

LES CONSEQUENCES DE L'ECHOUEMENT DE L' " AMOCO CADIZ " SUR LES PEUPELEMENTS ALGAUX EXPLOITABLES

par Raymond KAAS

Introduction.

On évalue actuellement de 6 à 16 millions de tonnes par an les quantités d'hydrocarbures qui sont rejetées à la mer. Ces pollutions proviennent d'origines différentes : les rejets chroniques liés à l'activité humaine tels les déballastages des pétroliers ou les déversements d'installations côtières de traitement de pétrole ; les rejets chroniques naturels ; les rejets accidentels comme les fuites survenant sur les têtes de puits de forage ou les accidents de pétroliers.

Les déversements naturels se font, en général, d'une manière relativement discrète et leurs effets sont rapidement atténués par une dilution importante et une dégradation rapide des différents composants. Les accidents pétroliers, par contre, se caractérisent par un apport massif et ponctuel d'hydrocarbures.

Le naufrage de l' " Amoco-Cadiz " s'inscrit dans ce dernier cas et est apparu d'autant plus inquiétant qu'il s'est produit au milieu d'une région qui, du triple point de vue faunistique, floristique et économique, est une des plus riches du littoral français. Elle fournit, en effet, plus des trois quarts de la récolte française de laminaires qui constituent la matière première indispensable des usines produisant les alginates et 70 % de la récolte d'algue rouge de l'espèce *Chondrus crispus* dont l'industrie extrait les carraghénanes.

Le devenir de la profession goémonière et des industries qui s'y rattachent est lié à l'impact qu'aurait l'accident de l' " Amoco-Cadiz " sur les peuplements végétaux. Il fut convenu que la récolte serait poursuivie tant que l'on ne mettrait pas en évidence les symptômes indiquant une altération des populations algales ou l'apparition de difficultés importantes au niveau du repeuplement. C'est pourquoi nous nous sommes efforcés de suivre en permanence l'évolution des champs d'algues qui intéressent directement l'exploitation, c'est-à-dire ceux de *Laminaria digitata* et de *Chondrus crispus*. Cette catastrophe étant la plus grande connue jusqu'alors, il était difficile de prévoir ce qui se passerait dans l'immédiat, à moyen et à long terme au niveau du métabolisme des algues, de leur faculté de reproduction et de la valeur des produits finis.

Bien qu'on ne connaisse qu'une faible part des effets des hydrocarbures sur la flore algale, un certain nombre d'éléments sont déjà connus. O'BRIEN et DIXON (1976) notent que la plus grande partie des végétaux marins situés à des niveaux assez bas échappent en grande partie à des dommages importants du fait des hydrocarbures. La plupart des auteurs s'accordent à dire que les effets toxiques les plus prononcés sont en relation avec le contact direct de l'algue et de l'huile. La réponse de l'organisme est éminemment variable et est fonction de nombreux facteurs tels la quantité et la qualité du pétrole, du temps de contact ainsi que de son aptitude à se dégrader.

Entrent encore en ligne de compte l'état physiologique de la plante, sa vulnérabilité vis-à-vis d'autres substances chimiques et la température. L'étude des répercussions physiologiques montre une décroissance de l'activité photosynthétique (NORTH, NEUSHUL et CLENDENNING, 1965) et une inhibition de la synthèse de ADN et ARN a été mise en évidence par DAVARIN (1975). BONEY (1974) note une diminution du taux de croissance et l'induction de croissances tumorales par des aromatiques polynucléaires carcinogènes.

Des accumulations significatives d'hydrocarbures polluants ont été mises en évidence chez *Fucus gardneri* (CLARK *et al.*, 1973) et les populations d'ulves de la baie de San Francisco présentent des teneurs huit fois supérieures à celles d'aires non polluées (DISALVO, 1975). Généralement, les organismes des niveaux supérieurs subissent des dommages plus importants que ceux des niveaux inférieurs (SMITH, 1968). La disparition des mollusques herbivores (CHASSE, 1978) peut entraîner une remontée des espèces fixées normalement plus bas (SOUTHWARD et SOUTHWARD, 1978).

La gravité des dommages est variable suivant les facteurs associés à la pollution comme les détergents par exemple. Après le "Torrey Canyon", les populations de *Fucus spiralis* ont été plus affectées que les autres Fucacae, une bonne part des dégradations étant d'ailleurs due aux détergents (SMITH, 1968). L'accident de l'"Irin" en Suède a libéré des quantités importantes d'hydrocarbures lourds et NOTINI (1978) n'observe aucun dommage important pour les macrophytes marins. Lors de la pollution de Santa Barbara, HOLMES (1969) fait les mêmes constatations. Quelques plantes comme les algues rouges semblent les plus touchées (BONEY, 1974). Deux ans après le naufrage du "General M.C. MEIGS", dans l'état de Washington (1972), les peuplements de *Laminaria andersonii* n'avaient pas encore retrouvé leur état normal.

I. — Matériel et méthodes.

1. Lieux et stations de prélèvements.

La portion du littoral breton prospectée lors de cette étude s'étend de Porspoder (Finistère nord) à Paimpol (Côtes-du-Nord) (fig. 1), soit une distance à vol d'oiseau de près de 150 km. En fonction des résultats obtenus par PEREZ durant les premiers mois après le naufrage, nous avons sélectionné quatre points le long de la côte où, de janvier 1979 à mai 1980, des mesures et des prélèvements ont été effectués tous les mois. Quatre sites ont été retenus (fig. 1).

La pointe de l'Arcouest face à l'île de Bréhat, marquant la limite entre la Manche armoricaine et le golfe normano-breton, cette région est soumise à des courants de marée de vive eau moyenne fréquemment supérieurs à 3 nœuds. Les fonds sont généralement recouverts de sédiments grossiers, souvent caillouteux, mais des sédiments fins sont localisés au voisinage du littoral (CABICCH, 1968). Protégée par le sillon du Talberg, cette région n'a pratiquement pas été affectée par les hydrocarbures de l'"Amoco-Cadiz" ainsi qu'il ressort du rapport préliminaire de la N.O.A.A./E.P.A. (1978) et des travaux de SPOONER (1978), PEREZ (1978), BERNE et D'OZOUVILLE (1979), BESLIER (1979). L'ensemble de ces faits nous a incité à prendre cet endroit comme site témoin.

La Roch'zu à Roscoff, située en Manche armoricaine, cette station présente des courants de marée de vive eau moyenne compris entre 2 et 3 nœuds. Les sédiments de la Roch'zu sont de type phycogène, c'est-à-dire contenant plus de 50 % de débris d'algue calcaire. La granulométrie générale est celle d'un gravier.

La grève de Trémazan à Portsall. Les conditions hydrodynamiques, hydrologiques et sédimentaires de l'endroit sont caractéristiques de la bordure côtière de la mer Celtique : vitesse des courants de marée de vive eau moyenne supérieurs à 3 nœuds. Sédiment du type sable graveleux.

La presqu'île Saint-Laurent à Porspoder. Si les conditions hydrologiques et hydrodynamiques sont les mêmes qu'à Portsall, la nature du sédiment par contre est tout autre à savoir que nous sommes en présence d'un fond rocheux dont les blocs ont un diamètre approximatif toujours supérieur à 50 cm au niveau du peuplement des laminaires.

Toutes les observations ont eu lieu pendant les basses mers de vives eaux, c'est-à-dire au moment où les peuplements de *Laminaria digitata* sont accessibles à pied sec.

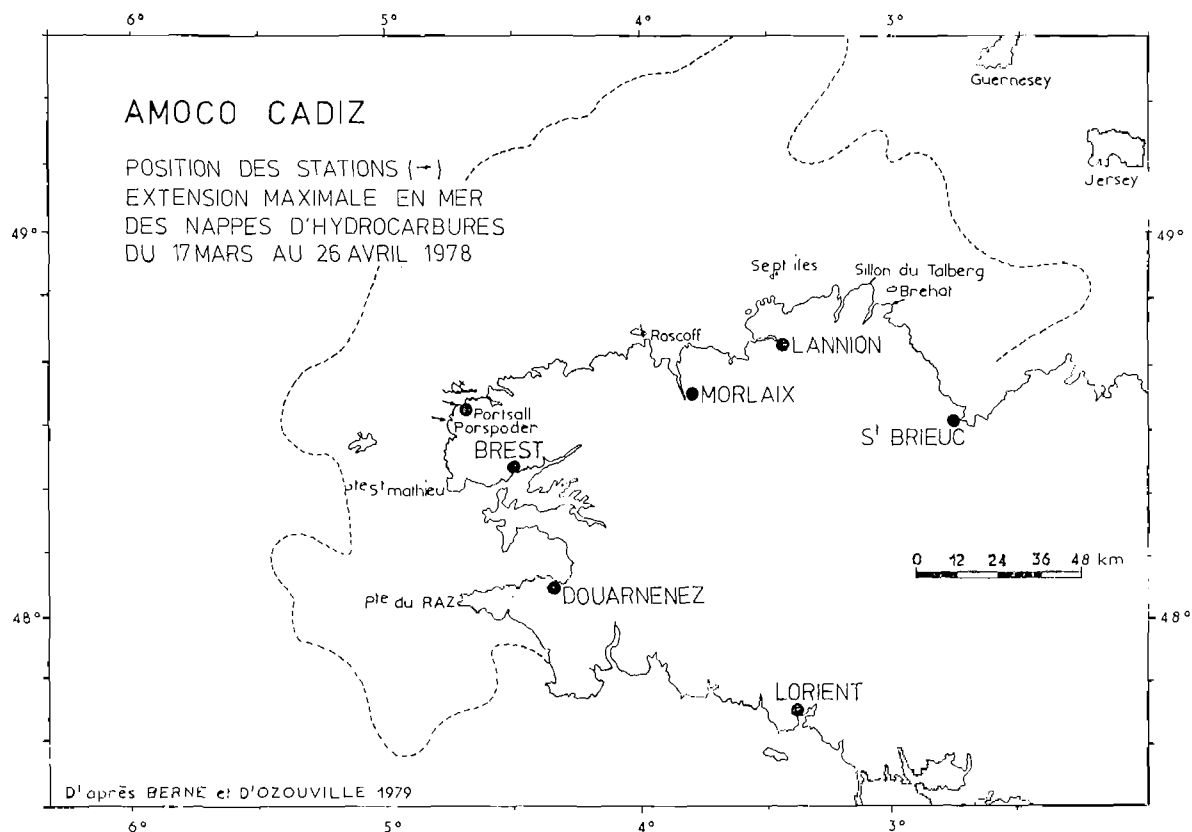


FIG. 1. — Position des stations (—>), extension maximale en mer des nappes d'hydrocarbures du 17 mars au 26 avril 1978.

2. Technique d'analyse.

a) Détermination de l'allongement de la lame, de la croissance réelle de la lame et du stipe.

Les différentes mesures de biométrie effectuées sur les algues sont résumées dans la figure 2. La longueur de la lame est la distance comprise entre le haut du stipe et la projection de la plus longue lanière sur l'axe longitudinal de l'algue (AB). Est considérée comme longueur du stipe, la distance séparant le dernier haptère supérieur du point où le stipe se soude à la lame (BC). Cette dimension est le résultat de deux actions antagonistes, l'une la croissance sur l'activité de la zone méristématique et l'autre la détérioration qui affecte l'extrémité des lames. Si ce type de mesure ne nous permet pas de connaître la croissance réelle de l'algue, il nous renseigne néanmoins très utilement sur les conditions hydrodynamiques du milieu et l'état physiologique de la plante.

Afin de connaître la croissance réelle des lames, nous avons positionné un repère au-dessus de la zone de production tissulaire, c'est-à-dire à environ 10 cm au-dessus de la jonction stipo-frondale. La migration de ce repère nous renseigne sur l'allongement effectif de la lame. Les perforations sont refaites chaque mois à la même hauteur. La croissance du stipe a été suivie en relevant régulièrement sa longueur.

Trente algues ont été marquées à chaque station à l'aide d'étiquettes en altuglas portant un numéro. Tous les mois nous avons compensé les pertes d'individus en marquant un nombre sensiblement équivalent présentant les caractéristiques moyennes des algues restantes.

b) *Détermination du nombre d'algues fertiles.*

L'apparition des sores sur les lames indique que l'algue entre en période de reproduction (fig. 2). Lors des mesures de biométrie, nous avons noté l'absence ou la présence de ces sores sur les laminaires.

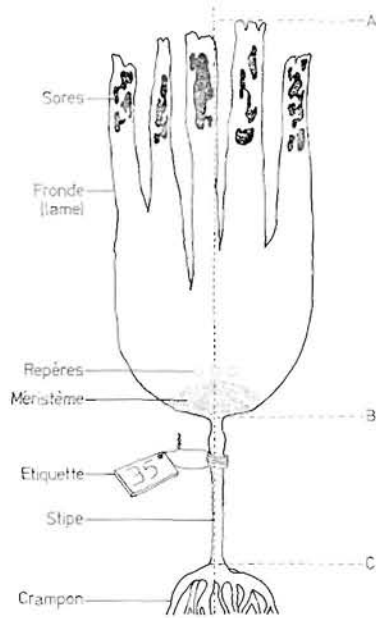


FIG. 2. — *Plant de Laminaria digitata* (AB : longueur de la lame, BC : longueur du stipe) et *champ de L. digitata à Bréhat.*

c) *Essais de germination en laboratoire.*

Des morceaux de thalles portant des sores ont été prélevés et ramenés au laboratoire dans des glacières lors des missions d'avril 1979 à mai 1980. Ces parties de fronde sont appliquées sur des lames de verre disposées dans des récipients contenant une solution nutritive (milieu Erdschreiber) dont la composition est donnée par le tableau 1.

Les récipients sont placés dans une chambre thermostatée à 15° C avec une période d'éclairément s'étendant sur 14 heures.

Eau de mer	1 000 ml
Extrait de terre	50 ml
NaNO ₃	0,2 g
Na ₂ HPO ₄ 12 H ₂ O	0.03 g

TABLE. 1. — *Composition du milieu Erdschreiber.*

Nota : l'extrait de terre est obtenu en faisant bouillir un mélange de 2 l d'eau douce et 1 kg de terre de jardin. Par filtration, on récupère la partie liquide qui entre dans la composition du milieu nutritif.

L'émission des spores peut se produire dans un laps de temps allant de 0 à 55 heures. Une fois libérées, les spores, ayant un phototactisme négatif, vont se fixer sur les lames de verre ou sur le fond des boîtes de Pétri. De par leur nombre, elles forment de petites taches jaunes visibles à l'œil nu, sous les morceaux de thalle découpé.

La fixation ayant eu lieu, les fragments de lame sont enlevés et le liquide nutritif renouvelé.

d) *Mesure de densité.*

Les mesures de densité sont effectuées en comptant tous les individus visibles à l'œil nu ($l > 5$ mm) à l'intérieur d'un carré d'un mètre de côté. Le quadrat servant pour ces mesures est placé au milieu du champ d'algues pour que les valeurs soient le plus homogène possible. Des mesures de biométrie, longueur de la lame et du stipe, étaient faites en même temps que le dénombrement. Les histogrammes obtenus à partir des données ainsi recueillies donnent une bonne représentation de la physionomie de la population comme l'ont démontré les travaux de COSSON (1967) et PEREZ (1969).

e) *Teneur en produit fini.*

Le procédé d'extraction que nous avons employé fut celui préconisé par PEREZ (1967). Il consiste en une digestion de l'algue par du carbonate de sodium suivie d'une précipitation de l'acide alginique par un acide fort. Une certaine quantité d'algue fraîche soigneusement lavée à l'eau distillée est essorée et découpée en morceau d'un centimètre de côté puis soumise durant 4 heures à l'action d'une solution d'acide sulfurique (0,2 N) pour déminéralisation. On utilise généralement 500 cc d' H_2SO_4 pour 100 g d'algue fraîche.

Pour évaluer le poids sec de l'algue, 10 g sont prélevés et placés à l'étuve à 90° C jusqu'à poids sensiblement constant puis à 100° C pendant 10 mn. Après le trempage dans l'acide sulfurique, les morceaux d'algues sont recueillis et lavés à l'eau distillée. Les eaux de lavage entraînent les sels minéraux et une partie des pigments surnuméraires.

Les algues sont ensuite mises à macérer dans une solution de carbonate de calcium (4 %) à raison de 500 cc de solution pour 100 g d'algue fraîche. Après une période de 16 heures, les alginates passent à l'état d'alginate de sodium et se dissolvent dans l'eau. On isole la partie liquide par centrifugation à 2 300 t/mn pendant 30 mn. La solution brute recueillie est ensuite filtrée sous vide jusqu'à être absolument limpide, puis soumise à une acidification croissante à l'aide d'acide sulfurique jusqu'à $pH = 1$. L'acide alginique précipité est séparé de la phase liquide à l'aide d'un filtre en nylon. Après un lavage à l'eau distillée, l'acide est mis à présécher à l'étuve à 50° C. Il est repris par la suite avec de l'alcool éthylique à 95° et enfin séché à l'étuve à 100° C jusqu'à poids constant.

Si les P grammes d'algues fraîches employées, dont la teneur en eau est de n %, libèrent p grammes d'acide alginique, la teneur en acide alginique X sera donnée par la relation :

$$X = p \cdot 100/P \cdot \frac{(100 - n)}{100}$$

Toutes les manipulations sont effectuées à 20° C (PÉREZ, 1967). Les pesées sont effectuées sur une balance Mettler H 10 Tw précise au dixième de mg. L'étuve utilisée pour la détermination des différents poids secs est de la marque Memmert. Le centrifugeur est du type Jouan G 81 permettant de traiter 1 000 cc de solution à la fois.

Les dosages ont été effectués chaque mois sur trois échantillons adultes ayant une longueur de stipe comprise entre 28 et 32 cm (algue de 3 ans environ).

f) *Mesure de la biomasse de Chondrus crispus.*

La densité en *Chondrus crispus* est déterminée par une mesure gravimétrique. On pèse la quantité de tissu occupant une superficie de 1 dm². Le résultat obtenu est extrapolé à 1 m². Le nombre d'échantillons prélevés à chaque site variait en fonction de l'appréciation visuelle du

chercheur sur l'hétérogénéité du peuplement ainsi que de l'état de la marée. Le nombre d'échantillons pouvait ainsi varier de 1 à 8.

3. Traitement des données.

Les calculs ont été effectués à l'aide des micro-ordinateurs HP 9830 A et TRS 80. Une partie des traitements graphiques fut réalisée à l'aide de la table traçante Benson 1202.

a) Analyse de variance par le test de KRUSKALL et WALLIS.

Ce test non paramétrique d'analyse de variance par rang ne suppose pas la normalité des distributions des données et a une efficacité de 95 % par rapport au test F de l'analyse de variance à un facteur (SIEGEL, 1956)

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \cdot \sum_{i=1}^k [(\Sigma R_i)^2 / N_i] - 3(N+1)$$

$$g = 1 / [1 - \Sigma (f^3 - f) / (N^3 - N)]$$

k = nombre d'échantillons ;

N_i = nombre de mesures pour un même échantillon ;

$N = \Sigma N_i$ = nombre total d'observations ;

R_i = rang de la mesure du i^{e} échantillon.

Le terme de correction g est appliqué dans les cas d'ex aequo. Si $k > 3$ ou $k = 3$ et $N > 5$ alors le produit $g \cdot H$ est distribué comme un χ^2 . Pour le cas où $k = 3$ et le nombre de mesure pour un échantillon est inférieur à 5 il est possible d'avoir recours à la table de KRUSKALL et WALLIS pour la détermination du seuil de signification. Pour $k = 2$ on est ramené à un test t de STUDENT en statistique paramétrique ou à un test de WILCOXON en statistique non paramétrique.

b) Association, indépendance, tableaux de contingence, test à l'aide du χ^2 .

Le test non paramétrique ne demande pas la normalité des données. Les tableaux de contingence sont le seul moyen pour l'analyse des relations entre descripteurs non ordonnés, ou entre des descripteurs non ordonnés et d'autres variables ordonnées divisées en classes. Ces tableaux représentent aussi la seule façon de dégager des relations non monotones entre des descripteurs ordonnés (LEGENDRE *et al.*, 1979). A chaque fréquence observée d'un tableau de contingence $h \times k$ correspond une fréquence théorique, obtenue par le calcul des probabilités, qui est assujettie à l'hypothèse d'indépendance des caractères.

Pour tester la concordance entre la distribution observée et la distribution théorique on calcule la statistique :

$$\chi^2 = \sum_j \frac{(O_j - e_j)^2}{e_j} \quad (\text{SIEGEL, 1972})$$

O_j = fréquence observée à la case j ;

e_j = fréquence théorique de la case j.

Le nombre de degrés de liberté (ν) est égal à $h \cdot k$. C'est le nombre de relations servant à caractériser la population à partir de statistiques d'échantillonnage :

$$\nu = h \cdot k - (h + k - 1)$$

On rejette l'hypothèse nulle (H_0) quand le χ^2 calculé est supérieur à la valeur seuil donnée par les tables pour des coefficients de sécurité de 95 ou 99 %.

II. — Etude de la croissance.

Il ressort des travaux de SUNDENE (1958), COSSON (1967) et PEREZ (1969-1970), que la croissance des laminaires s'effectue à partir d'un endroit unique correspondant aux dix premiers centimètres de la lame et appelé le méristème stipofrontal (fig. 2). Ainsi que l'ont souligné les précédents auteurs, la croissance de *Laminaria digitata* est tributaire tant de facteurs internes, tel l'âge de l'algue, son état sexuel, que de facteurs externes comme la température, la salinité, la lumière, la profondeur ou encore la composition chimique du milieu (STEELE *et al.*, 1977).

I. Variation de la longueur de la lame.

Résultante de l'érosion apicale et de la production tissulaire ainsi que de l'allongement cellulaire au niveau du méristème, la longueur de la lame de *Laminaria digitata* subit dans le temps des variations positives, culminantes en avril-juin et négatives en été (fig. 3). Selon PEREZ (1969), les thalles les plus longs sont observés chez des individus ayant 3 ans d'âge, au-delà les tailles maximales atteintes sont soit égales, soit inférieures.

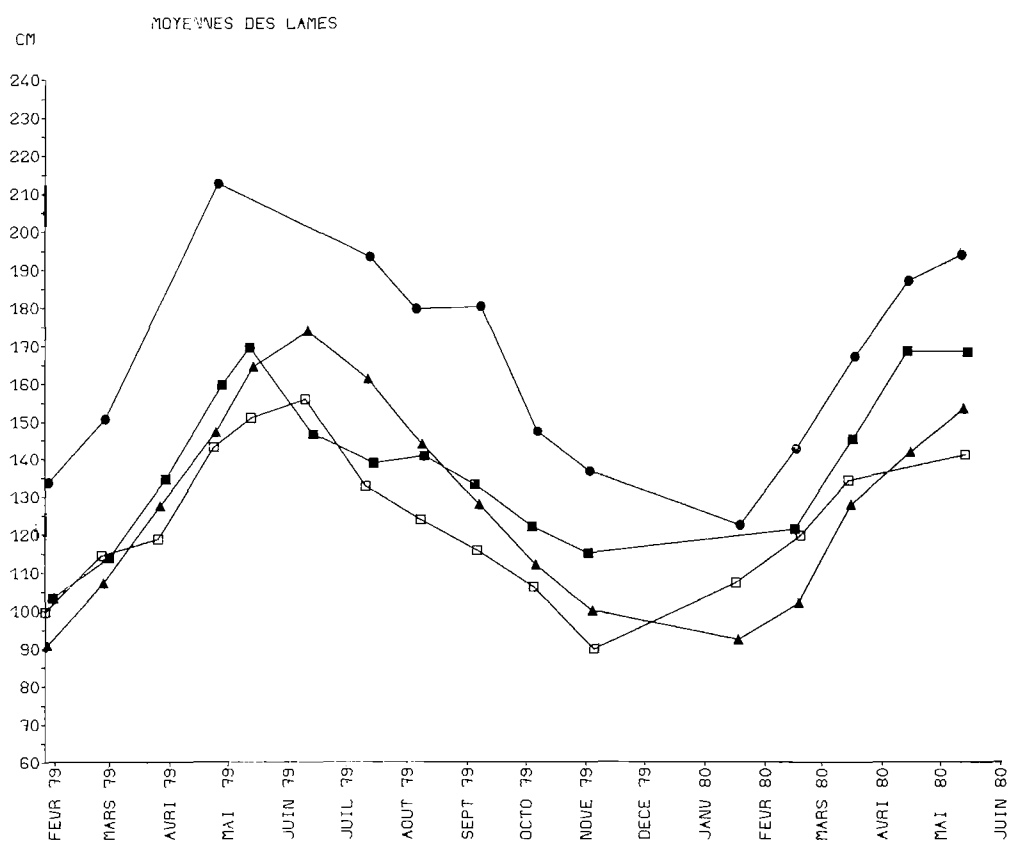


FIG. 3. — Evolution de la moyenne des lames; après une période d'un an la longueur des lames se retrouve sensiblement égale à elle-même; le site témoin (Arcouest) présente des valeurs assez basses par rapport aux sites pollués (□ Arcouest, △ Roscoff, ● Portsall, ■ Porspoder).

La figure 4 présente l'évolution dans le temps de la longueur des lames durant la période s'étendant de janvier 1979 à fin mai 1980. On constate que les individus de Portsall sont en moyenne plus grands que ceux des autres sites tandis que les algues de l'Arcouest (témoin) semblent être dans la majorité des cas celles qui sont les plus petites.

Les tailles les plus importantes sont enregistrées au mois de mai-juin pour toutes les stations. Un test de KRUSKALL et WALLIS appliqué aux quatre mois caractéristiques des saisons de l'année met en évidence l'existence de différence significative entre les périodes froides et les périodes chaudes pour toutes les stations (tabl. 2). En comparant entre elles les stations, une différence significative ne se fait jour qu'en février-mars 1980, où les stations contaminées présentant des taux d'allongement supérieurs à ceux du site témoin (tabl. 3).

Lieux	Mois	Sigma rang	N	Résultats	χ^2 théorique
Roscoff	Février/mars	1 678	24	$g = 1,00019$	7,81 (95 %)
	Avril/mai	1 008	17	$H = 49,8585$	
	Août/septembre	532	21		16,27 (99,9 %)
	Octobre/novembre		27	$H' = 49,8679$ ***	
	Regroupement hiver + printemps/été + automne			$g = 1,00019$ $H = 47,9188$ $H' = 47,9277$ ***	3,84 (95 %) 10,83 (99,9 %)
Porspoder	Février/mars	1 393	22	$g = 1,00027$	7,81 (95 %)
	Avril/mai	1 072,5	19		
	Août/septembre	669	23	$H = 29,704$	16,27 (99,9 %)
	Octobre/novembre	781,5	24	$H' = 29,7121$ ***	
	Regroupement hiver + printemps/été + automne			$H' = 28,7571$ **	3,84 (95 %)
Arcouest	Février/mars	156	3	$g = 1,00069$	
	Avril/mai	744,5	16		7,81 (95 %)
	Août/septembre	699,5	22	$H = 21,3832$	
	Octobre/novembre	480	23	$H' = 21,3979$ ***	16,27 (99,9 %)
	Regroupement hiver + printemps/été + automne			$H' = 17,3051$ **	3,84 (95 %)

** : hautement significatif.
*** : très hautement significatif.

TABL. 2. — Analyse de KRUSKALL et WALLIS sur l'homogénéité des données des variations des lames, l'hypothèse nulle est que les variations observées pendant un mois ne diffèrent pas des variations du reste de l'année ; les différences apparaissent comme étant toutes significatives.

La décroissance de la lame durant les mois d'été et d'automne est étroitement liée à l'état physiologique de l'algue. En effet les plants de *Laminaria digitata* deviennent normalement fertiles vers la fin du printemps et les émissions de spores ont lieu durant la saison estivale. Étant connue comme une algue d'eau froide les conditions thermiques sont défavorables de juillet à octobre. Cet ensemble de faits concourt à augmenter la fragilité de la lame et les effets mécaniques de la houle et des vagues sont alors beaucoup plus efficaces entraînant des pertes tissulaires importantes au niveau des extrémités des lames.

Années	Période	Lieux	Sigma rang	N	Résultats	χ^2 théorique
1979	Février-mars	Arcouest	47	3	$g = 1,00066$	5,99 (95 %)
		Roscoff	674	24	$H = 2,86864$	
		Porspoder	504	22	$H' = 2,87054$	
	Avril-mai	Arcouest	327,5	16	$g = 1,00162$	5,99 (95 %)
		Roscoff	505,5	17	$H = 3,70364$	
		Porspoder	545	19	$H' = 3,70966$	
	Août-septembre	Arcouest	965	22	$g = 1,00049$	7,81 (95 %)
		Roscoff	630	21		
		Portsall	325	8		
		Porspoder	855	23		
	Octobre-novembre	Arcouest	1 035	25	$g = 1,00011$	7,81 (95 %)
		Roscoff	1 297	27		
Portsall		760,5	16			
Porspoder		1 467,5	27			
1980	Février-mars	Arcouest	711,5	25	$g = 1,00052$	7,81 (95 %)
		Roscoff	1 523,5	28	$H = 15,8744$	
		Portsall	668	17	$H' = 15,8826 *$	
		Porspoder	667	14		
		Regroupement Arcouest/site pollué			$H' = 11,798 **$	
				10,83 (99 %)		

** : hautement significatif.
* : significatif.

Tabl. 3. — Test de KRUSKALL et WALLIS sur la variation des longueurs des lames.

2. Croissance réelle de la lame.

Témoin direct de l'activité méristématique, la migration apparente d'un repère relevé tous les mois nous fournit la croissance réelle de la lame. Pour des raisons de normalisation, cette croissance est exprimée en terme d'accroissement journalier (fig. 5).

Ainsi que le signale COSSON (1967) et PEREZ (1968), il n'existe qu'une seule période de croissance réelle de la lame allant du début de l'hiver à la fin du printemps. MANN (1972) indique pour une aire non polluée, des taux de croissance variant dans une fourchette de 0,5 à 0,25 cm. j⁻¹ en septembre-octobre à 0,15-0,70 cm. j⁻¹ en mars-avril, ce qui est en accord avec les résultats de PEREZ (1968).

Si les taux de croissance des laminaires du site témoin restent bien dans les limites fixées par les précédents auteurs, les algues situées dans la région contaminée présentent apparemment une croissance supérieure. Ceci est particulièrement vrai pour les algues de Roscoff qui, en mars-avril 1979,

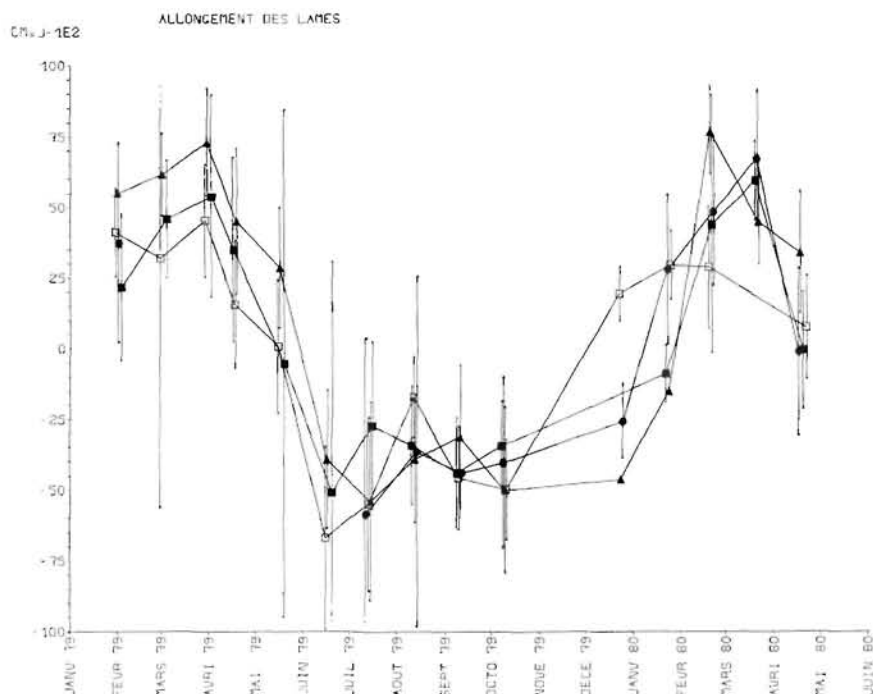


FIG. 4. — Allongement des lames; l'antagonisme entre la croissance tissulaire du méristème et l'usure apicale par frottement contre le substrat et perte du tissu après la libération des spores entraîne des variations de longueur importantes dans le temps (les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95 % ; □ Arcouest, Δ Roscoff, ● Portsall, ■ Porspoder).

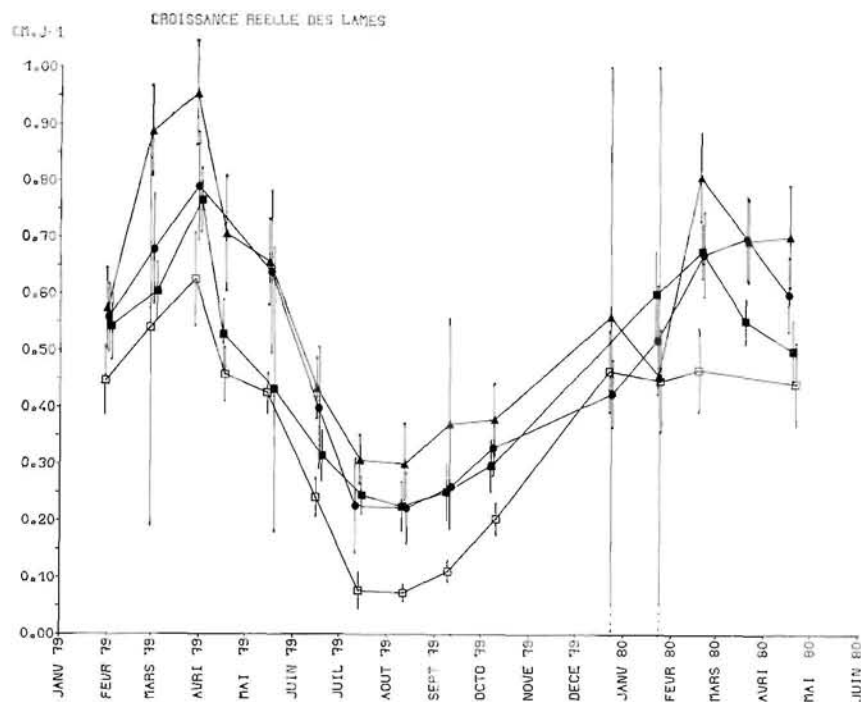


FIG. 5. — Evolution de la croissance réelle des lames; les algues des stations polluées présentent une croissance journalière supérieure à celle du site témoin (□ Arcouest, Δ Roscoff, ● Portsall, ■ Porspoder).

présentent un taux de croissance de l'ordre de 1 cm. j⁻¹. Comme pour l'étude de l'allongement des lames nous avons comparé, pour les quatre mois caractéristiques des saisons de l'année, la croissance réelle des lames.

Le test de KRUSKAL met pratiquement toujours en évidence une différence significative entre la croissance enregistrée à l'Arcouest et celle observée aux trois endroits touchés par les hydrocarbures (tabl. 4). Lors d'un cycle annuel, croissance du méristème et usure apicale s'équilibrent et la lame au bout de douze mois se retrouve avec une longueur sensiblement égale (fig. 4). Bien que présentant la croissance la plus importante la majeure partie de l'année, la longueur des laminaires de Roscoff n'est que moyenne et présente au long de l'année une période de perte apicale supérieure à celle observée par ailleurs.

Une explication de ce phénomène peut se dégager si on considère l'état physiologique des individus. Ainsi au niveau du lieu de prélèvement de Roscoff, un grand nombre de thalles présentait un verdissement du corps et/ou un blanchiment des extrémités tout au long de l'année ; ceci était d'autant plus accentué qu'on avançait dans la saison estivale et en proportion beaucoup plus importante qu'aux autres endroits. De plus un changement de la texture, se traduisant par un racornissement et une perte de plasticité du thalle, entraînait une grande fragilité de la plante qui accusait d'importantes pertes de tissu. Ces pertes ne se trouvent compensées par la production tissulaire qu'au moment des phases les plus intenses de l'activité méristématique, soit en hiver et au printemps.

Observées au microscope, aucune différence d'aspect n'a pu être mise en évidence entre les cellules des algues de la Roch'zu à Roscoff et celles de Portsall, Porspoder ou de l'Arcouest. Ne présentant pas les altérations notées à propos des laminaires de Roscoff et connaissant un taux d'accroissement journalier relativement important, les algues de Portsall se sont développées d'une manière assez spectaculaire.

3. Croissance du stipe.

Le stipe s'accroît en longueur grâce au fonctionnement de la zone méristématique stipofrondale. La comparaison des taux de croissance au cours des mois de l'année à l'aide d'un test de KRUSKAL et WALLIS met en évidence l'existence de différences significatives et le regroupement en mois froid/mois chaud permet de conclure à un taux de croissance supérieur durant la saison froide par rapport à la période estivale (fig. 6, tabl. 5). COSSON (1967) notait la présence d'un deuxième pic en novembre, pic que nous ne pouvons mettre en évidence en raison du manque de données au mois de décembre.

La comparaison des croissances mois par mois, dont le tableau 6 présente quelques résultats, ne permet de rejeter l'hypothèse nulle qu'au courant de l'été. La croissance des stipes dans les zones souillées par les hydrocarbures est donc durant cette période supérieure à celle du point témoin. Remarquons que des variations importantes existent au sein des sites contaminés, ce qui entraîne l'apparition de différences significatives au printemps et en hiver.

4. Relation croissance-substrat-hydrodynamisme.

Les études effectuées par PEREZ (1978) dans les mois qui suivirent l'accident de l' " Amoco-Cadiz " ont montré une diminution de la croissance en avril-mai et un rapide retour à la normale. Ce n'est qu'au début de notre étude, en janvier 1979, que des différences importantes de croissance ont pu être observées.

Dans les zones de basses énergies hydrodynamiques on note une accumulation importante d'hydrocarbures dans l'eau de mer (MARCHAND *et al.*, 1979 ; BERNE et D'OZOUVILLE, 1979), ce qui a pour conséquence un piégeage important d'hydrocarbures par le sédiment. Ce piégeage est fonction de la granulométrie. La toxicité d'un pétrole diminuant très rapidement dans le temps, il ne reste au bout d'un certain laps de temps qu'une source importante de matière hydrocarbonée dont la dégradation et la remise en suspension dans le milieu lors des fortes tempêtes hivernales vont considérablement augmenter la charge organique de l'eau de mer (BESLIER, 1979).

Période	Lieux	Sigma rang	N	Résultats	χ^2 théorique
Février-mars 1979	Arcouest	45	3	$g = 1,00278$	7,81 (95 %)
	Roscoff	1 017,5	23	$H = 26,296$	
	Portsall	63	3	$H' = 26,3692^{**}$	
	Porspoder	644,5	30		16,27 (99 %)
	Regroupement Arcouest/station polluée			$H' = 2,41742$	3,84 (95 %)
Avril-mai	Arcouest	385	18	$g = 1,0025$	7,81 (95 %)
	Roscoff	776	17	$H = 16,6999$	
	Portsall	244	6	$H' = 16,7417^{**}$	
	Porspoder	675	23		16,27 (99 %)
	Regroupement Arcouest/station polluée			$H' = 8,94094^*$	3,84 (95 %)
Août-septembre	Arcouest	319,5	22	$g = 1,00193$	7,81 (95 %)
	Roscoff	911,5	18	$H = 32,2466$	
	Portsall	325	8	$H' = 36,3165^{**}$	
	Porspoder	929	22		16,27 (99 %)
	Regroupement Arcouest/station polluée			$H' = 34,1538^{**}$	3,84 (95 %)
Octobre-novembre	Arcouest	523	21	$g = 1,00067$	7,81 (95 %)
	Roscoff	1 745,5	29	$H = 21,9722$	
	Portsall	857	16	$H' = 21,987^{**}$	
	Porspoder	1 245,5	27		16,27 (99 %)
	Regroupement Arcouest/station polluée			$H' = 18,1898^{**}$	3,84 (95 %)
Février-mars 1980	Arcouest	1 003,5	32	$g = 1,00056$	7,81 (95 %)
	Roscoff	2 463,5	30	$H = 37,9074$	
	Portsall	1 579,5	28	$H' = 37,9284^{**}$	
	Porspoder	1 281,5	22		16,27 (99 %)
	Regroupement Arcouest/station polluée			$H' = 26,8631^{**}$	3,84 (95 %)

TABL. 4. — Comparaison des croissances réelles des laminaires à l'aide d'un test de KRUSKAL et WALLIS : la croissance des lames est significativement différente des autres tout au long de l'année (* : significatif ; ** : hautement significatif ; blanc : non significatif).

Lieux	Période	Sigma rang	N	Résultats	χ^2 théorique
Arcouest	Février-mars	109	3	$g = 1,60866$	7,81 (95 %)
	Avril-mai	811	19	$H = 8,02402$	
	Août-septembre	583	22	$H' = 12,9079 *$	
	Octobre-novembre	642	21		
	Regroupement Février-mai/août-novembre				$H' = 11,6363 ***$
Roscoff	Février-mars	1 571	24	$g = 1,10487$	7,81 (95 %)
	Avril-mai	927	17	$H = 31,8475$	16,27 (99,9 %)
	Août-septembre	691,5	19	$H' = 35,1874 ***$	
	Octobre-novembre	815,5	29		
	Regroupement Février-mai/août-novembre				
Portsall	Février-mars	53	2		7,81 (95 %)
	Avril-mai	17	1	$g = 1,20332$	16,27 (99,9 %)
	Août-septembre	160,5	10	$H = 4,94194$	
	Octobre-novembre	204,5	16	$H' = 5,94673$	
	Regroupement Février-mai/août-septembre				
Porspoder	Février-mars	2 055	29		7,81 (95 %)
	Avril-mai	899	23	$g = 1,19756$	16,27 (99,9 %)
	Août-septembre	830	17	$H = 27,6729$	
	Octobre-novembre	969	28	$H' = 33,14 ***$	
	Regroupement Février-mai/août-novembre				
<p>* : significatif. ** : hautement significatif. *** : très hautement significatif.</p>					

TABL. 5. — Test de KRUSKALL et WALLIS sur l'homogénéité des résultats pour un mois donné comparé au reste de l'année.

Période	Lieux	Sigma rang	N	Résultats	χ^2 théorique
Février-mars 1979	Arcouest	46	3	g = 1,04447 H = 2,7953 H' = 2,9196	7,81 (95 %)
	Roscoff	726	24		
	Portsall	78	2		
	Porspoder	861	29		
	Regroupement Arcouest/sites pollués				H' = 2,3255
Avril-mai	Arcouest	633	19	g = 1,16729 H = 6,76074 H' = 7,89177 *	7,81 (95 %)
	Roscoff	629	17		
	Portsall	32	1		
	Porspoder	536	23		
	Regroupement Arcouest/sites pollués				H' = 0,84373
Août-septembre	Arcouest	537	22	g = 1,34206 H = 8,96396 H' = 12,0302 ***	11,34 (99 %)
	Roscoff	702	19		
	Portsall	402	10		
	Porspoder	705	17		
	Regroupement Arcouest/sites pollués				H' = 11,3665 ***
Octobre-novembre	Arcouest	1 017,5	22	g = 1,77301 H = 0,599854 H' = 1,06355	7,81 (95 %)
	Roscoff	1 384	29		
	Portsall	843,5	16		
	Porspoder	1 315	28		
	Regroupement Arcouest/sites pollués				H' = 0,204528
Février-mars 1980	Arcouest	1 292	29	g = 1,01796 H = 16,2917 H' = 16,5842 ***	16,27 (99,9 %)
	Roscoff	1 605	28		
	Portsall	1 793,5	26		
	Porspoder	769,5	21		
	Regroupement Arcouest/sites pollués				H' = 2,84191
* : significatif. ** : hautement significatif. *** : très hautement significatif					

TABL. 6. — Comparaison des croissances journalières des stipes des différentes stations à certaines périodes de l'année.

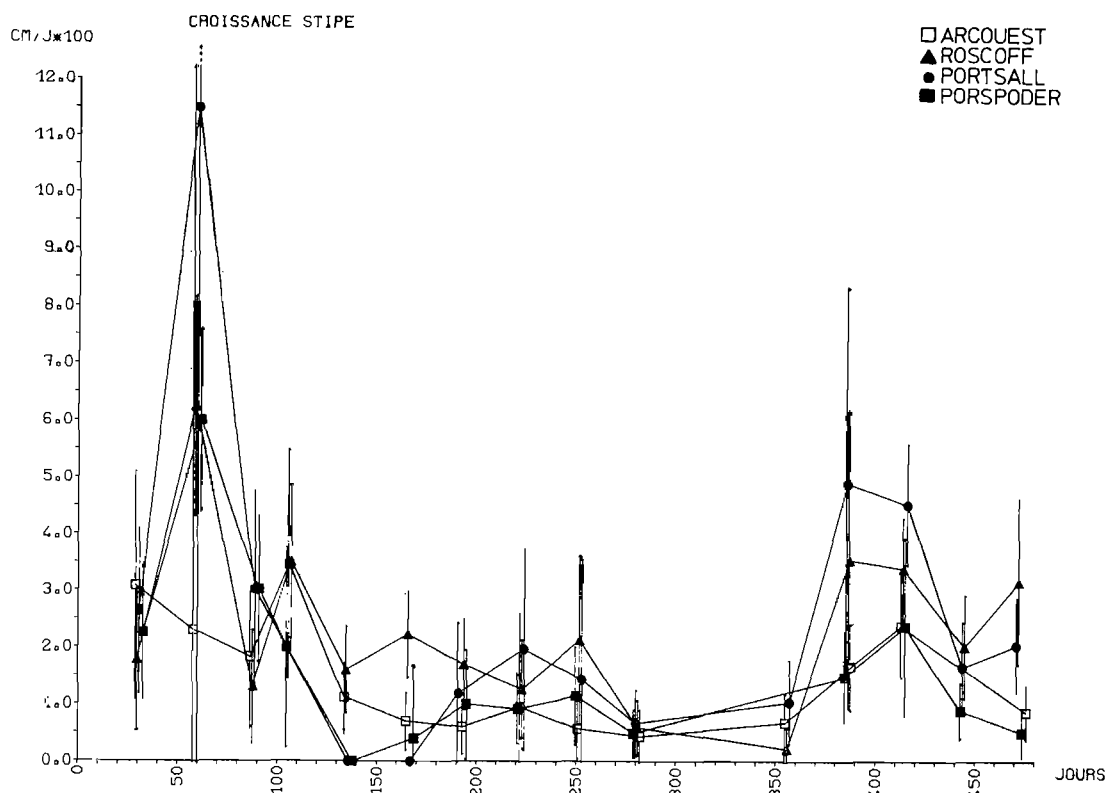


FIG. 6. — Evolution de la croissance du stipe ; la croissance présente un pic à la fin de l'hiver et au printemps selon les stations ; durant la saison chaude les variations enregistrées sont surtout fonction de l'hydrodynamisme des lieux.

Si nous comparons les résultats obtenus en fonction de la granulométrie du sédiment et de l'hydrodynamisme, on peut dresser le tableau suivant qui correspond à l'indice de vulnérabilité dressé par BERNE et D'OZOUVILLE (1979) lors de l'accident de l' " Amoco-Cadiz ".

	Substrat	Hydrodynamisme	Rétention des hydrocarbures
Arcouest	Sable	Moyennement battu	
Roscoff	Sable phycogène	Moyennement battu	Forte
Portsall	Sable	Battu	Moyenne
Porspoder	Bloc	Battu	Faible

TABL. 7. — Hydrodynamisme et granulométrie du sédiment.

En admettant que l'activité métabolique des algues est en outre fonction de la teneur en matière organique de l'eau de mer, il y a moyen d'expliquer les variations de croissance aux différents lieux situés dans une zone fortement battue et composée de blocs ne fixant que très faiblement les hydrocarbures (NELSON-SMITH, 1973), les algues de la presqu'île Saint-Laurent à Porspoder ne diffèrent pas notablement de celles de l'Arcouest. Au contraire, les aires de Portsall et de Roscoff ont une charge organique potentielle plus importante dont la remise en suspension entraîne une augmentation de l'activité métabolique des algues. Les phénomènes de transport

s'effectuant toujours vers les niveaux de plus basse énergie, ces zones voient augmenter considérablement leur teneur en matière hydrocarbonée. Si la charge organique de l'eau de mer semble être optimale à Portsall, elle paraît être bien trop forte à Roscoff où emballant la machine métabolique elle entraîne l'apparition d'altérations physiologiques évidentes.

III. — *Etude de la reproduction.*

Le cycle de reproduction de *Laminaria digitata* est du type haplodiplophasique où la phase haploïde est très restreinte par rapport à la phase diploïde. A partir de la germination du zygote, il faut de l'ordre de 18 à 20 mois pour qu'un thalle devienne fertile. A ce stade la longueur du stipe peut varier de 18 à 30 cm ainsi que l'a décrit PEREZ (1970). En nous basant sur les observations de ce chercheur, nous n'avons, lors de la détermination de la fertilité des algues, pris en compte que celles présentant un stipe d'une longueur supérieure à 18 cm.

La mesure de la fertilité par des paramètres tels que l'absence ou la présence de cystes ne nous indiquent pas si ces derniers sont capables d'émettre des spores. En effet, PEREZ (1971) et plus récemment COSSON (1976) ont montré que la fertilité réelle de *Laminaria digitata* était maximum de juin à octobre bien qu'on puisse constater des pics en hiver et au printemps. Afin de déterminer les potentialités reproductrices des algues, nous avons périodiquement procédé à un prélèvement de lames fertiles et à une mise en culture au laboratoire. Sachant qu'il faut 8 mois à un thalle pour devenir aisément visible à l'œil nu, le succès ou non de la reproduction à un moment donné de l'année devra apparaître dans les histogrammes que nous avons dressés tous les 2 ou 3 mois pour chaque station.

I. Evolution de la fertilité des populations.

L'étude de l'évolution du nombre d'individus sexuellement mûrs montre qu'il existe une fertilité continue tout au long de l'année. Sur la figure 7, trois pics apparaissent nettement : le premier au mois de février, le second en juin et le troisième en novembre. La présence des pics de juin et novembre est également signalée par PEREZ (1971) et COSSON (1976) pour des populations de la Manche. La période pendant laquelle 50 % au moins des thalles sont fertiles s'étend d'avril à octobre-novembre pour les stations de l'Arcouest, Portsall et Porspoder. Les laminaires de la Roch'zu à Roscoff ne dépassent qu'une fois le seuil des 50 % au mois de juin 1979. Au cours du restant de l'année, le nombre de thalles présentant des cystes n'a pas dépassé 40 %.

a) Relation et évolution spatio-temporelle de la fertilité.

A l'aide d'un χ^2 nous avons testé l'indépendance entre le facteur station et le paramètre pourcentage de thalle fertile. Les différents résultats ont été regroupés dans le tableau 8.

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Fév.	Mars	Mai
χ^2	4,89	13,44	6,78	4,68	2,07	5,45	3,23	25,10	21,44	29,83	0,97	12,76	5,45
Signif.	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	**	**	**	NS	**	NS
C	0,20	0,34	0,25	0,22	0,19	0,23	0,18	0,48	0,40	0,47	0,09	0,32	0,28

TABL. 8. — Test d'association-indépendance appliqué aux relations : station de prélèvement-fertilité des algues ; des différences significatives apparaissent en automne et en hiver indiquant une relation de dépendance entre la fertilité et la position spatiale du lieu de prélèvement.

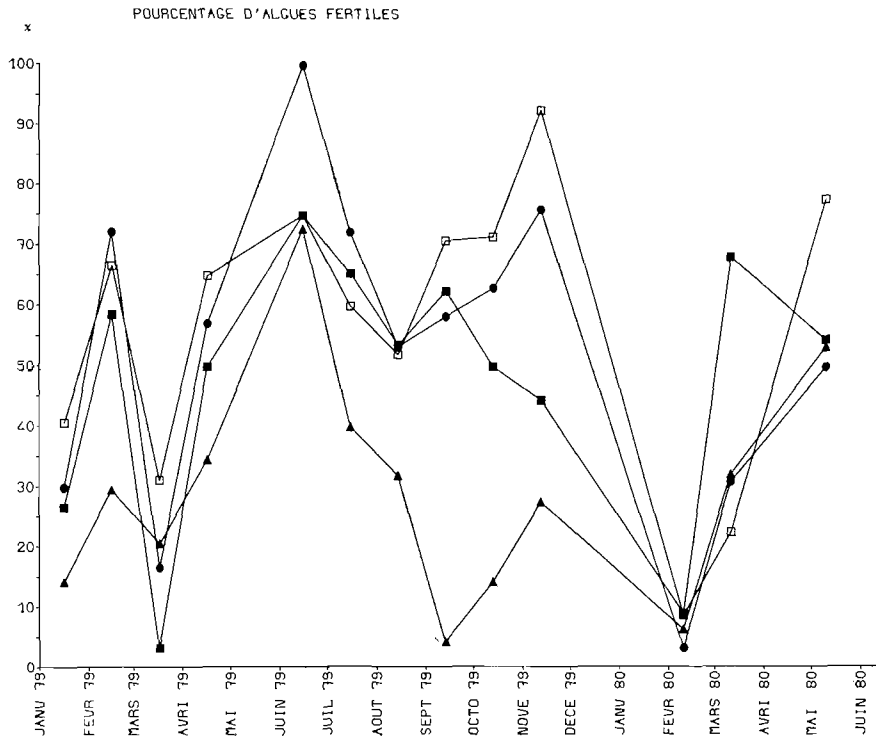


FIG. 7. — Evolution des pourcentages d'algues fertiles tout au long de l'année ; des taux supérieurs à 50 % sont enregistrés durant la période estivale à l'exception du site de Roscoff (□ Arcouest, Δ Roscoff, ● Portsall, ■ Porspoder).

On ne peut donc pas considérer qu'il existe, entre le mois de mars 1979 et le mois d'août 1979, une dépendance entre le site considéré et le pourcentage d'algue fertile. En automne et en hiver, par contre, il existe une relation entre la fertilité et le site. Le coefficient de contingence (C) mesure le degré de dépendance et de corrélation des caractères étudiés dans un tableau de contingence. Plus C est grand et plus le degré de dépendance est grand.

$$C = \frac{\sqrt{\chi^2}}{\chi^2 + N}$$

La valeur maximale de C est obtenue en prenant des valeurs extrêmes et opposées pour chaque station. Exemple :

	I	II	III	IV	Total
A	0	100	0	100	200
B	100	0	100	0	200
Total	100	100	100	100	400

$$\chi^2 = 400$$

$$C = 0,71$$

$$R = 0,38$$

Les liens existant entre les sites et les fertilités des algues sont donc nettement plus forts en automne (> 0,4) qu'en fin d'hiver, début du printemps.

La détermination de la période de fertilité est un phénomène très controversé. SAUVAGEAU (1915), HAMEL (1931, 1939) et PEREZ (1970) signalent pour les populations de la Manche une fertilité continue avec, d'après PEREZ (1970), deux maximums : un en juillet-août et un autre en novembre-décembre. Pour HARRIES (1932), la fertilité s'étend de septembre à janvier avec un maximum début novembre. COSSON (1967) indique une période fertile allant d'août à janvier et COSSON (1976) de juin à octobre. Il semblerait au regard des résultats enregistrés par les Soviétiques en mer de Barentz que la période de fertilité dépend étroitement de la température. Ainsi dans les régions arctiques la période de fertilité est purement estivale et dure deux mois (SCHAPOVA, 1938).

b) *Signification de la variation mensuelle de la fertilité.*

La figure 8 représente la variation du coefficient de contingence d'un mois sur l'autre. L'intérêt de ce mode de représentation réside dans le fait qu'une certaine pondération des résultats est obtenue, en fonction du nombre d'individus par échantillon. Le graphe obtenu met tout particulièrement en évidence la période de fertilité restreinte (en grisé) des laminaires du site de Roscoff par rapport aux autres stations. Nous verrons plus tard que ce phénomène rejaille au niveau du recrutement du groupe 0.

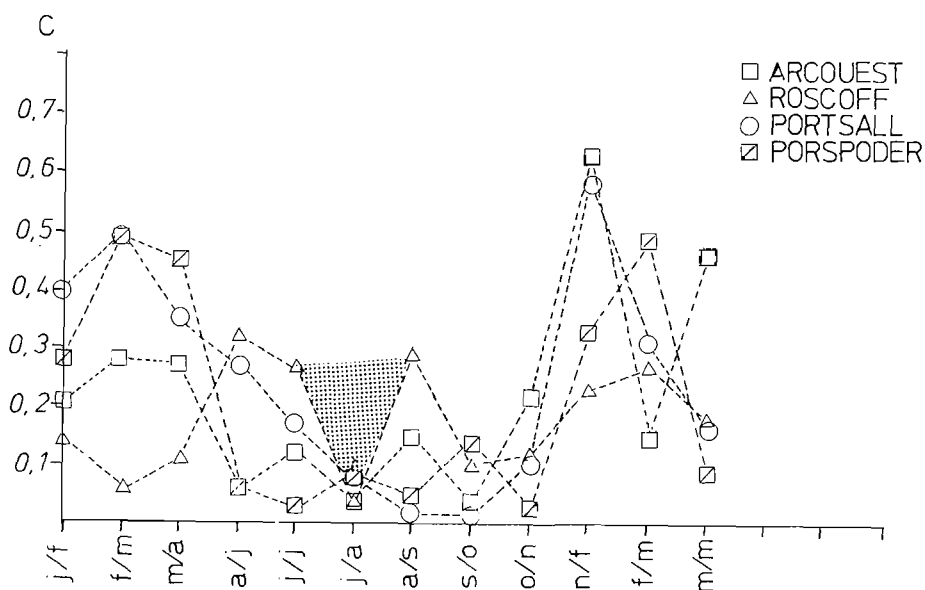


FIG. 8. — Variation du coefficient de contingence ; en grisé, période de fertilité des algues de Roscoff.

2. **Essai de germination des spores en laboratoire.**

Comme nous avons pu le voir dans le paragraphe précédent, il ne semble pas y avoir de différence fondamentale quant au nombre d'individus capables de porter des spores, entre deux des sites touchés par les hydrocarbures et la station témoin de la pointe de l'Arcoest. Nous avons donc testé les potentialités reproductrices des algues en prélevant à intervalles de temps plus ou moins réguliers des morceaux de thalles et en les mettant en culture.

a) *Développement des spores.*

Les figures 9 à 11 présentent une partie du cycle de reproduction de *Laminaria digitata* depuis le stade de la spore en passant par la germination (fig. 9), la formation des gamétophytes (fig. 10) à partir des prothalles mâles et femelles et finalement après oogamie l'obtention d'un jeune individu (fig. 11) qui sera capable de se reproduire au bout de 18 mois.

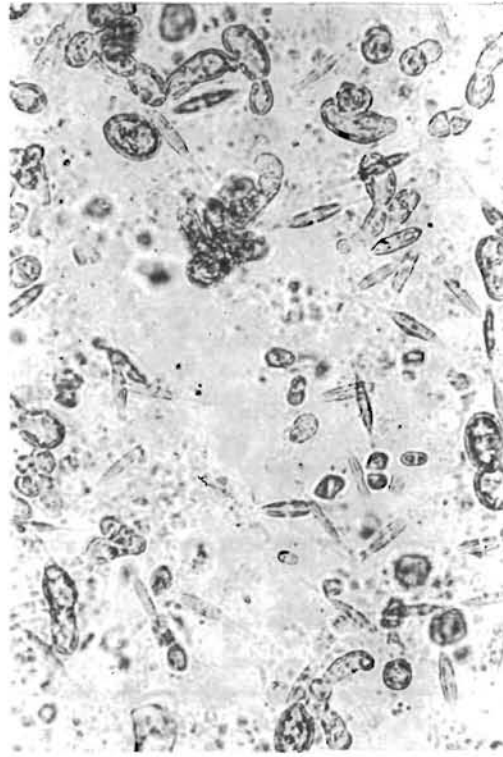


FIG. 9. — Spores et germination de spores (diamètre $\approx 5 \mu$) : 24 heures après fixation des spores, ces dernières émettent un bourgeon dans lequel passe tout le contenu de la spore ; à droite, développement des prothalles.



FIG. 10. — Certaines spores évoluent en gamétophytes mâles (1) et d'autres après un gonflement assez important vont donner les gamétophytes femelles.

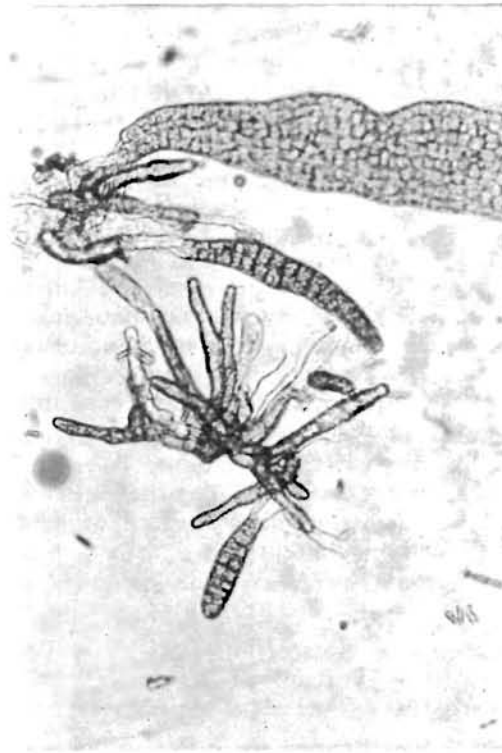


FIG. 11. — Développement du zygote, futur sporophyte (la fécondation a lieu alors que l'œuf est encore fixé sur l'oogone).

Le succès de la reproduction se détermine non seulement en fonction du nombre de spores émis par un individu dans le milieu mais également par la capacité des spores à trouver à se fixer d'une manière pérennante. Lors des essais de germination nous ne nous sommes intéressés qu'à l'aspect purement qualitatif du phénomène, à savoir la libération ou non de spores dans le milieu de culture et le développement jusqu'au stade de la jeune plantule.

b) *Résultats.*

Les conditions de culture auxquels étaient soumis les morceaux de thalle supposés fertiles ne visaient pas tant à provoquer une libération systématique des cystes (phénomène qu'on peut obtenir par une déshydratation de 14 h à 5° C) mais à offrir des conditions optimales de développement dans le cas d'une émission. Le tableau 9 nous indique les résultats obtenus sur 6 boîtes de culture.

Années	1979							1980		
	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Oct.	Nov.	Janv.	Fév.	Mai
Résultats	—	+	+	+	—	—	—	—	—	+

TABLE 9. — Résultats des essais de germination : les libérations de spores se produisent principalement durant la saison estivale (+ succès, — échec).

Les résultats obtenus rejoignent les conclusions de COSSON (1971) qui a déterminé une période de sporulation maximum en fin de printemps et été en suivant un indice de sporulation proportionnel à la quantité de spores émises. Les potentialités reproductrices des algues ayant subi une imprégnation par les hydrocarbures ne semblent donc pas avoir été atteintes. PEREZ en 1978 a obtenu des résultats analogues pour des algues prélevées à proximité du navire. Mais ce n'est qu'en suivant l'apparition et l'évolution du groupe 0 dans la population qu'on est réellement en mesure de se prononcer sur le succès de la reproduction.

3. Apparition et évolution du groupe 0 dans les populations.

A la fin de sa première année la longueur du stipe d'une laminaire peut atteindre 12 cm. Nous avons retenu comme appartenant au groupe 0 tous les individus présentant un stipe inférieur à cette taille. En raison du nombre relativement faible d'échantillons récoltés (tabl. 10), nous avons eu recours à une analyse statistique non paramétrique afin de déterminer si les prélèvements effectués à un moment donné sont plus homogènes que les groupes de prélèvements effectués les autres mois. Les fluctuations observées lors d'une série de mesures ne sont pas significativement différentes de celles obtenues pour l'ensemble des mesures (tabl. 11).

Il était également intéressant de déterminer si des variations significatives intervenaient au cours de l'année entre les stations. Avec $g.H = 23,70$ pour 3 degrés de liberté nous pouvons rejeter avec un coefficient de sécurité de 95 % l'hypothèse nulle (H_0) : les variations des échantillons dans le temps et dans l'espace ne sont que le reflet du hasard et il n'existe aucune différence réelle entre les mesures.

En effectuant différents regroupements, nous avons obtenu les résultats suivants :

	H'	k	$\chi^2(95\%)$	
Arcouest — (Roscoff + Portsall + Porspoder)	0,016	2	3,84	NS
Roscoff — Portsall — Porspoder	24,064	3	5,99	**
Roscoff — (Portsall + Porspoder)	20,165	3	3,84	**

Ainsi il n'existe pas de différence significative entre le site témoin et les stations touchées par les hydrocarbures. Par contre, il apparaît que les densités observées à Roscoff sont significativement différentes de celles des autres stations.

Mois		Arcouest	Roscoff	Portsall	Porspoder
Janvier	V	31 0 25	11 9 9	16 10 26	20 20 19
	J	4 30 20	0 4 5	18 3 12	16 4 3
	T	35 30 45	11 13 14	34 13 38	36 24 23
Février	V	7 12 24	7 35 12	37 26 15	45 34 57
	J	18 14 10	0 15 10	2 19 0	55 4 137
	T	25 26 34	7 50 22	39 45 15	100 38 194
Mars	V	15 10 12	21 36		17 12 26
	J	1 11 3	0 12		0 0 6
	T	16 21 15	21 48		17 12 32
Avril	V	17	21	20 31	6 14
	J	0	14	0 3	14 10
	T	17	35	20 34	20 24
Mai	V				18 20
	J				2 9
	T				20 29
Juin	V			15 21 12	
	J			10 9 1	
	T			25 30 13	
Juillet	V	11			
	J	11			
	T	22			
Août	V	18 20 9	8 16 14	22 13	27 25 28
	J	3 4 2	3 5 3	42 9	11 29 57
	T	21 24 11	11 21 17	64 22	38 54 85
Septembre	V	27 27	15 17 29	17 27 32	24 29 9
	J	59 6	3 5 11	19 7 62	21 34 32
	T	86 33	18 22 40	36 34 94	45 63 41
Octobre	V	12 13			24 7
	J	36 52			7 23
	T	48 65			31 30
Février	V	20	15 11 30	24 36	26 16
	J	5	5 3 5	10 21	38 20
	T	25	20 14 35	34 57	64 36
Mars	V	21 39 13	24		
	J	0 19 32	3		
	T	21 58 45	27		
Avril	V		21 19	29 54	19 24 29
	J		0 4	6 39	24 22 21
	T		21 23	35 93	43 46 50
Mai	V	32 24	52	28	
	J	70 127	17	7	
	T	102 151	69	35	

TABL. 10. — Densité de laminaires au mètre carré (V = thalle âgé de plus de 1 an, J = jeune, T = total).

Lieux	H' = g . H	χ^2 (95 %) $\nu = k-1$	k	Signification
Arcouest	15,8174	18,31	11	NS
Roscoff	8,0367	16,92	10	NS
Portsall	8,7473	15,51	9	NS
Porspoder	15,3315	16,92	10	NS

TABL. 11

PEREZ (1971) indique pour des algues des côtes de la Manche des pics de densité en fin d'hiver et en automne. En prenant ces données comme hypothèse de base nous avons comparé les densités enregistrées durant les mois de septembre-octobre à celles du restant de l'année (excepté le mois de février) et procédé de la même manière pour le mois de février en excluant les mois de septembre-octobre.

	Février/an		Automne/an		χ^2 (95 %) = 3,84
Arcouest	0,150	NS	2,903	NS	
Roscoff	0,708	NS	0,1875	NS	
Portsall	0,002	NS	1,81798	NS	
Porspoder	3,1558	NS	2,86907	NS	

La variabilité des mesures ne permet donc pas de rejeter l'hypothèse nulle. On peut toutefois noter qu'en automne les valeurs observées pourraient être supérieures à celles observées durant le restant de l'année, mais il faudrait pour pouvoir conclure augmenter l'échantillonnage. Dans le chapitre consacré à la physiologie des populations, il sera refait mention de l'évolution du groupe 0 au moment de l'analyse des histogrammes.

En conclusion, nous pouvons noter que la reproduction s'est apparemment déroulée correctement tant au niveau du site témoin qu'au niveau des stations situées dans l'aire touchée par les hydrocarbures. Une exception pour ce qui concerne Roscoff dont les algues présentent un cycle de reproduction qu'on pourrait qualifier d'appauvri. Les travaux de HARRIES (1932) ont montré que la germination des spores était sous l'influence du rapport C/N dans l'eau de mer. La fertilité est maximale quand le rapport C/N est minimal. STEELE *et al.* (1977) trouve pour une espèce proche, *Laminaria saccharina*, qu'il existe un seuil en hydrocarbure inhibant la germination des spores. Comme pour la croissance, la reproduction des algues de Roscoff sort du cadre de la normalité et accrédite l'existence d'un ou de facteur(s) polluant(s) dont le(s) seuil(s) aurai(en)t été dépassé(s).

IV. — Physiologie des populations.

De même que précédemment, nous nous référons principalement aux travaux effectués par COSSON (1967-1976) et PEREZ (1968, 1969, 1971 et 1978) sur les populations de l'étage infralittoral.

1. Densité des populations.

En appliquant aux populations adultes les mêmes techniques de comparaisons que pour les individus du groupe 0 (tabl. 10), nous obtenons le même type de résultats, à savoir qu'il n'est pas possible de rejeter l'hypothèse d'homogénéité des densités pour chaque station en fonction du temps ou entre les stations pour l'ensemble de l'année.

En considérant seulement les stations contaminées, il apparaît une différence significative entre le nombre d'individus présents à Roscoff et les deux autres stations ($\chi^2_{\text{observé}} = 6,32$, $\chi^2_{(95\%)} = 3,84$, $k = 1$). PEREZ (1971) rapporte l'existence de deux maximums au cours de l'année, l'un en mars (40 individus/m²) et l'autre en novembre (31 individus/m²) en relation avec la présence de jeunes plants dans une proportion pouvant aller jusqu'à 40 % du total. Pour le nord-Finistère, cet auteur relève une densité moyenne de 47 individus/m². DRACH (1949) mentionne des densités de 20 à 25 thalles par mètre carré pour des populations bretonnes.

Les densités importantes sont enregistrées pour toutes les stations au mois de septembre si nous considérons la population totale.

2. Composition des populations en fonction de la longueur de la lame.

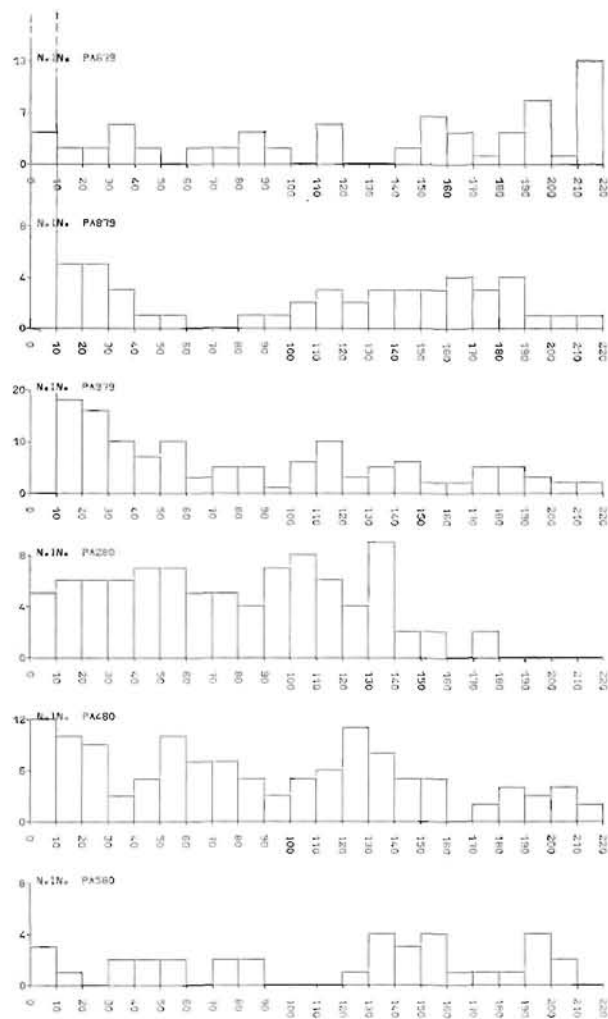


FIG. 12. — Distribution des populations en fonction de la taille de la lame (grève de Trémazan - Portsall).

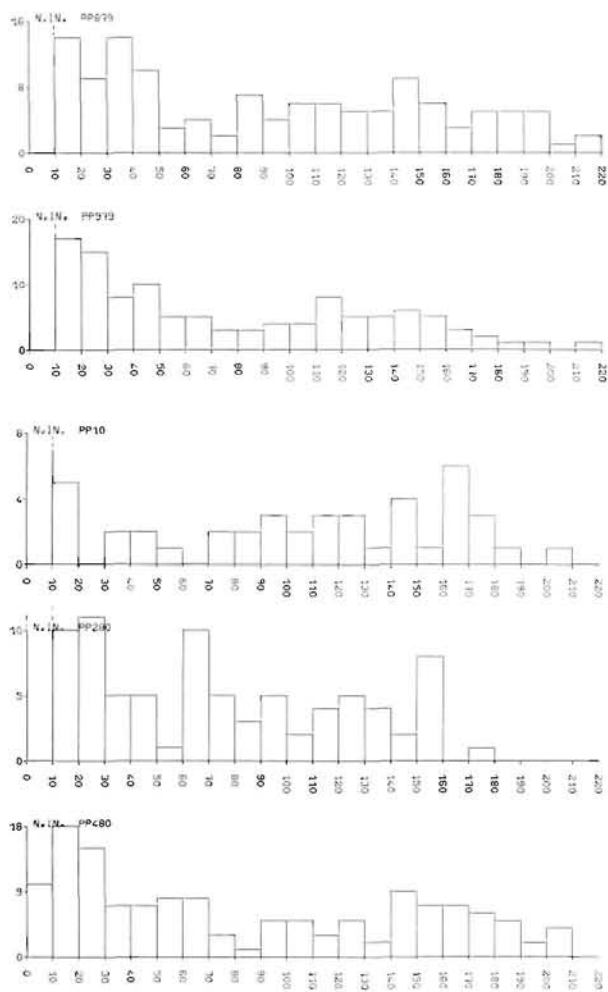


FIG. 13. — Distribution de la population en fonction de la taille des lames (presqu'île Saint-Laurent - Porspoder).

Les histogrammes des fréquences des longueurs des lames fournissent une bonne représentation de la physionomie des populations ainsi que l'ont montré COSSON (1967) et PEREZ (1969). Dans un travail sur les algues du rocher du Quihot (Calvados), les histogrammes des longueurs des lames dressés par PEREZ (1971) font apparaître quatre classes modales dont les deux premières

correspondraient aux algues vivant leur deuxième année, la troisième aux thalles ayant 2 ou 3 ans d'âge et la quatrième aux algues de plus de 3 ans.

Sur les histogrammes des figures 12 à 15 relatifs aux quatre stations à différentes époques de l'année, on peut noter qu'en général on retrouve quatre classes modales pour le site témoin alors que ce nombre est plus élevé pour les trois autres stations. Il est possible de comparer entre elles les courbes obtenues pour un mois donné à l'aide d'un test d'association-indépendance (χ^2).

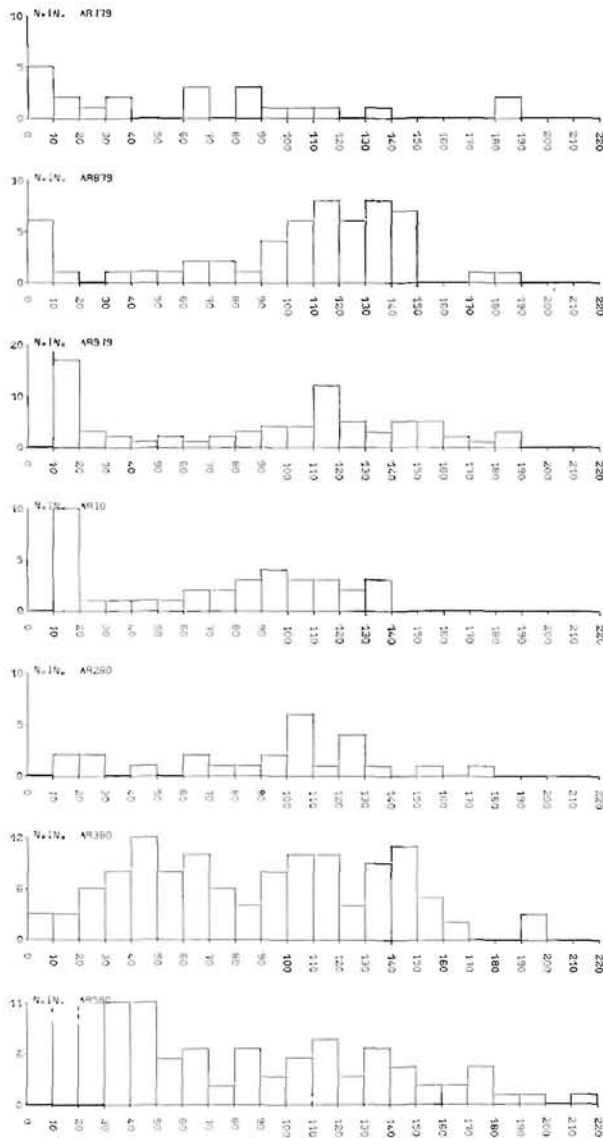


FIG. 14. — Distribution des populations en fonction de la taille de la lame (pointe de l'Arcouet).

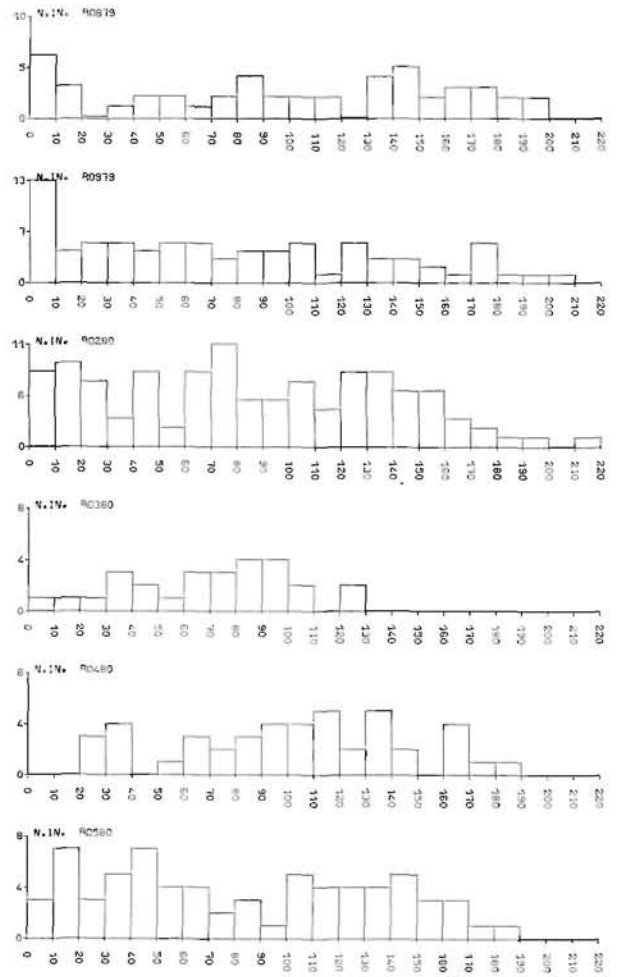


FIG. 15. — Distribution de la population de la taille de la lame (Roch'zu - Roscoff).

Dans un travail antérieur (KAAS, 1979), nous avons montré qu'en été il existait une différence dans la répartition des longueurs des lames de l'Arcouet et des stations polluées. De plus nous avons mis en évidence, que si la répartition des tailles des lames était bien comparable pour les stations polluées, cela n'était vrai que si on considérait les classes supérieures à 30 cm. Ceci provenant du fait de la très faible représentation des classes les plus basses à Roscoff.

En adoptant la même méthode de comparaison pour les histogrammes obtenus au mois de février nous obtenons, en comparant les 4 types de distribution, un $\chi^2 = 66,13$ pour $\nu = 45$, permettant de conclure à une différence.

En comparant entre elles les stations polluées $\chi^2_{\text{observé}} = 43,19$ pour $\nu = 30$, ce qui ne permet pas de rejeter l'hypothèse nulle d'égalité des distributions ($\chi^2(95\%) = 43,77$; $\nu = 30$) bien que la valeur calculée soit très proche de la valeur de rejet. Un échantillonnage plus important permettrait sans doute ce rejet. Le tableau de contingence élaboré à partir du regroupement des stations polluées et avec le site témoin permet de rejeter l'hypothèse d'une manière très confortable: $\chi^2_{\text{observé}} = 43,59$ et $\chi^2(95\%) = 28,87$ pour $\nu = 18$.

La comparaison des stations polluées entre elles au mois d'avril permet comme en été de trouver une différence significative dans la répartition des fréquences en considérant l'ensemble des classes $\chi^2_{\text{observé}} = 49,95$ et $\chi^2(95\%) = 41,34$ pour $\nu = 28$. Mais le rejet de H_0 n'est plus possible à partir du moment où on supprime les classes inférieures à 30 cm ($\chi^2_{\text{observé}} = 36,22$ et $\chi^2(95\%) = 38,88$ pour $\nu = 26$). L'augmentation du nombre de classes modales dans les zones souillées par les hydrocarbures est donc mise en évidence de manière significative.

3. Composition des populations en fonction de la taille des stipes.

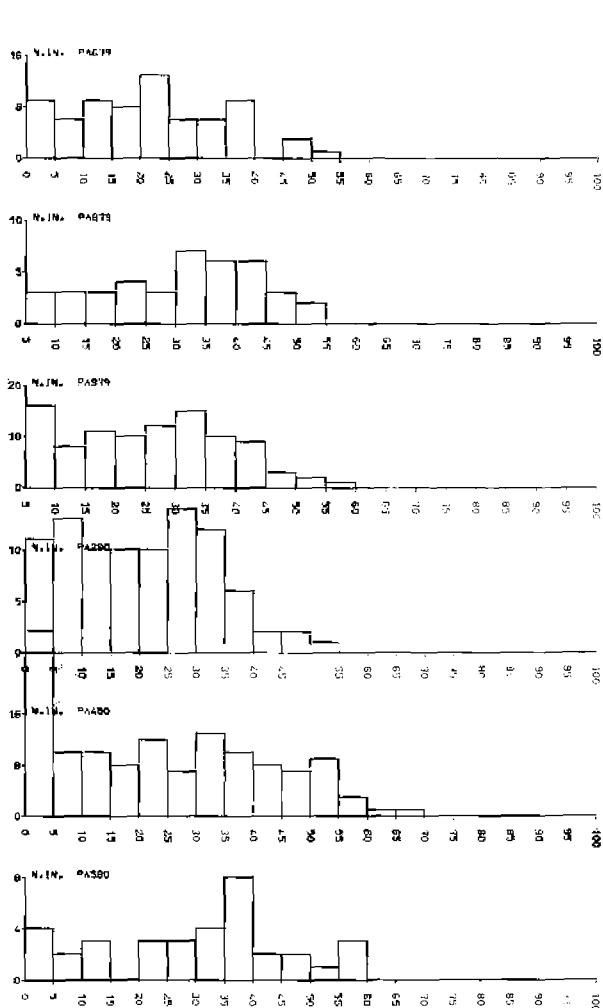


FIG. 16. — Répartition en fonction de la taille du stipe à Portsall (mode battu).

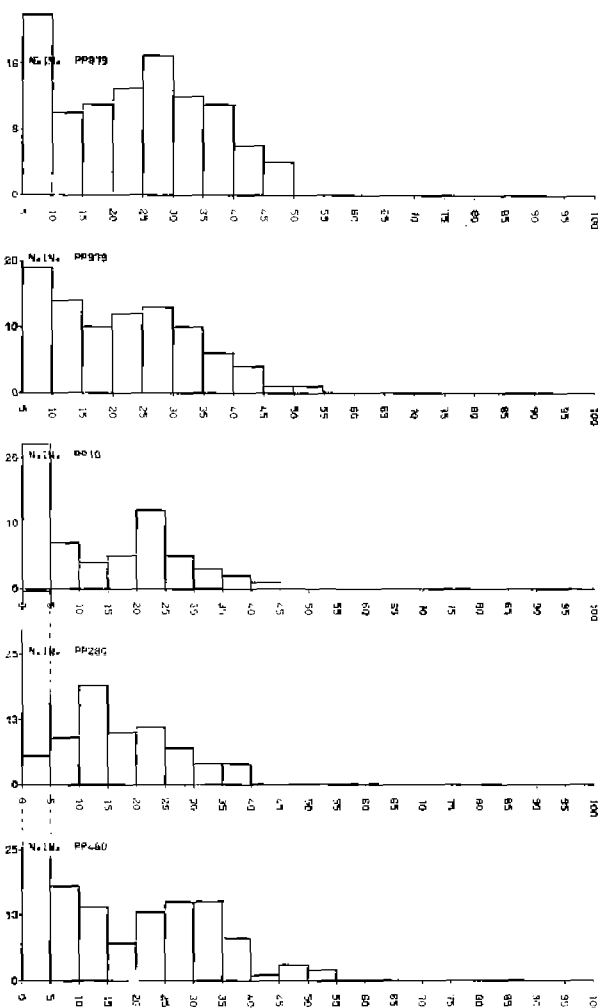


FIG. 17. — Répartition en fonction de la taille du stipe à Porspoder (mode battu).

Pour des populations du Calvados, PEREZ (1969) trouve 6 classes modales. COSSON (1967) n'indique que les tendances avec un grand pic dans les petites valeurs en hiver. Les figures 16 à 20 reproduisent les histogrammes relatifs aux longueurs des stipes. Certains graphiques ne contiennent pas la classe 0-5 cm en raison du trop grand nombre d'individus présents, ce qui aurait exagérément tassé les autres valeurs.

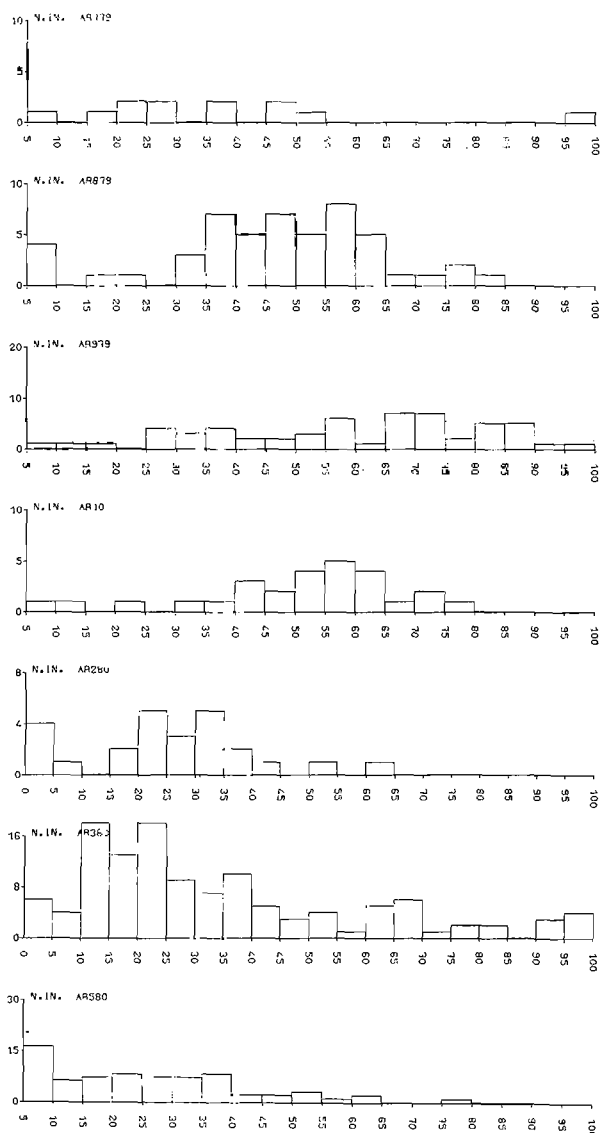


FIG. 18. — Répartition en fonction de la taille du stipe à Arcouest (mode calme).

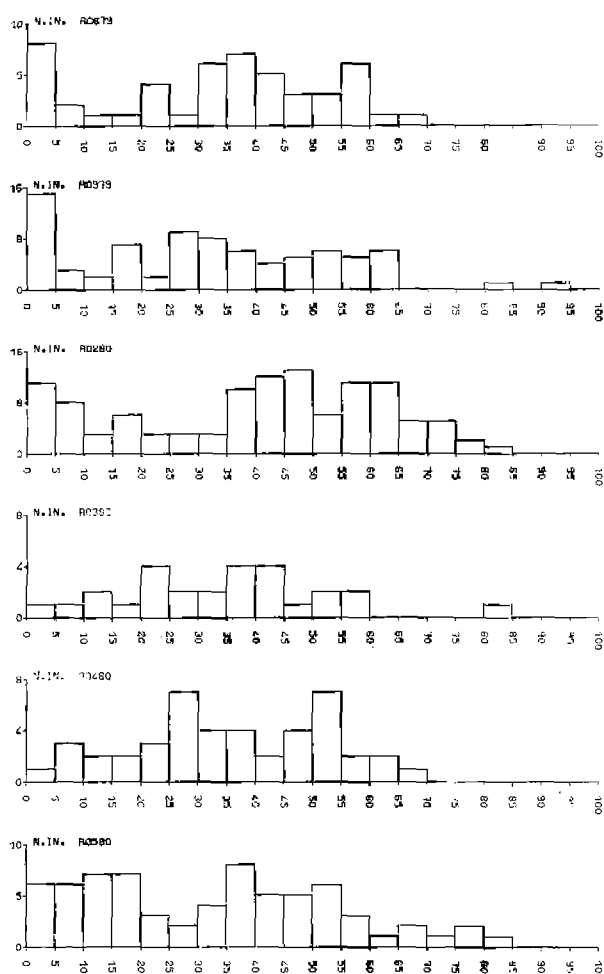


FIG. 19. — Répartition en fonction de la taille du stipe à Roscoff (mode calme).

Les populations de Portsall et Porspoder se caractérisent essentiellement par une distribution en taille très restreinte caractéristique selon PEREZ (comm. personnelle) de population très jeune à renouvellement rapide et de mode battu (fig. 16 et 17). Roscoff et Porspoder en raison d'un mode relativement calme présentent une palette de taille nettement plus étendue. La distribution des stipes des populations de mode battu ne varient pratiquement pas aux cours de l'année comme le souligne Cosson (1967).

En se référant aux histogrammes dressés par PEREZ (1968, 1970 et 1971), on peut estimer qu'un individu en mode battu a très peu de chance de dépasser la limite de 3 ans d'âge. Ceci est d'ailleurs confirmé par le fait qu'il a fallu rebaguer nettement plus d'individus pour les stations en mode battu que pour celles présentant un hydrodynamisme plus modéré. COSSON (1967) signale en outre l'apparition d'un nombre élevé de jeunes plantules tout au long de l'année.

La présence de ces jeunes individus est le signe évident de la réussite de la reproduction (dans certains échantillons le nombre de jeunes plantules représente plus de 50 % du total). SOUTHWARD *et al.* (1978) constataient une augmentation en nombre d'individus de la population algale de par la disparition des parasites (1978). Durant le premier semestre 1979, le nombre d'*Helcion pellucidum* s'est révélé subjectivement moins important qu'au site témoin. A partir du mois d'août 1979 cependant une très nette recrudescence avait lieu.

Dans le Kent, en 1971, les peuplements de *Fucus* et d'*Ascophyllum* n'ont été que peu touchés (CULLIANE *et al.*, 1975). Ces mêmes groupes d'algues ont bien résisté après une pollution dans la baie de Chedabucto ainsi que le rapporte THOMAS (1973). Cinq ans plus tard, le même auteur constatait que les populations de *Fucus vesiculosus* qui dans un premier temps avaient subi une extension vers le bas des plages avaient retrouvé une distribution normale. Au contraire de *Fucus spiralis* qui, même après six ans, n'est toujours pas revenu à la normale (THOMAS, 1978). Les dommages subis par les laminaires dans l'état de Washington ont été beaucoup plus importants et sont encore apparents deux ans après la catastrophe (CLARK, 1975).

L'étendue des réponses à la pollution par hydrocarbures est donc extrême. Pour notre part, nous pouvons constater que l'étude des distributions de fréquence des longueurs de lames pour les laminaires est un meilleur estimateur de la population que la distribution de la longueur des stipes qui est plus sujette aux variations hydrodynamiques.

V. — Variations des teneurs en produits finis.

Depuis sa mise en évidence par STANDFORD (1883), l'acide alginique a fait l'objet de très nombreuses études. Il est principalement localisé dans les espaces intercellulaires, la lamelle moyenne et la lamelle primaire, sous la forme d'alginate de cations divalents. STEWARD *et al.* (1974) le décrivent comme un glucide structural, de réserve et échangeur d'ions. Depuis les travaux de HAUG *et al.* (1964), l'acide alginique est considéré comme étant composé de blocs homogènes d'acides mannuroniques ou guluroniques comprenant chacun 20 à 30 unités. La liaison entre ces blocs s'effectue par des chaînes dont le degré d'alternance des acides uroniques est plus élevé. Son poids moléculaire (SMIDROD *et al.*, 1968) varie de 35 000 à 1 500 000.

On désigne sous le nom d'algine un ensemble de polyuronides dont les proportions relatives peuvent varier considérablement. *Laminaria digitata* en raison de la haute qualité de l'acide alginique qu'on peut en extraire est récoltée de manière industrielle à l'aide de bateau mécanisé muni d'un treuil hydraulique. En 1978, la production française atteignait 6 000 tonnes sèches pour les laminaires. Les utilisations de ce produit sont multiples et on dénombre actuellement plus de 300 utilisations différentes dont les plus importantes sont résumées dans le tableau 12. La figure 20 rend compte de l'évolution dans le temps des teneurs en acide alginique.

Une remarque importante doit être faite pour ce qui concerne les variations observées de janvier à mai 1979. Jusqu'à cette date les échantillons prélevés étaient conservés dans une solution formolée à 3 %. La variabilité des résultats était telle qu'on ne pouvait conclure à une différence significative entre les stations (KAAS, 1979). A partir du mois de juillet les échantillons ont été congelés et une amélioration très nette fut constatée dans la dispersion des valeurs.

Les observations du premier semestre 1979 sont en moyenne supérieures à celles obtenues ultérieurement. La pratique de la formulation entraîne sans doute des pertes importantes de matière par dissolution et les teneurs en acide alginique étant exprimées en pourcentage du poids sec il n'est pas étonnant d'en voir les valeurs augmenter. Ce type de raisonnement permet peut être d'expliquer les teneurs importantes d'acide alginique enregistrées en Norvège (HAUG *et al.*, 1956) pour peu que les protocoles d'analyses diffèrent.

- Industrie alimentaire
- Industrie pharmaceutique
- Technologie dentaire
- Industrie des cosmétiques
- Production de cires et vernis
- Industrie de la construction
- Industrie du cuir
- Industrie du caoutchouc
- Industrie du papier
- Industries photographiques et cinématographiques
- Industries des crayons et peintures
- Industrie de la fonderie
- Lutte contre le feu
- Industries textiles
- Fabrication d'explosifs
- Production d'insecticides.

TABL. 12. — Quelques applications de l'acide alginique.

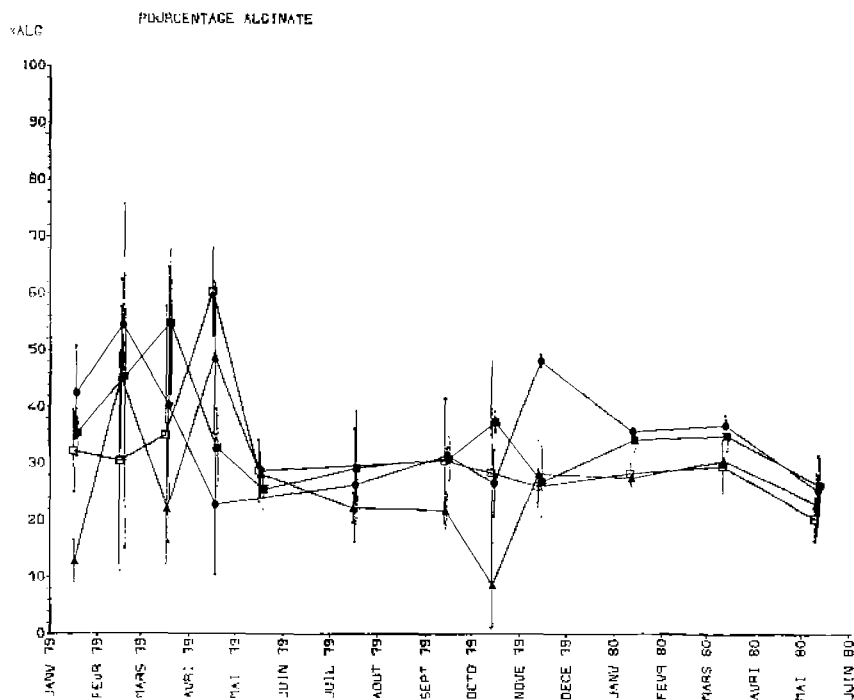


FIG. 20. — Variation des teneurs en acide alginique ; la forte dispersion des valeurs durant le premier semestre 1979 est imputable à la technique de conservation ; un des sites pollués présente des teneurs en acide alginique plus basse que la moyenne durant le 2^e semestre 1979.

2. Variation des mesures et signification.

L'évolution des taux d'acide alginique rentre dans un cadre beaucoup plus normal à partir de juillet 1979 et on enregistre généralement des valeurs comprises entre 20 et 40 %. Afin de tester si la dispersion des résultats est plus homogène un mois donné qu'au courant du reste de l'année, nous avons eu recours à un test de KRUSKAL et WALLIS. Quatre mois ont été choisis comme étant caractéristiques des saisons de l'année (tabl. 13).

Le test démontre donc qu'il existe bien une différence significative entre les teneurs des algues en alginates à différents moments de l'année et plus particulièrement entre la période chaude et la période froide. Ces résultats sont en accord avec les observations de RICHARD (1930), BLACK (1948), HAUG *et al.* (1956), PEREZ (1967, 1970), BÉRARD-THÉRIAUD *et al.* (1973) et CARDINAL (1977) qui, de même, constatent une différence sensible entre les périodes hivernales et la saison estivale.

Test global sur l'ensemble des données				
	Sigma rang	N	H'	χ^2 théorique
Juillet	165	9	17,9188 **	7,81
Novembre	330	12		
Janvier	396	12		
Mai	144	12		
Comparaison saison chaude - saison froide				
	Sigma rang	N	H'	χ^2 théorique
Juillet + septembre + mai	811	33	17,0762 **	3,84
Novembre + janvier + mars	1 604	36		6,63

TABLE. 13. — Test sur l'homogénéité des résultats pour quatre mois caractéristiques dans l'année.

3. Variations spatiales des mesures.

La comparaison des résultats fait apparaître que les algues de Roscoff présentent des teneurs en alginate plus basses durant la majeure partie du deuxième semestre 1979. En 1980, ces valeurs sont de l'ordre de celles enregistrées au site témoin. Les résultats des comparaisons effectués entre les quatre stations pour les différents mois sont reportés dans le tableau 14.

Les différences observées sont donc principalement le fait d'une diversité des mesures importantes à l'intérieur du groupe formé par les stations polluées. Outre les variations en fonction de la saison, BLACK (1948), HAUG (1964) et CARDINAL (1977) notent que les laminaires situées en zone battue présentent des teneurs en acide alginique supérieures à celles situées en mode calme. PEREZ (1967) trouve des variations en fonction de l'âge du thalle, les algues de 2 ans présentent les teneurs les plus fortes. Ce même auteur détermine des différences entre les taux d'alginate d'un sporophyte mature et d'un thalle stérile (ce dernier renfermant plus d'acide alginique que le premier).

Nous avons pris soin de n'effectuer les mesures que sur des individus ne présentant pas de signe de fertilité et dont le stipe avait une longueur de 30 cm \pm 3 cm. Si de ce fait on arrive à éliminer une partie des causes de dispersion, il reste la variabilité propre à chaque individu et surtout l'hydrodynamisme des lieux.

effet, à la pointe de l'Arcouest, le niveau du *Chondrus* est occupé en grande quantité par une autre algue rouge : *Rhododymenia palmata*. Nous avons donc utilisé comme références les données fournies par KOPP (1975) sur les peuplements de l'île de Noirmoutier.

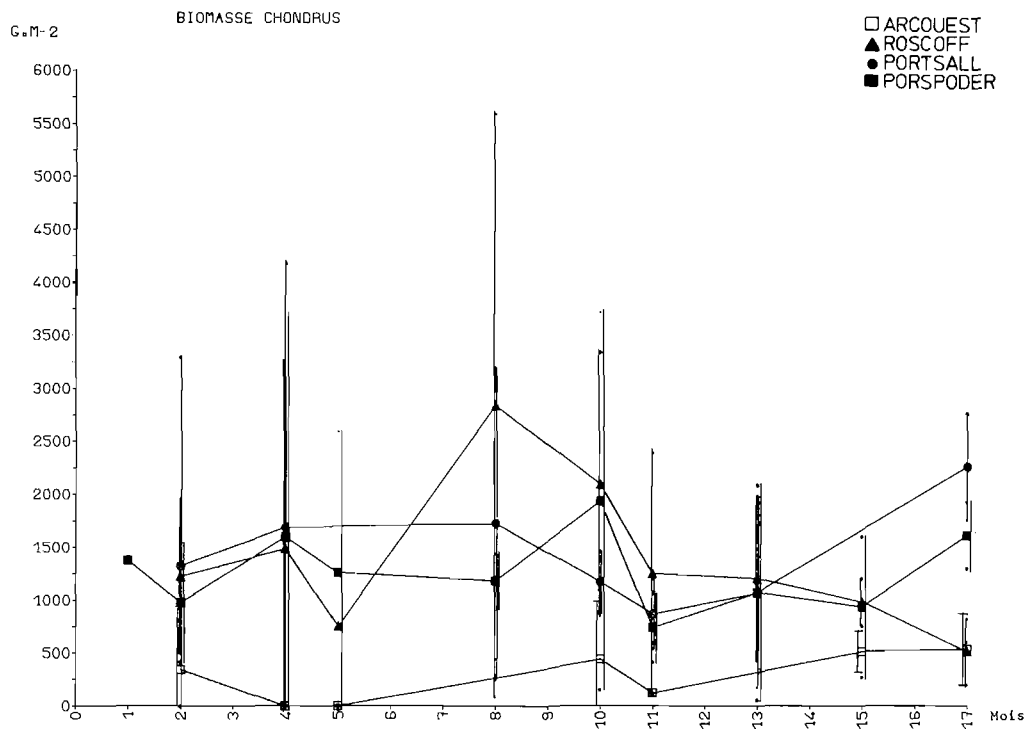


FIG. 21. — Evolution des biomasses de l'algue rouge *Chondrus crispus*, le site témoin n'est pas représentatif pour l'estimation des densités de ce végétal ; les biomasses sont inférieures à celles trouvées dans la littérature.

Dans un premier temps, nous avons comparé entre eux les peuplements ayant été soumis à l'action des hydrocarbures. De même que pour les mesures de densité des laminaires nous avons comparé l'homogénéité des résultats en fonction des saisons pour l'ensemble des groupes à l'aide d'un test de KRUSKAL et WALLIS. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 16. Il est donc possible de rejeter l'hypothèse nulle d'homogénéité des données dans le temps et d'affirmer avec un coefficient de risque infime qu'il existe une différence significative dans le temps entre les valeurs observées.

Dans un deuxième temps il est possible en regroupant les données relatives aux mois d'« été » et aux mois d'« hiver » de déterminer s'il existe une différence entre ces 2 groupes. Le test nous indique qu'il existe bien une différence entre les densités enregistrées durant la période froide de l'année et la période plus chaude.

$$\text{Sigma rang hiver: } 1\ 508,5 \quad N = 42$$

$$\text{Sigma rang été : } 2\ 956,5 \quad N = 52$$

$$H' = 1,000 \times 13,689 = 13,691 \quad **$$

$$\chi^2(95\%) = 3,84 \quad \nu = 1$$

$$\chi^2(99,9\%) = 10,8 \quad \nu = 1$$

Nous sommes donc en mesure d'affirmer que la densité de *Chondrus crispus* est bien supérieure durant la période avril-octobre à celle relevée de novembre à mars.

La comparaison des densités entre les stations aux différents mois de l'année (tabl. 17) ne permet pas à deux exceptions près de rejeter l'hypothèse nulle d'égalité des données.

Durant la majeure partie de l'année, il ne semble donc pas exister de différences majeures entre l'ensemble des peuplements observés. TITLEY (1972) note que les algues rouges ont nettement plus souffert que les autres végétaux lors d'une pollution par hydrocarbures, BONEY (1974) le confirme. Après l'accident de l'"Amoco Cadiz", FLOCH' (1978), SPOONER (1978) et CHASSÉ (1978) remarquent que, parmi les algues rouges sans intérêt économique un grand nombre avait subi de sérieux dégâts.

Mois	Lieux	Sigma rang	Résultats	χ^2 théor. $\nu = 11$
Janvier	Roscoff	79	$g = 1,0001$ $H = 34,2819$ $H' = 34,2852$ **	19,67 (95 %) 31,26 (99,9 %)
	Portsall	83,5		
	Porspoder	165		
Mai	Roscoff	25		
	Porspoder	261		
	Portsall	181		
Août	Roscoff	135		
	Portsall	109		
	Porspoder	75		
Novembre	Roscoff	94,5		
	Portsall	94		
	Porspoder	73		

TABL. 16. — Homogénéité des résultats calculés pour 4 mois caractéristiques de l'année.

	1979					1980	
	Février	Avril	Août	Octobre	Novembre	Janvier	Mai
H'	1,42	$1,9 \cdot 10^{-6}$	6,48	2,10	1,48	1,11	10,89
N	9	9	9	15	16	10	15
	NS	NS	*	NS	NS	NS	*

TABL. 17. — Comparaison entre les stations polluées à différentes époques de l'année.

Les variations enregistrées dans les biomasses de *Chondrus* vont de 2 000 à 7 000 g. m⁻² selon la saison (KOPP, 1975). Pour la période février-avril, PEREZ (1978) donne des biomasses de 3 900 à 4 700 g. m⁻² et note qu'elles sont légèrement inférieures à celles observées par KOPP pour les mêmes périodes. Comparées aux densités enregistrées en 1979, on peut dire qu'une diminution importante de la biomasse a eu lieu. Cet appauvrissement reste toutefois difficile à expliquer, car dès 1972, on a pu constater une diminution d'année en année des peuplements de *Chondrus crispus*. Amorcé sur les rivages du Cotentin, ce phénomène ne cesse de s'étendre vers l'ouest. KOPP (1975), lui-même, notait déjà une diminution dans le recrutement.

Pour certains, la cause en serait l'implantation de bouchots, servant à la mytiliculture, qui entraînerait une modification des courants et un envasement des côtes, troublant par là l'écologie des espèces qui y sont installées. D'autres penchent pour l'altération des organes de reproduction par des parasites endophytes telles que l'algue brune *Mykrosphar porphyrae* ou l'algue verte *Endocladia viridus* ou encore le champignon *Didmosphaeria danica*. Si les hydrocarbures de l'"Amoco Cadiz" ont pu avoir un effet ce n'est qu'en accélérant ce phénomène de détérioration.

Les peuplements algaux des côtes bretonnes ont subi des fortunes diverses après le naufrage de l'"Amoco Cadiz". L'évolution de ces populations semble être en relation directe avec les facteurs géomorphologiques et hydrodynamiques. Ainsi que le souligne MANN *et al.* (1978), un faciès rocheux à mode battu, en ne retenant que de faibles quantités d'hydrocarbures, ne subira qu'un préjudice très faible en comparaison d'une aire à sédimentation lente donc protégée qui, captant une importante quantité d'hydrocarbures, subira des perturbations d'ordre chronique. Les observations de BERNE et d'OZOUVILLE (1979) qui, en suivant l'évolution des aires touchées par le pétrole de l'"Amoco Cadiz", en fonction d'un index de vulnérabilité basé sur la longévité des hydrocarbures dans un environnement géomorphologique donné, le confirment.

Conclusion.

Les effets de ce type de pollution se sont essentiellement traduits par une augmentation de l'activité métabolique dans les limites d'un certain seuil qui, une fois dépassé, entraîne des dégradations d'ordre physiologique se traduisant par une fragilité accrue des plants. L'apparition de ces phénomènes, un an après l'accident alors qu'on ne signalait pas de variations notables entre-temps, prouve bien que les conditions climatiques et hydrologiques ont joué un rôle prépondérant.

MANN *et al.* (1978) fixe à 10 ans le délai de retour à la normale des peuplements pollués. Mais bien qu'on ait prétendu que ce rétablissement s'était effectué rapidement et d'une manière totale en Cornouaille, après l'accident du "Torrey Canyon", selon l'avis de certains biologistes (SOUTHWARD *et al.*, 1978), le biotope n'est, actuellement, pas encore revenu à la normale. En Bretagne, deux ans après l'accident, les peuplements de laminaires dans l'aire polluée présentent toujours une hétérogénéité supérieure par rapport au témoin. L'accélération de la croissance peut expliquer cette dispersion plus élevée (NORTH, 1970).

Si la répartition des individus en fonction de la longueur de la lame semble être un bon estimateur de la population, les variations enregistrées au niveau de la longueur des stipes sont par contre trop liées à l'état d'agitation du milieu pour que des modifications en liaison avec une action quelconque des hydrocarbures soient détectables.

Du point de vue de la reproduction, même les aires les plus contaminées ont vu l'apparition des jeunes du groupe 0 bien qu'en proportion moindre par rapport aux autres sites. Ceci démontre bien la vitalité de ce végétal et ses capacités de résistance aux changements du biotope. Le volant d'inertie représenté par l'émission de spores en très grande quantité, ainsi que la rapidité du cycle, permet le maintien en place et même l'extension des algues présentant ce type de reproduction. Ainsi que le mentionne STEELE *et al.* (1977), une pollution faible et chronique entraîne des changements écologiques sensibles sur les populations algales plus que ne le ferait un apport massif et ponctuel d'hydrocarbures.

Dans l'ensemble, on peut considérer comme étant sévèrement touchées et soumises à une repollution périodique les régions à sédimentation fine (baie de Lannion, baie de Morlaix, abers) qui non seulement ont piégé une grande quantité d'hydrocarbures mais, par le biais des phénomènes de transports des zones à haute énergie hydrodynamique vers celles à basse énergie hydrodynamique, continuent à accumuler ces composés hydrocarbonés. Des diverses catastrophes pétrolières que nous avons mentionnées, il ressort que les fuels et autres produits plus ou moins raffinés sont plus toxiques que les bruts. L'association de détergents n'entraîne en général qu'une dégradation plus importante des biotopes.

Un des problèmes les plus fréquemment rencontrés lors de cette étude et dans d'autres travaux est celui de la variabilité inhérente à des écosystèmes considérés comme sains. Il n'est pas rare de trouver des écarts-types de l'ordre ou même supérieur à 100 % de la valeur moyenne. L'utilisation d'une norme pour déterminer les effets possibles sur des peuplements s'avère particulièrement nécessaire.

BIBLIOGRAPHIE

- BÉRARD-THÉRIEAULT (L.) et CARDINAL (A.), 1973. — Variation de la teneur en acide alginique des Fucacés de l'estuaire du Saint-Laurent (Québec) en fonction de certains facteurs écologiques. — *Bot. Mar.*, **16** : 96-102.
- BERNE (S.) et d'OZOUVILLE (C.), 1979. — "Amoco Cadiz", cartographie des apports polluants et des zones contaminées. — C.N.E.X.O., mai 1979.
- BESLIER (A.), BIRRIEN (J.-L.), CABIOCH (L.), d'OZOUVILLE (J.-L.), LARSONNEUR (C.) et LE BORNE (L.), 1979. — La pollution du sublittoral au nord de la Bretagne par les hydrocarbures de l'"Amoco Cadiz". — Distribution et évolution. — Colloque "Amoco Cadiz", C.O.B., Brest.
- BLACK (W.A.P.), 1948. — The seasonal variation in chemical constitution of some of the sublittoral seaweeds common to Scotland, Part II: *Laminaria digitata*. — *J. Soc. Chem. Ind., Lond.*, **67** : 169-172.
- BONEY (A.D.), 1974. — Toxicity studies with an oil spill emulsifier and the green algae, *Prasinocladus marinus*. — *J. mar. biol. Assoc. U.K.*, **50** : 461-473.
- CABIOCH (L.), 1968. — Contribution à la connaissance des peuplement benthiques de la Manche occidentale. — *Cah. Biol. mar.*, **9** (5) : 489-720.
- CARDINAL (A.), 1977. — Variation de la teneur en acide alginique des laminariales de l'estuaire maritime du Saint-Laurent (Québec). — *Botanica marina*, **20** (4) : 243-251.
- CHASSÉ (C.), 1978. — Impact écologique dans la zone côtière concernée par la marée noire de l'"Amoco Cadiz". — *Mar. Poll. Bull.*, **9** (11) : 298-301.
- CLARK (R.C.) et BLUMER (W.), 1967. — Distribution of N-paraffins in marine organisms and sediments. — *Limnol. Oceanogr.*, **12** : 79-87.
- CLARK (R.C.) et FINLEY (J.S.), 1973. — Techniques for analysis of paraffin hydrocarbons and for interpretation of data to assess oil spill effects in aquatic organisms. — *In Proc. Joint Conf. Prevention and Control of Oil Spills*, 161-172. American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- CLARK (R.C.), FINLEY (J.S.), PATTEN (B.G.) et DENIKE (E.E.), 1975. — Long-term chemical and biological effects of a persistent oil spill following the grounding of the "General M.C. Meigs". — *In Proc. Conf. Prevention and Control of Oil Pollution*, San Francisco, Calif. Am. Pet. Inst., Washington, D.C., 479-487.
- CLARK (R.C.), PATTEN (B.G.) et DENIKE (E.E.), 1978. — Observations of a Cold-Water Intertidal Community after 5 years of a low-level, persistent oil spill from the "General M.C. Meigs". — *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **35** : 754-765.
- COSSON (J.), 1967. — Etude d'une population de *Laminaria digitata* Lam. (biométrie, croissance, régénération). — *Bull. Soc. Lin. Normandie*, **10** (8) : 247-281.
- 1976. — Evolution de la fertilité des populations de *Laminaria digitata* (L.), Lamouroux (Phéophycée, Laminariales) au cours de l'année. — *Bull. Soc. Phycol. FR.*, **21** : 28-34.
- CULLIANE (J.P.), MC CARTHY (P.) et FLETCHAR (A.), 1975. — The effect of oil pollution in Bantry Bay. — *Mar. Poll. Bull.*, **6** : 173-177.
- DAVARIN (I.A.), MINOROV (Q.G.) et TSIMBAL (I.M.), 1975. — Influence of oil in nucleic acid of algae. — *Mar. Poll. Bull.*, **6** : 13-15.
- DISALVO (L.H.), GUARD (H.E.) et TRY (K.), 1975. — Comparative hydrocarbon content of algae from a San Francisco Bay wharf and a California coastal inlet. — *Phycologia*, **15** : 245-247.
- DRACH (P.), 1949. — Première recherches en scaphandre autonome sur les formations de laminaires en zone littorale profonde. — *C.R. Somm. Soc. Biogéogr.*, **227** : 46-49.
- FLOCH (J.Y.), 1978. — Suivi écologique des algues de Portsall in Catastrophe de l'"Amoco Cadiz". — Résultats préliminaires des travaux entrepris par l'I.E.M. — Ed. Université de Bretagne Occidentale, 23-27.
- FLOCH (J.Y.) et DIOURIS (M.), 1979. — Impact du pétrole de l'"Amoco Cadiz" sur les algues de Portsall: suivi écologique dans une anse très polluée. — Colloque "Amoco Cadiz", C.O.B., Brest.
- HAMEL (G.), 1938. — Phéophycées de France. — *Rev. Alg.*, **4** : 241-336.
- HARRIES (R.), 1932. — An investigation by cultural methods of some of the factors influencing the development of the gametophytes and the early stages of the sporophytes of *Laminaria digitata*, *Laminaria saccharina* and *Laminaria cloustonii*. — *Ann. Bot. Lond.*, **46** : 893-928.
- HAUG (A.) et JENSEN (A.), 1956. — Seasonal variation in chemical composition of *Laminaria digitata* from different parts of the norwegian coast. — *Proc. Int. seaweed symp.*, **2** : 10-15.
- HAUG (A.) et LARSEN (B.), 1964. — Study on the composition of alginates. — *Proc. Int. seaweed symp.*, **4** : 331-337.
- KAAS (R.), 1979. — Evolution des peuplements algaux exploitables depuis le naufrage de l'"Amoco Cadiz". — Colloque "Amoco Cadiz", C.O.B. (Brest). — Série acte de colloque.
- KOPP (J.), 1975. — Contribution à l'étude de l'algue *Chondrus crispus* Stack. — Biochimie des carraghénanes qui en sont extraits. — Thèse de 3^e cycle, Université de Bretagne occidentale.
- LEGENDRE (L. et P.), 1979. — Ecologie numérique. — Paris: Masson et les Presses de l'Université du Québec, 2 tomes: 197 et 247 p.

- MANN (K.H.), 1972. — Ecological energetics of the seaweed zone in a marine bay on the Atlantic coast of Canada. — I. Zonation and biomass of seaweeds. — *Mar. Biol.*, **12**: 1-10.
- MANN (K.H.) et CLARK (R.B.), 1978. — Long-term effects of oil spills on marine intertidal communities. — *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **35**: 791-795.
- MARCHANT et CAPRAIS (M.P.), 1979. — Suivi chimique de la pollution de l'« Amoco Cadiz » dans l'eau de mer et les sédiments marins. — Colloque "Amoco Cadiz", (Brest). — Série acte de colloque.
- N.O.A.A./E.P.A., 1978. — The Amoco Cadiz oil spill a preliminary scientific report N.O.A.A.-E.P.A. special report. — W.N. Hess (Ed.) Washington D.C.: 283 p.
- NELSON-SMITH (M.), 1973. — Oil Pollution and Marine Ecology. — Plenum Press, New York, 260 p.
- NORTH (W.J.), NEUSHUL (M.) et CLENDENNING (K.A.), 1965. — Successive biological changes observed in a marine cove exposed to a large spillage of mineral oil. — *In Symp. Poll. Mar. Micro-org. Prod. Petrol. Monaco*, pp. 335-354.
- NOTINI (W.), 1978. — Long term effects of an oil spill on *Fucus* macrofauna in a small Baltic bay. — *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **35**: 745-753.
- O'BRIEN (P.) et DIXON (P.S.), 1976. — The effects of oil and oil components on algae: a review — *Br. Phycol. J.*, **11**: 115-142.
- 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), 117-122.
- 1968. — Croissance de *Laminaria digitata* (L.) Lamouroux, étudié sur trois années consécutives. — *VI. Symp. inter. Alg. mar.*, Santiago de Compostella.
- 1969. — Etude biométrique d'une population de *Laminaria digitata* Lamouroux de l'étage infralittoral profond. 1. Résultats relatifs aux dimensions des thalles. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **33** (1): 117-135.
- 1970. — Longévité du sporophyte de *Laminaria digitata* (L.) Lamouroux. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **34** (3): 363-373.
- 1971. — 1971. — Ecologie, croissance et régénération, teneurs en acide alginique de *Laminaria digitata* sur les côtes françaises de la Manche. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **35** (3): 287-346.
- 1978. — L'accident de l'« Amoco Cadiz ». — Premiers résultats des observations faites par l'I.S.T.P.M. — *Science et Pêche*, n°s 283-284: 17-29.
- RICHARD (R.), 1930. — L'acide alginique (algine) et les alginates. — Société française des colloïdes 1-8.
- SAUVAGEAU (C.), 1975. — Recherches sur les laminaires des côtes françaises. — *Mem. Acad. Sci.*, Paris, **56** (1): 1-240.
- SCHAPOVA (T.F.) et KEREJEVA (M.S.), 1938. — Rates of growth ages and spore bearing of *Laminaria saccharina* and *Laminaria digitata* in Kola Fjord. — *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Moisk. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, **8**: 29-58.
- SEGEL (S.), 1956. — Non parametric statistics for the behavioral sciences. — Ed. International student. Mac Graw Hill: 312 p.
- SMIDSRØD (O.) et HAUG (A.), 1968. — A light scattering study of alginates. — *Act. Chem. Scand.*, **22**: 787-810.
- SMITH (J.E.) (ed), 1968. — « Torrey Canyon » Pollution and Marine Life. — Cambridge University Press, Cambridge.
- SOUTHWARD (A.J.) et SOUTHWARD (E.C.), 1978. — Recolonization of rocky shores in Cornwall after use of toxic dispersants to clean up the « Torrey Canyon » spill. — *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **35**: 682-706.
- SPIEGEL R. MURRAY, 1972. — Théorie et applications de la statistique. — Ed. Mac Graw Hill, série Shaum: 358 p.
- SPOONER (M.F.), 1978. — "Editorial introduction". — *Marine Pol. Bull.*, **9** (11): 281-284.
- STANFORD (E.), 1883. — On algin: a new substance obtained from some of the common species of marine algae. — *Chem. News*, **47**: 254-257 et 267-269.
- STEELE (R.L.), 1977. — Effects of certain petroleum products on the reproduction and growth of zygotes and juvenile stages of the alga *Fucus edentatus* DE LA PYL. (Phaeophyceae: Fucales). — In (D.A. Wolfe, ed.) Fate and effects of petroleum hydrocarbons in marine organisms and ecosystems, Pergamon Press, New York.
- STEWART (W.D.P.), 1974. — (ouvrage collectif), Algal physiology and Biochemistry Bot. Monographr. — Blackwell scient. publ. 990 p.
- SUNDENE (O.), 1958. — Infertility between forms of *Laminaria digitata*. — *Nytt Mag. Bot.*, **6**: 121-128.
- THOMAS (M.L.), 1973. — Effects of bunker C oil on intertidal and lagoonal biota in Chedabucto Bay, N.S.J. — *Fish. Res. Bd. Can.*, **30**: 83-90.
- THOMAS (M.L.H.), 1978. — Comparaison of oiled and unoled intertidal communities in Chedabucto Bay, Nova Scotia. — *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **35**: 707-716.

ANNEXE

LAMINARIA DIGITATA (L.) Lamouroux

Nomenclature.

Phylum : Chromophytes.

Appareil plastidal brun ou plus ou moins verdâtre.

Amidon absent. Amylon extra plastidal quand il existe.

Embranchement : Phéophycophytes.

Classe : Phéophycées ou Phaeophyceae.

Appareil végétatif de type protothalle ou cladome.

Appareil plastidal pariétal, brun. Pyrénoides non logés dans les plastes mais suspendus à eux.

Pas d'amidon, ni d'amydon. Réserves glucidiques formés par laminarine et mannitol.

Pigment : chlorophylle a et c + oxycarotènes (ex. fucoxanthine donnant la couleur brune).

Présence de physodes (inclusions riches en composés phénoliques) ou grains fucosane.

Ordre : Laminariales.

Algues de grandes dimensions dont les tissus présentent des différenciations caractérisées par l'alternance de génération entre le sporophyte macroscopique, uniquement porteur de sporocystes uniloculaires entremêlés de paraphyses et le gamétophyte microscopique unisexe.

Famille : Laminariacés.

Thalles dépourvus de poils. Présence de canaux à mucilage dans les tissus.

Genre : *Laminaria*.

Thalles formés d'un appareil fixateur (haptères), d'un stipe persistant, d'une lame découpée ou non, sans nervure. La lame présente dans sa partie basale une zone de croissance.

Espèce : *digitata*.

Stipe cylindrique légèrement aplati, lisse, flexible que prolonge une lame divisée en lanières. Des canaux à mucilage, présents dans la lame, sont absents dans le stipe.

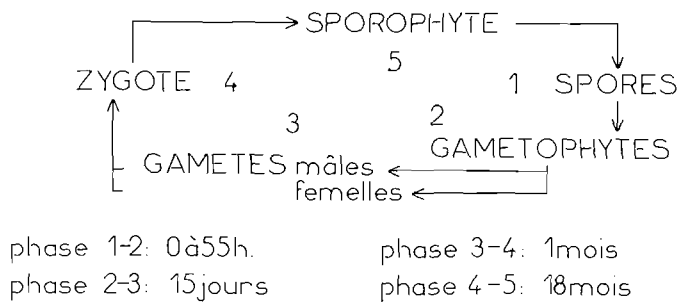
Mode de vie.

Espèce commune à la base de l'horizon inférieur de l'étage littoral et dans l'étage infralittoral. Elle vit sur les côtes rocheuses en compétition avec *Laminaria saccharina* et *Halidrys siliquosa*. C'est une espèce de zones moyennement battues et de zones à forts courants. Elle tolère des températures entre 0 et 18° C. *Laminaria digitata* est sténohaline.

Cycle de reproduction.

La reproduction est assurée par des zoospores biflagellées à un seul chromatophore issues des sporocystes. Les spores germent en donnant des prothalles de deux sortes. Les prothalles mâles émettent des bourgeons qui sont des anthéridies uniloculaires produisant un seul anthérozoïde. Les prothalles femelles produisent des oogones expulsant une seule oosphère immobile, souvent fécondée avant son expulsion complète. Le zygote germe en produisant un nouveau jeune sporophyte. Cycle digénétique hétéromorphe.

CYCLE DE REPRODUCTION



Composition chimique.

Teneur en eau	73 à 85 %
Teneur en substances minérales	19 à 42 % M.S.
Azote total	1,03 % M.S.
Carbone	30 % M.S.
Cellulose	3,7 % M.S.
Mannitol	4 à 27 % M.S.
Laminarine	0 à 24 % M.S.
Acide alginique	12 à 43 % M.S.
Protéine	4 à 14 % M.S.
Lipide	< 1 % M.S.

Structure de la molécule d'acide alginique.

L'acide alginique est un polysaccharide formé par l'enchaînement de groupes plus ou moins compacts d'acide polymannuronique et d'acide polyguluronique.