

**ETUDE DE QUELQUES PARAMETRES
ECOLOGIQUES, BIOLOGIQUES ET BIOCHIMIQUES
CHEZ UNE PHEOPHYCEE DES COTES BRETONNES**

LAMINARIA OCHROLEUCA

par Jean-Paul BRAUD

* Ce travail a fait l'objet d'une thèse de doctorat de Spécialité, soutenue le 24 juin 1974, à l'Université d'Aix-Marseille II.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	121
Historique	122
Diagnose	123
CHAPITRE I. — ÉCOLOGIE ET REPARTITION	125
I. Écologie	125
A. <i>Étagement bathymétrique</i>	125
B. <i>Les épibiontes</i>	125
C. <i>Les facteurs influençant l'extension des peuplements</i>	127
1° L'agitation de l'eau	127
2° L'émersion	127
3° Les facteurs terrigènes	127
4° La température	128
5° La salinité	130
6° L'éclairement	130
II. Répartition géographique	130
A. <i>Répartition mondiale</i>	130
B. <i>Répartition sur les côtes françaises de la Manche</i>	132
C. <i>Localisation du champ étudié</i>	136
CHAPITRE II. — CROISSANCE ET REGENERATION	137
I. Préliminaires	137
A. <i>Détermination de l'âge des algues</i>	137
B. <i>Profil de la population étudiée</i>	138
II. Croissance	139
A. <i>Techniques de mesure de la croissance</i>	139
1° Marquage des thalles	139
2° Paramètres permettant d'évaluer la croissance	141
B. <i>Croissance de la lame</i>	141
1° Croissance longitudinale	141
2° Croissance latérale	149

C. <i>Croissance du stipe</i>	153
1° Allongements annuels comparés	153
2° Variation annuelle de la croissance en longueur	155
3° Variation annuelle de la croissance des diamètres supérieur et inférieur ..	157
III. Etude sur la régénération	158
A. <i>Le phénomène de régénération chez les laminaires</i>	158
B. <i>Détermination de la hauteur de coupe</i>	158
C. <i>Intensité de la régénération suivant la période de coupe</i>	160
CHAPITRE III. — ETUDE DE L'ACIDE ALGINIQUE EXTRAIT DE LAMINARIA OCHRÔLEUCA	163
I. Généralités	163
A. <i>Formule et structure de l'acide alginique</i>	163
B. <i>Localisation cellulaire et métabolisme</i>	164
C. <i>Caractéristiques physiques</i>	165
1° Pouvoir rotatoire	165
2° Constante de dissociation	165
3° Poids moléculaire	165
4° Solubilité	165
D. <i>Propriétés et utilisations</i>	165
1° Propriétés	165
2° Utilisations	165
II. Les techniques d'étude	167
A. <i>Séchage des algues avant utilisation</i>	167
B. <i>Extraction et quantification</i>	167
1° Détermination des quantités minimales de réactifs	168
2° Méthode standard	168
C. <i>Mesure de la viscosité</i>	170
D. <i>Pureté de l'acide alginique</i>	171
III. Teneur en acide alginique	171
A. <i>Teneur de l'ensemble de la lame</i>	172
B. <i>Teneur de l'ensemble du stipe</i>	175
C. <i>Teneurs des différentes parties de la lame</i>	176
D. <i>Teneurs des différentes parties du stipe</i>	179
IV. Viscosité de l'acide alginique extrait	181
A. <i>Acide alginique extrait de la lame</i>	181
B. <i>Acide alginique extrait du stipe</i>	182
V. Coloration de l'acide alginique au cours de son extraction	182
A. <i>Oxydation au contact de l'air</i>	182
B. <i>Influence du pH sur la coloration</i>	183

C. <i>Les agents responsables de la coloration</i>	184
1° Mise en évidence	184
2° Localisation au niveau cellulaire	185
D. <i>Les procédés de décoloration</i>	185
1° Les agents décolorants et leurs inconvénients	186
2° La formolisation	186
E. <i>Etude quantitative des composés phénoliques</i>	189
1° Technique de dosage	189
2° Variation saisonnière de la concentration en phénols	190
F. <i>Etude qualitative des composés phénoliques</i>	191
1° Analyse chimique directe	191
2° Analyse par chromatographie	192
CONCLUSION GÉNÉRALE	196
BIBLIOGRAPHIE	198
ANNEXE	201

INTRODUCTION

L'Homme ne s'est que lentement familiarisé avec un milieu qui, s'il apparaissait hostile au premier abord, s'est progressivement révélé comme une réserve de richesses inestimables : la MER.

Pendant fort longtemps, celle-ci n'a été sollicitée que pour l'obtention d'un surcroît de nourriture et l'intérêt s'est donc porté sur les différentes espèces animales susceptibles d'être utilisées. Actuellement, si l'on excepte les expériences spectaculaires de forage sous-marin et les prospections minières, c'est toujours la consommation des produits d'origine animale qui retient l'attention au premier chef.

Le règne végétal occupe pourtant une place primordiale dans le milieu marin et s'il ne suscite pas l'engouement général c'est, sans nul doute, que ses nombreuses utilisations par l'homme demeurent insoupçonnées. Jusqu'à nos jours, le potentiel alimentaire représenté par les algues n'a été considéré, excepté en Asie, que comme un appoint épisodique, en cas de disette par exemple.

Ce sont les agriculteurs qui furent les premiers à s'intéresser réellement aux algues. Depuis des temps immémoriaux, que ce soit en Europe ou aux Amériques, les cultivateurs riverains fument leurs champs avec les algues brunes rejetées à la côte. Le goémon est encore utilisé en agriculture, mais son emploi tend à se restreindre et la majeure partie des algues brunes récoltées est dirigée vers une industrie dont les besoins en matière première sont en constante augmentation.

C'est au début du XVII^e siècle que l'on commence à brûler les algues pour en extraire la « soude de varech » nécessaire à la fabrication du verre. La production de soude restera florissante jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, époque à laquelle on remplacera la « soude naturelle » extraite des algues par la « soude artificielle » extraite du sel marin. Le brûlage des algues connut un renouveau éphémère vers 1830, lorsque les applications de l'iode, provenant des eaux-mères de la soude de varech, se multiplièrent. L'apparition sur le marché de l'iode isolée à partir des nitrates chiliens, sonnera le glas de l'activité des soudiers.

La nutrition du bétail constitue un autre domaine de l'utilisation des algues. Bien que l'on rapporte, depuis quelques centaines d'années, de nombreuses observations sur le « broutage » des algues par les animaux, c'est seulement à partir de la guerre 1914-18 que les expériences de nutrition à base d'algues ont été poussées pour pallier le manque de fourrage. Actuellement, 60 % environ du marché des farines d'algues sont absorbés par l'alimentation du bétail. Ce secteur connaît un regain d'activité dû à l'incorporation de farines dans les produits destinés aux pulvérisations foliaires et aux traitements des arbres fruitiers.

Les colloïdes extraits des algues rouges sont connus au Japon depuis le XVII^e siècle, mais il faut attendre 1883 pour que STANFORD découvre « l'algine » des algues brunes. Cette algine, ou acide alginique, est un polyhexose qui, combiné à différents ions, calcium, sodium, potassium par exemple, trouve de nombreuses applications, depuis l'industrie alimentaire jusqu'à celle des cosmétiques, en passant par les peintures, les textiles, l'industrie pharmaceutique et même l'armement.

Tandis que l'on peut estimer la production mondiale d'acide alginique à 12 800 tonnes pour l'année 1970, la production française s'élevait à environ 1 200 t pour la même période, se classant au 4^e rang mondial.

Quatre espèces de laminaires se développent sur les côtes françaises : *Laminaria digitata* (L.) LAMOUROUX, *L. hyperborea* (GUN.) FOSLIE, *L. saccharina* LAMOUROUX et *L. ochroleuca* DE LA PYLAIE. Seule la première est utilisée pour la production des alginates.

L. hyperborea est négligée à cause de son stipe coriace qui pose des problèmes de broyage et parce que l'acide alginique obtenu est fortement coloré, contrairement à celui provenant de *L. digitata*. L'absence de coloration est, en effet, un des principaux critères de qualité pour les alginates. *L. saccharina* renferme un acide alginique incolore, mais possédant en revanche un faible pouvoir épaississant, ce qui est un facteur rédhibitoire pour l'utilisation industrielle.

Par contre, *L. ochroleuca* n'a pas été utilisée jusqu'à présent car elle constituait des populations jugées trop faibles pour supporter une exploitation. Or, depuis une dizaine d'années, cette algue semble élargir son aire de distribution et former des peuplements purs, d'étendues appréciables, au détriment de *L. hyperborea* et même parfois de *L. digitata*. En dehors de ce critère de densité, il n'existe pratiquement aucun point de repère permettant de situer l'intérêt économique de cette algue par rapport à celui des autres laminaires.

Nous avons donc entrepris l'étude de *L. ochroleuca* pour essayer de définir sa valeur sur le plan de l'exploitation. Dans ce but, le travail a été divisé en deux parties. La première porte sur la biologie de l'algue, la seconde consiste en une évaluation qualitative et quantitative de l'acide alginique extrait.

Après la détermination des principaux facteurs écologiques conditionnant la vie et la distribution de *L. ochroleuca*, le travail s'est poursuivi par l'étude de la croissance de l'algue au cours de l'année, pour les différentes classes d'âge, au moyen de plusieurs paramètres : longueur, largeur et croissance de la lame ; longueur, diamètres et croissance du stipe. Des essais de régénération ont également été menés afin de préciser les réactions de l'algue devant la coupe de la lame à une hauteur déterminée, cette opération pouvant constituer une forme d'exploitation.

Parallèlement à ces travaux axés sur la biologie, des observations ont porté sur la teneur en acide alginique en fonction des saisons, ceci pour différents niveaux de la lame, et sur l'évolution de la qualité de l'acide alginique extrait par la mesure de son pouvoir épaississant et de son degré de coloration.

Enfin, après la mise en évidence des agents provoquant la coloration de l'alginate, l'élaboration d'une méthode permettant d'obtenir un acide alginique incolore a été tentée.

Au cours de ces investigations, il sera souvent fait référence aux résultats obtenus sur *L. digitata*, celle-ci servant en quelque sorte d'étalon pour tout ce qui se rapporte à l'exploitation des algues brunes par l'industrie française des alginates.

Ce travail n'a donc pas la prétention d'être une étude exhaustive de *L. ochroleuca*, mais se veut uniquement un élément d'appréciation dans le cadre de l'évaluation des ressources exploitables des côtes bretonnes.

Historique.

C'est DE LA PYLAIE qui, en 1822, remarque l'algue pour la première fois lors d'une excursion à l'île de Sein où elle est connue des habitants sous le nom de « Kalkon melen », c'est-à-dire algue jaune. Il en donne une diagnose succincte mais suffisante pour la différencier des autres laminaires des côtes de Bretagne, en précisant notamment la couleur de la fronde en ces termes : « *Pallentilutescentibus subolivaceis ad frondis originum albetibus* ». Afin de traduire cette couleur particulière, il attribue à l'algue le nom de *Laminaria ochroleuca*.

Toutefois, cette algue n'est plus signalée pendant près de cent ans. Il y a tout lieu de penser qu'elle est alors confondue avec les deux autres laminaires digitées de nos côtes, elles-mêmes réunies en une espèce unique jusqu'en 1854, date à laquelle LE JOLIS opère une première division. Il est également possible que ce silence soit dû à la position bathymétrique occupée par l'algue, celle-ci n'émergeant qu'aux marées de très fort coefficient.

En 1916, SAUVAGEAU herborisant dans la région de Roscoff, récolte une laminaire caractérisée par une teinte blanchâtre, un stipe lisse et la présence de canaux mucifères. Il la considère comme une espèce nouvelle et la décrit sous le nom de *Laminaria lejolisii*. Dans une note publiée en 1918 il signale cependant la possible antériorité de la dénomination *L. ochroleuca*, donnée par DE LA PYLAIE, sans toutefois conclure à l'identité des deux spécimens récoltés.

LAPICQUE suggère, en 1931, l'identité de *L. ochroleuca* et de *L. lejolisii* avec cependant quelques réserves. Il fonde son argumentation sur la récolte de spécimens, d'abord dans l'archipel de Bréhat, puis à Banalec et Argenton, ces deux dernières stations étant intermédiaires entre celle reconnue par DE LA PYLAIE et celle de SAUVAGEAU. Du fait de la proximité relative de ces différents points d'échantillonnage, LAPICQUE rejette l'hypothèse de deux espèces distinctes présentant, à de si courtes distances, le même faciès remarquable.

En 1936, HAMEL met un point final à la polémique en constatant la grande abondance de *L. ochroleuca* à l'île de Sein où celle-ci forme de véritables champs et est toujours connue des goémoniers sous le vocable de « Kalkon melen ». Il rapproche ces échantillons de ceux qu'il avait prélevés à Ouessant en 1926 et consolide définitivement l'hypothèse de LAPICQUE sur la synonymie de *L. ochroleuca* DE LA PYLAIE et *L. lejolisii* SAUVAGEAU.

Diagnose de l'algue.

Synonymes.

L. ochroleuca DE LA PYLAIE = *L. lejolisii* SAUVAGEAU = *L. iberica* LAMI.



FIG. 1. — Sporophyte de *Laminaria ochroleuca* âgé de 3 ans. On remarquera la teinte de la zone de croissance qui est plus claire que celle du reste de la lame.

Noms vernaculaires (LE BERRE, 1964).

« Kalkon melen » (île de Sein), « Tali bambou » (archipel de Molène) ;

« Tali bour » (Portsall, Porspoder), « Tali laez » (Le Conquet, archipel de Molène).

Laminaria ochroleuca appartient à l'embranchement des Phéophycophytes, classe des Phéophycées, ordre des Laminariales, famille des Laminariacées.

Elle peut être rapprochée, en première approximation, des deux autres laminaires digitées croissant sur les côtes de la Manche, *L. digitata* et *L. hyperborea*. Néanmoins, elle s'en distingue aisément par sa pigmentation particulière jauneverdâtre qui tranche sur le brun foncé des autres laminaires. La couleur de la zone de croissance (zone méristématique stipo-frondale) est plus claire que celle du reste de la fronde et tend franchement vers le jaune. Nous avons pu cependant noter que la teinte de la lame, à laquelle se réfèrent généralement les auteurs pour la distinguer, n'est pas constante et varie notablement avec les saisons.

En effet, à la fin de l'automne et en hiver, la coloration caractéristique se trouve uniquement localisée à la zone stipo-frondale, la lame prenant une teinte brun-olive. Vers mars-avril, la couleur de la zone de croissance gagne progressivement la fronde pour en envahir la totalité à la fin du printemps et au début de l'été. Il faut cependant remarquer que la zone stipo-frondale conserve,

quelle que soit la saison, un ton plus clair que celui du reste de la lame, allant du vert-jaune en hiver jusqu'à un jaune franc pendant la période estivale.

La lame est constituée à la base d'une partie indivise, longue d'une dizaine de centimètres environ, puis elle se découpe en de nombreuses lanières qui se disposent en éventail (fig. 1). Sur ces lanières, on distingue des taches brunes, irrégulières, qui représentent les sores.

Chez *L. ochroleuca*, les zones reproductrices prennent naissance vers le milieu de la lame pour gagner ensuite les extrémités, contrairement aux autres laminaires chez lesquelles les sores se développent à partir des extrémités distales. La base de la lame est souvent attaquée par un gastéropode, *Patina pellucida*, qui s'incruste dans l'épaisseur de la zone méristématique ; on le trouve plus rarement sur les lanières.

Le stipe est cylindro-conique, de couleur jaune-grisâtre. Il s'unit brusquement à la lame sans présenter de zone de transition marquée, comme c'est le cas pour *L. digitata*. Il est en outre flexible, lisse et dépourvu d'épiphytes. Une coupe transversale dans le stipe montre la présence de deux rangées de canaux mucifères : une rangée externe à la limite du méristoderme, l'autre dans la région corticale externe. Le stipe peut atteindre une longueur approchant deux mètres chez les individus les plus âgés ; le diamètre inférieur mesure alors de 3 à 5 centimètres, le diamètre supérieur atteignant seulement un centimètre.

L'algue est fixée au substratum par un crampon, en forme de cône inversé, comportant de nombreux rangs d'haptères plus ramifiés et plus gros que ceux de *L. hyperborea*. Périodiquement, un nouveau rang prend naissance à partir d'un bourrelet qui se développe à un centimètre environ au-dessus du précédent.

CHAPITRE I

ÉCOLOGIE ET RÉPARTITION

I. - *Ecologie.*

A. Etagement bathymétrique.

Sur les côtes bretonnes, on rencontre *L. ochroleuca* depuis les fonds ne découvrant jamais (associée à *L. hyperborea* et *Saccorhiza bulbosa* DE LA PYLAÏE) jusqu'au niveau de *L. digitata*.

La position des peuplements varie notablement suivant les régions considérées. Sur les rives espagnoles, DONZE (1968) note la présence de *L. ochroleuca* à une profondeur moyenne de 15 m, tandis que JOHN (1971) l'a trouvée jusqu'à 25 m. PERES (1967) rapporte l'existence d'une véritable forêt de *L. ochroleuca* par 40 m de fond, en mer d'Alboran. Dans le détroit de Messine, GIACCONE (1969) a découvert cette algue par 85 m, tandis que FREDJ et GIERMAN (communication personnelle) l'ont observée de — 50 à — 110 m lors d'une plongée en SP 300.

Pour ce qui est de la Manche, la majeure partie des champs se concentre entre 3 et 5 m de fond (DRACH, 1951). Seule une faible partie des peuplements émerge aux basses mers de vive-eau (B.M.V.E.), la majorité restant continuellement immergée. La figure 2 illustre, mieux que ne saurait le faire de longues explications, l'emplacement de *L. ochroleuca* par rapport aux ceintures algales caractéristiques et indique les espèces commensales de cette laminaire.

Bien que les cuvettes qui retiennent l'eau à basse mer constituent un biotope bien particulier et ne doivent pas entrer en ligne de compte lors d'une étude de répartition bathymétrique, il faut cependant y noter la présence de *L. ochroleuca* au niveau du *Fucus spiralis* LINNÉ.

Nous reviendrons sur cette particularité dans le paragraphe consacré aux facteurs influençant l'extension des peuplements.

B. Les épibiontes.

Il n'entre pas dans nos intentions de faire ici un inventaire exhaustif des épibiontes de la laminaire considérée, aussi sera-t-il limité aux espèces les plus remarquables.

Sur la fronde, on peut noter la présence de deux gastéropodes, *Trochocochlea crassa* et *Patina pellucida*, ce dernier étant assez caractéristique des frondes de laminaires dont il se nourrit. Il montre une préférence marquée pour les tissus plus charnus de la zone méristématique, où il s'installe parfois en si grand nombre qu'il arrive à former des colonies de plusieurs centimètres carrés. Il n'est pas rare d'observer des frondes réduites à l'état de dentelle par cet animal. Vers les mois de mai-juin, on voit apparaître des touffes d'*Ectocarpus confervoides* et parfois même des thalles d'*Enteromorpha* sp. Nous avons pu remarquer que les épiphytes recouvrent préférentiellement les thalles les plus âgés, voire en début de dégénérescence; l'épiphytisme est rare chez les jeunes thalles. La fronde sert aussi de support à des ascidies coloniales telles que *Botryllus schlosseri*.

Le stipe est généralement dépourvu d'épibiontes sauf en zone de croissance où l'on peut retrouver *Patina pellucida*. Par l'enchevêtrement de ses nombreux haptères, le crampon constitue un support particulièrement favorable aux épibiontes. On y découvre, en effet, de nombreux hydraires (*Sertularia operculata* et *Halicornaria montagui*), des éponges (*Adocia simulans*), des bryozoaires (*Membranipora membranacea*), des crustacés (*Balanus improvisus*) et des algues calcaires du genre *Melobesia*.

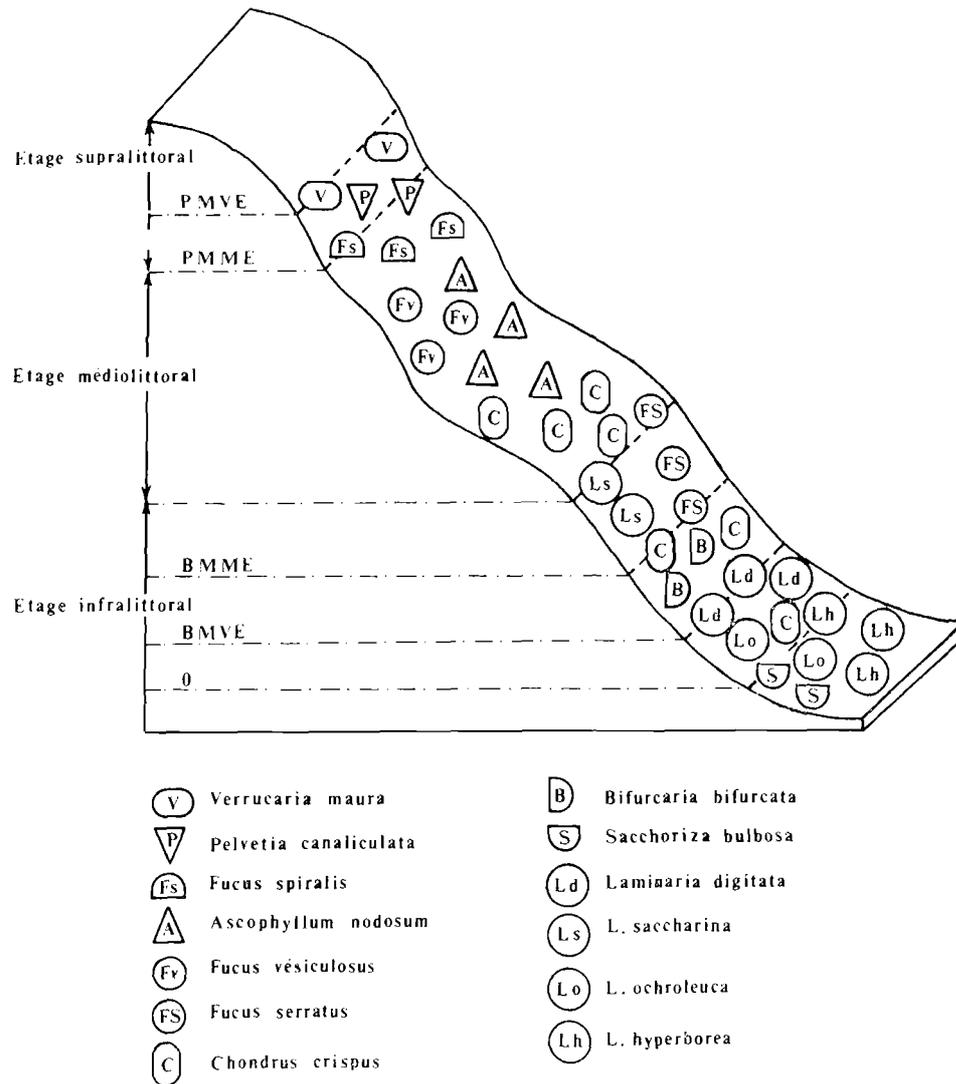


FIG. 2. — Etagement bathymétrique des végétaux marins sur les côtes septentrionales de la Bretagne (mode abrité).

Cette rapide énumération donne une idée de la diversité spécifique des épibiontes de *L. ochroleuca* et illustre bien le rôle important que jouent les laminaires dans le biotope, en augmentant considérablement la surface utilisable par le benthos.

Nous rappellerons, pour mémoire, trois autres aspects de l'influence des laminaires dans la vie marine.

a) Au moment de l'exondation, les frondes étalées sur le substrat constituent des abris permettant à différents organismes de mieux résister à l'insolation et à la dessiccation.

b) Le port dressé de ces algues induit, sous les lames, une strate de peuplements sciaphiles.

c) L'ensemble des thalles forme, au même titre que les herbiers de phanérogames marines, un refuge pour les animaux fuyant les prédateurs.

C. Les facteurs influençant l'extension des peuplements.

1) L'agitation de l'eau.

En parcourant le rivage, lors d'une grande marée de vive-eau, on constate que la frange supérieure des peuplements de *L. ochroleuca* est uniquement visible dans les sites protégés de l'action directe de la houle tels que les chenaux inter-îles, la face sous le vent des îles et îlots ou les criques. L'algue existe également dans les zones d'agitation moyenne mais, dans ces conditions, les thalles sont groupés plus profondément et n'émergent jamais. L'espèce se mêle alors à *L. hyperborea* et peut constituer de 10 à 50 % de la population (DRACH, 1951). Il a cependant été observé, au cours de la cartographie des champs de laminaires, des peuplements profonds de *L. ochroleuca* parfaitement purs. Dans les milieux très agités, l'algue laisse généralement la place à *L. hyperborea*. Selon le mode d'agitation, on observe donc différents aspects de peuplement.

En mode calme, les champs de *L. ochroleuca* sont limités à leur partie supérieure par *L. digitata* et, à leur partie inférieure, par *L. hyperborea*. La limite la plus haute du champ est alors visible aux B.M.V.E. (basses mers de vive-eau).

En mode moyennement agité, l'extension bathymétrique de l'algue est réduite par le haut et les thalles n'émergent pas aux B.M.V.E.

En mode battu, les populations de *L. ochroleuca* sont le plus souvent réduites à quelques thalles disséminés parmi ceux de *L. hyperborea*, voire complètement inexistantes.

2) L'émersion.

L'agitation de l'eau semble ne pas être le seul facteur limitant l'extension verticale de *L. ochroleuca*, car cette dernière supporte également fort mal l'émersion. Le fait que la lame soit plus mince que celle de *L. digitata*, par exemple, et que le port dressé empêche la réhumectation de la fronde par le substrat, concourent à augmenter le degré de déshydratation de l'algue ; il est fréquent d'observer, au cours des B.M.V.E., des frondes flottant au vent comme du linge mis à sécher.

Il faut aussi noter que lorsque l'exondation se prolonge au-delà d'une demi-heure, l'algue exsude un abondant mucus qui recouvre toute sa surface et qui est vraisemblablement destiné à ralentir le phénomène d'évaporation.

Il semble donc que l'émersion et l'agitation de l'eau agissent conjointement pour fixer la limite supérieure de peuplement. A ce niveau, les thalles n'émergent jamais plus de 45 minutes aux B.M.V.E.

3) Les facteurs terrigènes.

LAMI (1943) pense que l'absence de *L. ochroleuca* dans le golfe de Saint-Malo (fig. 3) est due à l'influence néfaste des apports terrigènes, les algues se réfugiant dans des aires proches de l'isobathe des 50 m.

La masse d'eau, peu profonde, est seulement brassée par les courants de marée car ceux-ci n'ont pas le temps d'entraîner cette eau vers le large avant leur renversement. En consultant la carte des courants de la Manche, on voit que le littoral du Finistère, celui des Côtes-du-Nord et de la partie des îles tournée vers le large, sont soumis à des courants qui amènent des eaux pures océaniques ; on y rencontre effectivement des populations de *L. ochroleuca*.

Si cette hypothèse fournit une explication séduisante de l'absence de *L. ochroleuca* dans le golfe de Saint-Malo, son domaine de validité reste, semble-t-il, à déterminer. En effet, FLOCH (1967) rapporte la présence de *L. ochroleuca* dans des zones où les apports terrigènes sont sensibles, telles que la rade de Brest, l'anse de Pors Liogan, le nord de la presqu'île de Kermovan. Nous avons pu observer, nous-même, cette algue assez profondément enfoncée dans l'estuaire de la Penzé (rivière de Morlaix).

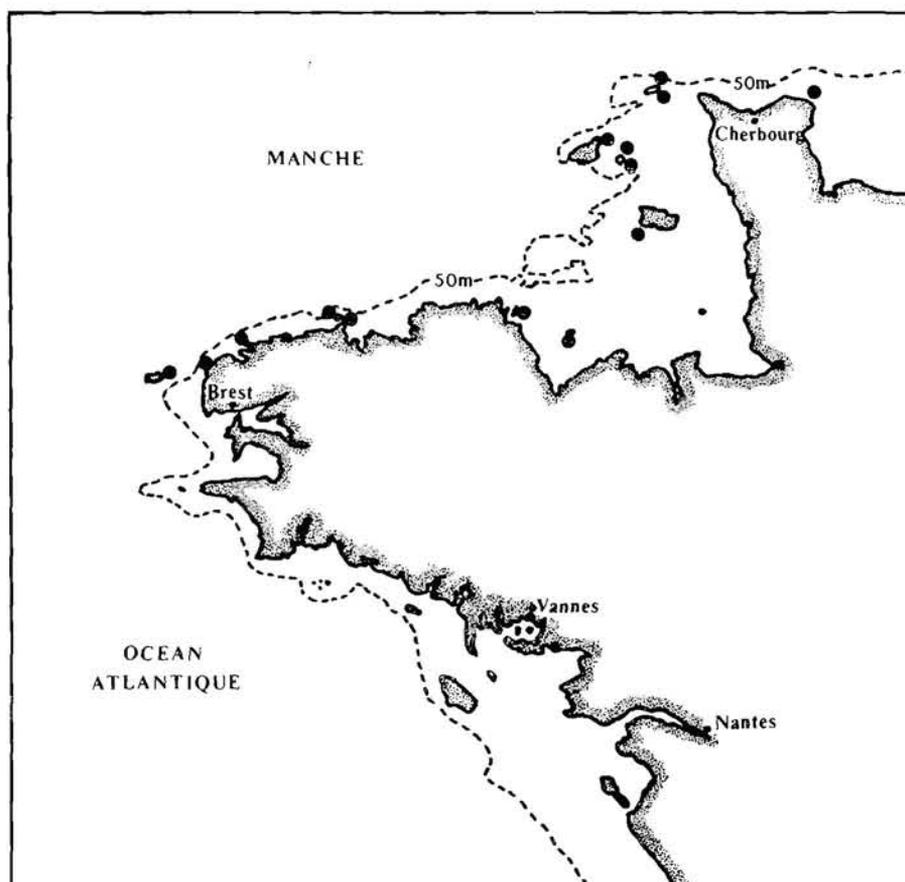


FIG. 3. — Emplacement des stations connues de *L. ochroleuca* sur les côtes françaises de la Manche et de l'Atlantique (d'après LAMÉ, 1943).

Les apports terrigènes ne paraissent donc pas constituer un obstacle majeur à la présence de *L. ochroleuca*. Cependant, dans le cadre limité de cette étude, il est difficile de se prononcer car l'écologie d'une algue est la résultante de l'action de nombreux facteurs dont certains sont difficilement appréciables.

4) La température.

Si l'on prend les deux points limites de l'aire de répartition géographique de *L. ochroleuca* (fig. 4), on note les températures moyennes de 10 °C pour les eaux de la Manche en février et de 22 °C pour les côtes du Maroc au mois d'août (SVERDRUP, JOHNSON et FLEMING, 1962).

Cette large fourchette de température indique que l'algue est relativement eurhythme. Une autre preuve de cette qualité est fournie par le cas des cuvettes médiolittorales dans lesquelles la laminaire est soumise à des écarts de température importants, qui ne semblent pas l'affecter.

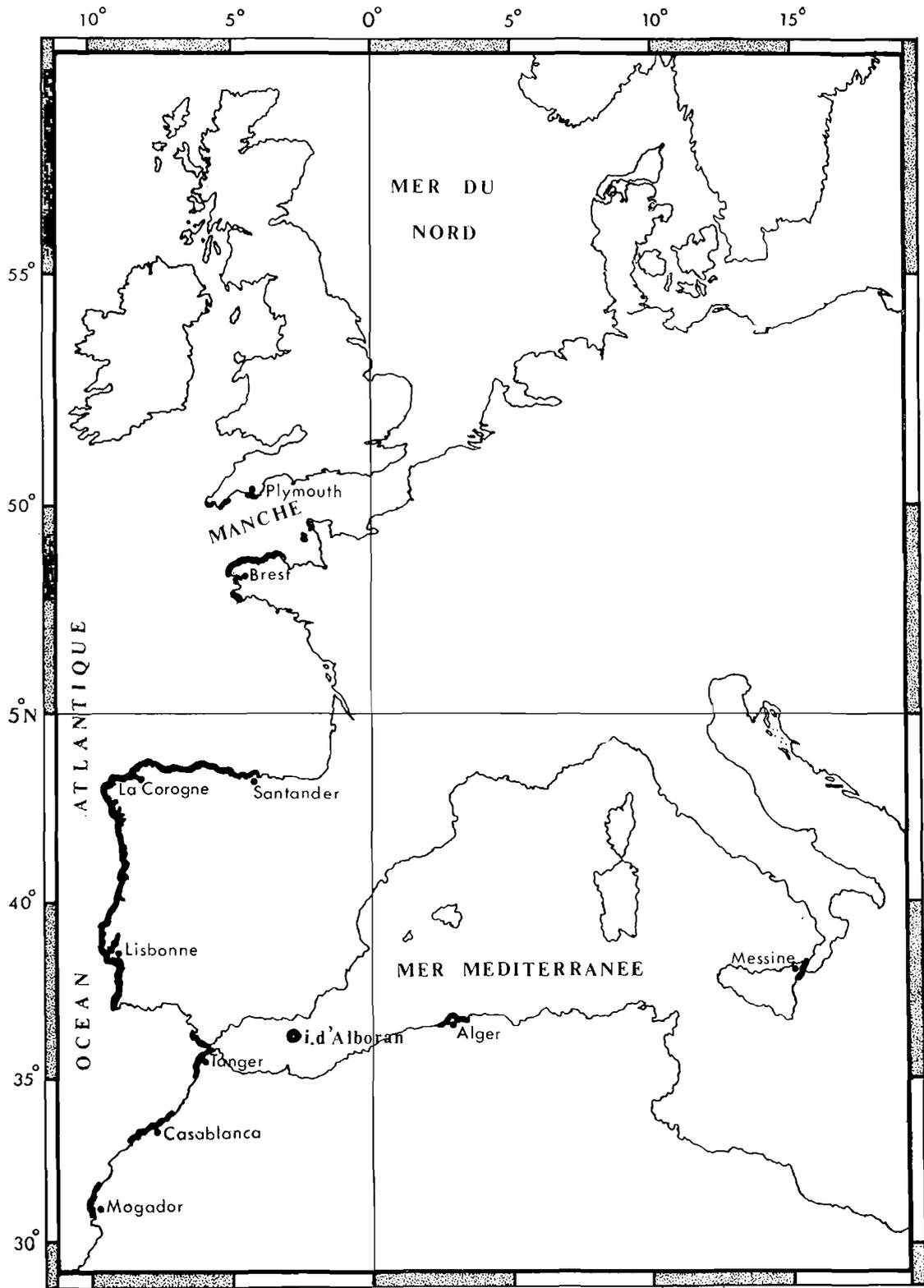


FIG. 4. — Répartition mondiale de *Laminaria ochroleuca*.

Il faut cependant remarquer, en toute rigueur, que ces cuvettes sont parcourues par un léger courant, car elles présentent la particularité d'être en communication avec une dépression de faible profondeur (quelques dizaines de centimètres), mais de grande étendue. Ce bassin se vide lentement pendant toute la durée de la basse mer et entretient un léger courant d'eau dans les cuvettes, qui maintient la température et la salinité dans des limites acceptables par *L. ochroleuca*. Nous n'avons jamais observé l'algue dans des systèmes de cuvettes closes.

5) *La salinité.*

D'une façon générale, les algues pluricellulaires tolèrent assez bien les fluctuations de salinité, tant que la gamme de variation n'est pas trop étendue. *L. ochroleuca* n'échappe pas à la règle puisqu'on la retrouve aussi bien dans les zones d'estuaires que dans les cuvettes de l'étage médio-littoral, avec toutefois les réserves faites au paragraphe précédent.

6) *L'éclairement.*

C'est un des facteurs les plus importants dans la répartition des algues, puisqu'il touche à l'essence même de leur métabolisme. *L. ochroleuca* semble particulièrement tolérante à cet égard, car on la retrouve depuis le niveau 0, sur les côtes de la Manche, jusqu'à 110 m de profondeur dans le détroit de Messine.

PERES soulignait déjà, en 1967, le caractère euryphotique de cette laminaire, en notant que, dans la mer d'Alboran, les jeunes individus se fixent à l'ombre des thalles plus grands, eux-mêmes fixés par 40 m de fond, dans une pénombre qui règne normalement vers 70 m de profondeur.

L'éclairement joue un rôle déterminant dans l'extension des populations vers la profondeur, celle-ci ne pouvant dépasser le niveau de compensation correspondant à l'équilibre entre l'anabolisme et le catabolisme. Cette profondeur de compensation s'établit à environ 18 m pour la Manche, 25 m pour les côtes espagnoles, 40 m en mer d'Alboran et 110 m dans les conditions particulières du détroit de Messine.

Cette étude du biotope a été volontairement limitée aux quelques aspects principaux qui permettent de replacer *L. ochroleuca* dans son contexte floristique. Les quelques points traités n'ont pour objet que de permettre une meilleure compréhension de l'ensemble de l'étude et notamment de la partie traitant de la répartition géographique de l'algue.

II. - Répartition géographique.

A. Répartition mondiale.

Le domaine de *L. ochroleuca* s'étend entre 31° et 50° de latitude nord (fig. 4). Pour ce qui est de la localisation de l'algue à l'intérieur de cette vaste zone, les travaux de repérage systématique sont assez rares et on ne peut se baser, la plupart du temps, que sur des reconnaissances ponctuelles.

La limite septentrionale de l'aire de répartition géographique se situe sur les côtes sud de l'Angleterre. C'est PARKE qui, en 1948, observe pour la première fois *L. ochroleuca* sur les côtes anglaises, dans la baie de Plymouth. SPOONER (1951) retrouve l'algue dans les estuaires de Salcombe et de la rivière Helford. JOHN (1969) repère de nouvelles stations mais remarque que la répartition est très discontinue, l'algue se localisant uniquement dans les endroits les plus abrités. La compétition avec *L. hyperborea*, espèce plus nordique, apparaît également comme un facteur limitant l'extension de *L. ochroleuca* vers le nord.

Sur les côtes françaises, l'algue est découverte pour la première fois par DE LA PYLAIE (1824) à l'île de Sein. Par la suite, elle sera récoltée à Roscoff (SAUVAGEAU, 1916), à Ouessant (HAMEL, 1931), dans l'archipel de Bréhat (LAPICQUE, 1931). Les observations iront en se multipliant et l'on délimitera l'aire de répartition par la presqu'île du Cotentin d'une part et l'île de Sein d'autre part.

La cartographie des champs d'algues brunes, entreprise en juillet 1973 dans le Finistère sud par l'équipe de l'I.S.T.P.M., permet de repousser la frontière méridionale de l'aire de distribution jusqu'à la pointe de Trévignon. Des champs fournis s'étendent en effet entre cette pointe et le port de Penmarc'h, de nombreux îlots facilitant l'extension de *L. ochroleuca*.

Cette nouvelle limite n'est que provisoire et sera peut-être déplacée à la suite de prochaines investigations. Quoi qu'il en soit, ces études montrent que l'on a affaire, comme sur les côtes anglaises, à un peuplement discontinu.

L'algue semble absente de la portion de côte atlantique comprise entre la pointe de Trévignon et la frontière espagnole. LANCELOT (1961) a mené des recherches sur la végétation marine entre la Loire et la Gironde et il ne signale pas *L. ochroleuca*, bien qu'il ait prospecté l'étage infralittoral jusqu'au niveau de *L. hyperborea*.

Il faut donc atteindre la côte cantabrique pour retrouver la laminaire. Cette lacune de plusieurs centaines de kilomètres n'a pas encore trouvé d'explication satisfaisante, mais la cartographie des champs d'algues brunes apportera peut-être quelques éléments de réponse.

D'après SEOANE-CAMBA (1966), on rencontre l'algue sur les côtes de la péninsule Ibérique, depuis la région de Santander jusqu'au cap Saint-Vincent au Portugal. Elle est la plus représentée des laminaires de cette région et la zone d'abondance maximale correspond à l'angle NO de l'Espagne (région de La Corogne). En partant de ce point et en se dirigeant d'une part vers l'est et d'autre part vers le sud, on remarque une diminution progressive de la densité des peuplements. On retrouve à nouveau l'algue dans le détroit de Gibraltar.

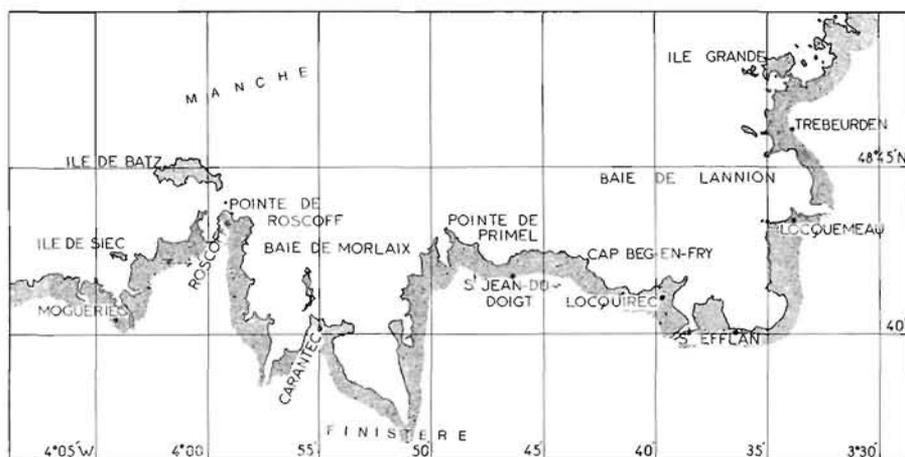


FIG. 5. — Carte d'ensemble de la région prospectée lors de l'étude des grands peuplements d'algues brunes.

L'espèce pénètre en Méditerranée où elle est signalée en plusieurs endroits : en mer d'Alboran (PERES, 1967), devant Alger (FELDMAN, 1932) et dans le détroit de Messine (FREDJ et GIEMAN, communication personnelle).

L'algue n'est pas rencontrée, du moins à notre connaissance, dans d'autres secteurs méditerranéens et il est par conséquent difficile de préjuger de sa répartition exacte. C'est pourquoi nous nous bornons sur la carte résumant la distribution géographique (fig. 4), à pointer uniquement les stations réellement reconnues. Il serait en effet déraisonnable de faire figurer *L. ochroleuca* sur l'ensemble des côtes méditerranéennes, sous prétexte qu'on la trouve dans le détroit de Gibraltar et dans celui de Messine.

Sur la côte atlantique du Maroc, *L. ochroleuca* a été recueillie en différents points, depuis Tanger, par SHOUBOE (BORNET, 1892), jusqu'à Mogador (GAYRAL, 1957), en passant par Casablanca (DE GERO, 1960) et Mazagan. L'île de Mogador semble constituer la limite méridionale de l'aire de distribution de *L. ochroleuca*.

Cette laminaire est en général considérée comme originaire des côtes marocaines. Deux éléments nous font plutôt penser à une origine hispano-portugaise : on observe d'une part un secteur d'abondance maximale (La Corogne) avec un gradient de densité diminuant à la fois vers l'est et vers le sud et d'autre part cette zone se situe pratiquement à égale distance des deux points extrêmes de répartition. Il est malheureusement impossible, dans l'état actuel des connaissances, de se prononcer en faveur de l'une ou l'autre hypothèse.

B. Répartition sur les côtes françaises de la Manche.

Jusqu'à la prospection systématique effectuée par l'I.S.T.P.M., les travaux relatifs à la répartition et l'étendue des champs d'algues brunes, sur les côtes françaises, étaient rares. Cette lacune se faisait particulièrement sentir pour le Finistère, siège traditionnel de l'exploitation des Phéophycées. Si l'on

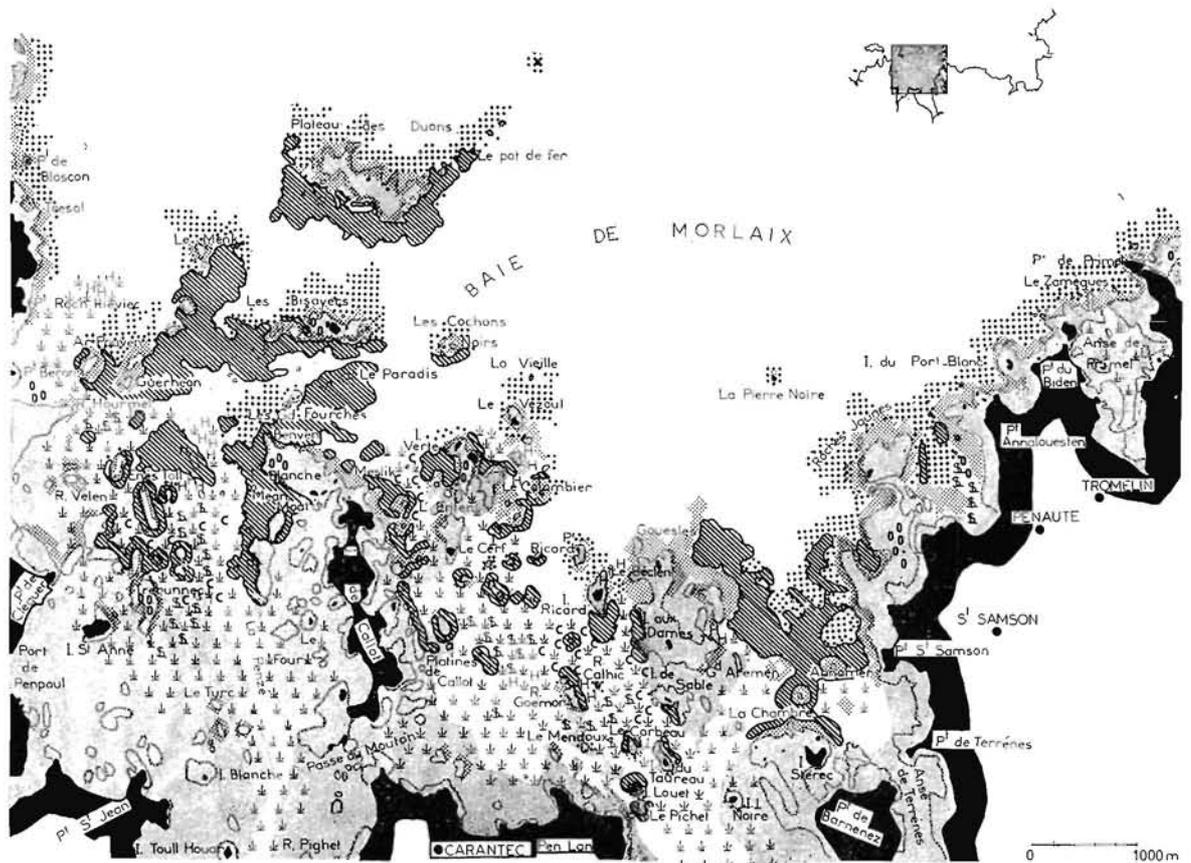


FIG. 6. — Distribution des grands champs d'algues brunes et des herbiers dans la baie de Morlaix (légende des symboles, se reporter à la figure 7).

excepte les recherches historiques de JOUBIN (1909) et les excellents travaux de FLOCH (1967) autour des îles Molène, ainsi que ceux de DIZERBO à Ouessant (1952), on constate qu'aucune prospection systématique n'a été entreprise sur les côtes de la Manche, qui sont pourtant les plus riches de France au point de vue des algues brunes.

DAVY DE VIRVILLE insistait déjà, en 1961, sur la nécessité d'établir une cartographie complète des peuplements algaux, mais il faudra attendre 1967 pour que AUDOUIN et PEREZ (1970) établissent les principes de travail présidant aux études actuellement menées par l'I.S.T.P.M. (1).

(1) Qu'il nous soit permis, ici, d'exprimer notre gratitude à M. R. PÉREZ chef du laboratoire d'Algologie appliquée de l'I.S.T.P.M., qui a bien voulu accepter notre collaboration pour les travaux sur le terrain.

La zone prospectée à ce jour (fig. 5) s'étend de l'île Grande à l'île de Siec. Si ces deux points extrêmes ne sont distants que de 57 km, à vol d'oiseau, l'exploration de la côte et des différentes îles nous a amené à parcourir plus de 350 km.

Bien que l'ensemble des peuplements végétaux exploitables ait été cartographié, cet exposé sera limité aux résultats relatifs à *L. ochroleuca*, l'ensemble des travaux faisant, par ailleurs, l'objet d'une publication (AUDOUIN, PÉREZ, BRAUD et UHM, 1973).

Parmi les 5 cartes au 1/20 000^e qui recouvrent la zone étudiée, on ne note la présence de *L. ochroleuca* que sur deux d'entre elles (fig. 6 et 7). L'algue semble en effet se cantonner dans la baie de Morlaix et le long du chenal séparant l'île de Batz de Roscoff.

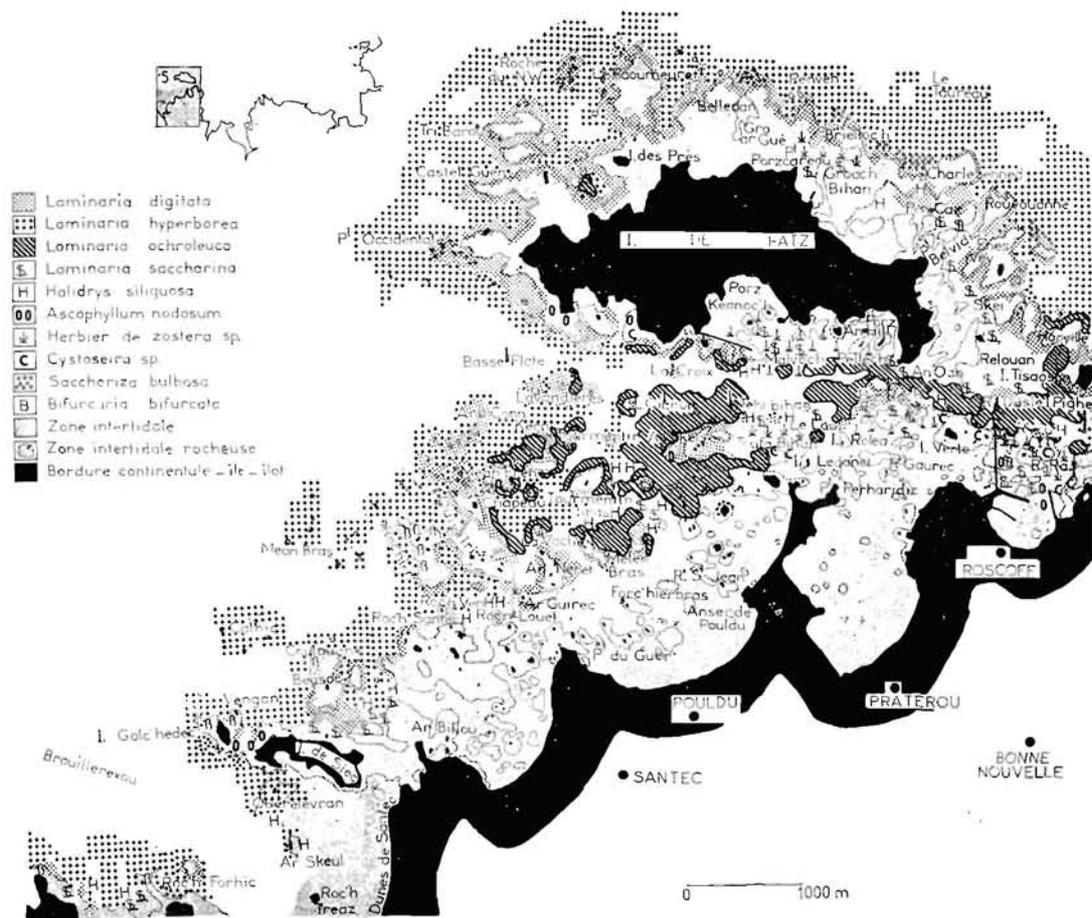


FIG. 7. — Distribution des grands champs d'algues brunes autour de l'île de Batz et de l'île de Siec.

Bien que de l'île Grande à la pointe de Primmel les peuplements de *L. hyperborea* et *L. digitata* soient fournis, nous n'avons jamais remarqué de *L. ochroleuca*. L'agitation de l'eau paraît être un facteur déterminant dans la répartition géographique de l'algue car les seules zones suffisamment abritées de la houle et des vagues sont justement le chenal de Roscoff et la baie de Morlaix avec ses nombreux hauts-fonds et îlots. L'île Grande et son cortège de rochers devraient apparemment pouvoir recéler *L. ochroleuca* ; il n'en est rien, car la zone protégée par cet ensemble d'îles émerge complètement à marée basse et ne peut, de ce fait, convenir à cette laminaire.

D'une façon générale, on peut constater que *L. ochroleuca* se réfugie dans les secteurs sud-est des îles et hauts-fonds. Alors que les populations de *L. hyperborea* et *L. digitata* sont denses

dans le nord de l'île de Batz, on ne rencontre que quelques pieds de *L. ochroleuca* dissimulés au plus profond des criques. Cette disposition préférentielle de la laminaire est à mettre en parallèle avec les conditions météorologiques qui règnent en Bretagne.

Les vents dominants, enregistrés à la station météorologique de Guipavas (FLOCH, 1967) sont de secteur O-SO, les plus fortes vitesses étant localisées au N-NO. Les vents de SO n'ont qu'une action limitée sur la dynamique des eaux de la Manche baignant les côtes françaises, du fait de la faiblesse du fetch et du peu de profondeur de la zone comprise entre le continent et les îles. Ce sont donc les vents d'O et de NO qui ont la plus grande influence et qui induisent une houle et des vagues dirigées dans le même sens. Les seules zones suffisamment calmes pour convenir à *L. ochroleuca* sont par conséquent localisées à la bordure continentale sous le vent, c'est-à-dire aux rivages méridionaux et orientaux de la côte et des îles.

À l'appui de cette théorie sur la répartition induite par les vents, on peut citer l'exemple particulièrement démonstratif du Karek Hir. Cet îlot est situé en face du port du Guilvinec (Finistère sud) et présente une orientation générale O-E. Du fait de sa position par rapport à la terre, le Karek Hir se trouve protégé des vents du nord mais reste soumis à ceux de direction S et SO. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'extrémité de l'îlot la plus exposée aux vents dominants, on voit apparaître les thalles de *L. ochroleuca* (fig. 8), d'abord clairsemés et mêlés à d'autres algues, puis de plus en plus nombreux, pour finalement former une population pure dans la partie E et NE du rocher. Les algues qui supportent mieux une agitation importante de l'eau (*L. digitata*, *L. hyperborea* et *S. bulbosa*) se concentrent principalement dans la pointe SO du Karek Hir.

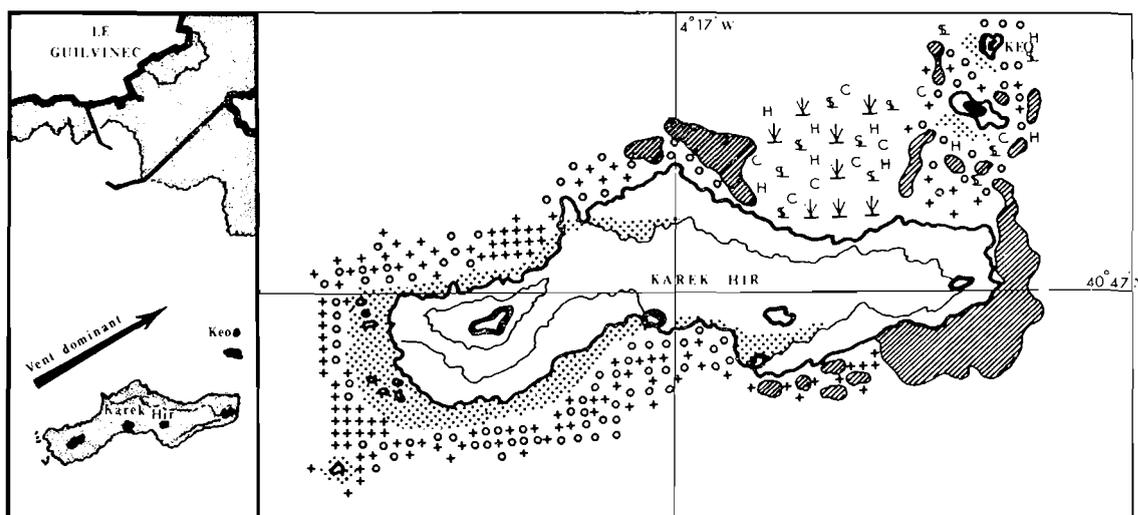


FIG. 8. — Schéma montrant l'influence du vent dominant sur la distribution de quelques espèces d'algues brunes (les symboles utilisés sont identiques à ceux de la cartographie du Finistère nord).

La répartition géographique de *L. ochroleuca* dépend donc, en majeure partie, de la direction du vent qui entraîne l'agitation hydrologique maximale. Les algues se cantonnent alors dans le secteur opposé à celui d'où souffle le vent.

Le régime des vents influe également sur la zonation verticale. Les thalles de *L. ochroleuca* poussent, dans la partie NE de l'îlot, à un niveau supérieur à ceux des autres secteurs. L'algue se situe de plus en plus bas lorsque l'agitation de l'eau augmente (secteur S) pour disparaître totalement (secteurs O et SO) et céder la place à *L. hyperborea* et *Saccorhiza bulbosa*.

La cartographie des champs d'algues brunes a pour but primordial de constituer un document de travail pour la profession goémonière. Elle permet de suivre le comportement des algues face à l'exploitation et de rationaliser l'effort de récolte par la détermination des quantités à prélever, ainsi que l'évaluation des stocks ; 5 000 tonnes, en poids frais, de *L. ochroleuca*, pourraient être actuellement retirées de la zone cartographiée du Finistère nord.

Un autre aspect non négligeable est celui de la concurrence interspécifique et il devient ainsi possible de surveiller la progression ou la régression des espèces commerciales. L'extension de *L. ochroleuca* est depuis longtemps discutée et il ressort des observations faites à Roscoff ces

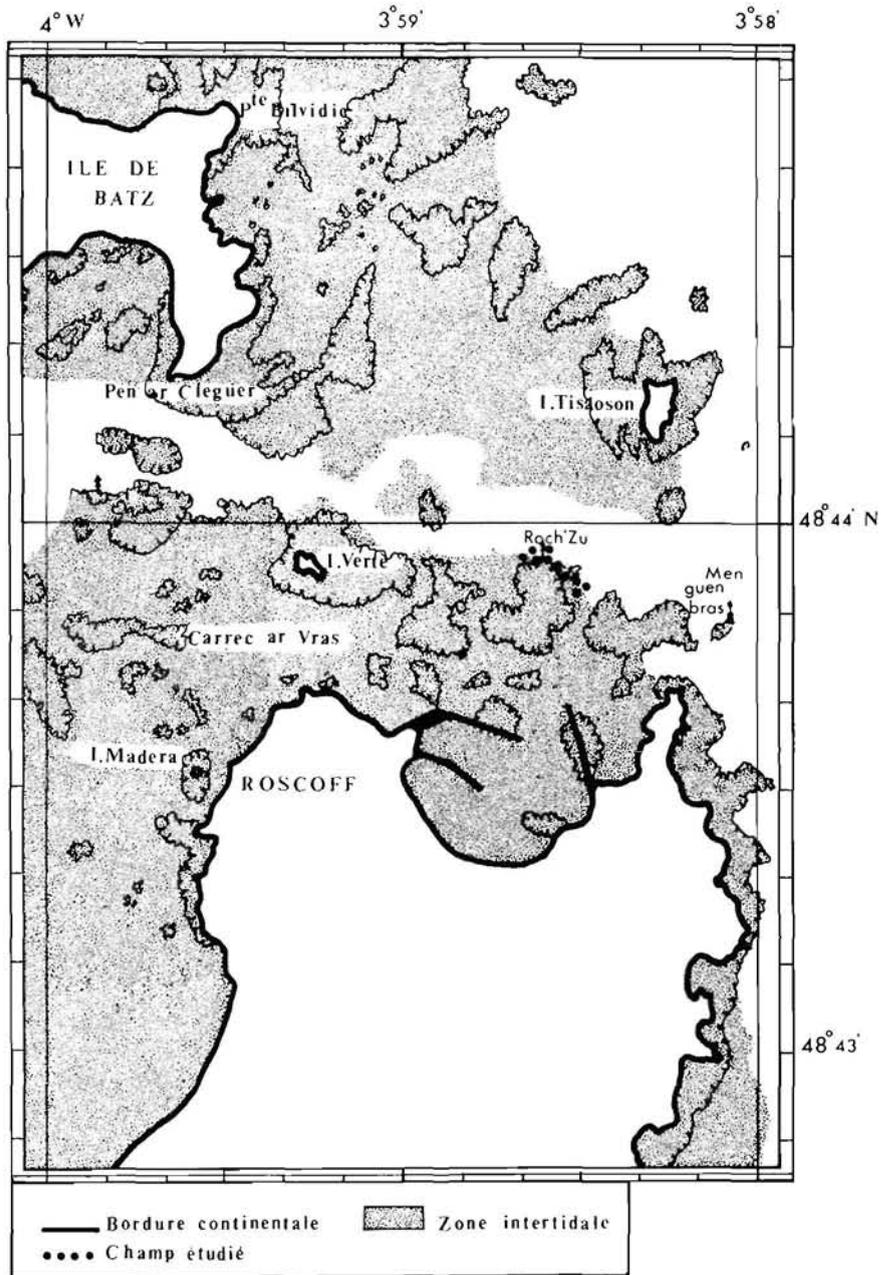


FIG. 9. — Localisation du champ étudié.

dix dernières années, que l'algue continue à coloniser le chenal de l'île de Batz. Il faut cependant considérer cette extension avec prudence, l'abondance de certaines algues étant peut-être sujette à des variations sinusoïdales de 11 ans de période. Seule l'évaluation continue des populations algales pourra nous apporter quelques éléments de réponse.

C. Localisation du champ étudié.

Le champ d'algues, retenu pour les études biométriques, se situe à Roscoff, au pied de la balise du Roch'Zu, par $3^{\circ} 58' 38''$ de longitude O et $48^{\circ} 43' 55''$ de latitude N (fig. 9). Cette zone répond à la fois aux trois critères que nous nous étions fixés dans l'élaboration de notre choix :

être facile d'accès à marée basse,

comporter un champ de *L. ochroleuca* situé à l'un des plus hauts niveaux à laminaires du chenal de Roscoff,

être suffisamment éloigné du rivage pour limiter ou décourager les pêcheurs à pied : ceux-ci sont en effet à redouter, lors d'une opération de marquage, presque autant qu'un fort coup de vent du fait des algues piétinées ou brisées à coup d'aveneaux et des rochers retournés.

CHAPITRE II

CROISSANCE ET REGENERATION

I. - Préliminaires.

A. Détermination de l'âge des algues.

Une coupe transversale effectuée dans un stipe de *L. ochroleuca* montre une succession d'anneaux concentriques sombres séparés par des zones claires (fig. 10), analogues à ceux rencontrés chez *L. digitata* et *L. hyperborea*. Ces anneaux sont constitués par des cellules de petites dimensions formant un tissu très dense produit pendant les périodes de faible croissance, tandis que les intervalles sont remplis d'un tissu beaucoup plus lâche, élaboré en période de croissance rapide.

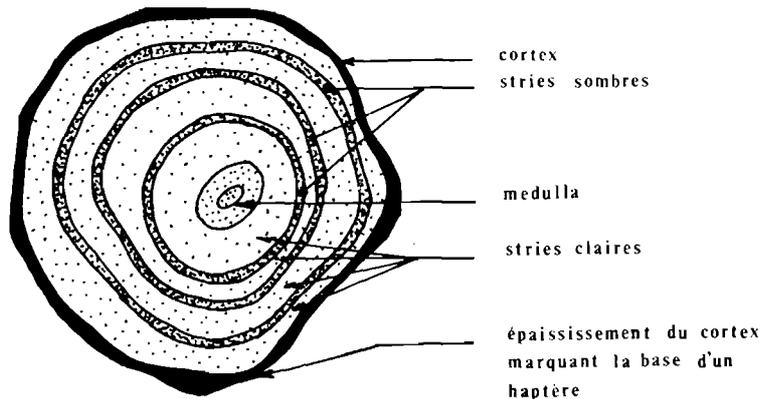


FIG. 10. — Schéma d'une coupe transversale dans le stipe d'une algue âgée de 3 ans.

La disposition similaire des haptères de *L. ochroleuca* et de *L. hyperborea* a conduit JOHN (1969) à utiliser, pour la première, la technique mise au point par KAIN (1963) sur *L. hyperborea*.

JOHN et KAIN ont travaillé sur des coupes longitudinales de stipe car leurs préoccupations dépassaient la détermination de l'âge pour se porter sur le rapport existant entre le nombre d'anneaux (N) et celui des haptères (N'), produits par an. En ce qui concerne *L. ochroleuca*, le rapport N/N' varie de 3,2 pour les algues de 1 an à 0,8 pour celles de 7 ans. Le rapport est inférieur à l'unité pour les classes d'âge à partir de 5 ans. Ceci suggère donc que l'algue produit plus d'un rang d'haptères pendant les première, deuxième et troisième années. KAIN a obtenu des résultats identiques avec des thalles de *L. hyperborea* récoltés sur les côtes NE de l'Angleterre.

Ne nous intéressant qu'au problème de l'âge, nous avons préféré utiliser des coupes transversales, plus faciles à réaliser, mais surtout plus aisées à interpréter. Toutes les algues, ayant fait l'objet de l'étude biométrique, ont été systématiquement récoltées au mois de novembre 1972. La zone sous-jacente au cortex était donc une zone claire, la période de croissance ralentie n'en étant qu'à son début.

Les coupes sont pratiquées juste au-dessus du rang d'haptères supérieur. Le nombre de stries claires ne permet de déterminer que l'âge minimum de l'algue. Il n'est en effet pas démontré qu'il y ait production d'un anneau pour chaque année. PÉREZ (1970) ne dénombre pas plus de 3 anneaux, chez *L. digitata*, alors qu'il savait certains échantillons âgés de 5 ans. Il semble cependant que la production d'anneaux, pour *L. ochroleuca*, suive d'assez près la croissance de l'algue. JOHN en compte jusqu'à 7 pour les échantillons du SO de l'Angleterre et nous avons pu en observer un nombre identique sur des individus récoltés en épave dans la région de Roscoff.

En dehors de la constance de production d'un anneau par an tout au long de la vie de l'algue, il existe une autre incertitude. Lorsque l'on parle d'une algue de n ans (1), c'est que l'on a compté, sur une coupe transversale, n zones claires séparées par n anneaux sombres.

Or, rien ne prouve que l'édification du complexe, première zone claire-première strie sombre, ait demandé exactement un an depuis la germination du zygote. Les algues de 2 ans mesuraient déjà, au moment de leur baguage (novembre 1971), 55 cm de haut en moyenne (stipe + fronde) et on peut se demander si un délai d'un an est suffisant pour que les thalles passent de la taille 0 à la taille 55. Le seul moyen de lever le doute aurait consisté à faire des cultures de *L. ochroleuca* d'abord en boîte de Petri pour les premiers stades, puis en milieu naturel jusqu'à l'obtention de thalles de 55 cm de haut.

Cette expérience a été faite sur *L. digitata* par PÉREZ (1970) qui a pu ainsi déterminer qu'il s'écoulait 15 mois entre la germination de la spore et le moment où la longueur de l'algue atteint 30 cm, soit 12 mois entre les premières divisions du zygote (taille 0) et la taille 30.

Il ne nous a pas été possible de refaire cette expérience sur *L. ochroleuca*, bien que les essais de mises en culture se soient révélés positifs. *L. ochroleuca* étant douée d'un rythme de croissance supérieur à celui de *L. digitata*, on peut raisonnablement supposer que le délai nécessaire pour atteindre la taille de 55 cm se situe, à quelques mois près, autour de 12 mois.

Sous les réserves mentionnées ci-dessus, il semble donc que l'âge déterminé par dénombrement des stries d'accroissement constitue une bonne approximation de l'âge réel compté à partir de la germination de l'œuf.

B. Profil de la population étudiée.

Sur les 150 individus bagués en novembre 1971, il ne restait que 108 pieds en novembre 1972 ce qui représente une perte de 28 %. C'est donc uniquement sur cette centaine de pieds restants que le profil de la « population » a été déterminé. Nous reviendrons, dans le paragraphe consacré aux techniques de marquage, sur la signification du terme « population » employé ici.

La classe d'âge dominante est celle des 3 ans avec 34 représentants, suivie de la classe 4 ans qui groupe 29 individus. Les classes 2 et 5 sont sensiblement de même importance avec, respectivement, 22 et 20 individus (fig. 11). La classe 1 est absente de ce recensement par le fait même qu'il était impossible de baguer des algues qui auraient mesuré, en novembre 1971, de 3 à 5 mm de haut. La classe des 6 ans est très faiblement représentée (3 individus), tandis que la classe 7 est complètement absente de l'échantillonnage.

Ainsi qu'il en a été fait état dans le paragraphe précédent, les algues de 7 ans n'ont pu être observées qu'à l'état d'épaves. Ceci nous conduit à penser qu'une des causes majeures de l'absence de la classe 7 est due à la rupture du stipe par perte de sa flexibilité et par la prise importante qu'offre l'algue à la houle et aux vagues. La perte de flexibilité peut s'apprécier, empiriquement, par la résistance des stipes à la rupture, celle-ci allant en décroissant avec l'âge.

(1) Pour la rigueur de l'exposé, on conviendra que la dénomination « algue de n ans » signifie bien « algue d'un âge minimum de n ans au 1^{er} novembre 1972 ».

Lorsqu'on saura qu'une des algues récoltées avait un stipe de 180 cm de long, dont le diamètre inférieur mesurait 5,2 cm, on comprendra aisément la raison de l'absence de tels spécimens dans les horizons supérieurs. Deux types de constatations viennent à l'appui de cette hypothèse.

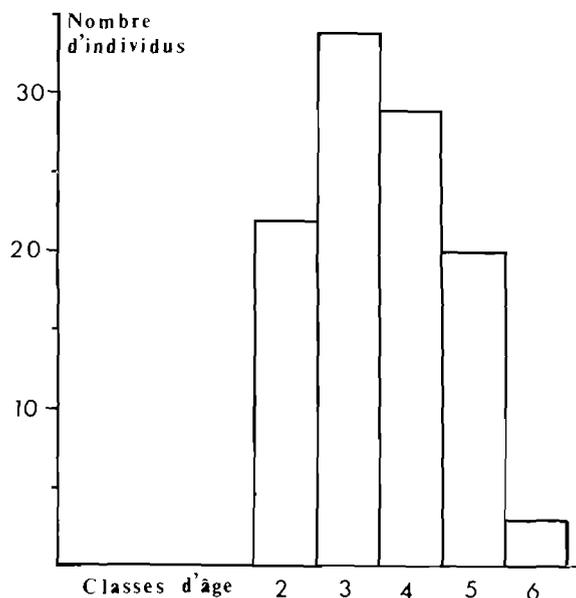


FIG. 11. — Profil de la population étudiée.

D'une part, les pertes constatées au cours de l'année 1971-1972 ont principalement affecté les classes 2 et 6 ans. Les proportions respectives des disparitions sont de 9 % et 15 %. Sur les 28 % de pertes totales, les 4 % restants se partagent entre les trois autres classes. Si les thalles de 2 ans ont été simplement arrachés, les stipes de la classe 6 ont été brisés, mais une partie est restée fixée au substratum. La majorité des disparitions a été constatée après les violentes tempêtes du mois de février.

D'autre part, on remarquera, sur le profil de la population (fig. 11), une diminution régulière des effectifs lorsque les algues avancent en âge avec une cassure très nette au niveau de la classe 6.

Du fait de la technique de marquage et de l'absence de la classe 1 qui en découle, les fréquences des différentes classes d'âge ne représentent qu'imparfaitement le vrai profil de la population et ne constituent qu'une approximation permettant d'apprécier, entre autre, le potentiel de croissance de chaque classe par rapport à l'ensemble de la population étudiée.

II. - Croissance.

A. Techniques de mesure de la croissance.

1) Marquage des thalles.

Pour l'étude de la croissance de *L. ochroleuca*, la technique utilisée est inspirée de celle mise au point par PÉREZ (1969) sur *L. digitata*. Désirant obtenir le maximum d'informations sur l'ensemble de la « population », tous les thalles accessibles pendant la marée basse du 4 novembre 1971, dans le secteur NO du Roch'Zu, ont été systématiquement bagués.

Le terme de « population » ne doit pas être pris ici dans son sens statistique, mais uniquement dans celui de « groupement d'individus appartenant à une même catégorie ». En effet, l'émersion des thalles de *L. ochroleuca*, même aux basses mers de vive-eau, n'est que partielle et le substratum sur lequel sont fixées les algues n'apparaît que rarement. De ce fait, les très jeunes thalles ne découvrent pas et échappent souvent au baguage. En outre, le marquage n'a pas été effectué à l'aide d'un cadre à surface déterminée. La représentativité de l'échantillon est limitée et ne concerne que la frange superficielle du peuplement.

Suivant la grosseur des stipes, des bagues plastiques de 10 ou 15 mm de diamètre furent employées. Un numéro, gravé au fer chaud sur une plaque de rhodoïd de 2 mm d'épaisseur, est attaché à la bague par un fil de cuivre recouvert de nylon (genre fil électrique monobrin).

Plusieurs types d'expériences étaient menés simultanément sur les algues : croissance, régénération, étendue de la zone méristématique. L'emploi de bagues de différentes couleurs (rose, orange, jaune) s'est avéré très pratique. Etant donné le faible coefficient d'émersion des champs aux marées de morte-eau, il s'est révélé nécessaire de travailler également de nuit. Les nuances

choisies ressortent bien sous l'éclairage électrique et facilitent grandement le repérage des algues à mesurer.

Il est très important de dresser un croquis de l'emplacement des thalles les uns par rapport aux autres. Sous l'action des vagues, il arrive que certaines algues perdent leur numéro et il

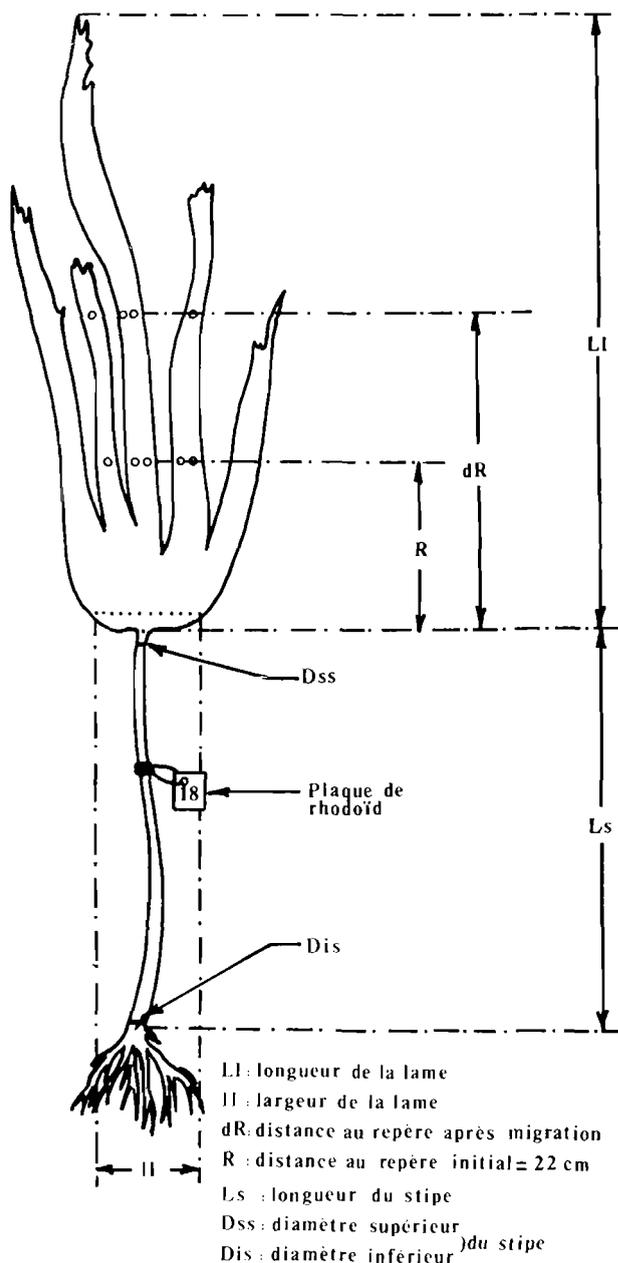


FIG. 12. — Illustration de la mesure des différents paramètres pour l'estimation de la croissance.

est alors possible, grâce au schéma, de les identifier par rapport au relief et à leurs plus proches voisins. Afin de limiter au maximum la perte des numéros, il est bon de procéder périodiquement au renouvellement des bagues, dès que celles-ci donnent des signes de faiblesse.

2) Paramètres permettant d'évaluer la croissance.

Nous avons retenu sensiblement les mêmes paramètres que ceux utilisés par COSSON (1967) et PÉREZ (1969) pour l'étude de *L. digitata*, c'est-à-dire : longueur et largeur de la lame, intensité de la croissance de la lame, longueur, diamètre inférieur et supérieur du stipe.

La longueur de la lame est appréciée en mesurant la distance séparant la projection du point extrême de la lanière la plus longue, sur l'axe médian de l'algue, et le sommet du stipe. La largeur est mesurée à 3 cm au-dessus du sommet du stipe. Cette mesure est entachée d'erreurs assez importantes, car la lame n'est jamais rigoureusement plane et sa forme en éventail rend difficile un étalement régulier.

L'intensité de la croissance ne peut pas être déduite des variations de longueur de la lame, car la fronde, en venant en contact avec le substrat, subit une usure apicale du fait des frottements. La production de tissu est évaluée par la migration apparente d'un repère, pratiqué au moyen d'un emporte-pièce, et placé à 22 cm de la jonction lame-stipe. Un mois après, la distance du repère au sommet du stipe, diminuée de la distance initiale de 22 cm, donne l'intensité de la croissance pour le mois considéré. Un nouveau repère est placé, chaque mois, à la même distance de 22 cm.

La longueur du stipe est mesurée depuis le rang d'haptères supérieur jusqu'à la jonction lame-stipe. Pour ce faire, il est absolument nécessaire de disposer d'un mètre souple afin de suivre la forme curviligne que prend parfois le stipe.

Le stipe de *L. ochroleuca* étant cylindro-conique, deux mesures de diamètre sont retenues : celle du diamètre supérieur qui est effectuée à 1 cm en dessous de la jonction lame-stipe, afin de se trouver en dehors de la zone d'aplatissement du stipe, et celle du diamètre inférieur, considéré au niveau du rang d'haptères le plus haut. La figure 12 illustre les critères de mesures des différents paramètres retenus.

Il convient de remarquer qu'en multipliant le nombre de paramètres étudiés par le nombre d'algues, on constate que le nombre total des mesures s'élève à 750 par groupe de marées. La situation bathymétrique du champ ne permettant de travailler consécutivement qu'une heure et quart, les données furent enregistrées directement au fur et à mesure de leur obtention, sur bandes magnétiques. Il était en effet hors de question d'utiliser, sur le terrain, un système de report par fiches qui, outre son emploi incommode, aurait entraîné une perte de temps considérable.

B. Croissance de la lame.

1) Croissance longitudinale.

a) Etendue de la zone de croissance.

La croissance de la lame s'effectue grâce au méristème stipofrondal. Il nous a paru intéressant d'essayer de définir les potentialités de cette zone de croissance ainsi que son étendue. Pour cerner ce problème, une série particulière de 15 thalles âgés de 3 à 4 ans fut marquée. Sur chacune des frondes, un ensemble de 10 perforations distantes chacune de 2 cm a été disposé (fig. 13). Ces perforations ont été faites au mois de février, avril, août et octobre. En mesurant, un mois après chaque mise en place de repères, les nouvelles distances qui séparent les perforations, on peut apprécier d'une part l'étendue de la zone méristématique et, d'autre part, l'intensité de la croissance à plusieurs niveaux.

La figure 14 montre que la distance entre les perforations est toujours supérieure à 2 cm (distance initiale de marquage) quel que soit le niveau considéré. L'activité méristématique se fait donc sentir sur au moins 20 cm. Des expériences ultérieures ont révélé une étendue maximale de la zone de croissance de 22 cm.

Le maximum d'extension est atteint pendant la période hivernale. Ceci est attesté par le fait que l'intervalle entre les perforations 9 et 10 du graphique A est nettement supérieur à 2 cm.

Ce même intervalle, pour les autres périodes, a une valeur sensiblement égale à 2 cm, ce qui indique l'absence d'activité méristématique à ce niveau.

Cette conclusion est d'une importance capitale pour l'étude de la croissance annuelle de la lame. Elle justifie le fait de placer le repère permettant la mesure de la production tissulaire à

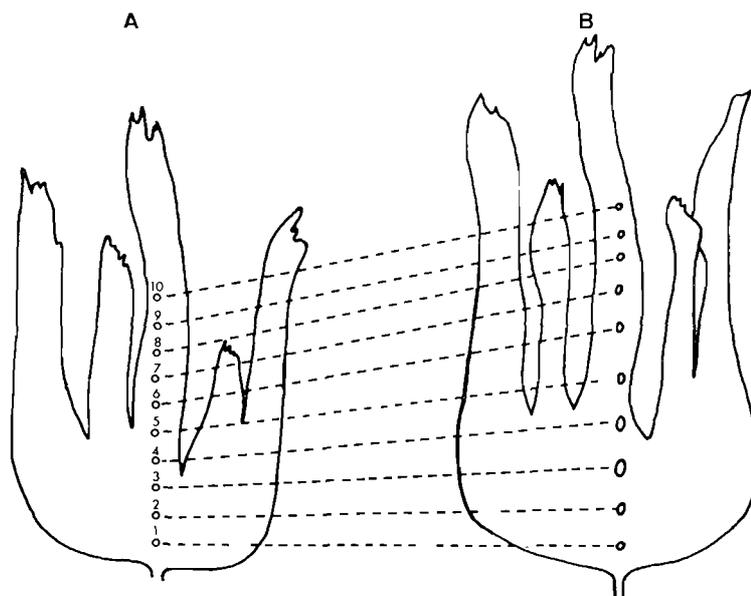


FIG. 13. — Disposition des repères pour l'étude de l'activité de la zone méristématique, avant (A) et après migration (B).

22 cm du haut du stipe. En effet, si celui-ci était situé en-deçà de cette distance, il se trouverait compris dans la zone méristématique et sa migration ne fournirait que des indications partielles sur l'allongement total. Le tissu méristématique compris entre le repère et la partie supérieure de la zone de croissance échapperait ainsi au contrôle, ce qui conduirait à mesurer une production de tissu inférieure à la production réelle.

L'examen des graphiques de la figure 14 permet également de déterminer l'intensité de la croissance aux différents niveaux de la zone méristématique. Le taux de croissance maximal a été observé entre les niveaux 4 et 5 pour la période février-mars, c'est-à-dire entre 8 et 10 cm de la jonction lame-stipe. Il se situe entre les niveaux 3 et 4 d'avril à mai, 2 et 3 en août et septembre et à nouveau 3 et 4 pour octobre-novembre. L'étude de la forme des courbes est encore plus instructive que celle des maximums relatifs. La courbe A présente une forme gaussienne régulière.

Le maximum de la courbe B est décalé vers la gauche, ce qui signifie que la zone d'activité méristématique maximale s'est déplacée vers le sommet du stipe. La valeur du maximum indique qu'il y a eu une augmentation importante du fonctionnement du méristème par rapport à la période février-mars (courbe A).

La courbe C possède un profil encore plus dissymétrique. La zone d'activité principale s'est de nouveau décalée vers la jonction lame-stipe. Elle est cependant moins ponctuelle et tend à s'élargir.

La courbe D passe par un maximum au niveau de la perforation 4. Le siège de l'activité méristématique maximale s'est donc déplacé vers l'extrémité distale de la lame. Il présente, en outre, un caractère plus diffus qui se traduit, sur le graphique, par un maximum moins accentué que dans les cas précédents. La productivité du méristème commence à se réduire (valeur faible du maximum) et la courbe tend vers la forme gaussienne régulière observée en période hivernale.

À la lumière de ces quatre observations, on peut émettre l'hypothèse d'une variation cyclique de l'activité méristématique. Pendant l'hiver, le maximum d'activité est localisé sensiblement au milieu

de la zone de croissance. Ce maximum se déplace vers la base de la fronde pendant les périodes printanière et estivale. A l'automne, la zone d'activité maximale commence à remonter vers le milieu de la zone de croissance qu'elle atteindra à nouveau en période hivernale.

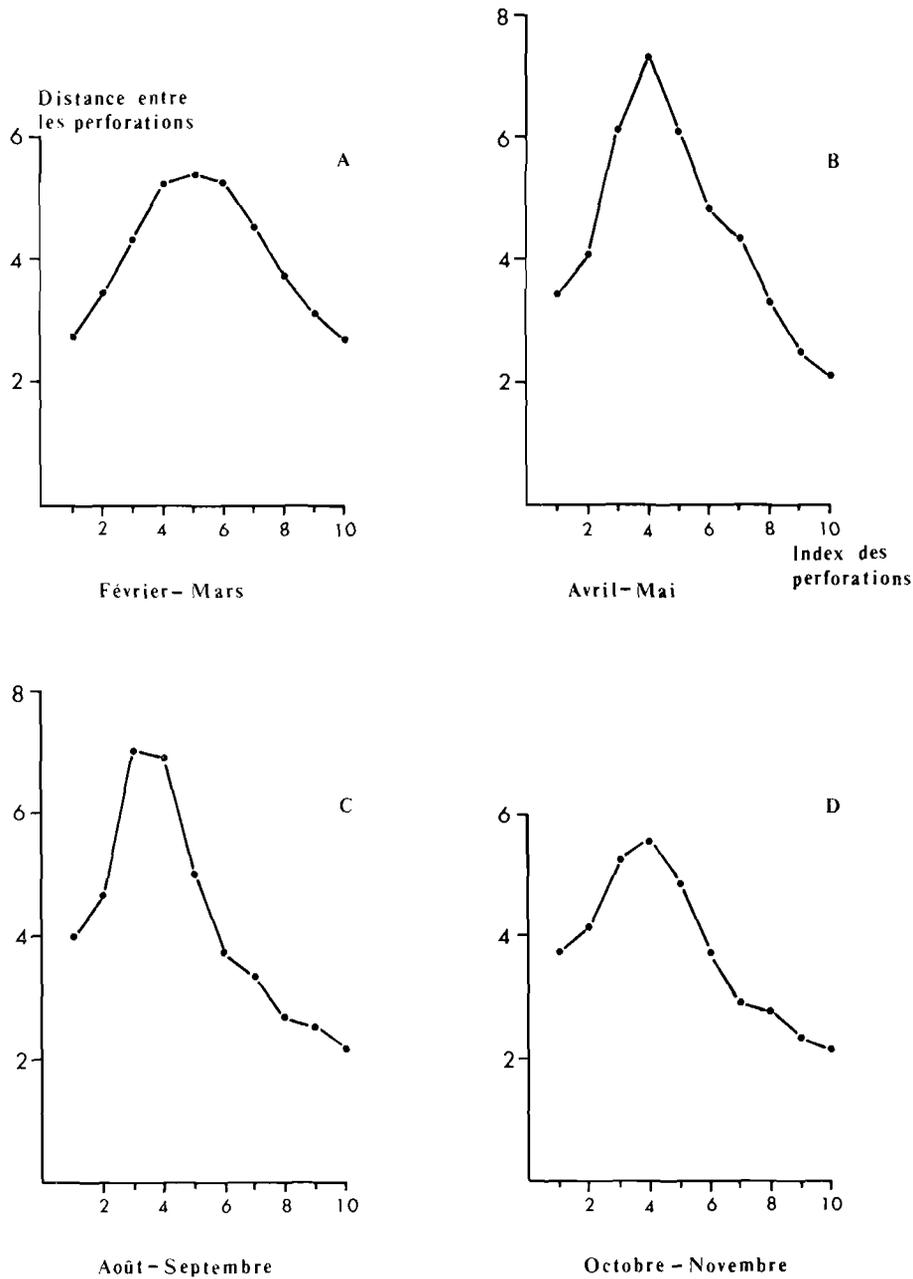


FIG. 14. — Etendue et activité de la zone méristématique frondale.

Les différences de croissance que l'on observe entre les saisons ne sont pas le fait du méristème dans son intégralité, mais uniquement de la moitié inférieure de celui-ci (niveaux compris entre 0 et 10 cm). En effet, la production de la zone de croissance située entre les niveaux 12 et 20 cm (repères 6 à 10) est sensiblement constante, quelle que soit la saison.

Il est à noter que ces résultats diffèrent de ceux obtenus par COSSON (1967) sur *L. digitata*. Cet auteur remarque que, chez cette algue, la zone de croissance se limite aux dix premiers centimètres comptés à partir de la base de la fronde et que l'intensité de la production de tissu décroît régulièrement lorsqu'on s'éloigne de cette même base. *L. ochroleuca* se caractérise donc par des potentialités méristématiques nettement supérieures à celles de *L. digitata*.

Une expérience similaire a été tentée sur la zone de croissance des stipes. Les repères étaient constitués par un mince fil de nylon tressé traversant le stipe à différents niveaux. Malgré tout le soin apporté au marquage, les algues n'ont pas résisté au traitement et se sont brisées sous l'action des vagues au bout de quelques jours.

b) Variation annuelle de la croissance.

Les études sur le terrain étant subordonnées au rythme des marées, il nous a été impossible de respecter une périodicité rigoureuse dans la mesure des paramètres.

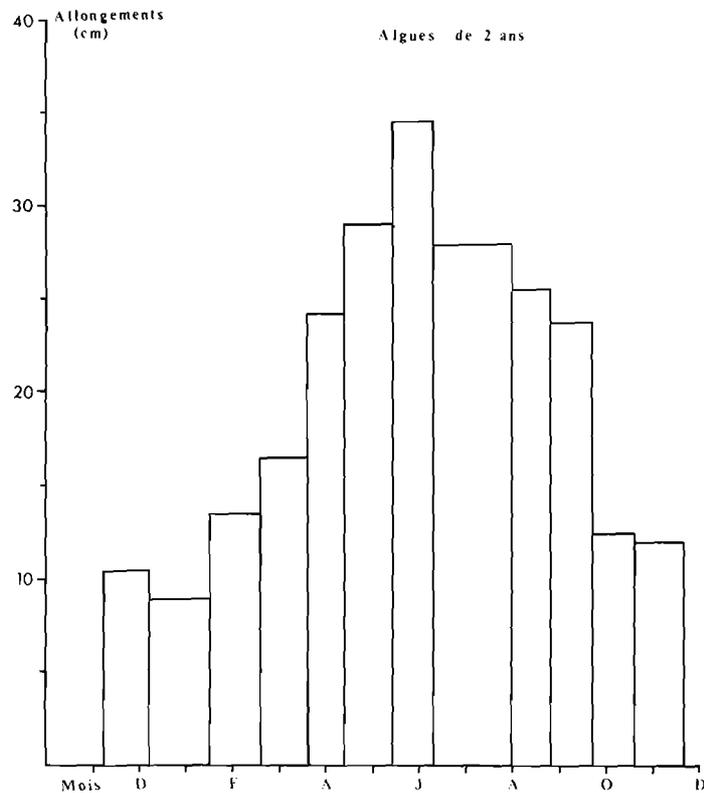


FIG. 15. — Allongements virtuels de la lame pour les périodes réelles d'observation.

En effet, seules les marées de nouvelle ou pleine lune, suivant la saison, permettent un travail d'une durée raisonnable. Ceci se traduit par des mesures en début de mois pour novembre et décembre 1971, en milieu de mois pour la période janvier-juin 1972 et en fin de mois de juillet à novembre 1972. En outre, les inversions de marée qui ont lieu en janvier et juillet amènent à espacer les mesures de 45 jours pour ces deux époques.

Cette disparité dans les dates de mesures se répercute sur les graphiques et il en résulte une représentation irrégulière nuisant beaucoup à la clarté de l'interprétation. Pour la variation de la croissance des algues de 2 ans, par exemple, on obtient le type de graphique illustré par la figure 15.

Il a paru préférable d'extrapoler, à partir de ces mesures irrégulières, les valeurs de la croissance pour chaque mois de l'année. Cette même opération est faite pour chacun des paramètres qui seront successivement examinés au cours de cette étude. En comparant les quatre graphiques relatifs aux classes d'âge étudiées (fig. 16), on note que la meilleure croissance se situe invariablement pendant le mois de mai. L'allongement maximum est de 39,5 cm et de 38,5 cm pour les classes 3 et 4 ; il est plus modeste pour les classes 2 et 5 avec respectivement 34 et 33,5 cm.

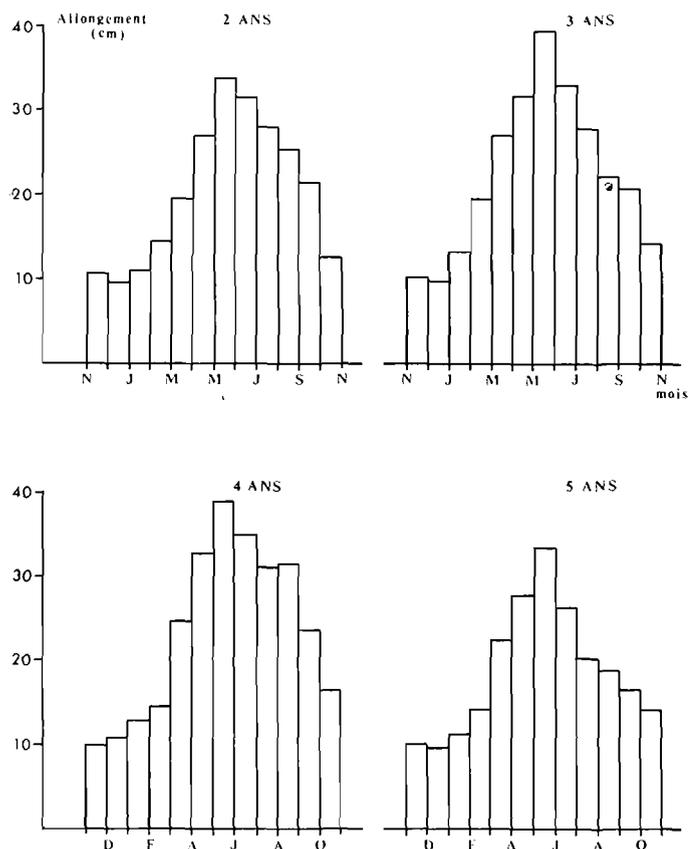


FIG. 16. — Allongements virtuels de la lame au cours de l'année pour les différentes classes d'âge.

L'importance des intensités relatives de ces différents maximums reste cependant difficile à évaluer. Les algues de 2 ans ont été assez malmenées lors des nombreux coups de vent de février 1972 et ont présenté, tout au long de l'année, des frondes affaiblies, aux tissus mous et entamés. Il est donc possible que le graphique concernant cette classe ne représente pas les possibilités réelles de croissance. Le minimum de croissance, 9,5 cm, prend une valeur sensiblement constante pour les quatre classes d'âge. Il se situe en décembre pour les classes 2, 3 et 5, en novembre pour la classe 4.

Tous les graphiques présentent un profil unimodal et il n'y a, par conséquent, qu'une seule période de croissance par an, plus ou moins étendue dans le temps et plus ou moins intense suivant l'âge de l'algue.

Il est particulièrement commode, pour apprécier l'étendue et l'intensité de la période de développement, de faire appel aux allongements virtuels cumulés (fig. 17). De l'examen de ce graphique, il ressort, au premier regard, que la classe des 4 ans présente la croissance la plus intense, la plus faible revenant aux algues de 5 ans.

Les activités méristématiques des classes 2 et 5 sont à peu près semblables pour la période allant de novembre à mai. A partir de ce stade, se produit une disjonction entre les deux courbes et l'intensité de la production des algues de 5 ans fléchit nettement.

Les courbes concernant les algues de 3 et 4 ans sont pratiquement identiques. La croissance des thalles de 3 ans est légèrement plus rapide durant la période novembre-juillet. A partir de ce dernier mois, et jusqu'en novembre, elle diminue, celle des algues de 4 ans devenant quelque peu supérieure.

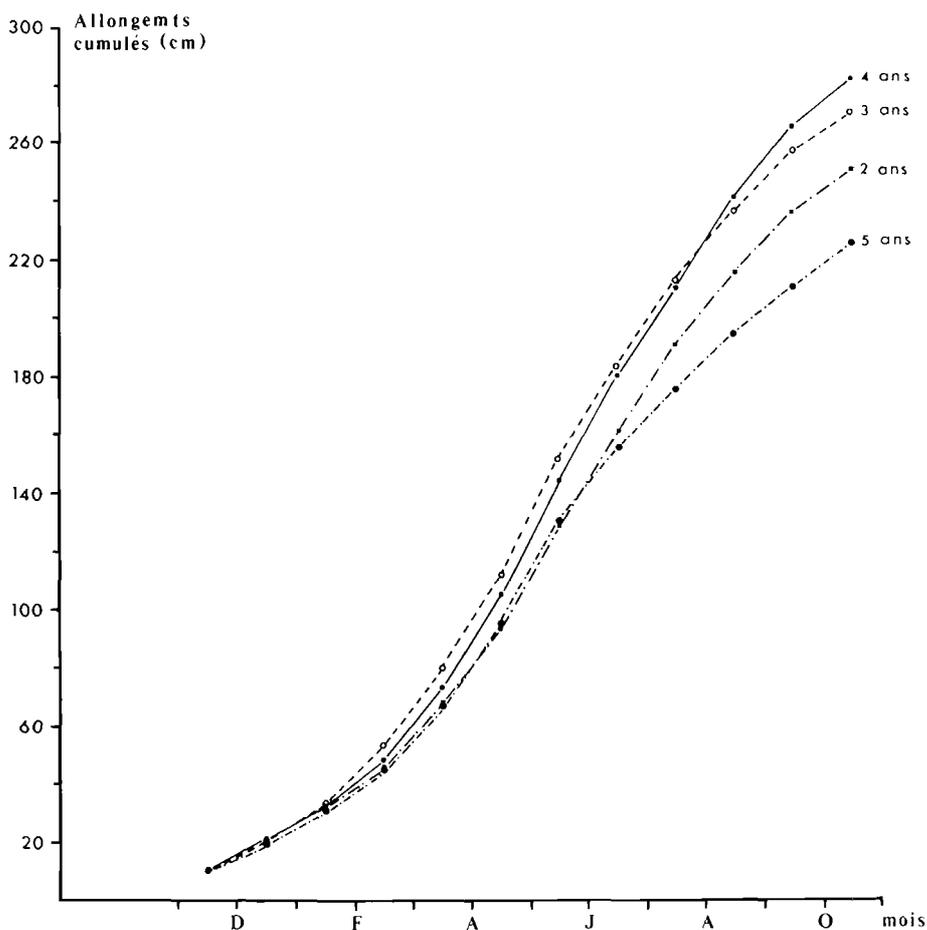


FIG. 17. — Allongements virtuels de la lame au cours de l'année pour les différentes classes d'âge (courbe cumulative).

En prenant comme base de référence un allongement de 1 cm/jour, soit 30 cm par mois, on constate (fig. 16) que les algues de la classe 2 ont un développement supérieur à cette base pendant deux mois de l'année, celles de la classe 3 pendant trois mois, les algues de 4 ans durant cinq mois et celle de 5 ans pendant un mois.

Si les taux de fort développement sont sensiblement identiques, la durée de la période pendant laquelle ils se manifestent est plus ou moins importante. Les algues de la classe 4, bien qu'ayant une production maximale légèrement inférieure à celle des algues de 3 ans, supplantent nettement ces dernières par la quantité totale de tissu produit, grâce à la durée plus importante de la période de forte croissance. Les différences dans l'importance de cette période sont accusées par les allongements théoriques cumulés qui s'établissent, pour un an, aux valeurs suivantes :

classe 2 : 250 cm	classe 4 : 281 cm
— 3 : 270 —	— 5 : 225 —

Il ressort de ces différentes considérations, que la classe des 4 ans possède la plus forte potentialité méristématique ; elle est suivie de près par la classe 3. Il est intéressant de constater que le maximum de productivité correspond à des algues ayant parcouru sensiblement la moitié de leur vie ; on admettra avec JOHN (1969), que l'âge maximum des algues considérées est de 7 ans.

Selon les résultats obtenus par PÉREZ (1969) sur *L. digitata*, l'allongement mensuel maximum (32 cm) correspond à la classe des 2 ans, mais la production tissulaire la plus importante est le fait des algues de 3 ans. Ainsi que nous l'avons déjà mentionné, PÉREZ a déterminé que la longévité de *L. digitata* sur les côtes françaises est de 5 ans. Cette durée de vie, plus faible que celle de *L. ochroleuca*, pourrait expliquer le fait que la croissance et la production annuelles maximales sont dues à des algues plus jeunes d'un an que les *L. ochroleuca* correspondant aux mêmes maximums.

On peut résumer toutes ces données en remarquant que, comme pour *L. digitata*, l'activité de la zone méristématique de *L. ochroleuca* présente deux maximums :

a) un maximum absolu de croissance mensuelle situé dans la troisième année de la vie de l'algue (deuxième année pour *L. digitata*).

b) une production annuelle maximum de tissu au cours de la quatrième année (troisième année chez *L. digitata*).

c) Variation annuelle de la longueur de la lame.

La longueur de la lame est directement fonction de la résultante de deux processus antagonistes, la croissance et l'usure apicale. Du fait même de sa longueur, l'algue vient en contact avec le substrat sur lequel elle est fixée. Sous l'action de la houle et des vagues, la lame frotte sur le fond et se détruit progressivement. Selon que la croissance ou l'usure apicale l'emporte, la longueur de la lame augmente ou diminue.

Lorsqu'on analyse la variation de la longueur de la lame au cours de l'année, et ce pour les différentes classes d'âge (fig. 18), on constate que celle-ci passe par un maximum au cours des mois de mai et de juin, ce qui correspond à la période d'activité maximale. La lame des algues possédant le taux de croissance le plus élevé (classe 4) atteint 186 cm.

Quel que soit l'âge des algues, la longueur de la fronde varie de la même manière. L'augmentation progressive de cette longueur s'effectue pendant la période de novembre à mai du fait d'un taux de croissance qui va en augmentant et d'une usure apicale relativement faible. Une fois le maximum atteint (mai-juin), la longueur moyenne des thalles se réduit sous l'influence conjuguée d'une usure apicale élevée et d'une activité méristématique faiblissante. L'érosion distale peut atteindre des valeurs allant jusqu'à 50 cm par mois.

Cette dernière observation vient confirmer celle de PÉREZ (1969) concernant le phénomène d'usure chez *L. digitata*. La biologie de *L. ochroleuca* étant extrêmement voisine de celle de cette algue, il est donc possible de reprendre, dans ses grandes lignes, l'hypothèse émise par cet auteur pour expliquer le phénomène. L'augmentation brutale de l'usure apicale s'expliquerait par le cycle de reproduction de l'algue. Bien que fertile toute l'année, *L. ochroleuca* présente un maximum dans l'émission des spores pendant la période allant de juin à octobre. Les spores se situent dans l'épaisseur de la lame et les spores, lors de leur émission, laissent de larges plaques de tissus dépigmentés et en voie de nécrose. La lame devient alors très fragile et se détruit rapidement.

L'usure apicale de *L. ochroleuca*, si elle n'est pas sensiblement plus élevée que celle de *L. digitata* en valeur absolue (tabl. 1), est cependant plus importante car elle se prolonge à un niveau élevé pendant quatre mois, contre un mois pour *L. digitata*.

Chez *L. digitata*, l'émission des spores est très brutale et se situe uniquement au mois de juillet ; l'usure apicale est alors maximale. Il existe une deuxième émission en octobre, mais elle est très nettement inférieure à la première. Pour *L. ochroleuca*, la libération des spores est plus étalée dans le temps bien qu'elle présente aussi un maximum en juillet. La destruction apicale est, par conséquent, modulée sur une plus longue période.

Il est peu probable que cette seule constatation puisse expliquer l'intensité des pertes apicales. En effet, les algues qui ont fait l'objet de ces mesures appartiennent aux peuplements émergeant aux

basses mers de vive-eau. Dans le chapitre consacré à l'écologie de l'algue, nous avons déjà mis l'accent sur le fait que *L. ochroleuca* supporte très mal l'émersion. Or, la période août-octobre correspond, d'une part aux marées de coefficient supérieur à 100 (temps maximum d'émersion), et d'autre part aux mois les plus chauds de l'année.

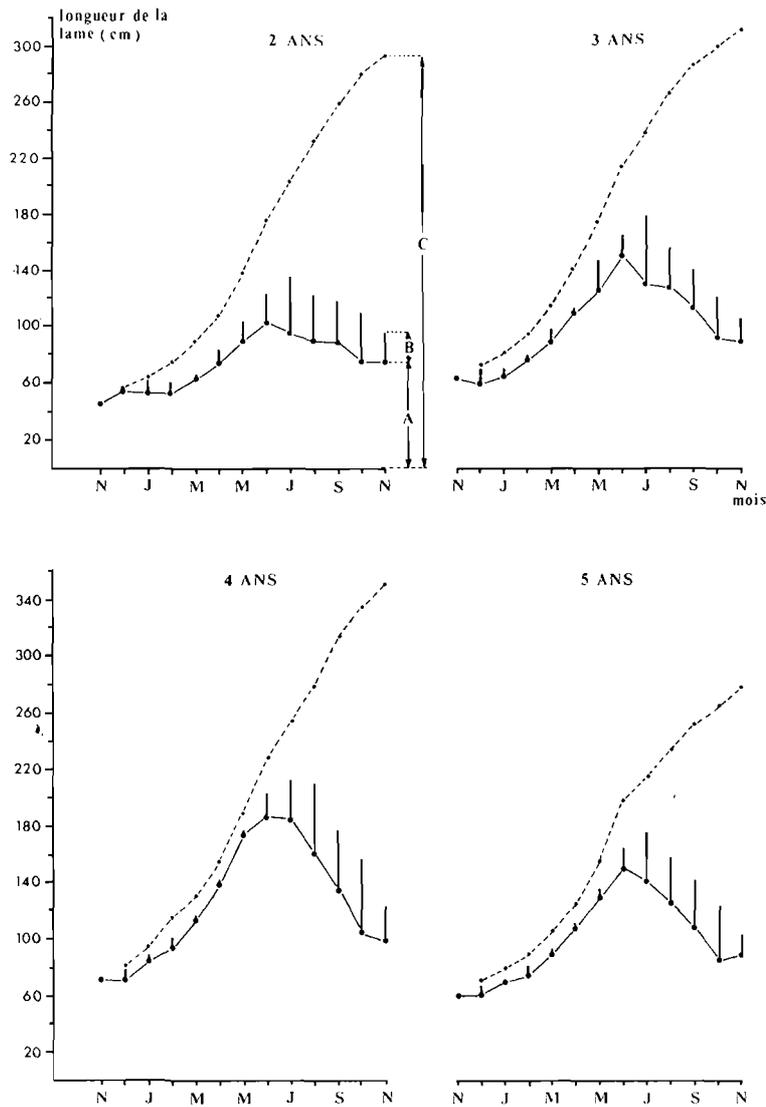


Fig. 18. — Evolution de la longueur de la lame au cours de l'année pour les différentes classes d'âge. A) longueur de la lame; B) perte par usure apicale; C) longueur virtuelle de la lame.

La conjonction de ces deux facteurs, émission des spores et dessiccation lors de l'émersion, explique mieux, à notre sens, l'importance des pertes subies par l'algue au cours des mois de juillet, août, septembre et octobre.

On retrouve donc, pour *L. ochroleuca*, le même type de variation dans la longueur de la lame que chez *L. digitata*, c'est-à-dire : longueur maximale de la fronde au mois de mai et au mois de juin, longueur maximale en novembre-décembre, et brusque augmentation de l'usure apicale après la première libération de spores en juillet.

Sur chaque graphique de la figure 18 est tracée une courbe (C) qui représente l'évolution de la longueur de la lame s'il n'y avait pas d'érosion apicale. Dans cette hypothèse, on pourrait atteindre des longueurs de frondes allant jusqu'à 350 cm (classe 4). En cumulant les productions tissulaires pour les quatre classes d'âge, on obtient une longueur virtuelle de lame de 996 cm. Cette construction graphique n'est pas une simple vue de l'esprit et il suffit, pour s'en convaincre, de se référer aux observations rapportées par PERES (1967) sur des populations vivant par 40 m de profondeur et par FREDJ et GIEMAN dans le détroit de Messine, par — 110 m.

Espèce \ Mois	<i>L. ochroleuca</i>			<i>L. digitata</i>		
	2 ans	3 ans	4 ans	2 ans	3 ans	4 ans
Juillet	40	50	26	30	60	100
Août	33	33	50	7	10	—
Septembre	30	36	43	8	4	—
Octobre	33	33	53	7	7	—
Total	136	152	172	52	81	—

TABLE 1. — Pertes apicales comparées chez *L. ochroleuca* et *L. digitata* (les mesures sont exprimées en cm par mois).

On peut dire qu'à ces profondeurs, l'influence de la houle est très faible, pour ne pas dire négligeable. En outre, sous l'action des courants de profondeur, les algues ne viennent jamais en contact avec le substrat et la longueur des lames atteint 8 m pour les laminaires de la mer d'Alboran et plus de 5 m pour les grands exemplaires du détroit de Messine, algues vivant entre — 50 et — 80 m.

L'ordre de grandeur est donc le même que celui obtenu par la construction graphique et, en tout cas, nettement différent des 186 cm qu'atteignent, au maximum, les frondes de la population étudiée.

2) Croissance latérale.

a) Activité transversale du méristème.

Il n'est pas possible d'étudier l'activité transversale du méristème de la même façon que l'activité longitudinale. La lame se découpant en lanière, aucune appréciation valable ne peut être obtenue par la mesure de l'écart séparant des repères établis dans la largeur de la lame.

Au cours des études sur l'étendue de la zone de croissance, nous avons pu remarquer que les perforations, en plus de leur migration verticale sous la poussée des tissus, subissent des déformations et se transforment en ovales ayant une superficie nettement supérieure à celle de la perforation originelle.

Sur un lot d'algues, ayant servi aux précédentes études, le grand et le petit diamètre des perforations qui étaient, à l'origine, de 5 mm, ont été systématiquement mesurés. Les résultats sont illustrés par la figure 19. La comparaison entre cette dernière et la figure 16 montre qu'il existe une bonne corrélation entre la variation du grand diamètre et l'activité méristématique longitudinale. On peut donc supposer l'existence d'une corrélation du même type entre l'activité transversale et le petit diamètre.

La déformation des perforations la plus sensible, située aux niveaux 2, 3 et 4, est plus accusée dans le sens longitudinal que transversal. Pour ce lot d'algues, mesuré en septembre, l'activité méristématique maximale se situe au niveau 3, que ce soit dans le sens vertical ou horizontal. Le peu de temps dont nous disposons à chaque marée n'a pas permis de refaire les mesures de diamètre à d'autres époques, mais il a cependant été possible de noter que les maximums des deux activités méristématiques se situaient toujours au même niveau.

Le méristème frondal exerce donc son activité dans les deux directions, la croissance dans le sens vertical étant toutefois supérieure à celle du sens horizontal. Il est fort probable que des mesures suivies de la croissance transversale amèneraient à dresser une série de diagrammes analogue à celle de la figure 16, présentant les maximums aux mêmes niveaux avec des valeurs absolues plus faibles.

b) Evolution de la largeur de la lame au cours de l'année.

Du fait de l'impossibilité de contrôler la croissance en largeur de la lame, pour les raisons exposées dans le précédent paragraphe, seules les mesures brutes de ce paramètre ont été prises en considération.

Il faut noter, en toute objectivité, que les mesures sont entachées d'erreurs. En effet, la découpe de la lame en lanières et les torsions engendrées par ses inégalités de croissance, rendent difficile l'étalement dans un plan.

Le phénomène de variation saisonnière apparaît beaucoup moins nettement que dans l'étude sur la longueur de la lame. On peut néanmoins discerner un maximum au mois d'août, quel que soit l'âge du thalle considéré (fig. 20). Seule la classe des 2 ans présente une variation importante. Au début de l'expérience, en novembre 1971, ces thalles étaient âgés d'un an et présentaient encore, pour la plupart, un aspect fusiforme. On observe l'augmentation progressive de la largeur, pendant les six premiers mois de l'année, tandis que la lame devient codiforme.

Pour les algues de 3, 4 et 5 ans, la lame demeure plus ou moins cordiforme pendant toute l'année. Elle passe cependant par une phase fusiforme, comme *L. digitata*, mais elle n'atteint jamais l'aspect élancé observé chez cette dernière. La croissance transversale, au lieu de se manifester par une augmentation de la largeur, se traduit par une accentuation plus ou moins forte des lobes basaux, ceux-ci pouvant aller jusqu'à se recouvrir.

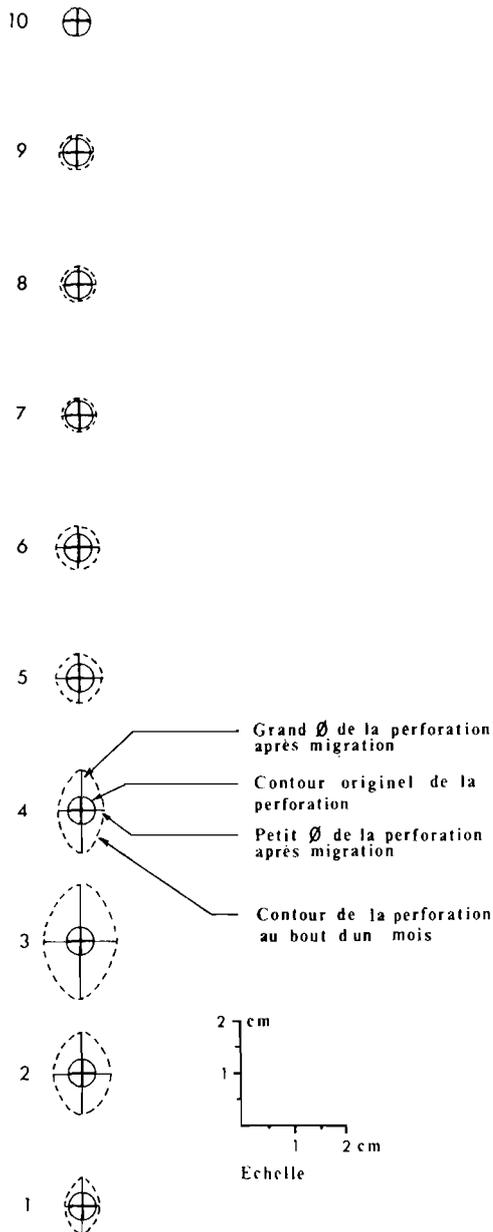


FIG. 19. — Evolution des dimensions des perforations sous l'action du méristème frondal (les intervalles entre les perforations, après migration, ne sont pas représentés sur ce schéma).

Il est intéressant de rappeler ici l'hypothèse émise par PÉREZ (1969) pour expliquer les changements cycliques de la forme chez *L. digitata*. D'après cet auteur, la production des lobes

latéraux serait principalement due au décalage existant entre les périodes de forte activité méristématique dans le sens de la longueur et de la largeur (fig. 21). L'activité transversale du méristème produit des bandes de tissus qui migrent sous la poussée longitudinale de celui-ci. Lorsque l'activité longitudinale de la zone de croissance se réduit, à partir de juin, les tissus migrent moins rapidement et s'accumulent à la base de la lame où ils tendent à former des lobes latéraux.

Ce mécanisme semble pouvoir également s'appliquer à *L. ochroleuca*. Le maximum de largeur est atteint en août, période pendant laquelle la poussée méristématique longitudinale est sensiblement réduite. En outre, l'amplitude des variations est la plus faible pour la classe des 4 ans, chez laquelle la croissance en longueur est maximum, réduisant par là-même la formation des lobes latéraux.

Les variations de la largeur de la lame ne reflètent donc qu'imparfaitement les possibilités méristématiques de l'algue. Une nouvelle preuve de cette non-représentativité nous est fournie par l'expérience décrite ci-après. En mars 1972, un lot d'algues est bagué et une ligne de repères est

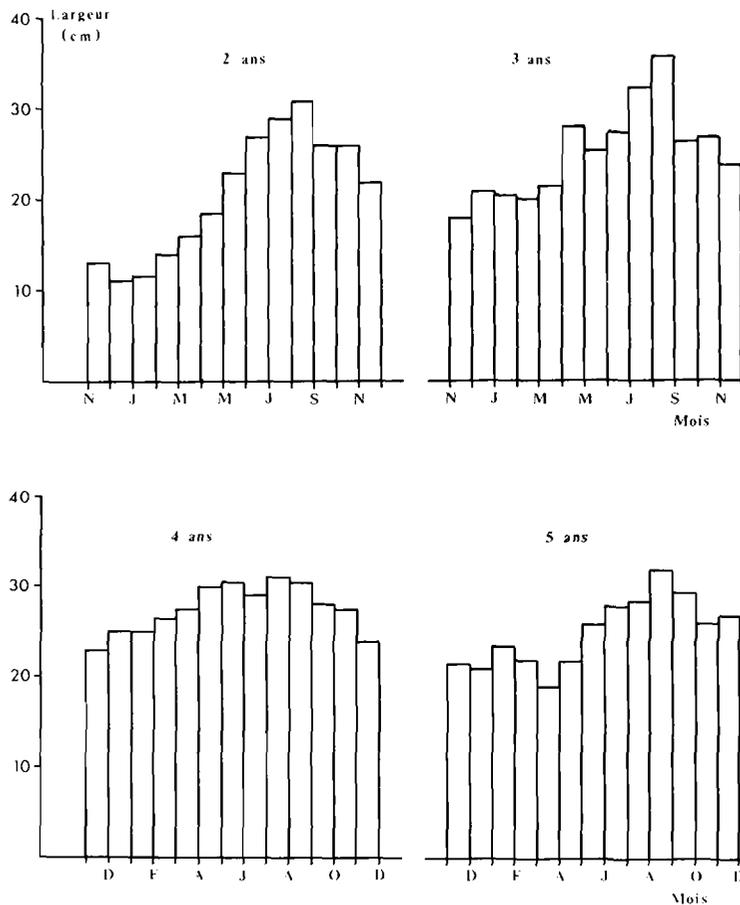


FIG. 20. — Variation de la largeur de la lame au cours de l'année pour les différentes classes d'âge.

portée sur chaque lame à 3 cm au-dessus de la jonction lame-stipe. La largeur de la lame est mesurée à la hauteur de ces repères. Elle sera évaluée de nouveau au mois d'avril, au niveau des mêmes marques. Celles-ci ont, entre temps, migré vers le haut de la lame en accompagnant la bande de tissus qui les supportait à l'origine. Les résultats sont consignés dans le tableau 2.

La croissance, pour la période mars-avril, varie de 8,8 à 13,9 cm selon les classes d'âge, tandis que l'augmentation de la largeur est comprise dans la fourchette 3,5 - 7,4 cm. Bien que de portée

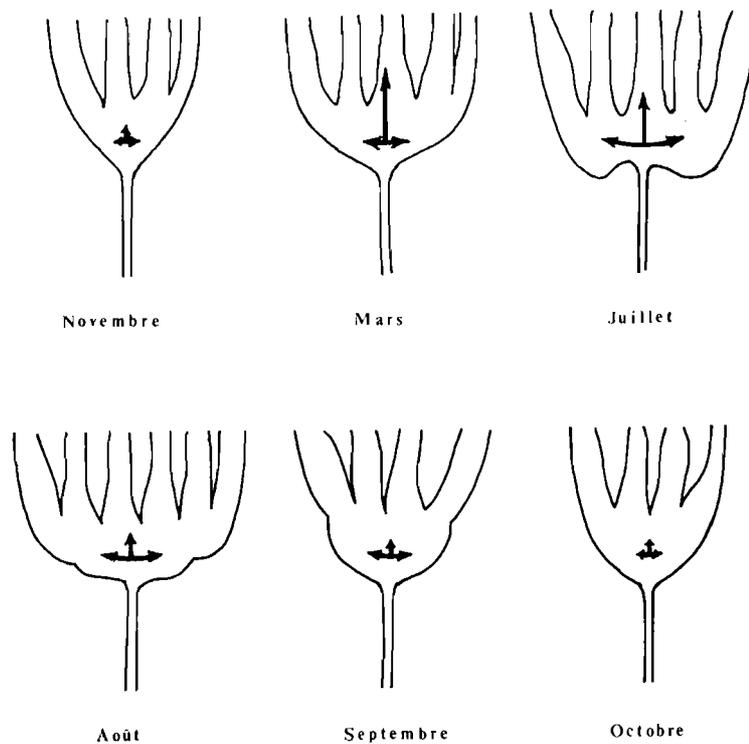


FIG. 21. — Schéma de la formation des lobes latéraux, sous l'action des méristèmes, chez *L. digitata* (d'après PÉREZ, 1969).

Classes d'âge \ Mois	2		3		4	
	L ₁	L ₂	L ₁	L ₂	L ₁	L ₂
Mars	15,0	15,0	19,6	19,6	25,9	25,9
Avril	23,8	18,5	32,8	27,0	39,8	30,0
Croissance apparente		3,5		7,4		4,1
Croissance réelle	8,8		13,2		13,9	

TABL. 2. — Croissance apparente et réelle de la lame (largeur). L₁) largeur aux repères; L₂ largeur à 3 cm. Les mesures sont exprimées en cm.

restreinte, ces résultats montrent bien que la mesure de la largeur à 3 cm au-dessus du stipe donne plus d'indications sur la forme de la lame que sur sa croissance réelle.

Espèces	Classes d'âge			
	2	3	4	5
(1) <i>L. digitata</i> (Calvados) A	—	18,0	22,8	.
(1) <i>L. digitata</i> (Calvados) B	8,0	13,3	9,3	—
(1) <i>L. digitata</i> (Calvados) C	6,3	4,0	1,0	—
(2) <i>L. hyperborea</i> (Allemagne)	—	5,7	4,1	—
<i>L. ochroleuca</i> (Bretagne)	4,9	2,7	2,1	4,1
(3) <i>L. ochroleuca</i> (Angleterre)	10,2	4,0	12,1	22,2
(3) <i>L. ochroleuca</i> (Espagne)	5,0	8,3	14,0	11,3

TABL. 3. — Croissance comparée des stipes de *L. digitata*, *L. hyperborea* et *L. ochroleuca* (les mesures sont exprimées en cm/an). *L. digitata* (A), algue vivant par 4 m de fond ; (B), algue vivant juste en dessous du niveau B.M.V.E. ; (C), algue vivant à la limite de l'étage infralittoral. 1) PÉREZ (1969), 2) LUNING (1971), 3) JOHN (1969).

La limitation du temps de travail imposée par les marées n'a pas permis de poursuivre cette expérience sur un échantillon plus important au long de l'année. En effet, il aurait été nécessaire de constituer un lot d'étude distinct de celui des algues utilisées pour apprécier la croissance longitudinale, les repères de largeur risquant, au cours de leur migration, de venir se confondre avec les repères de longueur.

C. Croissance du stipe.

1) Allongements annuels comparés.

La croissance moyenne annuelle du stipe de *L. ochroleuca* des côtes bretonnes, comparée à celles des autres laminaires (tabl. 3), apparaît comme la plus faible. Elle est du même ordre de grandeur que celle de *L. digitata* vivant à la limite de l'étage infralittoral et de *L. hyperborea* croissant par deux mètres de fond. L'allongement de *L. ochroleuca* des côtes anglaises et espagnoles est nette-

ment supérieur à celui observé pour les spécimens des côtes bretonnes. Cela n'a rien de surprenant si l'on prend en considération le niveau auquel ces algues ont été étudiées par rapport à leur extension bathymétrique.

La croissance du stipe de *L. digitata* a été mesurée aux niveaux supérieur, moyen et inférieur de la colonisation verticale. Par contre, *L. ochroleuca*, en Bretagne, et *L. hyperborea* ont été observées à la limite supérieure de peuplement pour la première, et légèrement en dessous pour la seconde. Enfin, les échantillons de *L. ochroleuca* des côtes anglaises et espagnoles étaient situés à un niveau moyen de leur étage.

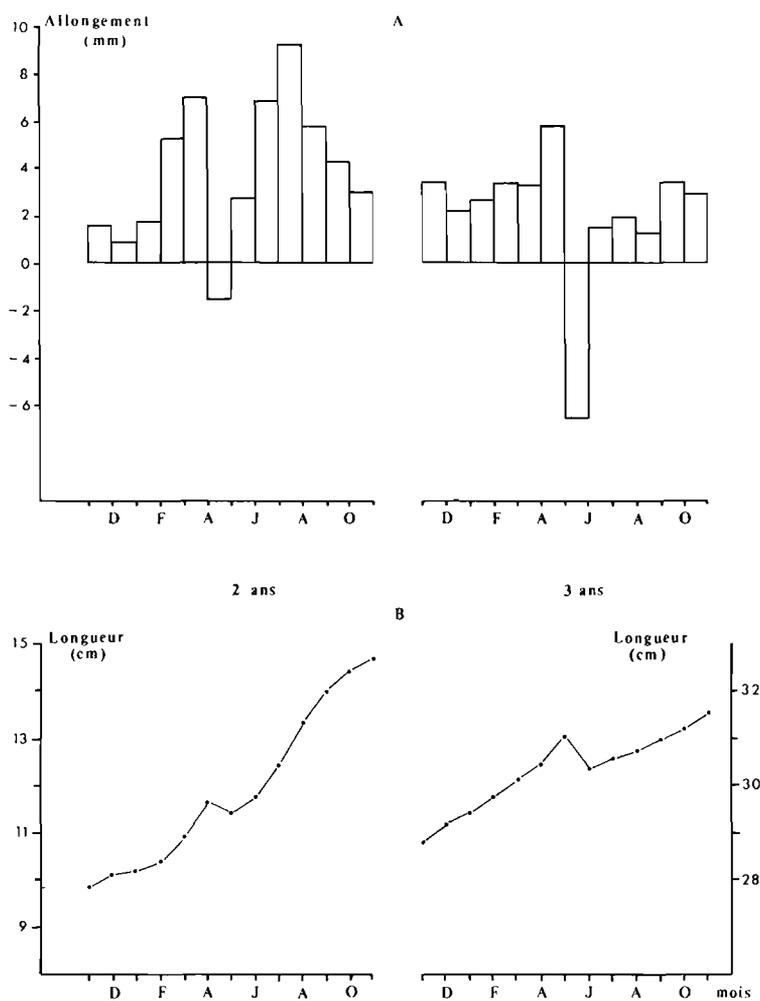


FIG. 22. — Variations de l'allongement (A) et de la longueur (B) du stipe au cours de l'année.

Il en ressort que les algues poussant dans les niveaux supérieurs de leur zone d'extension respective ont une croissance nettement inférieure à celle des algues plus profondes. Ceci est très net chez *L. digitata* dont l'allongement du stipe augmente au fur et à mesure que l'on descend vers les niveaux inférieurs de peuplement.

Le même processus se retrouve chez *L. ochroleuca* et l'étude, ayant porté sur une population de haut niveau, ne donne qu'une idée imparfaite des possibilités méristématiques de l'algue. Le fait que l'on trouve, en profondeur, des algues dont les dimensions des stipes sont largement supérieures à celles rencontrées dans la population de rive, vient corroborer cette assertion.

2) *Variation annuelle de la croissance en longueur.*

L'allongement du stipe, bien que faible, présente néanmoins des variations au cours de l'année (fig. 22 et 23). La croissance est la plus forte pour les classes 2 et 5 qui présentent, d'ailleurs, le même profil. Les fortes valeurs s'étendent de février à août pour les deux classes ; le maximum atteint en juillet est de 9,3 mm pour la classe 2 et de 8,3 mm pour les algues de 5 ans. Les classes 3 et 4 possèdent une croissance relativement continue au cours de l'année. Celle-ci passe, pendant les mois de janvier à mars, par un maximum qui est suivi d'un arrêt entre mai et août, puis d'une reprise en septembre.

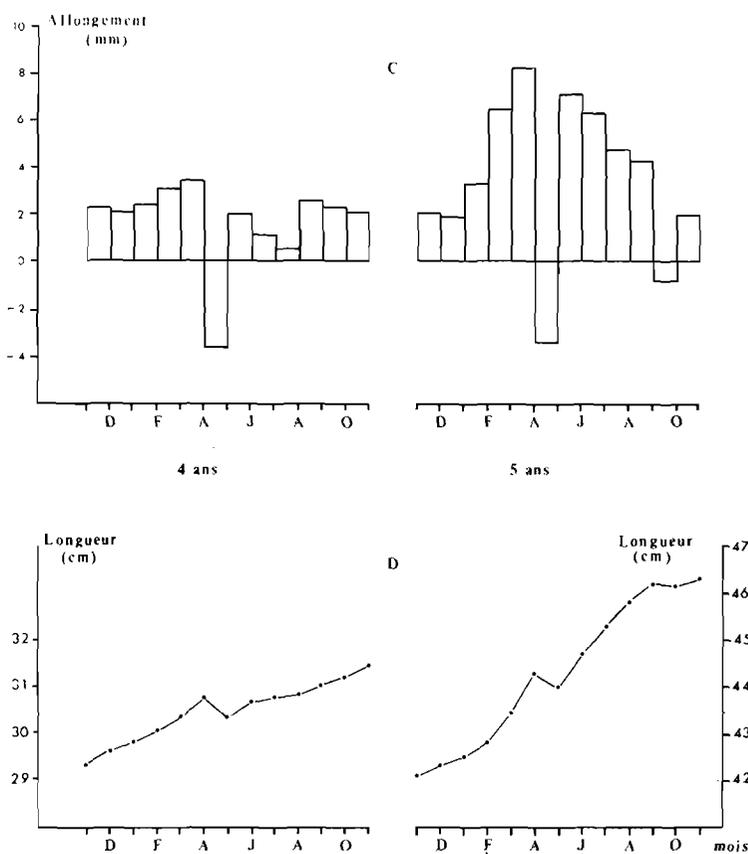


FIG. 23. — Variations de l'allongement (C) et de la longueur (D) du stipe au cours de l'année.

Sur les quatre graphiques de croissance, on remarquera une phase de « croissance négative ». Tout se passe comme si le stipe diminuait de longueur au mois d'avril ou de mai suivant l'âge du thalle. Bien sûr, il n'en est rien, et cette diminution apparente est due à l'individualisation d'un nouveau rang d'haptères. Il faut rappeler, pour mémoire, que la longueur des stipes est mesurée depuis la jonction lame-stipe jusqu'au rang d'haptères supérieur.

Dès le mois de janvier, on voit se différencier un bourrelet de tissus à une hauteur variable au-dessus du dernier rang d'haptères et généralement comprise entre 1 et 2 cm. Des tubercules apparaissent sur ce bourrelet et se transforment progressivement en haptères croissant en direction du substrat. Nous n'avons considéré un rang comme achevé que lorsque celui-ci arrive en contact avec le sol, c'est-à-dire vers avril-mai pour la population considérée. La longueur du stipe se trouve alors amputée des 1 à 2 cm gagnés par le nouveau rang d'haptères.

Cependant, pour une classe d'âge donnée, les algues n'individualisent pas leurs nouveaux haptères de façon synchrone. Pour la classe 2, par exemple, la plupart des thalles achèvent la production du nouveau rang en avril, ce qui se traduit par une « croissance négative », sur le graphique. Les quelques algues dont les haptères n'ont pas encore atteint le substrat termineront ce processus en mai ou juin. Néanmoins, leur nombre est insuffisant pour faire apparaître le phénomène de « croissance négative » et on ne note qu'une diminution du taux d'allongement.

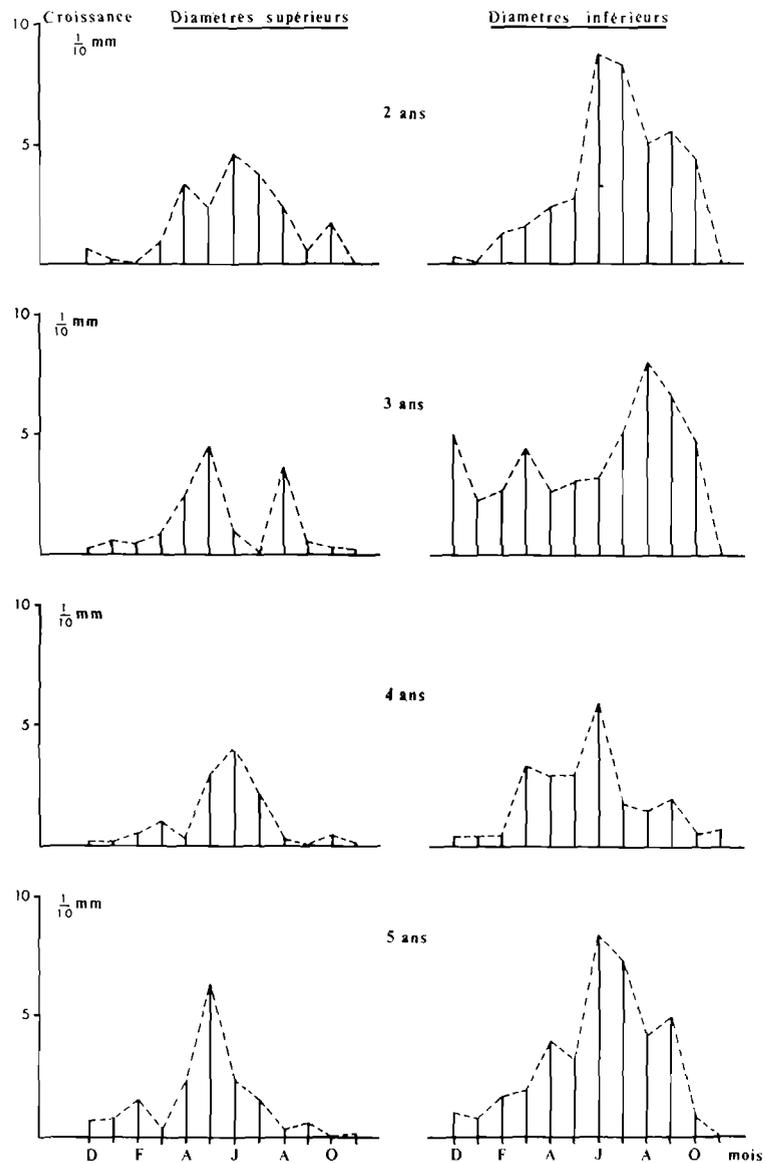


FIG. 24. — Accroissements des diamètres inférieur et supérieur du stipe au cours de l'année.

Pour les classes 3 et 4, l'individualisation semble plus étalée dans le temps puisqu'elle affecte les accroissements du stipe jusqu'au mois d'août. Ceci explique que les taux de croissance des mois de mai à août soient inférieurs à ceux de mars, bien que l'on se trouve en période de fort développement. L'apparition effective des nouveaux rangs d'haptères s'étale donc sur la période d'avril à août.

Une deuxième phase de « croissance négative » apparaît, pour la classe 5, au mois de septembre. Elle est beaucoup moins accentuée que celle du mois de mai et inexistante dans les autres classes. Seul l'examen des thalles de 6 et 7 ans permettrait de définir si cette dernière individualisation est habituelle chez les algues âgées ou si elle est le résultat de conditions particulières.

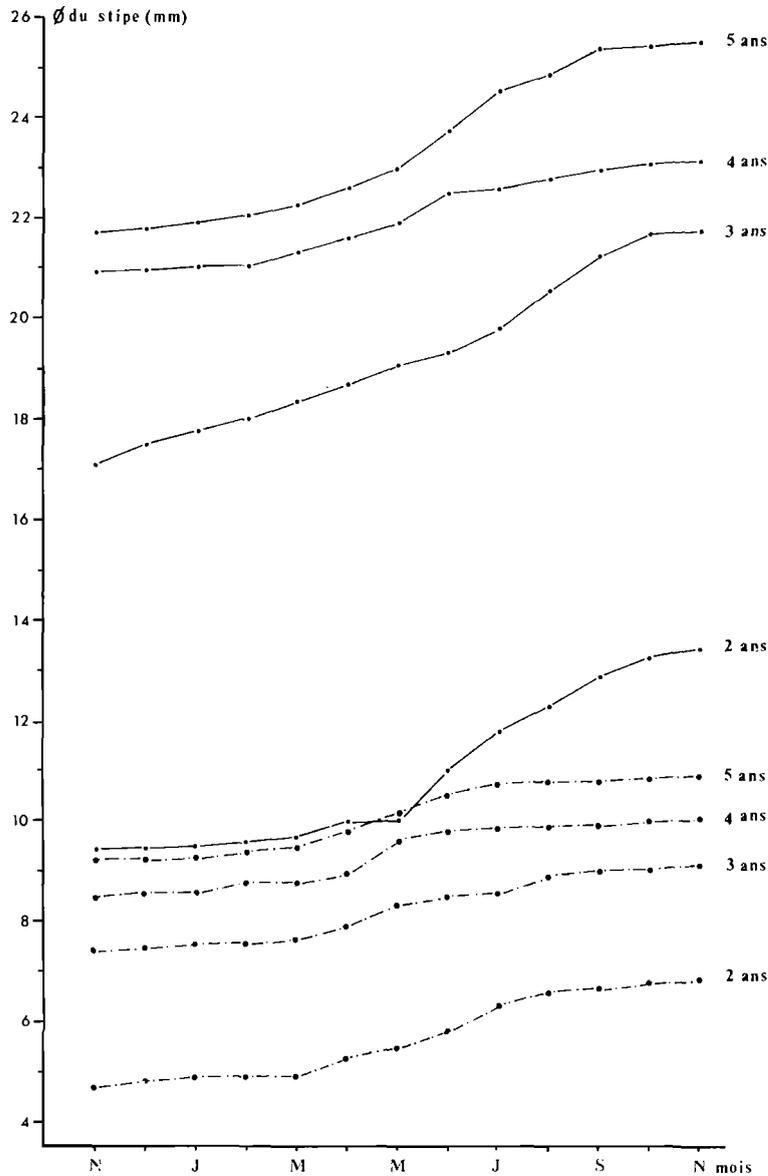


FIG. 25. — Variations des diamètres du stipe au cours de l'année (trait plein : diamètre inférieur ; tireté : diamètre supérieur).

3) Variation annuelle de la croissance des diamètres supérieur et inférieur.

a) Diamètre supérieur.

Le taux de croissance, sensiblement identique pour les classes 3, 4 et 5, est plus élevé pour la

classe 2 (fig. 24 et 25). La période de forte croissance couvre les mois d'avril à août. Le gain du diamètre supérieur est assez faible, les stipes âgés ne mesurant guère plus de 10 mm.

La comparaison avec *L. digitata* est délicate car son stipe présente une section elliptique. Il y a donc deux diamètres différents à considérer au lieu d'un seul pour *L. ochroleuca*. Si l'on confronte l'évaluation du petit diamètre chez *L. digitata* à celle du diamètre de *L. ochroleuca*, on constate que la croissance est du même ordre de grandeur pour la classe 2 tandis qu'elle est supérieure pour les classes 3, 4 et 5 chez *L. ochroleuca*. L'accroissement du grand diamètre, chez *L. digitata*, est supérieur à celui du diamètre de *L. ochroleuca* quel que soit l'âge du thalle considéré.

b) Diamètre inférieur.

La croissance du diamètre inférieur est nettement plus forte que celle du diamètre supérieur : alors que pour les quatre classes groupées le taux de croissance annuel total est de 6,3 mm pour le premier paramètre, il est de 16,2 mm pour le second. Ce sont à nouveau les classes 2 et 3 qui dominent par l'intensité de leur développement. La période de forte production tissulaire est plus étalée dans le temps et dure de mars à septembre. Il est à noter que, comme pour l'allongement du stipe, c'est la classe 4 qui présente l'activité méristématique la plus faible alors qu'elle assume la synthèse maximale de tissu frondal.

Comparée à celle de *L. digitata*, la croissance est identique pour les classes 2 et 3 ; elle devient supérieure, chez *L. ochroleuca*, pour les classes 4 et 5. De ce fait, *L. ochroleuca* possède, avec *L. hyperborea*, le stipe le plus épais et le plus robuste parmi les laminaires des côtes bretonnes.

III. - Etude sur la régénération.

A. Le phénomène de régénération chez les laminaires.

La régénération est un phénomène que l'on rencontre assez couramment chez les algues. Un thalle amputé d'une portion de sa surface régénère celle-ci, dans des délais extrêmement variables, à condition que la zone méristématique ne soit pas lésée par cette intervention. Les quatre laminaires des côtes bretonnes (*L. digitata*, *L. hyperborea*, *L. saccharina* et *L. ochroleuca*) possèdent toutes ces possibilités de régénération.

En 1919, GLOESS pensait déjà à utiliser cette particularité pour la récolte du goémon. SAUVAGEAU (1920) remarque que les algues coupées sur le stipe ne repoussent pas et pourrissent sur place. Il en conclut que la section devrait être pratiquée à la naissance des lanières chez les laminaires digitées. Ce sont FREUNDLER et MENAGER qui, en 1921, effectuent les premières études de régénération par coupe de laminaires marquées et suivent le développement ultérieur des lames. Ce travail a porté sur trois espèces de laminaires : *L. flexicaulis* (*L. digitata*), *L. saccharina* et *L. lejisii* (*L. ochroleuca*). Les investigations que nous avons entreprises en 1971 avaient pour but de déterminer les potentialités exactes de l'algue en fonction de la hauteur de coupe et de la période à laquelle cette opération est pratiquée.

B. Détermination de la hauteur de coupe.

En novembre 1971, un échantillon de 40 individus est bagué et réparti en 8 lots, les algues de chaque lot étant sectionnées à la même hauteur. Les coupes sont pratiquées à 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 et 14 cm au-dessus de la jonction lame-stipe.

Les algues sont mesurées une première fois en février 1972, puis les mois suivants afin de définir le niveau à compter duquel a lieu la régénération et la hauteur de coupe la plus avantageuse eu égard à la quantité de tissu produite. Les résultats sont illustrés par la figure 26.

Comme l'avait déjà remarqué PÉREZ (1969) chez *L. digitata*, la ligne de coupe s'incurve progressivement au cours de la régénération, les tissus marginaux semblant croître plus rapidement que les tissus centraux (fig. 27). Nous avons donc mesuré à la longueur de la lame régénérée sur sa ligne médiane.

Au niveau 0, on n'observe aucun indice de régénération. L'extrémité du stipe blanchit, se nécrose et l'algue disparaît finalement 5 mois après la coupe.

Au niveau 2, on note une faible régénération de 0,03 cm par jour pendant les quatre premiers mois, suivie d'un fléchissement de la croissance en février. Le mois suivant, et bien que le taux de régénération soit plus important, la lame commence à se nécroser et les tissus deviennent mous ; les algues disparaîtront en avril.

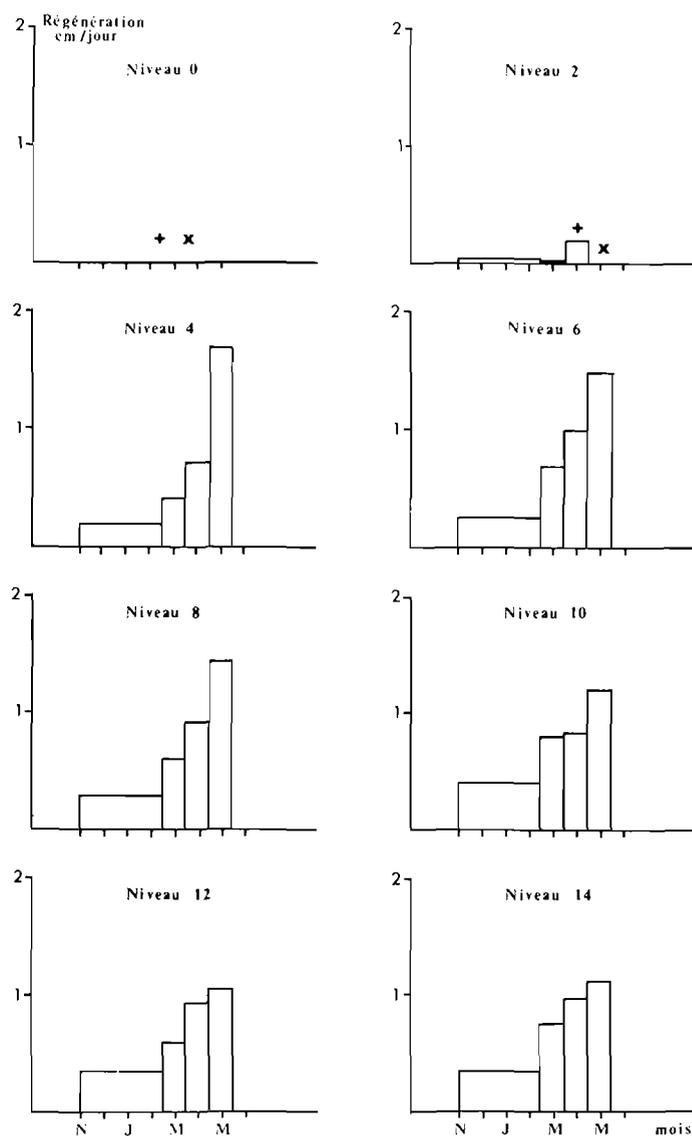


FIG. 26. — Régénération de la lame en fonction du niveau de coupe (+ : lame nécrosée ; x : disparition de la lame).

C'est seulement à partir du niveau 4 que la régénération s'opère dans de bonnes conditions. Cette observation rejoint les conclusions de COSSON (1967) et de PÉREZ (1967), ces auteurs prônant une hauteur minimale de coupe de 5 cm chez *L. digitata*.

En comparant les résultats obtenus aux différents niveaux, on est amené à faire deux constatations. Le taux de régénération, pendant les quatre premiers mois, croît proportionnellement à la

distance à laquelle est faite l'amputation, jusqu'au niveau 10, puis reste stable pour les niveaux 12 et 14. Ceci tendrait à prouver que la coupe altère les potentialités méristématiques de la zone de croissance et ce d'autant plus qu'elle est effectuée plus près du stipe.

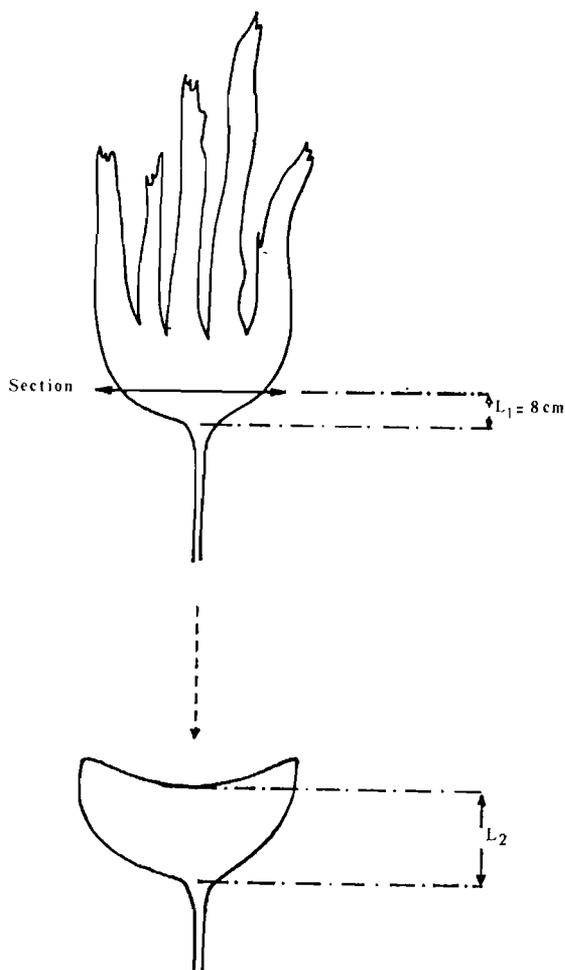


FIG. 27. — Schéma montrant l'incurvation du bord de la section, lors de la régénération, et la mesure de la lame reconstituée (L_2).

l'expérience visant à apprécier l'intensité de la régénération en fonction de la période de coupe, nous avons préféré sectionner les algues au niveau 8 cm afin de préserver la portion de lame contenant la plus forte activité méristématique.

C. Intensité de la régénération suivant la période de coupe.

De février à novembre 1972, un lot de 5 algues a été sélectionné chaque mois ; la lame de ces algues a été tranchée à 8 cm au-dessus du stipe. Il fut ainsi possible de suivre le taux de régénération des frondes sectionnées pendant 9 mois.

Si l'on considère les pentes des courbes (fig. 28), et en faisant abstraction des sections pratiquées en novembre 1971, on remarque que c'est celle du lot d'algues opérées en avril qui est

En se reportant à la figure 17, on peut remarquer que le maximum d'activité méristématique, pour le mois de novembre, se situe entre les repères 3 et 5, soit 6 à 10 cm au-dessus de la jonction lame-stipe. Il est donc normal que les coupes pratiquées en-deçà de la limite des 10 cm, même si elles permettent une bonne régénération, affaiblissent le mécanisme de la croissance de la lame.

La dernière série de mesures a eu lieu en mai. A cette date, les lames des niveaux 4 à 14 ont sensiblement la même longueur, 100 à 115 cm, mais cette dimension finale n'a pas été atteinte de façon identique. Si, pour le niveau 4, la régénération a été nettement exponentielle, ce caractère devient de moins en moins marqué au fur et à mesure que le niveau de coupe est plus élevé. En période de forte croissance, ce sont les algues portant le moins de tissus qui présentent la croissance la plus forte (niveau 4 : 51 cm, niveau 6 : 45 cm, niveau 8 : 42,5 cm).

Ces constatations rejoignent celles de PÉREZ (1967) sur *L. digitata*. Cet auteur pense à une inhibition de l'activité de la zone de croissance par les tissus âgés, analogue à celle que l'on observe chez les végétaux supérieurs (1). Le taux de développement des niveaux 4, 6 et 8 est nettement supérieur à celui des algues témoins non sectionnées. Le phénomène n'apparaît plus pour les niveaux 10, 12 et 14, l'inhibition par les tissus âgés étant restaurée plus rapidement en raison du taux important de régénération pendant les quatre premiers mois suivant la coupe.

Les algues atteignent toutes la même longueur 7 mois après la coupe ; on peut donc sectionner les lames à un niveau quelconque au-dessus des 4 cm, mais il est évidemment plus intéressant, en considérant la quantité de tissu prélevée, de se rapprocher le plus possible de la valeur seuil. Pour

(1) Communication personnelle.

la plus élevée, ce qui dénote le taux de régénération le plus important. En prenant le graphique dans son ensemble, il apparaît que la régénération s'effectue dans de bonnes conditions lorsque les lames sont coupées avant la période de croissance maximum qui a lieu en mai. Toutes les algues sectionnées après cette période montrent une régénération d'autant plus faible que l'on s'éloigne du mois où l'activité méristématique est la plus forte.

Le temps réduit dont nous disposons pour cette expérience n'a pas permis de la prolonger au-delà de novembre 1972. Il eut cependant été intéressant de contrôler le devenir des coupes effectuées en septembre, octobre et novembre. En effet, les lames sectionnées en novembre 1971 montrent une

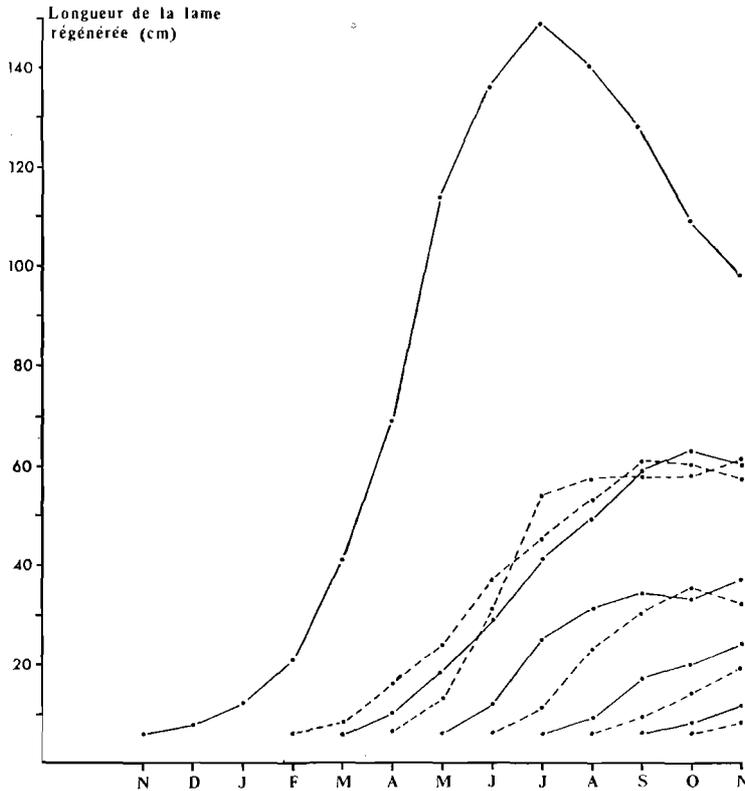


FIG. 28. — Régénération de la lame en fonction de la période de coupe.

régénération discrète au départ, mais qui se poursuit de façon exponentielle, la lame mesurant jusqu'à 149 cm.

Chez *L. digitata*, PÉREZ (1967) obtient en 1966, pour des lames coupées en août, septembre, octobre et novembre 1965, des profils de régénération identiques à celui des *L. ochroleuca* sectionnées en novembre 1971. Les *L. digitata* opérées de décembre 1965 à août 1966 présentent également la même évolution que les *L. ochroleuca* coupées à des périodes identiques.

On peut en conclure que le meilleur taux de régénération est obtenu pour les algues sectionnées pendant la période où la croissance se ralentit. Tout se passe comme si les algues avaient besoin d'un certain laps de temps, après le « choc opératoire », pour permettre à la zone méristématique de s'exprimer pleinement. Les algues coupées trop peu de temps avant la période de forte croissance, c'est-à-dire en février, mars et avril, n'ont qu'un développement réduit comparé à celui des algues témoins.

Un autre facteur intervient sans doute dans la traumatisation de la zone de croissance ; il s'agit de l'émersion. *L. ochroleuca* supporte mal la dessiccation et les mois de février, mars et

avril 1972 correspondaient respectivement à des marées de coefficient 108, 115 et 112, donc à des temps d'émergence importants. Ceci n'a pu avoir qu'un effet néfaste sur les algues dont la résistance était déjà diminuée par l'ablation d'une partie de leurs tissus.

Il faut noter, qu'au cours de cette expérience, certains thalles n'ont pas régénéré et ont disparu. Les lames blanchissaient rapidement, se désagrégeaient et se couvraient d'épiphytes, notamment d'*Ectocarpus*. Il s'agissait toujours de thalles âgés de 5 et 6 ans, c'est-à-dire d'algues aux potentialités méristématiques réduites (fig. 16).

Nous rappellerons ici les travaux de FREUNDLER et MENAGER (1921) qui n'ont obtenu une régénération que pour un de leurs deux lots d'algues. Les sections étaient pratiquées à 17 cm au-dessus du stipe. Le premier lot, coupé en juillet 1920, n'a présenté qu'une très faible régénération, les lames se recouvrant rapidement d'épiphytes et disparaissant en décembre. Le lot du 16 août a présenté une régénération du même ordre que celle que nous avons pu observer, bien que les algues fussent souvent épiphytées. Il y a donc tout lieu de penser que le premier lot était constitué d'individus nettement plus âgés que ceux du deuxième échantillon.

Signalons enfin que la mise en régénération d'une lame n'affecte en rien ses possibilités reproductrices. Les algues coupées en novembre 1971 étaient fertiles, en 1972, à la même époque que les algues témoins. L'émission des spores s'est parfaitement déroulée. L'intérêt du phénomène de régénération, pour la récolte des algues, est évident et nous ne reviendrons pas sur un sujet fort bien traité par PÉREZ (1968). Un fait récent, intervenu depuis la publication de ces travaux, donne une dimension nouvelle à cette propriété des laminaires. Pour pallier les inconvénients de la récolte artisanale, à la « pigouille » ou au « scoubidou » (1) des essais de récolte par plongeurs ont été menés en 1964-65. Le bateau « Tali » (1) était équipé de deux suceuses hydrauliques permettant d'aspirer à bord les algues coupées par des plongeurs. Ce système a été abandonné, la plongée sous-marine ne rencontrant que peu d'échos favorables parmi les goémoniers. Ce sont les essais du « Jean Ogor » (1), en 1970-71, qui ont recueilli l'approbation de la profession goémonière. Ce bateau est équipé d'un « scoubidou mécanique » qui travaille par arrachage des algues. Or, en 1972, le « Tali » (rebaptisé « Goé-mar ») reprend du service avec le même type de suceuse expérimenté en 1964. La coupe s'effectuant manuellement, il est possible de ne prélever les lames qu'à partir du niveau 4 cm.

En utilisant les méthodes traditionnelles, un champ récolté met environ 18 mois à se reconstituer (PÉREZ, 1970), alors qu'avec une coupe permettant la régénération, le champ peut être récolté une à deux fois par an. Ces estimations, faites sur *L. digitata*, sont applicables à *L. ochroleuca*, leurs biologies étant sensiblement identiques. Bien que la régénération soit inexistante pour la classe 5, on peut penser que les populations profondes, vue leur longévité accrue, peuvent se régénérer au-delà de la limite des 5 ans, ce qui accroîtrait encore le potentiel exploitable des champs de *L. ochroleuca*.

La détermination de la valeur économique d'une algue passe impérativement par l'étude de deux caractéristiques fondamentales : la biologie de l'espèce et les quantités et qualités du produit extractible.

La présence de champs suffisamment denses et étendus pour supporter une exploitation ainsi que les potentialités méristématiques et reproductrices de *L. ochroleuca*, permettent de considérer le premier point de référence comme positif. C'est donc l'analyse des teneurs en acide alginique et l'examen des différents critères de qualité applicables à celui-ci qui vont préciser le degré d'intérêt de cette algue, en tant que matière première, dans le cadre de l'industrie des algues brunes.

(1) Voir en annexe la description de ces différents engins de récolte du goémon.

CHAPITRE III

ETUDE DE L'ACIDE ALGINIQUE EXTRAIT DE *LAMINARIA OCHROLEUCA*

I. - Généralités.

La consommation d'alginate, sur le plan français, est en augmentation de 7 % par an depuis 1970. Le marché mondial évolue également dans le même sens et les débouchés paraissent largement ouverts. L'industrie française des algues brunes limite actuellement ses approvisionnements en matière première à la seule espèce *L. digitata* ce qui, dans un proche avenir, risque de nuire à son expansion.

Les caractéristiques biologiques de *L. ochroleuca* répondant aux conditions requises pour l'exploitation d'une algue, il a paru intéressant de déterminer la valeur commerciale de cette laminaire par l'examen des critères industriels habituellement retenus pour cette évaluation. Dans ce but, l'étude a porté sur la variation annuelle de la teneur en acide alginique et la qualité de ce dernier, notamment les modifications saisonnières de la viscosité et de la coloration. Pour cette dernière, et compte tenu du fait que l'acide alginique extrait par les procédés usuels possède une coloration préjudiciable à sa valeur marchande, il a paru nécessaire de définir un processus expérimental permettant d'éviter cet inconvénient.

A. Formule et structure de l'acide alginique.

C'est au cours d'investigations visant à améliorer le procédé d'extraction de l'iode, que STANFORD isole, en 1883, une substance mucilagineuse coagulable par les acides minéraux. Il lui donne le nom d'alginate ou d'acide alginique.

La constitution de ce composé demeure longtemps inconnue et il faut attendre 1929 pour que NELSON et CRETCHER, travaillant par hydrolyse, mettent en évidence la présence d'un acide uronique, en l'occurrence l'acide β D-mannuronique (fig. 29). HIRST et coll. (1939) démontrent que la liaison entre les molécules d'acide β D-mannuronique est du type (1 \rightarrow 4). En 1955, FISCHER et DORFEL constatent la présence d'un autre composant, l'acide β L-guluronique, dont la liaison est aussi du type (1 \rightarrow 4). Les proportions relatives des deux acides uroniques varient selon les espèces à partir desquelles l'acide alginique est extrait.

Ces différents résultats amènent à se demander si l'acide alginique est constitué par des hétéropolymères ou des holopolymères des acides uroniques. Les travaux de HIRST et coll. (1964) et de HAUG et coll. (1966) font apparaître que la molécule d'alginate est composée de blocs homogènes d'acide mannuronique ou guluronique comprenant 20 à 30 unités ; ces blocs sont séparés par des chaînes où le degré d'alternance des acides uroniques est plus élevé. SKORYNA et TANAKA (1969) définissent la structure spatiale de la molécule ; celle-ci se présente sous la forme d'une double hélice composée de portions tantôt lâches, tantôt serrées qui correspondent respectivement à des résidus d'acide guluronique et d'acide mannuronique.

B. Localisation cellulaire et métabolisme.

L'acide alginique semble uniquement situé dans la paroi cellulaire des phéophycées. On ne trouve aucune trace de ce glucide dans les différents organites de la cellule. Les observations d'ANDERSEN (1956), de BAARDSETH (1966) et de Mc CULLY (1966) font ressortir que l'acide alginique est principalement localisé dans la lamelle moyenne et la membrane primaire. Les voies de synthèse et de dégradation de ce polyhexose sont encore mal connues. Les travaux récents de HELLEBUST et HAUG (1972, a, b), fondés sur l'utilisation de molécule marquée ($\text{NH}^{14} \text{CO}_3$), montrent que la synthèse du mannitol et de l'acide alginique sont deux processus séparés. S'il est possible de dresser un schéma théorique de l'élaboration du polymère (fig. 29), celui-ci n'a pas encore été complètement confirmé *in-vivo*.

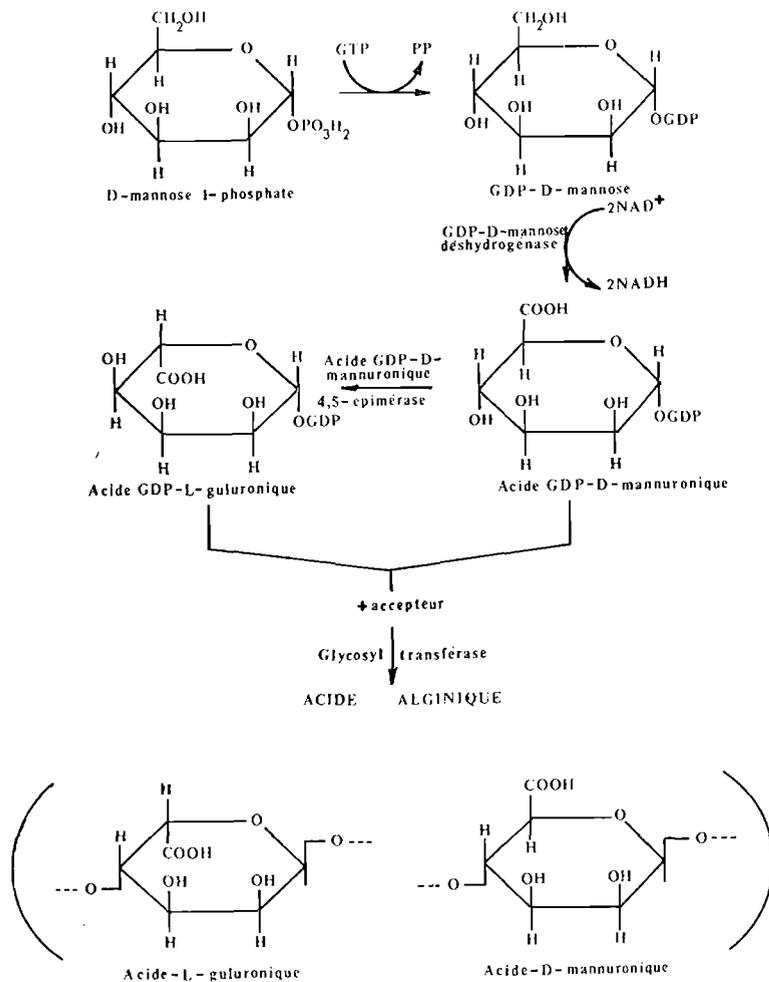


FIG. 29. — Schéma théorique de la synthèse de l'acide alginique.

La dégradation de l'acide alginique se rapproche de celle des mucopolysaccharides (PREISS et ASHWELL, 1962 a, b) et elle résulte de l'action d'au moins deux enzymes. L'hydrolyse enzymatique, par une série d'oligosaccharides insaturés, conduit à l'obtention de pyruvate et de triose phosphate. Le rôle de l'acide alginique dans la cellule n'a pas été élucidé. Selon les auteurs, celui-ci pourrait être un échangeur d'anions, un glucide de réserve, un précurseur ou un déchet du métabolisme.

C. Caractéristiques physiques.

1) Pouvoir rotatoire.

Les acides mannuronique et guluronique possèdent tous deux des carbones asymétriques. La molécule d'acide alginique présente donc le phénomène de mutarotation. La valeur du pouvoir rotatoire est assez élevée : $(\alpha) D = -139^\circ$.

2) Constante de dissociation.

La constante de dissociation de l'acide alginique varie avec les proportions relatives des deux acides uroniques composant la molécule. Les pK les plus élevés sont mesurés chez les alginates ayant les plus hautes teneurs en résidus d'acide guluronique. On obtient des pK de 3,74 pour *L. hyperborea* et de 3,42 pour *L. digitata* ; les mesures sont effectuées dans une solution de chlorure de sodium à 0,1 N.

3) Poids moléculaire.

DONAN et ROSE (1950) déterminent le poids moléculaire en mesurant la viscosité intrinsèque d'une solution d'alginate. Ils aboutissent à une valeur de 216 pour l'alginate de sodium. Le degré de polymérisation est variable mais peut être évalué à environ 1 000 pour les meilleurs échantillons.

4) Solubilité.

L'acide alginique est insoluble dans l'eau et seuls ses sels fortement ionisés peuvent se dissoudre. Les alginates formés à partir de métaux alcalins, d'ammoniaque et de quelques bases organiques à faibles poids moléculaires sont solubles dans l'eau. Les sels de la plupart des cations di ou polyvalents sont insolubles dans l'eau et les solvants organiques. Il n'y a pas de limites bien définies pour la solubilité. Lorsque l'on augmente la concentration en alginates, les solutions deviennent progressivement visqueuses pour passer à l'état de gel. Les concentrations en alginates nécessaires à ces différentes étapes dépendent directement du degré de polymérisation.

D. Propriétés et utilisations.

1) Propriétés.

PERCIVAL et Mc DOWELL (1967) répartissent les propriétés des alginates en six groupes :

- a) formation de solutions visqueuses à de faibles concentrations,
- b) comportement en solution comme des polyélectrolytes,
- c) constitution de gels par réactions chimiques,
- d) formation de films sur les surfaces,
- e) production de films et de fibres,
- f) faculté d'échange de bases.

Les multiples applications des alginates font appel à une ou plusieurs de ces propriétés selon la complexité des réactions engagées.

2) Utilisations.

Ce sont les pouvoirs épaississant, émulsifiant et stabilisateur de l'acide alginique qui sont les plus sollicités. L'entreprise américaine KELCO a recensé plus de 300 utilisations différentes et le tableau 4 donne un aperçu de la diversité de ces applications et des domaines concernés. Il faut ajouter, à cette liste déjà longue, l'emploi d'alginates dans la purification des eaux résiduaires,

la décantation des bières, la fabrication des films photographiques et des revêtements routiers. L'alginate de calcium est également employé pour la décontamination de l'organisme lors d'une absorption accidentelle de Strontium radioactif.

<p>Produits pharmaceutiques</p> <ul style="list-style-type: none"> Tablettes d'auréomycine Suspensions de terramycine Tablettes de sulfamide triple et suspension Tablette anti-acide Tablettes d'aspirines composées Lotion calamine Poudre hémostatique Laxatifs gonflants Composés pour les impressions dentaires Dentifrice Composés pour les empreintes orthopédiques Gelée chirurgicale Suppositoires Emulsions d'huiles minérales Onguent pour massages <p>Produits alimentaires divers</p> <ul style="list-style-type: none"> Glaces et meringues industrielles Assaisonnement de crudités Produits surgelés Sirops Concentré d'orange Confiseries Pâtisseries <p>Caoutchouc</p> <ul style="list-style-type: none"> Épaississement et émulsification des latex naturels et synthétiques Articles manufacturés : <ul style="list-style-type: none"> — tapis de sol pour automobiles — isolation du matériel électrique — coussins de mousse — culottes en caoutchouc — revêtement de latex — pneumatiques. 	<p>Produits laitiers</p> <ul style="list-style-type: none"> Crème glacée Sachet de crème ménagère Sorbet Lait chocolaté Chocolat en tablettes Crème stérilisée Fromages <p>Adhésifs</p> <ul style="list-style-type: none"> Panneaux muraux Sacs en papier Containers maritimes Ruban gommé Décalcomanies <p>Papeteries</p> <ul style="list-style-type: none"> Cartonnage alimentaire Cartons pour savons médicinaux et détergents Emballage du lait Cartons de beurre Cartonnage pour aliments surgelés Cartons isolants Papier à l'épreuve des graisses Panneaux d'isolation acoustique <p>Produits divers</p> <ul style="list-style-type: none"> Peintures Vitrification des céramiques Articles en porcelaine Finition des cuirs Polish pour carrosserie Revêtement des électrodes de soudure Composés de raffinage Séparateurs de plaques pour batteries Joints de scellement pour panneaux muraux Fabrication du sucre de betterave Émulsification des cires.
---	---

TABL. 4. — Diverses utilisations de l'acide alginique recensées par la KELCO Cie (d'après CHAPMAN, 1970).

Si l'on tend actuellement à substituer, dans certains secteurs, la carboxyméthylcellulose et la gomme de guar à l'acide alginique, celui-ci n'en demeure pas moins irremplaçable dans de très nombreux cas.

II. - Les techniques d'étude.

A. Séchage des algues avant utilisation.

L'extraction industrielle de l'acide alginique se pratique de préférence à partir d'algues sèches. La capacité des usines à traiter les algues fraîches ou traitement « en vert », ne dépasse guère 1 à 2 tonnes par jour, ce qui entraîne la nécessité de stocker. En outre, on a constaté empiriquement que le pourcentage d'acide alginique extractible augmente avec la durée du stockage. Il n'est pas rare de ne traiter les laminaires qu'au bout de 4 à 6 mois de conservation. Avant de livrer la matière première aux usines, les goémoniers sèchent les algues au soleil en les étalant sur les dunes.

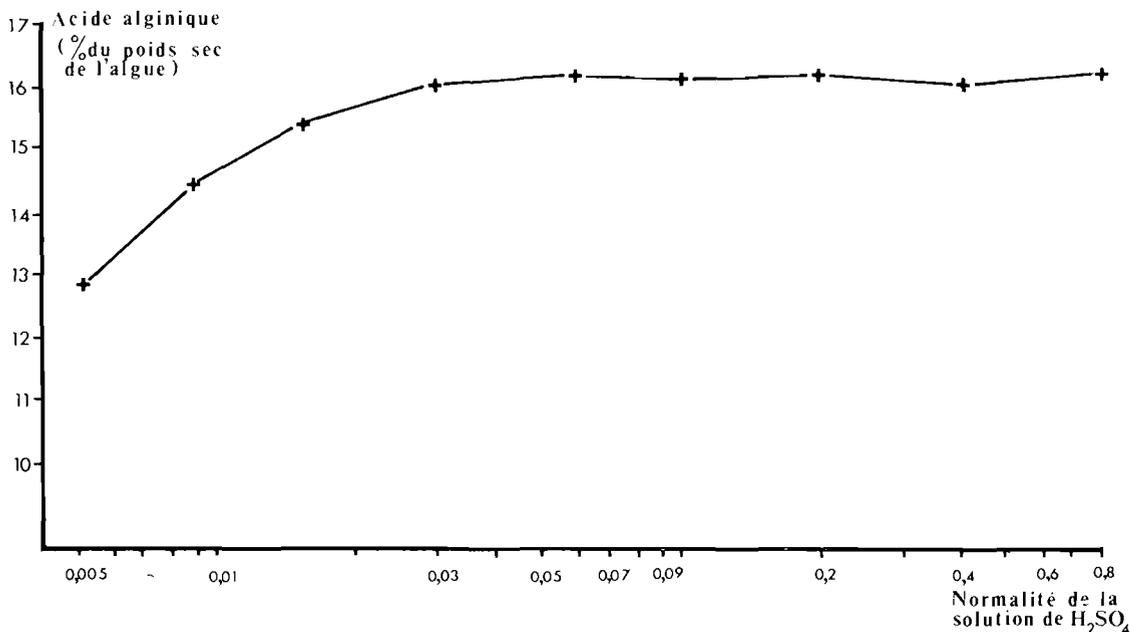


FIG. 30. — Pourcentage d'acide alginique extrait en fonction de la normalité de la solution de déminéralisation.

Afin de se situer le plus près possible de ces conditions de traitement, seules des algues sèches furent utilisées au cours de cette étude. Après leur récolte, les thalles sont suspendus sur des cordes tendues horizontalement dans un local maintenu à une température constante de 20 °C. Pour des raisons de commodité et de place disponible, la durée de stockage choisie a été de un mois, période au terme de laquelle le taux d'humidité des échantillons oscille entre 8 et 10 %.

B. Extraction et quantification.

Les divers procédés d'extraction de l'acide alginique dérivent tous de la méthode mise au point par STANFORD en 1883. Cette dernière consiste en une déminéralisation de l'algue par une solution d'acide dilué suivie d'une digestion par le carbonate de sodium. L'alginate de soude ainsi formé est ensuite traité par un acide fort jusqu'à l'obtention de l'acide alginique libre. Avant de standardiser la méthode d'extraction pour la suite de l'étude, les concentrations minimales nécessaires des différents réactifs ont été déterminées, comme il est précisé dans le paragraphe suivant.

1) *Détermination des quantités minimales de réactifs.*

a) *Etape de déminéralisation.*

L'étude est menée sur des échantillons d'algues de 3 g de poids sec. En gardant constants le volume (200 cm³) et le temps de macération (4 heures), on fait varier la concentration de la solution en acide sulfurique. L'extraction est poursuivie, selon le schéma exposé dans le précédent paragraphe, jusqu'au stade de l'acide alginique libre.

La courbe du pourcentage d'acide alginique extrait en fonction de la concentration de la solution de déminéralisation est tracée afin de déterminer la valeur seuil de cette dernière (fig. 30). Elle met en évidence que la concentration minimale nécessaire à une bonne extraction est de 0,03 N. Ceci correspond à 0,294 g d'H₂SO₄ pour 3 g d'échantillon, soit 0,098 g de H₂SO₄ par gramme d'algue. Les valeurs citées, dans la littérature concernant le traitement des algues brunes, oscillent entre 0,098 et 0,196 gramme d'acide sulfurique par gramme d'algue sèche (VILLEGAS, 1964 ; ROSE, 1951 ; VINCENT, 1956 ; CAMERON, ROSS et PERCIVAL, 1948).

b) *Etape de digestion.*

Sur des échantillons d'algues de 3 g de poids sec, l'action de solutions de digestion est testée à différentes concentrations en carbonate de sodium. Les autres paramètres demeurent fixes, le volume étant établi à 200 cm³, le temps de digestion à 16 h et la concentration de la solution de déminéralisation à 0,1 N.

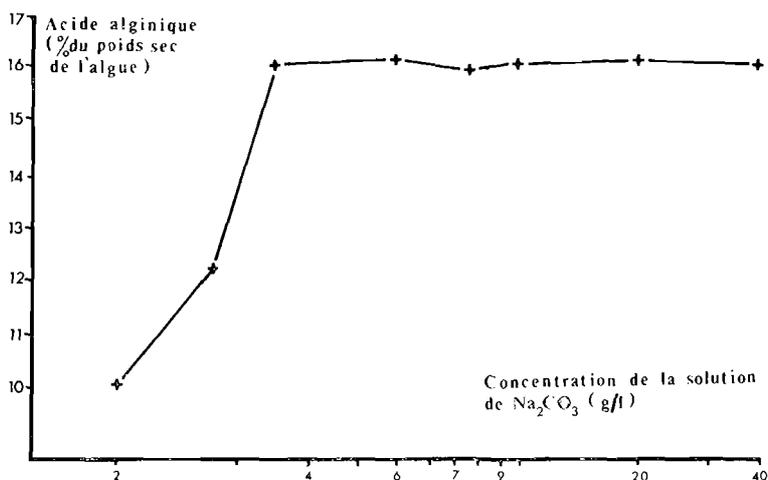


FIG. 31. — Pourcentage d'acide alginique extrait en fonction de la concentration de la solution de digestion.

Comme précédemment, la quantité d'acide alginique sert à déterminer la valeur plancher de la concentration en Na₂CO₃ (fig. 31). Celle-ci s'établit à 0,35 g/l, soit 0,23 g de carbonate de sodium par gramme d'algue. Selon les auteurs, les solutions utilisées ont des concentrations variant entre 0,20 et 1,2 g de Na₂CO₃ par gramme d'algue (CAMERON, ROSS et PERCIVAL, 1948 ; VILLEGAS, 1964 ; PERCIVAL et ROSS, 1948 ; ROSE, 1951).

Afin de garder une marge de sécurité suffisante, nous avons fixé les concentrations des réactifs aux valeurs suivantes :

solution de déminéralisation : H₂SO₄ (0,1 N)
 solution de digestion : Na₂CO₃ (10 g/l)

2) *Méthode standard.*

Après avoir débarrassé l'algue de ses épibiontes, on découpe une lanière de tissu allant de la

jonction lame-stipe à la partie distale de la lame, de façon à obtenir un échantillon de 3 à 5 grammes. Celui-ci est lavé à l'eau distillée, divisé en fragments de quelques centimètres carrés et plongé, pendant 20 mn, dans une solution de formaldéhyde à 1 % (1). L'algue est à nouveau lavée à l'eau distillée et mise à macérer dans 200 cm³ d'une solution d'acide sulfurique 0,1 N pendant 4 h. Cette opération a pour but de déminéraliser l'algue et, accessoirement, de la débarrasser d'une partie de ses pigments.

Les fragments sont recueillis sur un filtre à plis et lavés à l'eau distillée. L'échantillon est ensuite trempé, pendant une heure, dans 50 cm³ environ d'une solution à 10 g/l de carbonate de sodium afin de ramolir les tissus avant le broyage. Si cette opération est facultative pour l'extraction de l'algine à partir de la lame, elle est absolument nécessaire lorsqu'il s'agit du stipe. Dans ce cas, et avant tout traitement, l'échantillon est découpé en portions de un centimètre de long. Après passage dans le formol et déminéralisation par l'acide sulfurique, ces fragments sont redécoupés en tranches minces afin de faciliter l'attaque par le carbonate de sodium. L'exceptionnelle robustesse du stipe séché rend indispensable cet ensemble de précautions pour obtenir une digestion homogène.

Le mélange est broyé dans un homogénéiseur Vorwerk jusqu'au stade de purée fluide. On ajuste alors le volume d'extraction à 200 cm³ avec la solution de carbonate de sodium et on place le tout en agitation magnétique pendant deux heures. La durée totale de la digestion est de 16 heures. Cette phase achevée, la solution est portée à 500 cm³ au moyen d'eau distillée et centrifugée 30 mn à 4 000 tours/mn. Le surnageant est recueilli et on met le culot en suspension dans 400 cm³ d'eau distillée. Après une nouvelle centrifugation de 20 mn, on ajoute le deuxième surnageant au premier et on lave le culot à l'eau. Ce dernier est filtré afin de retenir la cellulose et les eaux de lavage sont ajoutées aux deux premières solutions obtenues.

Cette liqueur contenant l'alginate de sodium est progressivement acidifiée par une solution de H₂SO₄ 0,4 N jusqu'à pH 2. L'acide alginique est déplacé de son sel de sodium et flocule. On laisse reposer le floculat quelques minutes, afin qu'il se concentre à la surface du liquide, et on filtre sur une toile à blutter en nylon (2) préalablement tarée (maille de 100 microns).

L'acide alginique recueilli est abondamment lavé à l'eau distillée, puis à l'éthanol 95° et enfin à l'alcool absolu. Ces différents lavages servent à éliminer le sulfate de sodium et les pigments indésirables ainsi qu'à déshydrater en partie l'acide alginique. Le filtre contenant le précipité est desséché à l'étuve jusqu'à poids constant, ce qui permet de déterminer le poids d'acide alginique extrait.

Parallèlement à l'extraction, 10 grammes d'algue sont placés à l'étuve jusqu'à dessiccation totale afin de connaître exactement le taux d'humidité résiduelle de l'échantillon traité.

Le pourcentage d'acide alginique extrait (C) est donné par la formule :

$$C = \frac{B}{A \times X} \times 100$$
$$A = \frac{\quad}{100}$$

Le paramètre A représente le poids de l'échantillon brut, X le taux d'humidité résiduelle exprimé en pourcentage, B le poids d'acide alginique extrait.

(1) Les raisons qui ont amené l'introduction de cette étape supplémentaire, par rapport aux procédés classiques d'extraction, sont détaillées dans le paragraphe consacré à « la coloration de l'acide alginique au cours de son extraction ».

(2) Il a paru préférable d'utiliser la toile à blutter plutôt que le classique filtre en papier, car elle est plus facile à manipuler et permet une filtration beaucoup plus rapide. En outre, le lavage du floculat est plus efficace et permet d'éliminer totalement le sulfate de sodium, ce qui est impossible avec les filtres papier. Ces derniers induisent des erreurs sur le poids pouvant atteindre 40 %.

C. Mesure de la viscosité.

L'acide alginique pur étant insoluble dans l'eau, on ne détermine pas directement sa viscosité mais celle d'une solution à 1 % d'alginate de sodium.

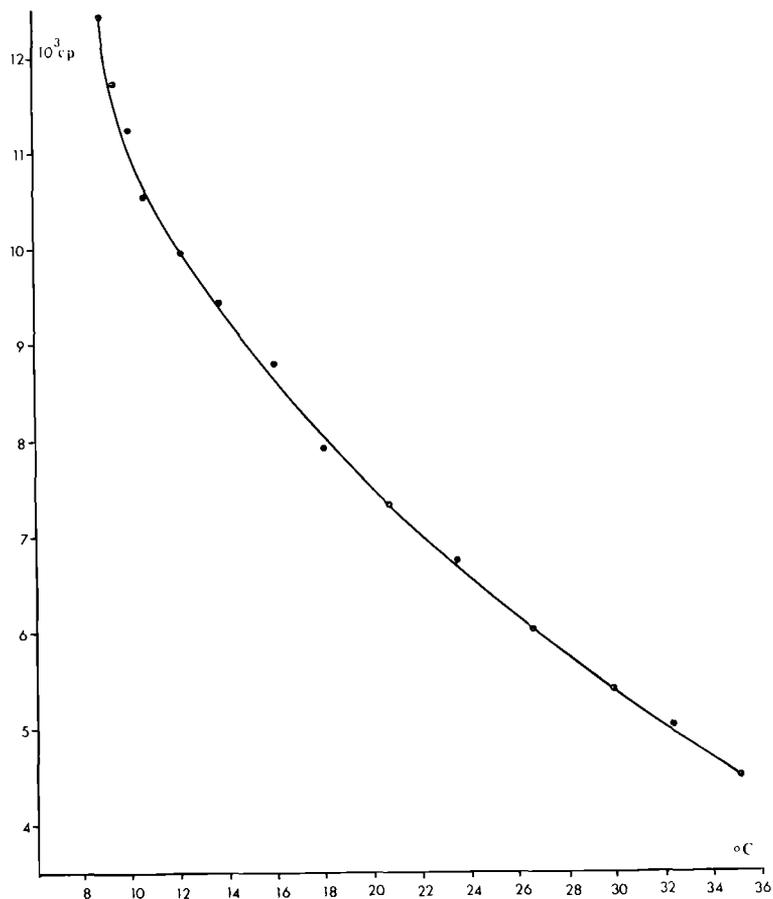
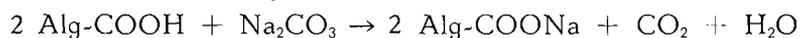


FIG. 32. — Variations de la viscosité d'une solution d'alginate de sodium à 1 % en fonction de la température.

Dans un premier temps, on opère suivant le processus décrit dans le paragraphe concernant l'extraction. Il faut cependant prévoir une prise d'essai de 40 à 50 g d'algue sèche (8 à 10 % d'humidité) pour obtenir une quantité suffisante d'acide alginique libre. Après les opérations de lavage à l'eau distillée et à l'alcool, l'algine est fortement pressée afin d'éliminer l'excès d'eau. Le composé est ensuite réduit à l'état de poudre par passage au mixer.

Il convient alors de synthétiser l'alginate de sodium suivant la réaction :



On en déduit :



Pour obtenir un gramme d'alginate de sodium il faut donc mettre en présence :

$$\frac{388}{432} = 0,898 \text{ g d'acide alginique}$$

et

$$\frac{104}{432} = 0,241 \text{ g de carbonate de sodium.}$$

L'acide alginique extrait renferme une quantité importante d'eau malgré le pressage et la réduction en poudre. Les formules étant fondées sur le poids sec de l'acide alginique, il est nécessaire de déterminer la teneur en eau du produit brut. En effet, il est impossible de sécher l'algine à l'étuve car la chaleur dégrade le polymère qui ne présente plus, en solution, qu'une faible viscosité. Une quantité de 1 gramme de substance humide est prélevée et desséchée à l'étuve jusqu'à ce qu'elle ait atteint un poids constant X.

Pour obtenir les 0,898 g d'acide alginique sec nécessaire à la réaction, il faut partir de :

$$\frac{1 \times 0,898}{X} = Y \text{ g d'acide alginique brut}$$

Pour les mesures au viscosimètre Brookfield (type RVT), il faut disposer de 300 cm³ de solution. On dissout donc 0,72 g de Na₂CO₃ dans 297 cm³ d'eau auxquels on ajoute, par petites fractions, 3 Y g d'acide alginique brut (1). Le tout est maintenu en agitation magnétique pendant une heure. La solution est ensuite placée dans une enceinte réfrigérée à 10 °C pour une durée de 15 heures. Ce séjour au froid permet la complète dissolution de l'alginate de sodium.

La température ayant une très grande influence sur la viscosité (fig. 32), toutes les mesures sont effectuées à 20 °C (avant mesure, la solution est agitée 10 mn pour parfaire son homogénéité).

D. Pureté de l'acide alginique.

Cette détermination est fondée sur le principe d'une neutralisation de l'acide alginique par la soude avec titrage en retour par l'acide sulfurique.

Le processus analytique consiste à prélever un gramme d'acide alginique sec et à le laver avec 300 cm³ d'eau distillée, puis à le centrifuger pour éliminer l'eau et recommencer trois fois la même opération. On procède de façon identique pour effectuer trois lavages successifs à l'alcool, suivis de trois autres à l'eau distillée neutralisée. L'algine est extraite du tube à centrifuger au moyen d'eau neutralisée et le volume est complété à 100 cm³. On ajoute alors 100 cm³ de soude 0,1 N. La solution est agitée puis laissée en repos pendant 2 heures.

On tire par de l'acide sulfurique 0,1 N, la phénolphthaléine servant d'indicateur de virage. Si V est le nombre de centimètres cubes d'acide sulfurique nécessaire à la neutralisation, la pureté (p), exprimée en pour cent de matière sèche, est donnée par la relation : $p = (50 - V) 1,94$

Dans cette étude, l'acide alginique extrait de *L. ochroleuca* présentait des puretés de 88 à 96 %.

III. - Teneur en acide alginique.

Tous les résultats exposés dans ce paragraphe ont été obtenus par la méthode de formolisation préalable et concernent donc un acide alginique commercialisable.

(1) L'expérience montre qu'il est préférable de travailler à pH 8. Pour ce faire, il faut rajouter 0,1 g de Na₂CO₃ par 100 ml de solution.

A. Teneur de l'ensemble de la lame.

La variation de la teneur en acide alginique est comprise entre les valeurs 21,8 % et 15,8 % (fig. 33). Le minimum est enregistré pendant les mois de mai, juin et juillet, c'est-à-dire pendant la

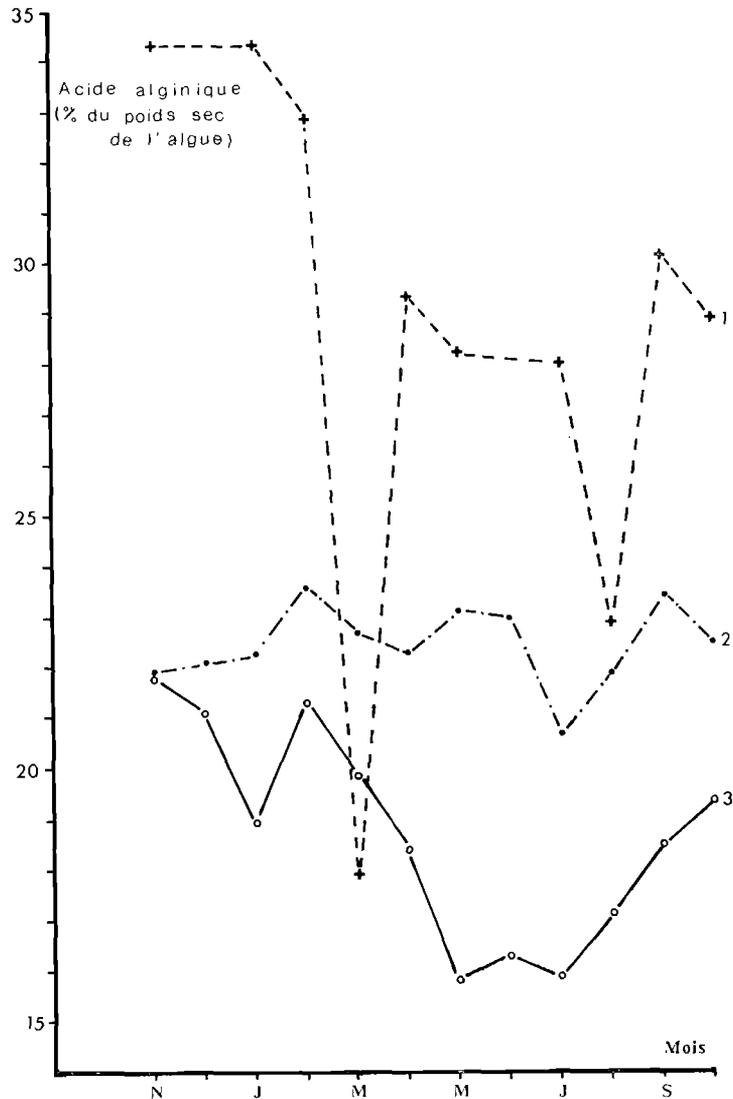


FIG. 33. — Variation annuelle de la teneur en acide alginique chez *L. ochroleuca*; 1) d'après VILLEGAS, 1964 (lame + zone de croissance du stipe), 2) lame totale, 3) stipe total.

période de croissance maximale. D'une façon générale, la teneur en acide alginique évolue en sens inverse de l'intensité de croissance.

Il n'existe, à notre connaissance, que deux séries de travaux concernant l'algine extraite de *L. ochroleuca*. Dans la première, VILLEGAS (1964) mesure une teneur annuelle moyenne de 28,7 % (1) ce qui est sensiblement plus élevé que nos propres observations (fig. 33). La variation au cours de

(1) Cette moyenne n'est calculée qu'à titre indicatif, les valeurs des mois de décembre et juin étant inexistantes.

l'année ne ressort pas nettement de ses résultats, mais on peut considérer que la meilleure période, au point de vue quantitatif, se situe de septembre à février.

Dans la seconde, sur huit échantillons récoltés dans plusieurs zones et à des époques différentes, DE GERO (1960) trouve un pourcentage moyen de 36,4 % d'acide alginique. Au Maroc, où cette expérimentation a été menée, les époques de récolte les plus favorables, par référence à la quantité d'acide alginique extractible, se localisent de janvier à mars et d'août à novembre.

Ces deux études recourent bien, du moins en ce qui concerne la variation saisonnière, les observations décrites dans ce mémoire. La teneur en acide alginique paraît augmenter au fur et à mesure que les échantillons sont prélevés dans des zones plus proches de la limite méridionale de l'aire d'extension de *L. ochroleuca*.

Il faut toutefois remarquer que la méthode de dosage utilisée par DE GERO est assez éloignée de celle employée par VILLEGAS et par nous-même. En outre, si nos analyses des teneurs de la lame et du stipe ont été faites séparément, VILLEGAS forme ses échantillons à partir de fragments de lame et de la zone de croissance du stipe. Cette façon de procéder conduit à mesurer une quantité d'acide alginique supérieure à celle effectivement contenue dans la lame ainsi qu'il le sera démontré plus loin. Enfin, les méthodes de DE GERO et de VILLEGAS comportent des étapes se déroulant respectivement à des températures de 100 °C et de 60 °C. Ceci permet de réduire les pertes au cours des séparations successives car la viscosité est fortement diminuée par la chaleur, ce qui rend les filtrations plus faciles. Pour notre part, nous avons préféré travailler à la température du laboratoire pour préserver au maximum l'intégralité du polymère, la viscosité étant un critère non négligeable de qualité.

Espèces	Lame		Stipe	
	Moyenne	E. type	Moyenne	E. type
<i>L. digitata</i> (1)	20,13	1,65	28,65	0,85
<i>L. digitata</i> (2)	19,15	3,37	21,31	3,91
<i>L. hyperborea</i> (1)	12,92	3,18	21,83	0,79
<i>L. saccharina</i> (1)	15,00	2,73	22,68	1,32
<i>L. ochroleuca</i>	18,38	2,15	22,46	0,79

TABL. 5. — Moyennes annuelles et écarts-types mensuels de la teneur en acide alginique pour quatre espèces de laminaires. (1) selon BLACK, 1950 (laminaires d'Ecosse) (2) selon PÉREZ, 1967 (laminaires du Calvados).

L'évolution de la teneur en algine au cours de l'année n'a pas la même amplitude chez toutes les laminaires. L'étude des écarts-types des teneurs mensuelles par rapport à la moyenne annuelle (tabl. 5) permet de préciser les enseignements tirés de l'examen des courbes des figures 33 et 34.

Ce sont *L. digitata* du Calvados et *L. hyperborea* qui possèdent la plus forte variation du pourcentage d'algine, la plus faible étant celle observée sur *L. digitata* des côtes écossaises. Du point de vue moyenne annuelle, celles de *L. digitata* et *L. ochroleuca* sont du même ordre et nettement supérieures à celles de *L. saccharina* et de *L. hyperborea*. Ce critère n'est cependant pas suffisant pour établir la valeur d'une algue sur le plan économique, car il faut également tenir compte de la quantité d'acide alginique disponible pendant la période de ramassage du goémon.

En effet, la récolte des laminaires est autorisée du 1^{er} avril au 31 décembre. De fait, la période de coupe couvre les mois d'avril à octobre, la fin de l'automne étant peu propice à la navigation et au séchage des algues avant traitement. Or, la teneur en algine de *L. ochroleuca* atteint une valeur minimale (moyenne 16,6 %) pendant les meilleurs mois de la saison goémonière. Ceci n'est qu'un élément d'appréciation parmi beaucoup d'autres, mais il méritait d'être souligné.

Ces premiers résultats semblent donc confirmer l'hypothèse selon laquelle l'acide alginique participerait activement au métabolisme cellulaire. Pendant la période de faible activité méristématique, c'est-à-dire de novembre à mars, les cellules stockeraient l'acide alginique. D'avril à juillet, époque de forte croissance, on remarque une diminution de la teneur en alginates qui découlerait du fait que leur synthèse est devenue inférieure au catabolisme. L'anabolisme reprendrait ensuite le dessus, pendant la fin de l'été et l'automne, restaurant ainsi progressivement le stock d'acide alginique.

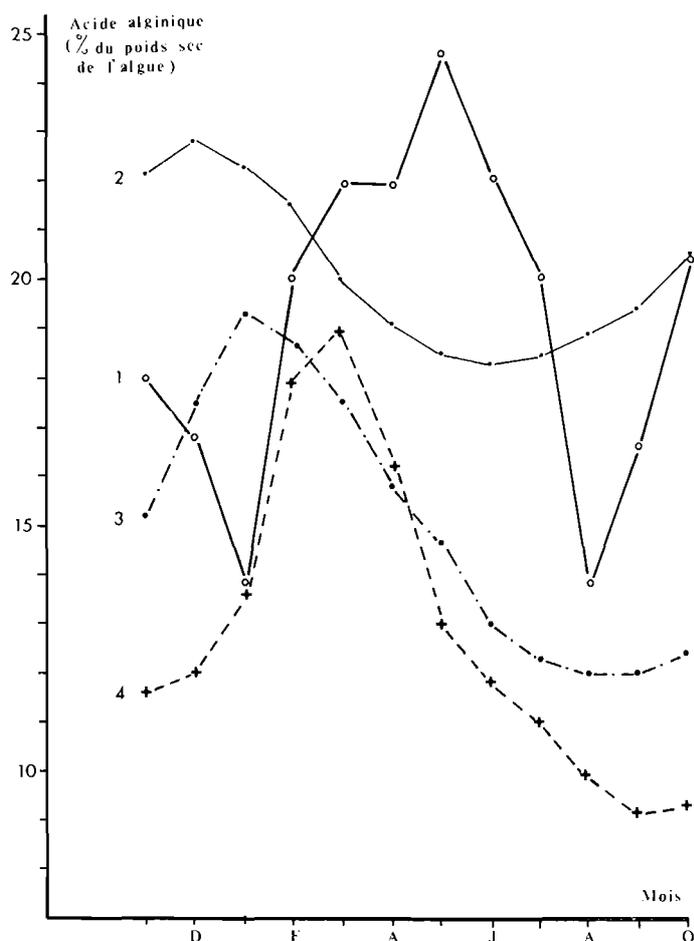


FIG. 34. — Comparaison des variations annuelles de la teneur en acide alginique de la lame chez quelques laminaires. 1) *L. digitata* PÉREZ, 1967. 2) *L. digitata* BLACK, 1950. 3) *L. hyperborea* BLACK, 1950. 4) *L. saccharina* BLACK, 1950.

Cette hypothèse ne paraît pourtant pas applicable aux autres espèces de laminaires (fig. 34). En effet, chez *L. digitata* (PÉREZ, 1967), la teneur maximum en acide alginique coïncide avec la période de forte croissance, tandis que les études de BLACK (1950) sur les laminaires des lochs écossais, font apparaître de nouvelles différences. Les pourcentages maximaux d'alginate se situent en décembre pour *L. digitata*, janvier pour *L. hyperborea* et mars pour *L. saccharina*. Il est difficile d'intégrer ces résultats dans le cadre de l'hypothèse précédemment mentionnée, car ces mesures n'ont pas été effectuées parallèlement à des études de croissance.

Il ne faut pas perdre de vue que les investigations ont porté sur des laminaires provenant d'aires différentes, à savoir : Ecosse, Calvados et Finistère Nord. L'influence des conditions de milieu sur le pourcentage d'alginate renfermé par l'algue n'est donc pas à écarter.

On ne peut que demeurer au rang des hypothèses sur les causes de la variation saisonnière de la teneur en acide alginique. Pour aboutir à une certitude, il eut fallu que le métabolisme intracellulaire de ce polyhexose fût complètement élucidé, ce qui n'est pas le cas dans l'état actuel des connaissances.

B. Teneur de l'ensemble du stipe.

En première approximation, le stipe présente une organisation inverse de la lame avec une zone méristématique localisée dans la partie supérieure et limitée à quelques centimètres.

Les teneurs mensuelles minimale et maximale en acide alginique sont respectivement de 20,7 et 23,6 % (fig. 33). La courbe montre que le pourcentage contenu dans le stipe est toujours supérieur à celui de la lame, quel que soit le mois considéré. On remarquera également, en comparant les écarts-types des teneurs mensuelles du stipe à ceux obtenus pour la lame (tabl. 5), que les premiers sont nettement inférieurs aux seconds, sauf en ce qui concerne *L. digitata* des côtes du Calvados et *L. saccharina*. L'amplitude de la variation annuelle est donc relativement faible et l'on ne peut parler de variations saisonnières que pour ces deux dernières (fig. 35).

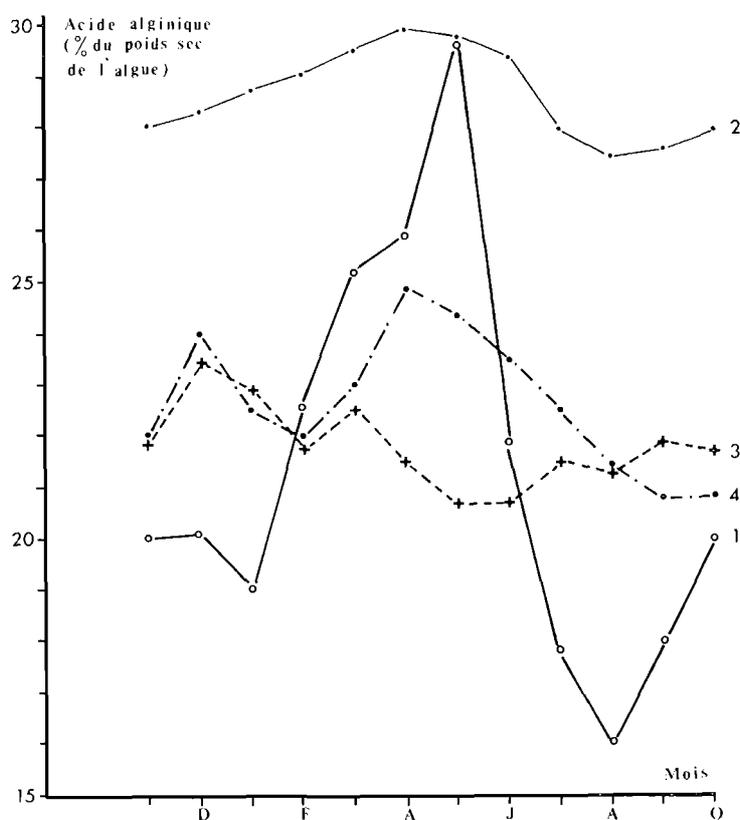


FIG. 35. — Comparaison des variations annuelles de la teneur en acide alginique du stipe chez quelques laminaires. 1) *L. digitata* (PÉREZ, 1967), 2) *L. digitata* (BLACK, 1950), 3) *L. hyperborea* (BLACK, 1950), 4) *L. saccharina* (BLACK, 1950).

En ce qui concerne *L. ochroleuca*, nous pouvons donc retenir deux différences principales entre les teneurs en acide alginique du stipe et celles de la lame : l'absence de variation saisonnière marquée et une teneur moyenne annuelle supérieure.

C. Teneurs des différentes parties de la lame.

Pour cette étude, les échantillons sont prélevés dans trois zones distinctes, déterminées par division transversale de la lame : la zone de croissance, la zone intermédiaire et la zone distale (fig. 36).

Si la zone de croissance conserve, à l'état sec, une teinte caractéristique, brun-rouge, qui tranche sur celle, olivâtre, du reste de la lame, ceci est insuffisant pour déterminer son étendue. La coloration, variant avec les saisons, ne permet souvent de localiser qu'une partie du méristème. Ce sont donc les résultats de nos travaux concernant l'étendue de la zone méristématique qui nous ont permis de déterminer les limites de l'échantillon. Volontairement, les prélèvements n'ont porté que sur la fraction qui participe le plus activement à l'élaboration des tissus, c'est-à-dire celle comprise dans les douze premiers centimètres comptés à partir de la base de la lame. La bande de transition (12 à 22 cm) est considérée comme faisant partie de la fraction intermédiaire. Une fois la zone de croissance échantillonnée, le reste de la lame est découpé en deux fragments d'égale importance constituant la zone intermédiaire et la zone distale.

Pour chaque mois de l'année, la teneur en acide alginique de ces différentes zones est analysée

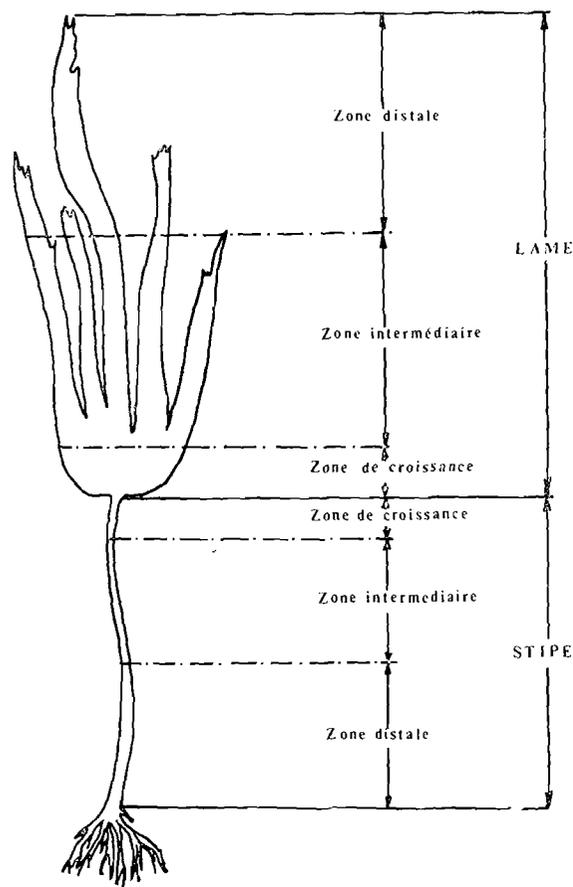


FIG. 36. — Schéma de la délimitation des différentes parties de la fronde.

selon le processus d'extraction standard. Les résultats sont illustrés par la figure 37. Il ressort du premier examen des courbes que la plus forte concentration en algine est localisée dans la zone méristématique (moyenne annuelle : 23,67 %). Lorsqu'on s'éloigne de celle-ci, la teneur diminue (zone intermédiaire : 19,19 %) et devient minimale pour la partie distale de la lame (17,36 %). Le profil des courbes est similaire pour les trois fractions de lames analysées. Le maximum est limité aux

périodes d'automne et d'hiver, le minimum se situant pendant les mois de mai à juillet, c'est-à-dire au moment de la plus forte activité méristématique. Sur le tableau 6 sont regroupés les moyennes annuelles et les écarts-types mensuels des échantillons considérés.

		Zone croissance	Zone interm.	Zone distale
Lame	Moyenne	23,67	19,19	17,36
	E. type	5,28	2,85	1,59
Stipe	Moyenne	28,08	23,63	21,46
	E. type	5,45	1,29	1,65

TABLE. 6. — Comparaison des moyennes et écarts-types des zones homologues du stipe et de la lame (les moyennes sont exprimées en pourcentage par rapport au poids sec de tissus).

L'écart-type le plus fort (5,28) se rapporte à la partie méristématique de la lame. Ceux de la zone intermédiaire et de la zone distale sont respectivement de 2,83 et de 1,59. Ceci revient à dire que la variation saisonnière de la teneur en acide alginique est particulièrement importante au niveau de la zone de croissance et moindre dans les deux autres parties de la lame.

Pour préciser encore cette information, nous avons appliqué le test *T* de STUDENT aux moyennes obtenues en zones intermédiaire et distale. Lorsque ce test est positif, on peut affirmer, avec un coefficient de sécurité déterminé, que les échantillons testés sont différents. On conclut à la positivité quand le coefficient d/Sd est supérieur ou égal à *T*. Les valeurs de *T*, données par les tables, sont fonction du coefficient de sécurité choisi et du nombre de mesures effectuées sur les échantillons.

Calcul du coefficient d/Sd dans le cas où le nombre de mesures est inférieur à 30 :

$$d = m_1 - m_2$$

$$Sd = \frac{n_1 v_1 - n_2 v_2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)$$

m_1 représente la moyenne des mesures de la zone intermédiaire, m_2 la moyenne des mesures de la zone distale, n_1 le nombre de mesures pour la zone intermédiaire, soit 12, n_2 le nombre de mesures pour la zone distale, soit également 12, v_1 la variance de la zone intermédiaire, v_2 la variance de la zone distale.

Dans le cas de petits échantillons, les valeurs comparatives de *T* sont fixées à 2,09 avec un coefficient de sécurité de 95 % et 2,84 avec un coefficient de sécurité de 99 %. Tout calcul fait, on obtient : $d/Sd : 1,87 < 2,09$. Il n'existe donc pas de différence significative entre les deux zones.

En résumant les différentes données obtenues jusqu'ici, on peut formuler deux observations principales.

a) La zone méristématique possède la plus forte teneur moyenne en acide alginique et présente la variation saisonnière la plus importante.

b) Les zones intermédiaire et distale renferment moins d'acide alginique. Les variations saisonnières sont plus faibles et le test de STUDENT ne fait pas apparaître de différence significative entre ces deux parties.

Il faut néanmoins remarquer que l'étude des courbes de la figure 37 fait ressortir une amplitude de la variation en zone intermédiaire supérieure à celle de la partie distale de la lame. Ceci est dû au procédé d'échantillonnage qui intègre la zone d'allongement cellulaire (bande de transition) dans la fraction intermédiaire. De ce fait, cette dernière présente une variation saisonnière dont les caractéristiques rappellent à la fois celles de la zone de croissance et celles de la zone distale. L'ensemble de

ces considérations nous ramène à l'hypothèse selon laquelle l'acide alginique intervient activement dans le métabolisme.

La zone méristématique, dont dépend la croissance de la lame, présente une forte teneur en algine (jusqu'à 32,8 %) pendant la saison froide de l'année. Lorsque l'intensité métabolique atteint un

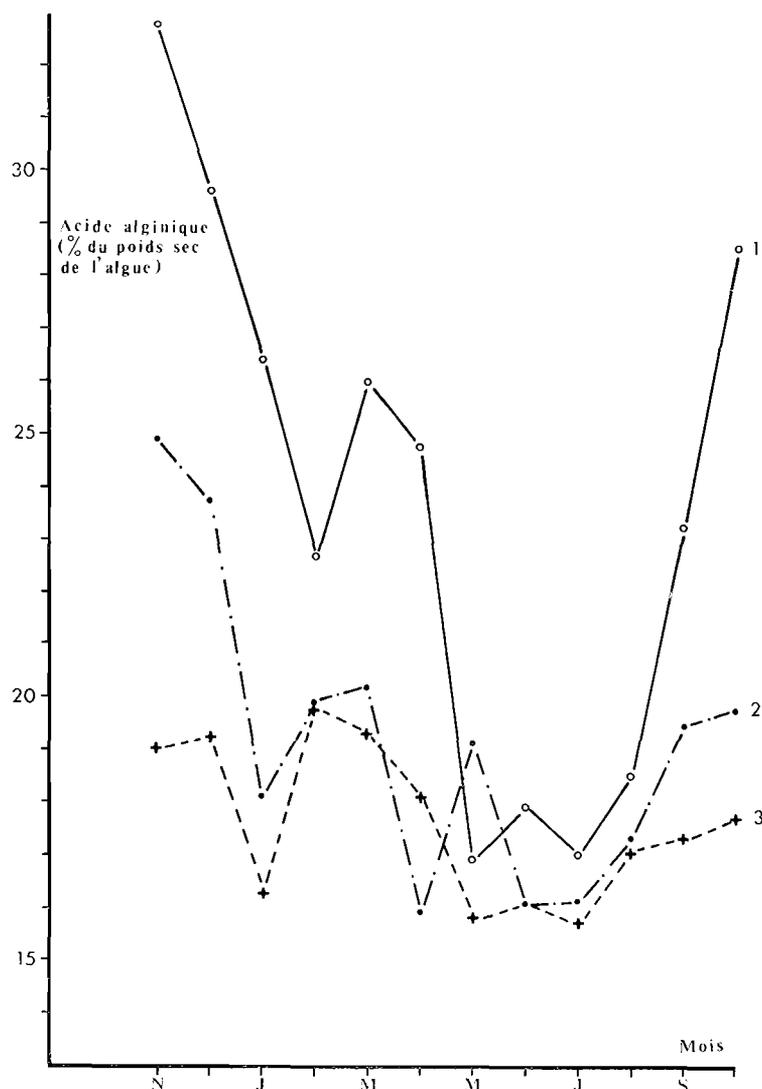


FIG. 37. — Variation annuelle de la teneur en acide alginique des différentes parties de la lame; 1) zone méristématique, 2) zone intermédiaire, 3) zone distale.

certain seuil, de mai à juillet, la concentration en acide alginique diminue (minimum : 16,9 %), puis augmente à partir de septembre, fin de la période de forte croissance, jusqu'au rétablissement complet du stock d'hexose. D'une façon générale, la teneur en acide alginique paraît être fonction de l'activité métabolique.

Ceci ne veut pas dire que ce composé soit assimilable à une substance de réserve. Il semblerait plutôt, vu sa position dans la cellule comme constituant de la membrane, qu'il intervient au niveau du transfert de matériel extérieur nécessaire au métabolisme de l'algue. Il est également possible que l'acide alginique soit indispensable à l'utilisation de certaines substances de réserves.

La variation de la concentration en algine au niveau de la zone intermédiaire est plus anarchique que celle décrite précédemment. Les fluctuations observées sont la conséquence d'une part du procédé d'échantillonnage, dont il a déjà été fait état, et d'autre part de l'apparition des cellules reproductrices. Nous rappellerons ici que l'époque de production des spores se situe de mai à juillet. La formation des spores débute dans la zone intermédiaire puis s'étend à la zone distale. L'activité métabolique nécessaire à l'individualisation de ces cellules provoque, sans doute, un surcroît d'utilisation de l'acide alginique.

La partie distale de la fronde montre une évolution des teneurs légèrement différente de celles des autres portions de la lame. Le pourcentage d'acide alginique reste élevé de novembre à mai, puis diminue lentement pour atteindre un minimum étalé sur les mois de mai à juillet. Après cette période, la teneur en algine n'augmente que lentement et demeure à un niveau inférieur à celui observé au début du cycle. Ce minimum, de mai à juillet, est vraisemblablement dû à la formation des cellules de reproduction. Cette dernière se poursuit jusqu'aux environs du mois d'octobre, époque à laquelle a lieu une deuxième émission de spores, et ceci se répercuterait sur la teneur en acide alginique qui n'augmente que faiblement durant cette période.

Ces observations semblent donc converger dans le sens de l'hypothèse émise sur le rôle de l'acide alginique au niveau du métabolisme cellulaire. Les variations du pourcentage d'algine dans le stipe présentent des différences notables avec celles de la lame, mais nous y retrouvons certaines des caractéristiques décrites dans ce paragraphe.

D. Teneurs des différentes parties du stipe.

Le stipe est divisé, de la même façon que la lame, en trois parties distinctes (fig. 36) : la zone méristématique, la zone intermédiaire et la zone distale.

Seule la teneur en algine de la zone de croissance présente une variation saisonnière pratiquement identique à celle observée pour la lame (fig. 38). Le minimum se situe pendant les mois de mai à juillet et correspond également à la période de forte croissance du stipe (fig. 22). L'unique différence réside dans le fait que le maximum est atteint non pas en novembre, mais en janvier. La valeur de l'écart-type, pour cette zone, est de 5,45, c'est-à-dire du même ordre que celle calculée pour la portion correspondante de la lame (5,28).

En rapprochant les courbes des teneurs de la lame totale (fig. 33) et de la zone méristématique du stipe (fig. 38), on observe que les valeurs de cette dernière sont, selon le mois considéré, supérieures de 4,9 à 18 %, aux valeurs de la lame. Cette observation fait mieux comprendre la remarque faite, précédemment, à propos de la méthode d'analyse de VILLEGAS. Cet auteur fait rentrer la zone méristématique du stipe dans la constitution de ses échantillons, ce qui le conduit à mesurer de fortes teneurs en acide alginique. Néanmoins, ceci n'explique qu'en partie les différences qui existent entre ses analyses et les nôtres.

Le pourcentage d'algine contenu dans la partie intermédiaire du stipe ne montre qu'une suite de fluctuations désordonnées. Il ne paraît pas possible de relier celles-ci à une quelconque activité métabolique. L'écart-type est faible et inférieur à celui de la partie homologue de la lame. Cette zone ne serait donc constituée que par des tissus de soutien à faible activité métabolique.

La variation de la teneur en acide alginique de la zone distale se fait à l'inverse de toutes les fractions de lame ou de stipe analysées jusqu'à présent. Le minimum est enregistré pendant les mois de septembre à novembre, le maximum prenant place au mois de mai.

Ces observations sont confirmées par le test de STUDENT. Si l'on prend comme référence la zone intermédiaire du stipe, on obtient alors : $d/Sd = 3,99 > 2,84$ (coef. sécurité de 99 %). Il est donc possible d'affirmer, avec un coefficient de sécurité de 99 %, que les deux zones testées sont différentes.

La seule partie remarquable de la courbe (fig. 38) est le plateau qui couvre les mois de décembre à avril et qui pourrait correspondre à l'individualisation des haptères. En dehors de la coïncidence des dates et de la stabilisation de la teneur en acide alginique, nous ne disposons d'aucun autre élément permettant d'étayer cette théorie. L'écart-type est sensiblement égal à celui de la partie distale

de la lame. On ne peut cependant pas en conclure qu'une telle valeur de ce paramètre caractérise une zone d'activité métabolique annexe.

Des trois zones successivement étudiées, seule la partie méristématique du stipe accuse une variation saisonnière marquée.

L'ensemble des observations portant sur les différentes zones du stipe et de la lame fait ressortir que la variation saisonnière de la teneur en acide alginique n'est sensible qu'au niveau des tissus

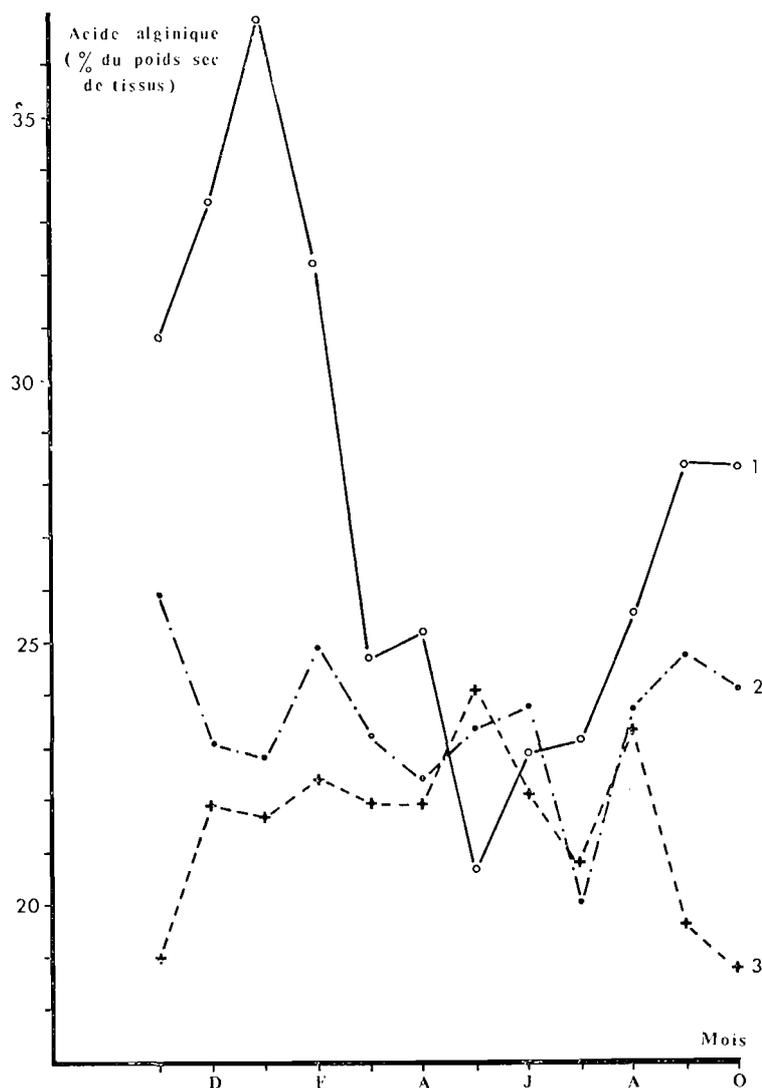


FIG. 38. — Variation annuelle de la teneur en acide alginique des différentes parties du stipe; 1) zone méristématique, 2) zone intermédiaire, 3) zone distale.

ayant une activité métabolique intense. Le pourcentage d'alginate, contenu dans la zone méristématique stipo-frondale, évolue en sens inverse de l'intensité de croissance. Les zones intermédiaire et distale de la lame, dont le métabolisme s'accroît au moment de la production des spores, présentent, en moins accentuée une variation identique à celle des méristèmes.

Ces observations semblent donc confirmer le rôle joué par l'acide alginique dans le métabolisme.

IV. - Viscosité de l'acide alginique extrait.

Parmi les nombreuses propriétés de l'acide alginique, c'est le pouvoir épaississant qui trouve le plus d'applications dans le domaine industriel. La viscosité, qui est directement fonction du degré de polymérisation de la molécule, est donc un des principaux critères de qualité au point de vue commercial. Elle est mesurée sur une solution à un pour cent d'alginate de sodium dans de l'eau distillée.

A. Acide alginique extrait de la lame.

Les mesures, reportées sur la figure 39, sont les moyennes des résultats obtenus à partir de cinq échantillons d'algues prélevés chaque mois. Le profil de la courbe traduit l'existence d'une variation

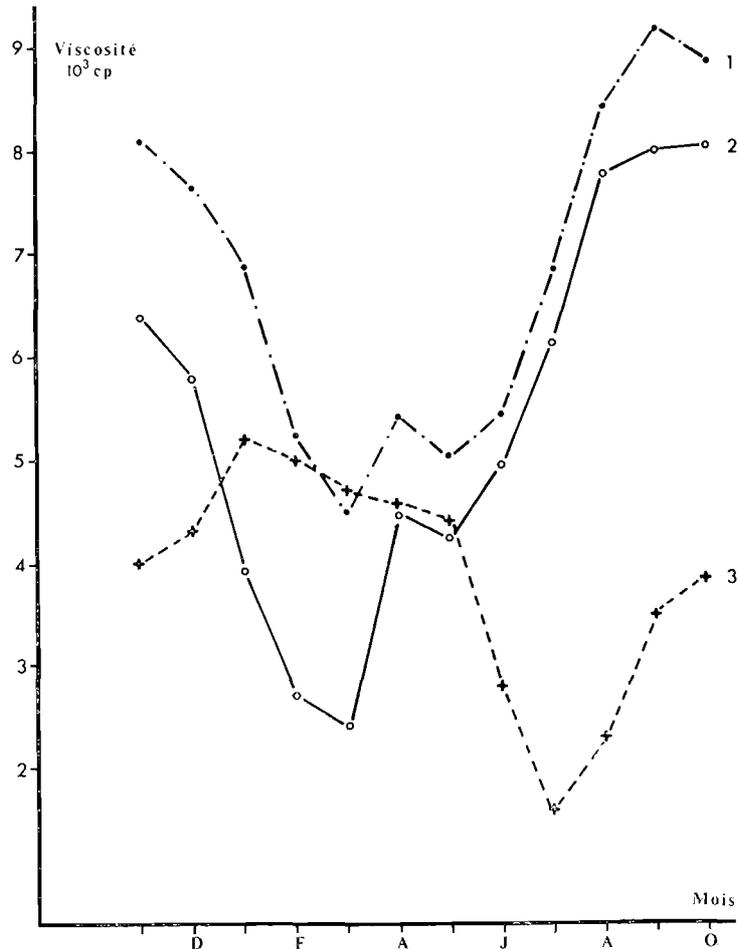


FIG. 39. — Variation annuelle de la viscosité de l'acide alginique extrait (mesures effectuées sur des solutions à 1% d'alginate de sodium). 1) *L. ochroleuca*, stipe; 2) *L. ochroleuca*, lame; 3) *L. digitata*, lame (PÉREZ, 1971).

saisonnaire. Le maximum, 8.050 cp, se localise aux mois d'août, septembre et octobre, tandis que le minimum, 2.400 cp, prend place de février à mai.

Les courbes de viscosité et de teneur en acide alginique sont superposables en les décalant d'un mois. Rappelons en effet que le pourcentage minimum en algine se situe pendant les mois de mai à juin.

Tout se passe comme si l'algue anticipait d'un mois sur l'augmentation des besoins en hexose et dépolymérisait l'acide alginique avant son utilisation par les cellules. En juin, la viscosité commence à augmenter alors que le méristème ne réduit ses besoins qu'à partir du mois de juillet. Ces fluctuations de la viscosité constituent une nouvelle preuve de l'utilisation de l'algine lors des périodes de grande activité métabolique.

Sur la figure 39 sont également reportées les valeurs de la viscosité obtenues par PÉREZ (1971) sur *L. digitata*. En comparant cette courbe avec celle de *L. ochroleuca*, on constate que les variations sont différentes et, en quelque sorte, complémentaires. Pour les deux espèces considérées, les fluctuations de la viscosité suivent celles de la teneur en acide alginique. Il faut cependant rester prudent dans le domaine des comparaisons, les études ayant été faites à des endroits et des époques différents. Néanmoins, le degré de polymérisation de l'acide alginique extrait de la fronde de *L. ochroleuca* semble supérieur, puisque la moyenne annuelle s'établit à 5.040 cp contre 3.860 pour *L. digitata*.

B. Acide alginique extrait du stipe.

La variation saisonnière de la viscosité de l'acide alginique extrait du stipe est en tout point identique à celle observée pour la fronde (fig. 39). Ceci peut paraître surprenant, à priori, puisque nous avons constaté que seule la zone méristématique du stipe présentait une activité métabolique intense. Il est bon de préciser, en outre, que la zone de croissance ne représente que 1/15 environ du poids total du stipe et ne peut donc pas influencer notablement sur la viscosité de l'ensemble. Il semble donc que la dépolymérisation n'est pas uniquement limitée aux parties de l'algue qui vont utiliser l'acide alginique, mais concerne l'ensemble des tissus. La coïncidence parfaite des profils des courbes concernant le stipe et la lame corrobore cette hypothèse.

Les valeurs de la viscosité de l'acide alginique extrait du stipe sont supérieures à celles obtenues à partir de la lame. Cette observation peut être mise en corrélation, dans le cadre de l'hypothèse discutée dans les précédents paragraphes, avec le fait que l'intensité métabolique des tissus assimilateurs (lame) est nettement supérieure à celle des tissus de soutien (stipe).

V. - Coloration de l'acide alginique au cours de son extraction.

L'acide alginique extrait de *L. ochroleuca* au moyen de la méthode classique (sans étape de formolisation), est fortement coloré en brun. Le produit ne peut être commercialisé tel quel et nécessite une décoloration préalable. Ceci impliquerait donc une étape supplémentaire dans le traitement de l'algue et augmenterait sensiblement le prix de revient de la substance finie. Il serait donc avantageux de réussir à empêcher l'apparition du brunissement et c'est pourquoi nous avons été amenés à nous intéresser au mécanisme induisant cette coloration. Il faut en effet préciser que *L. digitata*, traitée dans les mêmes conditions, libère une algine blanchâtre sans qu'il soit nécessaire de recourir à un traitement supplémentaire.

En reprenant par étape le procédé d'extraction, nous avons remarqué que les fragments d'algues viraient au brun pendant la digestion par le carbonate de sodium. Afin de déterminer le groupe chimique auquel appartient l'agent responsable de la coloration, nous nous sommes d'abord attaché à définir les conditions présidant à l'apparition du brunissement.

A. Oxydation au contact de l'air.

Après avoir séjourné dans le carbonate de sodium, l'algue prend une teinte brune qui est particulièrement accentuée dans la couche superficielle au contact de l'air. Nous avons donc pratiqué une contre-expérience en suivant le protocole ci-après.

Deux échantillons d'algue, de poids identique, sont traités parallèlement, l'un selon la méthode normale (témoin), l'autre en évitant tout contact avec l'air dès l'immersion dans le carbonate de sodium (prise d'essai). Après avoir subi les différentes opérations de lavage à l'eau distillée et de déminéralisation par l'acide sulfurique, la prise d'essai est plongée dans la solution de carbonate de sodium et broyée sous courant d'azote. A la fin du broyage, une pellicule d'huile de paraffine, d'un centimètre

d'épaisseur, est déposée à la surface de l'échantillon qui est en agitation magnétique pendant deux heures. On laisse la macération se poursuivre pendant une durée totale de 16 heures.

Le témoin et la prise d'essai sont alors dilués de moitié avec de l'eau distillée et rapidement filtrés sur papier Durieux 5 B. La séparation est arrêtée dès que les volumes de filtration atteignent une dizaine de millilitres. Les densités optiques des filtrats sont mesurées à une longueur d'onde de 420 nanomètres (spectrophotomètre Spectralux 2900).

Pour quatre expériences identiques, les valeurs moyennes des D.O. ressortent à 0,320 pour le témoin (solution brune) et à 0,170 pour la prise d'essai (solution brun-jaune). On peut donc tirer deux enseignements de cette expérience.

a) Le brunissement des fragments d'algues en macération est bien induit par une oxydation au contact de l'air.

b) La légère coloration brune présentée par la prise d'essai permet de soupçonner un phénomène d'auto-oxydation facilité par le pH de la solution (pH 11 - 12).

B. Influence du pH sur la coloration.

On répartit de la poudre d'algue en 9 échantillons, de 3 g chacun, qui seront traités simultanément. Les étapes de lavage et de déminéralisation sont identiques à celles décrites au paragraphe « techniques ».

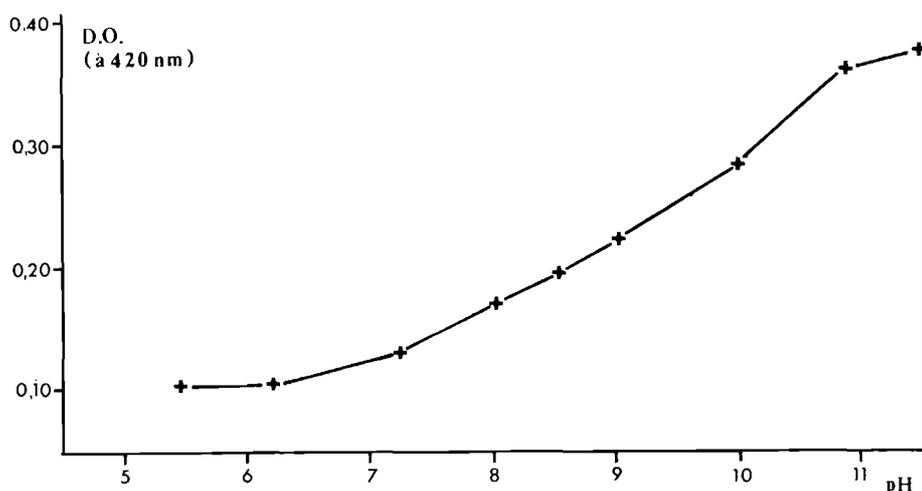


FIG. 40. — Coloration de la solution de digestion en fonction de son pH.

Les échantillons sont mis en digestion dans des solutions de carbonate de sodium à 10 % dont les pH sont ajustés avec H_2SO_4 suivant la gamme : 5,5 - 6,5 - 7,5 - 8 - 8,5 - 9,0 - 10,0 - 11,0 - 11,5. On place le tout en agitation magnétique (durée 2 heures) et le pH est mesuré dès que les solutions sont homogènes. Ce sont ces valeurs qui seront prises en considération pour l'étude de la coloration (les pH de digestion sont légèrement différents de ceux des solutions brutes de carbonate de sodium). La macération est poursuivie pendant 16 heures, puis on dilue les volumes d'extraction de moitié et on filtre sur papier. La D.O. des filtrats est mesurée à une longueur d'onde de 420 nanomètres. Les résultats obtenus sont illustrés par la figure 40.

La coloration reste à un niveau sensiblement constant jusque vers pH 7. Passé cette valeur, elle augmente parallèlement au pH jusqu'à la valeur 10,5 où l'on observe une amorce de plateau.

Il ressort donc de cette expérience que la coloration n'apparaît qu'en milieu alcalin et qu'elle est d'autant plus importante que le pH est élevé. Ceci revient à dire que lorsque le pH augmente, les quantités de la substance sensible à l'oxydation mises en jeu sont de plus en plus importantes. Parmi

les composés susceptibles de présenter ce phénomène d'oxydation avec changement de coloration en milieu alcalin, on remarque le groupe des phénols (1).

C. Les agents responsables de la coloration.

1) Mise en évidence.

En 1892, CRATO observe, dans les cellules de certaines phéophycées, des formations vacuolaires particulières, incolores et fortement réfringentes, auxquelles il donne le nom de physodes. Poursuivant ses travaux il montre, en 1893, que le contenu de ces vacuoles réagit avec la vanilline, en prenant une couleur rouge, et qu'il réduit le nitrate d'argent. Il en conclut que les physodes contiennent des composés phénoliques, notamment du phloroglucinol.

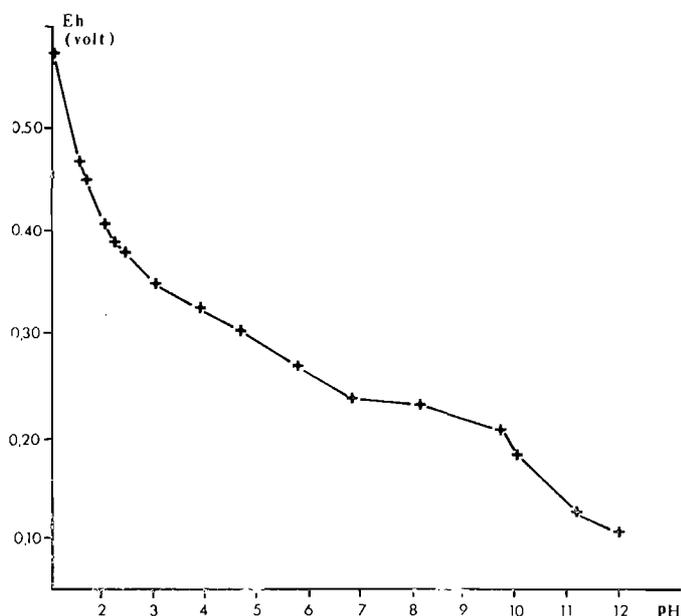


FIG. 41. — Potentiel des extraits d'*Ascophyllum nodosum* en fonction de leurs pH (HAUG et LARSEN, 1958).

KYLIN (1912, 1913, 1938) redécrit les physodes sous le nom de vésicules à fucosane, lequel fucosane se rapprocherait des composés tannoïdes. En milieu alcalin, le fucosane s'oxyde rapidement en donnant des substances colorées en brun.

CHADEFAUD (1932) puis ANDO (1951, 1958), définissent à leur tour plusieurs types de physodes au moyen de colorations différentielles au bleu de crésyl, rouge neutre et dichlorphénol-indophénol.

C'est en 1957 que OGINO et TAKY isolent, à partir de *Sargassum ringgoldianum*, une substance jaune pâle, au goût astringent, dotée de propriétés tannantes et s'oxydant à l'air en prenant une couleur brune. Les auteurs pensent à un composé dérivé du catéchol et contenant un noyau phloroglucinol.

HAUG et LARSEN (1958) extraient d'*Ascophyllum nodosum* un corps brunissant en milieu alcalin. Ils mesurent le potentiel (Eh) de l'extrait en fonction du pH et observent que le pouvoir réducteur de la solution augmente avec ce dernier (fig. 41).

L'investigation est poursuivie sur 9 échantillons d'*Ascophyllum nodosum* de provenance diverse. HAUG et LARSEN mesurent d'une part le pouvoir réducteur, et d'autre part, l'intensité de la coloration

(1) Le terme phénols est pris ici dans son sens le plus large, c'est-à-dire : composés aromatiques, mono ou polycycliques, portant une ou plusieurs fonctions alcools.

par la vanilline en milieu sulfurique des extraits de ces échantillons. Dans une deuxième expérience, ils quantifient le degré de brunissement des extraits en milieu alcalin.

Deux courbes sont alors tracées : (1), corrélation de la coloration par la vanilline et du pouvoir réducteur, (2), corrélation de la coloration en milieu alcalin et du pouvoir réducteur. Les coefficients de corrélation de ces deux courbes sont voisins de 1.

Ceci tend à prouver que les composés réducteurs et ceux colorables par la vanilline sont identiques (1) et que ce sont bien eux qui sont à l'origine de la coloration brune des extraits alcalins (2).

Nous avons testé la réaction de plusieurs extraits de *L. ochroleuca* aux colorations caractéristiques des phénols :

nitrate d'argent ammoniacal,
vanilline en milieu sulfurique,
benzidine diazotée,
p-nitraniline.

Ces quelques réactions se sont révélées positives et confirment donc la présence de composés phénoliques dans les tissus de l'algue.

2) Localisation au niveau cellulaire.

Les physodes se rencontrent principalement dans les cellules assurant la photosynthèse, la reproduction et les fonctions méristématiques.

Les vésicules se rassemblent autour du noyau ; leur diamètre peut atteindre et même dépasser 4 microns. On observe que les physodes sont fréquemment associées aux plastes et KYLIN (1918) pense que la membrane plastidiale est à l'origine de ces formations chez *Asperococcus*.

Les physodes ressortent particulièrement bien en microscopie électronique vu leur grande affinité pour les sels de plomb (DAVIES, FERRIER et JOHNSTON, 1973). Ces auteurs ont utilisé, pour leurs observations, des cellules épidermiques d'haptères de laminaires. Bien que, dans les jeunes stades, les vésicules soient associées aux plastes, il est difficile d'évaluer le degré de liaison.

Sur certaines coupes, on retrouve les vésicules, denses aux électrons, étroitement associées au réticulum endoplasmique, dans des régions où l'ergastoplasme rugueux présente un fort degré de branchement. De telles formations sont à rapprocher des vacuoles dérivées des protoplastes et décrites, chez *Kalanchoe*, par GIFFORD (1968). Celui-ci pense que le contenu de ces vacuoles participe à la synthèse des polyphénols et à l'accumulation vacuolaire.

Les investigations biochimiques indiquent que les précurseurs des polyphénols semblent provenir des plastes. Les expériences de fractionnement ont mis en évidence la présence d'enzymes mis en jeu dans le métabolisme du phloroglucinol.

Après coloration à la benzidine diazotée (1) de coupes transversales dans la lame de *L. ochroleuca*, nous avons pu observer la présence de physodes colorées en rouge. Celles-ci se concentrent dans l'épiderme assurant la photosynthèse et sont rares ou absentes dans les autres tissus. On les retrouve également dans les cellules épidermiques du stipe.

Il semble donc bien que la coloration brune, apparaissant au cours de la digestion alcaline des thalles de *L. ochroleuca*, est due aux composés phénoliques contenus dans les physodes des cellules épidermiques.

D. Les procédés de décoloration.

Il existe plusieurs espèces d'algues brunes susceptibles de fournir de l'acide alginique en quantité intéressante, mais certaines d'entre elles (*Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus*, *Laminaria hyper-*

(1) Deux solutions sont nécessaires à la coloration :

- a) dissoudre 5 g de benzidine dans 25 ml d'HCl à 25 % et 970 ml d'eau distillée,
- b) préparer une solution de NaNO_2 à 0,40 % dans de l'eau distillée. Mélanger extemporanément les deux solutions en quantités égales.

borea notamment) renferment des composés phénoliques et il est nécessaire de procéder à la décoloration de l'acide alginique extrait. De nombreux procédés ont été mis au point au laboratoire et nous ne traiterons que ceux cités le plus fréquemment dans la littérature.

1) *Les agents décolorants et leurs inconvénients.*

L'eau de chaux.

Avant tout traitement, les algues sont plongées dans une solution d'eau de chaux dont la température varie, selon les auteurs, de 50 à 100 °C. Ce procédé ne donne pas entièrement satisfaction, car il faut prévoir une autre décoloration dans la majorité des cas.

L'hypochlorite de sodium.

Il est employé seul ou en complément de la méthode exposée ci-dessus. Le procédé de Green, utilisé par la compagnie américaine Kelco, comprend une étape de décoloration par l'hypochlorite de sodium. ROSE (1951) détermine les conséquences du traitement à l'hypochlorite sur la quantité et la qualité de l'acide alginique extrait.

Il en ressort que si la quantité d'alginate obtenu est sensiblement constante, la viscosité subit des dégradations dont l'importance varie avec la quantité de décolorant employée, la durée de la purification et la température à laquelle cette dernière s'effectue. Cette étape du processus d'extraction peut se situer avant ou après la précipitation de l'acide alginique par le carbonate de sodium.

Gel de silice et hydroxyde d'alumine.

Les agents clarifiants sont additionnés à la solution de digestion par le carbonate de sodium. Le gel, ayant adsorbé les particules colorantes, est séparé de la solution par centrifugation. Cette opération constitue une phase du procédé Le Gloahec-Herter qui était utilisé par l'Algin Corporation of America.

Colonnes adsorbantes.

De nombreuses expériences ont porté sur la purification de l'acide alginique par passage sur colonne. Les adsorbants utilisés sont très divers : charbon actif, Celite (terre à diatomées), Magnesol (silicate de magnésium), alumine, résine échangeuse d'ions. Leur efficacité est inégale et, dans les meilleurs des cas, l'utilisation de telles substances ne peut se justifier pour un produit industriel dont la valeur marchande est relativement réduite.

2) *La formolisation.*

CHAPMAN (1950) mentionne le formaldéhyde comme un agent décolorant pouvant être employé pour la purification de l'acide alginique. Les auteurs qui ont travaillé sur le problème des composés phénoliques des algues brunes, ont constaté que le formol empêche le brunissement des solutions d'extraction alcaline. BAARDSETH (1958) observe que les physodes des algues traitées au formol résistent à la dessiccation, la congélation et l'eau bouillante, alors que ces facteurs détruisent normalement leur structure. Les extraits d'algues traitées ne montrent plus de pouvoir réducteur et ne sont plus colorables par les réactifs caractéristiques des phénols.

Le formol n'est donc pas un décolorant, mais un réactif qui empêche l'établissement de la coloration.

a) *Mode d'action du formol.*

Le mécanisme de la réaction du formaldéhyde sur les composés phénoliques des algues brunes n'a pas été, jusqu'à présent, particulièrement étudié. Toutefois, en se reportant aux observations microscopiques de BAARDSETH, on peut penser que le blocage des phénols s'effectue selon la réaction de bakélitisation (fig. 42).

La première étape est semblable à une addition d'aldol et peut se dérouler en position ortho ou para. La répétition, sur toutes les positions ortho et para disponibles, de l'enchaînement réactionnel conduisant au produit intermédiaire 2, a pour résultat la formation d'un polymère branché dans les trois dimensions.

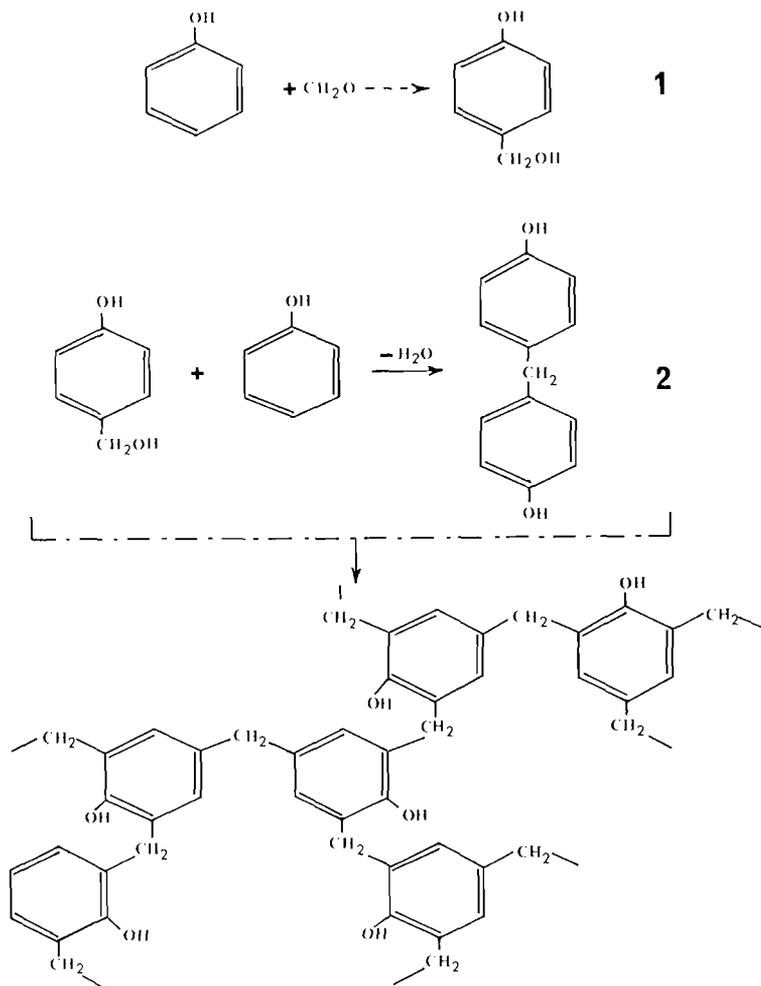


FIG. 42. — Action du formaldéhyde sur le phénol (formation de la bakélite). Cette figure n'illustre que les principales étapes de la réaction.

D'une façon générale, l'oxydation des phénols est un phénomène complexe et la nature des produits finaux dépend des substituants du cycle. L'étape primordiale, qui semble être la constitution d'un radical phénoxy, se poursuit souvent par une dimérisation des radicaux qui conduit à des composés colorés.

Le fait que les phénols des algues brunes participent, en présence de formol, à l'édification d'une structure résineuse, modifie, partiellement ou en totalité, la réaction d'oxydation et empêche l'apparition de la coloration.

b) Influence sur la viscosité et l'extraction de l'acide alginique.

Avant de retenir définitivement le formol comme agent de blanchiment, nous avons testé son action sur la quantité d'acide alginique extractible et la viscosité de celui-ci.

Pendant la période de novembre 1971 à janvier 1972, chaque mois, deux séries d'échantillons de 3 g en poids sec ont été prélevées. L'une des séries est traitée selon le procédé standard, tandis que l'autre ne subit pas la macération dans le formol. Les résultats sont consignés dans le tableau comparatif n° 7.

Mois	Avec formol		Sans formol	
	Teneur	Viscosité	Teneur	Viscosité
Novembre	21,87	6350	21,78	6310
Décembre	21,07	5880	20,92	5920
Janvier	18,92	3940	19,08	3880

TABLE. 7. — Comparaison des teneurs en acide alginique et des viscosités obtenues sur deux séries d'échantillons, dont l'une est traitée par le formol (les teneurs sont exprimées en % du poids sec de l'algue et les viscosités en centipoises).

Les résultats sont pratiquement identiques, qu'il y ait ou non utilisation de formol. L'addition de formaldéhyde paraît donc être un excellent moyen pour obtenir un acide alginique dépourvu de coloration.

c) Quantité minimale de réactif.

Le traitement au formol s'étant révélé adéquat, il restait à définir les quantités nécessaires de réactif pour obtenir un blocage suffisant des phénols.

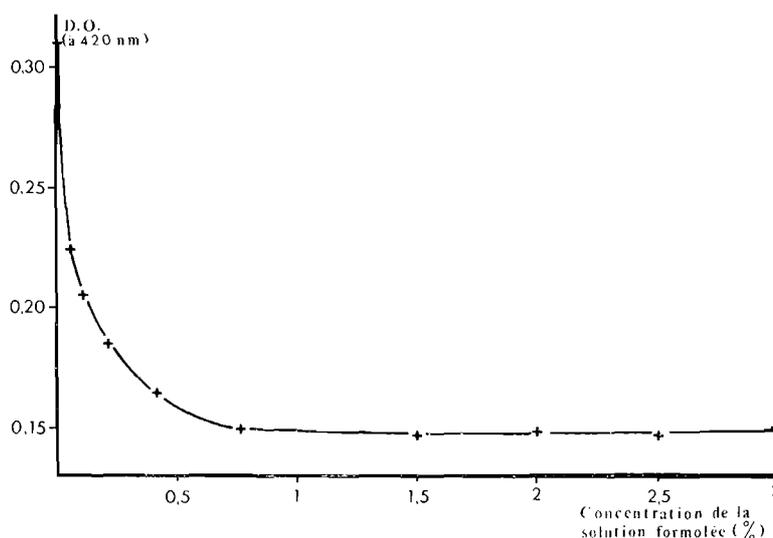


FIG. 43. — Degré d'oxydation des composés phénoliques en fonction de la concentration de la solution formolée.

Des échantillons d'algues de 1 g (en poids sec) sont traités simultanément selon le processus standard, mais avec des solutions formolées (100 ml) à différentes concentrations. Les proportions des réactifs, standardisées pour 3 g d'algue, sont réduites en fonction de l'importance de la prise

d'essai : 100 ml de H_2SO_4 0,1 N et 150 ml de Na_2CO_3 à 10 g/l. Après une macération de 16 heures dans le carbonate de sodium, le résultat de la digestion est filtré sur papier et on recueille les dix premiers centimètres cubes de la solution contenant l'alginate de sodium et les phénols oxydés. La densité optique des échantillons est lue à 420 nanomètres contre un blanc de Na_2CO_3 à 10 g/l dans de l'eau distillée. Les résultats sont regroupés sur la figure 43.

La concentration seuil de formol se situe aux environs de 0,5 % mais l'expérience montre qu'elle peut être abaissée jusqu'à 0,2 %, sans que la qualité du produit final en soit altérée. Il est bon de préciser que cette étude a été menée sur des algues récoltées en juillet, ce qui correspond, comme nous le verrons au paragraphe suivant, à la teneur maximale en phénols.

Il en ressort donc que la quantité nécessaire de formol est de 0,2 g par gramme d'algue en ce qui concerne *L. ochroleuca*. Ce processus de blocage est aussi applicable à *L. hyperborea*, mais la concentration seuil est plus élevée (1 % à 1,5 %). Pour l'extraction routinière de l'acide alginique, nous avons retenu la valeur de 1 % comme concentration de la solution de formol.

E. Etude quantitative des composés phénoliques.

1) Technique de dosage.

Dans l'optique d'une éventuelle utilisation de *L. ochroleuca* à des fins industrielles, nous avons tenté de mettre au point une méthode de dosage simple et relativement rapide, permettant d'apprécier la quantité de phénols présents et de prévoir, éventuellement, la dose de décolorant à employer. Nous avons donc délaissé les méthodes de microdosage des phénols par l'aminopyrine ou des complexes diazotés, celles-ci étant assez difficiles à mettre en œuvre.

Protocole expérimental.

L'algue séchée, dont le taux d'humidité est déterminé, est finement broyée. On prélève deux échantillons correspondant chacun à 2,5 g d'algue à 0 % d'eau, l'un des deux servant de témoin.

Traitement du témoin.

L'échantillon est mis à macérer, pendant 30 mn, dans 100 ml d'une solution aqueuse à 3 % de formol. Cette étape a pour but de bloquer les phénols et d'empêcher, par là-même, le brunissement de la solution. Il est ensuite lavé à l'eau distillée et remis à macérer dans 150 ml d'une solution d'acide sulfurique 0,2 N pendant 4 heures. Au bout de ce laps de temps, l'échantillon est à nouveau lavé à l'eau distillée. La dernière étape consiste en une digestion par une solution aqueuse de carbonate de sodium à 10 g/l, et ce pendant 16 heures. On filtre sur papier Durieux 5 B et on recueille le filtrat qui servira de témoin lors de la mesure spectrophotométrique.

Traitement de l'échantillon.

Il est absolument analogue au processus décrit ci-dessus. Seule la première étape est différente : la solution à 3 % de formol est remplacée par de l'eau distillée. Les phénols, demeurant libres, s'oxydent au contact de l'air et l'on obtient, en fin de manipulation, une liqueur plus ou moins fortement colorée en brun. On mesure la densité optique de cette solution, à une longueur d'onde de 420 nanomètres, dans des cuves à spectrophotométrie de un centimètre de trajet optique.

Cette méthode n'est donc pas destinée à donner une valeur finie de la teneur en phénols, mais a uniquement pour but de permettre la comparaison de différents échantillons d'algues, les concentrations étant exprimées en unité arbitraire de densité optique.

On ne peut affirmer que le brunissement des solutions alcalines, qui est observé lors du traitement des algues, est la conséquence de l'oxydation de tous les composés du pool phénolique. Il serait donc illusoire, dans ce cas précis, d'utiliser une méthode de dosage globale de tous les phénols présents. Les étapes du processus expérimental, décrites dans ce paragraphe, s'apparentent directement à celles de l'extraction de l'acide alginique. Elles présentent donc l'avantage de n'intéresser que les composés susceptibles d'entrer en réaction au cours du processus d'obtention des alginates.

2) *Variation saisonnière de la concentration en phénols.*

La variation de la concentration en phénols au cours de l'année est analysée selon le processus décrit précédemment. Les résultats sont groupés sur le graphique 44.

La teneur en phénols pour les mois de décembre à mars reste sensiblement constante (D.O. = 0,70). Elle chute brusquement en avril-mai, c'est-à-dire pendant la période de forte croissance tissulaire.

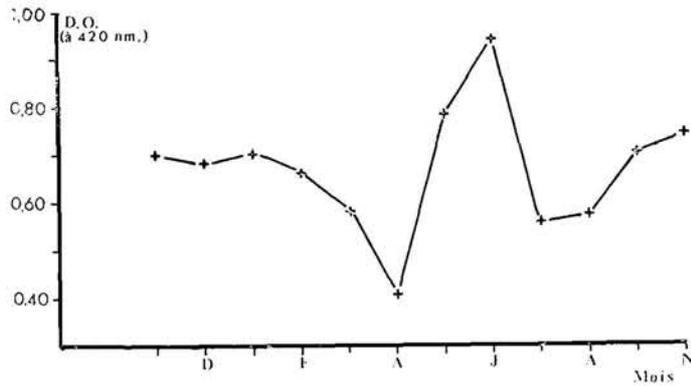


FIG. 44. — *Variation annuelle de la concentration en composés phénoliques.*

Les variations de la teneur en phénols peut s'expliquer en se référant à la distribution des physodes dans l'organisme. Nous rappellerons que ces dernières sont abondantes dans les tissus méristématiques assimilateurs et reproducteurs, tandis qu'elles sont rares ou absentes dans les tissus de soutien. Alors que le rapport, surface de la zone méristématique/surface de la lame, reste pratiquement constant, pour la période décembre-mars, il diminue fortement en avril-mai. La quantité de tissus riche en inclusions phénoliques (zone de croissance) devient nettement inférieure à celle des tissus n'en contenant pas (parenchyme de la lame), pendant la période de forte croissance d'avril-mai.

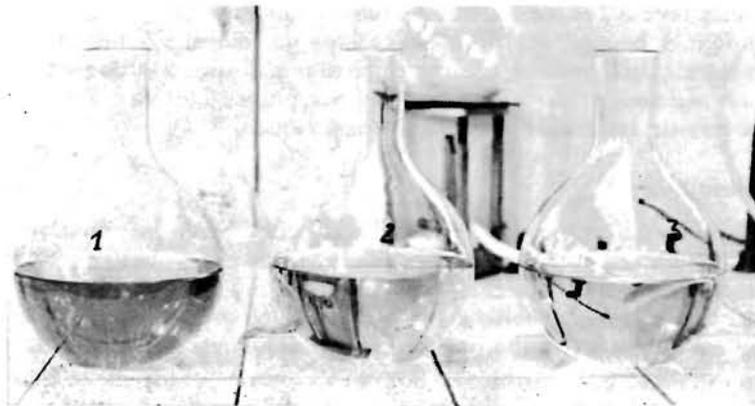


FIG. 45. — *Différences de coloration de la solution de digestion selon la partie de la lame traitée ; 1) zone méristématique ; 2) zone intermédiaire ; 3) zone distale. La zone méristématique, riche en phénols, donne une couleur plus foncée que celle des autres zones.*

La densité optique augmente en juin et juillet en rapport, sans doute, avec l'individualisation des cellules reproductrices qui renferment de nombreuses vésicules à fucosane. La teneur en phénols chute

à nouveau en août et septembre, les spores ayant, pour la plupart, été émises. Le rapport zone méristématique/tissu de la lame est encore faible.

L'usure apicale aidant, la longueur de la lame se réduit à partir du mois d'août. Le rapport zone méristématique/tissu de la lame augmente et la concentration en phénols retrouve progressivement sa valeur d'équilibre (D.O. = 0,70), qu'elle conservera pendant la période hivernale.

La variation annuelle de la teneur en composés phénoliques semble refléter les différences de constitution des tissus au niveau cellulaire. En effet, la concentration en phénols d'un échantillon d'algue donné est directement fonction des proportions respectives de tissus méristématique, reproducteur et de soutien qui le composent. Cette disparité cellulaire est facilement mise en évidence en traitant séparément des quantités identiques de tissus provenant des zones méristématique, intermédiaire et distale de la lame. Le simple examen de la coloration des solutions de digestion, obtenues à partir de ces différentes zones, trahit la plus grande abondance des phénols dans les cellules de la zone de croissance (fig. 45). Notons que, dans cette expérience, les parties intermédiaire et distale de la lame étaient stériles.

F. Etude qualitative des composés phénoliques (*résultats préliminaires*).

Il était hors de question, dans le cadre restreint de cette étude, de pratiquer une analyse exhaustive des molécules composant le pool phénolique de *L. ochroleuca*. Nous n'exposerons ici que les premiers résultats qui permettent de cerner le problème, les travaux se poursuivant à l'heure actuelle.

1) *Analyse chimique directe.*

Après avoir employé différentes colorations-types des phénols (vanilline/acide chlorhydrique, benzidine diazotée, acide sulfanilique), nous avons appliqué quelques réactions spécifiques des polyphénols, décrites par DENIGES (1920), en adaptant celles-ci au cas particulier des algues. Chacun des trois tests, décrits ci-dessous, permet de caractériser la présence des phénols suivants : résorcinol, phloroglucinol, pyrogallol, pyrocatechol et hydroquinone.

Test n° 1.

Mettre en agitation 3 g d'algues dans 50 ml d'eau distillée, pendant 30 mn. Filtrer et recueillir la solution aqueuse. Placer 2 ml de la solution obtenue dans un tube à essai et y ajouter un volume double de réactif sulfate mercurique.

Préparation du réactif.

oxyde mercurique (jaune ou rouge)	50 g
acide sulfurique concentré	200 ml
eau distillée	1 000 ml

Mélanger l'acide et l'eau dans un matras et, sans refroidir, ajouter l'oxyde en agitant (la dissolution peut être accélérée en chauffant). La liqueur refroidie est ensuite filtrée.

Dans le tube à essai on observe un précipité blanc qui est caractéristique du phloroglucinol.

Test n° 2.

Extraire 3 g d'algues par 20 ml d'alcool pendant 20 mn. Filtrer et placer 4 ml de la solution obtenue dans un tube à essai. Ajouter lentement de la lessive de soude sur la paroi du tube incliné. La soude gagne le fond, sans mélange sensible et on peut observer la limite de séparation entre les deux liquides.

Il y a apparition d'un anneau jaune, l'alcool surnageant, primitivement vert franc, devenant progressivement vert-jaune. Cette coloration met en évidence la présence d'hydroquinone.

Test n° 3.

Préparer un extrait aqueux d'algue comme dans le premier test. Prélever 2 ml de la liqueur obtenue et y ajouter 2 à 3 ml de réactif sulfo-formolé en agitant.

Préparation du réactif.

Mélanger 2 ml de formaldéhyde et 100 ml d'acide sulfurique concentré.

Une coloration jaune-brun, virant lentement à la teinte feuille morte, se développe et indique que l'on a affaire à l'hydroquinone.

Les réactions caractéristiques des crésols et des naphthols sont demeurées négatives. On ne peut néanmoins pas rejeter l'éventualité de leur présence, car leur concentration dans les cellules peut être inférieure au seuil de détection des différents tests.

De cette série d'expériences, il est possible de conclure à la présence de deux composés de la famille des phénols : la phloroglucine et l'hydroquinone. Quoi qu'il en soit, ces analyses ne fournissent qu'une présomption et nous nous sommes alors tourné vers la chromatographie pour préciser ces premières données.

2) *Analyse par chromatographie.*

a) *Chromatographie sur papier.*

Afin de dégrossir le problème, nous avons d'abord tenté d'extraire directement les phénols par un solvant approprié, de les faire migrer sur un support papier et de les révéler avec un indicateur caractéristique.

Matériel et réactifs.

Solvant d'extraction : trois solvants ont été essayés, éther éthylique, éthanol et chloroforme.

Support de migration : papier Whatman n° 1 et papier Schleicher et Schüll n° 287.

Révélateur : acide sulfanilique diazoté.

Préparer une solution d'acide sulfanilique : acide chlorhydrique (1 g d'acide sulfanilique, 8 ml d'HCl concentré, 100 ml d'eau distillée). Mélanger celle-ci à un volume égal de NaNO_2 à 0,69 %. Cette solution est utilisée en vaporisation suivie d'un séchage et d'une nouvelle vaporisation de Na_2CO_3 à 10 %.

Eluant : 1 butanol, acide acétique, eau (4-1-5 v/v). Agiter le tout, puis laisser décanter. Seule la phase organique est utilisée.

Méthode.

Placer 5 g d'algue réduite en poudre dans 50 ml de solvant. Après 20 mn d'agitation magnétique la solution obtenue est filtrée et concentrée à 1 ml. Les dépôts sont de 0,1 ml.

Résultats.

Si nous avons pu obtenir une bonne séparation des témoins (phloroglucinol, phénol, pyrocatechol, pyrogallol, hydroquinone), il n'en a pas été de même pour l'échantillon. Celui-ci se résout en un seul spot migrant pratiquement avec le front du solvant et demeurant peu coloré malgré la concentration poussée qui suit l'extraction. L'usage d'autres solvants de migration n'a pas apporté d'amélioration sensible. Il y a tout lieu de penser que les phénols, qui sont très labiles, se détruisent au cours de la migration ou pendant la révélation.

Partant de cette hypothèse, nous avons donc recherché un moyen de stabiliser les phénols. La solution retenue est la formation d'azoïques avec la p-nitraniline. Les azoïques sont stables et fortement colorés, ce qui est particulièrement intéressant pour l'étude chromatographique.

b) Chromatographie en couche mince.

Nous nous sommes inspiré de la méthode décrite par CHIGLIONE, PUGNET et GIRAUD (1969), en l'adaptant au cas particulier des algues.

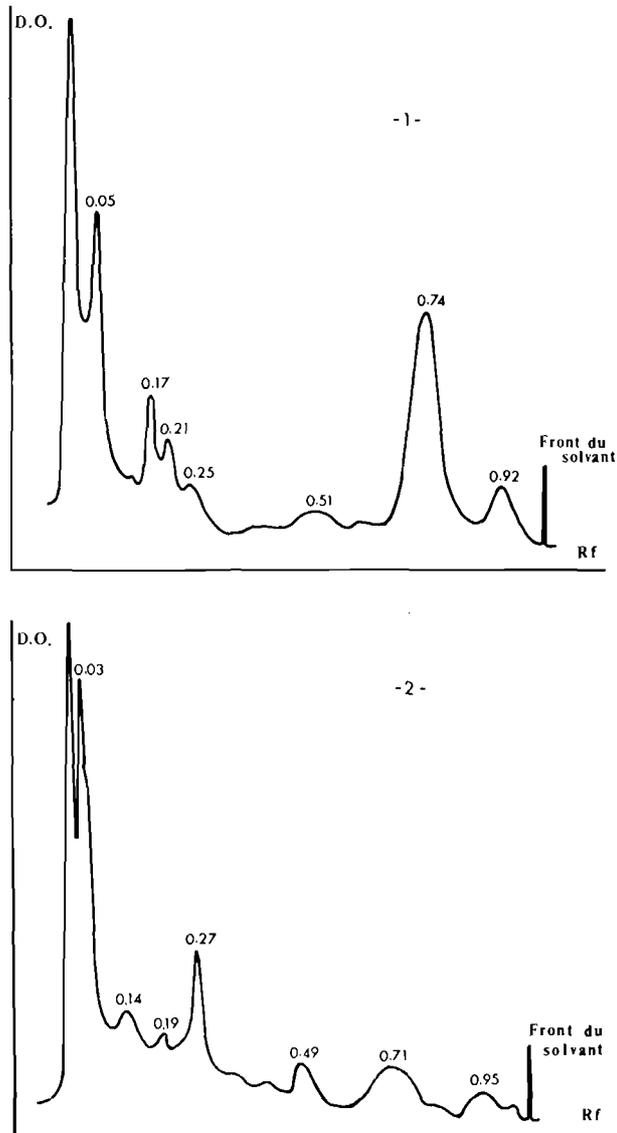


FIG. 46. — Chromatogrammes des phénols extraits de *L. ochroleuca* fraîche - 1 - et séchée - 2 - (éluant n° 1).

Méthode.

Préparation du réactif diazoïque. Dissoudre, à chaud, 0,5 g de p-nitraniline dans 100 ml d'acide chlorhydrique N puis laisser refroidir la solution en bain de glace. Lorsque la température est voisine de 0 °C, ajouter 100 ml d'une solution à 2,7 % de nitrite de sodium dans l'eau distillée, préparée extemporanément et également refroidie. Agiter et laisser une demi-heure dans le bain de glace à l'abri de la lumière.

Copulation. Dans un erlenmeyer, placer environ 5 g d'algue réduite en poudre et 10 ml d'une solution à 20 % d'acétate de sodium. Mettre en agitation magnétique et rajouter la quantité d'eau nécessaire à un bon mélange. Ajouter 2 ml de réactif diazoïque et laisser la copulation se poursuivre pendant 20 mn à la température du laboratoire. Dans le cas de *L. ochroleuca*, le mélange prend une couleur brun-rouge.

Extraction des azoïques. Filtrer le mélange et recueillir la liqueur obtenue dans une ampoule à décanter. Acidifier le milieu par 5 ml d'acide chlorhydrique 4 N, puis ajouter 8 ml de chloroforme. Agiter l'ampoule pendant 5 mn, laisser décanter et soutirer la phase chloroformique. Selon la quantité de phénols contenue dans l'échantillon, la solution est de couleur rose à violette foncée. Le solvant est concentré 20 fois. Les phénols témoins sont traités de façon identique.

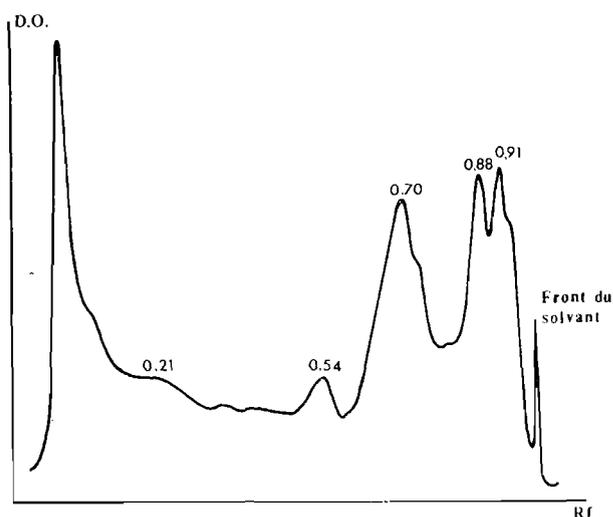


Fig. 47. — Chromatogramme des phénols extraits de l'algue séchée (éluant n° 2).

Migration. Le support choisi est le silicagel Merck F₂₅₄ (avec indicateur fluorescent). Après plusieurs essais, nous avons sélectionné deux mélanges de solvants pour l'éluion :

éluant 1 : benzène : méthanol : acide acétique (98 : 2 : 1 v/v)

éluant 2 : benzène : dioxane : acide acétique (90 : 25 : 4 v/v).

Les dépôts sont de 0,1 ml et le temps de migration de 45 mn environ. Les plaques sont ensuite séchées à l'étuve et le spectre réalisé au densiomètre Vernon.

Résultats.

Le chromatogramme présente des bandes de couleurs diverses, dont certaines ne sont pas stables. Le produit le plus remarquable se trouve en tête du chromatogramme (Rf = 0,92-0,95) (fig. 46). Ce composé conserve une couleur violette tant que la plaque est en atmosphère saturée de solvant ou est humidifiée par ce dernier. Lors du séchage, la couleur caractéristique disparaît et tourne au jaune. Cette substance est de loin la plus abondante et donne sa teinte à l'extrait chloroformique. Il s'agit de l'iode qui est solubilisée pendant la diazocopulation. Au cours du processus d'extraction des azoïques par le chloroforme, la présence d'acide chlorhydrique 4 N et de nitrite de sodium constitue un milieu favorable à la révélation de l'iode. Après 24 heures, on voit apparaître distinctement deux nouvelles bandes (Rf = 0,03) (fig. 46) présentant une teinte grisâtre.

Le fait que l'algue traitée soit fraîche ou sèche ne semble pas introduire de différences notables dans les coefficients de migration (fig. 46). Si les amplitudes absolues des pics ne peuvent

constituer un critère de référence, les valeurs relatives de celles-ci peuvent être retenues à titre comparatif. On note une translation d'intensité pour les pics de la zone comprise entre les Rf 0,14 et 0,27 et la recherche d'isomères pourrait peut-être apporter une explication à ce phénomène. Le composé ayant un Rf de 0,71-0,74 est également altéré par le séchage de l'algue avant le traitement.

L'identification des produits n'en est qu'à ses débuts. Si la présence de phloroglucinol est confirmée (Rf = 0,49-0,51 dans l'éluant 1 et 0,91 dans l'éluant 2) (fig. 46 et 47), les autres bandes ne sont pas encore déterminées avec certitude (présomption sur l'hydroquinone ainsi que sur les dérivés du catéchol et de l'acide gallique). Ces résultats, bien que fragmentaires, rejoignent néanmoins les conclusions de CRATO (1892) et de OGINO et TAKI (1957) quant à la présence de phloroglucinol dans les vésicules à fucosane.

La technique de diazocopulation des phénols, extraits des algues brunes, avec la p-nitraniline, permet la stabilisation et une bonne séparation des composés. Elle présente un intérêt, non seulement au niveau de l'identification des constituants du pool phénolique, mais également dans l'optique de la coloration directe des composés algaux pour une meilleure présentation. Ces données font en outre ressortir la variété et la complexité des molécules entrant dans la composition du contenu des physodes.

L'identification des différents phénols se poursuit actuellement. La principale difficulté de l'analyse réside dans le fait que les phénols naturels sont rarement à l'état pur mais sous forme substituée. Le choix des témoins d'identification est donc particulièrement vaste et le recours à la chromatographie en phase gazeuse sera peut-être nécessaire.

L'étude de l'acide alginique extrait de *L. ochroleuca* fait ressortir un certain nombre de problèmes inhérents à cette algue.

Au niveau de l'extraction de l'acide alginique, la robustesse du stipe rend difficile son fractionnement, tandis que les composés phénoliques de l'algue induisent une coloration du produit final. Il convient d'évaluer l'incidence de chacun de ces points sur l'utilisation éventuelle de *L. ochroleuca* et de les mettre en balance avec les possibilités d'exploitation qu'offre la biologie de cette laminaire.

Le problème du broyage n'est qu'un handicap mineur. Si l'industrie française des algines n'utilise que des concasseurs de faible puissance, suffisante pour le traitement de *L. digitata*, il n'en est pas de même pour les usines britanniques qui traitent un certain pourcentage de *L. hyperborea* dont le stipe est au moins aussi coriace que celui de *L. ochroleuca*.

Au point de vue teneur en acide alginique, *L. ochroleuca* se place certes après *L. digitata*, mais nettement détachée devant *L. hyperborea* et *L. saccharina*. La haute viscosité de l'algine extraite de *L. ochroleuca* est un facteur favorable à l'utilisation de cette algue. En effet, parmi toutes les propriétés de l'acide alginique, c'est le pouvoir épaississant qui trouve le champ d'application le plus large dans le domaine industriel.

Si, au niveau de l'utilisation directe des algines, la couleur de ceux-ci peut être gênante, il n'en est pas de même pour d'autres produits où l'adjonction d'un acide alginique coloré peut constituer un argument de présentation. La possibilité d'obtenir de l'algine incolore, par l'intermédiaire de la formolisation, permet de rejoindre la voie habituelle de production. Bien que cette opération alourdisse légèrement le coût du traitement, la rentabilité de l'extraction est directement fonction du prix de la matière première. *L. digitata* suffit amplement au besoin actuel des industries, mais les besoins sans cesse croissants en algines risquent de conduire à une surexploitation de cette espèce.

Nous avons vu, dans la première partie de cette étude, que *L. ochroleuca* présente toutes les caractéristiques requises (croissance, reproduction, régénération) pour une éventuelle utilisation. Malgré les quelques inconvénients qui existent au niveau de l'extraction de l'acide alginique, le bilan économique global peut être considéré comme positif. *L. ochroleuca* est donc à placer au rang de matière première potentielle pour l'industrie française des algues brunes.

CONCLUSION GENERALE

Les différents résultats obtenus au cours de cette étude sur *L. ochroleuca* ont permis de préciser certains aspects biologiques et chimiques qui avaient été peu ou pas étudiés. Pour la clarté de l'exposé, nous avons préféré séparer les problèmes de la croissance de ceux afférents à l'acide alginique. En fait, ces deux domaines ont été étudiés simultanément, car ils semblent complémentaires.

A la lumière des travaux antérieurs, augmentés des nouvelles données acquises, il est possible de résumer succinctement les principales caractéristiques écologiques de l'algue.

Sur les côtes bretonnes, *L. ochroleuca* se développe dans l'étage infralittoral. Elle constitue une ceinture délimitée par *L. digitata* à sa partie supérieure, et par *L. hyperborea* à sa partie inférieure. Grâce à sa sténothermie, son euryphotisme et son euryhalinité, *L. ochroleuca* est douée de grandes facultés d'adaptation attestées, d'ailleurs, par sa large répartition géographique et bathymétrique. Le principal facteur limitant l'extension des peuplements semble être l'agitation hydraulique induite par les vents dominants. Que ce soit dans le nord ou le sud du Finistère, *L. ochroleuca* se cantonne, en effet, dans les zones sous le vent. La croissance de cette laminaire est un des points qui, à notre connaissance, n'ont jamais été étudiés.

Malgré la présence de l'organisation type des laminaires (morphologie extérieure et méristème stipo-frondal), on peut noter certaines particularités au niveau des potentialités de croissance.

L'activité des assises méristématiques, sensible sur 22 cm (comptés à partir de la base de la lame), est inégale à l'intérieur de la zone de croissance. En effet, il a été mis en évidence un déplacement cyclique, au cours de l'année, du niveau maximum de production tissulaire. L'élongation de la lame présente une variation saisonnière avec un taux maximum pendant les mois de mai à juin. La période de repos méristématique se situe en novembre et décembre. Comparées aux résultats obtenus sur *L. digitata*, l'étendue de la zone de croissance et la quantité de tissus produite annuellement, sont supérieures chez *L. ochroleuca*.

La lame de *L. ochroleuca* subit, comme celle de toutes les laminaires, le phénomène d'usure apicale. Il est particulièrement sensible, chez cette algue, car l'émission des spores se déroule sur une longue période (juillet à octobre), ce qui affaiblit considérablement les tissus.

Si la croissance du stipe est relativement discrète (maximum de 5 cm/an enregistré pour la classe 2), le diamètre inférieur s'accroît rapidement au cours des ans. De ce fait, *L. ochroleuca* possède l'un des stipes les plus robustes parmi ceux des laminaires des côtes françaises.

Des expériences préliminaires ayant montré la possibilité de régénération chez cette algue, nous nous sommes attaché à définir la hauteur minimale à laquelle la section de la lame pouvait être pratiquée ainsi que l'influence de la période de coupe sur la rapidité de reconstitution des tissus. Il apparaît que la coupe doit être effectuée à 4 cm minimum, au-dessus de la base de la lame, et que les meilleures régénérations sont obtenues pour des lames sectionnées de novembre à avril.

Parallèlement à ces études purement biologiques, le travail a porté sur l'acide alginique provenant de cette laminaire.

La quantité de produit extractible, chez *L. ochroleuca*, est légèrement inférieure à celle obtenue à partir de *L. digitata*. Le pourcentage d'alginate n'est pas stable au cours de l'année. La teneur est minimale en mai-juin (période de forte croissance) et maximale en hiver (période de repos méristématique). Après analyse des différentes parties de la lame et du stipe, nous avons constaté que le

pourcentage le plus fort d'acide alginique et la variation annuelle la plus sensible se rencontrent au niveau de la zone méristématique stipo-frondale.

Tous ces résultats corroborent l'hypothèse selon laquelle l'acide alginique serait une substance activement impliquée dans le métabolisme cellulaire. Il est cependant difficile de conclure définitivement tant que les voies de synthèse et de dégradation de ce glucide n'auront pas été complètement élucidées.

Le fait que *L. ochroleuca* ne soit pas utilisée par l'industrie française des algues brunes semble surtout dû au manque d'information sur les possibilités offertes par cette algue. La suite de l'étude a donc été localisée sur les deux principaux critères de qualité de l'acide alginique : sa viscosité et sa coloration.

La viscosité, mesurée sur des solutions d'alginate de sodium à 1 %, peut être considérée comme excellente (moyenne annuelle de 5 040 cp pour la lame et de 6 720 cp pour le stipe). Il faut remarquer que la viscosité de l'alginate provenant du stipe est toujours plus forte, quel que soit le mois considéré, que celle de l'alginate extraite de la lame. On note également la présence d'une variation saisonnière qui suit de très près celle de la teneur en acide alginique, avec cependant un décalage d'un mois. Tout se passe comme si l'algue, anticipant sur ses besoins métaboliques, dépolymérisait l'acide alginique avant son utilisation effective.

En extrayant l'acide alginique selon la méthode employée pour *L. digitata*, nous avons obtenu un produit final coloré. Une série d'expériences met en évidence la responsabilité de composés phénoliques qui s'oxydent en milieu basique et provoquent la coloration. Après l'examen des différents procédés de blanchiment, nous avons arrêté notre choix sur le traitement par le formaldéhyde. Ce dernier n'intervient pas en qualité de décolorant, mais en tant que réactif empêchant l'apparition du brunissement. Précisons, en outre, que ce traitement n'affecte ni l'extraction, ni la viscosité de l'acide alginique.

Pour mieux cerner le problème, nous avons également suivi la variation de la teneur en « phénols » au cours de l'année et déterminé les quantités de réactif nécessaires à un résultat optimal. Notons que le brunissement de l'acide alginique n'est pas toujours un facteur rédhibitoire à son utilisation. De nouvelles extensions dans les dérivés des algues font apparaître que la coloration de certains produits est favorable à leur présentation. Le terme général de phénols est employé à dessein, car l'identification des composés est actuellement en cours et il est difficile de préjuger de la constitution du pool phénolique. Pour l'instant, seule la présence du phloroglucinol a été démontrée.

Cette approche de *L. ochroleuca* ne se veut pas une étude exhaustive, mais seulement un travail susceptible de nouveaux développements. De nombreux points restent encore à éclaircir, ne serait-ce qu'au niveau du métabolisme de l'acide alginique et de la teneur en composés tels que la laminarine et le mannitol. L'étude de l'évolution des stocks de l'algue, devant la concurrence interspécifique, serait également souhaitable.

Tout en essayant d'apporter une contribution à l'étude du genre *Laminaria*, nous avons voulu dépasser ce cadre pour porter notre attention sur le potentiel économique représenté par *L. ochroleuca*.

Par l'existence de champs denses et relativement étendus, par ses caractéristiques biologiques, par sa teneur en acide alginique et la qualité de ce dernier, *L. ochroleuca* peut être considérée comme une espèce exploitable.

Les stocks de *L. digitata* sont actuellement suffisants pour alimenter l'industrie des alginates mais, vu l'expansion qui caractérise cette dernière, la possibilité d'une surexploitation est à redouter. *L. ochroleuca* permet de diversifier les sources d'approvisionnement et doit donc être classée au rang de matière première potentielle.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSEN (G.), 1956. — On the detection of alginic acid in tissues by means of birefringence. — *Proc. Intl. Seaweed Symp.*, 2nd, Trondheim, p. 119-24.
- ANDO (Y.), 1951. — On the so-called « fucosane » in marine phaeophyceae. — *Botan. mar.*, **64**, p. 192-195.
- 1958. — Studies on physodes, I. — *Bull. Japan. Soc. Phycol.*, **6**, p. 28-34 ; II, p. 45-50.
- AUDOUIN (J.) et PÉREZ (R.), 1970. — Cartographie des populations de laminaires des côtes françaises de la Manche orientale. — *Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches marit.*, n° 194, p. 1-11.
- BAARDSETH (E.), 1958. — A method of estimating the physode content in brown algae. — *Nors. Inst. for tang - og tare-forskning Rep.*, n° 20, p. 1-6.
- 1966. — Localisation and structure of alginic acid gels. — *Proc. Intl. Seaweed Symp.*, 5th, Halifax, p. 19-28.
- BERNAL (R.), 1965. — El empleo de las fotografías aéreas en los levantamientos cartográficos de los recursos algológicos. — *Cons. int. Explor. Oc.*, **8** (5), p. 102-112.
- BLACK (W.A.P.), 1950. — The seasonal variation in weight and chemical composition of the common british laminariaceae. — *J. mar. Biol. Assoc. U.K.*, **29**, p. 45-72.
- BORNET (E.), 1892. — Les algues de P.K.A. Shousboe récoltées au Maroc et dans la Méditerranée de 1815 à 1829. — *Mém. Soc. nat. Sci. nat. Math. Cherbourg*, **28**, p. 3-165.
- CAMERON (M.C.), ROSS (A.G.) et PERCIVAL (E.G.V.), 1948. — Methods for the routine estimation of mannitol, alginic acid and combined fucose in seaweeds. — *J. Soc. chem. Ind.*, **67**, p. 161-164.
- CHADEFAUD (M.), 1932. — Sur les physodes des phéophycées. — *C.R. Acad. Sci.*, **194**, p. 1675-1677.
- CHAPMAN (V.J.), 1944. — Method for surveying *Laminaria* beds — *J. mar. Biol. Assoc. U.K.*, **26**, p. 37-60.
- 1970. — Seaweeds and their uses. — METHUEN and Co, Edit.
- COSSON (J.), 1967. — Etude d'une population de *Laminaria ditigata* LAM. (biométrie, croissance, régénération). — *Bull. Soc. Linn. Normandie*, **8** (2), p. 246-281.
- CRATO (E.), 1892. — Die Physode, ein organ des Zellenleibs. — *Ber. Deutsch Bot. Ges.*, **10**, p. 295-302.
- 1893. — Uber die Hansteen'schen Fucosankörner. — *Ibid.*, **11**, p. 235-243.
- DAVIES (J.M.), FERRIER (N.C.) et JOHNSTON (C.S.), 1973. — The ultrastructure of the meristoderm of the hapteron of laminaria. — *J. mar. Biol. Assoc. U.K.*, **53**: 237-246.
- DAVY DE VIRVILLE (A.), 1961. — Sur un nouveau procédé de cartographie des algues marines. — *Proc. Intl. Seaweed Symp.*, 4th, Biarritz, p. 175-178.
- DENIGES (G.), 1920. — Précis de chimie analytique. — Paris, MALOINE, Edit.
- DIZERBO (A.B.), 1952. — Quelques aspects de la végétation marine d'Ouessant. — *Bull. Soc. Ouest France*, **10** (2), p. 2-5.
- DONNAN (F.G.) et ROSE (R.C.), 1950. — Osmotic pressure, molecular weight and viscosity of sodium alginate. — *J. Fish. Res. Bd Canada*, **18**, p. 105-130.
- DONZE (M.), 1968. — The algal vegetation of the Ria de Arosa (NW Spain). — *Blumea*, **16**, p. 159-192.
- DRACH (P.), 1951. — Les peuplements des fonds rocheux en zone littorale profonde (recherches en scaphandre autonome). — *An. Biol.*, **27** (7), p. 271-279.
- FELDMAN (J.), 1932. — Les laminariacées de la Méditerranée et leur répartition géographique. — *Bull. Trav. stat. Aquic. et Pêche, Castiglione*, **2**, p. 146-184.
- FISCHER (F.G.) et DORFEL (H.), 1955. — The polyuronic acids of brown algae. — *Hoppe-Seyler's Z. physiol. Chem.*, **301**, p. 224-234.
- 1955. — The paper chromatographic separation and determination of hexuronic acids. — *Ibid.*, **302**, p. 186-203.
- FLOCH (J.Y.), 1967. — Cartographie de la végétation marine et observations écologiques dans l'archipel de Molène (Finistère). — Thèse de 3^e cycle, Fac. Sci. Rennes, p. 1-135.
- FREUNDLER (P.) et MENAGER (Y.), 1921. — Recherches sur l'exploitation et l'utilisation industrielle des principales laminaires de la côte bretonne. — *Notes et Mém. off. sci. tech. Pêches marit.*, n° 5, p. 1-16.

- GAYRAL (P.), 1957. — Résultats d'une prospection algologique à l'île de Mogador. — *C.R. Acad. Sci.*, **245** (1) : 358-60.
- GERO (J.B. de), 1960. — Etude chimique de *Laminaria ochroleuca* (algue Phéophycée) de la côte atlantique du Maroc. — *Bull. Inst. Pêches marit. Maroc*, **4**, p. 59-66.
- GHIGLIONE (C.), PUGNET (T.) et GIRAUD (M.), 1969. — Sur la chromatographie en couche mince d'hydroxyazoïque. Application au dosage des phénols. — *Bull. Soc. Pharm. Marseille*, **18** (70), p. 91-98.
- GIACONE (G.), 1969. — Note sistematiche et osservazioni fitosociologiche sulle laminariales del Mediterraneo occidentale. — *G. ital. Bot.*, **103**, p. 457-474.
- GIFFORD (E.M.), 1968. — Plant cells. — Oxford and Edinburgh, CLOWES F.A.C. et JUNIPER B.D., Edit., p. 146-147.
- GLOESS (P.), 1919. — Les plantes marines. Leurs utilisations. — *Bull. Inst. océanogr. Monaco*, n° 350, p. 1-80.
- HAMEL (G.), 1938. — Phéophycées de France. — *Rev. Alg.*, **4**, p. 241-336.
- HAUG (A.) et LARSEN (B.), 1958. — I. The presence of Reducing Compounds in *Ascophyllum nodosum* (L.) LE JOL. — *Acta Chem. Scandinavia*, **12**, p. 650-657.
- HAUG (A.), LARSEN (B.) et SMIDSRÖD (O.), 1966. — A study of the constitution of alginic acid by partial acid hydrolysis. — *Acta Chem. Scandinavia*, **20** (1), p. 183-190.
- HELLEBUST (J.A.) et HAUG (A.), 1972 a. — Photosynthesis, translocation and alginic synthesis in *Laminaria digitata* and *Laminaria hyperborea*. — *Can. J. Bot.*, **50**, p. 169-176.
- 1972 b. — In situ studies on alginic acid synthesis and other aspects of the metabolism of *Laminaria digitata*. — *Ibid.*, **50**, p. 177-184.
- HIRST (E.L.), JONES (J.K.N.) et JONES (W.O.), 1939. — Structure of alginic acid. — *Nature*, Londres, **143**, p. 857.
- HIRST (E.L.), PERCIVAL (E.) et WOLD (J.K.), 1964. — Structure of alginic acid. IV. Partial hydrolysis of the reduced polysaccharide. — *J. Chem. Soc.*, p. 1493-1499.
- JOHN (D.M.), 1969. — An ecological study on *Laminaria ochroleuca*. — *J. mar. Biol. Assoc. U.K.*, **49**, p. 157-187.
- 1971. — The distribution and net productivity of sub-littoral populations of attached macrophytic algae in an estuary of the atlantic coast of Spain. — *Mar. Biol.*, **11** (1), p. 90-97.
- JOUBIN (L.), 1909. — Recherches sur la distribution géographique des végétaux marins dans la région de Roscoff. — *Bull. Inst. océanogr. Monaco*, **1** (1), p. 1-17.
- KAIN (J.M.), 1963. — Aspects of the biology of *Laminaria hyperborea*. 2. Age, weight and length. — *J. mar. Biol. Assoc. U.K.*, **43** (1), p. 129-151.
- KYLIN (H.), 1912. — Über die Inhaltkörper des Fucoideen. — *Arkiv Bot.*, **11**, p. 1-26.
- 1913. — Zur Biochemie der Meeresalgen. — *Hoppe Seyler's Z. Physiol. chem.*, **83**, p. 171-197.
- 1918. — Über die Fucosanblasen der Phaeophyceen. — *Ber Deutsch Botan. Ges.*, **36**, p. 10-69.
- 1938. — Bemerkungen über die Fucosanblasen der Phaeophyceen. — *Kgl. Physiograf. Sällskap Lund Förh.*, **8**, p. 1-10.
- LAMI (R.), 1943. — IX. Sur l'écologie et la répartition dans la Manche de *Laminaria ochroleuca* DE LA PYLAIE. — *Bull. lab. marit. Dinard*, **25**, p. 75-90.
- LANCELOT (A.), 1961. — Recherche biologique et océanographique sur les végétaux marins des côtes françaises entre la Loire et la Gironde. — *Rev. Alg.* Mém. hors série, **2**.
- LAPIQUE (L.), 1931. — Sur *Laminaria ochroleuca* DE LA PYLAIE (= *L. lejolisi* SAUVAGEAU). — *Trav. Crypto. dédiés à L. MANGIN*, Paris, p. 397-404.
- LE BERRE (A.), 1964. — Le nom des algues en breton. — *Penn ar Bed*, **4** (2), n° 37, p. 210.
- LE JOLIS (A.), 1855. — Examen des espèces confondues sous le nom de *Laminaria digitata* auct., suivi de quelques observations sur le genre *Laminaria*. — *Mém. Soc. imp. Sci. nat. Cherbourg*, **3**, p. 241-312.
- LUNING (K.), 1971. — Seasonal growth of *Laminaria hyperborea* under recorded underwater light conditions near Helgoland. — *Proc. Europ. Mar. Biol. Symp.* 4th, p. 347-361.
- MC CULLY (M.E.), 1966. — Histological studies on the genus *Fucus*. I. Light microscopy of the mature vegetative plant. — *Protoplasma*, **62**, p. 287-305.
- NELSON (W.L.) et CRETCHER (L.H.), 1929. — The alginic acid from *Macrocystis pyrifera*. — *J. Am. Chem. Soc.*, **51**, p. 1914-1922.
- OGINO (C.) et TAKI (Y.), 1957. — Studies on the tannin of brown alga, *Sargassum ringgoldianum* har. — *J. Tokyo Univ. Fish.*, **43** (1), p. 1-5.
- PERCIVAL (E.) et Mc DOWELL (R.H.), 1967. — Chemistry and enzymology of marine algal polysaccharides. — Londres, Academic Press Edit.
- PERCIVAL (E.G.V.) et ROSS (G.), 1948. — A colorimetric method for the estimation of alginic acid in seaweed specimens. — *J. Soc. Chem. Ind.*, **67**, 420-421.
- PERES (J.M.), 1967. — Les biocénoses benthiques dans le système phytal. — *Bull. Trav. stat. mar. Endoume*, **58** (42), p. 3-114.

- PÉREZ (R.), 1967. — Teneur en acide alginique d'une population de *Laminaria digitata* LAMOUROUX du plateau du Calvados. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **31** (2), p. 117-122.
- 1968. — Les nouvelles méthodes de récolte et le repeuplement des champs de laminaires. — *Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches marit.*, n° 175, p. 1-7.
- 1969. — Croissance de *Laminaria digitata* (L.) LAMOUROUX étudiée sur trois années consécutives. — *Proc. Intl. Seaweed Symp.*, 6th, Santiago de Compostela, p. 329-344.
- 1970. — Longévité du sporophyte de *Laminaria digitata* (L.) LAMOUROUX. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **34** (3), p. 363-373.
- 1971. — Ecologie, croissance et régénération, teneurs en acide alginique de *Laminaria digitata* sur les côtes françaises de la Manche. — *Ibid.*, **35** (3), p. 287-346.
- PÉREZ (R.), AUDOUIN (J.), BRAUD (J.P.) et UHM (K.B.), 1973. — Répartition des grands champs d'algues brunes sur les côtes françaises de la Manche occidentale, entre l'île Grande et l'île de Sic. — *Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches marit.*, n° 226, p. 1-12.
- PREISS (J.) et ASHWELL (G.), 1962 a. — Alginic acid metabolism in bacteria. I. Enzyme formation of unsaturated oligosaccharides and 4-deoxy L erythro 5-hexoseulose uronic acid. — *J. Biol. Chem.*, n° 337, p. 309-316.
- 1962 b. — Alginic acid metabolism in bacteria. II. Enzyme reduction of 4-deoxy L-erythro 5-hexoseulose uronic acid to 2-keto, 3-deoxy D-glucinic acid. — *Ibid.*, n° 337, p. 317-321.
- PYLAIE (DE LA), 1824. — Quelques observations sur la production de l'île de Terre Neuve et sur quelques algues de la côte de France appartenant au genre *Laminaria*. — *Ann. Sci. Nat.*, **4**.
- ROSE (R.C.), 1951. — Extraction of alginate from canadian seaweeds. — *Can. J. Technol.*, **29**, p. 19-28.
- SAUVAGEAU (C.), 1916. — Sur une laminaire nouvelle pour les côtes de France: *Laminaria lejolisii* SAUV. — *C.R. Acad. Sci.*, **163**, p. 714-716.
- 1918. — Recherches sur les laminaires des côtes de France. — *Mém. Acad. Sci.*, **56**, p. 1-240.
- SEOANE-CAMBA (J.), 1966. — Las laminarias de España y su distribución. — *Publ. tec. Ita est. pesc.*, **5**, p. 425-436.
- SKORYNA (S.C.) et TANAKA (Y), 1969. — Biological activity of fractionation products of Brown marine Algae. — *Proc. Intl. Seaweed Symp.*, 6th, Santiago de Compostela, p. 737-745.
- SPOONER (G.M.), 1951. — Additional records of *Laminaria ochroleuca* DE LA PYLAIE. — *J. mar. Biol. Assoc. U.K.*, **29**, p. 261-262.
- STANFORD (E.), 1883. — On algin: a new substance obtained from some of the common species of marine algae. — *Chem News*, **47**, p. 254-257.
- SVERDRUP (H.U.), JHONSON (M.W.) et FLEMING (R.H.), 1962. — The oceans. Their physic, chemistry and general biology. — *Prentice-Hall Edit.*, p. 1-1086.
- VILLEGAS (J.), 1964. — Variacion estacional del contenido en acido alginico en la *Laminaria ochroleuca*. — *Bol. Inst. esp. Oceanogr.*, n° 114, p. 3-7.
- VINCENT (D.L.), 1956. — The preparation of sodium alginate from rockweed. — *Can. J. Technol.*, **34**, p. 220-226

ANNEXE

LES MOYENS DE RÉCOLTE

Les outils employés pour la récolte des laminaires sont longtemps demeurés primitifs. Le goémon était traditionnellement récolté au moyen de la « guillotine » ou « pigouille » (faucille portée par un manche long de 3 à 4 mètres). Les algues, coupées au fond de l'eau, étaient ramenées à bord du bateau en les agrippant avec l'outil. Tous les thalles sectionnés ne pouvaient être récupérés et l'on estimait à environ 50 % la perte occasionnée par cette méthode.

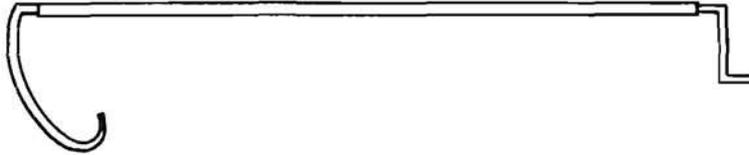


FIG. 48. — Le scoubidou, outil de récolte des Laminaires.

Depuis 1963, un nouvel instrument d'arrachage, dénommé « scoubidou », tend à remplacer la guillotine. Il se compose d'un manche en duralumin de 4 mètres de long pourvu, à l'une de ses extrémités, d'une barre en acier, forgée en arc de cercle (fig. 48). Une manivelle, soudée à l'autre

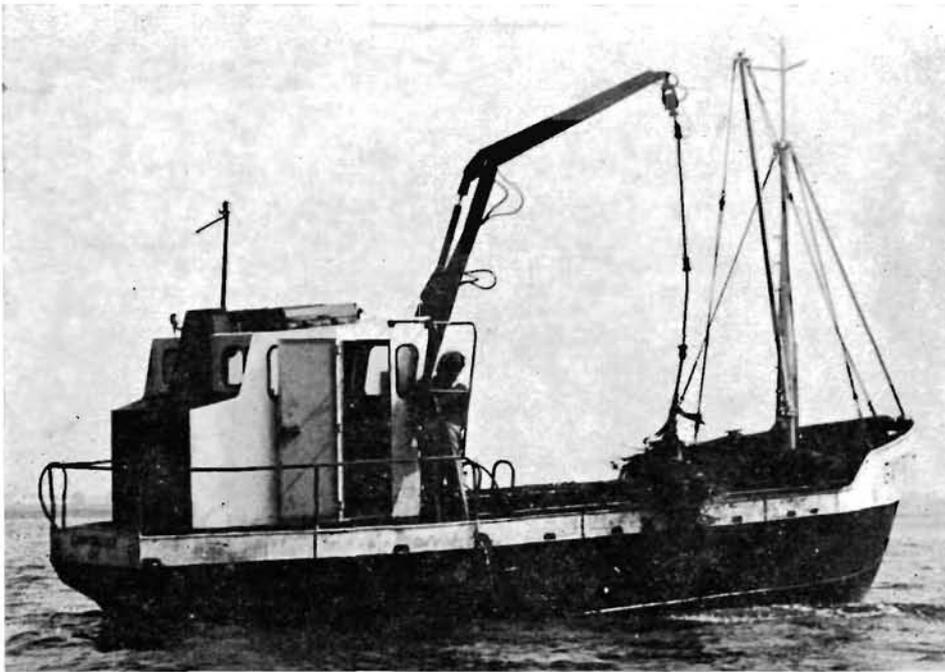


FIG. 49. — Le « Laminaires » équipé d'un scoubidou mécanique.

extrémité, permet de faire tourner l'outil dans le champ d'algues. Les laminaires s'enroulent autour du manche et il suffit d'une traction pour les détacher du fond et les ramener à bord avec un coefficient de perte négligeable.

Ces deux instruments nécessitent l'usage de la force humaine et limitent, par ce fait, le tonnage récolté par marée. Des études ont donc été poursuivies, depuis 1963, pour mécaniser la récolte. Deux solutions ont été proposées : la coupe par plongeur sous-marin, avec aspiration des algues par des suceuses hydrauliques, et la mécanisation du scoubidou.

Le navire « Tali » a été construit selon le premier principe, mais, malgré quelques résultats encourageants, cette solution fut abandonnée. En effet, la récolte par plongée sous-marine n'a rencontré que peu d'échos favorables parmi les goémoniers.

Ce sont donc les bateaux du type « Jean-Ogor » et « Laminaire » qui reçurent l'agrément de la Profession, à la suite des essais fructueux pendant les campagnes 1970-71. Le système comprend un scoubidou porté par un bras orientable en toutes directions, le mouvement de rotation de l'engin étant assuré par un moteur hydraulique (fig. 49). Outre la suppression de tout effort physique, cet appareil permet un accroissement notable du tonnage récolté (8 tonnes d'algues fraîches par marée contre 1,5 tonne pour la coupe manuelle). La flottille goémonière, composée de 230 bateaux, compte actuellement 35 navires mécanisés.

Après une longue période de stagnation, la Profession semble prendre un nouvel essor. Bien qu'il subsiste de nombreux problèmes, au niveau du séchage des algues notamment, les efforts de rationalisation tendent à relancer un secteur d'activité trop longtemps considéré comme secondaire.
