

Biologie des algues exploitées en Bretagne

par Jean-Yves FLOC'H (*)

LES FUCALES.

Le *Fucus* est sans doute le nom d'algue le plus connu. Historiquement, ce terme a été utilisé à l'origine pour désigner toutes les plantes marines (Dioscoride, premier siècle de notre ère). Au début du XIX^e siècle, TURNER rassemblait encore sous le nom de *Fucus*, des algues brunes certes, mais aussi des vertes et des rouges. Ce n'est qu'en 1845 que le terme générique de *Fucus* fut réservé à certaines Phéophycées en fonction de leurs organes reproducteurs par DECAINE et THURET. L'ordre des Fucales regroupe la plupart des grandes algues brunes qui découvrent à chaque marée basse. Familières des pêcheurs à pied qui traquent la crevette, ce sont ces algues qui constituent le plus souvent le goémon recouvrant les huîtres dans les bourriches... C'est le goémon de rive, récolté depuis des temps immémoriaux, connu en Bretagne sous les noms de « Bizin bosok » : *Fucus vesiculosus* ; « Bizin du » : *Fucus serratus* ; « Bizin moan » : *Ascophyllum nodosum*. Avec le goémon d'épave, mélange d'algues de toutes sortes arrachées par les tempêtes et amoncelées à la côte, ces espèces ont contribué à faire la richesse de la frange cultivée du rivage breton, la « ceinture dorée », célèbre pour ses primeurs venant, à la faveur d'un micro-climat, dans une terre dont la qualité de l'humus a constamment été entretenue par des apports d'algues. Enfants, nous avons pris plaisir à faire claquer en les pressant, les vésicules (aérocytes) du *Fucus vesiculosus* ou de l'*Ascophyllum nodosum*. Chez cette dernière espèce, elles peuvent devenir très grosses et atteindre la taille d'un œuf de pigeon, d'où le nom de « Bizin bosou Bras » attribué à l'algue quelquefois. D'autres fois, on a pu être intrigué par la gelée qui sort des petites massues que l'on écrase entre les doigts, sans se douter qu'il s'agit là des organes sexuels de l'algue. On sait bien que les plantes terrestres se reproduisent par des fleurs et des graines. Mais chez les algues, existe-t-il des mâles et des femelles ? Voilà une question qui reste souvent sans réponse ; rien d'étonnant d'ailleurs car l'utilisation d'un microscope est nécessaire à l'examen des organes reproducteurs de ces végétaux.

C'est grâce au microscope que l'algologue français THURET a pu observer pour la première fois, en 1852, la fécondation du *Fucus*, en mélangeant, dans une goutte d'eau de mer, de la gelée provenant de deux pieds différents. Le microscope le plus simple permet ainsi de voir les petits spermatozoïdes nager autour des

(*) Laboratoire de Physiologie Végétale, Faculté des Sciences - Brest.

volumineuses cellules femelles, puis après la fécondation, de voir les œufs se segmenter en quelques jours et donner naissance à des bébés *Fucus* qui, devenus adultes, porteront eux-mêmes soit des organes mâles, soit des organes femelles. Rien de bien éloigné en somme du cycle de reproduction de l'espèce humaine. En réalité au plan théorique, c'est même exactement le même type de cycle à cette exception près que la fécondation se réalise hors de tout organisme et que l'embryon d'algue est immédiatement autonome. Avec un peu de perspicacité, on arrive à distinguer, à l'œil nu, les pieds mâles des pieds femelles, bien qu'ils aient exactement la même morphologie. Pour que cette distinction soit possible, le *Fucus* ou l'*Ascophyllum* doit cependant avoir atteint sa maturité. Comme la fécondation a lieu dans l'eau de mer, les cellules sexuelles doivent être expulsées de l'algue. Cette expulsion se fait préférentiellement aux heures de la marée basse : les pieds mâles sont reconnaissables à la gelée orange qui recouvre leurs extrémités renflées (réceptacles) ; dans le cas des pieds femelles, cette gelée est d'une teinte plus terne, vert-olivâtre. La gelée orange est constituée de milliers de spermatozoïdes qui n'attendent que la marée montante pour tenter leur chance, la gelée verte est un amas de grosses cellules immobiles qui émettent dans l'eau des substances hormonales dont le rôle est d'attirer les « prétendants ». L'heure de la marée basse commande cette activité et, chose curieuse, les algues, rapportées au laboratoire en vue d'observer la fécondation, conservent ce rythme pendant plusieurs jours.

Il existe, sur nos côtes, plusieurs espèces de Fucales. Toutes ont le même mode de reproduction avec quelques variantes quant à la nature des individus (certains sont hermaphrodites : à la fois mâles et femelles) et à la disposition des organes reproducteurs. La saison de reproduction diffère aussi d'une espèce à l'autre. Ainsi, des pieds fertiles d'*Ascophyllum* se rencontrent dès le mois de janvier ; à la fin avril tous les réceptacles, organes reproducteurs qui étaient initialement en forme de massue, sont vidés de leur contenu et apparaissent flétris et plus ou moins déliquescents ; après avoir rempli leur fonction, ils se détachent de l'algue et partent à la dérive. Par contre, la période de reproduction du *Fucus vesiculosus* est mal connue ; selon les stations, on rencontre des individus fertiles à n'importe quelle saison de l'année. Quant au *Fucus serratus*, il se reproduit surtout en automne.

La croissance de *Fucus vesiculosus* et *Fucus serratus* a été mesurée par KNIGHT et PARKE pour un grand nombre d'échantillons, sur la côte du Devon (Sud de l'Angleterre) et évaluée à un taux moyen d'environ 25 cm par an. En fait, la croissance des Fucales est très variable : en particulier elle est fonction de la saison, de l'âge de l'algue, de son degré de ramification, etc... Il est bien connu d'autre part que ces algues ont des exigences écologiques particulières, parmi lesquelles le rythme immersion-émersion est des plus déterminants : on ne trouve de *Fucus* que dans les mers à marées, ils n'existent pas en Méditerranée sauf en mer Adriatique qui présente une faible marée. Par ailleurs, le degré d'exposition ou d'abri influe également sur la croissance de ces algues : ainsi l'*Ascophyllum* ne pousse que dans les stations abritées. Ce dernier présenterait d'ailleurs la particularité de produire un aérocyste par an, ce qui permet de suivre aisément sa croissance en mesurant la distance qui sépare deux vésicules consécutives. Cette particularité a permis aux Norvégiens (BAARDSETH et PRINTZ) de calculer l'âge de cette algue dont certains pieds atteignent une durée de vie de 20 ans. A la croissance relativement lente de la plupart des

Fucales, s'oppose la croissance rapide de l'une d'elles : *Himanthalia elongata* (en breton : « Linoch » ou « Lasou ») dont les réceptacles seuls peuvent atteindre 4 à 5 m de long en quelques mois. La biologie de cette espèce est d'ailleurs très curieuse par le fait que ce sont les organes reproducteurs qui présentent la plus grande partie du corps de l'algue : ce sont ces longues lanières que l'on voit flotter, à la belle saison, en une ceinture parfois très large et dense, vers le niveau des basses mers, alors que l'appareil végétatif, qui présente la forme d'un petit champignon, ne dépasse pas 2 à 3 cm de haut. Cette algue n'est pas récoltée pour le moment.

La croissance de toutes les Fucales est apicale, c'est-à-dire que ce sont les sommets, zones jeunes, qui assurent, par multiplication de leurs cellules, la croissance en longueur de l'algue. En conséquence, si l'on sectionne ces extrémités, on arrête la croissance inévitablement. Il arrive qu'à l'emplacement de la section les tissus réagissent et, après cicatrisation de la plaie, produisent des repousses. Ces repousses se voient notamment sur les pieds de *Fucus* sous la forme de rosettes de lanières qui prennent naissance au niveau de la nervure et qui ne tardent pas à prendre l'aspect caractéristique de l'espèce. Cette régénération reste cependant hasardeuse, elle dépend de la vigueur de l'hôte et, le plus souvent dans la nature, elle est gênée par d'autres algues, des vertes en particulier qui, vivant en épiphytes, empêchent la régénération de se poursuivre normalement. En fait, si l'on fauche un champ de *Fucus* ou d'*Ascophyllum*, il apparaît que ce sont les jeunes pousses épargnées ou les nouvelles germinations qui assurent l'essentiel du renouvellement, ce qui explique la lenteur de la restauration d'un champ de telles algues, exploité de cette manière.

LES LAMINAIRES.

Les Laminaires sont les plus grandes des algues de nos côtes. Plusieurs espèces portent, en breton, le nom général de « Tali ». Ce sont « Tali moan » : *Laminaria digitata* (= *flexicaulis*) ; « Tali penn » : *Laminaria hyperborea* (= *cloustoni*) ; « Tali leaz » : *Laminaria ochroleuca*. On connaît également « Mantel ridet » : *Laminaria saccharina* ; « Baodrez » : *Saccorhiza polyschides* (= *bulbosa*) ; « Bizin raden » : *Alaria esculenta* (la seule Laminare à nervure).

Seul le *Laminaria digitata* est actuellement récolté pour l'industrie des alginates (*). Jusque vers les années 1960, la récolte des Laminaires se faisait par section du stipe de l'algue ; on sait que l'avènement du « scoubidou » a révolutionné le métier de goémonier (voir ARZEL, ce fascicule), il a aussi bouleversé la méthode de récolte en remplaçant la coupe traditionnelle par l'arrachage. Très tôt, les professionnels se sont inquiétés de l'impact d'une telle méthode sur les champs de Laminaires. A la lumière de ce que l'on savait de la biologie de ces algues, nous avions estimé que cette nouvelle méthode, loin de nuire au renouvellement des champs de Laminaires, favoriserait sans doute l'installation des jeunes germinations, en dégageant les vieux stipes qui, en tout état de cause, ne pouvaient que pourrir sur place (CIAM, 1965). Les vérifications expérimentales réalisées plus tard ont permis d'établir que les deux méthodes donnaient des résultats comparables (PÉREZ, 1969), au moins sur les fonds rocheux. De nos jours, l'arrachage a complètement remplacé la coupe. La biologie des Laminaires est

(*) Les industriels s'intéressent de plus en plus au *L. hyperborea*.

fort différente de celle des *Fucus*. Tout le monde sait qu'elles ne supportent pas de longues émerSIONS, c'est pourquoi elles ne découvrent qu'aux basses mers des grandes marées et encore dans une très faible proportion. Par ailleurs, au lieu d'être apicale comme chez les Fucales, la croissance est intercalaire : les tissus jeunes sont situés à la base de la lame, la zone de croissance se trouve entre le stipe et la lame. En conséquence, deux possibilités sont théoriquement envisageables pour la récolte par coupe :

1) ou bien, on coupe la lame suffisamment haut afin de ménager les zones de multiplication et d'élongation cellulaires situées dans les 20 à 30 premiers centimètres de la lame, et celle-ci peut se régénérer assez rapidement (temps variable selon la quantité de tissu végétal laissée en place) ;

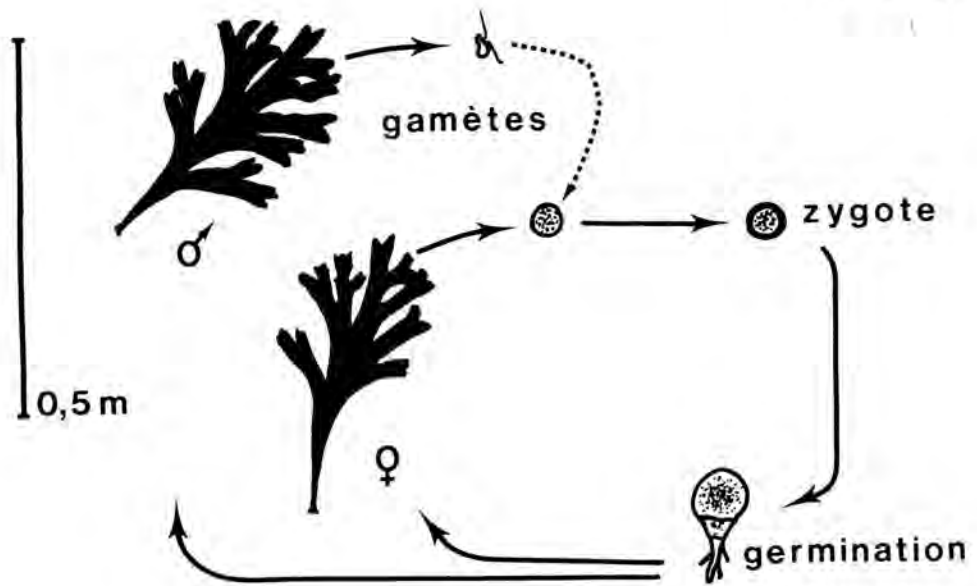
2) ou bien on coupe l'algue au niveau du stipe, en enlevant toute la lame et, en ce cas, aucune régénération n'est possible. Pour des raisons de commodité facilement compréhensible, c'était cette dernière méthode que les goémoniers appliquaient en utilisant la « pigouille ». On comprend pourquoi elle ne présentait aucun avantage sur la méthode de l'arrachage.

L'extension brutale de l'exploitation des Laminaires en Chine, ces dernières années, a été le résultat d'une pratique inspirée des méthodes japonaises de cultures d'algues. Ces méthodes reposent sur l'application de la connaissance du cycle de reproduction des Laminaires afin d'améliorer le rendement de l'ensemencement. Nous ne nous étendrons pas ici sur les méthodes de culture des grandes algues, qui nécessiteraient à elles seules un fascicule particulier. Nous rappellerons seulement quelques particularités du cycle de reproduction des Laminaires dont la connaissance conditionne toute réussite en ce domaine. Contrairement au cycle des Fucales, qui ne comporte qu'une seule génération d'individus (les gamétophytes mâles ou femelles), les Laminaires présentent, dans leur cycle, deux générations successives d'individus très dissemblables : (1) des organismes de grande taille (3-4 m de long), ce sont les sporophytes dont les semences (les spores) germent directement sans fécondation, et (2) des individus microscopiques issus de la germination des spores, petits filaments mâles ou femelles, ce sont les gamétophytes. C'est sur le pied femelle, où a lieu la fécondation, que naît l'embryon. Celui-ci grandit démesurément par rapport à ses parents, pour donner le sporophyte d'où nous sommes partis, et le cycle est bouclé. Ainsi, pour produire la grande Laminare dont on extrait l'algine, il faut obligatoirement que l'algue passe par ce stade, invisible à l'œil nu, dont l'existence a été découverte en 1915 par l'algologue C. SAUVAGEAU. On peut constater aisément l'état de maturité des Laminaires en observant la lame par transparence : les zones fertiles se reconnaissent aux taches sombres réparties diversement selon les espèces. La période de fructification varie d'ailleurs selon les saisons et elle n'est pas la même pour toutes les Laminaires. La longévité de *Laminaria digitata* est de 3-6 ans, celle de *Laminaria hyperborea* de 9-12 ans. Seul le *Saccorhiza polyschides* (espèce non exploitée) est annuel. Sa vitesse de croissance est très rapide puisque cette algue, qui dépasse souvent 5 m de long, peut atteindre 10 m sur nos côtes !

Si la composition chimique des Laminaires est relativement bien connue en raison de l'intérêt économique de ces algues, il n'en est pas de même de leur physiologie : ce n'est qu'au cours de ces deux dernières décennies que les recherches se sont développées en ce sens. Ainsi, on a montré récemment que la croissance

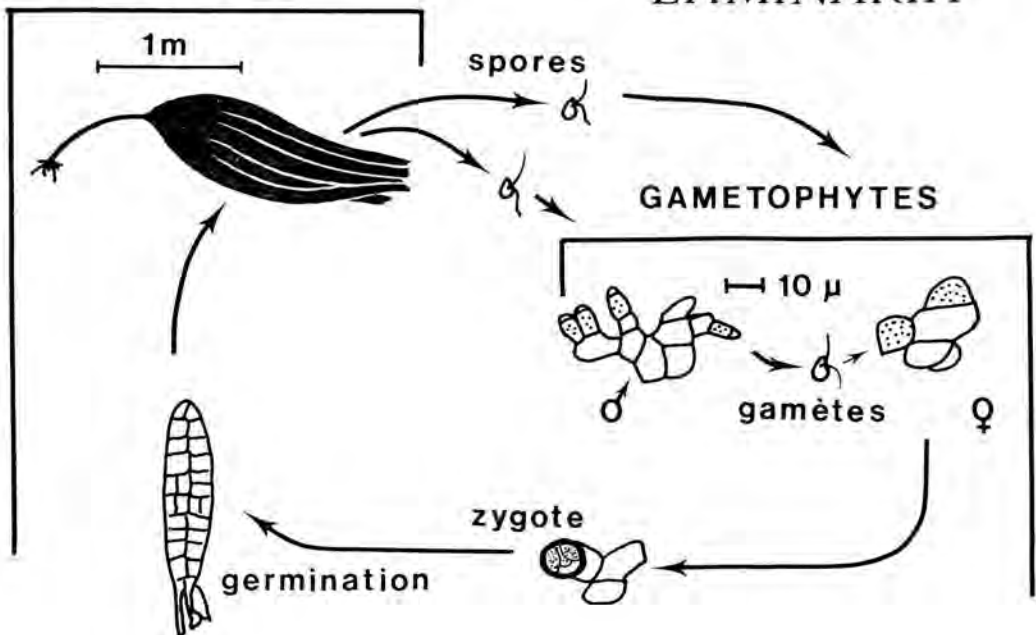
GAMETOPHYTES

FUCUS



SPOROPHYTE

LAMINARIA



CHONDRUS

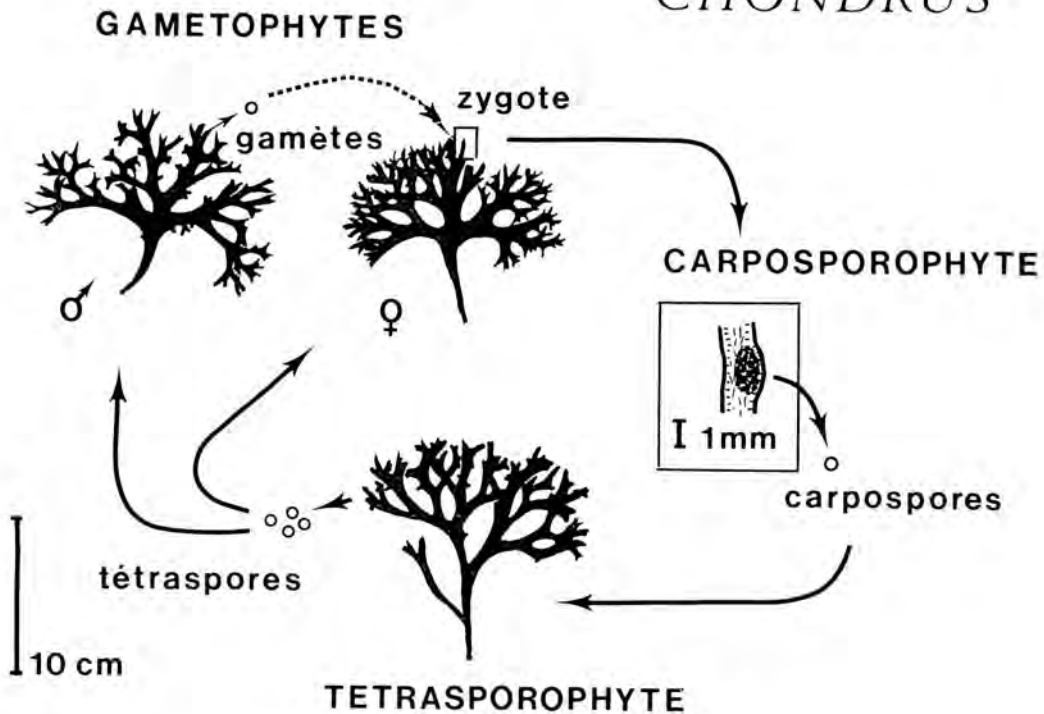


Fig. 1. — Principales étapes des cycles de reproduction des *Fucus*, *Laminaria* et *Chondrus*. La morphologie des différents pieds de *Chondrus* est très variable : il en a été dénombré jusqu'à 35 formes différentes (LAMOUROUX, 1813).

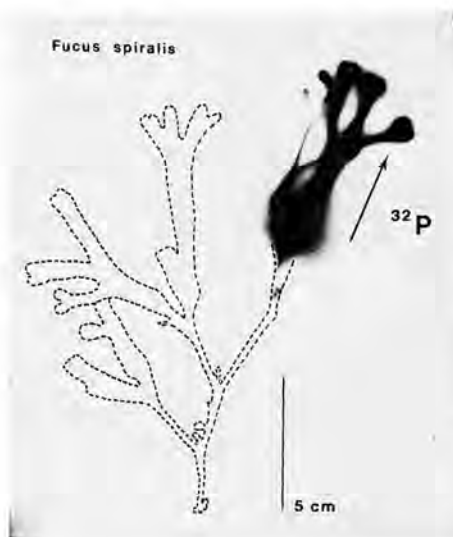


Fig. 2. — Exemple de mise en évidence d'une circulation des substances alimentaires dans le thalle des algues brunes : l'autoradiographie d'un pied de *Fucus spiralis* après apport localisé de phosphore radio-actif, montre (flèche) le sens du déplacement intratissulaire des phosphates vers les zones jeunes en croissance.

et la fructification de ces algues sont soumises à des conditions rigoureuses de température et d'éclairement. On explique par exemple que l'action positive des radiations bleues sur la maturité des gamétophytes et son inhibition par des radiations rouges sont des facteurs déterminants dans l'installation des Laminaires alors que l'on se demande encore quelle peut être l'importance de la photopériode.

Les résultats des études récentes, sur la circulation des substances alimentaires chez les Laminariales et les Fucales, tendent à mettre en cause, chez ces algues, la notion même de « thalle », terme classiquement utilisé pour désigner l'appareil végétatif des Algues et des Champignons. Par définition, un thalle est un végétal qui ne comporte pas de différenciation en racines, tiges, feuilles, bois ou liber. Au vu de la morphologie de beaucoup d'algues brunes et d'algues rouges, cette définition, qui ne fait appel qu'à des considérations négatives par rapport aux plantes dites supérieures, ne paraissait déjà pas satisfaisante : la nervure des *Fucus* ou d'*Alaria* par exemple n'est pas sans rappeler la nervure des feuilles. De plus, certaines cellules des Laminaires ressemblent aux tubes criblés du liber. L'utilisation d'éléments marqués a permis, ces dernières années, de mettre en évidence, chez les Laminariales et chez certaines Fucales, l'existence d'une circulation interne comparable en plusieurs points à la circulation de la sève des plantes terrestres. Cette circulation se fait depuis les tissus âgés vers les tissus jeunes en croissance. Certes, il n'existe pas de vraies racines puisque les algues ne semblent rien puiser dans leur support, mais les tissus âgés jouent le rôle de feuilles exportatrices et les tissus jeunes, bien qu'ils soient aptes à puiser leur nourriture directement dans l'eau de mer, semblent avoir besoin de ce supplément pour assurer correctement leur croissance. Le comportement respectif des deux lames de *Laminaria hyperborea* est exemplaire de ce « transport à longue distance », les nervures des *Fucus* apparaissent des voies conductrices privilégiées. En définitive, il apparaît de plus en plus que la distinction « Cormophytes - Thallophytes », si elle est évidente en ce qui concerne certains aspects de l'appareil reproducteur, l'est moins au vu de la physiologie de ces grandes algues. Nous n'aurions garde, bien sûr, d'oublier que leur métabolisme aboutit cependant à la synthèse de substances propres aux algues (algine, fucoïdane, etc...).

LES RHODOPHYCEES.

L'algue rouge récoltée sur nos côtes en vue d'en extraire le carraghenane est communément appelée « lichen carraghen » (1). Sous ce nom on désigne globalement deux espèces, *Chondrus crispus* et *Gigartina stellata*, qui existent souvent mélangées sur le terrain et qui sont, de ce fait, récoltées sans distinction. Il serait trop long de s'engager ici dans le détail des cycles des algues rouges : typiquement ce cycle comporte trois générations d'individus. Dans le cas du *Chondrus* par exemple, les individus sexués (mâles ou femelles) sont morphologiquement identiques. Les gamètes mâles des algues rouges ne présentent jamais d'appareil cinétique : à l'inverse des spermatozoïdes nageurs des *Fucus* et des Laminaires, ces cellules, appelées spermaties, sont entraînées

(1) Ou « mousse d'Irlande ». Le terme « carrageen » serait le résultat de la contraction de deux mots gaéliques signifiant « rocher aux cheveux rouges ».

passivement par les courants d'eau, vers le gamète femelle. La fécondation a lieu sur le pied femelle. Il en naît un individu qui restera toute sa vie parasite du gamétophyte femelle : c'est un individu constitué seulement d'un amas de cellules, invisible à l'œil nu ; à son tour, il donnera des spores ; cet individu parasite a reçu le nom de carposporophyte et ses semences celui de carpospores. Celles-ci germent et donnent directement naissance à des algues qui, morphologiquement, ne sont pas différentes des pieds mâles et femelles, mais qui, à maturité au lieu de donner des gamètes, produisent des spores (donc asexuées) ; celles-ci sont groupées par quatre, on les appelle des tétraspores et le pied qui les produit un tétrasporophyte : c'est la troisième génération ; en germant, chaque tétraspore donne un pied mâle ou femelle. On voit donc que sans les cellules reproductrices, trois types d'individus peuvent être confondus :

- 1) le gamétophyte mâle ;
- 2) le gamétophyte femelle ;
- 3) le tétrasporophyte.

Or depuis 1973, on a constaté que leur composition chimique est différente et qu'en particulier le carraghénane a des propriétés différentes selon que l'on a affaire à l'un ou à l'autre de ces individus (Mc CANDLESS).

Dans la nature, les différentes catégories de pieds de *Chondrus* sont mélangées et il est bien sûr exclu d'en faire un tri convenable à des fins industrielles à partir des récoltes traditionnelles. C'est pour cette raison, en particulier, que la culture en bassin par multiplication végétative (bouturage) est à l'ordre du jour des préoccupations des industriels concernés. Les cultures d'algues rouges telles que *Porphyra* sont réalisées au Japon empiriquement depuis un siècle, et de manière rationnelle, à grande échelle, depuis que l'algologue britannique K. DREW eût élucidé le problème du cycle de la reproduction de l'algue en 1949. C'est surtout au cours de ces 20 dernières années que divers pays (Canada, Etats-Unis, Chine, Philippines) se sont attaqués sérieusement au problème de la culture de leurs algues. Notre industrie souffre d'avoir négligé cette voie en axant ses efforts sur une tentative d'implantation, sur nos côtes, du *Macrocystis*, algue californienne dite géante, dont les chances de sauver notre industrie des algues seraient, en tout état de cause, plus que problématiques. Au Canada, au contraire, le Conseil National de la Recherche a favorisé très tôt les recherches visant à cultiver le *Chondrus* : dès 1966, une étude prospective d'ensemble était faite sur les possibilités de culture d'algues autochtones, en s'inspirant du modèle japonais. Les sommes importantes (1,3 million de dollars) consacrées par ce pays en 1979, à la culture à grande échelle de *Chondrus crispus*, selon un procédé breveté et agréé, témoignent des résultats positifs obtenus par ses chercheurs, et de l'intérêt soutenu que ce pays trouve dans la culture industrielle de cette algue. Malgré les efforts actuels consentis par la France, il est clair que notre pays accuse, dans ce domaine, un retard considérable. Ce type de recherche mérite d'être encouragé car si, parallèlement, la recherche de produits nouveaux extraits d'algues diverses était valorisée, la possibilité de cultiver les espèces concernées, jugées inintéressantes parce que disponibles en trop faibles quantités dans la nature, en rendrait possible une exploitation contrôlée.