

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'ALGUE ROUGE *CHONDRUS CRISPUS* STACK.
RELATION ENTRE LA CROISSANCE, LA POTENTIALITE SEXUELLE,
LA QUANTITE ET LA COMPOSITION DES CARRAGHENANES**

par Joël KOPP et René PEREZ

Introduction.

L'algue rouge *Chondrus crispus* est employée depuis plus de 300 ans par l'homme pour la production d'un groupe de polysaccharides particuliers : les carraghénanes. Les premiers textes qui font référence à cette utilisation d'abord empirique puis industrielle remontent au XVII^e siècle. Or, paradoxalement, nos connaissances sur la biologie et la biochimie de cette espèce restent, en dépit de nombreux travaux, nettement insuffisantes pour permettre l'organisation rationnelle de l'exploitation.

En effet, si quelques études ont été réalisées sur la croissance végétative de l'algue, la dynamique de la population n'a pratiquement pas été abordée. De même, bien qu'on soit parvenu à définir les variations de la teneur en carraghénanes des échantillons, la production de la population dans son ensemble avec ses frondes d'âges, de potentialités reproductrices et de physiologie différentes, reste à évaluer. Or, ces deux données (dynamique et productivité en carraghénanes) sont indispensables à l'établissement d'une gestion rationnelle des peuplements. Il était nécessaire de les déterminer. Les travaux dont ce mémoire regroupe les résultats ont été réalisés dans cette optique.

La première partie de nos recherches porte sur la croissance, tant au niveau de l'individu que de la population, ainsi que sur les paramètres qui conditionnent l'évolution du peuplement.

La deuxième partie est axée sur les fluctuations saisonnières de la teneur en différents carraghénanes et l'influence des facteurs physiologiques.

Enfin, la troisième partie tente d'intégrer l'ensemble des résultats pour parvenir à une vue synoptique des états de la population en fonction de l'effort de récolte et des conditions écologiques locales.

Nous aurions pu essayer tout d'abord de faire une synthèse des connaissances actuelles sur *Chondrus crispus*. Mais, nous n'aurions pu faire mieux que MAC FARLANE (1968). Aussi préférons-nous renvoyer le lecteur à cet auteur, nous limitant ici à rappeler les points nécessaires à la compréhension de cet exposé.

Chondrus crispus est une algue rouge (classe des Rhodophycées) de l'ordre des gigartinales et de la famille des gigartinacées. Elle se présente sous forme de frondes dressées de 8 à 15 cm de hauteur à partir d'un disque fixateur. « La base de chacune, d'abord étroite et plus ou moins

cylindrique, s'applatit et s'élargit progressivement en lame mince qui se ramifie en éventail dans un même plan par ramifications successives. Les organes de reproduction forment de légères proéminences sur les dernières ramifications » (SAUVAGEAU, 1920).

Ce disque se développe d'une manière continue, mais les frondes sont éphémères.

La couleur généralement rouge, et même pourpre sombre en hiver, s'éclaircit progressivement lorsque la luminosité croît, jusqu'à devenir vert clair en été dans les plus hauts niveaux.

Lé polymorphisme de cette espèce est sans doute à l'origine des discussions nées au sujet du nombre de variétés reconnues : 6 pour NEWTON, 35 pour LAMOUREUX. En réalité, il semble que l'on rencontre tous les intermédiaires entre les formes les plus extrêmes.

Alors que toutes les autres espèces du genre *Chondrus* sont endémiques des côtes de l'océan Pacifique, *Chondrus crispus* est typiquement atlantique et boréale. Le long des côtes européennes, on la rencontre en effet du Maroc au cap Nord. Sur les rivages américains, elle est connue de l'embouchure du Saint-Laurent au New Hampshire.

La zone de fixation s'étend du niveau du *Fucus serratus* (environ 1 m au-dessus de la limite des plus basses mers) au niveau — 20 ou 25 m. Seuls quelques rares plants atteignent cette profondeur sur les côtes européennes, alors que le long des côtes canadiennes, on y trouve de vastes peuplements, ce qui laisse pressentir quelques différences dans la potentialité de l'espèce en ces zones.

Le cycle reproducteur est typiquement celui d'une gigartinacée. Il se compose de deux phases, l'une haploïde, l'autre diploïde.

Les pieds mâles libèrent à maturité des cellules aplanocytiques ou spermaties à valeur de gamètes mâles.

Les pieds femelles produisent à l'intérieur même de leur tissus des gamétocystes se terminant par un fin prolongement qui émerge à l'extérieur : le trichogyne. Le contenu du gamétocyste a valeur de gamète femelle. Il ne sera pas libéré. L'ensemble gamétocyste, gamète femelle et trichogyne constitue le carpogone. Ce dernier, après une courte période de latence, entre en liaison par un ou plusieurs ponts cytoplasmiques avec une cellule différenciée : la cellule auxiliaire. L'organisme résultant de cette fusion est appelé procarpe. Autour de celui-ci, les cellules végétatives se multiplient jusqu'à former un tissu protecteur et nourricier dont l'épaisseur se traduit à la surface du thalle par un renflement : le cystocarpe.

Le procarpe se divise et donne un organisme particulier aux Rhodophycées : le gonimoblaste qui se désarticule en cellules uninuclées et diploïdes, émises dans le milieu extérieur par une ouverture ou ostiole : les carpospores. Chacune de ces carpospores germe en un thalle identique en taille et en forme aux pieds mâles et femelles mais contenant dans ses noyaux 2 n chromosomes : le tétrasporophyte.

Celui-ci produit, à partir de cellules-mères subissant la réduction chromatique, des spores dont l'accumulation à certains points de la lame forme des taches de 3 à 4 mm visibles à l'œil nu : les sores. Les spores émises dans le milieu naturel donnent naissance à des pieds mâles et à des pieds femelles.

Les thalles femelles sont facilement reconnaissables dans la nature lorsqu'ils ont été fécondés en raison du renflement caractéristique du cystocarpe. Les tétrasporophytes se repèrent aisément grâce aux taches marrons et sans relief que forment les sores sous la surface de la fronde.

Chondrus crispus est utilisée en raison des polysaccharides présents dans sa paroi cellulaire : les carraghénanes. Elle livre, en effet, à l'extraction, une poudre blanchâtre composée en fait d'un mélange de plusieurs fractions dont les deux principales peuvent être séparées grâce à leur différence de solubilité dans une solution de chlorure de potassium.

La fraction soluble est nommée lambda carraghénane ; la fraction insoluble, kappa carraghénane. Ce sont des esters de polysaccharides sulfatés, dont le poids moléculaire peut atteindre 2 500 000 et le degré de polymérisation 1 500.

Kappa carraghénane.

Les chaînes moléculaires sont constituées par des séquences à deux motifs : le motif B d galactopyranose (sulfaté) et le motif 3-6 anhydro B d galactopyranose. Elles tendent vers une

disposition en hélice et peuvent, de ce fait, s'imbriquer les unes dans les autres, d'où l'aptitude du kappa carraghénane à donner des gels.

Lambda carraghénane.

Les chaînes de lambda carraghénane sont aussi des séquences de deux monomères : le B d galactopyranose-2 sulfaté et le B d galactopyranose-2-6 sulfaté. Elles ne contiennent pas de radical hydrophobe. La disposition spatiale n'est pas en hélice mais en zig-zag, ce qui empêche la constitution de gel mais favorise la production de hautes viscosités.

Toutes les utilisations de carraghénanes sont basées sur l'une des trois propriétés suivantes : possibilité d'élever la viscosité des solutions aqueuses ; aptitude à former des gels ; réactivité vis-à-vis des protéines surtout en présence de calcium (protéines du lait).

Aussi, les emploie-t-on dans des branches aussi diverses que la peausserie, l'industrie des peintures, le textile, la métallurgie, la parfumerie, la photographie, l'industrie alimentaire, particulièrement dans les mets préparés, les laitages, les sauces, les glaces, les boissons chocolatées, les confitures, les pâtisseries, les pâtes alimentaires, les fruits séchés, le vin, la bière, l'industrie pharmaceutique comme gélifiant, liant ou stabilisant et comme cicatrisant spécifique des ulcères gastriques.

La production mondiale des carraghénanes en 1975 a été de 8 700 t, c'est-à-dire inférieure à une demande qui ne cesse de croître. Or, la plupart des champs exploitables sont déjà largement sollicités ; certains même, comme ceux d'Indonésie, ont été soumis à une surexploitation telle qu'ils sont en voie de disparition.

Pour éviter qu'il en soit de même de nos champs de *Chondrus crispus*, il devient urgent, à la fois, de tenter de développer la culture et d'organiser rationnellement l'exploitation des peuplements naturels. Dans cette double optique, nos connaissances sur la biologie générale de l'algue, la dynamique des peuplements et l'évolution saisonnière des produits à extraire doivent être approfondies.

Les marquages d'algues, la plupart des observations et des prélèvements pour analyse ont été réalisés à l'extrémité nord-ouest de l'île de Noirmoutier, au lieu-dit " pointe de l'Herbaudière ". Entre le niveau de *Fucus vesiculosus* et celui de *Laminaria hyperborea* (il n'y a pas ici de *L. digitata*), s'étend, en effet, un magnifique peuplement de *Chondrus crispus* (fig. 1).

I. Evolution annuelle d'un peuplement de *Chondrus crispus*.

L'évolution annuelle d'un peuplement peut dépendre de nombreux facteurs ; nous avons analysé ceux qui sont, *a priori*, les plus importants : la croissance, la mortalité, la longévité, les périodes de reproduction.

1° Etude de la croissance.

Nos travaux sur la croissance ont été réalisés, d'une part, au niveau de l'individu et selon la potentialité sexuelle de celui-ci, au moyen de nombreux marquages, d'autre part, au niveau de la population par une étude statistique de la fréquence-taille.

a) *Les méthodes de travail.*

Les marquages.

La marque était un ruban adhésif en plastique coloré qui, muni d'un numéro, était plié en deux ailes de façon à enserrer étroitement la base de la fronde et à ce que la face collante d'une aile vienne s'appliquer contre la face collante de l'autre aile. La légèreté de ce matériau lui permet de suivre aisément et sans à-coup le mouvement de l'algue.

500 gamétophytes femelles portant des cystocarpes, 500 sporophytes reconnaissables à leurs sores et 500 plants stériles furent ainsi repérés pour l'étude de la croissance. Parmi les 500 frondes stériles, certaines se révélèrent par la suite des gamétophytes femelles, d'autres des sporophytes ; il en resta un certain nombre dont nous n'avons pas pu déterminer la potentialité sexuelle ; nous les avons désignés par commodité sous le nom impropre de « neutres ».

La meilleure façon d'évaluer la production tissulaire aurait été de déterminer directement le poids des frondes. Mais, pour ce faire, il aurait fallu arracher l'algue, ce qui interdirait des mesures suivies.

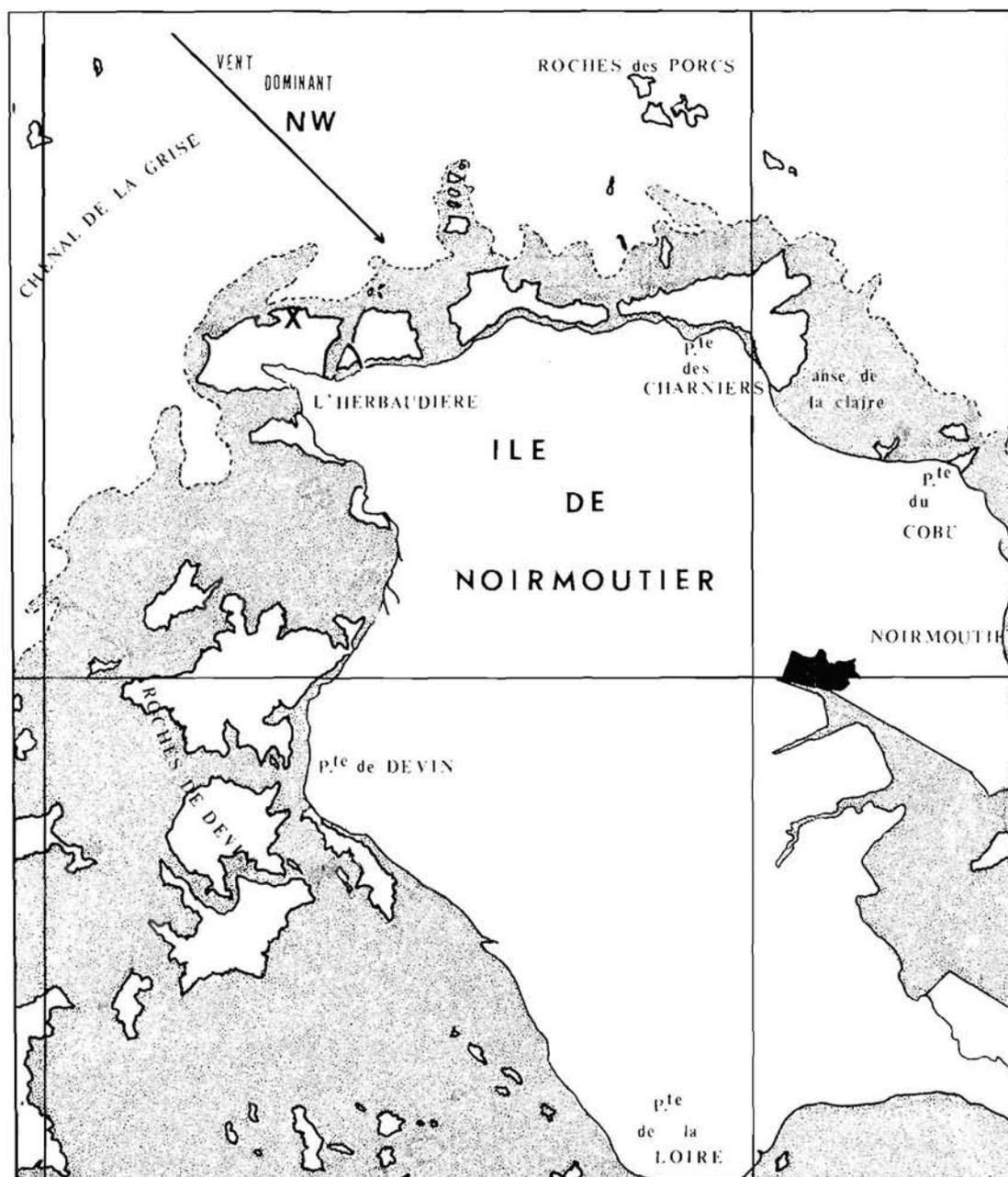


FIG. 1. — Pointe nord-ouest de l'île de Noirmoutier ; position du champ de *Chondrus crispus* sur lequel ont été réalisés les marquages.

TAYLOR s'est basé sur l'évolution de la surface ; cette méthode nous a paru difficile à appliquer. Aussi, avons-nous choisi de mesurer simplement la longueur puis de transformer cette valeur en poids par référence à une table de conversion ; la relation taille-poids a été

établie en séchant et pesant 100 individus de mêmes dimensions pour chaque longueur de 1 à 19 cm. Ces résultats sont indiqués dans le tableau 1.

Leur programmation sur ordinateur a permis de définir les équations donnant le poids sec de la fronde lorsqu'on connaît sa longueur. Si l'algue a moins de 10 cm de long, le poids P est obtenu par la formule :

$$P = e 0,531 L - 659.$$

Si l'algue a plus de 10 cm, le poids correspondant est :

$$P = e 0,1885 L - 3,299.$$

Ce coefficient de corrélation est bon : 0,9799 dans le premier cas, 0,961 dans le second.

Aussi, connaissant la croissance en longueur des thalles marqués, nous pourrions estimer d'un mois à l'autre leur croissance pondérale.

Longueur en cm	Poids sec en g	Longueur en cm	Poids sec en g
1	0,002	10	0,274
2	0,003	11	0,306
3	0,008	12	0,338
4	0,012	13	0,414
5	0,025	14	0,484
6	0,048	15	0,600
7	0,051	16	0,750
8	0,105	17	0,850
9	0,114	18	1,020
		19	1,120

TABLE. 1. - Relation taille-poids de l'algue *Chondrus crispus*.

L'étude statistique.

Le travail statistique a consisté à mesurer toutes les frondes contenues dans des carrés de 10 cm de côté jusqu'à concurrence de 200 individus et à définir la fréquence pour chaque intervalle de classe de 1 cm.

Nous avons ainsi obtenu mensuellement une courbe qui comporte un certain nombre de pics, chacun représentatif d'une classe de taille. Si l'on confronte deux courbes successives (fig. 2), on observe de l'une à l'autre un « déplacement » de ces pics vers la droite mettant en évidence la croissance de la population.

Chacune des deux méthodes appliquée seule est incomplète. Les marquages donneront une idée de la croissance des grands échantillons, c'est-à-dire des algues susceptibles d'être récoltées mais non de l'ensemble du peuplement. Par la fréquence des tailles, on peut connaître la production générale mais la valeur pondérale de la partie exploitable sera imprécise. La juxtaposition des deux méthodes permettra donc de mieux cerner la réalité.

Les thalles sur lesquels a porté cette étude ont été marqués ou prélevés à un niveau qui n'est accessible qu'à basse mer de vive-eau ; de ce fait, les périodes d'observations n'ont pas toutes été espacées exactement d'un mois ; c'est pourquoi le taux de croissance sera exprimé, non par mois, mais par accroissement journalier.

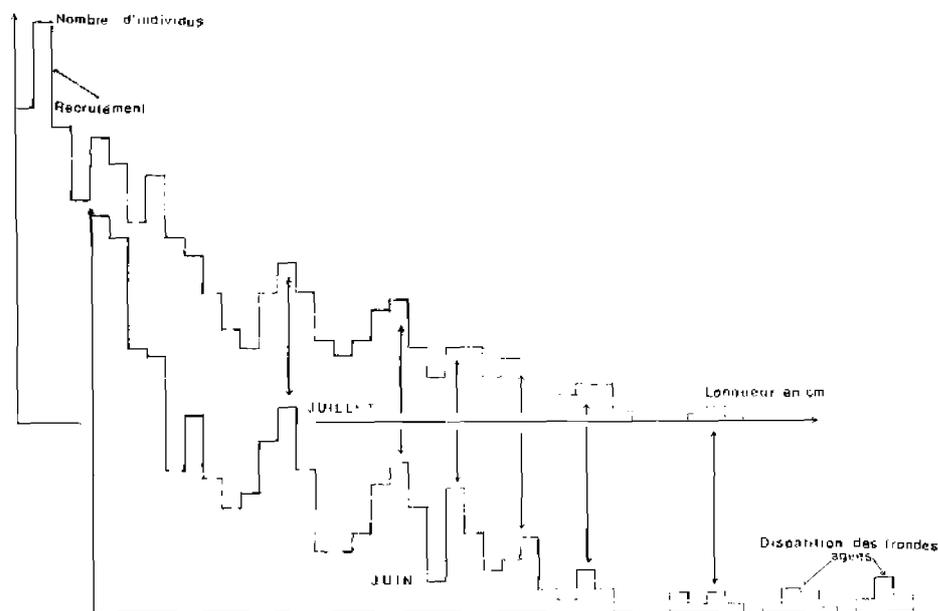


FIG. 2. — Evaluation de la croissance par la comparaison des fréquences-tailles successives ; on assiste ici à la disparition des frondes les plus âgées et à l'apparition d'un nouveau pic.

Potentialité de l'algue	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Moyennes
Femelles	0,46	0,35	0,50	0,17	0,32	1,03	0,53	0,42	0,63	0,65	0,63	0,58	0,52
Sporophytes	0,34	0,30	0,36	0,37	0,30	0,91	0,36	0,31	0,51	0,60	0,60	0,63	0,47
« Neutres »	0,64	0,44	0,53	0,10	0,43	1,07	0,69	0,47	0,94	0,76	0,65	0,68	0,62
Moyenne	0,55	0,39	0,52	0,11	0,38	1,03	0,65	0,44	0,83	0,70	0,61	0,59	0,57

TABL. 2. — Fluctuation des pourcentages de croissance journalière longitudinale.

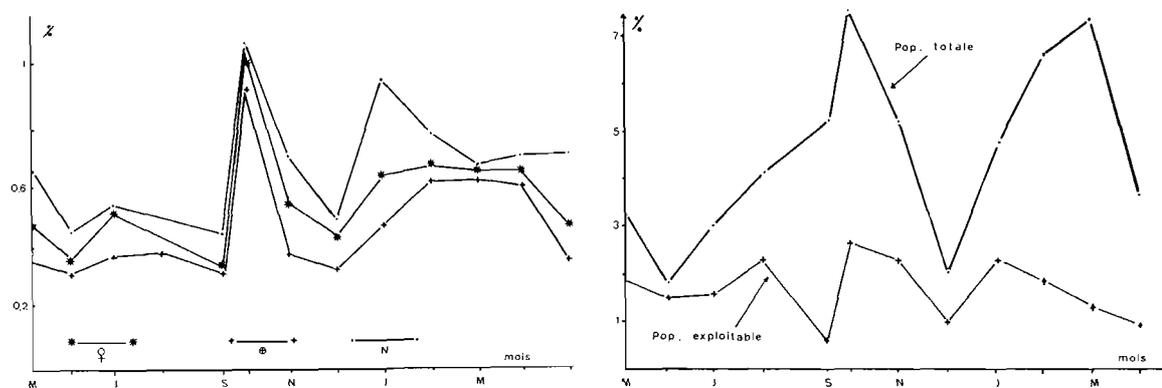


FIG. 3. — A gauche, fluctuations mensuelles de la croissance évaluées en pourcentage d'accroissement journalier et en fonction des potentialités sexuelles des frondes étudiées ; à droite, fluctuations mensuelles de la croissance pondérale établies à partir de l'analyse mensuelle de la fréquence-taille de la population.

b) *Résultats de marquages.*

Les valeurs obtenues pour la croissance longitudinale entre avril 1974 et mai 1975 sont regroupées sur le tableau 2. Nous avons pris soin de séparer ceux concernant les sporophytes de ceux relatifs aux gamétophytes femelles et aux « neutres ».

Au vu des courbes correspondantes (fig. 3), plusieurs constatations s'imposent.

Il apparaît que le développement de l'algue subit des fluctuations saisonnières importantes : l'accroissement est rapide de janvier à avril (0,68 %), puis se stabilise pendant une courte période. Ces résultats confirment les données partielles recueillies par GUEGUEN à Roscoff entre 1961 et 1964 et semblent s'apparenter à celles de TAYLOR bien que la différence de méthode rende la comparaison difficile.

Les individus « neutres » ont généralement un développement plus rapide que les sporophytes ou les gamétophytes femelles ; leur croissance moyenne se situe à 0,66 % par jour au cours de l'année contre 0,55 % pour les gamétophytes femelles et 0,47 % pour les sporophytes.

La croissance des pieds femelles dépasse dans tous les cas celles des sporophytes, aussi bien pendant les périodes de fertilité que durant les périodes purement végétatives.

Dates	Fronde A		Fronde B	
	Croissance moyenne (cm)	Croissance journalière moyenne (en %)	Croissance moyenne (cm)	Croissance journalière moyenne (en %)
23 avril	4,5	1,85	5	0,67
23 mai	7,0		6	0,30
20 juin	8,0	0,20	6,5	0,00
18 juillet	8,5	0,43	6,5	0,24
19 août	10,0	1,33	7	0,00
29 septembre	12,0	0,57	7	0,48
14 octobre	14,0	0,69	7,5	0,00
12 novembre	17,0	moyenne 0,80	7,5	moyenne 0,24
13 décembre	disparue		disparue	
Croissance totale : 278			Croissance totale : 50	

TABLE. 3. — Exemple de variation des taux de croissance individuelle.

Il ne semble pas qu'il y ait des variations de croissance lorsque l'algue passe de l'état stérile à l'état fertile : le taux de développement suit la même évolution quel que soit l'état de l'algue.

Nous avons noté que quelques individus manifestaient un développement exceptionnel par rapport à la moyenne : le tableau 3 en donne l'exemple. Il rapporte les longueurs successives de deux gamétophytes femelles, de même aspect, vivant dans le même lieu et supportant donc les mêmes conditions : en huit mois, la fronde A s'est accrue de 278 %, la fronde B de 50 %.

c) *Résultats de l'analyse statistique.*

Etablissement des histogrammes.

La détermination de la fréquence-taille, en utilisant un intervalle de classe de 10 mm, nous a amené à la constitution d'un histogramme mensuel (fig. 2). Chaque sommet de l'histogramme

Méthode de travail	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril
Marquages	0,55	0,39	0,52	0,11	0,38	1,03	0,65	0,44	0,83	0,70	0,61	0,59
Fréquence-taille	0,61	0,30	0,50	0,52	0,23	0,99	0,62	0,33	0,85	0,71	0,64	0,67

TABLE. 4. — Comparaison des résultats obtenus sur la croissance des algues en fonction de la technique d'étude.

												Avril
											Mars	R 5
										R 5	17	
									Févr.	15	55	
								Janv.	R 5	35	75	
							Déc.	R 5	20	55	90	
						Oct.	Nov.	R 5	25	45	75	100
					Sept.	R 15	15	20	40	70	100	120
				R 5	35	35	50	65	100	120	135	
			Août	R 20	40	60	75	90	115	140	170	
		Juin	Juil.	R 5	45	60	90	100	120	135	155	180
Avr.	Mai	R 5	10	30	55	75	100	110	145	160	180	+
R 5	10	20	30	60	75	90	110	125	160	187	200	+
17	35	45	60	80	85	110	130	?	?	200	+	
30	45	55	80	100	115	125	150	160	+			
55	80	90	100	120	140	145	170	+				
75	90	100	120	145	155	175	200	+				
90	100	120	140	165	175	185	215	+				
100	120	135	160	180	190	195	+					
120	137	160	170	197	?	210	+					
135	160	170	190	215	+							
170	180	190	+									
180	200	215	220	240	+							

TABLE. 5. — Evolution (en cm) de la taille atteinte par les différentes classes au cours de nos observations ; + : classe disparue ; ? : classe non observée ; R : recrutement.

caractérise la taille moyenne d'une classe modale. Ainsi, en suivant, d'un histogramme à l'autre, la progression de chaque sommet, donc de la taille moyenne, on peut calculer la croissance de cette dernière.

Les résultats découlant de cette analyse sont aussi précis que ceux établis par les mesures individuelles. En effet, si l'on prend soin de se référer seulement à des frondes de dimensions semblables dans les deux cas, on constate que les taux de croissance journaliers définis chaque mois d'après les deux méthodes (tabl. 4) sont très proches. Le mois d'août constitue cependant une exception qui peut être expliquée par la trop faible quantité d'algues baguées à cette période.

Le test qui prend comme hypothèse nulle la similitude des deux séries conduit à un pourcentage de fiabilité de 99,5 % pour 11 degrés de liberté ; le résultat obtenu peut donc être qualifié de hautement significatif.

Croissance des classes modales.

Le tableau 5 regroupe les résultats tirés de la confrontation des histogrammes. La longueur des différentes classes modales relevée au même moment doit se lire verticalement tandis que l'allongement de chacune peut être déterminé par soustraction horizontale.

On constate que les jeunes frondes ont une croissance longitudinale très rapide ; leur taille double en un mois, quelle que soit la période de l'année. Il n'est donc pas surprenant que la croissance de la totalité de la population soit toujours supérieure en pourcentage journalier à celle de la population représentée par l'ensemble des pieds marqués (tabl. 6).

Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril
1,22	0,79	1,12	1,32	2,61	3,95	1,82	0,59	2,90	2,16	3,44	3,76

TABL. 6. — Croissance moyenne de l'ensemble de la population.

Le tableau 7 permet d'évaluer l'augmentation journalière de la longueur moyenne en millimètres indépendamment de la taille de départ. Les périodes de fort développement correspondent bien à ce que les marquages avaient permis de déceler : croissance importante et prolongée de janvier à avril, très forte croissance de courte durée en octobre.

Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril
0,54	0,46	0,57	0,72	0,41	1,00	0,75	0,37	0,74	0,73	0,80	0,91

TABL. 7. — Augmentation journalière moyenne de la taille (exprimée en mm).

Relation longueur-âge.

En considérant l'allongement journalier moyen en millimètres, il est possible de calculer, par périodes de référence de 30 jours, la taille hypothétique d'une fronde après plusieurs mois

Age en jours	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Longueur en cm	0	1,62	3	4,71	6,87	8,1	11,1	13,35	14,46	16,68	18,87	21,27	24

TABL. 8. — Développement longitudinal théorique d'une fronde (en cm).

de vie ; c'est ce qui a été inscrit dans le tableau 8, au moyen duquel nous avons tracé la courbe de la figure 4 où la taille est portée en ordonnée et le temps en abscisse.

Si pour simplifier, on considère que la croissance de *Chondrus crispus* est linéaire, l'équation de la droite la plus proche de la ligne brisée obtenue est : $L \text{ en cm} = 1,857 T \text{ (en mois)} - 0,3$.

Elle permet, connaissant l'âge d'une fronde, de déterminer sa taille moyenne, et connaissant la taille moyenne, de calculer l'âge. En outre, elle conduit à penser que le développement de *Chondrus crispus* est continu. Pour le vérifier, nous avons tenté d'établir le diagramme de

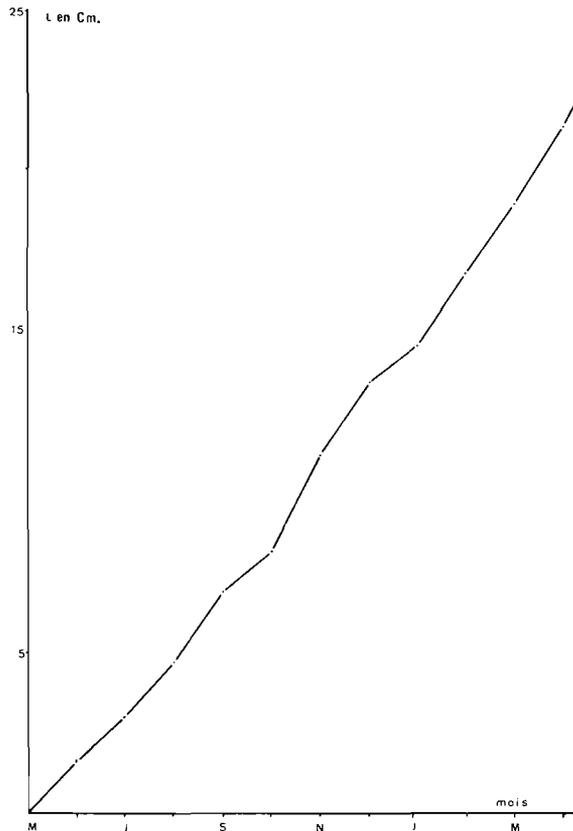


FIG. 4. — Courbe de croissance longitudinale établie par l'analyse théorique des résultats obtenus.

WALFORD en étudiant les variations de la moyenne des tailles des classes II, III et IV entre avril et novembre : le parallélisme entre la droite obtenue et la bissectrice d'équation $y = x$ apporte la confirmation recherchée (fig. 5).

La taille moyenne envisageable pour cette espèce n'est donc pas définissable. Ceci est en accord avec le fait que dans le cas d'une culture, c'est-à-dire dans un milieu enrichi et protégé, l'algue parvient à des dimensions infinies ; NEISH et son équipe l'ont parfaitement démontré en obtenant par fragmentation et régénération successives plus de 2 t de tissus en partant de 7 g d'algues.

Or, dans la nature, les longueurs excèdent rarement 20 à 22 cm ; on peut donc penser que la limitation de la taille résulte surtout de phénomènes extérieurs à la croissance, à savoir récolte, broutage par les herbivores, arrachage par le mouvement des eaux dès que la surface de la fronde est telle qu'elle offre trop de prise à la houle, etc.

Croissance pondérale.

Connaissant la longueur moyenne de chaque classe de taille (tabl. 5) et la relation taille-poids définie précédemment (tabl. 1), il est aisé de déterminer pour chaque mois le poids moyen des frondes composant chaque classe modale (tabl. 9).

La comparaison des poids observés de mois en mois nous donne le pourcentage de croissance pondérale mensuelle (tabl. 10).

Classe d'âge					Sept.		Oct.		Nov.		Déc.		Janv.		Fév.		Mars		Avril	
	Mai	Juin	100	250	257	556	79	33	93	66	28									
XII																				
XI	100	100	75	371	118	308	46													
X	165	67	120	191	30	184	76	21												
IX	124	67	284	190	16	76	60													
VIII	284	71	70	28	46	93	60													
VII	128	70	28	60	15	85	76													
VI	69	28	46	60	21	45														
V	28	32	60	46	21	46														
IV	38	54	21	66																
III	60	21	46	60																
II	21	21																		
I	46	33																		
Moyen. journalières (population totale)	3.22	1.83	3.03	4.13	5.21	14.53	5.20	1.98	4.76	7.22	8.22	3.7								
Moyen. journalières (population exploitable)	1.85	1.47	1.60	2.27	0.60	5.89	2.28	1.04	2.30	1.83	1.30	0.9								

TABL. 10. — Croissance pondérale de chaque classe d'âge (les moyennes sont exprimées en taux d'accroissement journalier).

De la même façon que nous avons établi la croissance longitudinale moyenne d'une fronde théorique par rapport à son âge, nous pouvons définir sa croissance pondérale (fig. 6) en reprenant le tableau 8 et en faisant la conversion en poids (tabl. 11) au moyen de la relation taille-poids.

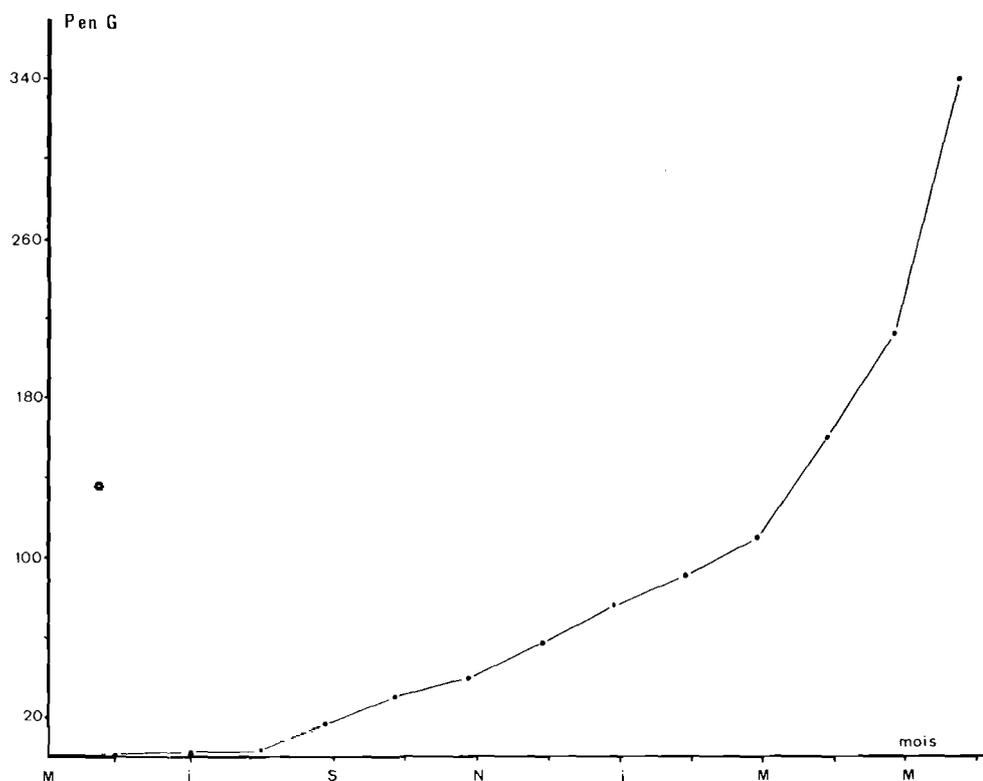


FIG. 6. — Courbe de croissance pondérale établie à partir de la courbe de croissance longitudinale.

L'équation qui donnera l'âge d'une fronde lorsqu'on connaît son poids, ou le poids de celle-ci à partir de son âge, s'écrit ainsi :

Age en jours	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Poids en g	0	0,003	0,007	0,017	0,053	0,101	0,299	0,457	0,564	0,857	1,294	2,035	3,404

TABL. 11. — Croissance pondérale théorique d'une fronde.

pour les algues ayant plus de 10 cm de longueur :

$$P = e^{353 T} - 3,356 ;$$

pour les algues ayant moins de 10 cm de longueur :

$$P = e^{0,996 T} - 6,749.$$

d) *Autres données biologiques.*

Les méthodes utilisées pour l'étude de la croissance ont permis de mettre à jour d'autres données biologiques qu'il est bon d'analyser afin d'avoir un meilleur aperçu de l'évolution du peuplement.

Femelles marquées	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	1 sept.	29 sept.	Octobre	Nov.	13 déc.	14 déc.	Janv.	Février	Mars	Avril
Nb de thalles restant	99	76	72	55	5	100	87	79	30	11	100	76	65	56	49
Nb de thalles disparus		23	4	17	50		13	8	49	19		24	11	9	7
Mortalité (%)		23.23	5.26	23.61	90.9		13	9.2	62	63.3		24	14.47	13.84	12.5
Mortalité journalière		0,77	0,19	0,8	2.84		0,46	0,61	2.14	2.04		0,8	0,47	0,49	0,42
Sporophytes marqués															Moyenne : 1,005
Nb de thalles restant	99	89	73	61	6	100	89	72	30	10	100	83	71	61	53
Nb de thalles disparus		10	16	12	55		11	7	42	20		17	12	10	8
Mortalité (%)		10.10	17.97	16.44	90.16		11	7,9	58.3	66.7		17	15,7	14.08	13.11
Mortalité journalière		0,34	0,64	0,59	2.82		0,39	0,59	2.01	2.15		0,57	0,51	0,50	0,42
« Neutres » marqués															Moyenne : 1,008
Nb de thalles restant	113	104	92	83	5	100	85	79	26	9	100	87	71	59	51
Nb de thalles disparus		9	12	9	78		15	6	53	17		13	16	12	8
Mortalité (%)		7,96	11,53	9,78	94		15	7	67	65,4		13	16,09	16,92	13,55
Mortalité journalière		0,27	0,41	0,35	2,94		0,54	0,46	2,31	2,11		0,43	0,53	0,58	0,44
Totaux															Moyenne : 0,948
Nb de thalles restant	311	269	237	199	16	300	261	230	86	30	300	246	207	176	153
Nb de thalles disparus		42	32	38	183		39	21	144	56		54	39	31	23
Mortalité (%)		13,5	11,9	16,03	91,96		13	8	62,6	65,1		18	15,85	14,97	13,07
Mortalité journalière		0,45	0,42	0,57	2,87		0,46	0,53	2,16	2,10		0,60	0,51	0,53	0,42

Tabl. 12. — Evolution saisonnière de la mortalité.

2° La mortalité.

Ce paramètre a été suivi au moyen des marquages ; il a suffi d'évaluer chaque mois le nombre de marques perdues. Les résultats regroupés dans le tableau 12 et la figure 7 indiquent l'évolution du taux de mortalité au cours de l'année.

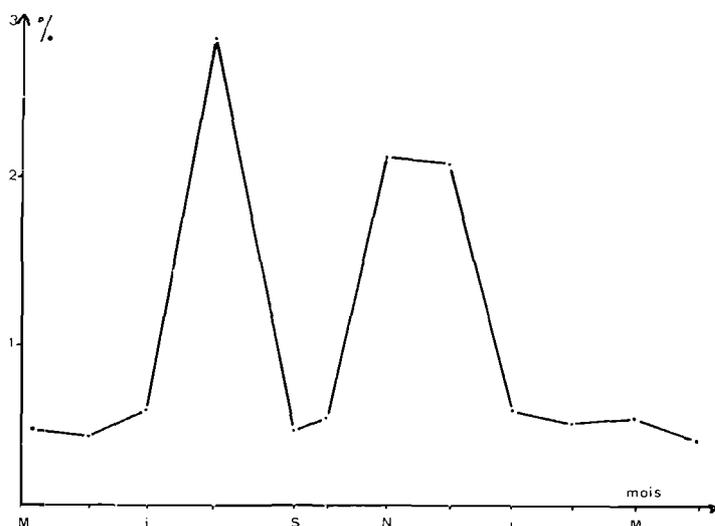


FIG. 7. — Variation du pourcentage de mortalité.

Le premier pic de la courbe résulte incontestablement de l'influence néfaste des pêcheurs à pied qui, pour récolter quelques coquillages ou quelques crustacés, retournent sans cesse les rocs sur lesquels sont fixés les algues.

Le second sommet (fin octobre) ne semble pas avoir de cause bien déterminée ; il pourrait être dû à l'action des tempêtes au moment où précisément l'algue devient plus flasque.

La mortalité n'est nullement influencée par la potentialité sexuelle : le taux est, en effet, identique, qu'on ait affaire aux pieds fertiles ou stériles, aux sporophytes ou aux gamétophytes.

Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars
10	11.3	24	18.3	20.7	14.2	9	14.9	19.5	34	37.5	20

TABL. 13. — Fluctuations mensuelles du taux de recrutement (pourcentage des frondes de moins de 1 cm).

Le recrutement.

Grâce à l'étude statistique, nous connaissons le pourcentage des frondes de moins de 1 cm apparues chaque mois, d'avril 1973 à avril 1974 (tabl. 13 et fig. 8). Il apparaît nettement que les périodes de recrutement intense correspondent aux périodes de forte mortalité ; ceci vient en quelque sorte confirmer les travaux de MAC FARLANE qui a montré, en culture au laboratoire, l'effet stimulant du sectionnement des frondes âgées sur la germination des jeunes frondes à partir du disque basal.

3° La longévité.

En étudiant la disparition des classes modales, nous avons pu rassembler un certain nombre d'informations sur la longévité des frondes. Dans le milieu naturel, la longévité dépend sans aucun doute (fig. 9) de la période d'apparition ; elle varie de 7 à 14 mois. Pour les frondes

naissant entre janvier et juin, la durée de vie est dans l'ensemble plus faible (7 à 9 mois) que pour celles apparaissant entre juillet et décembre (11 à 14 mois).

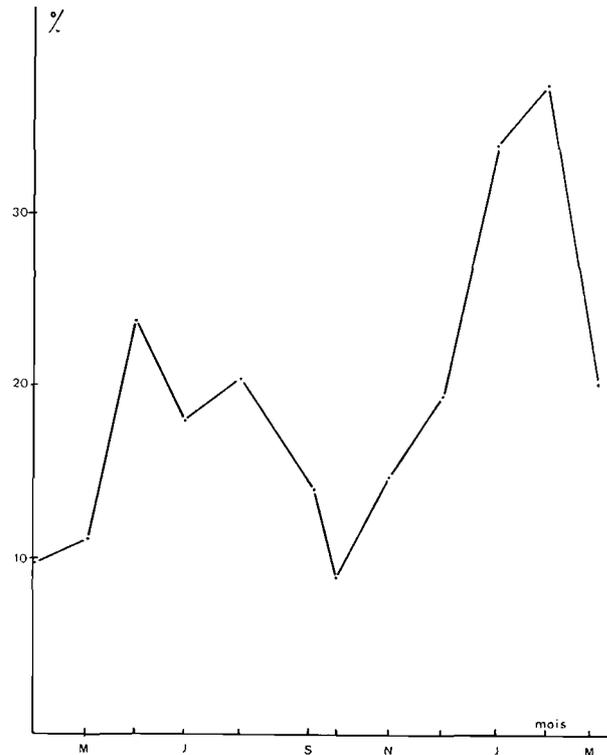


FIG. 8. — Pourcentage de frondes nouvellement apparues.

Les frondes les plus âgées disparaissent la plupart du temps courant août ; il est donc normal (on peut le vérifier dans la nature) de trouver en juillet des pieds de taille importante : le plus

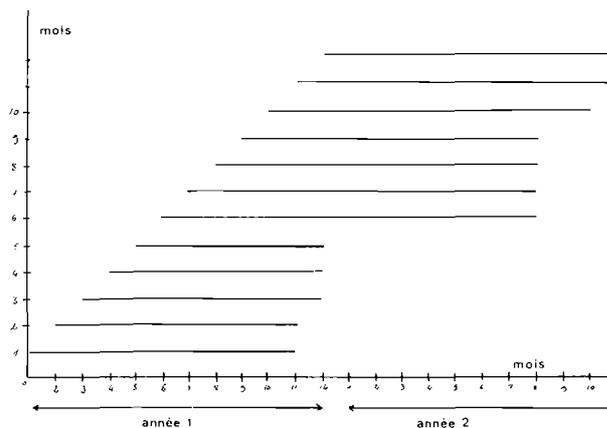


FIG. 9. — Longévité des frondes en fonction de la période d'apparition de celles-ci.

grand que nous ayons eu à mesurer dépassait 24 cm de longueur.

En fait, comme le montrent les expériences de cultures en bassins (NEISH, SCHACKOCK,

FORSYTH), la longévité est infinie. Il semble donc que seules les conditions extérieures limitent, dans le milieu naturel, la durée de vie ; cette dernière peut donc être différente selon les lieux.

4° Période de reproduction et état sexuel de la population.

Toutes les frondes d'un même thalle ayant la même potentialité, il suffit de constater la potentialité de l'une d'elle pour connaître celle des autres.

Potentialité de l'algue	Janvier	Avril	Juillet	Octobre	Moyennes
Femelles juvéniles	32,20	42	9	14	24,3
Femelles fertiles	24	14	47,7	41,8	31,8
Totaux	56,20	56	56,7	55,8	56,1
Sporophytes juvéniles	22,2	8	?	20	16,7
Sporophytes fertiles	9,8	23,6	0	12,7	15,4
Totaux	32	31,6	?	32,7	32,1
Mâles	11,8	12,4	?	11,5	11,8

TABL. 14. — Variations du pourcentage d'individus fertiles contenus dans la population totale.

Par récolte de nombreux thalles décollés de la roche (au niveau du disque) à l'aide d'un marteau et d'un burin, il a été possible de définir :

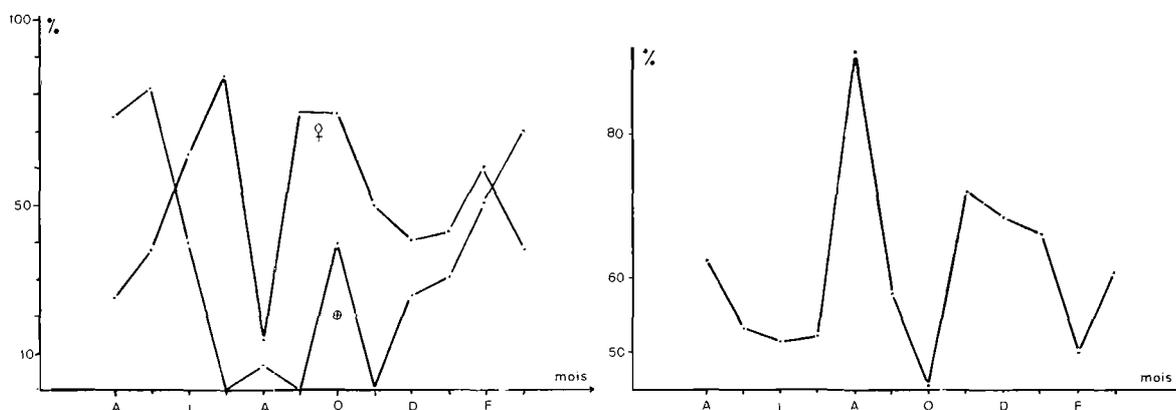


FIG. 10. — A gauche, pourcentage de femelles et de sporophytes matures ; à droite, pourcentage d'individus stériles.

le pourcentage de gamétophytes et de sporophytes dans la population, le pourcentage d'individus fertiles.

L'analyse des résultats groupés dans le tableau 14 conduit à penser que la population de *Chondrus crispus* contient 56 % de gamétophytes femelles (indépendamment de l'état d'avancement de leur fertilité), 32 % de sporophytes et, par extrapolation, 12 % de gamétophytes

mâles. Le faible pourcentage de mâles n'est pas sans surprendre. Pourtant, ces valeurs ont été confirmées par des marquages. À partir de nombreux échantillons bagués, 52 % se sont révélés être au cours de l'année des gamétophytes femelles, et 34 % des sporophytes. Dans les 14 % restant qui sont supposés être, par référence au cycle sexuel admis, des gamétophytes mâles, nous n'avons pu observer de spermatocystes en dépit de coupes transversales fréquentes.

Les courbes de la figure 10 (à gauche) illustrent les variations annuelles de la proportion d'individus fertiles par rapport aux individus stériles de même potentialité. Bien qu'on rencontre des sporophytes et des gamétophytes fertiles tout au long de l'année, le pourcentage est surtout élevé au printemps pour les sporophytes, au début et à la fin de l'été pour les gamétophytes femelles.

Le maximum de stérilité (fig. 10, à droite) est obtenu en août au moment où l'éclairement est le plus intense et la température la plus élevée (19 à 20° C).

Les informations sur l'évolution de la fertilité au cours de l'année, sur la longévité, la mortalité, le recrutement et l'activité méristématique tant au niveau de l'individu qu'à celui de l'ensemble de la population, sont à prendre en considération pour définir la productivité d'un peuplement de *Chondrus crispus*; mais elles ne suffisent pas pour définir l'intérêt que peut représenter ce peuplement du point de vue économique.

La valeur économique dépend aussi des produits recherchés dans l'algue, c'est-à-dire de la teneur en carraghénanes. Il est évident que les algues ayant une forte croissance n'auront qu'un intérêt limité si elles se caractérisent par une teneur faible en carraghénanes. De même, la valeur d'un peuplement à un moment donné sera différente selon qu'il contient peu ou beaucoup d'individus fertiles, si la fertilité modifie le taux et la structure des produits à extraire.

Les relations entre la croissance, les potentialités sexuelles et la fertilité d'une part, la quantité, la qualité et la nature des carraghénanes d'autre part, devaient être établies; c'est ce que nous avons essayé de faire.

II. Variations de la teneur en carraghénanes dans un peuplement de *Chondrus crispus*.

Nous nous sommes efforcés de déterminer mensuellement les variations de la quantité et de la qualité des carraghénanes contenus dans les échantillons selon la période de l'année, la potentialité sexuelle et l'état de fertilité des frondes analysées.

a) Mode opératoire.

La préparation des échantillons.

Les algues ont été récoltées au niveau des plus basses mers. Le choix s'est porté sur des frondes de 12 à 15 cm de longueur en parfait état et les moins épiphytées possible. On les a séparées en divers lots :

deux lots de gamétophytes fertiles, deux lots de sporophytes.

La première série de lots a été utilisée pour la détermination de la teneur en carraghénanes, la seconde a servi à définir les qualités des extraits.

Détermination de la teneur totale.

Le principe de l'extraction consiste à attaquer à chaud l'algue par une solution de soude ou de bicarbonate de sodium. Les carraghénanes passent en solution sous forme sodique et précipitent lorsqu'on augmente le degré alcoolique de la solution.

Les frondes sont tout d'abord séchées à 80° C jusqu'à ce qu'elles deviennent cassantes et faciles à broyer. Le tamisage à travers une toile de nylon (maille de 300 μ) permet de séparer les fragments d'algues des débris d'épizoaires que le broyage a réduit en poudre. Les derniers éléments minéraux sont éliminés par un lavage à l'eau très légèrement acide.

L'algue est alors lavée à l'eau douce et séchée à 80° C jusqu'à poids constant.

2,5 g de tissus secs sont immergés dans une solution de soude (375 cc) décimale. Les carraghénanes passent alors sous la forme sodique et se solubilisent. Le magma obtenu, de

couleur variable selon la saison, est filtré à chaud sous vide. La phase liquide contient les carraghénanes; après les rinçages de verrerie, elle représente un volume de 500 cm³.

On verse lentement ce liquide dans 1 500 cm³ d'alcool éthylique maintenu en mouvement par un agitateur magnétique. Les carraghénanes coagulent. Si le précipité est filandreux et s'agglutine en une masse compacte, il est facile de l'isoler par simple filtration. Un tel précipité révèle une forte proportion de lambda carraghénane.

Si, au contraire, le coagulat reste diffus, la filtration est malaisée car les pores du filtre sont rapidement colmatés. On préfère alors les séparer par centrifugation (20 mn à 3 600 tours/mn). Ce type de flocculat correspond à une forte proportion de kappa carraghénane.

Le précipité est lavé à l'alcool, séché à l'étuve à 100° C pendant 24 h puis pesé. On peut calculer alors le pourcentage total des carraghénanes.

Détermination du rapport kappa-lambda.

2,5 g de tissu sec sont traités comme précédemment jusqu'à l'obtention du magma sombre. La filtration donne une solution limpide S à laquelle on ajoute 3,75 g de chlorure de potassium; le kappa carraghénane de potassium qui se forme précipite en un nuage gélatineux. Il faut centrifuger plusieurs fois pour parvenir à le rendre compact et à l'isoler. On le soumet à une dialyse, d'abord à l'eau distillée pour évacuer l'excédent de chlorure de potassium, puis au chlorure de sodium pour transformer ce kappa carraghénane de type potassium en un kappa carraghénane de type sodium qui se dissout.

Le polysaccharide est coagulé par immersion dans l'éthanol, puis lavé, séché et pesé. Connaissant le poids total P de carraghénanes et le poids P1 du kappa carraghénane, on peut calculer par soustraction le poids P2 de lambda carraghénane: $P2 = P - P1$.

Mais il est préférable de vérifier ceci expérimentalement. La solution S, débarrassée du kappa carraghénane, est versée dans 1 500 cm³ d'alcool éthylique; le lambda carraghénane est précipité; on le sépare par filtration sous vide et le transforme en type sodium par dialyse. Son poids P2 est obtenu après un passage de 24 h à l'étuve à 100° C.

Vérification des résultats.

Pour déceler les erreurs qui auraient pu survenir au cours du processus expérimental, nous avons associé à la détermination gravimétrique une détermination colorimétrique par le résorcinol (méthode mise au point par YAPHE, 1960).

On sait que le kappa carraghénane est dépolymérisé sous l'action d'un acide fort avec libération de molécules de 3-6 anhydro D-galactopyranose qui sont transformées en D-galactopyranose puis en hydroxyméthylfurfural qui prend une coloration pourpre en présence de résorcinol. La coloration obtenue est proportionnelle à la quantité d'hydroxyméthylfurfural, donc à la quantité de kappa carraghénane utilisé. La densité optique de la coloration est mesurée au spectrophotomètre à 465 μ et 550 μ et la concentration en kappa carraghénane est déduite par report à une courbe étalon établie à partir de solutions à concentrations connues de kappa carraghénane.

Dans la pratique, on sépare d'abord le kappa carraghénane du lambda carraghénane par action du chlorure de potassium; on soumet ensuite le kappa carraghénane à la dialyse par eau distillée puis par chlorure de sodium en solution. La fraction kappa se dissout. Connaissant le volume de la solution, il serait possible de connaître la quantité de kappa carraghénane si la concentration de celui-ci dans la solution était connue.

Pour établir cette valeur, on prélève 2 ml de la solution; on y ajoute 20 ml de réactif au résorcinol⁽¹⁾ en maintenant l'éprouvette à 0° C pour éviter que la coloration ne se développe avant le moment voulu.

Après avoir bouché l'éprouvette, on la porte pendant 10 mn au bain-marie à 80° C. On la refroidit rapidement pour éviter toute évolution ultérieure du phénomène. On mesure alors l'absorption colorimétrique de laquelle on déduit la concentration en kappa carraghénane.

(1) Ce réactif est obtenu en dissolvant 130 mg de phénol dans 100 ml d'alcool éthylique pur. Avant chaque analyse, on prépare une seconde solution avec 10 ml de la solution précédente et 100 ml d'acide chlorhydrique.

Détermination de la qualité des produits obtenus.

Les carraghénanes se caractérisent par leurs aptitudes à créer des viscosités élevées, des gels en solutions aqueuses et par leur réactivité vis-à-vis des protéines, notamment avec les protéines du lait.

Il est indispensable de ne pas altérer ces produits au cours du processus d'extraction. C'est pourquoi la température de séchage ne doit pas dépasser 60° C ; le carraghénane est réduit en poudre par broyage et sa teneur en eau peut être déterminée à partir d'une prise.

Viscosité.

Connaissant la teneur en eau, il est facile d'évaluer le poids net de carraghénane qu'il faut dissoudre dans 50 ml d'eau distillée pour obtenir une solution de 1 %.

La viscosité de la solution est mesurée à 20° C au moyen d'un viscosimètre HOPPLER type CH.

L'expérience montre que la viscosité est généralement proportionnelle à la teneur en lambda carraghénane pour des extraits dont le degré de polymérisation est comparable. Cependant, il arrive que la teneur en kappa carraghénane soit suffisamment élevée pour que celui-ci provoque la gélification de la solution. Dans ce cas, la mesure de la viscosité est sans signification.

Force du gel.

Cette valeur est déterminée au moyen du gélomètre "BLOOM". Cet appareil fonctionne sur le principe de la mesure de la résistance du gel à l'enfoncement d'un piston plus ou moins large. On peut obtenir ce gel à partir d'un mélange carraghénane - eau distillée ou d'un mélange carraghénane - lait. Nous avons choisi cette dernière possibilité.

100 g de lait en poudre (Nido de Nestlé) sont dissous dans 500 ml d'eau distillée et portés à 50° C. On laisse reposer 12 h dans un réfrigérateur à 10° C. 1 g de carraghénane est alors dissous dans 473 m³ de ce lait. Le mélange est chauffé sous agitation de façon à atteindre le point d'ébullition en 15 mn, cet état étant maintenu 1 mn.

Ce liquide est versé jusqu'à l'obtention d'un ménisque concave dans deux cristallisoirs que l'on recouvre d'une plaque rigide et que l'on place au congélateur.

75 mn plus tard, les cristallisoirs sont disposés à 10° C pendant 24 h. Le gel est alors découvert et le piston équipé d'un disque de 25 mm de diamètre est appliqué au centre de chacun d'eux. La moyenne des deux mesures indique la force du gel.

Détermination expérimentale des conditions requises pour une extraction complète.

Pour parvenir à des données qui puissent être comparées, il est indispensable de veiller à ce que les conditions restent constantes dans toutes les expériences. Les variations de la durée de macération, de la température, de la concentration en ions Na⁺, peuvent, en effet, entraîner des modifications qualitatives et quantitatives au niveau des produits extraits.

La valeur que nous avons choisie pour chaque paramètre découle, d'une part, de la lecture des travaux de HASS (1921), MAC LEAN (1954), STANLEY (1963), BLACK (1966) et STANCIOFF (1970), d'autre part, des tests que nous avons effectués pour définir l'influence exacte de chacun de ces facteurs :

température d'extraction ; temps de macération ; concentration en soude ; volume de soude à utiliser ; quantité d'alcool nécessaire.

Test sur l'action de la température.

Une série d'expériences a été réalisée à partir de prises de 1 g d'algues séchées et traitées à différentes températures pendant 75 mn avec 100 ml d'une solution décinormale de soude.

Les courbes de la figure 11 traduisent les résultats obtenus. Il est net que le pourcentage de carraghénanes obtenus augmente avec la température d'une façon presque linéaire. Il semble qu'il soit plus important à 115° (en autoclave) qu'à 100° C. En fait, les analyses ont démontré qu'il s'agit là d'une erreur ; la surestimation provient du fait qu'un autre polysaccharide est venu se mêler aux carraghénanes : l'amidon.

La température de 95° C nous a paru la plus intéressante. Elle permet à la fois l'extraction

complète des carraghénanes et l'utilisation du bain-marie puisqu'elle est inférieure au point d'ébullition de la solution sodée.

Test sur l'influence de la durée du traitement.

En maintenant la température à 95° C, et la quantité de soude décimorale à 100 ml par gramme d'algue séchée, nous avons fait varier le temps de macération de 10 à 60 mn.

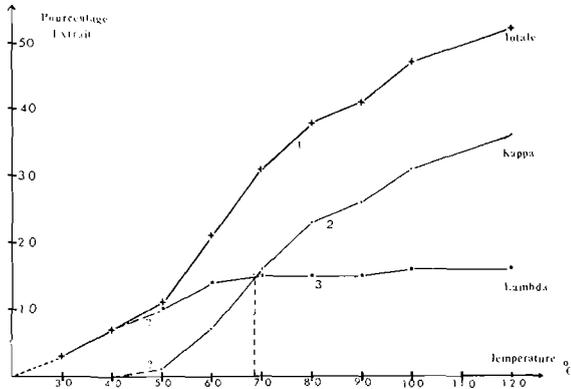


FIG. 11. — Pourcentage de carraghénanes de sodium extrait en fonction de la température d'extraction.

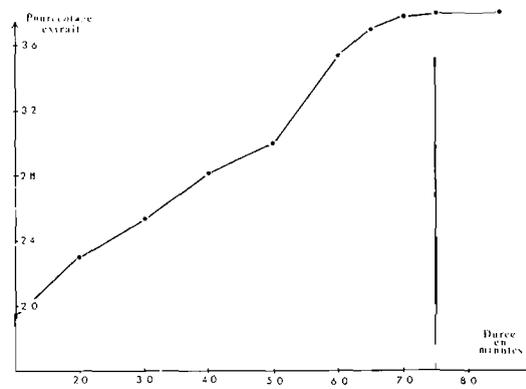


FIG. 12. — Pourcentage de carraghénanes de sodium obtenu en fonction de la durée d'extraction.

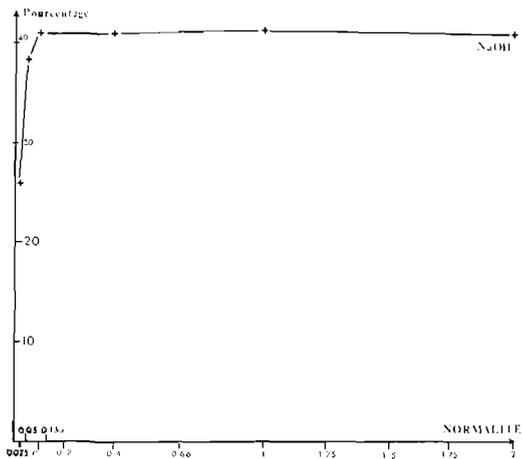


FIG. 13. — Influence de la concentration en soude sur le pourcentage de carraghénanes de sodium extrait.

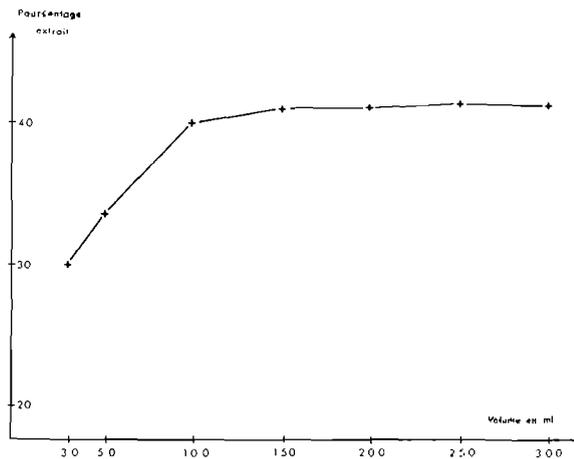


FIG. 14. — Influence de la quantité de NaOH 0,1 N utilisée sur le pourcentage de carraghénanes de sodium extrait.

La courbe de la figure 12 montre que la durée optimale se situe à 75 mn. Au-delà, en effet, il n'y a plus d'élévation du pourcentage extrait.

Influence de la concentration en soude.

Tous les facteurs étant fixés (température 95° C, durée 75 mn, quantité de soude 100 g par gramme d'algue séchée), une concentration en NaOH différente a été utilisée à chaque expérience.

La soude se révèle très active (fig. 13) ; une concentration de 0,1 N suffit à la libération de tous les carraghénanes ; une concentration supérieure n'apporte rien à la quantité de carraghénanes mais risquerait d'altérer la nature et la qualité des extraits.

Volume de la solution de soude à utiliser.

Pour une prise de 1 g d'algues séchées, traitées à 95° C pendant 75 mn avec une solution décinormale, la quantité de carraghénanes que l'on parvient à extraire augmente avec le volume de la solution basique tant que celui-ci n'atteint pas 150 ml. Un surplus n'apporte pas de gain sensible (fig. 14).

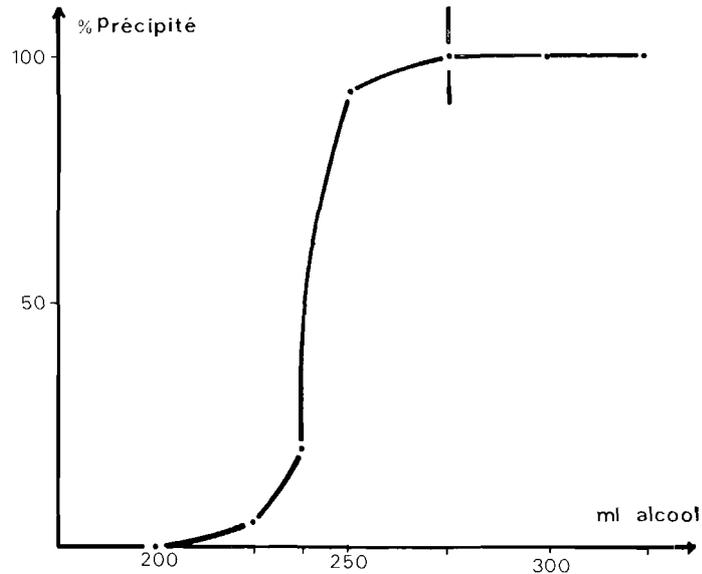


FIG. 15. — Pourcentage de carraghénanes extrait en fonction du volume d'alcool utilisé.

Volume d'alcool à utiliser.

Les carraghénanes solubilisés dans les conditions détaillées précédemment sont précipités par des volumes croissants d'éthanol pur. L'expérience montre (fig. 15) que la coagulation de tous les carraghénanes contenus dans 100 ml de la solution sodée n'est totale que si la dose d'alcool éthylique est supérieure à 275 ml.

Potentialité sexuelle	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars
Femelles	35.4	35.9	37.4	31.0	39.2	39.0	33.3	29.5	30.7	30.9	24.2	44.7
Sporophytes	24.9	30.6	26.1	33.0	39.8	37.5	26.6	29.7	21.5	23.7	10.5	22.3
« Neutres »	29.3	32.9	36.4	41.2	40.6	42.1	31.3	28.7	25.2	28.9	25.2	27.7
Moyennes	29.1	33.3	35.5	36.3	40.5	40.8	31.5	28.9	26.2	28.9	22.5	30.1

TABL. 15. — Variations mensuelles de la teneur totale en carraghénanes en fonction de la potentialité sexuelle de l'algue.

Nous avons convenu d'utiliser, pour chaque précipitation, 450 ml d'alcool pour 150 ml de soude de façon à disposer d'une large marge de sécurité.

Les analyses mensuelles ont toutes été effectuées aux conditions suivantes :

température : 95° C ; durée de macération en solution basique : 75 mn ; concentration en soude : 0,1 N ; volume de soude pour 1 g d'algue séchée : 150 ml ; volume d'alcool éthylique par g d'algue séchée : 450 ml.

b) *Teneur totale en carraghénanes.*

Les résultats auxquels nous sommes parvenus au cours des mois sont inscrits dans le tableau 15 et dans les courbes de la figure 16.

La forme de ces courbes révèle que la teneur en carraghénanes est maximale pendant l'été (40 %) et minimale durant l'hiver (28 %). Les variations sont identiques en durée et en amplitude, qu'il s'agisse de gamétophytes femelles ou de sporophytes.

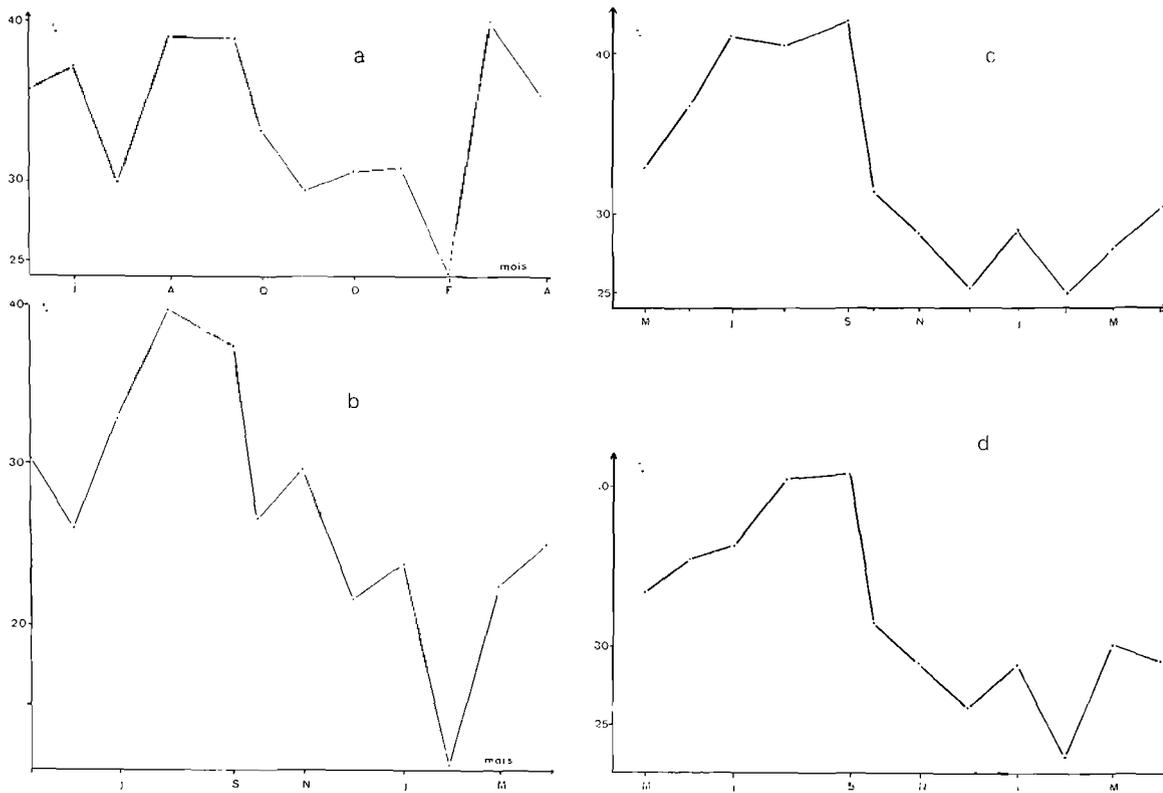


FIG. 16. — a : Teneur en mucilage des femelles ; b : teneur en mucilage des sporophytes ; c : teneur en mucilage des thalles stériles ; d : teneur moyenne de la population.

Si l'on compare avec les courbes de croissance (premier chapitre), il est aisé de constater que les fortes teneurs correspondent à des périodes de fortes activités méristématiques.

La fertilité semble aussi jouer un rôle important puisque les thalles fertiles sont généralement plus riches en carraghénanes que les thalles stériles lorsqu'il s'agit de gamétophytes femelles.

Femelles stériles	: 27,5 %	Sporophytes stériles	: 30,6 %
Femelles mures	: 30,9 %	Sporophytes mures	: 23,7 %

TABL. 16. — Relation entre la teneur en mucilage et la maturité des frondes.

plus pauvres lorsqu'il s'agit de sporophytes (tabl. 16). La maturité s'accompagne donc chez le gamétophyte d'une élévation de la teneur alors que c'est l'inverse chez le sporophyte.

Le lieu de récolte paraît avoir une influence non négligeable.

Des prélèvements faits à la même période en quatre lieux différents : à l'île de Noirmoutier (pointe de l'Herbaudière), à l'archipel des Glénan (île de Saint-Nicolas), aux roches de Kerlouan

(Finistère nord), à la pointe de Barfleur (Manche), ont donné des résultats sensiblement différents (tabl. 17) bien qu'il s'agisse d'échantillons de tailles identiques prélevés au niveau des plus basses mers. Il n'a pas été possible de préciser quelles sont les causes de ces différences.

Origine	Pot. sex.	% Cellulose	% Carra. tot.	Moyenne	% Carra. k	% Carra. l	T° eau septembre	T° eau octobre
Glénan	Fem.	32,9	43,0	41,0	38,0	5,0	15,2	15,3
	Spo.	?	41,2		3,7	37,5		
	N	37,2	38,7		30,4	8,3		
Kerlouan	Fem.	25,7	56,8	49,5	46,4	10,4	15,8	16,2
	Spo.	?	43,0		17,1	25,9		
	N	33,2	48,7		44,7	4,1		
Noirmoutier	Fem.	35,3	33,3	30,4	29,4	3,9	17,0	14,5
	Spo.	43,5	26,6		0	26,6		
	N	38,3	31,3		23,2	8,1		
Barfleur	Fem.	?	30,7	30,1	30,7	0	17,0	15,0
	Spo.	?	31,2		0	31,2		
	N	?	28,5		20,0	8,5		

TABL. 17. — Comparaison des teneurs en mucilage des frondes provenant de différents points de la côte.

Niveau	Femelles			Sporophytes			« Neutres »		
	Teneur totale	Teneur kappa	Teneur lambda	Teneur totale	Teneur kappa	Teneur lambda	Teneur totale	Teneur kappa	Teneur lambda
Bas niveau	38	28	10	39	5	34	33	15	18
Haut niveau	29	20	9	21	5	16	25	15	20

TABL. 18. — Comparaison des teneurs en mucilage des algues provenant de différents niveaux en un même lieu de récolte.

De même, si l'on compare la teneur en carraghénanes d'algues semblables (même état de fertilité, même taille), mais fixées à des niveaux différents, on note de fortes dissemblances dans la teneur totale. Dans l'ensemble, les algues des niveaux les plus élevés contiennent moins de carraghénanes que celles des niveaux intertidaux inférieurs (tabl. 18).

Type de mucilage	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars
Kappa (1)	85	93,7	89	94,3	92,1	87,6	88,2	85,7	98,4	99,4	100	92
Kappa (2)	30,1	33,6	33,3	26,9	36,1	34,2	29,4	25,3	30,2	30,7	24,2	41
Lambda (1)	15	6	10,8	6	7,9	12,4	11,9	14,3	1,6	0,6	0	8,0
Lambda (2)	5,3	2,2	4,1	4,1	3,1	4,9	3,9	4,2	0,5	0,2	0	3,7

TABL. 19. — Variations des taux de polysaccharides kappa et lambda chez les thalles femelles : 1 : pourcentage calculé par rapport aux carraghénanes totaux ; 2 : pourcentage calculé par rapport au poids d'algue sèche.

c) Composition de l'extrait en kappa et lambda carraghénanes.

En analysant chaque mois la composition de l'extrait obtenu, nous avons cherché à définir si les fractions lambda et kappa sont stables ou ne le sont pas.

Les résultats sont regroupés dans les tableaux 19 et 20. Le tableau 19 concerne le gamétophyte femelle chez qui la teneur en lambda carraghénane reste généralement faible (jamais plus de 6 %) et même nulle de décembre à février.

Type de mucilage	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars
Kappa (1)	10	52	57,4	54	83,2	88,4	0	82,8	48,8	3,8	0	15,8
Kappa (2)	2,5	15,9	15	17,8	33,1	33,1	0	24,6	10,5	0,9	0	3,5
Lambda (1)	90	48	42,6	46	16,8	11,6	100	17,2	51,2	96,2	100	84,4
Lambda (2)	22,4	14,7	11,1	15,2	6,7	4,4	26,6	5,10	11,5	22,8	10,5	18,8

Tabl. 20. — Variations des taux de polysaccharides kappa et lambda chez les sporophytes.

Chez les sporophytes (tabl. 20), le phénomène est plus complexe : lorsque le taux de kappa carraghénane est élevé (juillet, août, septembre : 25 à 35 %), le taux de lambda carraghénane

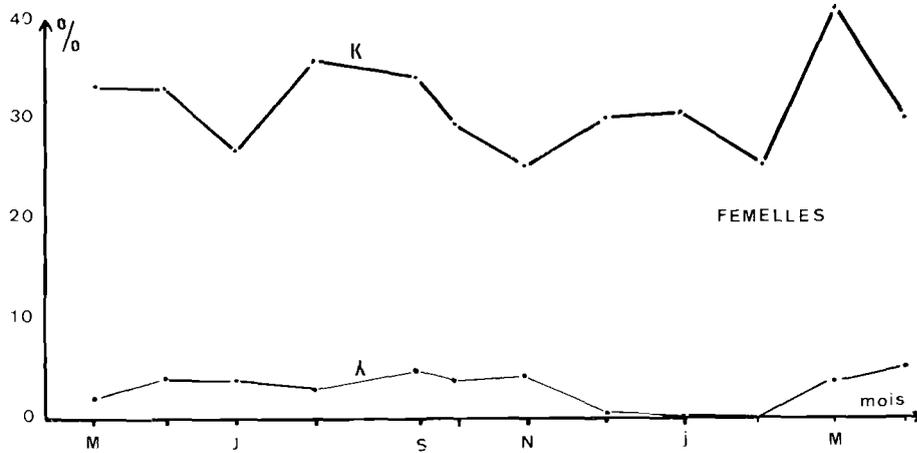


FIG. 17. — Variation des teneurs en carraghénanes kappa et lambda chez les thalles femelles.

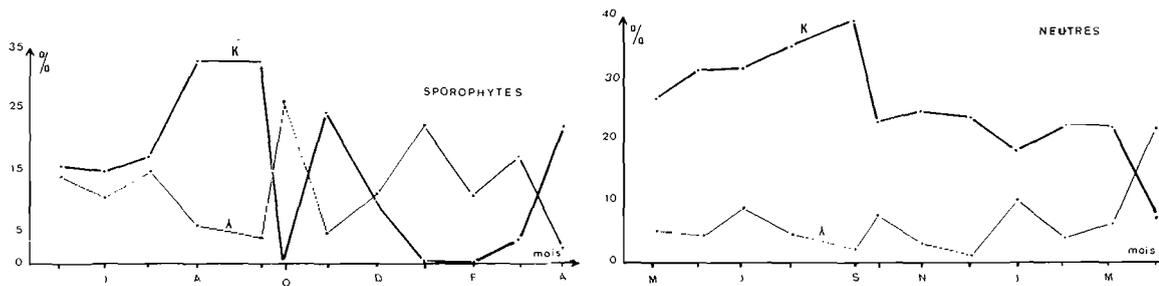


FIG. 18. — Variation des teneurs en carraghénanes kappa et lambda chez les plants sporophytiques et « neutres ».

reste faible (5 à 10 %) ; en revanche, de décembre à mars, le pourcentage représenté par la fraction lambda croît sensiblement (15 à 25 %) tandis que, parallèlement, la teneur en kappa carraghénane devient négligeable.

Les courbes des figures 17 et 18 symbolisent ces variations.

Rapport kappa-lambda et la fertilité.

Au début de la période de fertilité, les thalles se composent d'un certain nombre de frondes fertiles précoces qui permettent de connaître la potentialité sexuelle et de frondes encore stériles. L'analyse de la teneur en carraghénanes kappa et lambda montrent (tabl. 21) que l'apparition de la fertilité s'accompagne chez le sporophyte d'une inversion du rapport kappa/lambda : les frondes sporophytiques fertiles contiennent peu de kappa carraghénanes (0,9 %) et beaucoup de lambda (23 %) alors que les frondes « sœurs » stériles se caractérisent par un taux de kappa carraghénane élevé et un taux de lambda carraghénane réduit (7,6 %).

Etat sexuel	Kappa	Lambda	Total
Sporophyte stérile	23 %	7,6 %	30,6 %
Sporophyte mature	0,9 %	23 %	23,9 %
Femelle stérile	30,7 %	0 %	30,7 %
Femelle mature	25,2 %	0,2 %	25,4 %

TABL. 21. — *Résultat de l'analyse des frondes stériles et matures d'un même thalle.*

Pour les gamétophytes femelles, la maturité se traduit simplement par une élévation de la teneur totale sans que le rapport entre les deux fractions kappa et lambda soit modifié si ce n'est par une légère baisse du pourcentage de lambda carraghénane.

Partie de l'algue analysée		Sporophytes	Femelles
Ensemble de la fronde	Teneur totale	21,5	39,2
	Teneur kappa	9,5	35,2
	Teneur lambda	12	4
Base des frondes	Teneur totale	34	28,5
	Teneur kappa	24	25,3
	Teneur lambda	10	3,2
Parties fertiles des frondes	Teneur totale	17	44,9
	Teneur kappa	0	40,7
	Teneur lambda	17	4,2

TABL. 22. — *Résultats des analyses des parties végétatives et fertiles des sporophytes et des gamétophytes femelles.*

Rapport kappa-lambda sur une même fronde.

Des frondes fertiles de même taille et de même aspect ont été découpées en deux parties de façon à séparer la zone supérieure portant les organes reproducteurs (sores et cystocarpes) de la zone inférieure uniquement végétative.

Vingt groupes de dix fragments basaux et autant de groupes de dix parties apicales ont fait l'objet d'une série d'analyses dont les résultats moyens sont inscrits dans le tableau 22.

Chez le sporophyte, la teneur totale est plus élevée à la base que dans l'aire fertile. La

proportion de lambda carraghénane est très importante dans la partie supérieure alors que le kappa carraghénane y est absent. Par contre, ce dernier domine dans la partie basale.

Chez le gamétophyte femelle, la composition de l'extrait est identique, qu'il provienne des parties fertiles ou végétatives, le rapport kappa/lambda restant constant avec une faible proportion de lambda carraghénane.

Analyse du degré de polymérisation.

Il nous a paru intéressant de chercher à savoir comment variait le degré de polymérisation de chacune des fractions lambda et kappa en définissant les variations de la propriété en rapport avec ce degré, c'est-à-dire l'aptitude à former des gels ou à produire des viscosités.

Avec l'extrait provenant des gamétophytes femelles, on ne peut obtenir que des gels puisque le kappa carraghénane est presque l'unique constituant. La technique de mesure décrite précédemment a conduit aux résultats réunis dans le tableau 23.

Mois	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars
% de lambda chez les sporophytes	90	48	43	46	17	12	100	17	51	96	100	84
Viscosité en cp	558	222	2 322	1 196	238	260	120	1 370	1 961	1 053	1 510	412
Log. de la viscosité	6.32	5.40	7.75	7.09	5.47	5.56	4.79	7.22	7.58	6.96	7.32	6.02
% de kappa chez les femelles	85	94	89	94	92	88	88	86	98	99	100	92
Force de gel en g	121	128	95	88	80	123	121	127	200	210	195	188

TABLE. 23. — Evolution de la qualité des carraghénanes par la détermination de la viscosité et de la force du gel.

Il est clair que la propriété du kappa carraghénane à donner des gels évolue au cours des mois ; on obtient en effet des gels très solides si l'extrait provient d'algues récoltées de décembre à mars (188 à 200) tandis qu'on observe une nette baisse de cette résistance s'il provient de frondes prélevées entre juin et août (88).

La polymérisation est donc plus importante en hiver, période de faible croissance, qu'à la fin du printemps et en été.

Avec les extraits obtenus à partir des sporophytes, généralement riches en lambda carraghénane, nous avons réalisé des solutions visqueuses en prenant un gramme d'extrait brut et en considérant le pourcentage de lambda carraghénane. Etant donné que ce pourcentage est différent d'un mois à l'autre, les chiffres inscrits dans la deuxième colonne horizontale du tableau 23 ne peuvent être comparés. L'analyse peut cependant en être faite par référence à une courbe d'isopolymérisation. Cette courbe est construite selon la méthode suivante. A partir d'une quantité de lambda carraghénane A, de degré de polymérisation constant, nous avons effectué un certain nombre de solutions ayant des proportions de A croissantes, déterminé la viscosité et tracé la courbe de la figure 20 où la proportion de lambda est portée en abscisses et le Log de la viscosité en ordonnées.

Si la polymérisation du lambda carraghénane extrait de l'algue est la même que celle du carraghénane étalon A, le point ayant pour coordonnées le Log de la viscosité obtenue au cours du mois et le pourcentage de lambda carraghénane de l'extrait, se trouvera nécessairement sur la courbe d'isopolymérisation. Si elle est supérieure, le point sera au-dessus ; si elle est inférieure, il sera au-dessous.

Le positionnement des points (fig. 19) montre que le lambda carraghénane provenant des algues récoltées en octobre et dans la période de janvier à mai est moins polymérisé que celui obtenu pendant la période d'août à décembre.

Les fluctuations des carraghénanes apparaissent donc beaucoup plus complexes qu'une simple variation de teneur. On remarque en effet, outre cette variation, des modifications dans la composition des différentes fractions qui constituent l'extrait et dans les propriétés même de ces fractions, sans qu'on puisse expliquer actuellement la raison de ces fluctuations.

Certes, on remarquera qu'elles se produisent à des moments critiques de la vie de l'algue. Le taux de kappa carraghénane augmente chez le sporophyte avec l'activité méristématique tout

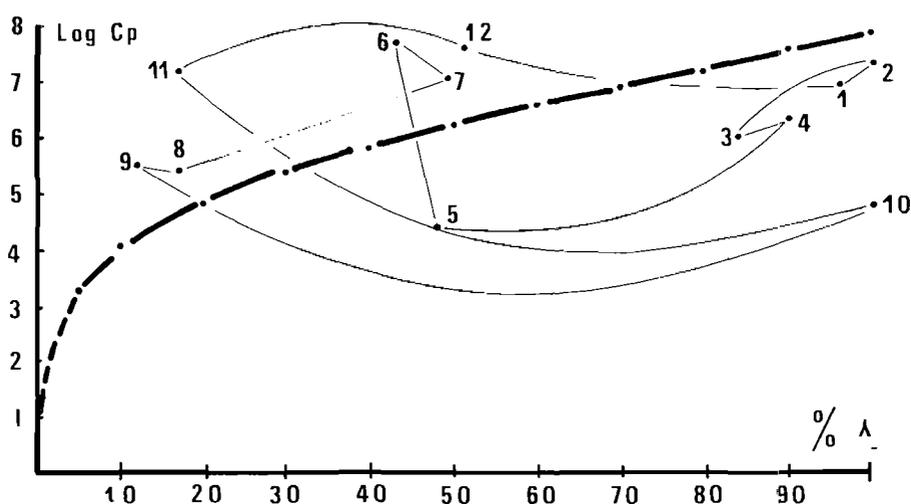


FIG. 19. — Courbe d'isopolymérisation et fluctuations mensuelles (de 1 à 12 pour les différents mois de l'année) des viscosités induites par les extraits obtenus.

en devenant moins polymérisé. Il chute en période de reproduction au moment de la maturation des spores, tandis que le taux de lambda carraghénane s'élève. Il est plus abondant dans les zones basales toujours végétatives que dans les zones apicales supportant les organes reproducteurs.

Chez le gamétophyte femelle, le taux de lambda carraghénane reste toujours très faible et ne varie presque pas. Par contre, le kappa carraghénane est sujet à de fortes fluctuations tant en teneur qu'en degré de polymérisation.

Bien que ces variations paraissent directement reliées à certaines modifications de l'état physiologique de l'algue, aucune hypothèse ne permet pour l'instant de faire la synthèse de l'ensemble des phénomènes que nous avons mis en évidence. Il vaut mieux attendre les résultats des études faites au moyen d'isotopes radioactifs pour expliquer la direction et la finalité de ces transformations métaboliques.

Il semble cependant que les carraghénanes aient, au niveau cellulaire, un rôle plus important que celui de simples substances de soutien ou de réserve.

Sur le plan pratique, le fait que la qualité de l'extrait soit liée à la potentialité sexuelle de l'algue, à l'état physiologique de celle-ci et à la période de l'année (c'est-à-dire au milieu ambiant), conduit à penser que, dans le cadre des cultures de *Chondrus crispus* en bassin, on parviendra à sélectionner les échantillons et à agir sur le milieu pour obtenir les extraits correspondant exactement à ce que souhaite le marché.

Ainsi, si l'on désire un gélifiant, c'est-à-dire une forte proportion de kappa carraghénane, on placera uniquement dans les bassins de culture des pieds femelles dont on augmentera le nombre par multiplication végétative. Si, au contraire, on veut obtenir un produit épaississant, c'est-à-dire un extrait riche en lambda carraghénane, on devra cultiver des sporophytes et

provoquer l'apparition de la maturité; le taux de kappa carraghénane se réduira et l'extrait ne contiendra pratiquement que du lambda carraghénane.

Telles sont les perspectives de nos résultats à moyen terme. Mais, pour l'immédiat, les différentes données acquises tant sur le plan de la croissance que sur celui de la composition chimique peuvent être utilisées pour rechercher les règles permettant de parvenir à une exploitation optimale des stocks naturels.

III. Essai de synthèse pour la gestion du stock.

Pour tracer les grandes lignes d'une gestion scientifique d'une population de *Chondrus crispus*, nous avons dû porter notre attention sur :

les deux critères fondamentaux que sont le taux de mortalité et le taux de recrutement ;

un certain nombre de paramètres que le calcul permet de chiffrer à partir des différentes données obtenues.

a) Taux de recrutement et mortalité.

L'analyse des histogrammes établis à partir du rapport entre la fréquence et la taille en longueur des frondes, ainsi que les observations des thalles marqués ont permis d'établir le

Recrutement et mortalité	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Moyenne
% recrues	0.17	1.09	0.20	0.94	1.27	0.53	0.58	0.18	1.23	1.21	1.32	1.14	—
% mortalité	0.45	0.42	0.57	2.87	0.46	0.53	2.16	2.10	0.60	0.51	0.53	0.42	—
Bilan	0.28	0.66	-0.37	-1.93	0.81	0	-1.57	-1.93	0.63	0.70	0.79	0.72	-1.76

TABLE. 24. — Modifications mensuelles du profil du champ de *Chondrus crispus* de la pointe de l'Herbaudière.

tableau 24 donnant pour chaque mois le pourcentage de nouvelles frondes apparues, le pourcentage de frondes disparues et la résultante de ces deux variables (fig. 20.)

Nous notons un bilan annuel moyen négatif (—176), ce qui est inquiétant puisqu'il traduit une régression du peuplement de l'île de Noirmoutier. Si la mortalité d'hiver, qui est d'origine naturelle, est compensée par le recrutement de printemps, il n'en est pas de même de la mortalité d'été qui a pour cause l'activité des pêcheurs à pied. La disparition progressive de ce peuplement peut donc être imputée aux déprédations causées par les pêcheurs de crustacés et de mollusques qui retournent sans cesse les roches de la zone intertidale sur lesquelles sont fixées les algues.

b) Fraction exploitable en tissus secs et en carraghénanes.

L'étude mensuelle de la fréquence-taille donne mensuellement le profil instantané de la population; on peut donc suivre l'évolution des possibilités de récolte en analysant les fluctuations de ce profil.

En effet, la récolte n'affecte que la partie de la population composée de frondes ayant plus de 8 à 9 cm de longueur, c'est-à-dire des frondes qui sont assez longues pour être arrachées à la main.

Or, en observant les histogrammes, on peut déterminer l'importance de cette fraction X en % et suivre son évolution d'un histogramme à l'histogramme du mois suivant. La courbe de la figure 21 représente la transcription graphique de cette évolution.

Connaissant le poids moyen de ces frondes grâce à la relation taille-poids définie dans le premier chapitre, il est aisé de calculer le pourcentage en poids sec que représente cette fraction X par rapport à l'ensemble de la population, autrement dit le pourcentage M mensuel de matière sèche exploitable (fig. 22).

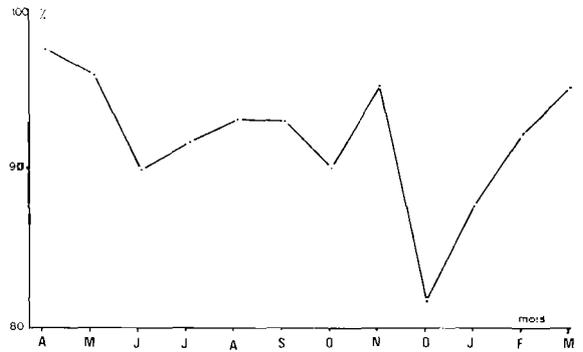
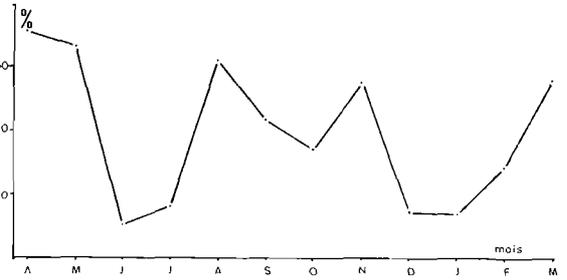
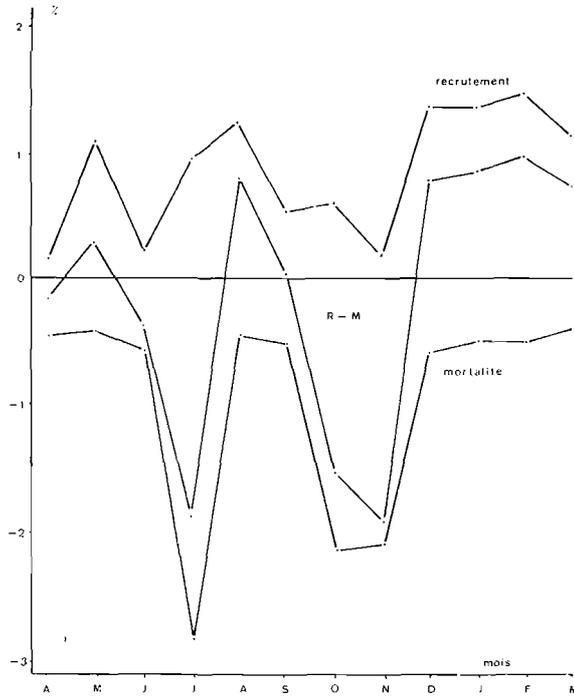


FIG. 20 (à gauche). — Evolution du recrutement et de la mortalité. FIG. 21 (en haut, à droite). — Variation du pourcentage de frondes exploitables. FIG. 22 (en bas, à droite). — Variation du pourcentage de matière sèche exploitable.

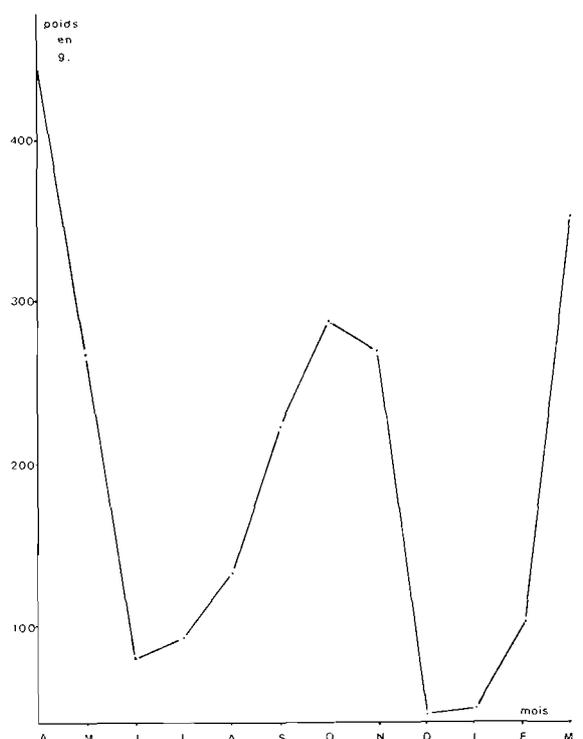
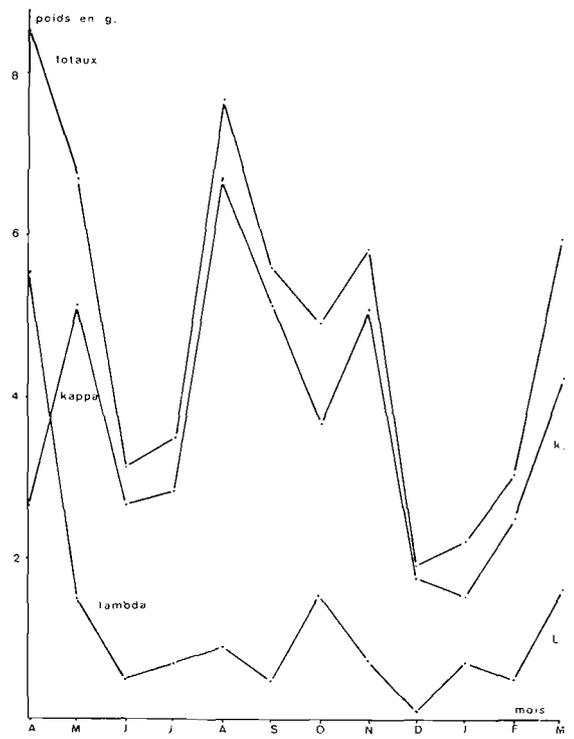


FIG. 23 (à gauche). — Variation du poids de carraghénanes extractibles de la fraction exploitable de Chondrus crispus. FIG. 24 (à droite). — Variation de la masse de carraghénanes exploitable au m².

Si on se réfère au tableau 15 qui indique la teneur mensuelle moyenne en carraghénanes livrés par les algues adultes, on a la possibilité de définir la quantité de carraghénanes que peut donner chaque mois à l'extraction la matière sèche exploitable (tabl. 25 et fig. 23).

Période	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars
% exploit.	97,6	95,9	89,9	91,8	93,2	93,1	90,1	95,2	81,7	87,7	92,2	95,1
Carra. total	8 277	6 677	3 155	3 484	7 624	5 623	4 913	5 845	1 930	2 210	3 007	5 990
Kappa	2 644	5 182	2 668	2 838	6 702	5 145	3 662	5 093	1 779	1 513	2 514	4 256
Lambda	5 563	1 495	487	646	922	480	1 539	768	122	697	493	1 734

TABLE. 25. — Poids de carraghénanes (en g) qu'il serait possible d'extraire en traitant la fraction récoltable de 100 frondes de Chondrus.

c) Biomasse.

En février, nous avons prélevé l'ensemble des frondes contenues sur une surface de plusieurs m² prise au hasard. Ce rapport entre le poids total et le nombre de m² constitue le poids de tissus au m², c'est-à-dire la biomasse.

Mois	Bio-masse (m ²)	% exploi-table	Poids exploi-table	Teneur totale moyenne	Masse de carraghé-nanes ex.	Teneur moyenne kappa	Masse exploi-table de k.	Masse exploi-table de l.	Production en tissus (en g/m ²)	Production en carra-g'hénanes (en g/m ²)
Avril	1 585	97,6	1 547	29,2	452	9,4	145	307		
Mai	838	95,9	804	33,3	268	25,8	207	61	— 743	— 184
Juin	248	89,9	223	35,5	79	30	67	12	— 581	— 189
Juillet	277	91,8	254	36,3	92	39,6	75	17	+ 31	+ 13
Août	350	93,2	326	40,5	132	35,6	116	16	+ 72	+ 40
Septembre	588	93,1	547	40,8	223	37,3	204	19	+ 221	+ 91
Octobre	1 016	90,1	915	31,5	288	23,5	215	73	+ 368	+ 65
Novembre	983	95,2	936	28,9	270	35,1	235	35	+ 21	— 18
Décembre	210	81,7	171	26,2	45	24,2	41	4	— 765	— 225
Janvier	190	87,7	166	28,9	48	19,8	33	15	— 5	+ 3
Février	380	92,2	350	30,1	105	18,8	66	39,0	+ 190	+ 57
Mars	1 242	95,1	1 181	30,1	355	21,4	252	103	+ 862	+ 250

TABLE. 26. — Tableau récapitulatif fournissant la masse de carraghénanes exploitable par unité de surface.

Nous n'avons refait cette expérience qu'en mai et en septembre. Mais, compte tenu du taux de recrutement et du taux de mortalité, il a été facile de calculer la biomasse pour chaque mois.

Enfin, connaissant la biomasse, le pourcentage de matière sèche exploitable, la teneur en carraghénanes de cette matière sèche, il a été possible de construire le tableau 26 et la figure 24.

Ceux-ci font la corrélation entre les différentes données que nous avons pu obtenir puisqu'il a fallu connaître pour les établir :

les valeurs mensuelles de la croissance ; la relation taille - poids sec ; l'évolution de la biomasse ; l'évolution du taux de recrutement ; la variation du taux de mortalité ; la structure des histogrammes découlant de la relation taille-poids ; la teneur moyenne mensuelle en carraghénanes ; la teneur moyenne mensuelle en carraghénanes kappa ; la teneur moyenne mensuelle en carraghénane lambda.

Il donne donc une vue synoptique du peuplement considéré.

Période de récolte.

L'analyse du tableau 26 révèle que la biomasse exploitable et la richesse du peuplement diminuent en mai juste avant la période de la récolte. Ainsi, la récolte s'ouvre au moment où le peuplement a perdu une grande partie de sa valeur économique. Par contre, la récolte est interdite en avril au moment où la population est la plus rentable. Une gestion rationnelle devrait prendre ces faits en considération pour éviter ce paradoxe. Il serait, en effet, souhaitable que la récolte soit autorisée dès avril.

La même remarque est valable pour la période d'octobre-novembre.

Pour les mois de juin et juillet, l'incitation à la récolte est, si l'on se réfère au tableau, inopportune, puisqu'à cette période, la production est relativement faible. En outre, la population contient une forte proportion de gamétophytes femelles en début de maturation ; il serait raisonnable d'attendre avant de les arracher que ces plants aient émis leurs éléments reproducteurs.

En résumé, la réglementation actuelle n'autorise la récolte qu'entre mai et octobre. Nos analyses tendent à montrer qu'il serait plus conforme aux impératifs de la biologie de l'algue et aux critères de rentabilité que soit permise la récolte dès le mois d'avril et jusqu'en novembre avec un arrêt en juin et juillet. Ce procédé conduirait à une triple récolte par an sur un même champ qui pourrait être exploité en avril, en août et en novembre.

Résumé et conclusion.

Ce mémoire a permis de préciser quelques points de la biologie de l'algue rouge *Chondrus crispus* et certains aspects de la biochimie des carraghénanes synthétisés par cette Rhodophycée.

Une technique de marquage simple, facile à réaliser et aisément supportée par l'algue a été mise au point.

Nous avons ainsi étudié la croissance individuelle de nombreuses frondes et déterminé les variations mensuelles. Il a été également possible d'obtenir un résultat identique en observant mensuellement les modifications du profil de la population. Cette méthode d'analyse a permis de suivre, non plus la croissance d'une fraction de la population représentée par les frondes marquées, mais celle de l'ensemble du peuplement et particulièrement celle des jeunes classes. Les résultats découlant de ces deux méthodologies conduisent à la même conclusion : la croissance du *Chondrus* s'accélère brusquement au printemps et en automne et se stabilise pendant les mois d'hiver. Le développement de cette espèce apparaît continu et exponentiel, les frondes disparaissant avant que la croissance ne s'arrête.

Des précisions concernant principalement le renouvellement de la population ont été apportées. Nous avons constaté en effet que les deux pics de mortalité élevée, d'origines différentes, caractérisent le phénomène de disparition des frondes. Le pic d'hiver trouve, semble-t-il, son origine dans la fréquence et la violence des tempêtes alors que le pic d'été est imputable pour la plus large part aux pêcheurs à pied qui, en retournant les rocs, sont trop souvent la cause principale de l'appauvrissement des fonds de la zone intertidale. Il semble que l'apparition des jeunes frondes, c'est-à-dire le recrutement, s'effectue sous forme de pulsations mensuelles ; les plus forts pourcentages d'apparition sont consécutifs aux périodes où les taux de disparition sont les plus élevés, comme si la disparition des éléments âgés levait une sorte d'inhibition favorisant l'apparition de nouvelles classes d'âge.

Il ne fait pas de doute qu'il existe une relation entre la longévité des frondes et leur période d'apparition. Ainsi, les individus apparus entre janvier et mai disparaissent en décembre de la même année alors que ceux qui germent plus tard peuvent subsister jusqu'au mois

d'août de l'année suivante. Les notions d'« algue perennante » et d'« algue annuelle » sont donc à revoir.

En associant ces résultats aux observations relatives à l'évolution de la taille moyenne des plants, on peut avoir une idée précise des fluctuations de la biomasse exploitable par unité de surface et déboucher ainsi sur les problèmes de dynamique des populations.

Concernant la biochimie des carraghénanes, nous nous sommes efforcés d'affiner les techniques d'extraction et de dosage de façon à les rendre reproductibles, après avoir déterminé l'influence de chacun des facteurs qui conditionnent une extraction, à savoir : la température, la durée de traitement, la concentration et le volume de soude, le volume d'alcool.

L'évaluation mensuelle de la teneur totale en carraghénanes met en évidence l'existence d'un maximum en été indépendant de la potentialité sexuelle de l'algue. Les fluctuations sont plus importantes chez le sporophyte que chez le gamétophyte femelle. L'analyse des fractions lambda et kappa fait nettement apparaître que les gamétophytes femelles matures renferment principalement du kappa carraghénane alors que les sporophytes fertiles ne contiennent pratiquement que du lambda carraghénane. Ces données laissent entrevoir la possibilité de modifier dans le cadre de cultures la qualité et la composition des extraits par la sélection des plants et par une action sur leur activité reproductrice.

L'ensemble des travaux sur la productivité en carraghénanes et sur la répartition de ceux-ci selon l'état physiologique des frondes, associés aux données relatives à la variation du degré de polymérisation, semble signifier que les carraghénanes jouent au niveau cellulaire un rôle plus important et plus complexe que celui admis jusqu'ici.

Sur le plan immédiatement pratique, l'étude statistique de l'évolution du peuplement révèle que l'organisation actuelle de la récolte en France ne respecte pas les exigences biologiques de l'espèce *Chondrus crispus*. Le législateur a bien voulu, à la suite de ces travaux, modifier une partie des textes légaux en vigueur (arrêté d'août 1975), mais des progrès restent à faire pour parvenir à une gestion rationnelle des stocks.

Manuscrit remis le 15 février 1978.

BIBLIOGRAPHIE

- BATTERS, 1902. — A catalogue of british marine algae. — *J. Bot.*, **2** (40).
- BLACK (W.A.P.), 1966. — Preparation and some of the properties and uses of the Kappa and Lambda carrageenans. — *Soc. Chem. Ind. London Monogr.*, **24** : 33-45.
- BLACK (W.A.P.), BLAKEMORE (W.R.), COLQUHOUN (J.A.) et DEWAR (E.T.), 1965. — The evaluation of some red marine algae as a source of carrageenan and of its Kappa and Lambda components. — *J. Sci. Food Agr.*, **16** : 573-585.
- BLONDEAU, 1865. — De la goëmine, substance neutre extraite du goémon. — *C.R. Acad. Sci. Paris*, **40**.
- BOLVIER, 1791. — Historia fucarum. — *Ann. Chimie*, Paris, **9**.
- DAWSON, 1819. — British fuci. — London.
- FULLER (S.W.), 1972. — Factors affecting the concentration and properties of carrageenan in *Chondrus crispus*. — Ph. D. Thesis, University of New Hampshire, Durham, N.H., 90 p.
- FULLER (S.W.) et MATHIESON (A.C.), 1972. — Ecological studies of economic red algae. IV - Variations of carrageenan concentration and properties in *Chondrus crispus* STACKHOUSE. — *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, **10** : 49-58.
- GAYRAL (P.), 1966. — Les algues des côtes françaises (Manche et Atlantique). — Editions DOIN, Paris, 128, 137, 348, 467, 471.
- HAAS (P.), 1921. — On carrageen (*Chondrus crispus*). II - On the occurrence of ethereal sulphates in the plant. — *Biochem. J.*, **15** : 469-476.
- 1921. — The nature and composition of Irish moss. — *Pharm. J.*, **106** : 485.
- KYLIN (H.), 1911. — Über die grünen und gelben Farbstoffe der Florideen. — *Hoppe-Seyler's Z. Physiol. Chem.*, **74** : 105-122.
- 1915. — Untersuchungen über die Biochemie der Meeresalgen. — *Ibid.*, **94** : 337-425.

- LAMOUREUX, 1813. — Essai sur les genres de la famille des Thalassiophytes non articulés. — *Ann. Mus. nat. Hist. nat.*, Paris.
- MAC CANDLESS (E.L.), 1973. — Carrageenans in the gametophytic and sporophytic stages of *Chondrus crispus*. — *Planta, Berlin*, **112**: 201-212.
- MAC FARLANE (C.I.), 1968. — *Chondrus crispus* STACKHOUSE. A synopsis. — *Nova Scotia Res. Fdn. Seaweeds Divisions*: 47.
- MAC LEAN (D.B.), 1954. — Irish moss. — *Chem. Can.*, **6**: 39-42.
- MARCHAND, 1879. — Note sur la gélatine végétale produite par les algues. — *Bull. Soc. Bot. France*, Paris, **26**.
- MARTINEAU, 1877. — De l'alguensine. — *Bull. Soc. Ind.*, Rouen, 3^e année.
- NEISH (A.C.), 1970. — Vegetative propagation of Irish moss (*Chondrus crispus*). — Proc. Conf. Marine Sci. held under the auspices Atlantic Section. Chemical Institute of Canada in University of Prince Edward Island, Charlottetown, P.E.I., Aug. 16-18, 1970. Paper n° 2, 100 p.
- 1972. — Vegetative propagation of Irish moss (*Chondrus crispus*). — Proc. Meeting Can. Atlantic Seaweeds Industry, Charlottetown, P.E.I., oct. 5-6 1971: 37-42. Ottawa, Canada Secretariat: Ind. Development Branch, Fisheries Services.
- NEISH (A.C.) et FOX (C.H.), 1971. — Greenhouse experiments on the vegetative propagation of *Chondrus crispus* (Irish moss). — Atlantic regional Laboratory National Research Council of Canada, Halifax, N.S., Technical Report 12, 35 p.
- NEISH (A.C.) et SHACKLOCK (P.F.), 1971. — Greenhouse experiments (1971) on the propagation of strain T4 of Irish moss. — *Ibid.*, **14**, 25 p.
- NEWTON (L.), 1931. — A handbook of British seaweeds. — British Museum (Natural History) London: 404-406.
- REES (D.A.), 1961. — Biogenesis of 3,6-anhydro-L-galactose. — *Proc. Biochem. J.*, **78**: 25.
- 1961. — The constitution of carrageenin. — *Chem. Ind. London*: 793.
- 1963. — The carrageenan system of polysaccharides. I. The relation between the Kappa and Lambda components. — *J. Chem. Soc. London*: 1821-1832.
- 1969. — Conformational analysis of polysaccharides. Part. II. Alternating copolymers of the agar-carrageenan-chondroitin type by modular building in the computer with calculation of helical parameters. — *J. Chem. Soc. B*: 217-226.
- SAUVAGEAU (C.), 1920. — Utilisation des algues marines. — DOIN Edit., Paris.
- STANCIOFF (D.J.), 1965. — Selective extraction of hydrocolloid fraction from sea plants. — U.S. Patent, 176, 003.
- STANLEY (N.F.), 1964. — Process for treating a polysaccharide of seaweeds of the Gigartinales and Solieriaceae families. — U.S. Patent 3, 094, 517.
- TAYLOR (A.R.A.), 1970. — Studies of the biology and ecology of *Chondrus crispus* STACKH. (Irish moss) on Prince Edward Island. Ottawa. — Department of Fisheries and Forestry Industrial development Branch, Fisheries Service, Project Rept. **35**, 30 p.