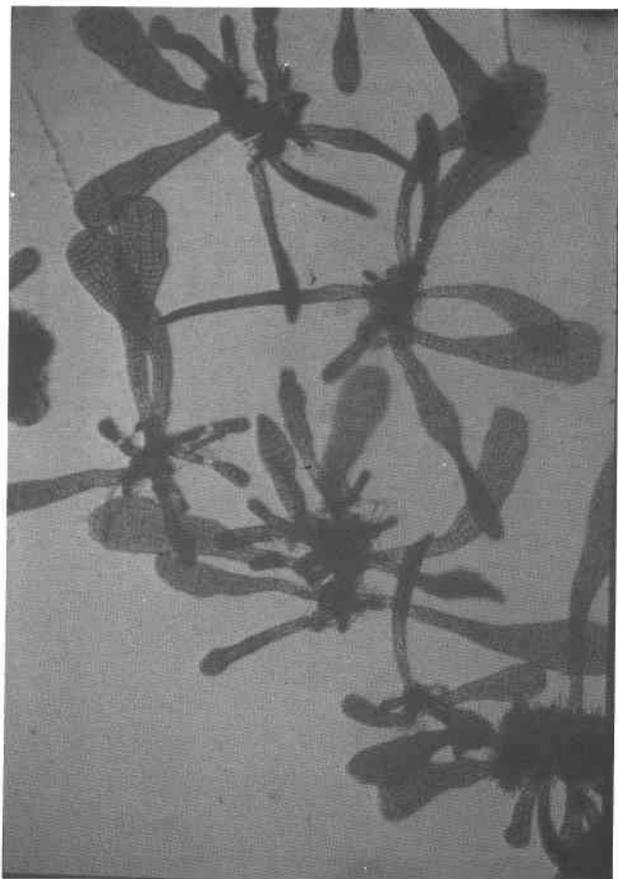
résistantes aux variations de milieu. L'intérêt de cette opération réside dans le fait que les cellules conservent ce caractère par la suite.

2 - On place les ballons contenant les gamétophytes sous 2 600 lux et l'on abaisse la température à 17° C à raison de 0,5° C par jour. Après 15 à 20 jours à 17° C, les gamétophytes émettent des nuages de gamètes mâles ou femelles. La rencontre des deux sexes est favorisée par l'exiguïté du volume et par l'agitation. Il y a ainsi formation d'une multitude de zygotes (on l'estime à  $10^{18}$  par ballon de 6 litres).

3 - La solution est alors pulvérisée sur chacune des faces des collecteurs.

Un courant d'air sous pression arrive perpendiculairement au conduit amenant cette solution : *il disperse et plaque les zygotes sur les cordelettes*. On laisse les collecteurs à l'air pendant 5 à 10 mn, puis on les dispose verticalement dans les aquariums, à intervalle de 2 à 3 cm. Chaque aquarium est alors rempli lentement d'eau de mer filtrée, enrichie en azote (2,5 mg/litre) sous forme de nitrate d'ammonium et de phosphore (0,64 mg/litre) sous forme de phosphate acide de sodium.

Au bout de 2 semaines, de nombreuses plantules, nées du développement des zygotes, mesurant de 3 à 4 mm de longueur, peuplent la cordelette en forte densité, 8 à 10 par cm (fig. 9). La cordelette peut être alors tendue en mer.



## Développement en milieu naturel

Les deux techniques d'ensemencement précédemment décrites ont été testées pour ensemercer des collecteurs. Lorsque, fin septembre, les plantules sont devenues visibles à l'œil nu (2 à 3 mm), les cordelettes sur lesquelles elles étaient fixées ont été déroulées et placées en mer autour de cordages de soutien.

Ces cordages ont été disposés en trois points du littoral atlantique (Bretagne) :

dans l'estuaire de la Rance en amont de l'usine marémotrice, à l'abri des coups de vents ;

à l'île d'Ouessant dans le fond de la baie de Lampaul en zone très battue surtout par vent de suroît ;

à l'île de Groix à l'ouest du port de St-Nicolas en milieu modérément exposé mais avec fort courant.

*Undaria* s'est bien développée dans les trois sites, les frondes mesuraient en moyenne (fig. 10) :

en novembre 20 cm

en décembre 50 cm

en janvier 130 cm

en février 260 cm

en mars 300 cm

La fronde obtenue est plus grande que celle cultivée en Corée (110-120 cm) ou vivant à l'état sauvage dans l'étang de Thau (80-90 cm). A l'embouchure de la Rance, l'inconvénient majeur se situe au niveau de la turbidité de l'eau à chaque ouverture des vannes de l'usine marémotrice. Il a été nécessaire de secouer les cordages de temps en temps pour éviter qu'ils ne soient totalement gainés d'une pellicule de vase qui aurait étouffé les plantules. Les algues cultivées à l'île d'Ouessant ont résisté sans dommage aux fortes houles de décembre et de janvier soulevées par un vent de force 9. La production d'*Undaria* peut donc être réalisée en dehors de zones protégées. Le problème réside, non dans la fixation de l'algue, mais simplement dans la solidité des infrastructures.

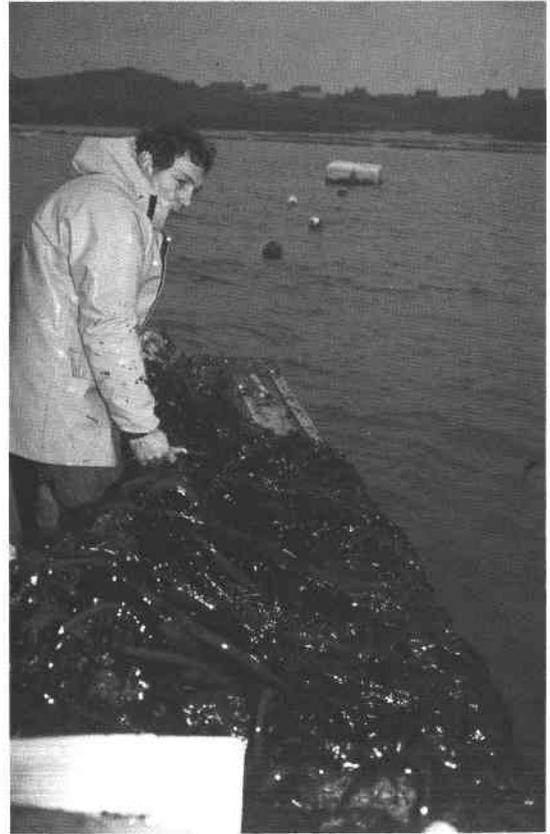
Dans l'ensemble, la répartition des plants est homogène tout au long des cordages. La densité en nombre de pieds par mètre de cordage avoisine 10 dans le cas de l'ensemencement traditionnel, 42 en moyenne en ensemençant selon la nouvelle technique. La concentration ne semblait pas avoir de répercussion sur la taille, l'aspect et la qualité des frondes.

Au moment de la récolte, le thalle pesait entre 450 et 600 g, soit une production par mètre de cordage de 17 kg par la méthode en « vie libre » et 4 kg environ par la méthode traditionnelle. Toutefois, la production et la rentabilité à l'hectare ne peuvent être calculées car de nombreux éléments font encore défaut. Quelle est la distance optimale devant sépa-

Fig 9. — Germinations. La « solution en "vie libre" » est placée dans de bonnes conditions de température et d'éclairage ; taille des plantules 100 μm.



Fig. 10. — Thalles d'*Undaria* fixés sur le cordage de soutien à la mi-février; les plants mesurent en moyenne 225 cm de longueur (poids moyen : 450 g) pour une densité moyenne de 40 individus. Algues au moment de la récolte (fin février) longueur moyenne 270 cm.



rer les cordages? Les plants placés au centre, en principe moins desservis en nutriments, auront-ils une croissance comparable aux plants latéraux? En ce qui concerne Ouessant, ne pourrait-on pas obtenir 2 ou 3 récoltes par an? Dans l'affirmative, il sera nécessaire d'établir la valeur relative de ces récoltes en qualité et en quantité selon la saison.

## Conclusion

La culture de l'algue *Undaria pinnatifida* est devenue possible et intéressante sur nos rivages grâce à une nouvelle méthode d'ensemencements. La semence est produite à volonté, en culture contrôlée totalement, par une technique dénommée en «vie libre» («free living», en anglais). La densité de plants obtenus est tout à fait comparable et même supérieure à ce qui se fait ailleurs. A première vue, la qualité du tissu végétal est excellente. Les analyses devront en apporter la confirmation. Etant donné la qualité des eaux autour des îles (Ouessant, Groix) la valeur alimentaire sera sans doute égale sinon supérieure à celle des *Undaria* importées d'Extrême-Orient.

Les succès obtenus dans la maîtrise de la production de semence et dans la mise en mer ne doivent pas cacher qu'un certain nombre de travaux sont encore à réaliser pour affiner le processus de culture, le rendre plus aisé et plus productif, et préciser la qualité alimentaire et la composition chimique de l'algue selon la saison, le lieu de culture et le mode de conditionnement.

Seule une expérimentation à l'échelle significative (un ou deux hectares) permettra de prendre en compte tous les facteurs et de définir avec précision les perspectives économiques de la culture d'*Undaria* sur nos côtes. L'écloserie à laminariales actuellement en construction fournira la semence nécessaire. Les pêcheurs de l'Union des Coopératives des îles du Ponant installeront les infrastructures marines; l'expérimentation devrait débuter courant 1984.

Sur un plan plus général, puisqu'on réussit à cultiver la laminariale *Undaria* en grande quantité à partir seulement de quelques spores, on devrait parvenir à cultiver aussi les autres laminariales de nos côtes, à vocation alimentaire ou industrielle (*Laminaria saccharina*, *L. japonica*, *Alaria sp.*, *L. digitata* et *L. hyperborea*). L'application du procédé à *Laminaria digitata* et à *Alaria esculenta* tend à le confirmer.

L'obtention, à partir de quelques spores, d'une semence théoriquement en quantité infinie ouvre des perspectives nouvelles et laisse présager la production de semences provenant d'échantillons sélectionnés et, par croisement de ces semences, de lignées hautement prolifiques. Ces lignées pourraient conduire, non seulement à une culture de forte production sur cordages mais aussi à la possibilité de reconstituer les zones littorales dénudées par la surexploitation avec des plants plus performants que les plants sauvages, c'est-à-dire en fait à une amélioration de la productivité des peuplements naturels. ■



*Surveillance par satellite  
du littoral Sud Breton*

L'analyse des clichés pris par le Centre de Météorologie spatiale de Lannion, grâce au satellite NOAA 7, a permis de détecter une couche d'eau superficielle très chaude ( 24° C) s'étendant de la baie de Vilaine vers le nord (cf. photo) début juillet 1983. Cette période correspondait à des phénomènes d'efflorescences phytoplanktoniques généralement corrélés à des conditions météorologiques extrêmes (forte dessalure, puis temps chaud et ensoleillé) favorisant en certain point une stratification des masses d'eau. Sans que l'on puisse établir une relation directe entre le déplacement superficiel de ces eaux chaudes et le développement de *Dinophysis* (algue nicellulaire toxique par l'intermédiaire des coquillages) depuis la Vilaine jusqu'aux Glénans, il est

certain que cette hypothèse ne peut être écartée. Dans ce cadre, le suivi thermique par détection infrarouge peut être un outil très utile dans la prédiction de tels phénomènes. C'est pourquoi, après avoir suivi un stage au CMS Lannion, un technicien du Laboratoire ISTPM « Effets biologiques des nuisances » sera chargé de dépouiller de tels clichés en 1984, sur la même zone, et pendant la période : mai à août.