

Rendements d'utilisation des sels nutritifs et variations de l'état des cellules de trois diatomées de claires à huîtres de Vendée

Indice de fertilité
État cellulaire algal
Azote organique dissous
Claire à huîtres
Navicula ostrearia
Yield index
Algal cell status
Dissolved organic nitrogen
Oyster ponds
Navicula ostrearia

S. Y. Maestrini^a, J.-M. Robert^b

^a Station Marine d'Endoume, chemin de la Batterie des Lions, 13007 Marseille.

^b Laboratoire de Biologie marine, Université de Nantes, 2, chemin de la Houssinière, 44072 Nantes-Cedex.

Reçu le 22/1/80, révisé le 16/6/80, accepté le 30/6/80.

RÉSUMÉ

La fertilité potentielle des eaux de claires de la baie de Bourgneuf, prélevées de janvier 1977 à mars 1978, a été estimée par l'analyse chimique et par des tests biologiques réalisés avec des souches en culture de trois diatomées dominantes dans ce milieu : *Navicula ostrearia*, *Phaeodactylum tricorutum* et *Skeletonema costatum*. Pour l'azote, qui est le facteur limitant de la croissance des algues dans les eaux étudiées, les valeurs de l'indice de rendement de l'utilisation de ces éléments biogènes sont, pour une même eau, identiques pour les trois algues-tests, malgré les tailles très différentes des cellules de ces espèces. Au contraire, les variations dues à l'origine des eaux sont très marquées; les eaux qui alimentent les claires permettent la production de 1,1 à 1,9 µg chl *a* par µg-atome absorbé, alors que dans les eaux de claires les valeurs de l'indice de rendement varient de 2,4 à 4,6 µg chl *a* . µg-at N⁻¹. L'azote est sans doute le facteur nutritionnel le plus important dans la croissance.

Une part importante de la biomasse algale peut être produite à partir de l'utilisation de substances organiques non prises en compte par les analyses, mais néanmoins assimilées par les cellules. Des estimations indirectes ont montré que les quantités d'azote assimilé sous cette forme pouvaient varier de 0,6 à 30,7 µg-at . l⁻¹. Ces valeurs montreraient que l'azote absorbé par cette voie représenterait jusqu'à six fois les quantités d'ions minéraux prélevés par les mêmes cellules. Par contre, le phosphore assimilé sous une forme chimique autre que l'ion orthophosphate ne représenterait pas plus de la moitié des quantités totales utilisées.

L'état des cellules produites *in vitro* correspond à celui d'algues moyennement épuisées, par rapport à des cellules des mêmes espèces en culture optimale. Les taux de division, notamment, ont été proches de ceux mentionnés pour les cellules des mêmes espèces dans le milieu naturel : 0,6 à 0,7 division par jour, pour *P. tricorutum* et *S. costatum*. A partir d'une même quantité de chl *a*, les cellules vivant dans les eaux de claire où des huîtres ont été immergées produisent une biomasse plus élevée que celle des eaux néritiques. Selon les auteurs, *Navicula ostrearia* est certainement l'espèce la mieux adaptée au milieu étudié.

Oceanol. Acta, 1981, 4, 1, 13-21.

ABSTRACT

Efficiency of nutrient consumption for biomass production and cell contents of three diatoms in Vendée oyster pond waters.

The growth potential of oyster pond waters of the bay of Bourgneuf (Vendée, France) was estimated by means of routine chemical analysis and algal bioassays involving three species of diatom : *Navicula ostrearia*, *Phaeodactylum tricorutum* and *Skeletonema costatum*. Samples were collected from January 1977 to March 1978. Yield index values obtained with nitrogen are identical for each of the three algal strains, and for the same water, despite the different orders of magnitude of cell volumes. On the other hand,

variations due to water origin are very important; input waters permit the production of 1.1-1.9 $\mu\text{g chl } a$ per $\mu\text{g-atom nitrogen}$ taken up, whereas 2.4-4.6 $\mu\text{g chl } a \cdot \mu\text{g-at N}^{-1}$ are produced in oyster pond waters. Nitrogen is undoubtedly the most important nutritional factor involved in algal growth control.

An important fraction of the algal biomass could be produced from organic substances taken up and metabolized, but no identified by routine chemical analysis. From indirect estimations, it appears that algae might have taken up between 0.6 and 30.7 $\mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ of such dissolved organic nitrogen. Data suggest that the same cells could take up as much as six times more dissolved organic nitrogen than inorganic nitrogen. On the other hand, phosphorus taken up out of P- PO_4 does not account for more than half the total amount used.

The cell content of biomass produced *in vitro* can be considered as that of moderately starved organisms, in comparison with cells cultured on high nutrient content media under laboratory conditions. Daily division rates (0.6-0.7 division for *P. tricornutum* and *S. costatum*) are similar to those reported for cells of same species under natural conditions. It may therefore be considered that they reflect both the nutrient contents of waters and the algal status of the cells living *in situ*. From the same amount of chl *a*, a larger biomass can be produced in waters collected from oyster ponds where numerous oysters have been immersed than in any other waters. In the authors' opinion, *N. ostrearia* is certainly the species best adapted to the natural conditions of oyster ponds.

Oceanol. Acta, 1981, 4, 1, 13-21.

INTRODUCTION

Les claires à huîtres de la baie de Bourgneuf (Vendée) font l'objet d'études intéressantes l'écophysiologie des algues unicellulaires qui servent de nourriture principale aux huîtres qui y sont mises en stabulation. Une première étude a été exécutée en ayant recours à une double approche utilisant simultanément des méthodes descriptives et des méthodes expérimentales (Maestrini, Robert, 1979). Ainsi, une première évaluation de la fertilité potentielle des eaux pour trois des principales espèces vivantes dans ce milieu a été tentée à partir d'analyses de la réserve en sels nutritifs et d'estimations des biomasses maximales pouvant être produites, *in vitro*, dans des eaux recueillies régulièrement, de janvier 1977 à mars 1978. Les échantillons à tester provenaient d'un canal d'alimentation et de trois claires expérimentales dont deux, contiguës, creusées et mises en eau en 1974, avaient été choisies pour comparaison avec une troisième plus récente de 2 ans. De plus, afin de déterminer le rendement de la production de biomasse algale rapportée au nombre d'atomes d'éléments biogènes consommés, nous avons procédé à une série d'analyses de ces éléments, juste avant utilisation des échantillons et aussitôt après la fin de l'incubation des cellules-tests.

Les résultats obtenus (Robert *et al.*, 1979) ont montré que la biomasse potentielle était quatre à cinq fois supérieure à celle effectivement présente dans les eaux du canal d'alimentation et deux à trois fois supérieure à celle des eaux des claires elles-mêmes. Il est apparu que les sels nutritifs persistent *in situ* tout au long de l'année, avec des teneurs non négligeables, et que les algues-tests sont incapables, *in vitro*, d'épuiser la totalité de la réserve en sels minéraux, avec toutefois de nettes différences spécifiques.

L'étude du rendement de la production en fonction de l'espèce-test et de la nature des eaux nous a ensuite conduit à estimer indirectement l'abondance des formes chimiques des éléments nutritifs qui ne sont généralement pas prises en compte dans les analyses courantes.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les eaux étudiées sont filtrées (1,2 μm) immédiatement après leur prélèvement, puis conservées à -20°C . Après décongélation, les teneurs en N- NO_3 , N- NO_2 , N- NH_4 , P- PO_4 , Si- SiO_3 sont déterminées. Les cellules algales inoculées dans ces eaux sont préalablement épuisées de leurs réserves, par lavage puis mise en culture pendant 2 jours dans une eau très pauvre en sels nutritifs (Berland *et al.*, 1973 a). Trois diatomées en culture unispécifique sont utilisées : *Navicula ostrearia* Bory, *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin et *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve. Les cultures expérimentales sont maintenues à température constante, sous un éclairage de 2000 lx à des alternances jour-nuit de 12 h-12 h, jusqu'à la fin des divisions cellulaires. Pour chacune des cultures, les teneurs en N- NO_3 , N- NO_2 , P- PO_4 et si Si- SiO_3 sont à nouveau déterminées, après filtration sur filtre en fibres de verre ayant un diamètre de pore équivalent de 0,45 μm . Pour l'estimation des quantités d'éléments consommés, l'azote ammoniacal est considéré comme étant la forme d'azote épuisée en premier (pour des détails supplémentaires, voir Robert *et al.*, 1979).

Les biomasses présentes sont estimées par mesure des densités cellulaires, des teneurs en chlorophylle *a* (chl *a*) et des teneurs en ATP. Les densités cellulaires sont mesurées au moyen des cellules de Neubauer ou de Nageotte, suivant la taille de chaque espèce. La méthode fluorimétrique de Yentsch et Menzel (1963) est utilisée

pour l'estimation des teneurs en chl *a*, la méthode de Holm-Hansen et Booth (1966) pour celle de l'ATP. Un analyseur Perkin Elmer modèle 240 est utilisé pour l'analyse de l'azote et du carbone particulaires.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Rendements de l'utilisation des sels nutritifs

Les valeurs numériques brutes concernant la biomasse algale produite, rapportée à chaque microgramme-atome d'un élément consommé, sont assez souvent dispersées; les moyennes ont été comparées par un test *t* au seuil de 0,05.

Le rendement de l'utilisation de l'azote par les trois algues-tests est nettement moins important dans les eaux qui alimentent les claires que dans les eaux des claires elles-mêmes (tableau 1); les quantités de chl *a* produites sont, en effet, respectivement de 1,1 à 1,9 $\mu\text{g} \cdot \mu\text{g-at}^{-1}$ et de 2,4, à 4,6 $\mu\text{g} \cdot \mu\text{g-at}^{-1}$. Les écarts liés à la différence d'origine des eaux sont, pour cet élément, nettement plus importants que ceux imputables à la nature des espèces algales.

En revanche, pour le phosphore, le rendement calculé pour une espèce donnée varie faiblement selon l'origine différente des eaux. Ainsi, pour *N. ostrearia*, le nombre de cellules produites rapporté au microgramme-atome est de $1\,610 \cdot 10^4$ pour les eaux du canal d'alimentation,

et de $1\,222$ à $2\,100 \cdot 10^4$ dans les trois claires. La quantité de chlorophylle *a* est toutefois plus élevée avec les eaux du canal, les valeurs différant pour un coefficient de sécurité de 70 %, ce qui laisse déjà penser que la richesse des cellules en pigments chlorophylliens est susceptible de varier avec l'origine des eaux. De même, pour *S. costatum*, les nombres de cellules produites par microgramme-atome de phosphore sont comparables dans les eaux du canal et des claires : $153 \cdot 10^6$ cell. $\mu\text{g-at}^{-1}$ contre 110 à $132 \cdot 10^6$ cell. $\mu\text{g-at}^{-1}$, respectivement, alors que les quantités de chl *a* sont plus faibles avec les eaux de claires, à un risque inférieur à 10 ou 20 % selon les claires. Au contraire, les différences spécifiques sont très marquées. Ainsi, pour *P. tricornutum*, qui apparemment n'utilise que très faiblement le phosphore sous la forme prise en compte pour les analyses (P-PO_4), la biomasse produite par microgramme-atome, très grande, est hors des possibilités d'estimation. Des deux autres espèces, c'est pour *N. ostrearia* que la biomasse produite est la plus grande : elle est au moins double de celle obtenue avec *S. costatum*, si l'on considère la production de chl *a*.

Les rendements afférents au silicium sont également très différents selon les espèces considérées. Comme pour le phosphore, *P. tricornutum* semble ne pas utiliser la forme dosée de cet élément (Si-SiO_3), ce qui, toutefois, est moins surprenant car cette diatomée est très peu silicifiée. Avec les deux autres souches, malgré des résultats numériques très divergents, on remarque que les biomasses obtenues sont nettement plus fortes avec les eaux de la claire la plus récente (claire 3).

Tableau 1

Biomasse produite par microgramme-atome d'azote, de phosphore et de silicium prélevés par les trois algues-tests *Navicula ostrearia*, *Phaeodactylum tricornutum* et *Skeletonema costatum* cultivées, *in vitro*, sur les eaux de claire récoltées de janvier 1977 à mars 1978. La biomasse étant exprimée par la densité cellulaire ou la teneur moyenne en chlorophylle *a*, les rendements sont exprimés en 10^4 cellules. $\mu\text{g-at}^{-1}$ et en $\mu\text{g-chl } a \cdot \mu\text{g-at}^{-1}$. Chl *a*=chlorophylle *a*; $\Sigma N = N(\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4)$; $\Delta\infty$ =valeurs variables, le plus souvent très élevées; ¹=valeurs extrêmes obtenues, moyennes sans signification; les moyennes sont calculées sur 22 à 24 valeurs numériques.

Biomass produced per $\mu\text{g-atom}$ (yield index) of nitrogen, phosphorus and silicium, by the three test-algae *Navicula ostrearia*, *Phaeodactylum tricornutum* and *Skeletonema costatum* grown, *in vitro*, in oyster pond waters collected from January 1977 to March 1978. The biomass is expressed by averaged cell density (10^4 cells. $\mu\text{g-at}^{-1}$) and the chlorophyll *a* produced ($\mu\text{g} \cdot \mu\text{g-at}^{-1}$). Chl *a*=chlorophyll *a*; $\Sigma N = N(\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4)$; $\Delta\infty$ =scattered values, frequently very high; ¹=minimum and maximum values, averaged value without significance.

Station Élément	<i>Navicula ostrearia</i>				<i>Phaeodactylum tricornutum</i>				<i>Skeletonema costatum</i>			
	10^4 cellules		$\mu\text{g-chl } a$		10^4 cellules		$\mu\text{g-chl } a$		10^4 cellules		$\mu\text{g-chl } a$	
	\bar{x}	(s)	\bar{x}	(s)	\bar{x}	(s)	\bar{x}	(s)	\bar{x}	(s)	\bar{x}	(s)
Canal :												
ΣN	67	(39)	1,9	(0,8)	2140	(1190)	1,1	(0,7)	940	(710)	1,4	(1,0)
P- PO_4	1610	(950)	49,3	(29,0)	$\Delta\infty$		$\Delta\infty$		15300	(11300)	21,0	(13,0)
Si- SiO_3	115	(68)	3,2	(1,8)	$\Delta\infty$		$\Delta\infty$		2060	(1450)	3,1	(2,1)
Claire 1 :												
ΣN	171	(107)	3,9	(2,6)	6700	(5200)	2,4	(1,5)	2300	(1920)	3,0	(2,5)
P- PO_4	1540	(1070)	38,0	(32,1)	$\Delta\infty$		$\Delta\infty$		13200	(8800)	16,2	(9,3)
Si- SiO_3	93	(57)	2,3	(2,2)	$\Delta\infty$		$\Delta\infty$		1580	(1420)	2,3	(2,7)
Claire 2 :												
ΣN	173	(108)	4,0	(2,7)	7900	(5800)	2,5	(2,0)	2700	(2500)	3,2	(3,0)
P- PO_4	1222	(890)	37,2	(34,8)	$\Delta\infty$		$\Delta\infty$		13200	(8700)	15,2	(9,0)
Si- SiO_3	88	(46)	2,1	(1,4)	$\Delta\infty$		$\Delta\infty$		1860	(1420)	2,2	(1,5)
Claire 3 :												
ΣN	145	(73)	4,6	(2,0)	5300	(3400)	2,9	(2,2)	1900	(1800)	3,1	(2,4)
P- PO_4	2100	(1530)	12,5-107 ¹		$\Delta\infty$		$\Delta\infty$		11000	(6900)	5,8-60,6 ¹	
Si- SiO_3	55	1075 ¹	1,3-49,3 ¹		$\Delta\infty$		$\Delta\infty$		2110	(1610)	0,8-13,7 ¹	

Tableau 2

Rapports des rendements moyens de production de biomasse (quantité de biomasse par microgramme-atome d'élément) pour l'azote, le phosphore et le silicium. (1) biomasse estimée par la quantité de cellules produite; (2) biomasse estimée par la quantité de chlorophylle *a* produite.

Ratios of yield indexes of nitrogen, phosphorus and silicium. (1): biomass estimated from cell density; (2): biomass estimated from chlorophyll *a* produced.

Origine des eaux	Rapport		<i>N. ostrearia</i>	<i>S. costatum</i>
Canal	R _P /R _N	(1)	24,03	16,28
		(2)	25,95	15,00
	R _{Si} /R _N	(1)	1,72	2,19
		(2)	1,68	2,21
Claire 1	R _P /R _N	(1)	9,01	5,74
		(2)	9,74	5,40
	R _{Si} /R _N	(1)	0,54	0,69
		(2)	0,59	0,77
Claire 2	R _P /R _N	(1)	7,06	4,89
		(2)	9,30	4,75
	R _{Si} /R _N	(1)	0,51	0,69
		(2)	0,53	0,69
Claire 3	R _P /R _N	(1)	14,50	5,79
		(2)	-	1,11

Si l'on admet, avec Droop (1974, 1975), Lehman *et al.* (1975) et Shuter (1978), qu'une cellule ne peut exister sans contenir une quantité minimale kQ de chacun des éléments biogènes, il est logique de penser que le rendement de production de la biomasse algale par nombre d'atomes consommés d'un élément est proportionnellement plus grand quand cet élément est limitant de la croissance. Compte tenu de la proportion naturelle des atomes d'azote et de phosphore contenus dans les algues, qui est identique à leur rapport d'assimilation (Redfield, 1934), et des variations interspécifiques de ce rapport (Healey, 1975; Healey, Hendzel, 1979, 1980), on doit admettre qu'une valeur supérieure à 16 du rapport

biomasse produite pour 1 $\mu\text{g-at. P}$

biomasse produite pour 1 $\mu\text{g-at. N}$

résulte d'une limitation par le phosphore et une valeur inférieure à ce nombre d'un rôle plus limitant de l'azote. Comme les rapports afférents aux eaux du canal sont plus élevés que 16, étant proches de 25, et ceux afférents aux eaux de claires sont inférieurs à 16 (tableau 2), le phosphore apparaît être le premier élément limitant dans les eaux du canal et l'azote dans les eaux de claire. Toutefois, si l'on considère le bilan des sels minéraux restant dans les eaux après la croissance des algues, force est de constater que les résultats obtenus (tableau 3) conduisent à des conclusions divergentes. Dans les eaux du canal, en effet, le rapport initial $\text{N-NO}_3\text{-NO}_2\text{-NH}_4/\text{P-PO}_4$ est, en moyenne, proche de 16; après croissance des algues-tests, il devient inférieur à ce nombre, par prélèvement plus important pour l'azote que pour le phosphore, et conduit à penser que l'azote joue un rôle plus important que le phosphore dans la limitation de la croissance des algues utilisées. Les eaux de claire contiennent proportionnellement plus de phosphore que d'azote, car les valeurs du rapport $\text{N(NO}_3\text{-NO}_2\text{-NH}_4)/\text{P-PO}_4$ varient de 6,2 à 9,3. Les cellules-tests cultivées *in vitro* dans ces eaux y prélèvent des quantités plus grandes d'azote que de phosphore; les valeurs du rapport des quantités d'azote et de phosphore consommés sont toujours nettement supérieures au rapport des concentrations initiales de ces éléments dans les eaux, sauf pour l'algue *S. costatum* avec les eaux de la claire 2, et celles de la claire 3 pour lesquelles les modifications sont peu importantes.

En définitive, les conclusions fondées sur les comparaisons de production de biomasse et celles fondées sur les bilans des concentrations des ions consommés ne sont pas strictement identiques, notamment au sujet des eaux du canal. Compte tenu de la grande richesse des eaux étudiées en substances organiques dissoutes et en seston, nous pensons que ces divergences peuvent avoir pour origine la production de biomasse algale à partir de l'assimilation directe des formes organiques des

Tableau 3

Rapports moyens (atome/atome) de l'azote ($\text{N-NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$) et du phosphore (P-PO_4) des eaux du canal et des trois claires, récoltées de janvier 1977 à mars 1978, avant inoculation des algues-tests (N/P initial), après incubation de celles-ci (N/P final) et rapport de l'azote et du phosphore consommés (N/P consommé). $\Delta\infty$: valeurs variables, le plus souvent très élevées.

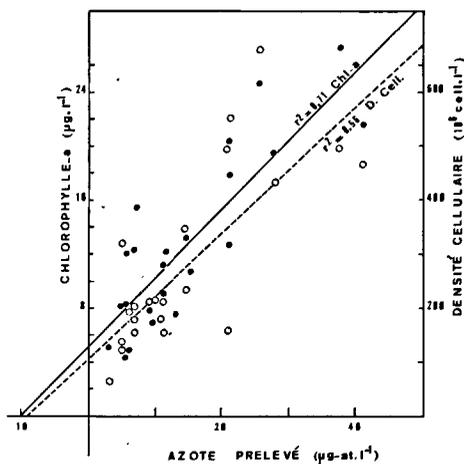
Averaged ratios (atom/atom) of nitrogen ($\text{N-NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$) to phosphorus (P-PO_4) of input channel and oyster pond waters, collected from January 1977 to March 1978, prior to incubation of test-algae (N/P initial), after growth (N/P final), and N/P of uptake (N/P consumed). $\Delta\infty$ = scattered values, frequently very high.

Espèce Rapport	Canal		Claire 1		Claire 2		Claire 3	
	\bar{x}	(s)	\bar{x}	(s)	\bar{x}	(s)	\bar{x}	(s)
<i>Navicula ostrearia</i> :								
N/P initial	16,4	(8,8)	6,5	(3,2)	6,2	(4,4)	9,3	(6,0)
- final	5,3	(6,8)	1,4	(0,5)	1,3	(0,8)	2,2	(2,1)
- consommé	19,7	(9,9)	11,5	(7,8)	7,4	(4,9)	18,6	(16,2)
<i>Phaeodactylum tricorutum</i> :								
N/P initial	16,4	(8,8)	6,5	(3,2)	6,2	(4,4)	9,3	(6,0)
- final	4,1	(4,3)	1,6	(1,1)	1,6	(1,2)	2,1	(1,0)
- consommé	$\Delta\infty$		$\Delta\infty$		$\Delta\infty$		15,2	(12,6)
<i>Skeletonema costatum</i> :								
N/P initial	16,4	(8,8)	6,5	(3,2)	6,2	(4,4)	9,3	(6,0)
- final	11,0	(11,5)	3,8	(3,2)	3,2	(2,6)	3,8	(2,2)
- consommé	17,4	(9,0)	7,7	(4,9)	6,0	(3,8)	7,8	(3,9)

principaux éléments biogènes, alors que celles-ci n'ont pas été prises en compte par nos analyses. Dans l'attente de mesures directes qui permettront de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse, nous avons essayé de déterminer indirectement les quantités d'azote et de phosphore que nous supposons avoir été prélevées par les trois algues-tests.

Essai d'estimation des teneurs en azote et en phosphore « organiques ».

Les droites de régression de la biomasse produite par les trois algues-tests en fonction des quantités de $N(NO_3 + NO_2 + NH_4)$ et de $P-PO_4$ prélevés dans les eaux étudiées ne passent généralement pas par l'origine, mais coupent l'axe des y . L'ordonnée à l'origine représente ainsi la biomasse algale produite en dehors de toute utilisation des formes analysées de ces éléments biogènes. L'intersection de ces droites avec l'axe des x permet d'estimer les quantités assimilées de ces formes chimiques non analysées; un exemple de ces évaluations est illustré dans la figure. Seules les droites de régression, pour lesquelles le coefficient de corrélation est supérieur à 0,30, sont retenues dans l'estimation de ces quantités; dans les autres cas, les valeurs sont considérées comme étant non estimables.



Figure

Biomasse produite par la diatomée *Phaeodactylum tricornutum*, en fonction de la quantité d'azote prélevée dans les eaux du canal. La biomasse est exprimée par la teneur en chlorophylle a (points noirs et trait continu; $y = 0,53x + 5,1$; $r^2 = 0,71$) et par la densité cellulaire (cercles et trait tireté; $y = 11,87x + 104,6$; $r^2 = 0,56$). L'intersection des droites de régression avec l'axe des x indique la concentration moyenne des formes chimiques assimilées par les cellules, mais non prises en compte par les analyses.

Biomass produced by the diatom Phaeodactylum tricornutum, compared with inorganic nitrogen taken up from input channel waters. The biomass is expressed by chlorophyll a content (dark points and uninterrupted line; $y = 0,53x + 5,1$; $r^2 = 0,71$) and by cell density (clear circles and dashed line; $y = 11,87x + 104,6$; $r^2 = 0,56$). Intercepts of the regression lines indicate the averaged concentration of the chemical forms taken up by the cells, but not identified by chemical analysis.

L'ensemble des résultats obtenus par cette méthode (tableau 4) montre que la diatomée *N. ostrearia* est capable de puiser les plus grandes quantités d'azote sous cette forme, surtout par rapport à *S. costatum*. Pour le phosphore, *P. tricornutum* ne prélève que très peu sinon aucun des atomes présents sous des formes chimiques

Tableau 4

Estimation des quantités ($\mu\text{g-at.l}^{-1}$) d'azote et de phosphore assimilées par les diatomées *Navicula ostrearia*, *Phaeodactylum tricornutum* et *Skeletonema costatum* sous des formes chimiques non prises en compte par les analyses. L'estimation a été faite au moyen des droites de régression des quantités de chlorophylle a (1) et de cellules (2) produites en fonction des quantités d'ions minéraux prélevés dans les eaux (voir texte et fig. 1). n. e. = valeur non estimable.

Estimated quantities ($\mu\text{g-at.l}^{-1}$) of chemical forms of nitrogen and phosphorus not analysed, but taken up by the diatoms Navicula ostrearia, Phaeodactylum tricornutum and Skeletonema costatum. Estimations are obtained from regression lines of chlorophyll a (1) or number of cells produced (2) versus number of atoms taken up (see Fig. 1). n. e. = unestimable value.

Origine des eaux	Élément	<i>Navicula ostrearia</i>		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>		<i>Skeletonema costatum</i>	
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Canal	N	3,1	24,9	7,8	12,4	0,6	3,8
	P	n. e.	n. e.	0	0	0,5	0
Claire 1	N	17,0	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.
	P	n. e.	n. e.	n. e.	0	0	0
Claire 2 (huîtres)	N	9,0	30,7	7,5	n. e.	6,2	n. e.
	P	n. e.	0,8	n. e.	0,2	0	0,3
Claire 3	N	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	0,9	0
	P	n. e.	0,2	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.

autres que l'orthophosphate. Pour les trois algues-tests, il apparaît que les eaux de la claire ayant contenu des huîtres (claire 2) ont permis le prélèvement de quantités d'azote accrues; sans doute faut-il relier cette particularité à la libération d'azote organique par les bivalves, notamment sous la forme d'urée que bon nombre d'algues unicellulaires sont capables d'utiliser comme source d'azote (Antia *et al.*, 1978). Des trois souches utilisées, c'est donc *N. ostrearia* qui se révèle être la mieux adaptée à ce type de nutrition, ce qui s'accorde au caractère d'inféodation de cette espèce au biotope étudié.

Dans l'ensemble, la part représentée par les formes organiques est importante par rapport aux formes minérales assimilées. Ainsi, pour les eaux du canal, les valeurs extrêmes des quantités moyennes pouvant être prélevées par les algues pourraient être comprises entre 0,6 et 24,9 $\mu\text{g-at N.l}^{-1}$ (tableau 4), suivant le mode d'estimation, alors que les teneurs des eaux en azote minéral ($NO_3 + NO_2 + NH_4$) varient, pour la plupart, de 7 à 40 $\mu\text{g-at N.l}^{-1}$, dont 72 à 86 % seulement sont utilisés par les trois algues-tests (Robert *et al.*, 1979). Dans les claires, notamment en présence d'huîtres, la part prise par les formes organiques est nettement plus importante. Ainsi, dans les eaux de la claire 2, les valeurs extrêmes des quantités d'azote prélevées sous forme organique varient de 6,2 à 30,7 $\mu\text{g-at.l}^{-1}$, alors que la concentration des eaux en azote minéral varie faiblement autour d'une valeur moyenne de 5 $\mu\text{g-at.l}^{-1}$, dont 67 à 82 % sont absorbés par les trois algues-tests. Pour le phosphore, il n'y a pas de différences sensibles entre les valeurs afférentes aux différentes espèces et aux différentes eaux. Les quantités de phosphore absorbé sous une forme autre que l'ion orthophosphate sont importantes, car elles peuvent représenter un tiers environ du phosphore présent dans les eaux et près de la moitié du phosphore total prélevé.

Bien que ces résultats ne soient pas significatifs si l'on utilise le test statistique de signification des ordonnées à l'origine, à cause du manque de puissance de ce test pour des corrélations souvent faibles ($r^2 = 0,30$ à $0,85$), nous retenons néanmoins ce type d'estimation indirecte, car il indique une utilisation de substances organiques à des concentrations qui concordent avec celles issues d'analyses quantitatives effectuées dans les eaux littorales. Ainsi, Le Corre *et al.* (1972) signalent, pour les côtes de Bretagne méridionale, des valeurs comprises entre 3,9 et $10,3 \mu\text{g-at}$ d'azote organique par litre. Mitamura et Saijo (1975) font état de concentrations d'urée variant de 1,3 à $5,9 \mu\text{g-at N} \cdot \text{l}^{-1}$, dans la baie de Mikawa; selon ces auteurs, l'urée représentant de 12 à 40% de la matière organique dissoute, les valeurs extrêmes de la concentration de cette dernière peuvent varier entre 3,3 et $49,2 \mu\text{g-at N} \cdot \text{l}^{-1}$ soit 2 à 5 fois plus que la concentration de l'ion nitrate. Les valeurs de l'azote assimilé par les algues-tests sous des formes autres que les ions minéraux sont ainsi loin de dépasser les teneurs des substances organiques dissoutes relevées dans des aires marines semblables à celle de notre étude.

Variations de l'état des cellules des trois diatomées-tests, en fonction de la nature des eaux

Les durées de croissance *in vitro* des cellules-tests ont varié avec les espèces et les eaux; toutefois, les taux journaliers moyens de croissance sont semblables, pour une même espèce, sur les eaux du canal de la claire 1 et de la claire 2, et légèrement plus faibles avec les eaux de la claire 3 (tableau 5). Si l'on excepte les eaux de cette dernière claire qui, étant nouvellement creusée, n'est pas pleinement représentative du milieu étudié, il apparaît donc que les eaux de claires et les eaux néritiques qui les alimentent sont également de « bonnes eaux », au sens de Devalera (1940), Kylin (1941) et Wilson (1951), c'est-à-dire qu'aucun élément défavorable à la croissance des algues n'y est présent et, conséquemment, que leur plus ou moins grande fertilité n'est fonction que de leur richesse variable en élément biogènes.

Tableau 6

Évolution, en fonction du temps d'incubation, du taux journalier de division des teneurs cellulaires en azote et carbone élémentaires, en chlorophylle *a* (Chl *a*) et en ATP, et évolution des rapports C/N et C/Chl *a*, de la diatomée *Navicula ostrearia* cultivée au stade « pigmenté » sur milieu ES de Provasoli (1968) préparé avec une eau de mer du large (d'après Robert, non publié).

Variation with duration of incubation of daily division rate; nitrogen and carbon cell contents, chlorophyll a (chl a) and ATP contents; and evolution of the ratios C/N and C/chl a, of the diatom Navicula ostrearia cultured at "blue pigmented state", on Provasoli's (1968) ES medium prepared with offshore sea-water (from Robert, unpublished).

Durée d'incubation	Taux journalier de division	Carbone :C ($\mu\text{g} \cdot 10^6 \text{ cell}^{-1}$)	Azote :N ($\mu\text{g} \cdot 10^6 \text{ cell}^{-1}$)	$\frac{C}{N}$	Chlorophylle <i>a</i> ($\mu\text{g} \cdot 10^6 \text{ cell}^{-1}$)	$\frac{C}{\text{Chl } a}$	ATP ($\mu\text{g} \cdot 10^6 \text{ cell}^{-1}$)
0 (inoculum)		95	14	6,8	3,9	24	—
2	0,04	955	149	6,4	10,9	88	0,124
4	0,43	666	97	6,9	13,3	50	0,100
6	0,33	595	90	6,6	15,4	39	0,091
8	0,46	405	63	6,4	13,9	29	0,115
10	0,17	407	63	6,5	17,1	24	0,172
12	0,02	474	74	6,4	17,9	26	0,165
14	0,02	503	76	6,6	20,9	24	0,342
17	0	593	90	6,6	21,2	28	0,211
\bar{x} (s)	—	575 (180)	88 (28)	6,6 (0,2)	16,3 (3,7)	39 (22)	0,165 (0,085)

Tableau 5

Taux journalier moyen de division des diatomées-tests *Navicula ostrearia*, *Phaeodactylum tricornutum* et *Skeletonema costatum*, cultivées *in vitro* dans les eaux du canal et des trois claires prélevées de janvier 1977 à mars 1978.

Mean daily division rate of Navicula ostrearia, Phaeodactylum tricornutum and Skeletonema costatum grown in vitro, in input channel and oyster pond waters collected from January 1977 to March 1978.

Origine des eaux	<i>Navicula ostrearia</i>		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>		<i>Skeletonema costatum</i>	
	\bar{x}	<i>s</i>	\bar{x}	<i>s</i>	\bar{x}	<i>s</i>
Canal	0,28	(0,07)	0,64	(0,19)	0,64	(0,31)
Claire 1	0,26	(0,05)	0,64	(0,14)	0,64	(0,23)
Claire 2	0,27	(0,04)	0,67	(0,17)	0,68	(0,23)
Claire 3	0,21	(0,08)	0,52	(0,19)	0,57	(0,21)

Dans les conditions expérimentales de température et d'éclaircissement utilisées, les taux journaliers moyens de division des trois algues sont environ trois fois plus faibles que ceux présentés par ces espèces en conditions culturales optimales (pour *N. ostrearia*, voir Robert, 1978). Les conditions utilisées pour la présente étude étant très proches des conditions naturelles moyennes, il est important de remarquer que le taux journalier moyen de division des cellules-tests de *N. ostrearia* est proche de celui observé pour une culture de cellules au stade pigmenté (tableau 6), lequel correspond au phénomène du « verdissement » qui se traduit par une intense floraison de cette espèce et une régression très poussée des autres algues. Cette algue est encore très mal connue; ses caractéristiques physiologiques, notamment, n'ont fait l'objet que d'un nombre restreint de travaux. La synthèse d'un pigment bleu non plastidial et non permanent, la « marennine », modifie son métabolisme; ces modifications sont probablement reflétées par les différents aspects de la structure cellulaire définis par Robert *et al.* (1975), et pourraient avoir des origines diverses (Neuville, Daste, 1972; 1974). Dans les cultures de cellules au stade « pigmenté », le rapport carbone/chlorophylle *a* reste toujours inférieur à 60 (tableau 6); la valeur moyenne obtenue pour une culture de ce type était de 39 ($s=22$), ce qui pourrait laisser

penser à une très grande richesse cellulaire en pigments photosynthétiques. Toutefois, la marennine présentant un pic d'absorption à 665 nm, comme la chlorophylle *a*, toute conclusion à ce sujet doit être prudente. De plus, la teneur en ATP est également très faible : le rapport C/ATP est dix fois supérieur à 250, valeur considérée comme « normale » (Holm-Hansen, 1969, 1970). Cette espèce présente donc très certainement des propriétés particulières qu'il conviendra de préciser ultérieurement.

Si, globalement, la biomasse produite par chacune des trois algues-tests est donc directement proportionnelle à la fertilité relative des eaux, l'état des cellules produites diffère sensiblement suivant la nature variable des composés ou substances pouvant être contenus dans ces eaux et assimilés par les algues. Ainsi, pour les trois espèces-tests, les teneurs cellulaires moyennes en chl *a* sont sensiblement plus faibles dans les eaux des claires et plus particulièrement dans celle de la claire 2 qui est la seule à avoir contenu des huîtres (tableau 7). Comparées par un test *t*, les valeurs diffèrent avec un risque inférieur à 5% entre le canal et la claire 2; cette différence n'est pas significative entre les deux claires pour *N. ostrearia* et *S. costatum* (coefficients de sécurité respectifs : 30 et 50%), mais elle est significative à un risque inférieur à 10% pour *P. tricornutum*.

Tableau 7

Valeurs moyennes des teneurs cellulaires en chlorophylle *a* (ng. 10⁶ cellules⁻¹) des diatomées *Navicula ostrearia*, *Phaeodactylum tricornutum* et *Skeletonema costatum*, cultivées *in vitro* sur les eaux du canal et des trois claires prélevées de janvier 1977 à mars 1978.

Averaged chlorophyll a contents (ng. 10⁶ cells⁻¹) of the diatoms Navicula ostrearia, Phaeodactylum tricornutum and Skeletonema costatum grown in vitro, in input channel and oyster pond waters collected from January 1977 to March 1978.

Origine des eaux	<i>Navicula ostrearia</i>		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>		<i>Skeletonema costatum</i>	
	\bar{x}	<i>s</i>	\bar{x}	<i>s</i>	\bar{x}	<i>s</i>
Inoculum	-	-	44	-	32	-
Canal	2900	(900)	59	(27)	170	(74)
Clair 1	2470	(1260)	47	(29)	146	(75)
Clair 2	2370	(780)	38	(22)	132	(62)
Clair 3	3310	(990)	59	(29)	175	(66)

A partir d'une même quantité de chl *a*, les cellules vivants dans les eaux de claire chargée en huîtres pourraient donc produire une biomasse plus élevée que dans les eaux où des mollusques n'ont pas été immergés. Cette hypothèse reste toutefois à vérifier expérimentalement, car si l'on sait avec certitude que *P. tricornutum* et *S. costatum* peuvent utiliser l'urée et bon nombre de substances azotées comme seules sources d'azote (Antia *et al.*, 1975; 1978; Turner, 1979), en revanche on ignore encore quelles conséquences d'ordre physiologique découlent de cette assimilation.

Avec le protocole expérimental utilisé pour la conduite des tests de fertilité, les biomasses des cultures-tests ont été estimées après une durée de croissance de 6 jours pour *S. costatum* et de 8 jours pour *P. tricornutum*. Pour *N. ostrearia* seulement, une évolution quotidienne de la densité cellulaire a permis d'arrêter l'incubation juste en

Tableau 8

Teneurs cellulaires en chlorophylle *a* (chl *a*) et valeurs du rapport C/chlorophylle *a*, pour les diatomées *Phaeodactylum tricornutum* et *Skeletonema costatum* mises en épuisement dans une eau de mer très pauvre en sels nutritifs (recomposé d'après Berland *et al.*, 1973 a).

Cell chlorophyll a contents and C/chlorophyll a ratios of the diatoms Phaeodactylum tricornutum and Skeletonema costatum, during depletion in nutrient-poor sea-water (recomposed from Berland et al., 1973 a).

Durée d'épuisement (jour)	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>		<i>Skeletonema costatum</i>	
	Chl <i>a</i> (ng. 10 ⁶ cell ⁻¹)	C/Chl <i>a</i>	Chl <i>a</i> (ng. 10 ⁶ cell ⁻¹)	C/Chl <i>a</i>
0 (inoculum)	94	90	173	62
1	70	87	157	89
2	31	169	65	160
4	12	463	19	245
7	7	687	-	-

fin de phase de croissance, dont la durée a varié entre 7 et 9 jours. De ce fait, les cellules obtenues de *P. tricornutum* et *S. costatum* n'étaient probablement pas toutes dans le même état physiologique. Toutefois, si l'on compare les teneurs cellulaires moyennes en chlorophylle *a* (tableau 7) avec celles de cellules de la même espèce mises en épuisement dans une eau de mer très pauvre en sels nutritifs (tableau 8), on remarque que pour *P. tricornutum*, l'état des cellules-tests approche celui de cellules moyennement épuisées, c'est-à-dire ayant perdu la moitié de leurs pigments chlorophylliens, et que pour *S. costatum* il est identique à celui de cellules commençant tout juste à s'épuiser. La faible teneur en chlorophylle *a* des cellules de *P. tricornutum* peut avoir également pour origine des modifications du métabolisme dues à l'assimilation de l'azote sous des formes organiques. Cette explication hypothétique semble devoir être également applicable à *N. ostrearia*, car pour cette espèce les teneurs moyennes en chl *a* des cellules cultivées sur les eaux de claire et du canal sont presque six fois plus faibles (tableau 7) que celles des cellules de la même espèce cultivées à l'état pigmenté dans un milieu de laboratoire contenant des nitrates comme source d'azote (tableau 6); or, pour cette espèce, la croissance des cellules-tests ayant été arrêtée avec certitude avant que la période de sénescence ne commence, aucun processus de dégradation n'est probablement intervenu. D'ailleurs, les

Tableau 9

Teneurs cellulaires moyennes en ATP (ng. 10⁶ cellules⁻¹) des diatomées-tests *Navicula ostrearia*, *Phaeodactylum tricornutum* et *Skeletonema costatum*, cultivées sur les eaux du canal et les eaux de claires récoltées de janvier 1977 à mars 1978.

Cell ATP contents of the diatoms Navicula ostrearia, Phaeodactylum tricornutum and Skeletonema costatum grown in input channel and oyster pond waters collected from January 1977 to March 1978.

Origine des eaux	<i>Navicula ostrearia</i>		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>		<i>Skeletonema costatum</i>	
	\bar{x}	<i>s</i>	\bar{x}	<i>s</i>	\bar{x}	<i>s</i>
Canal	121,5	(57,5)	0,9	(0,6)	6,8	(4,5)
Clair 1	181,8	(94,9)	1,1	(0,7)	6,2	(2,5)
Clair 2	171,5	(67,8)	0,8	(0,6)	7,7	(3,7)
Clair 3	157,6	(90,5)	1,1	(0,5)	10,2	(5,9)

teneurs moyennes en ATP des cellules-tests de cette espèce (tableau 9) sont presque identiques à celles de cellules en culture pigmentées et encore actives (tableau 6). Il n'en va pas de même pour *P. tricornerutum* et *S. costatum*, pour lesquelles les teneurs en ATP des cellules-tests (tableau 9) sont nettement inférieures aux teneurs habituellement mentionnées pour ces espèces (tableau 10) : des cellules en nombre non négligeable devaient donc être déjà sénescences au moment des prélèvements, sans que pour autant, cependant, les processus de dégradation des pigments photosynthétiques aient débuté.

Tableau 10

Teneurs cellulaires en ATP des diatomées *Navicula ostrearia*, *Phaeodactylum tricornerutum* et *Skeletonema costatum*, cultivées sur milieu de laboratoire; valeurs puisées dans la littérature.

Cell ATP contents of the diatoms Navicula ostrearia, Phaeodactylum tricornerutum and Skeletonema costatum grown in laboratory enriched sea-water; data collected from the literature.

Espèce	ATP (ng. 10 ⁶ cell ⁻¹)	Référence
<i>Navicula ostrearia</i>	100 à 342	Robert (non publié)
<i>Phaeodactylum tricornerutum</i>	20 à 30	Berland <i>et al.</i> (1972)
<i>Skeletonema costatum</i>	100	Holm-Hansen (1970)
	70 à 100	Laborde (1972)
	40 à 70	Berland <i>et al.</i> (1973 b)

CONCLUSION

Les eaux de claires et les eaux néritiques de la baie de Bourgneuf qui les alimentent sont de « bonnes eaux », en ce sens que la croissance des algues unicellulaires y est directement proportionnelle à la richesse en éléments biogènes.

C'est dans les eaux qui alimentent les claires que la biomasse algale produite pour chaque atome d'azote absorbé est la plus faible; pour cet élément, les valeurs de l'indice de rendement sont identiques pour une algue de grande taille comme *Navicula ostrearia*, et une algue de petite taille, comme *Skeletonema costatum*. Les rendements afférents au phosphore et au silicium sont proportionnellement plus faibles, compte tenu des besoins des algues pour ces divers éléments. L'azote est

donc très probablement le seul élément limitant de la fertilité de ces eaux, tout au moins dans celles qui alimentent les claires; dans les eaux de claire elles-mêmes, le phosphore a un rôle moindre, mais non négligeable. Pour expliquer les phénomènes observés, nous ne disposons, pour l'instant, que d'une hypothèse de travail. Selon cette hypothèse, une part importante de la biomasse algale est produite à partir de l'utilisation de formes chimiques non prises en compte par les analyses, mais néanmoins assimilées par les cellules. C'est dans les claires et en présence d'huîtres que ces quantités sont les plus importantes, notamment pour l'azote, qui est prélevé sous ces formes jusqu'à des quantités égales sinon supérieures à la réserve en ions minéraux de cet élément. Par contre, le phosphore assimilé sous une forme chimique autre que l'ion orthophosphate ne représenterait pas plus de la moitié des quantités totales utilisées. Pour vérifier l'explication proposée, des mesures directes sont envisagées pour l'avenir.

Des trois algues-tests utilisées, c'est indéniablement la diatomée *N. ostrearia* qui paraît être la mieux adaptée au milieu étudié. Son taux de division moyen proche de celui obtenu en culture optimale pour des cellules « bleues », les teneurs en chl *a* inversement liées à la richesse des eaux en substances organiques tout en présentant une production de biomasse égale et les quantités plus grandes de ces substances prélevées sont probablement le reflet de propriétés physiologiques qui lui confèrent un avantage par rapport aux autres espèces d'algues unicellulaires de claire. Les phénomènes d'exclusion d'espèces résultant de la multiplication intense de cette diatomée en milieu naturel (« verdissement ») démontrent cet avantage. Une étude plus précise des particularités physiologiques de cette algue s'impose donc, en fonction des stades de développement des cellules liés à la production en pigment bleu.

Remerciements

L'aide financière du Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO) (contrats 79-2128 et 80-2248) a permis la réalisation de ce travail.

RÉFÉRENCES

- Antia N. J., Berland B. R., Bonin D. J., Maestrini S. Y., 1975. Comparative evaluation of certain organic and inorganic sources of nitrogen for phototrophic growth of marine algae, *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, **55**, 3, 519-539.
- Antia N. J., Berland B. R., Bonin D. J., Maestrini S. Y., 1978. Utilisation de la matière organique dissoute en tant que substrat par le phytoplancton, in: *Actualités de biochimie marine*, colloque GABIM-CNRS, 1976, Éd. du CNRS, Paris, 147-178.
- Berland B. R., Bonin D. J., Laborde P. L., Maestrini S. Y., 1972. Variations de quelques facteurs estimatifs de la biomasse, et en particulier de l'ATP, chez plusieurs algues marines planctoniques, *Mar. Biol.*, **13**, 4, 338-345.
- Berland B. R., Bonin D. J., Maestrini S. Y., Pointier J.-P., 1973 a. Étude de la fertilité des eaux marines au moyen de tests biologiques effectués avec des cultures d'algues. II. Limitation nutritionnelle et viabilité de l'inoculum, *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol.*, **58**, 2, 203-220.
- Berland B. R., Bonin D. J., Maestrini S. Y., Pointier J.-P., 1973 b. Étude de la fertilité des eaux marines au moyen de tests biologiques effectués avec des cultures d'algues. III. Réponse de la diatomée *Skeletonema costatum* à différentes concentrations d'éléments nutritifs, *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol.*, **58**, 3, 401-416.
- Devalera M., 1940. Note on the difference in growth of *Enteromorpha* species in various culture media, *K. Fysiogr. Saellsk. Lund Foerh.*, **10**, 52-58.
- Droop M. R., 1974. The nutrient status of algal cells in continuous culture, *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, **54**, 825-855.
- Droop M. R., 1975. The nutrient status of algal cells in batch culture, *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, **55**, 541-555.
- Duce R. A., Duursma E. K., 1977. Inputs of organic matter to the ocean, *Mar. Chem.*, **5**, 4/6, 307-316.
- Healey F. P., 1975. Physiological indicators of nutrient deficiency in algae, *Can. Fish. Mar. Ser. Res. Dev. Direct., Tech. Rep.*, **585**, 30 p.
- Healey F. P., Hendzel L. L., 1979. Indicators of phosphorus and nitrogen deficiency in five algae in culture, *J. Fish. Res. Board Can.*, **36**, 11, 1364-1369.
- Healey F. P., Hendzel L. L., 1980. Physiological indicators of nutrient deficiency in the phytoplankton of several lakes, *J. Fish. Res. Board Can.*, **37**, 3, 442-453.
- Holm-Hansen O., 1969. Determination of microbial biomass in ocean profiles, *Limnol. Oceanogr.*, **14**, 740-747.
- Holm-Hansen O., 1970. ATP levels in algal cells as influenced by environmental conditions, *Plant Cell Physiol.*, **11**, 689-700.
- Holm-Hansen O., Booth C. R., 1966. The measurement of adenosine triphosphate in the ocean and its ecological significance, *Limnol. Oceanogr.*, **11**, 510-519.
- Kylin A., 1941. Biologische Analyse des Meerwassers, *K. Fysiogr. Saellsk. Lund Foerh.*, **11**, 217-232.
- Laborde P., 1972. L'adénosine triphosphate des micro-organismes marins planctoniques. Rapport avec la biomasse et la productivité primaire, *Thèse Doct. spéc.*, Univ. Aix-Marseille II.
- Le Corre P., Tréguer P., Courtot P., 1972. Évaluation de la matière organique dissoute dans les eaux côtières de la Bretagne méridionale en avril 1970, *Cah. Biol. Mar.*, **13**, 443-455.
- Lehman J. T., Botkin D. B., Likens G. E., 1975. The assumptions and rationales of a computer model of phytoplankton population dynamics, *Limnol. Oceanogr.*, **20**, 3, 343-364.
- Maestrini S. Y., Robert J.-M., 1979. Fertilité et teneurs en sels nutritifs des eaux marines, *J. Rech. Océanogr.*, **4**, 3, 17-25.
- Mitamura O., Saijo Y., 1975. Decomposition of urea associated with photosynthesis of phytoplankton in coastal waters, *Mar. Biol.*, **30**, 67-72.
- Neuville D., Daste P., 1972. Production de pigment bleu par la diatomée *Navicula ostrearia* (Gaillon) Bory maintenue en culture uni-algale sur un milieu synthétique carencé en azote nitrique, *C. R. Acad. Sci., Paris*, série D, **274**, 2030-2033.
- Neuville D., Daste P., 1974. Effets provoqués par la carence en fer sur la diatomée *Navicula ostrearia* (Gaillon) Bory en culture *in vitro*, *C. R. Acad. Sci., Paris*, série D, **278**, 1525-1528.
- Provasoli L., 1968. Media and prospects for the cultivation of marine algae, in: *Cultures and collection of algae*, edited by A. Watanabe and A. Hattori, Proc. USA, Jpn Conf., Hakone, September 1966, *Jpn Soc. Plant Physiol.*, 63-75.
- Redfield A. C., 1934. On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton, in: *James Johnstone Memorial volume*, The University Press, Liverpool, 176-192.
- Robert J.-M., 1978. Variations biométriques de l'algue *Navicula ostrearia* Bory (Diatomée Pennée) en culture, *Bull. Soc. Phycol. Fr.*, **23**, 38-44.
- Robert J.-M., Pages J., Prat D., 1975. Applications de la biométrie cytologique à la définition des stades de développement du *Navicula ostrearia* Bory : incidences de l'évolution pigmentaire sur le verdissement des claires à huitres, *Physiol. Vég.*, **13**, 2, 225-241.
- Robert J.-M., Maestrini S. Y., Bagès M., Dréno J.-P., Gonzalez-Rodriguez E., 1979. Estimation, au moyen de tests biologiques, de la fertilité pour trois diatomées des eaux des claires à huitres de Vendée, *Oceanol. Acta*, **2**, 3, 275-286.
- Shuter B. J., 1978. Size dependence of phosphorus and nitrogen subsistence quotas in unicellular microorganisms, *Limnol. Oceanogr.*, **23**, 6, 1248-1255.
- Turner M. F., 1979. Nutrition of some marine microalgae with special reference to vitamin requirements and utilization of nitrogen and carbon sources, *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, **59**, 535-552.
- Wilson D. P., 1951. A biological difference between natural seawaters, *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, **30**, 1-26.
- Yentsch C. S., Menzel D. W., 1963. A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and pheophytin by fluorescence, *Deep-Sea Res.*, **10**, 221-231.

SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR LES LAGUNES CÔTIÈRES

Parrainé par l'UNESCO

Bordeaux, France, 8 au 14 septembre 1981

Sous les auspices du Programme MAB, du SCOR, de l'IABO et de la COI

Organisé par l'Université de Bordeaux-I
et la Commission française pour l'UNESCO

Les lagunes côtières et leurs cordons littoraux occupent 13 % des rivages océaniques actuels; elles se répartissent des tropiques aux pôles. Fertilisées par les apports océaniques et continentaux, les systèmes écologiques abrités par les lagunes — lacs saumâtres et hypersalés, marais, mangroves tropicales, deltas — représentent une grande richesse potentielle de la biosphère.

L'intérêt scientifique pour ces systèmes côtiers importants s'est accru considérablement ces 10 dernières années. Les efforts récents déployés dans le contexte international par l'UNESCO contribuent à cette action. Ils tendent à soutenir une gestion scientifique des lagunes. Une réflexion multidisciplinaire s'impose. Elle fixera les objectifs du Symposium international sur les lagunes côtières, organisé à Bordeaux, France, du 8 au 14 septembre 1981, le « SILCO/UNESCO 81 ».

Objectifs du SILCO/UNESCO 81

- Faire le point des tendances actuelles de la recherche sur les lagunes côtières et leurs interfaces.
- Faciliter les contacts entre spécialistes des différents domaines de la recherche.
- Stimuler l'élaboration de projets régionaux multidisciplinaires.

Programme scientifique

Sont prévus : 1) des exposés de synthèse présentés par des conférenciers invités; 2) des communications libres; 3) des posters; 4) des ateliers portant sur des thèmes spécifiques.

Participation

Toute correspondance doit être adressée à l'intitulé ci-après :

M. Pierre Lasserre, Secrétaire Général, SILCO/UNESCO 81, Institut de Biologie Marine, Université de Bordeaux-I, 33120 Arcachon, France. Tél. : 56.83.10.22; 56.83.66.71.

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL LAGOONS

Sponsored by UNESCO

Bordeaux, France, September 8-14, 1981

Under the auspices of the MAB Programme, SCOR, IABO and IOC

Organized by the University of Bordeaux I
and the French National Commission for UNESCO

Coastal lagoons and their enclosing barriers comprise 13 % of the world's coastline and are located from tropical zones to the poles. The ecological systems sheltered by the lagoon barriers include lakes — brackish and hypersaline — marshes, tropical mangroves and deltas. They are enriched by oceanic and continental inputs and are among the most productive ecosystems in the biosphere.

The general scientific neglect of these important coastal systems has been rectified, in the last ten years. In the international context, the recent efforts of UNESCO have contributed in this direction. They are aimed at giving support to the scientific management of lagoons. A multidisciplinary reflection is appropriate for this action, and will determine the objectives of the International symposium on coastal lagoons, to be held in Bordeaux, France, September 8-14, 1981, the "ISCOL/UNESCO 81".

Objectives of ISCOL/UNESCO 81

- To take stock of the principal trends of present research on coastal lagoons.
- To promote contacts among specialists in different areas of research.
- To stimulate the development of multidisciplinary regional projects.

Scientific programme

The programme will consist of 1) invited lectures; 2) contributed papers; 3) posters; 4) workshops on specific topics.

Participation

All correspondance should be addressed to:

Dr. Pierre Lasserre, General Secretary, ISCOL/UNESCO 81, Institut de Biologie Marine, Université de Bordeaux-I, 33120 Arcachon, France, Tel.: 56.83.10.22; 56.83.66.71.