

L'algue rouge *Eucheuma spinosum* un essai de culture intensive en milieu enrichi

Jean-Paul DRÉNO, René PÉREZ et Olivier BARBAROUX
IFREMER* - B.P. 1049, 44037 Nantes Cedex

* Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de
la Mer (nouvel intitulé de l'ISTPM-CNEXO).

Les besoins croissants de l'industrie française en carraghénophytes de qualité, jusqu'alors quasiment importés, ont conduit à s'intéresser aux possibilités de culture intensive de certaines espèces en bassins à terre, dans un milieu enrichi en sels minéraux.

Les résultats convaincants obtenus par la Société CECA (CECA, 1980) sur l'algue rouge d'eaux tempérées *Chondrus crispus* (70 tonnes de matières sèches/ha/an) ont laissé entrevoir la possibilité d'appliquer ces techniques de culture intensive à d'autres carraghénophytes, dont *Eucheuma spinosum*, espèce tropicale riche en iota carraghénane. C'est pourquoi, parallèlement aux essais de culture en milieu naturel de cette espèce, réalisés aux Antilles (BARBAROUX *et al.*, 1984), une approche de la culture intensive en bassin d'eau de mer enrichie a été tentée, et ce dans les mêmes sites.

L'expérience a été conduite par le laboratoire «Cultures marines» du Centre Antilles-Guyane de l'ISTPM, en Martinique, avec trois objectifs principaux :

- démontrer que *Eucheuma spinosum* peut vivre et croître en milieu fermé pourvu qu'on lui apporte les éléments nutritifs indispensables,
- obtenir la meilleure croissance possible et pour ce faire déterminer les conditions techniques les plus favorables, la qualité et la quantité optimales des enrichissements à apporter,
- observer l'apparition et l'émission éventuelles de spores pouvant permettre d'envisager ultérieurement l'ensemencement direct de supports adéquats pour la mise en culture en milieu naturel. On sait, en effet, que le bouturage manuel, fastidieux et coûteux en main-d'œuvre, est un des facteurs de non rentabilité de la culture en milieu naturel. (BARBAROUX *et al.*, 1984).

Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches marit., n° 348, 1984

Les conditions expérimentales

Faute de données concernant les besoins spécifiques d'*Eucheuma spinosum* en éléments nutritifs, les conditions expérimentales ont été calquées sur celles mises en œuvre pour les essais analogues réalisés sur *Chondrus crispus*, à savoir :

facteurs variables

source d'azote : NaNO_3 , KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, NH_4NO_3
source de phosphore : Na_2HPO_4 , KH_2PO_4
teneurs en azote : 60 - 30 - 15 et $7,5 \mu\text{atgN.l}^{-1}$
teneurs en phosphore : 14,5 - 7,25 - 3,6 et $1,8 \mu\text{atgP.l}^{-1}$.

facteurs constants

m masse d'algue initiale : 400 g par bac
r renouvellement de l'eau de mer : 1 l.min^{-1}
par bac soit 600 % par jour

a agitation du milieu par bullage
 é éclairage (naturel) identique d'un bac à l'autre.

Six expériences successives ont donc été prévues dont les conditions expérimentales respectives sont regroupées dans le tableau 1.

de mer. Deux pompes doseuses à quatre canaux (fig. 2) distribuent ces solutions dans les bacs de culture à des débits variant en fonction de la teneur souhaitée dans chacun d'eux.

L'eau de mer pompée à quelques mètres de la côte est stockée dans un bac en surélévation, constam-

Expérience	Bac	Source	Azote		Source	Phosphore	
			Concentration par bac en $\mu\text{atgN.l}^{-1}$	Débit solution mère dans chaque bac en ml.min^{-1}		Concentration par bac en $\mu\text{atgP.l}^{-1}$	Débit solution mère dans chaque bac en ml.min^{-1}
1	1	NaNO_3	60	100	Na_2HPO_4	7,25	50
	2		30	50			
	3		15	25			
	4		7,5	12,5			
2	1	KNO_3	60	100	Na_2HPO_4
	2		30	50			
	3		15	25			
	4		7,5	12,5			
3	1	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	60	100	Na_2HPO_4
	2		30	50			
	3		15	25			
	4		7,5	12,5			
4	1	NH_4NO_3	60	100	Na_2HPO_4
	2		30	50			
	3		15	25			
	4		7,5	12,5			
5	1	KNO_3	15	25	Na_2HPO_4	14,5	100
	2					7,25	50
	3					3,60	25
	4					1,80	12,5
6	1	KNO_3	15	25	KH_2PO_4	14,5	100
	2					7,25	50
	3					3,60	25
	4					1,80	12,5

Tabl. 1. — Conditions expérimentales des expériences 1 à 6 (masse d'algue initiale : 400 g ; débit, eau de mer, 1 l.min^{-1} dans chaque bac).

Matériels et méthode

Les cultures sont réalisées dans cinq bacs rectangulaires, en matière plastique semi-rigide, d'un volume unitaire de 250 l (fig. 1). Deux autres bacs de 250 l sont affectés au stockage de la solution de phosphate et un bac hexagonal de 800 l au stockage de la solution de nitrate, ce qui, dans les deux cas, assure une autonomie d'alimentation en sels nutritifs de 48 h environ. La solution de nitrate est préparée en eau de mer filtrée alors que la solution de phosphate est préparée en eau douce, en raison de la difficulté de dissoudre certains phosphates dans l'eau

ment maintenu à niveau grâce à un système de contact à flotteur déclenchant la pompe. Elle est ensuite distribuée dans les bacs après filtration sur sable et tissu de feutre, son débit étant réglé par un simple robinet à l'arrivée dans chaque bac.

Le milieu de culture est continuellement agité par l'arrivée d'air pulsé au fond du bac. Cette agitation est destinée à homogénéiser la diffusion des sels nutritifs dans le milieu et à éviter la stagnation de l'algue au fond du bac dans un même point du bassin. Les différents fluides (eau de mer, solutions de sels nutritifs) arrivent également au fond et sont évacués par surverse à travers une goulotte d'évacuation placée en haut d'une des parois de chaque bac (fig. 3).

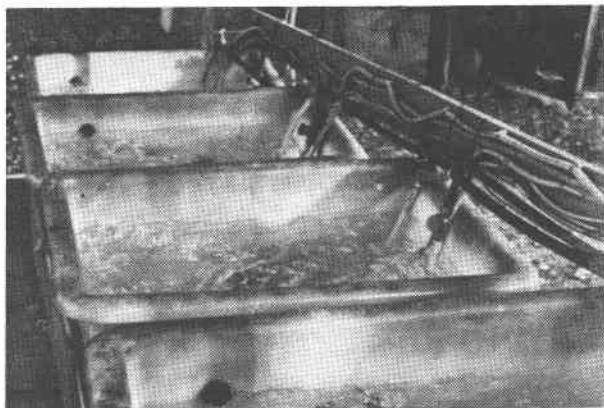


Fig. 1. — Quatre des cinq bacs de culture.

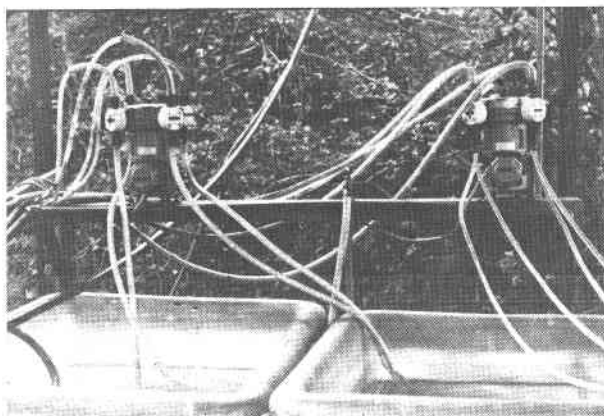


Fig. 2. — Les pompes doseuses à quatre canaux chargées de l'alimentation des bacs en sels nutritifs.

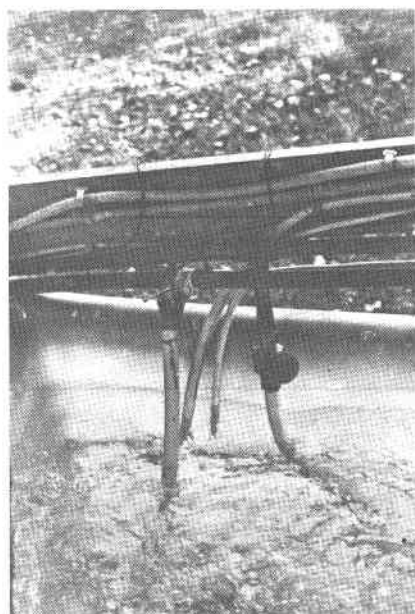


Fig. 3. — Une vue de détail de l'arrivée des différents fluides dans un bac de culture. De gauche à droite : eau de mer, nitrates, phosphates, air pulsé.

Malheureusement, des incidents techniques ont émaillé le déroulement des expériences et en ont finalement limité le nombre et la répétition. Soumis à rude épreuve (température extérieure, ambiance saline, fonctionnement permanent), les divers appareils de pompage ou d'injection d'air ont connu de nombreuses pannes auxquelles il était difficile, ou impossible de remédier rapidement faute de trouver sur place un service de maintenance adapté ou les pièces détachées adéquates. Les expériences 4 et 5 ont dû être écourtées et l'expérience 6 n'a pu être réalisée en raison d'une panne définitive du surpresseur.

Au plan des méthodes, on a choisi de commencer par tester les différentes sources et teneurs en azote (expériences 1 à 4). Les conditions de l'expérience 5 (test de la teneur en phosphate) ont été déterminées en fonction des résultats précédents.

Trois types de mesure sont effectuées régulièrement.

Les paramètres physiques – Température, salinité sont relevées tous les trois jours, les débits d'eau de mer et de sels nutritifs sont vérifiés quotidiennement.

Les paramètres chimiques – Tous les trois à quatre jours, des prélèvements sont filtrés et congelés pour mesure de la teneur résiduelle en $N.NO_3$ et $P.PO_4$. Le suivi n'a pu être aussi rigoureux que souhaité dans la mesure où les analyses, irréalisables sur place, devaient être effectuées par l'auto-analyseur du Centre de Nantes. Cela supposait un acheminement des échantillons congelés vers la Métropole ce qui n'a pas toujours été possible. Le suivi des paramètres chimiques de l'expérience 5 n'a pas pu être réalisé. Par contre les mesures des teneurs en $N.NH_4$, dans l'expérience 4, ont été faites sur place, immédiatement après chaque prélèvement.

Les paramètres biologiques – La croissance des différents lots d'algues est suivie par pesée au gramme près, de façon au moins hebdomadaire. A la fin d'une expérience donnée, chaque lot d'algue obtenu est séché. Il sera utilisé pour déterminer les teneurs en matière sèche, carraghénanes et azote total.

Résultats

Paramètres physiques – La température a oscillé entre 25 et 29°C tout au long des cinq expériences, et la salinité est restée comprise entre 30 et 35 pour mille.

Comportement général de l'algue – On sait que, dans le milieu naturel, l'aspect extérieur de l'algue varie selon les conditions du milieu (BARBAROUX *et al.*, 1984). En eau calme, elle présente des ramifications courtes et épaisses alors qu'en milieu agité elle pousse en longs «cheveux» très fins. Par ailleurs, sa couleur naturelle peut varier du jaune clair dans les milieux bien éclairés au rouge très foncé lorsque la luminosité est faible. Dans le cas qui nous occupe, l'éclairage étant le même pour tous les bacs, la variation de couleur observée ne peut être attribuée au même phénomène. Par contre, elle a pu être mise en relation directe avec la teneur en azote du milieu de culture, la couleur rouge étant d'autant plus intense que la richesse en azote augmente alors que l'algue du bac témoin reste jaune clair (fig. 4) et ce, quelle que soit la source d'azote. Pour ce qui est de l'agitation, les algues cultivées se présentaient effectivement sous la forme «cheveux» très analogue à celle observée dans les zones naturelles agitées telles que le lagon de Désirade. On peut donc penser que la même cause a eu les mêmes effets.

Croissance pondérale (fig. 5)

Un bac témoin contenant également 400 g d'algue et ne recevant aucun apport nutritif a été observé pendant les deux premières expériences. Non seulement la croissance est nulle, mais l'algue se nécrose très rapidement en quelques jours et aucun témoin n'a été utilisé pour les trois expériences suivantes.

Influence de la source d'azote

Si l'on s'en tient aux quatre premières expériences considérées globalement, les meilleurs résultats sont obtenus avec les nitrates de potassium et de sodium alors que l'apport de nitrate de calcium provoque une croissance médiocre et le nitrate d'ammonium une croissance très moyenne et hétérogène, sauf pour la teneur la plus forte en azote. Les meilleurs performances de croissance sont de l'ordre de 1 300 à 1 500 g par période de 40 jours environ soit, au maximum, un peu moins de quatre fois le poids initial.

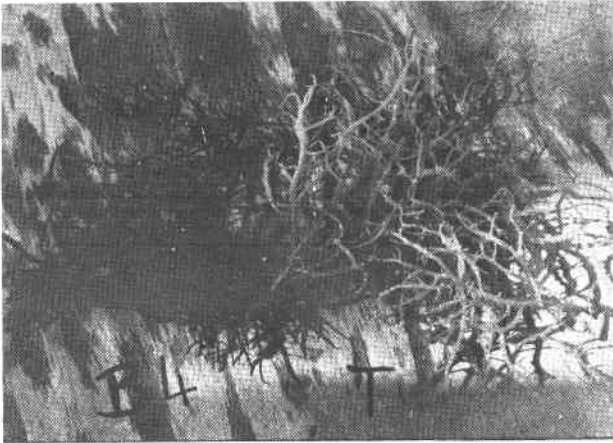


Fig. 4. — Différence de coloration entre l'algue du bac témoin, sans enrichissement (à droite) et l'algue d'un bassin enrichi (à gauche).

Influence de la teneur en azote

Pour le nitrate de sodium (expérience 1), la masse d'algue finale est en rapport direct avec la teneur en azote, toutefois elle est moindre dans le bac 4, le moins enrichi, bien qu'il présentât, au départ, une vitesse de croissance supérieure. Ceci est également vrai dans le cas de l'utilisation du nitrate d'ammonium où la meilleure croissance est obtenue dans le bac 1 et la plus mauvaise dans le bac 4.

Par contre en ce qui concerne les expériences 2 (KNO_3) et 3 ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), cette proportionnalité entre la croissance pondérale et la teneur en azote n'est plus vérifiée. Dans le 2^e cas, et bien que les différences d'un bac à l'autre ne soient pas très significatives, c'est le bassin le moins enrichi qui présente la meilleure croissance et le plus enrichi la moins bonne. Dans le cas de l'expérience 2, ce phénomène est encore plus marqué, puisque c'est le bac 3 qui fournit la meilleure performance, suivi par le bac 1, alors que les bacs 2 et 4 présentent des croissances inférieures.

Influence de la teneur en phosphore

Pour cette expérience 5, la variation des paramètres a été déterminée en fonction des résultats des quatre précédentes à savoir :

- KNO_3 utilisé comme source d'azote
- la teneur en N.NO_3 est fixée à $15 \mu \text{atgN.l}^{-1}$
- la teneur en phosphore varie de 14,5 à $1,8 \mu \text{atgP.l}^{-1}$.

Bien que cet essai ait dû être écourté par suite d'une panne du surpresseur la pente des courbes de croissance montre bien que les performances obtenues sont en ordre inverse de la teneur en phosphore. La croissance obtenue dans le bac 2 est, par ailleurs, sensiblement identique à celle observée dans le bac 3 de l'expérience 2 qui présentait les mêmes conditions expérimentales ($15 \mu \text{atgN.l}^{-1}$ et $7,25 \mu \text{atgP.l}^{-1}$).

Consommation des sels nutritifs

Les graphiques des figures 6 à 9 expriment la variation dans le temps des teneurs résiduelles en azote et phosphore mesurées à la sortie de chaque bac, c'est-à-dire les quantités de sels nutritifs non consommés, et ce en rapport avec la croissance de l'algue dans le même bac. Pour des raisons techniques, ce suivi n'a pu être réalisé lors de l'expérience 5 du test de la teneur en phosphore.

Pour les expériences 1 à 3 on est, de prime abord, frappé par le fait que la consommation en nitrates et phosphates, n'est pas constamment croissante. On obtient des variations en dents de scie, apparemment sans lien direct avec la croissance ou la masse d'algue présente. De brusques remontées de la courbe témoignent d'une diminution de l'utilisation des sels nutritifs. A l'inverse, celle-ci semble pouvoir augmenter brutalement en quelques heures, se traduisant, sur la courbe, par une décroissance rapide des teneurs résiduelles. Cependant, à une ou deux exceptions près, on observe une relative similitude d'allure générale entre les courbes représentant les variations de teneurs des deux sels.

Par contre, les courbes de consommation de l'expérience 4 montrent que l'azote ammoniacal est en diminution continuelle au cours du temps pour aboutir à un épuisement rapide du milieu malgré l'apport constant d'ions ammonium, alors que parallèlement la consommation des ions NO_3 et PO_4^{3-} subit des variations aussi désordonnées que dans les trois expériences précédentes.

Concernant plus particulièrement l'ion phosphate, un phénomène inattendu semble se manifester dans les quatre expériences. Les courbes des teneurs résiduelles en P-PO_4 , hormis leur forme en dents de scie décrite précédemment, montrent des pics dont la valeur maximale dépasse, parfois largement, la valeur maximale théorique de $7,25 \mu \text{atgP.l}^{-1}$. On atteint fréquemment 10 parfois 12 et jusqu'à $15 \mu \text{atg.l}^{-1}$ dans le bac 2 de l'expérience 3 qui, on s'en souvient, est celle où les résultats de croissance ont été parmi les moins bons.

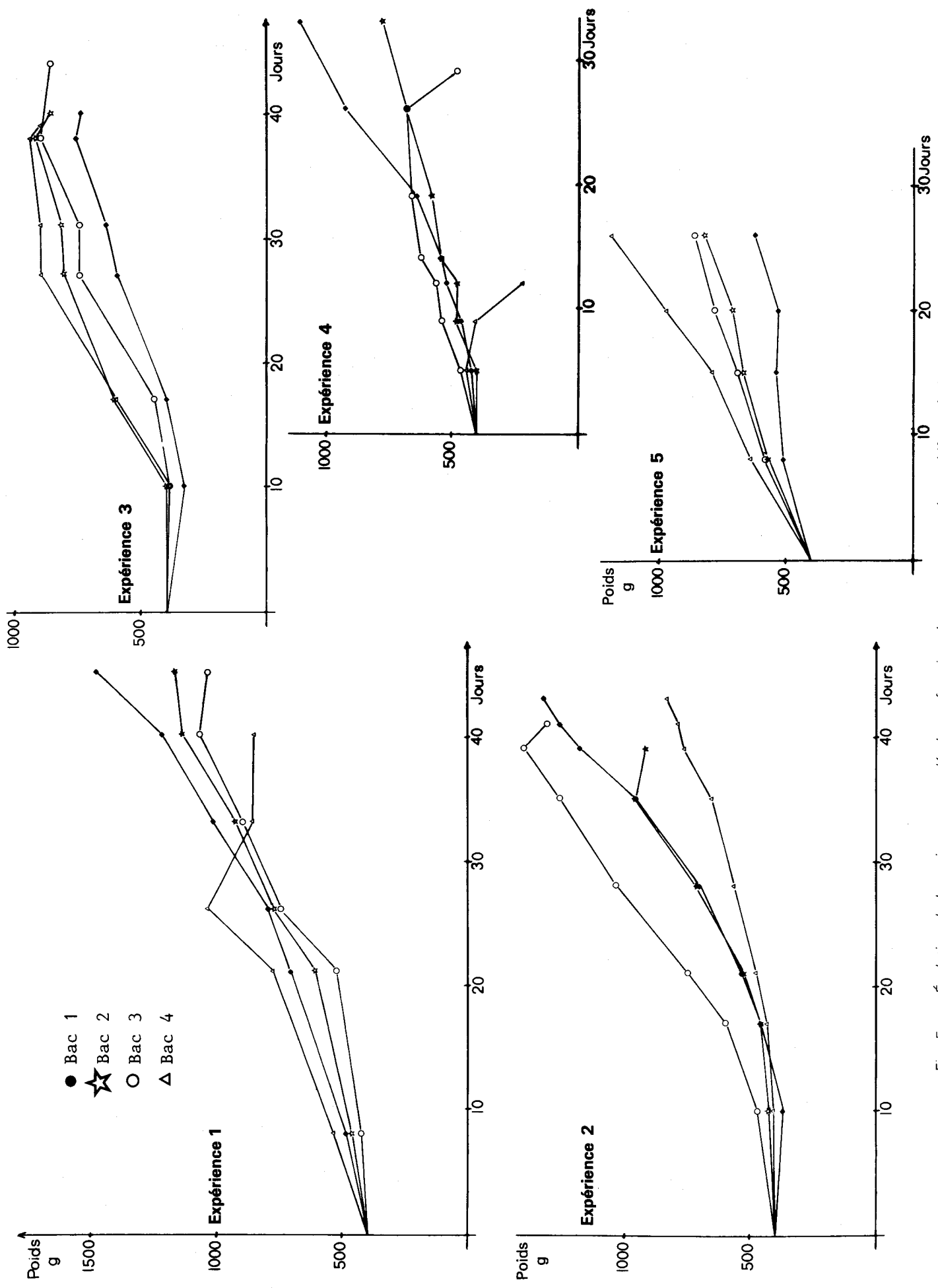


Fig. 5. — Évolution de la croissance pondérale en fonction des teneurs en sels nutritifs et de la nature de ces sels.

Composition de l'algue en fin d'expérience (tabl. 2)

La matière sèche est exprimée en pourcentage pondéral par rapport à la masse d'algue totale humide, les carraghénanes et l'azote total en pourcentage pondéral par rapport à la masse sèche (tabl. 2). On constate que le taux de matière sèche varie de 7,5 à 13 %, alors qu'il est en moyenne de 12,5 % dans le milieu naturel (cultures-tests réalisées dans divers sites de la côte orientale de la Martinique).

La teneur en carraghénanes oscille entre 34,2 et 42,7 % alors qu'elle atteint près de 50 % sur plusieurs échantillons du milieu naturel, soit une différence significative en faveur de ce dernier. A l'inverse le pourcentage d'azote total qui ne dépasse pas 1 % dans l'algue du milieu naturel, est compris entre 2,10 et 3,38 % dans les algues cultivées de manière intensive en bacs.

spinosum, ils ont aussi le mérite de faire se poser de nombreuses questions auxquelles il conviendrait de répondre si l'on veut poursuivre dans cette voie et mettre au point la culture intensive en bassins. Examinons les points qui paraissent acquis, même s'ils demandent confirmation.

● Pour la source d'azote, si l'on compare globalement les courbes de la figure 6, (bac 1 à 4) les différences de croissance observées selon la nature du sel utilisé sont trop nettes pour n'être pas significatives.

Si l'on considère maintenant les croissances obtenues avec les différents sels, à teneur en azote égale, et en relation avec la consommation de cet azote (par exemple, bac 1, fig. 6, 7, 8 et 9 pour la teneur la plus forte et ainsi de suite) il apparaît nettement que le rapport croissance sur consommation est le plus favorable pour les nitrates de potassium et de

Expérience	Bac	Matière sèche %	Carraghénanes %	Azote total %
1	1	7,9	41,5	3,38
	2	7,5	42,0	2,97
	3	9,3	42,7	2,72
	4	—	—	—
2	1	9,9	38,0	2,72
	2	9,5	39,7	2,55
	3	11,7	36,2	2,39
	4	11,8	36,9	2,10
3	1	12,6	35,3	3,05
	2	13,2	34,2	2,96
	3	12,0	38,2	2,64
	4	13,0	35,5	2,17
4	1	7,5	36,6	3,10
	2	7,9	34,5	2,90
	3	8,2	38,3	2,85
	4	7,9	37,1	2,42
5	1	8,4	41,4	3,05
	2	9,4	41,0	2,98
	3	9,4	38,1	3,01
	4	9,8	36,2	2,60
Milieu naturel		12,5	49,5	0,97

Tabl. 2. — Taux de matière sèche, teneurs en carraghénane et en azote total des différents lots d'algues en fin d'expérience.

Émission de spores

A aucun moment, au cours des 5 expériences, les algues n'ont présenté le moindre indice dans ce domaine. La couleur très foncée de l'algue, déjà signalée plus haut, ne facilitait pas les observations, à l'œil nu, des signes extérieurs annonciateurs du phénomène.

Commentaires et questions posées

Chaque expérience n'a pu être réalisée qu'une fois et il conviendrait évidemment de la répéter pour en confirmer la reproductibilité. Cependant, si ces premiers essais apportent quelques éléments de réponse au problème des besoins nutritifs d'*Eucheuma*

sodium, assez moyen pour le nitrate d'ammonium, mauvais pour le nitrate de calcium. On retrouve ce même classement, pour les autres teneurs, à quelques variantes près en ce qui concerne les performances comparées des nitrates de calcium et d'ammonium.

Ceci semble démontrer qu'à consommations sensiblement égales, les nitrates de potassium et de sodium sont mieux assimilés par l'algue sans qu'il soit possible de déterminer à quoi précisément est due cette différence de rendement des ions nitrate en fonction de leur provenance.

● L'influence de la teneur en azote doit, de la même manière, être interprétée par comparaison de la croissance et de la consommation.

EXPÉRIENCE 1 : source d'azote NaNO_3

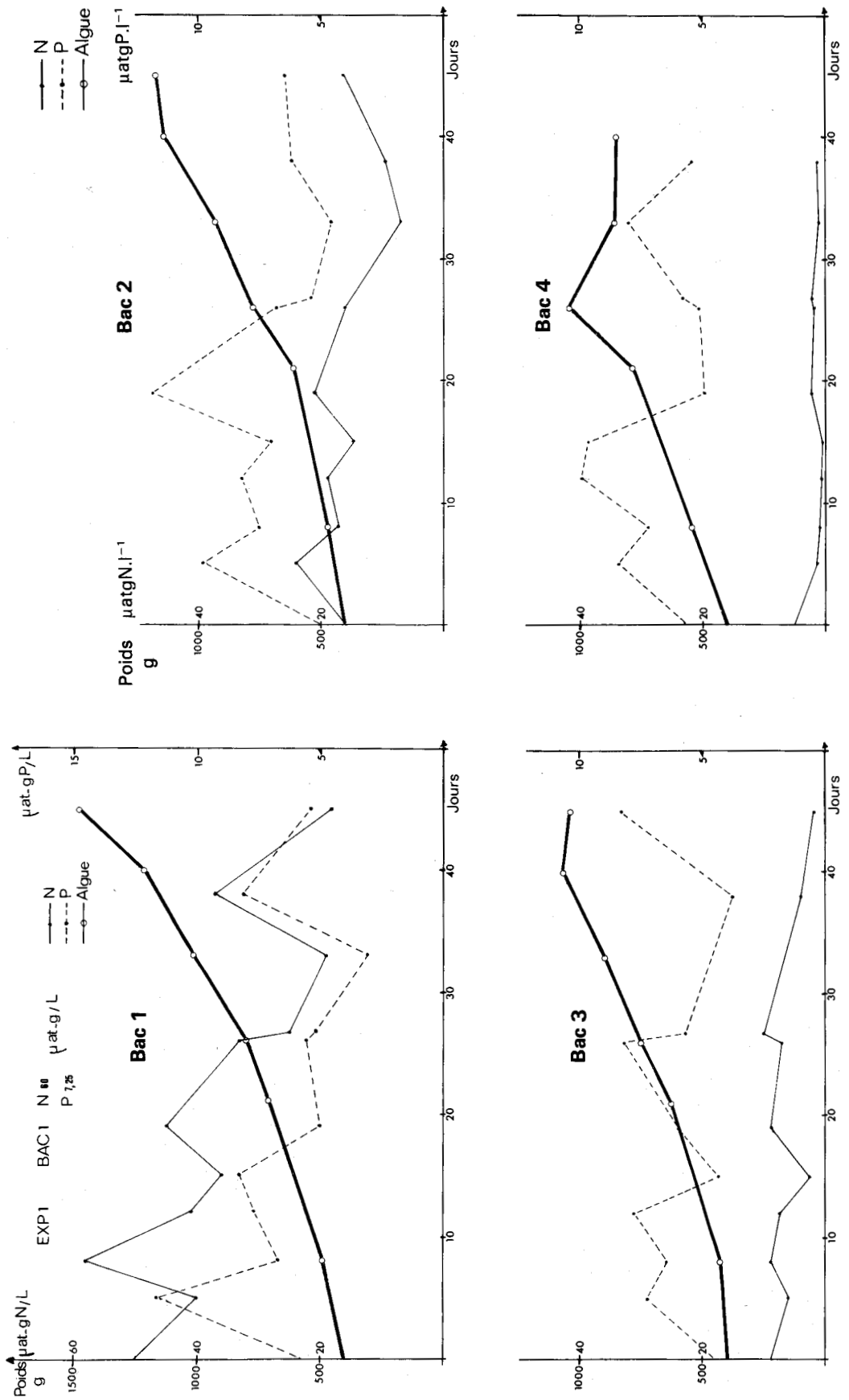


Fig. 6. — Expérience 1 : évolution des teneurs résiduelles en N-NO_3 et P-PO_4 dans les bacs 1 à 4 comparée à la croissance de l'algue.

EXPÉRIENCE 2 : source d'azote KNO_3

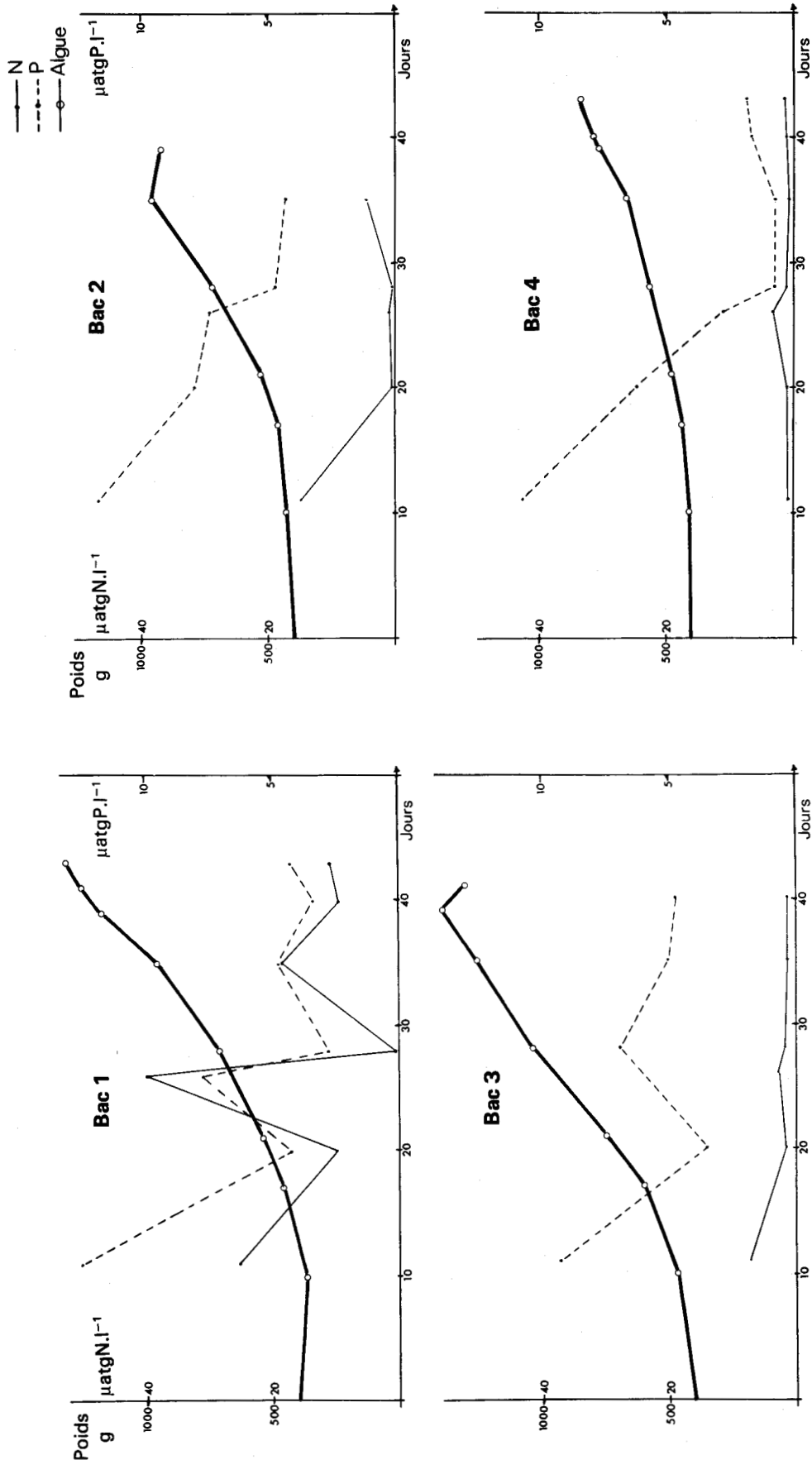


Fig. 7. — Expérience 2 : évolution des teneurs résiduelles en N-NO_3 et P-PO_4 dans les bacs 1 à 4 comparée à la croissance de l'algue ; l'apport d'azote est dans le bac 1 : 60, bac 2 : 30, bac 3 : 15 et dans le bac 4 : $7.5 \mu\text{atgN.l}^{-1}$; l'apport de phosphore est identique dans les 4 bacs : $7.25 \mu\text{atgP.l}^{-1}$ (cf. conditions expérimentales tabl. 1).

EXPÉRIENCE 3 : source d'azote $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

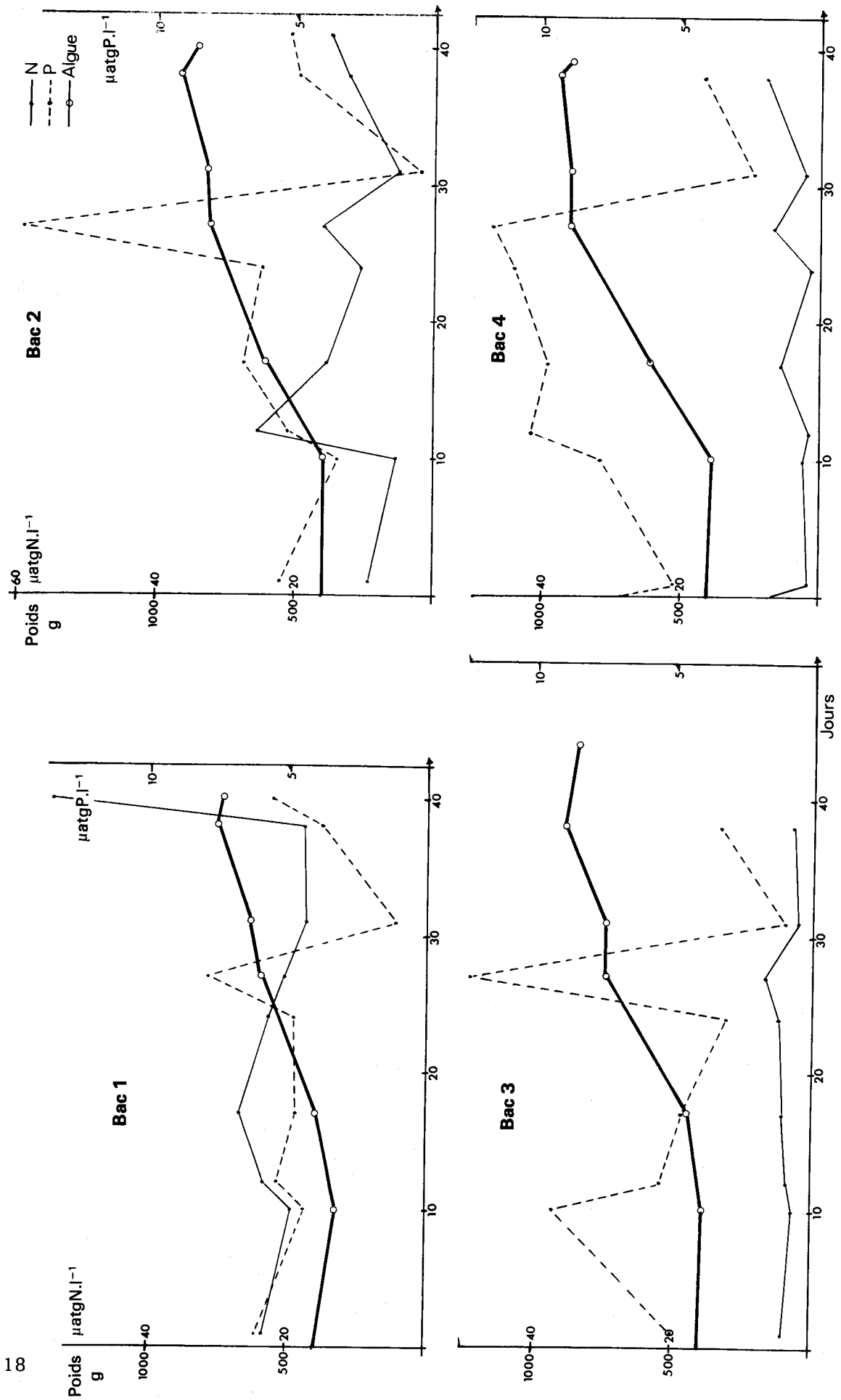


Fig. 8. — Expérience 3 : évolution des teneurs résiduelles en N-NO_3 et P-PO_4 dans les bacs 1 à 4 comparée à la croissance de l'algue ; l'apport d'azote est dans le bac 1 : 60, bac 2 : 30 ; bac 3 : 15 et dans le bac 4 : $7,5 \mu\text{atg.l}^{-1}$; l'apport de phosphore est identique dans les 4 bacs : $7,25 \mu\text{atg.l}^{-1}$ (cf. conditions expérimentales tabl. 1).

EXPÉRIENCE 4 : source d'azote NH_4NO_3

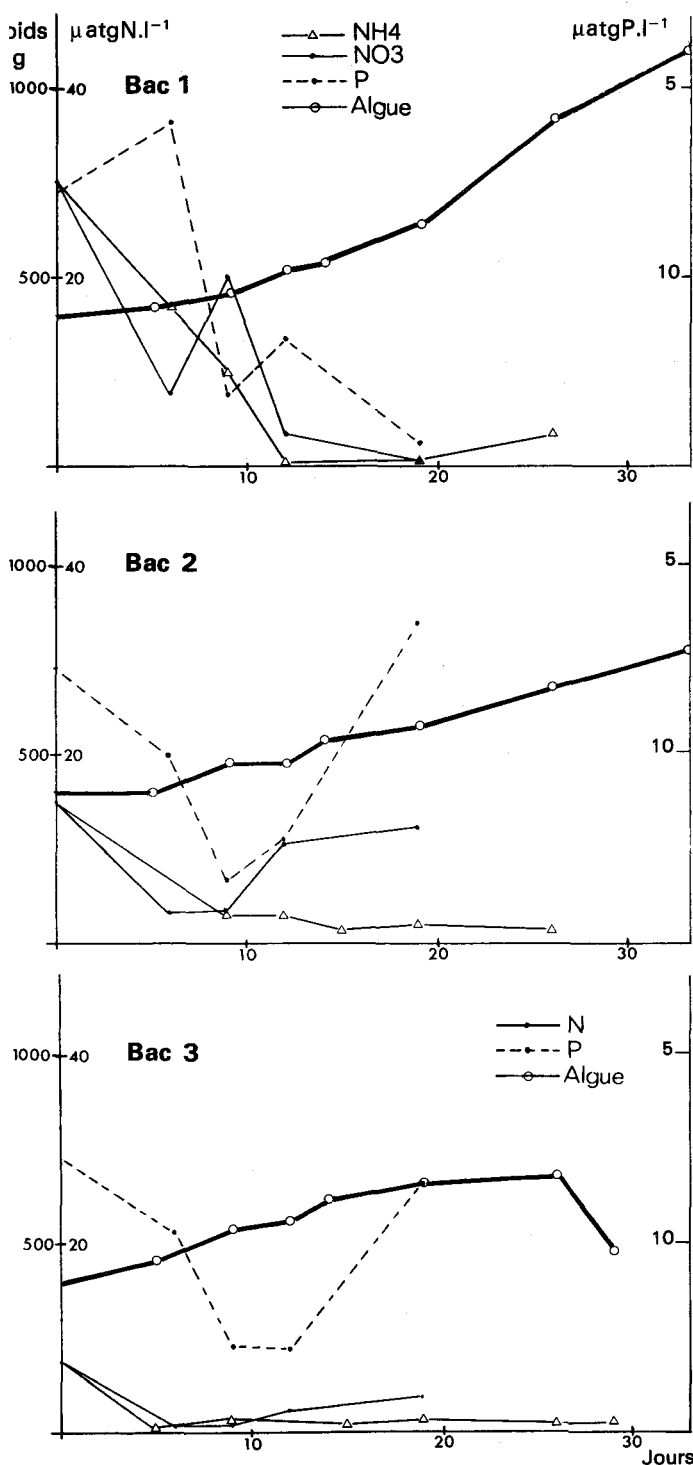


Fig. 9. — Expérience 4 : évolution des teneurs résiduelles en N-NO_3 , N-NH_4 et P-PO_4 dans les bacs 1 à 3 comparée à la croissance de l'algue.

En ce qui concerne l'expérience 1 (NaNO_3 , fig. 7), on peut constater que la consommation est réelle quelle que soit la teneur. Cependant les teneurs fortes (60 et $30 \mu\text{atg.l}^{-1}$) induisent des consommations proportionnelles sans que la croissance obtenue en soit significativement améliorée. Quant au bac 4, c'est vraisemblablement l'épuisement du milieu en azote qui a provoqué la chute de la croissance après 25 jours.

Le problème est encore plus net pour l'expérience 2 (KNO_3 , fig. 7). Les fortes consommations mesurées dans les bacs 1 et 2, se traduisent par une croissance inférieure à celle du bac 3 où, la teneur de départ étant plus faible, l'algue a forcément moins consommé d'azote. Le même scénario se répète sensiblement dans l'expérience 3 pour le nitrate de calcium où la meilleure performance est enregistrée dans le bac 4.

Pour ces trois premières expériences, on peut donc penser qu'il y a une sorte de gaspillage de l'azote. L'algue consomme proportionnellement à la quantité de nutriment qu'on lui offre mais ne semble pas pouvoir traduire cette consommation en fabrication de matière.

Le cas de l'expérience 4, où la source d'azote est double (NH_4NO_3), est un peu différent. On observe, en effet, que la meilleure croissance est voisine des bons résultats des expériences 1 et 2. Mais elle est obtenue dans le bac 1, le plus fortement enrichi et les courbes de consommation de nitrate et d'ammonium montrent qu'on arrive à un épuisement du milieu en ions ammonium, puis en ions nitrate, d'autant plus tôt que la teneur est faible. Ceci explique les moins bonnes croisances obtenues avec les faibles teneurs et démontre le très mauvais rendement croissance/consommation de l'azote sous forme ammoniacale. Par ailleurs, dans cette expérience, la partie nitrate de l'enrichissement ne permet pas de croisances comparables à celles observées avec les autres sels, même à teneur égale. Ces observations pourraient laisser penser qu'en présence des deux formes d'azote, l'algue a une préférence pour la forme ammoniacale, mais que pour obtenir une croissance égale, il lui faut consommer beaucoup plus d'ions NH_4 que d'ions NO_3 .

• L'influence de la teneur en phosphore est, par contre, beaucoup plus évidente. L'expérience 5 montre bien le peu de besoins (ou l'absence de besoins?) d'*Eucheuma spinosum* en ions PO_4^{3-} . Il aurait été, à ce sujet fort intéressant de réaliser une culture sans aucun apport de phosphates avec diverses teneurs en azote. Bien que dans cette expérience, le suivi des teneurs en sels nutritifs n'ait pu être réalisé, les mesures faites dans les expériences précédentes sont cependant riches d'enseignement.

La similitude d'allure générale des courbes NO_3 et PO_4 déjà signalée montre que lorsque l'un est consommé, l'autre l'est également. Mais la variation des teneurs en PO_4 présente des aspects surprenants. De brusques remontées des teneurs résiduelles au-delà de la valeur limite théorique de $7,25 \mu\text{atg P.l}^{-1}$ ne peuvent s'expliquer que par une libération de PO_4 dans le milieu de la part de l'algue. Tout se passe

comme si il y avait stockage excessif puis relargage d'un excès de phosphate stocké dans les tissus. Ce même phénomène pourrait aussi s'appliquer à NO_3 . Dans ce cas, il serait seulement masqué par le fait que les teneurs résiduelles maximales restent inférieures à la teneur de départ du bac correspondant.

Des essais complémentaires ont montré également que lorsqu'on bloque les arrivées d'eau de mer et de sels nutritifs, isolant ainsi l'algue dans un système clos avec un enrichissement de départ donné, la consommation est constante et les teneurs résiduelles diminuent constamment sans qu'apparaissent les fluctuations précédemment observées. L'apport permanent de sels nutritifs aboutirait donc le plus souvent (sauf pour l'ion ammonium) à un excès nuisible. Des expériences nouvelles devraient donc s'orienter vers l'étude de la croissance obtenue avec une alimentation discontinue en sels nutritifs, ce qui, sur un plan économique, serait évidemment plus intéressant.

● *La croissance pondérale* en elle-même, indépendamment des considérations précédentes, peut être considérée comme relativement faible. A la lumière des expériences réalisées, le gain de productivité par rapport au milieu naturel ne semble pas aussi élevé qu'on aurait pu le penser a priori, par comparaison avec *Chondrus crispus*.

En effet, alors que dans le milieu naturel (BARBAROUX *et al.*, 1984) on observe des taux de croissance journaliers variant entre 5 et 17,5 %, en bacs la meilleure croissance obtenue correspond à un taux de 7,3 %. De la même façon, les teneurs en carraghénanes restent légèrement inférieures à celles observées dans le milieu naturel à la même époque.

Par ailleurs, on notera que les meilleures croisances obtenues en bacs s'accompagnent des teneurs en carraghénanes les plus faibles. Les algues du bac 3 dans l'expérience 2 et du bac 4 dans l'expérience 5 présentaient des taux de croissance respectifs de 6,4 et 7,3 % et leur teneur en carraghénane mesurée est de 36,2 %. Par contre, le bac 3 de l'expérience 1, par exemple, a montré une faible croissance de 4,2 % par jour alors que la teneur finale en carraghénane était de 42,7 %. Cette relation inversée entre croissance et teneur en carraghénane peut être mise en relation avec le fait que, en revanche, les taux d'azote total mesurés dans l'algue en fin d'expérience sont 2,5 à 3,5 fois plus forts que dans les échantillons du milieu naturel. Ces observations tendraient à prouver qu'en présence d'azote en quantité importante, le métabolisme de l'algue semble se réorienter vers la production de protéines (de structures ou de réserve?) au détriment de la fabrication et du stockage des polysaccharides que sont les carraghénanes.

Conclusions

En dépit de l'insuffisance du nombre d'expériences réalisées, ces premiers essais ont cependant le mérite de bien poser les problèmes.

De nouvelles expériences devraient permettre de répondre aux questions suivantes :

- l'apport de phosphate est-il nécessaire ?

- quelles sont la forme et la teneur idéales de l'apport d'azote ?
- azote et phosphore minéraux sont-ils réellement les enrichissements souhaitables ?

Ce dernier point revêt une importance toute particulière. En effet, *Chondrus crispus* est une algue d'eaux tempérées, normalement riches en sels minéraux, et l'on peut comprendre que cette espèce réagisse bien aux apports d'azote et de phosphore. En revanche, *Eucheuma spinosum* est indigène d'eaux tropicales et sub-tropicales connues pour leur pauvreté en éléments nutritifs minéraux.

Quelques analyses réalisées en zone côtière en Martinique ont permis de montrer que les teneurs courantes en azote et phosphore du milieu naturel étaient de l'ordre de 5 à 10 fois inférieures aux teneurs les plus basses utilisées dans ces essais. Ceci voudrait dire que l'enrichissement classique, à base d'azote et de phosphore, utilisé en matière de cultures d'algues unicellulaires, par exemple, ou pour la culture intensive de *Chondrus crispus*, ne convient pas à *Eucheuma spinosum*, tout au moins avec de telles teneurs. Il serait souhaitable que les recherches à venir s'orientent, d'une part vers des essais de teneurs en azote et phosphore plus en rapport avec celles du milieu naturel, d'autre part vers des enrichissements complémentaires de nature différente (matière organique, oligo-éléments?).

Enfin, la culture intensive de *Chondrus crispus*, maintenant mise au point à l'échelle industrielle, est réalisée dans des bassins où un courant d'eau de mer circule sous une faible épaisseur (système de type «race-way»); à l'époque où ont été réalisés nos essais, cette structure n'était pas encore bien connue. On peut penser que le relatif confinement lié à notre type de bacs rectangulaires relativement profonds est, pour une part, responsable du niveau globalement très moyen des performances de croissance observées. La nécrose rapide des algues témoins dans les deux premières expériences pourrait alors être due à un renouvellement insuffisant de l'eau de mer dans un «espace bac» relativement clos.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARBAROUX (O.), PÉREZ (R.) et DRÉNO (J.P.), 1984 - L'algue rouge *Eucheuma spinosum*, possibilités d'exploitation et de culture aux Antilles. - *Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches marit.*, n° 348 :
- BRAUD (J.P.), PEREZ (R.) et LAGHERADE (G.), 1974. - Étude des possibilités d'adaptation de l'algue rouge *Eucheuma spinosum* aux côtés du Territoire Français des Afars et des Issas. - *Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches marit.*, n° 238 : 1-15.
- CECA, 1980. - Essais de culture de l'algue rouge *Chondrus crispus*. - CECA (Compagnie Européenne des Colloïdes à partir des Algues). - Rapport interne.
- PEREZ (R.) et BRAUD (J.P.), 1978. - Possibilité d'une culture industrielle de l'algue rouge *Eucheuma spinosum* dans le golfe de Tadjourah. - *Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches marit.*, n° 285. ■