

THESE

présentée devant

L'UNIVERSITE D'AIX-MARSEILLE II

U.E.R. DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'ENVIRONNEMENT

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE SPECIALITE EN OCEANOGRAPHIE

par

Jean-Christian AUCLAIR

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA PRODUCTION PRIMAIRE

DES LAGUNES DES

ILES-DE-LA-MADELEINE QUEBEC

et

une evaluation des facteurs contrôlant

l'exactitude des mesures du comptage

par scintillation liquide

Soutenue le 2 juin 1977 devant la commission d'examen

MM. J.M. PERES Président

M. TRAVERS Examinateurs
H.J. MINAS

P. GOGAN Invité

Ce travail a été réalisé grâce au soutien financier et logistique provenant d'une part, de la Direction Générale des Pêches Maritimes, Gouvernement du Québec, et d'autre part, d'une bourse d'échange scientifique et culturelle France/Québec.

A Jean Paul, Alice
et Jean-Patrice

AVANT PROPOS

Avant d'aborder l'exposé de ces recherches, je tiens à exprimer ma gratitude et mes remerciements à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, m'ont permis de réaliser ce travail.

Monsieur le Professeur J.M. PERES, Membre de l'Institut, Directeur de la Station Marine d'Endoume, m'a accueilli dans son laboratoire, où j'ai bénéficié de son enseignement, et m'a fait l'honneur de présider ce jury. Je le prie de recevoir ici le témoignage de ma reconnaissance sincère.

Monsieur H.J. MINAS, Directeur de recherches au CNRS, m'a accepté dans son équipe et m'a permis de bénéficier de toutes les facilités de travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

M. M. TRAVERS, Maître de Conférences a bien voulu accepter de juger ce mémoire. Je lui exprime ma sincère reconnaissance.

M. P. GOGAN, Chargé de recherches au CNRS a apporté son expérience dans le domaine du comptage par Scintillation Liquide. Je le remercie vivement.

Je désire remercier très spécialement M. Lucien POIRIER de la Direction Générale des Pêches Maritimes (Québec) de m'avoir confié ce travail, et M. Jean-Yves BELLAVANCE du GIROQ d'avoir bien voulu effectuer les analyses des sels nutritifs et de la chlorophylle.

Cette étude n'aurait pu être menée à bien sans l'appui de mes assistants d'été; Serge DEMERS, Louis BELZILE, Denis LEBLANC, Josette CÔTE, Michel ROY et René DUSSAULT.

Je remercie les équipages du S.P. ENTREE et du S.P. MADELINOT, ainsi que le personnel du laboratoire de l'Office des Recherches sur les Pêcheries du Canada (Cap-aux-Meules), et l'Ecole Polyvalente des Îles, de m'avoir accordé accès à leurs locaux.

Enfin, je ne saurais oublier les membres de notre équipe; Mde. M.C. BONIN et M. B. COSTE ont apporté de précieux conseils lors de la rédaction de cette thèse, et Yves COLLOS et Gerd SLAWYK ont contribué, avec leur encouragements et interminables discussions, à faire de mon séjour en France, une expérience humaine inoubliable.

RESUME

La salinité, température et les concentrations en sels nutritifs ont été mesurées deux fois par semaine au cours d'une période de 3 mois (Juin à Août) en 1974, dans les lagunes des Iles-de-la-Madeleine, Golfe du St. Laurent. Des mesures de production primaire et des teneurs en chlorophylle ont été ajoutées entre les mois de Mai et Septembre, 1975. Les concentrations en orthophosphates et en orthosilicates ont été plus élevées et plus variables que celles des eaux du Golfe. Les nitrates ont été associés à l'IDE (Indice du Déplacement Effectif) du vent et aux faibles marées de vives-eaux dans cette région. Les teneurs en chlorophylle et la production primaire ont été hautement correlées, et leur augmentations correspondaient de près au augmentations en nitrates. Les valeurs de la production se sont situées entre $4.9 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$ à la mi-juin, augmentant à $48.7 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$ à la mi-juillet; pendant cette même période, la chlorophylle a varié entre $5 \mu\text{g/l}$ et $60 \mu\text{g/l}$.

Un aspect méthodologique de l'estimation de la production primaire au moyen du C-14 fut également examiné. L'exactitude des rendements évalués des rapports des canaux de l'échantillon, (RCE, Comptage par Scintillation Liquide) ont été déterminé à partir de la technique des 'doubles-rapports' (Bush, 1968). Le comptage du phytoplancton en suspension, comparé à celui d'étalons homogènes a donné comme résultat une erreur $\leq 2\%$ sur les déterminations finales des DPM (désintégrations/minute). En plus, le comptage du phytoplancton sédimenté (sans suspension) n'a pas eu d'effet sur le décalage reproductible du Spectre des Amplitudes Impulsionnaires; le RCE variant fidèlement avec l'augmentation de l'auto-absorption et la réflexion dues aux micro-débris phytoplanctoniques non-dissous restant sur le fond de la fiole à scintillation.

ABSTRACT

Salinity, temperature and nutrient concentrations were monitored twice weekly over a three month period (June to August) in 1974 in the shallow embayments of the Magdalen Islands, Gulf of St. Lawrence. Primary production, chlorophyll and nutrient measurements were carried out from May to September 1975. Orthophosphate and orthosilicate concentrations were greater and more variable than in the open Gulf waters. Nitrates were related to the wind EDI (Effective Displacement Index), and to the weak spring tides in the area. Chlorophyll and production were very well correlated and their increases, responded closely to the nitrate increases. Production values ranged from a low of $4.9 \text{ mgC/m}^3/\text{hr}$ in mid-june to a high of $48.7 \text{ mgC/m}^3/\text{hr}$ in mid-july; chlorophyll varied during the same period, from a low of $5 \mu\text{g/l}$ to a high of $60 \mu\text{g/l}$. A methodological aspect of the C-14 primary production technique was also examined. The accuracy of Channels-Ratio efficiency determinations (Liquid Scintillation Counting) were derived from Bush's 'double-ratio' technique. Suspension counting of labelled phytoplankton as compared to homogeneously quenched sealed standards resulted in an error $\leq 2\%$ on the final DPM determinations. Furthermore, non-suspension counting had a non-detectable effect on the reproducible decrease of the Pulse Height Spectrum, the Channels-Ratio varying faithfully with increasing absorption and back-scattering caused by the undissolved phytoplanktonic micro-débris resting on the vial floor.

S O M M A I R E

	pages
CHAPITRE I : INTRODUCTION	1
1.1. INTRODUCTION	1
1.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE	3
1.3. PARAMETRES METEOROLOGIQUES	3
1.4. PARAMETRES HYDROPHYSIQUES	5
1.5. LOCALISATION DES STATIONS.	5
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES (sauf comptage des filtres)	8
2.1. SALINITE	8
2.2. TEMPERATURE	8
2.3. CHLOROPHYLLE ET PHEOPHYTINE	8
2.4. SELS MINERAUX	11
2.5. PRODUCTION PRIMAIRE	11
2.6. RADIATION SOLAIRE	15
CHAPITRE III : METHODES DE COMPTAGE DES FILTRES/SCINTILLATION LIQUIDE	15
3.1. INTRODUCTION	15
3.2. GENERALITES SUR LA THEORIE	17
3.3. ETALONNAGE ET EXACTITUDE	18
3.4. METHODE D'ETALONNAGE	21
3.4.1. Méthode du standard interne	21
3.4.2. Méthode du rapport des canaux de l'échantillon	23
3.4.3. Méthode du rapport des canaux de la source externe	25
3.4.4. Comparaison des deux méthodes de rapports.	25
3.4.5. Technique des double rapports. Mise en oeuvre.	27
3.5. PREPARATION DES ECHANTILLONS	28
3.5.1. Solvants	30
3.5.2. Scintillateurs.	30

3.6. DEVELOPPEMENT DES SYSTEMES SOLVANT.. SCINTILLATEUR POUR L'ETUDE DE LA PRODUCTION PRIMAIRE	30
3.7. COMPTAGE DES SOLUTIONS ISOTOPIQUES	36
3.8. ESSAIS DE COMBUSTION.	36
 CHAPITRE IV : RESULTATS : PARAMETRES HYDROCHIMIQUES	38
4.1. SALINITE ET TEMPERATURE	38
4.2. EVOLUTION DES NITRATES	42
4.2.1. Résultats	42
4.2.2. Discussion	44
4.3. EVOLUTION DES PHOSPHATES	47
4.3.1. Résultats	47
4.3.2. Discussion	48
4.4. EVOLUTION DES SILICATES	50
4.4.1 Résultats	50
4.4.2 Discussion	50
 CHAPITRE V : RESULTATS : PARAMETRES BIOLOGIQUES	52
5.1. EVOLUTION DE LA CHLOROPHYLLE	52
5.1.1. Résultats et Discussion	52
5.1.2. Relations Chlorophylle/Phéophytine	56
5.2. PRODUCTION PRIMAIRE	58
5.2.1. Résultat et Discussion	58
5.3. ASSIMILATION A L'OBSCURITE	64
5.4. RELATION AVEC LA LUMIERE	64
 CHAPITRE VI : RESUME ET CONCLUSIONS.	68
REFERENCES	70
ANNEXE-DONNEES BRUTES	80

Répertoire des Figures

1. Carte avec l'emplacement géographique des îles-de-la-Madeleine	2
2. Carte montrant les ouvertures avec la mer	4
3. Carte avec la localisation des stations de prélèvements	9
4. Relation activité (DPM) et volume filtré (ml)	13
5. Spectres non-affaiblis et affaiblis du ^3H , ^{14}C et ^{137}Cs .	19
6. Effet chimique et chromatique de l'affaiblissement lumineux sur le SAI	20
7. Relation rendement et rapports des canaux de l'échantillon	24
8. Relation rendement et rapports des canaux de la source externe	26
9. Courbe des doubles-rapports (hétérogénéité du phytoplancton)	29
10. Courbe des doubles-rapports (mise en solution du NaCl)	34
11. Evolution des températures en 1974	39
12. Evolution des températures en 1975	40
13. Evolution des salinités en 1974 et 1975	41
14. Evolution des nitrates en 1974 et 1975	43
15. Relation IDE ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \text{sec}^{-2}$) et les nitrates ($\mu\text{atg.l}^{-1}$) en 1974	45
16. Relation IDE ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \text{sec}^{-2}$) et les nitrates ($\mu\text{atg.l}^{-1}$) en 1975	46
17. Evolution des orthophosphates en 1974 et 1975	49
18. Evolution des silicates en 1974 et 1975	51
19. Evolution de la chlorophylle en 1975	55
20. Evolution de la phéophytine	57
21. Evolution de la production primaire en 1975 (heure)	59
22. Evolution de la production primaire en 1975 (journalière)	60
23. Relation de la chlorophylle et de la production.	61
24. Les profiles de la production en profondeur	62
25. Assimilation à l'obscurité et relation <u>fixation à l'obscurité</u> <u>fixation à la lumière</u>	65

Répertoire des Symboles

°C : degrès centigrade
cal : calories
cm : centimètre
Cs : Césium
g : gramme
GE : Grande Entrée
GIROQ : Groupe Interuniversitaire de Recherches Océanographiques du Québec
Hg : mercure
HMC : Havre-aux-Maisons (centre)
HMP : " " " (pont)
HMF : " " " (fond)
HMPD : " " " (pont du détroit)
h :
hr : heure
hre :
IDE : Indice du Déplacement Effectif (du vent)
 K_b : Indice d'efficacité du phytoplancton.
Kev : Kilo-électron volts
l : litre
M : molaire
m : mètre
mgC : milli gramme de carbone
ml : millilitre
RCE : rapport des canaux de l'échantillon
RCSE : rapport des canaux de la source externe
SAI : spectre des amplitudes impulsionnaires
sec : seconde
SO : sud-ouest
 μatg : micro atome-gramme
 μg : micro gramme
 μl : micro litre
 μM : micro mole = μatg

ADDENDUM

k : coefficient d'extinction lumineux
CPM : comptes par minute
DPM : désintégrations par minute.

Répertoire des Tableaux

1. Resumé des paramètres météorologiques	6
2. Resumé des heures et amplitudes de la marée, et IDE cumulé sur 36, 60 et 84 heures.	7
3. Positions des stations et profondeurs d'échantillonage	10
4. Solvants utilisés pour le comptage par scintillation liquide	31
5 Scintillateurs utilisés pour le comptage par scintillation liquide	32
Analyse de la Variance démontrant l'homogénéité des teneurs	
6. en chlorophylle en profondeur, et entre les stations HMP, HMF et HMC.	54
7. Comparaison des K_b de différentes régions dans l'est du Canada	67

CHAPITRE I

I.1. INTRODUCTION :

Les recherches les plus récentes sur les paramètres bio-physico chimiques et la production primaire dans la partie maritime du Golfe St. Laurent ont été effectuées par Legendre (1971) à l'entrée de la Baie des Chaleurs, par Bulleid et Steven (1972), Steven *et al.*, (1973a, 1973b, 1973c) lors d'une étude de trois ans sur la totalité, partie estuaire et maritime du Golfe (projet PBI, Programme Biologique International), et par McIver, (1972) dans la Baie de Malpèque, Ile du Prince-Edouard (Fig. I p.2).

D'autre part, sur la côte Est de la Nouvelle Ecosse, il y a eu les importants travaux de Platt et Irwin, (1968), (Platt *et al.*, (1972), (Platt et Irwin, (1972) dans la Baie de Ste. Marguerite, Platt et Irwin, (1971), Platt, Irwin et Subba Rao, (1973) dans le bassin de Bedford et Platt et Irwin, (1972), dans le petit étang de Petpeswick.

L'archipel des îles-de-la-Madeleine est situé presqu'au centre du Golfe, entre le 47^{ème} et 48^{ème} parallèle de latitude Nord, et le 61^{ème} et 62^{ème} parallèle de longitude Ouest. Il est à 145 km de Terre Neuve, à 161 km de l'île d'Anticosti, à 258 km de la côte Gaspésienne, et à 97 km du Cap Breton, (Nouvelle Ecosse) (Fig. I p.2).

La superficie terrestre est de 218 Km², la lagunaire à marée haute 138 Km², pour un total de 356 Km² (Hamelin, 1959).

Les noyaux de l'archipel sont les vestiges des parties surélevées d'une plaine sous-marine (plateau Madelinien) qui s'étend vers le nord-est, à partir des côtes de la Nouvelle Ecosse et du Nouveau Brunswick. Cette plaine se compose de roches horizontales irrégulières, la plupart de grès rouge, qui datent du Permo-Carbonifère, (Loring et Nota, 1973). Le bedrock sous-marin est recouvert de part et d'autre d'une couche plus ou moins épaisse de sédiments non consolidés, contenant moins de 5% de carbonate de calcium. Entourant l'archipel, on retrouve des sables quartzeux feldspathiques moyens et grossiers ayant une faible quantité de vase, (< 5%).

Malheureusement, nous ne possédons pas de données sur la composition

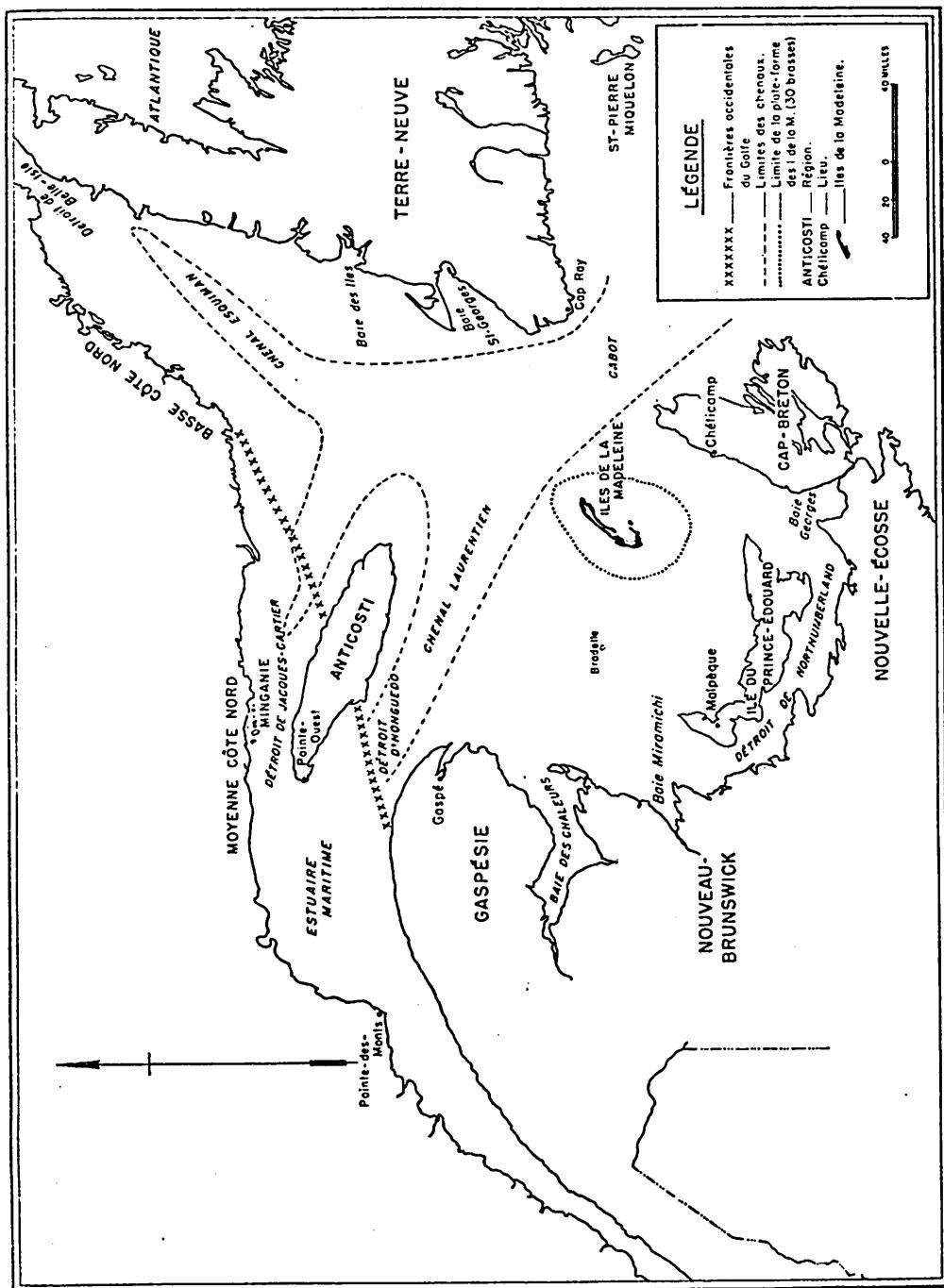


Figure 1. Emplacement géographique des Iles-de-la-Madeleine
(tiré de Hamelin, 1959)

des fonds lagunaires; les abords semblent être vasco-sableux, tandis que les cuves centrales sont vaseuses avec beaucoup de détritus de zostères. Les noyaux sont intercalés de bancs de sable qui entourent l'archipel; la masse d'eau piégée à l'intérieur forme les lagunes.

Notre étude a porté sur deux des trois lagunes, celle du Havre-aux-Maisons, et celle du Havre-de-la Grande Entrée relié à la première par le Pont du Détroit. En été, il n'y a que deux ouvertures avec la mer extérieure, (voir fig. 2 p.4), la première d'une largeur d'environ 83m située entre l'île du Cap-aux-Meules, et l'île du Havre-aux-Maisons, la deuxième, d'à peu près la même largeur située entre l'île de la Grande Entrée et la Dune du Sud. Toutefois, les tempêtes d'automne ouvrent souvent des passages à travers les dunes sableuses.

L'homogénéité des paramètres physico-chimiques, ainsi que l'absence d'apports majeurs d'eau douce, nous porte à penser que pendant notre période d'étude, les échanges d'eau ne peuvent avoir lieu qu'aux deux entrées mentionnées.

I.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE.

Cette étude a pris naissance lors d'un plus grand projet, celui d'implanter la mytiliculture et l'ostréiculture dans les lagunes des îles. Les objectifs étaient d'évaluer la production primaire et les paramètres physico-chimiques suivants : température, salinité, sels minéraux (nitrates, phosphates, silicates) chlorophylle, phéophytine. Cependant, sur le terrain, l'homogénéité spatiale des paramètres, nous a permis quelques modifications aux protocoles qui seront élaborées ci-dessous. La période d'observations s'est étendue pour la première saison de la mi-juin à la fin août 1974, et la deuxième de la mi-mai au début de septembre 1975.

1.3. PARAMETRES METEOROLOGIQUES.

Le climat de cette région est caractérisé par un été d'au moins quatre mois ayant une température au dessus de 10°C, (température moyenne en juillet : 18°C) et une température moyenne en hiver entre -15°C et -43°C.

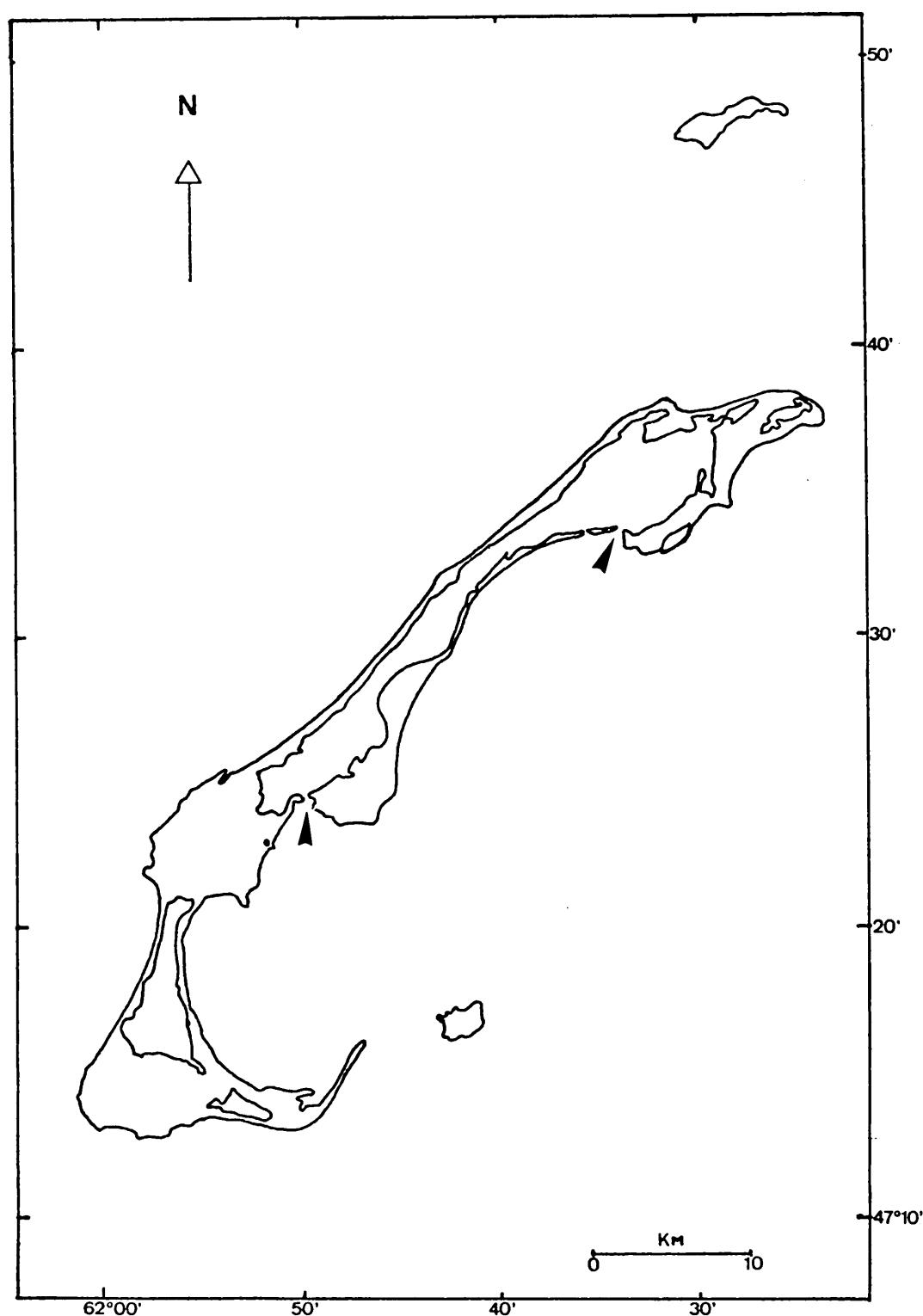


Figure 2. Localisation des ouvertures avec la mer (été).

L'hiver, le sol est recouvert de 150-250 cm de neige pendant 60 à 100 jours. La précipitation annuelle varie entre 97 et 140 cm, et la période libre de glaces dérivantes s'étend de la mi-Mai à la mi-Décembre. Dans le tableau I p.6, nous avons résumé, mois par mois, pour les deux périodes considérées des deux années, la vitesse multipliée par le temps, durée totale du vent par direction, les températures moyennes, maximales et minimales, et la précipitations. Le vent prédominant en été est du Sud-Ouest.

I.4. PARAMETRES HYDROPHYSIQUES.

Pendant l'été, on distingue trois masses d'eaux dans le Golfe : Une couche superficielle homogène d'environ 20 m d'épaisseur, caractérisée par une température entre 12°C et 14°C, atteignant parfois 18°C, et une salinité entre 29 et 32‰. Une couche intermédiaire s'étend de la base d'une petite thermocline (\sim 10 m) jusqu'à environ 150 m; la température est d'environ 0°C et la salinité entre 32‰ et 33‰. La couche profonde se retrouve entre 150 m et le fond, et possède une température maximale de 4°C à 6°C, et une salinité de $34.6 \pm 0.2\%$, (Leim *et al.*, 1957).

Pendant l'hiver, la thermocline est absente et les eaux de la couche intermédiaire sont confondues avec les eaux de la couche superficielle. La formation et la rupture saisonnière de la thermocline conditionnent l'apport des sels nutritifs dans la couche superficielle, ce qui contrôle la production phytoplanctonique.

L'influence de la marée dans cette région est assez atténuée; du côté Nord Ouest de l'archipel se situe un des deux point amphidromiques de la constituante lunaire M_2 de la marée semi-diurne, et le marnage est donc faible, (Farquharson, 1962). Nous avons résumé les amplitudes pour les dates de nos sorties dans le tableau 2 p.7. (Ces amplitudes ont été calculées à partir des marnages du port de référence de Pictou dans les "Tables des Marées du Service Hydrographique Canadien). L'amplitude maximale a été 0,91 m et la minimale 0.05 m.

I.5. LOCALISATION DES STATIONS.

La position des stations, ainsi que les profondeurs d'échantillonnage

Mois	N	Durée (nombre de milles) par Direction												DIR. VIT. TEMPERATURE						Precip.			
		NNE	NE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	ONO	NO	NNO	SO	% PRE-DOM	X	X	MAX.	MIN.	°C	(cm)		
J _u _i _n [%]	7	2	4	1	5	1	5	1	8	4	19	7	15	3	5	6	33						
J _u _i _n [%]	884	326	554	102	566	130	568	182	920	482	2114	832	1700	396	638	696	50	15.4	11.8	22.2	3.9	0.96	
J _u _i ₁ [%]	7	8	2		1	7	1	12	8	23	9	10	4	3	1								
J _u _i ₁ [%]	806	970	232	44	96	92	776	110	1334	922	2536	1042	1148	442	374	102	50	14.8	15.3	23.3	10.0	7.42	
A _o _ù _t [%]	7	4	2	1	3	1	4	1	4	3	11	7	20	7	10	8							
A _o _ù _t [%]	910	592	286	158	432	48	572	116	530	400	1416	916	2490	916	1276	976	0	16.2	17.6	26.7	9.4	7.42	
M _a _i [%]	11	6	2	11	1	3	6	2	3	12	5	7	5	1	4	12							
M _a _i [%]	1366	790	306	1347	228	442	791	255	459	1514	701	884	679	127	550	1544	550	16.1	5.5	14.4	-2.22	3.50	
J _u _i _n [%]	4	4	5	3	2	7	3	3	5	13	6	11	10	1	9	5							
J _u _i _n [%]	599	617	651	466	307	1002	430	458	670	1676	846	1162	1339	243	1213	762	550	17.8	12.1	26.1	2.2	3.50	
J _u _i ₁ [%]	1	2	1	1	1	1	67	253	530	1168	1690	1286	3092	2911	1019	348	48	0	17.3	18.6	27.2	10.6	6.17
A _o _ù _t [%]	132	295	12	11	15	67	253	530	1168	1690	1286	3092	2911	1019	348	48	7						
A _o _ù _t [%]	8	7	5	1	1	2	9	4	3	11	8	4	2	7	12	8							
S _e _p _t [%]	10	1	1	2	3	2	1	1	4	13	9	11	12	8	8	7	49						
S _e _p _t [%]	1274	231	235	265	385	272	174	116	562	1658	1217	1388	1608	1060	1089	904	0	17.3	13.8	19.4	7.8	8.61	

Tableau 2

STA.	DATE	Marée Heure		Marée Hauteur		Amplitude (m)	Vents Direction (24 heures avant)		Indice	Déplace- ment 1 1/2 jrs.	Effec- tif 3 1/3 jrs.	Ni uarg/l
		Haute	Basse	Haute	Basse		Direc- tion	Vitesse (Noeuds)				
HM	3 06	8:05	14:00	0.90	0.17	0.73	NO	19	1.01	1.57	-	.3
GE	5	9:25	16:20	0.88	0.17	0.71	SO	11	1.35	1.53	1.66	.3
PB	7 J	10:45	4:50	1.00	0.85	0.15	N	32	2.86	3.27	3.32	
HM	10	12:45	6:50	0.90	0.85	0.05	E	14	0.56	0.70	0.85	.3
PD	12 U	14:20	8:25	0.70	0.75	0.05	SSO	14	1.22	1.25	1.32	.4
PB	14	4:05	10:25	0.80	0.65	0.15	SO	14	0.41	0.53	0.60	
HM	17 I	6:20	13:30	0.90	0.25	0.65	SE	8	0.32	0.37	0.39	.3
PD	19	8:05	15:10	0.85	0.07	0.78	S	21	2.02	2.10	2.12	.4
GE	19 N	8:05	15:10	0.76	0.07	0.69						
PB	21	9:55	16:45	0.95	0.75	0.20	O	17	1.85	2.09	2.24	
HM	24	12:35	6:30	1.00	0.55	0.45	N	7	0.25	0.38	0.40	.3
GE	25	13:30	7:25	0.78	0.49	0.29	NE	10	0.90	0.93	0.95	.3
PD	26	14:35	8:30	0.80	0.55	0.25	E	18	1.40	1.48	1.50	.4
PB	27	15:50	9:35	0.78	0.45	0.33			0.66	0.89	0.93	
HM	02 07	7:25	14:40	0.90	0.15	0.75	OSO	19	2.52	2.74	2.99	2.3
PD	03	8:25	15:25	0.90	0.15	0.75	ONO	24	1.76	2.04	2.15	1.8
PB	03	8:25	15:25	0.90	0.15							
GE	04	9:10	16:10	0.88	0.087	0.79	O	14	1.02	1.43	1.57	
PD	11 J	14:10	8:00	0.70	0.65	0.05	SSO	31	1.53	1.79	1.81	1.2
HM	12 U	15:00	8:50	0.70	0.65	0.05	SVL	11	0.67	1.38	1.51	.43
PB	14 I	17:35	10:55	0.60	0.45	0.15	SO	12				
GE	15 L	4:45	12:05	0.78	0.29	0.49	SO	19	1.94	2.04	2.09	2.4
PB	22 L	11:40	5:25	0.85	0.40	0.40	NNE	15	0.61	0.87	1.09	.6
PD	22 E	11:40	5:25	0.85	0:40							
GE	25 T	14:35	8:10	0.68	0.29	0.39	SO	15	0.43	0.54	0.58	.4
HM	29	5:10	12:35	0.90	0.35	0.55	S	9	1.28	1.31	1.33	.4
PB	1 08	8:05	15:15	0.90	0.25	0.60	SO	16	1.52	1.69	1.82	
GE	6 A	11:45	5:30	0.78	0.49	0.29	OSO	25	1.62	1.67	1.76	.5
HM	12	3:10	10:15	0.90	0.35	0.55	O	17	1.39	1.54	1.64	.6
PD	13 O	4:05	11:30	0.90	0.35	0.55	O	11	0.46	0.69	0.76	.5
PB	17	8:40	15:25	0.85	0.07	0.78	SVL	20	0.92	1.56	1.61	
PD	19 U	10:35	16:55	0:85	0.17	0.68	SO	22	0.82	0.92	1.06	
HM	19	10:35	16:55	0.85	0.17	0.68						
GE	22 T	13:25	6:50	0.78	0.09	0.69	OSO	11	1.86	1.88	1.89	1.0
HM	2 06	15:45	9:35	0.60	0.75	-.15	SSE	12	1.06	1.14	1.17	0.6
GE	5	19:25	12:50	0.48	0.49	-.01	SVL	13	0.50	0.73	0.83	0.3
HM	11 J	10:10	17:00	0.86	0.07	0.79	NO	17	1.58	1.88	2.19	0.6
GE	12	11:00	5:10	0.98	0.69	0.29	NO	14	0.63	0.84	0.99	0.6
HM	18 U	17:40	10:50	0.80	0.45	0.35	OSO	21	1.21	1.30	1.35	0.5
GE	20	6:30	13:10	0.78	0.19	0.59	NO	32	2.19	2.34	2.49	0.5
HM	23 I	9:00	15:40	1.00	0.17	0.83	SSO	16	1.78	1.84	1.94	0.8
GE	25 N	10:15	17:15	0.88	0.17	0.71	O	17	1.6	1.82	1.91	2.8
HM	3 07	17:45	10:45	0.50	0.55	0.05	OSO	10	0.57	0.59	0.62	1.1
GE	4 J	18:50	12:05	0.38	0.39	0.01	SSE	10	0.24	0.32	0.32	0.15
HM	8 U	8:10	15:15	0.86	0.17	0.69	SSO	11	0.53	0.64	0.70	0.0
GE	10 I	10:00	16:55	0.98	0.07	0.91	S	12	0.56	0.64	0.68	1.8
HM	14 L	13:50	7:20	0.90		0.45	O	21	2.91	3.05	3.12	2.5
GE	17 L	17:30	10:40	0.58	0.29	0.29	OSO	26	4.15	4.73	5.05	
HM	20 E	6:50	13:45	0.90	0.25	0.65	O	21	2.94	2.97	3.23	3.5
GE	29 T	13:35	7:25	0.58	0.49	0.09	S	31	2.84	3.11	3.25	8.0
HM	31	15:25	8:45	0.50	0.45	0.05	ONO	16	1.12	1.39	1.75	0.1
GE	5 08	6:40	14:05	0.88	0.17	0.71	SE	16	0.72	1.01	1.07	3.5
HM	7	9:00	15:40	0.86	0.07	0.79	N	7	0.43	0.51	0.60	2.0
GE	A	13:40	7:15	0.78	0.19	0.59	S	10	0.63	0.82	0.88	0.1
HM	14 O	16:00	9:10	0.80	0.25	0.55	NO	13	0.82	0.84	0.98	0.3
GE	21 U	9:20	15:50	0.78	0.19	0.59	ONO	23	3.39	3.69	3.91	0.2
HM	26 T	12:35	6:10	0.80	0.45	0.35	S	12	0.97	1.05	1.20	1.5
GE	29	14:55	8:05	0.48	0.29	0.19	NNO	19	1.11	1.4	1.5	0.2
HM	2 09	5:00	12:50	0.90	0.25	0.65			0.55	0.64	0.66	8.2

pour les deux années sont présentées dans la figure 3 p.9 et dans le tableau 3 p. 10.

CHAPITRE II

MATERIEL ET METHODES.

Les méthodes utilisées pour l'étude des divers paramètres ont été les suivantes :

2.1. Salinité :

1.- 1974 -. Les échantillons ont été conservés dans des bouteilles en polyéthylène de 125 ml et analysés par le GIROQ, (Groupe Interuniversitaire de Recherches Océanographiques du Québec) au moyen d'un salinomètre Hytech modèle 6220. (Précision : $\pm 0.001\%$).

2.- 1975 -. Les mesures ont été faites *in situ* avec un thermo-salinomètre Kahl, (El Cajon, California) modèle 118WA300. (Précision : $\pm 0.05\%$).

2.2. Température :

1.- 1974 -. La température a été déterminée par immersion d'un thermomètre à mercure à travers l'ouverture supérieure d'une bouteille Van Dorn (Précision : $\pm 0.1^\circ\text{C}$).

2.- 1975 -. A l'aide du thermo-salinomètre décrit ci-haut (Précision : $\pm 0.05^\circ\text{C}$.).

2.3. Chlorophylle et Phéophytine :

L'eau prélevée avec la bouteille Van Dorn était transférée dans des flacons en polyéthylène d'un litre et immédiatement mise à l'obscurité et au froid dans une glacière portative, ($5-10^\circ\text{C}$).

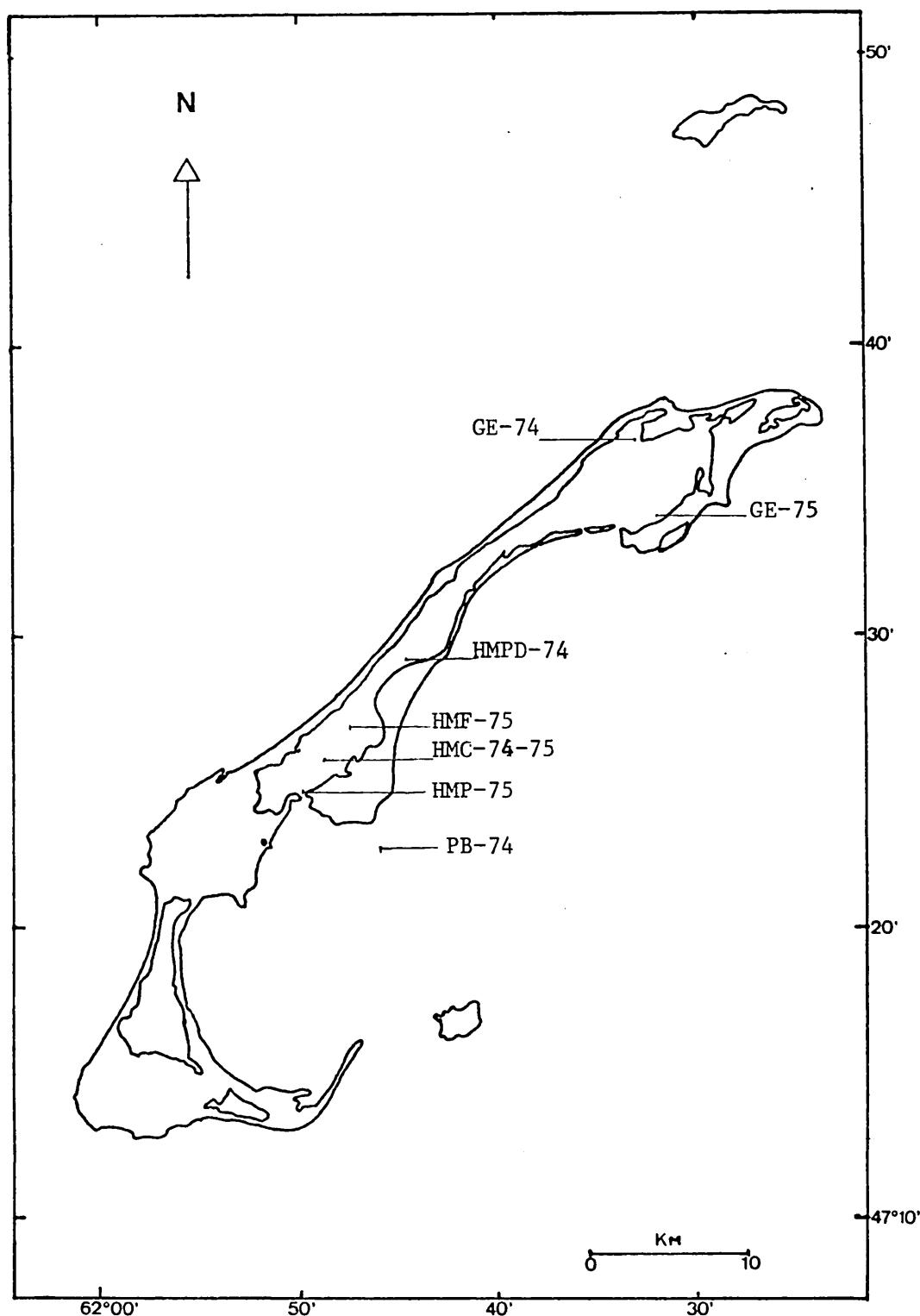


Figure 3. Localisation des stations de prélevements.

Tableau 3

Année	Station	Localité	Prof (m)	Position		Profondeurs d'échantillon- nage.
				Latitude	Longitude	
1	HMC-74	Lagune du Havre aux-Maisons(Centre)	5	47° 25.6' N	61° 48.9'0	0,3,5
9	HMPD-74	" (Pont du Detroit)	10	47° 28.8' N	61° 45.0'0	0,5,9
7	GE-74	Lagune de la Grande Entrée	10	47° 36.2' N	61° 46.7'0	0,5,9
4	PB-74	Pointe Basse	15	47° 22.9' N	61° 46.2'0	0,6,10
1	HMC-75	Lagune du Havre-aux-Maisons(Centre)	5	47° 24.4' N	61° 50.4'0	0(x2),0.5,2,4
9	HMP-75	" (Pont)	5	47° 25.5' N	61° 49.4'0	0(x2),0.5,2,4
7	HMF-75	" (Fond)	3	47° 26.6' N	61° 47.8'0	0(x2),0.5,2,4
5	GE-75	Lagune de la Grande Entrée	5	47° 31.1' N	61° 31.5'0	0(x2),0.5,2,4

P	S	T	N	S	P	Ca	P	PPL	PPO
o	x	x	x	x	x	-	-	x	x
1								x	
2								x	
3									
4								x	x
5	x	x	x	x	x	-	-		
6									
7									
8									
9	x	x	x	x	x	-	-		
10									
11									
12									
13									
14									
15									
o	x	x	xx	xx	xx	xx	xx	xx	x
5								xx	
1								xx	
2			x	x	x	x	x	x	
4	x	x	x	x	x	x	x	x	x

1974

1975

Positions et profondeurs d'échantillonnage des stations.

En 1974, on a également ajouté 10 ml d'une solution de 1% de carbonate de magnésium pour empêcher l'acidification du milieu. Au laboratoire, l'eau était filtrée sur filtre Whatman GF/C (47 mm dia.) avec un vide inférieur à 250 mm Hg. Après filtration, le filtre était enlevé de la tulipe de filtration, 1 ml de la solution $MgCO_3$ ajoutée, et mis à -20°C. Le filtrat était conservé pour l'analyse des sels minéraux. Les dosages de la chlorophylle et de la phéophytine ont été effectués par fluorimétrie selon Yentsch et Menzel (1963) tel que modifié par Holm-Hansen *et al* (1965) et décrit dans Strickland et Parsons (1972).¹

2.4. Sels Minéraux (Nitrates, Phosphates et Silicates).

Le filtrat mentionné ci-dessus était sub-divisé en trois flacons de 22 ml en polyéthylène et congelé à -20°C. Les sels minéraux ont été déterminé par Jean-Yves Bellavance du GIROQ (Université Laval) sur un auto-analyseur Technicon II selon leur mode opératoire, Technicon (1972, 1973a, 1973b).

2.5. Production Primaire :

L'eau prélevée à l'aide de la bouteille Van Dorn était distribuée dans des bouteilles 'DBO'² en verre de 300±1 ml de capacité. Les profondeurs d'incubation sont indiqués au tableau 3 p.10. Les bouteilles étaient remplies à l'ambre, et inoculées avec 10 µCi±0.1 d'une solution de $NaH^{14}CO_3$ (New England Nuclear) à l'aide d'une seringue 'Cornwall' (Goldman, 1963). Ensuite les bouteilles étaient agitées, accrochées horizontalement à un support en plexiglas, Ohle (1958) et replacées à leurs profondeurs respectives. Un délai de 3-5 min était respecté entre l'inoculation et la mise à l'eau. L'incubation avait une durée de 6 heures soit entre 0900-1500 hrs ou 1100-1700 hrs. Les bouteilles étaient alors remontées, placées dans une glacière portative, et transportées au laboratoire pour la filtration. Celle-ci était conduite sur filtre "Millipore" HAWP (0,45 µ), de 25 mm de diamètre. De chaque bouteille,

¹ Effectué par Jean Yves Bellavance du GIROQ

² Demande Biologique en Oxygène.

2 X 100 ml ont été prélevés et filtrés et le filtre rincé avec 20 ml d'eau de mer filtrée (McAllister, 1961, Nalewajko et Lean, 1972, McMahon, 1973). Les filtres étaient placés dans des flacons à scintillation, et séchés sur gel de silice dans une atmosphère libre de CO₂. Le temps de transport et de filtration ne dépassait pas 3 heures.

Après réhumidification avec 100 µl d'eau distillée, on ajoutait le mélange scintillant décrit à la page 33 et les flacons étaient placés dans un compteur à scintillation (Intertechnique SL-33) à l'obscurité et à 5°C pendant six heures. Ensuite on a pratiqué le comptage jusqu'au total de 20,000 coups dans la voie étroite (0-550) du compteur. L'affaiblissement lumineux a été corrigé par la méthode des Rapports des Canaux et la production primaire calculée à partir du pH, de la chlorinité et des DPM selon Strickland et Parsons (1972). Cependant, nous n'avons pas soustrait la fixation à l'obscurité (Morris *et al.*, 1971, cf. section 5-3) de la fixation à la lumière.

Certains auteurs, tel que Williams *et al.*, (1972) et Platt et Irwin (1968) ont signalé la présence de particules dans les solutions isotopiques qui pouvaient augmenter de façon erratique les activités des "filtres noirs". En ce qui nous concerne, nous avons également observé ces particules dans nos ampoules, et, pour évaluer leur influence sur les activités des filtres, nous avons effectué, sur le terrain la filtration immédiate après inoculation (temps 'zéro') de certaines bouteilles. Les activités résiduelles étaient inférieures ou du même ordre que les valeurs de la fixation à l'obscurité et ne représentait que 1-3% de la fixation à la lumière ; nous les avons donc négligés dans le calcul de la production. Finalement, pour vérifier l'erreur de filtration (Arthur et Rigler, 1967), nous avons, de temps à autre, pris les 100 ml restant, dans les flacons de production primaire et filtrée des sous-volumes de 5, 10, 20, et 50 ml, suivis du même rinçage de 20 ml. La figure 4 p.13 démontre que dans tous les cas la relation entre le volume filtré et des DPM était linéaire.

Ayant une valeur moyenne de production sur N=4 valeurs pour les trois premières profondeurs, et N=2 pour 2 m et 4 m, la production intégrée sur les 4 mètres et son erreur ont été calculées au moyens des formules suivantes :

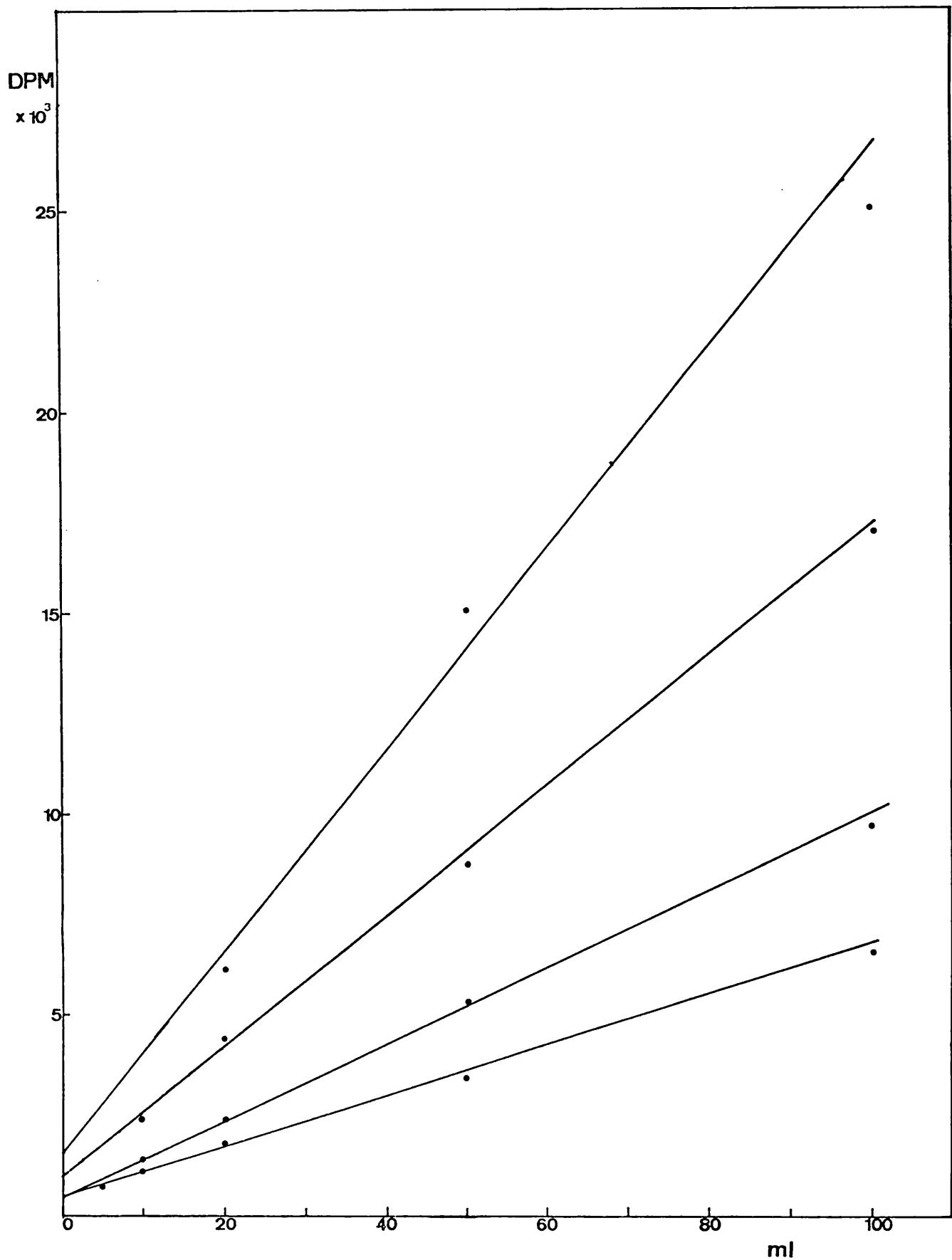


Figure 4. Relation entre le volume filtré (ml) et l'activité (DPM)

Production

$$\text{intégrée} = \frac{(Z_0 - Z_{0.5}) (P_0 + P_{0.5})}{2} + \frac{(Z_{0.5} - Z_1) (P_{0.5} + P_1)}{2} + \\ + \frac{(Z_1 - Z_2) (P_1 + P_2)}{2} + \frac{(Z_2 - Z_4) (P_2 + P_4)}{2}$$

où Z = profondeur (m)
 P = production ($\text{mgC}/\text{m}^3/\text{temps}$)

En connaissant l'écart type S_P de chaque expression : $\frac{P_0 + P_{0.5}}{2} + \dots + \frac{P_2 + P_4}{2}$, la variance de la production intégrée devient :

$$S_I^2 = (Z_0 - Z_{0.5})^2 (S_{P0,0.5})^2 + \dots + (Z_2 - Z_4)^2 (S_{P2,4})^2$$

(Platt et Irwin, 1968 de Goldman et Carter, 1965)

Mais cette expression néglige la covariance qui pourrait exister entre les valeurs de la production/ m^3 et les termes $(Z_0 - Z_{0.5}) \dots (Z_2 - Z_4)$, c'est-à-dire l'épaisseur de la couche entre deux niveaux de mesure. Pour estimer l'importance de cette covariance, nous avons après transformation log de P tenté de l'évaluer à partir du coefficient de corrélation entre la production/ m^3 et les expressions $(Z_0 - Z_{0.5}) \dots (Z_2 - Z_4)$. Ce coefficient (0.19, DDL=54) n'a pas été significatif et nous avons donc ignoré la covariance. L'erreur de l'intégrale est donc $(S_I^2)^{1/2} \times 1.96$ (Coefficient de sécurité : 95%).

* (Etant donné que les bouteilles de 2 et de 4 m n'étaient pas appariées, les bornes de sécurité réelles seraient légèrement plus larges).

Nota :

Pendant la saison 1974, nous n'avons effectué que quelques mesures de production aux mois de juillet et d'août, et, malheureusement, l'organisme qui s'était chargé de compter les filtres a commis plusieurs erreurs techniques. D'une part les échantillons ont été comptés dans un solvant à rendement assez médiocre (Dioxane sans Naphthalène- et l'étalonnage s'est fait avec la source externe, au lieu du Rapport des Canaux de l'échantillon (RCE, voir section 3-4-2 p. 23. De plus, aucune courbe d'étalonnage n'a été fournie, les échantillons ont été détruits, et le compteur changé. Nous ne possédions que les CPM et le Rapport des Canaux de la Source Externe (RCSE), ce dernier étant assez variable, reflétant le degré d'affaiblissement lumineux dans les échantillons.

Donc, pour les rendre comparables les uns aux autres, il nous a fallu dans un premier temps, les normaliser à un RCSE quelconque. Nous avons procédé de la façon suivante : Parmi notre série d'échantillons comptés, nous avions également des produits d'excrétion cellulaires mesurés en triple. En théorie, ces échantillons auraient dû être homogènes du point de vue de leur activité, et nous avons supposé que l'écart entre eux était dû uniquement à des différences dans leur affaiblissement lumineux, qui était équivalent à un écart des RCSE. Nous avons reconstitué une courbe à partir de petites sections de différentes pentes, qui correspondaient aux écarts mentionnés ci-dessus et nous l'avons ajustée à la fonction $Y = 857.03x^{3.53}$ ($R^2 = 0.96$) où $x =$ le RCSE et $Y =$ un pourcentage. En utilisant cette fonction, tous les CPM ont été ramenés à un RCSE de 0.5. En plus, nous avons constaté que la fixation à l'obscurité pendant les mois de juillet et d'août a été presque constante pendant les deux années. Pour arriver à une approximation "réelle" de nos valeurs de production, nous les avons multipliées par le rapport Fixation à l'obscurité 1975 / Fixation à l'obscurité 1974.

2.6. Radiation Solaire Incidente :

Lors des incubations pour les mesures de la production primaire, la radiation incidente a été enregistrée toute la journée à l'aide d'un pyranomètre (Weathermeasure Corp, Sacramento, Cal) à Fatima sur l'île du Cap-aux-Meules. Les courbes obtenues ont été planimétrées pour déterminer la radiation pendant la période d'incubation et la radiation journalière en $\text{cal/cm}^2/\text{jour}$. Les valeurs de production obtenues par unité de surface et par période d'incubation ont été multipliées par le rapport Radiation journalière / Radiation-période d'incubation, pour obtenir la production journalière, ($\text{mgC/m}^2/\text{jour}$). Récemment, Platt (1975) a signalé qu'il n'y avait pas de variation de l'assimilation photosynthétique au cours de la journée dans le Bassin de Bedford.

CHAPITRE III

3.1. INTRODUCTION :

Dans la méthode proposée par Steemann-Nielsen (1952), le radiocarbone assimilé par le phytoplancton était mesuré au moyen de compteurs Geiger-

Mueller dont les rendements étaient faibles et les résultats difficiles à normaliser. On a tenté d'augmenter les rendements en utilisant des compteurs "sans fenêtre", et des échantillons très minces ; le rendement réel était plus élevé que celui prédit par la méthode d'extrapolation à épaisseur "zéro" , (Jitts et Scott, 1961), et la méthode fut discrépante, (Goldman, 1968). Wood (1970, 1971) a revu les problèmes du système de comptage Geiger et a conclu que la méthode d'extrapolation à épaisseur "zéro" n'était valable qu'avec un rendement de comptage inférieur à 25%. D'autre part, l'utilisation d'un compteur du type Geiger nécessite au préalable de dessécher les filtres or, Wallen et Geen (1968), et Ward (1971) ont montré la possibilité de pertes d'activité pendant la dessication, et ont recommandé la préparation des filtres pour le comptage, à l'état humide.

Les autres avantages du comptage par scintillation liquide sur le comptage Geiger-Mueller sont :

- le rendement plus élevé et le comptage plus rapide et plus exact,
- l'étalonnage et la détermination du rendement de comptage sont effectués sur chaque échantillon individuellement,
- la mesure de l'activité des ampoules et des filtrats peut se faire directement,
- il n'y a pas de problèmes de géométrie de comptage, de réflexion ou d'auto-absorption, et donc aucune courbe d'étalonnage de BaCO₃ à préparer,
- il n'y a pas d'absorption par la fenêtre du détecteur ou par l'air,
- la géométrie est de 4%
- l'utilisation sur le terrain est moins fastidieuse.

Pour ces raisons, de nombreux travaux ont été consacrés au développement du système de comptage par scintillation liquide et aujourd'hui, cette méthode a largement remplacé l'emploi des compteurs Geiger-Mueller.

Les sections suivantes ont deux objectifs :

- La première, fournit les bases théoriques nécessaires à la compréhension des deux méthodes d'étalonnage couramment utilisées, et les facteurs qui gouvernent leur exactitude. Ceci est nécessaire pour démontrer l'utilité de la technique des "double-rapports" (Bush, 1968), qui sert à vérifier, dans le cas des échantillons hétérogènes, la précision du rendement de comptage déterminé à partir des méthodes d'étalonnage. Nous tenons également à éclaircir

les questions suivantes :

- Quels sont les facteurs caractéristiques des étalons qui assurent un étalonnage précis des mesures des échantillons ?
- Quelle est la différence entre les deux méthodes d'étalonnage : Rapport des Canaux de l'échantillon (RCE), et Rapport des Canaux de la Source Externe (RCSE) et dans quelles conditions est-il approprié d'utiliser l'une ou l'autre ?
 - La deuxième traite la préparation des échantillons et résume le développement des systèmes solvants - scintillateurs employés pour l'étude de la production primaire.

3.2. GENERALITES SUR LA THEORIE :

Le processus de la scintillation liquide a pour résultat de transformer une partie de l'énergie de la désintégration nucléaire en un nombre donné de photons, qui sont détectés après conversion en impulsions électroniques au moyen de photomultiplicateurs (2).

Pour déterminer l'activité d'un composé radioactif, on l'introduit dans un mélange appelé système solvant-scintillateurs composé de trois parties : le(s) solvant(s), les scintillateurs (primaire et secondaire), et l'échantillon. Souvent avec ce dernier, on y ajoute aussi certaines impuretés, (eau, sels, solubilisants, tissus biologiques) qui interfèrent avec la transmission énergétique et qu'on doit, pour comparer un échantillon à l'autre, normaliser à des étalons d'affaiblissement et de rendement de comptage connus.

Lorsqu'un radionucléide émet un rayonnement Beta, l'énergie de celui-ci excite les molécules du solvant qui à son tour transfère son énergie d'excitation au scintillateur primaire. Le scintillateur secondaire réemet les photons émis par le scintillateur primaire à une longueur d'onde plus grande, qui coïncide mieux avec la réponse maximale des photomultiplicateurs. Dans un échantillon pur la transmission Beta-solvant est de l'ordre de 30%, tandis que les transmissions solvants-scintillateurs approchent 100% (Horrocks, 1974).

Le nombre de photons produits dépend donc de l'énergie déposée dans la solution, de la concentration des scintillateurs, de la présence de certaines impuretés, des propriétés de transmission, et de l'étendue du spectre

énergétique de l'isotope radioactif. Les émetteurs Beta (^{32}P , ^{14}C , ^3H) ont un spectre ou une distribution énergétique du type continu avec une énergie moyenne et maximale caractéristique de chaque isotope. Pour le ^{14}C , l'énergie moyenne d'une désintégration est de 50 Kev et le spectre énergétique s'étend de 0 à 156 Kev. Un Kev d'énergie beta libère environ cinq photons, et donc, le spectre énergétique est électroniquement équivalent à un spectre d'impulsion photoniques (appelée SAI, Spectre des Amplitudes Impulsionaires). C'est ce dernier, fourni par le compteur qui, nous permet de visualiser le spectre énergétique d'un isotope et l'intégral du SAI (surface de la courbe du nombre de photons en fonction de Kev) qui représente les CPM non corrigés d'un échantillon (Fig. 5 p.19). La séparation de ces spectres dans le compteur sert, d'une part dans le cas d'un double-marquage, à séparer la contribution énergétique de chaque isotope (les CPM), et, d'autre part, comme nous le verrons plus loin, à l'étalonnage des échantillons. La séparation est effectuée au moyen de fenêtres de comptage (3), chacune étant réglable à l'aide de deux potentiomètres, de façon à encadrer une partie ou la totalité du spectre désiré.

3.3. ETALONNAGE ET EXACTITUDE:

L'utilisation optimale d'un compteur à scintillation peut apporter une exactitude à $\pm 2\%$ des DPM (désintégration/minute réelles) (Lowenthal, 1974). Malheureusement, en pratique, l'utilisation n'est souvent pas optimale, et l'on atteint rarement cette valeur ; ceci est conséquence du développement rapide de cette technologie.

L'étalonnage s'effectue à l'aide d'une série d'étalons préparés, d'activité connues et d'affaiblissement croissant, et l'exactitude du rendement des échantillons déterminés dépend de la coincidence de la "forme" des échantillons. La "forme" d'un échantillon dépend du solvant, des scintillateurs, des agents affaiblissant et aussi de la présence et du degré de dissolution de particules marquées ou non-marquées. En ce qui concerne ces facteurs, on peut facilement contrôler ceux liés au solvant et au scintillateur, et les problèmes se trouvent liés au substrats marquées et aux impuretés, suivant s'ils sont en dissolution parfaite (solution vraie) ou partiellement solubles ou insolubles, (solution hétérogène). Quand un échantillon est

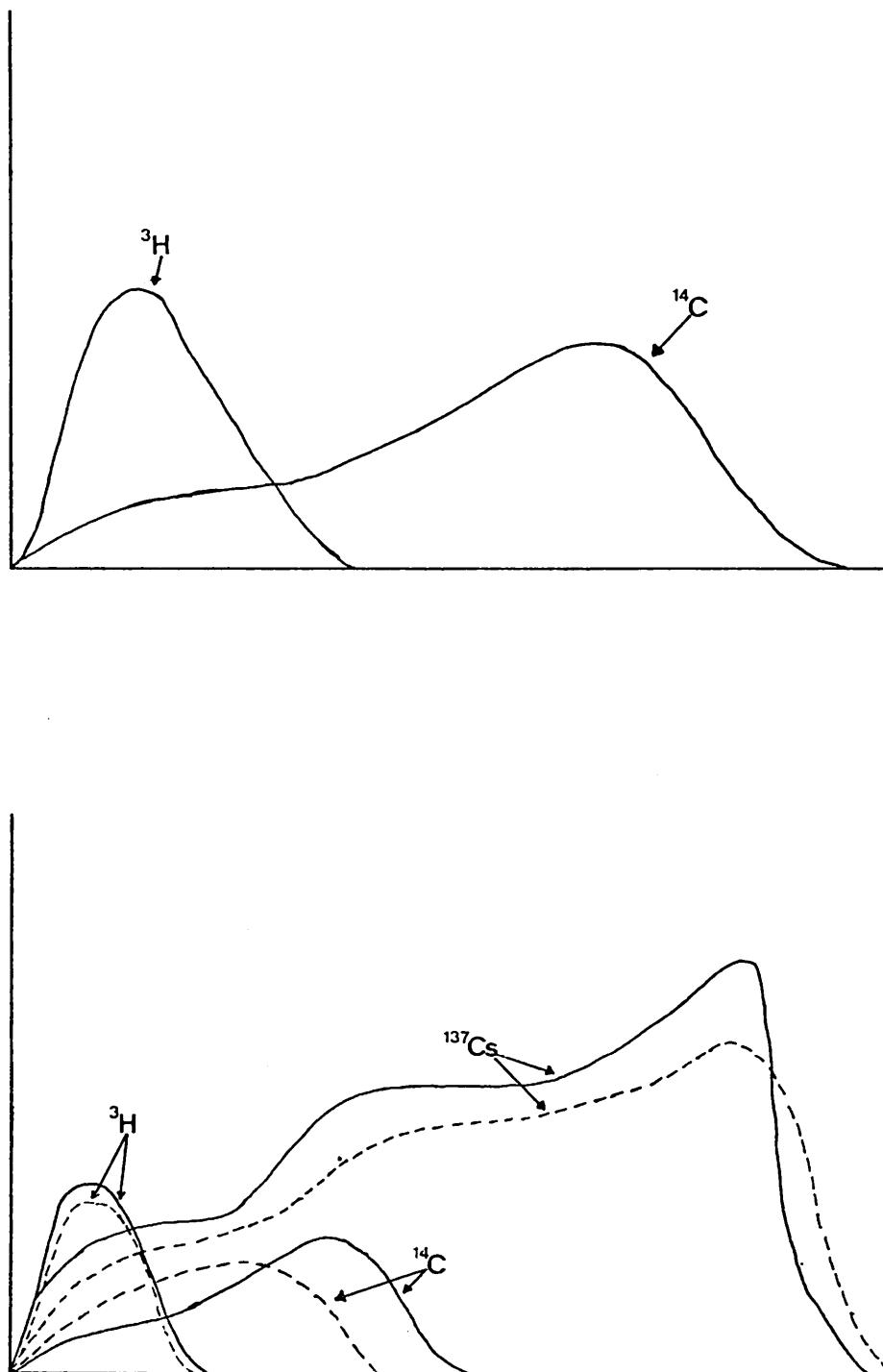


Figure 5.
Haut: Spectres énergétiques du ^3H et du ^{14}C . — NON-AFFAIBLI
Bas: Déformations du à l'affaiblissement lumineux des spectres du ^3H et du ^{14}C , et d'une source externe ^{137}Cs . — AFFAIBLI
Unités: Potentiométriques d'une voie en abscisse, CPM/ Intervalle des seuils en ordonnée

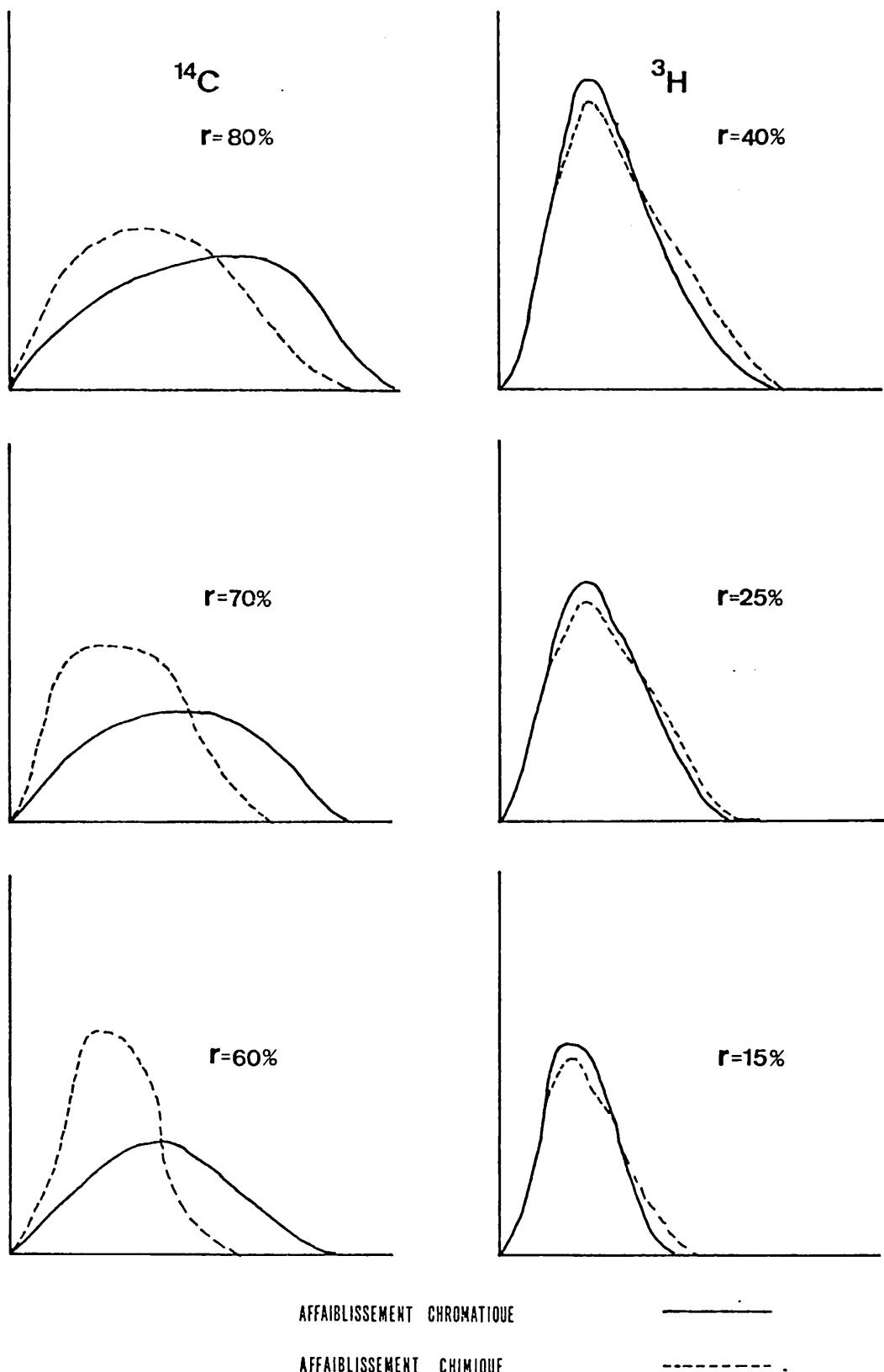


Figure 6. Les différents effets, chimiques et chromatiques de l'affaiblissement lumineux sur le spectre des amplitudes impulsionnaires.
Unités: mêmes que sur la figure 5.

affaibli, son SAI change d'allure car le nombre d'impulsions correspondant aux faibles énergies Beta augmente ; on dit qu'il y a un décalage du spectre vers les basses énergies (Fig.6 p. 20). Si l'on choisit deux fenêtres de comptage, l'une réglée de façon à encadrer la totalité du SAI d'un isotope quelconque, et l'autre seulement la partie inférieure ou supérieure du SAI, on peut "suivre" le glissement du SAI en fonction de l'affaiblissement lumineux. Ce qui conditionne l'exactitude du rendement (et donc les DPM), et la reproductibilité de l'allure des SAI des étalons par rapport aux échantillons. Ceci ne pose pas de problèmes pour les solutions homogènes (vraies), car le transfert énergétique est optimal et identique dans l'ensemble de la solution. Mais pour les solutions hétérogènes, on doit s'assurer que les effets dus à l'auto-absorption, à la réflexion, et à l'opacité soient minimales et négligeables sur le spectre des amplitudes impulsionaires.

En pratique, il y a trois manières de vérifier ces effets :

- 1.- Visuellement examiner le SAI, en couplant un analyseur multicanaux au compteur à scintillation.
- 2.- Visuellement examiner le SAI, en faisant varier systématiquement les potentiomètres inférieur et supérieur d'une fenêtre (voie) de comptage, de façon à obtenir une courbe : nombre de coups en fonction de la position des potentiomètres (=Kev).
- 3.- En utilisant la technique des double-rapports, décrite par Bush (1968), et que nous avons appliquée à nos échantillons hétérogènes (phytoplancton).

Les deux premières techniques de vérifications se prêtent surtout à des études très spécialisées, où il y a de sérieux problèmes dans le mode de préparation de l'échantillon ou dans les réglages externes du compteur. La troisième, est en réalité une combinaison ingénieuse des deux méthodes d'étalonnage (décrites ci-dessous), elle est simple à mettre en oeuvre, et permet de vérifier rapidement le comportement défini ci-dessous des échantillons hétérogènes par rapport aux étalons.

3.4. METHODES D'ETALONNAGE:

3.4.1. Méthode du Standard Interne.

Lorsqu'on dispose d'une seule voie de comptage (cas des compteurs

anciens) on ne peut utiliser que cette méthode. Après comptage de l'échantillon, on ajoute une quantité minime, de 10 µl à 50 µl (afin de ne pas changer les caractéristiques de la solution) d'un traceur et on recompte l'échantillon.

Le rendement de comptage de l'échantillon est calculé à partir de l'expression :

$$\text{Rendement (\%)} = \frac{\text{CPM}_{(\text{trac.} + \text{éch.})} - \text{CPM}_{\text{éch.}}}{\text{DPM}_{\text{trac.}}} \times 100$$

où CPM : Coups/minute détecté par le compteur

DPM : L'activité du traceur ajouté (désintégration/minute).

Il est très important de noter que le traceur ajouté doit avoir le même comportement en solution que le substrat marqué. C'est-à-dire, si ce dernier est entièrement dissous, il est nécessaire d'employer un traceur soluble dans le solvant tel que le ^{14}C -toluène ou ^{14}C -hexadécane. Mais dans le cas du phytoplancton marqué où les molécules organiques sont insolubles dans un liquide hydrophobe et non-polaire tel que le toluène, il est préférable d'utiliser du ^{14}C -saccharose, car celui-ci se précipite sur le filtre et simule mieux les conditions de comptage du substrat organique radioactif piégé à l'intérieur des cellules du phytoplancton (Pugh, 1970). Dans ce cas l'étalonnage serait précis parceque les particules Beta du traceur subissent les mêmes effets d'absorption, au niveau de la matrice du filtre, que le substrat radioactif. Si, dans ces conditions, on utilise un traceur soluble (^{14}C -toluène) pour étalonner (Wolfe et Schelske, 1967, Wallen et Geen, 1968, Lind et Campbell, 1969, Crouzet, 1972), le rendement déterminé risque d'être supérieur au rendement réel, ce qui entraînerait une sous-estimation des DPM, (Pugh, 1973). Cette méthode d'étalonnage peut servir également à vérifier le rendement déterminé à partir des autres (2) méthodes d'étalonnage (cf. ci-dessous). Par exemple, ayant un rendement, si l'on désire savoir si l'activité est entièrement dissoute, on n'aurait qu'à rajouter un traceur d'activité connue et recalculer le rendement à l'aide de l'expression ci-dessus. Si ces deux rendements concordent, on peut conclure que le glissement du SAI est reproductible pour le traceur et l'activité propre à l'échantillon et le rendement ainsi que les DPM seront exacts. Toutefois, la technique des "double-rapports" peut nous apporter la même réponse à cette dernière question, et étant donné que la méthode du standard

interne nécessite beaucoup de manipulations, est coûteuse en radionucléides et destructive de l'échantillon, elle n'est plus employée de façon routinière, et a été remplacée par les deux méthodes suivantes.

3.4.2. Méthode des Rapport des Canaux de l'Echantillon (RCE)

Le principe des deux méthodes de rapports consiste à compter dans deux voies une série d'étalons avec une activité connue, préparés avec les mêmes solvant(s), scintillateur(s) et surtout les mêmes agents affaiblissants (eau, sels, acides, tissus biologiques, acide picrique, chloroforme, tétrachlorure de carbone etc...) qui se trouvent dans les échantillons. Le rapport numérique des deux voies varie en fonction de l'affaiblissement lumineux et le rendement est calculé des CPM et de l'activité ajoutée.

Donc, une fonction lie le rapport numérique et le rendement, et, en connaissant le rapport pour chaque échantillon, on connaît son rendement de comptage.

Quand on compte un seul isotope, on utilise deux des trois voies du compteur. Une est ajustée de façon à encadrer tout le spectre énergétique (voie principale), et l'autre de façon à obtenir la moitié des coups par minute (voie de référence). En fait, les positions des potentiomètres de la voie de référence détermine l'allure de la courbe du rendement en fonction du rapport numérique (Fig. 7 p. 24). Il est important d'ajuster les seuils de manière à obtenir une pente constante dans la région des rapports où l'on veut travailler. D'autre part, si l'on désire normaliser les données avec une microcalculatrice ou un ordinateur couplé au compteur, il sera nécessaire d'ajuster la courbe à l'aide des potentiomètres pour donner une valeur maximale au coefficient de détermination (R^2) d'une fonction soit, binomiale, ou polynomiale du 2ème ou 3ème ordre. Notons que, sur un compteur Intertechnique SL-33, la variation du potentiomètre supérieur se traduit par un décalage du "palier" de la courbe du rendement en fonction du rapport des canaux.

Cette méthode a deux inconvénients: D'une part, étant donné que la distribution des fréquences des désintégrations Beta suit une loi de Poisson, la précision des CPM dépend du nombre total de coups enregistrés, ce qui signifie que la précision d'un rapport dépend du nombre de coups accumulés dans la voie étroite, et, pour les échantillons de faible activité, ce serait en pratique excessivement long. Deuxièmement, pour les isotopes d'énergie moyenne

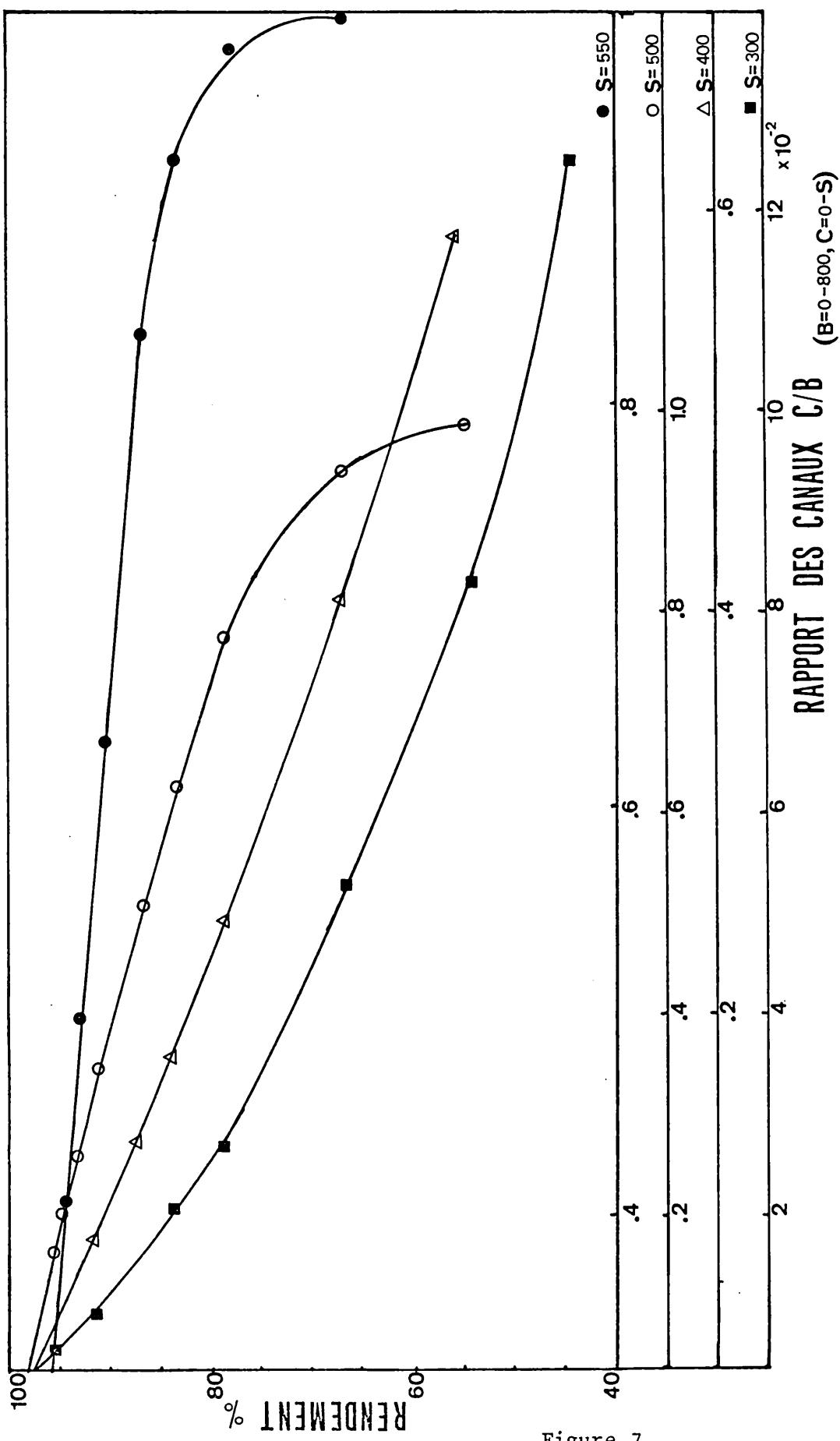


Figure 7

inférieure au ^{14}C , l'étendue du SAI est trop court, et il est difficile de déterminer les seuils des potentiomètres.

3.4.3. Méthode des Rapport des Canaux de la Source Externe (RCSE)

Pour pallier les inconvénients de la méthode des rapports, les constructeurs ont envisagé une mesure de l'affaiblissement lumineux qui serait indépendante de l'activité interne de l'échantillon. Les compteurs modernes ont tous une source ou un standard externe gamma de haute énergie (^{137}Cs , ^{133}Ba , ou ^{225}Ra) placé au voisinage de la chambre de mesure et entouré d'un chateau de plomb. Après comptage de l'échantillon dans les fenêtres sélectionnées, les seuils, compte-tenu de la haute énergie de la source, sont automatiquement commutés à des valeurs supérieures et la source se place à côté ou au dessous de l'échantillon de manière à l'exciter. Il y a comptage de la source et de l'échantillon, ensuite la source se retire et l'échantillon est compté seul. Le rapport est alors calculé automatiquement d'après la relation (analogique à celle des RCE) (Fig. 5, p.19).

$$\text{Rapport des Canaux} = \frac{\text{Coups voie 1 (Source+échan.)}}{\text{Source Externe}} - \frac{\text{Coups 1 (échan.)}}{\text{Coups voie 2 (Source+échan.)}} - \frac{\text{Coups 2 (échan.)}}$$

Ce rapport n'est pas numériquement équivalent au RCE, mais varie également en fonction de l'affaiblissement lumineux, et sert donc à la même fonction (Fig.8 p.26).

3.4.4. Comparaison des deux méthodes de Rapports :

Lorsque la source excite l'échantillon, il y a formation d'électrons Compton, qui, par analogie à l'activité Beta interne, excitent les scintillateurs. Le SAI de la source, varie en fonction de la capacité d'absorption des électrons Compton. Etant donné que la source est à l'extérieur de l'échantillon, le RCSE constitue une mesure de l'affaiblissement lumineux, qui est indépendante du rendement réel de la solution (échantillon). Comme la source est beaucoup plus énergétique, le décalage de son spectre est fonction des agents affaiblissants distribués de façon homogène dans l'ensemble de l'échantillon, et le RCSE est relativement insensible aux variations dues à la réflexion, à l'auto-absorption et à l'opacité. Donc, la méthode utilisant la source n'est valable que pour des solutions vraies, ou dans lesquelles, le

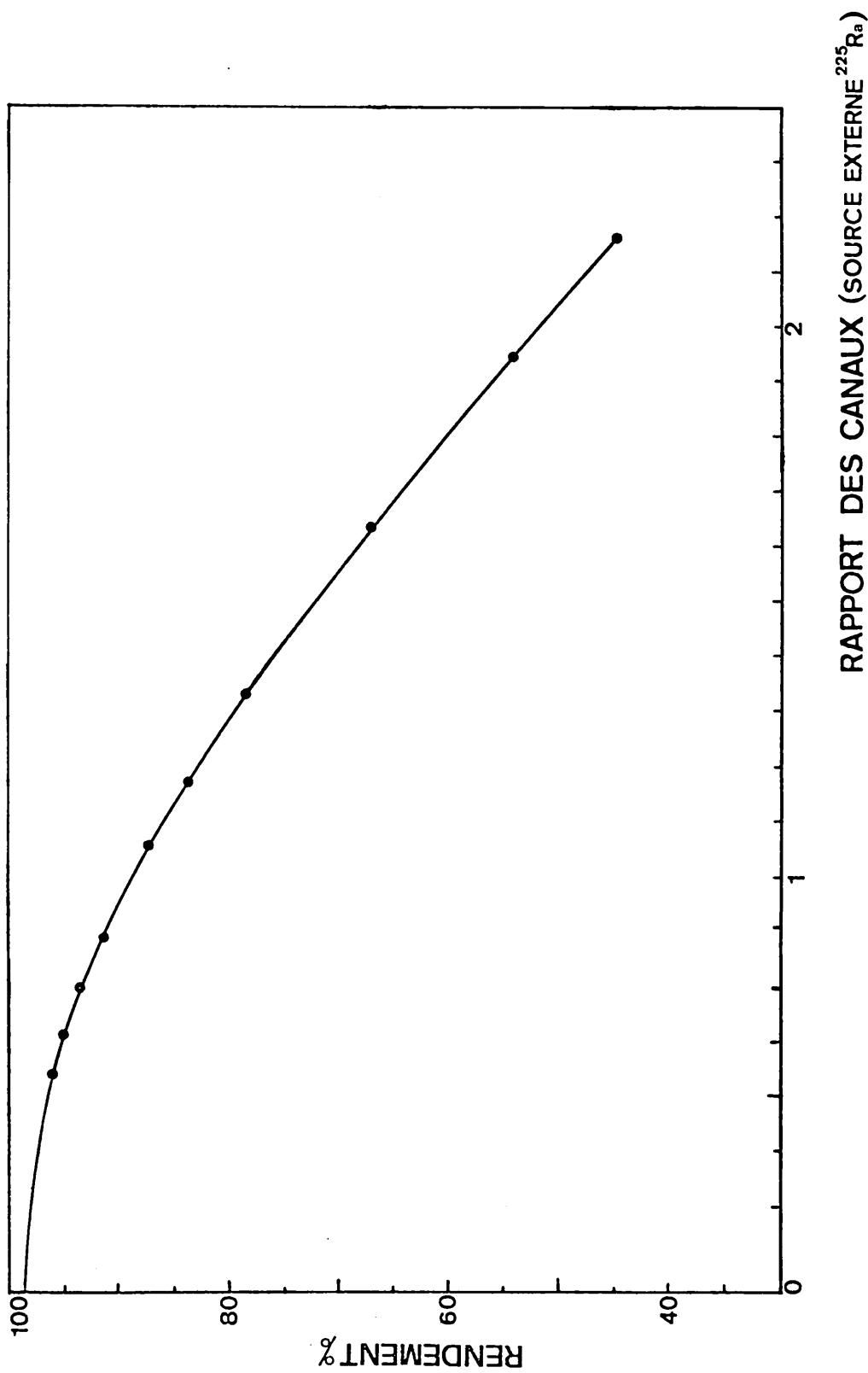


Figure 8

substrat non-dissous est en suspension et distribué de façon homogène. Dans la méthode RCE, la forme du spectre dépend de l'activité interne et de sa distribution ; quand il y a des hétérogénéités dans le substrat marqué ou dans les impuretés, le spectre Beta est affecté par l'auto-absorption, la réflexion, etc..., et il y a décalage plus prononcé que le RCSE vers les basses énergies. Donc, dans le cas d'une solution hétérogène, on ne peut qu'utiliser la méthode des RCE pour effectuer l'étalonnage. En revanche, dans le cas d'une solution vraie parfaitement homogène, les deux méthodes d'étalonnage devraient donner le même rendement de comptage. Or, si pour un mode de préparation de l'échantillon on soupçonne que l'activité n'est pas totalement dissoute, ou si l'on désire vérifier l'effet de particules non-dissoutes sur les déterminations du rendement, on peut comparer deux rapports obtenus avec les échantillons à ceux obtenus avec des solutions vraies (étalons). Ceci constitue la technique des "double-rapports" (Bush, 1968).

3.4.5. Technique des "Double-Rapports" - Mise en Oeuvre :

Comme les préparations contenant du phytoplancton sont par nature hétérogène, il a fallu employer la technique des double-rapports pour vérifier l'effet des débris cellulaires sur les déterminations des DPM.

Une série de solutions vraies, affaiblies chimiquement et scellées, possédant $194000 \pm 3\%$ DPM de ^{14}C -toluène a été comptée trois fois dans deux voies (large : 0-800, étroite : 0-550) de manière à obtenir le rapport des canaux et le rapport des canaux de la source externe. La moyenne de chaque rapport a été calculée et la fig.9 p.29 en donne la représentation. Ensuite, des échantillons contenant du phytoplancton marqué ont été comptés, et les deux rapports replacés sur le graphique. Ils ne se localisaient pas sur la courbe tracée à partir des solutions vraies, et donc une erreur était à soupçonner dans l'un ou l'autre des deux rapports (rendement). Sachant, pour les raisons expliquées dans la section 3.4.4. ci-dessus, et (Furlong, 1970), que le RCE devrait être le plus exact, on a voulu savoir si la décroissance du rapport "suivait" le glissement du SAI de manière reproductible, c'est-à-dire apprécier l'exactitude de nos RCE. De façon générale, cette question peut être résolue en essayant de replacer les deux rapports d'un échantillon sur la courbe, sans modifier les caractères internes ('forme') soit par agitation vigoureuse et recomptage rapide pour enregistrer, avant la décantation

des débris phytoplanctoniques, suffisamment de coups dans la fenêtre étroite (de manière à réduire du minimum l'erreur Poissonienne du comptage, $\leq 1\%$), soit dans le cas des échantillons à faible activité. Snyder (1970) a signalé que l'effet du Cab-O-Sil^R sur le SAI était négligeable. Après, on peut recalculer les DPM à partir du RCE et les comparer au DPM calculé auparavant. Si les deux mesures concordent à l'erreur de Poisson près, on peut en conclure que le RCE varie de manière reproductible avec l'affaiblissement lumineux et que les DPM calculées à partir de ce rapport sont exactes. Dans le cas où l'on ne réussit pas à mettre les rapports de l'échantillon sur la courbe, ou si le RCE ne suit pas avec précision l'affaiblissement lumineux, un changement dans le mode de préparation des échantillons est à effectuer.

Pour en revenir à notre cas, la position des échantillons dans le "phase agitée" est démontrée dans la fig.9 p.29. L'écart des échantillons par rapport à la courbe peut être quantifié de ΔR , une différence entre rapports qui est équivalente, lorsqu'on transpose à une courbe du rendement en fonction du rapport, à une différence de rendement. L'erreur entraînée sur nos échantillons les plus chargés de débris, était de l'ordre de 2%, ce qui était supérieur à notre erreur de comptage (Poisson) $(20000)^{1/2}/20000 \times 100 = 0.7\%$, mais nous l'avons tolérée et nous n'avons pas changé le mode de préparation des échantillons.

3.5. PREPARATION DES ECHANTILLONS : GENERALITES :

Tel que mentionné plus haut, l'exactitude des DPM dépend de la similitude des échantillons par rapport aux étalons.

On peut définir quatre objectifs à remplir lorsqu'on prépare un échantillon :

- 1.- Incorporer l'échantillon marqué avec un minimum de coût, et ce qui concerne le prix et l'effort humain.
- 2.- S'assurer que l'affaiblissement lumineux soit minime.
- 3.- S'assurer que le bruit de fond dû à la chimioluminescence et/ou à la phosphorescence soit minimal.
- 4.- S'assurer de la stabilité de la solution.

L'échantillon peut s'incorporé comme suit :

§ 1.- Un liquide dissous dans le solvant,

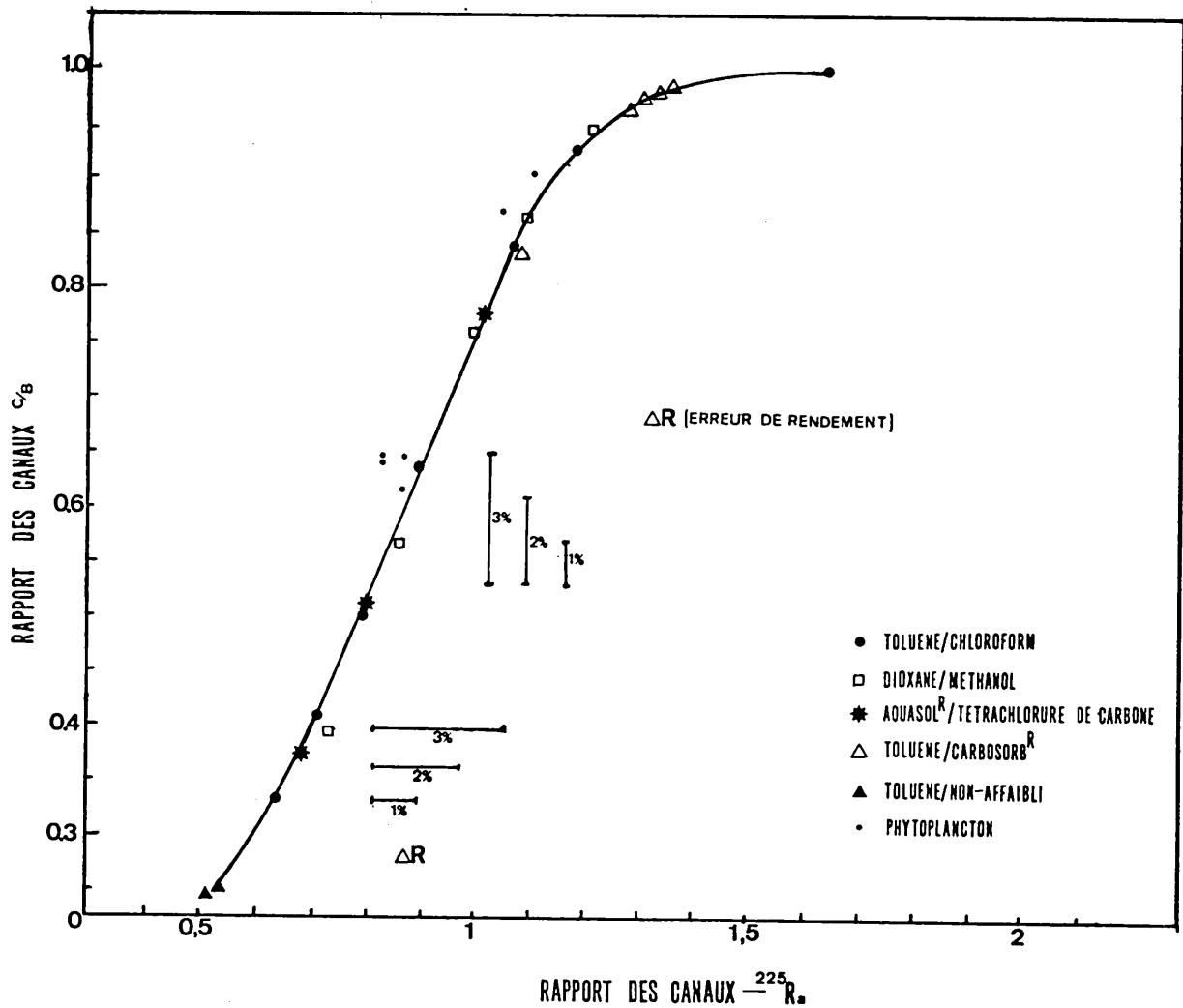


Figure 9 Courbe des 'doubles-rapports' montrant le comportement de cinq solutions réelles (vraies, solvants+scintillateurs+agents affaiblissants) par rapport à une solution hétérogène (phytoplancton) à base de dioxane, en 'phase' (voir texte) agitée. L'écart par rapport à la courbe est représenté en pourcentage d'erreur sur le rendement de comptage. Les unités des deux rapports sont spécifiques au spectro-mètre Intertechnique SL-33.

- °§ 2.- Un liquide en émulsion avec le solvant,
- °§ 3.- Un solide en suspension,
- °§ 4.- Un tissu dissous dans le solvant à l'aide d'un additif solubilisant,
- °§ 5.- Des papiers ou des filtres contenant l'échantillon radioactif sous-forme d'un chromatogramme ou d'un précipité.
- § 6.- Un gaz dissous dans le solvant à l'aide d'un additif tel que la phénylethylamine soluble dans le toluène.

§ = Solution homogène

° = Solution hétérogène.

3.5.1. Solvants

Le choix du solvant se fait en tenant compte de la solubilité de l'échantillon marqué. Souvent, il faut employer un mélange pour augmenter la solubilité de l'échantillon ou le transfert énergétique, dans la solution.

Ce sont des hydrocarbures aromatiques, dont trois sont couramment utilisés : le toluène, le dioxane et le p-xylène. Les avantages et les inconvénients de chacun sont mentionnés dans le tableau 4 p. 31.

3.5.2. Scintillateurs

Lors du choix des scintillateurs (voir tableau 5 p. 32) trois facteurs sont à considérer :

- 1.- On doit faire coincider l'émission maximale des scintillateurs avec la réponse optimale des photomultiplicateurs.
- 2.- Un scintillateur soluble facilite la solution des autres substances dans le solvant.
- 3.- Il doit être stable et résistant à l'affaiblissement lumineux.

3.6. DEVELOPPEMENT DES SYSTEMES SOLVANTS-SCINTILLATEURS POUR L'ETUDE DE LA PRODUCTION PRIMAIRE:

Pour l'estimation de la production primaire, des taux d'excrétion de produits cellulaires et pour déterminer l'activité isotopique des ampoules; Schindler (1966), Schindler et Holmgren (1971) et Ward et Nakanishi (1971)

Tableau 4. Comparaison des Solvants Utilisés pour le Comptage par Scintillation Liquide.

<u>Solvant</u>	<u>Unités de Fluorescence Relative</u>	<u>Avantages</u>	<u>Inconvénients</u>
Toluène	0.17	<ul style="list-style-type: none"> - le plus répandu - le moins coûteux - point de congélation bas (-70 °C) - faible toxicité - stockage facile 	<ul style="list-style-type: none"> - très inflammable - perméable aux flacons en polyéthylène - sont incompatibles avec les substrats polaires eau, molécules organiques
P-Dioxane	0.07	<ul style="list-style-type: none"> - miscible à l'eau jusqu'à 30% - imperméable aux flacons en polyéthylène - En le combinant avec de la Naphthalène, le rendement devient comparable aux systèmes à base de toluène - Solubilise les filtres en nitrate, acétate, et, esters mixtes de cellulose instantanément. 	<ul style="list-style-type: none"> - très toxique et instable - exposé à l'air, il forme des peroxydes explosifs - étalons difficiles à conserver - très coûteux - point de congélation élevé, (+11 °C)
P-Xylène	0.43	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisé dans les "nouveaux" mélanges "déturgent/surfactant/scintillateurs" (Insta-Gel¹, Aquasol², Uniphase³, Unisolve⁴) - Voir texte 	<ul style="list-style-type: none"> - très coûteux

¹ - Packard Instruments

² - New England Nuclear Corp

³ - ICN Pharmaceuticals

⁴ - Isolab.

Tableau 5 – Scintillateurs utilisés pour le Comptage par Scintillation Liquide.

<u>Scintillateurs Primaires</u>	<u>Fluorescence Maximale</u>	<u>Scintillateurs Secondaires</u>
BBO-2,5-dibiphenyloxazole	4070	
BBOT-(2,5 bis-2-(5-tert-Butylbenzox-azolyl)- (2)-Thiophene	4350	
Butyl-PBD-2-4-(t-Butylphenyl)-5(4-(biphenyl-1,3,4-oxidazole))	3660	
PPO-(2,5-diphenyloxazole)	3630	
	4300	Dimethyl-POPOP-(1,4-bis(2-(4-methyl-5-phenyloxazolyl))-benzene)
	4160	Bis-MSB-p-bis-(o-methylstyryl)-benzene
	3950	PBBO-2-(4-biphenyl)-6-phenylbenzoxazole
	4200	POPOP-(1-4-bis-2-5-phenyloxazolyl)-benzene
Naphthalène	3480	

| 32 |

ont employé un système à base de dioxane. Leur système solvant-scintillateurs solubilisait en quelques minutes le phytoplancton et divers types de filtres en nitrate (Sartorius), acétate (Gelman), et esters mixtes de cellulose (Millipore). Il pouvait, de plus retenir jusqu'à 30% d'eau en solution. Etant donné que les sels - précipitent dans le dioxane (Nicoll et Ewer, 1972) il a été déconseillé pour les applications marines (Pugh 1973). Cependant Bray (1970) a démontré que l'addition de méthanol au dioxane augmentait la mise en solution du NaCl. Mueller (1970), a montré d'autre part qu'il ne fallait que 0.01 ml de 0.1 M NaCl par ml de solvant de Bray (1960) pour retenir le sel en solution. Compte tenu du fait que ce sel est le plus abondant dans l'eau de mer, nous avons été amené à essayer différents mélanges en faisant varier les concentrations de méthanol et d'eau. A partir du volume d'eau retenu par un filtre Millipore de 25 mm de diamètre, (à partir des résultats de Sharp, 1974) et en supposant une salinité maximale de 40%, le poids de NaCl retenu sur et dans la matrice du filtre serait de l'ordre de 4 mg. Pour obtenir une concentration de 0.1 M, on doit ajouter environ 0.7 ml d'eau. Dans notre cas, nous avons déterminé que 0.5 ml suffisait pour approcher le "comportement d'une solution vraie" (Fig. 10, p. 35), ceci vraisemblablement parceque la salinité dans notre lieu de travail était de 30%. Nous avons également remplacé le scintillateur secondaire POPOP par le bis-MSB, qui est plus soluble et plus résistant à l'affaiblissement lumineux (Moghissi *et al.*, 1969) ; notre solution finale utilisée pour compter les filtres Millipore contenait 100 g Naphthalène, 100 ml méthanol, 50 ml d'eau distillée, 8 g d'Omnifluor^R, le tout complété à un litre de dioxane (qualité de scintillation). Wolfe et Schelske (1967), et Wallen et Geen (1968) ont compté du phytoplancton sur filtres secs intacts dans le toluène. En étalonnant avec du ¹⁴C-toluène, ils ont probablement sous-estimé leur DPM (Pugh, 1970, 1973, voir section du standard interne). L'étalonnage au moyen de la source externe dans ce cas, (Lind et Campbell, 1969) entraînerait également une sous-estimation des DPM. Pugh (1970) Bransome et Grower (1970) et Furlong (1970) ont démontré que, pour un étalonnage exact, lorsque l'activité restait au sein du filtre, il fallait employer un traceur étalon non-soluble dans le système à base de toluène.

Néanmoins, lorsque le poids du phytoplancton ou du matériel sestonique

R = New England Nuclear.

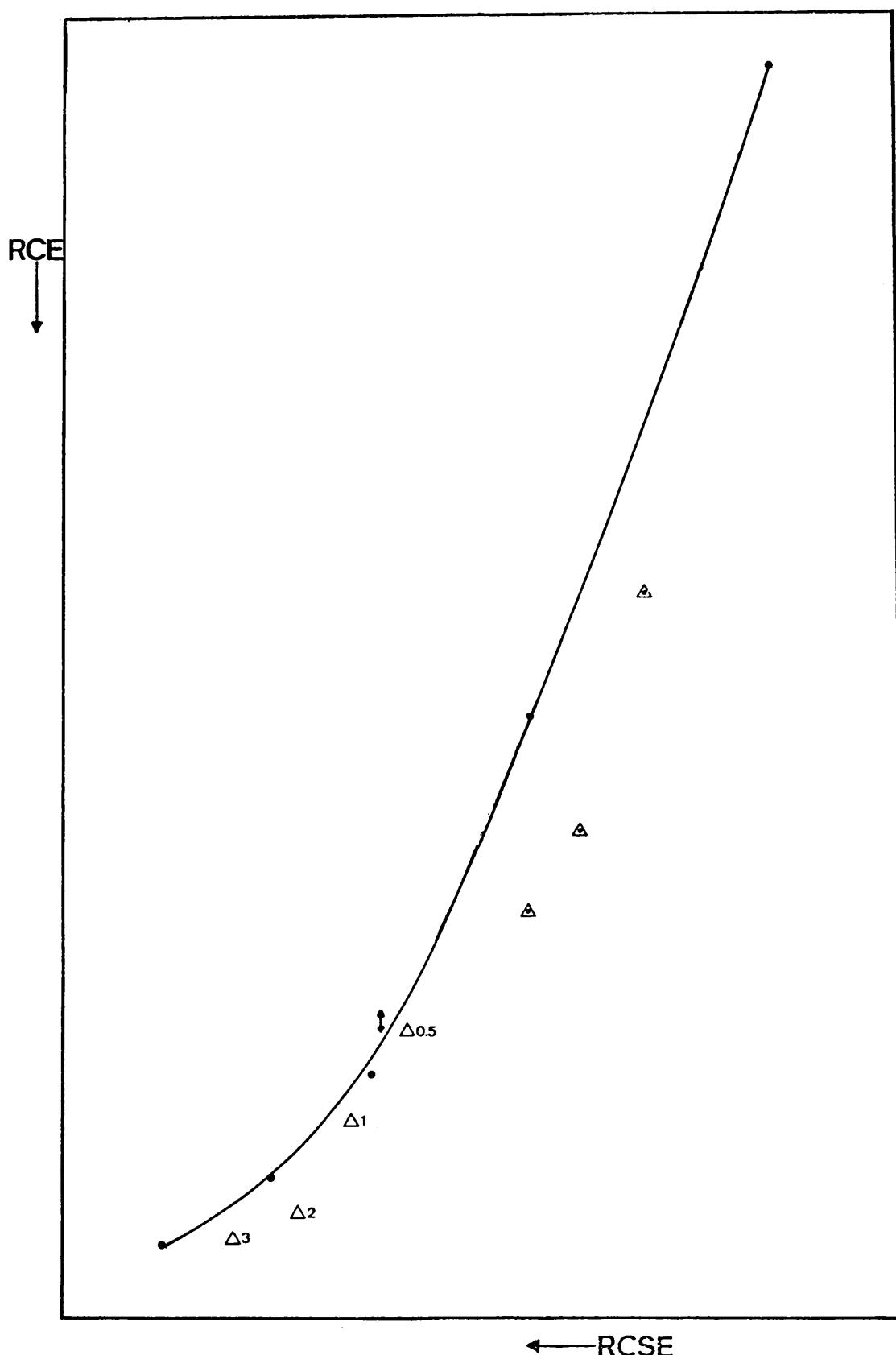


Figure 10 Courbe des 'doubles rapports' employée pour déterminer le volume minimal nécessaire pour la mise en solution du sel (NaCl) retenu dans la matrice d'un filtre Millipore. La flèche à double tête indique l'erreur du comptage (loi de Poisson). Les Δ correspondent à des échantillons sans eau, et les chiffres les ml d'eau ajoutés à 10 ml de solution scintillante. La courbe a été tracée à l'aide d'étalons Dioxane/Méthanol.

devient trop élevé, l'épaisseur des cellules occasionne une auto-absorption qui déforme le SAI et affecte le RCE de façon non-reproductible (Pugh, 1973),.

Pour résoudre ce problème, Wallen et Geen (1968), Waite *et al* (1973). et Pugh (1973) ont employé un mélange d'Ether monométhylique de l'éthylène-glycol/toluène, pour solubiliser filtre et algues humides. Parsons et Anderson (1970) ont employé un mélange d'éther d'éthylique de l'ethylèneglycol/toluène. Lorsqu'on utilise des filtres en nitrate de cellulose, ces deux solvants constituent les mélanges les plus appropriés. La solubilisation prend environ 24 heures, mais elle est complète et les DPM calculés à partir des RCE sont très exacts Pugh (1973). Le prix de revient est bas et la stabilité de ces systèmes solvants-scintillateurs permet la préparation, l'utilisation sur le terrain et le stockage pendant au moins 2 mois. Toutefois, si lors de l'emploi de ces systèmes, la technique des "double-rapports" nous signale un aberration dans le décalage du SAI, elle est dûe au matériel phytoplanctonique (non-dissous) au fond du flacon. Dans ces conditions, il faut le mettre en suspension dans le solvant, soit en ajoutant de la silice colloïdale (Cab-O-Sil¹) (Waite *et al.*, 1973), ou un détergent (Triton X-100²). Aujourd'hui, pour ces mêmes conditions on emploie généralement les mélanges commerciaux p-xylène/Naphthalène/surfactant/scintillateurs, (Insta-Gel³, Aquasol⁴, Unisolve⁵, Uniphase⁵). Ils sont très coûteux, mais ont l'avantage d'être des solvants 'universels' et peuvent incorporer de grandes quantités de solutions aqueuses avec des réductions minimes dans le rendement de comptage. Selon la quantité d'eau ajoutée, ces solutions sont, soit limpides, gélatineuses claires ou opaques. Quand on effectue des comptages dans les phases "gel", il est préférable de maintenir la température dans la chambre de mesure du compteur à 5°C, car, à des températures plus élevées, il peut y avoir des changements dans la "forme" du gel, qui ne serait pas visible sur le SAI^{*}

* Toutefois, il y a un autre inconvénient à l'utilisation des solvants "universels". Si l'on accepte la suggestion de Wallen et Geen (1968) ; que les pertes d'activité des filtres lors de la dessication sont dues à la volatilisation du ¹⁴CO₂ du réservoir intracellulaire phytoplanctonique, l'emploi de ces solvants (ph≈ 3, Iverson *et al*, 1976) entraînerait également cette même erreur.

1- Cabot

2- Rohm et Haas

3- Packard Instruments

4- New England Nu

5- ICN Pharmaceuticals

6- Isolab.

Ces solvants sont très utiles pour compter des échantillons de faible activité ; ils sont très tolérants aux différences de pH, de concentrations en sels (NaCl) et en eau, (Carter et Van Dyke, 1973), mais leur utilisation avec certains filtres peut colorer fortement la solution (Johnsonbaugh *et al.*, 1973) ou poser d'autres problèmes, (Sharpe III et Bransome Jr., 1973).

3.7. COMPTAGE DES SOLUTIONS ISOTOPIQUES ($\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$) :

Le comptage de toute solution ionique par scintillation liquide s'avère difficile à cause de l'instabilité des ions libres dans les solvants couramment employés. Le comptage direct du bicarbonate dans le Dioxane (Schindler, 1966, Nival *et al.*, 1971) ou dans un mélange "universel" (Aquasol), sont fortement déconseillés car il y a volatilisation rapide du $^{14}\text{CO}_2$ (Mueller, 1970, Iverson *et al.*, 1976). Même, le prélèvement d'un micro-volume (ca. 50 μl) d'une bouteille d'incubation ajouté à un mélange Alcool/toluène peut être instable.

La meilleure technique consiste d'abord à stabiliser le bicarbonate et le faisant réagir avec un micro-volume de phénylethylamine (Iverson *et al.*, 1976), d'éthanolamine ou avec 2 mg de cristaux de Ba(OH)_2 directement dans le fond d'une fiole à scintillation. (Schindler *et al.*, 1974).

Ensuite le comptage peut s'effectuer dans un mélange alcool/toluène, tel que : 1/2 ou 1/3 v:v 2-méthoxyéthanol/toluène + scintillateurs ou 1/3 v:v éthanol/toluène ou même dans les mélanges universels "Aquasol", "Insta-gel".

Il est important de constater que pour parvenir à des déterminations exactes, le micro-pipettage doit être effectué très soigneusement. Si l'activité de la solution est très élevée, il faut d'abord la diluer dans un milieu bien tamponné.

La solution isotopique employée aux îles-de-la-Madeleine a été vérifiée en faisant réagir 10 μl avec 100 μl d'éthanolamine suivi de l'addition de 4 ml d'Aquasol.

3.8. ESSAIS DE COMBUSTION :

Récemment, divers constructeurs (Intertechnique , Packard) ont mis au point des systèmes de combustion entièrement automatisés. Dans ces systèmes,

le milieu marqué est brûlé dans une atmosphère d'oxygène et les gaz de combustion véhiculés par un gaz vecteur (N_2) dans un premier piège pour la récupération du 3H_2O et ensuite dans un deuxième piège pour former le ^{14}C -carbamate. L'eau et le carbamate sont mélangés séparément dans deux systèmes solvants-scintillateurs différents et finalement déversés dans deux flacons à scintillation. Les opérations de l'utilisateur sont réduites à placer l'échantillon dans la chambre de combustion, placer deux flacons propres dans l'instrument et appuyer sur un bouton. Une fois l'opération automatisée terminée, il suffit de refermer les deux flacons, les remplacer et l'appareil est prêt pour une nouvelle combustion.

Sur 20 échantillons filtrés en double, nous avons effectué une comparaison entre la combustion et la dissolution directe dans le dioxane. Pour ralentir et uniformiser la combustion des filtres, ils ont d'abord été humidifiés avec 100 μl d'eau distillée et placés entre deux intercalaires Millipore.

Après la combustion, le $^{14}CO_2$ évolué a été piégé dans du CarboSorb^R (9 ml) et compté dans du Permafluor IV^R (15 ml).

Une analyse de Variance (2 facteurs, modèle aléatoire) n'a pas révélé de différences significatives entre les deux méthodes de préparation ($F_{0,5}(1,19) = 0,527$ n .., $F_{0,5}(1,19) = 4,38$). Compte tenu de la simplicité et de l'économie de la dissolution directe, cette dernière est nettement préférable, tout au moins en marquage simple. Lorsqu'on travaille en double marquage ($^3H/^{14}C$) avec des échantillons très affaiblis, le spectre énergétique du ^{14}C chevauche beaucoup le spectre du 3H , et quand on les compte ensemble (même échantillon), la résolution des contributions de chacun devient impossible. Dans ce cas, il est préférable d'effectuer une combustion pour les compter séparément.

Toutefois, signalons que ces appareils ne sont pas encore au point. Nous avons eu beaucoup de problèmes avec les pompes délivrant les solvants et parfois les tuyaux se bouchaient (cf. Cooper, 1974).

CHAPITRE IV

RESULTATS : Paramètres Hydrochimiques.

4.1. SALINITE ET TEMPERATURE.

La salinité et la température des quatre stations au cours des deux années sont reportées dans les figures 11, 12, 13 p.39 , 40, 41. Les variations de la température (en dehors du réchauffement estival) et de la salinité sont demeurées faibles et les deux paramètres ont été hautement corrélés ($r=0.634$, $n=53$). D'autre part, les températures des lagunes ont été hautement corrélées à la température de l'air ($r=0.827$ et $n=36$), ce qui suggère qu'elle est contrôlée par le réchauffement local des eaux. Nous n'avons jamais observé une stratification thermique, les lagunes présentant une structure homohaline et homothermique. A partir de nos mesures, il fut impossible de discerner différentes masses d'eau, et, d'autre part, compte-tenu des résultats de Steven (1974), de la faible profondeur de tout le plateau Madelinien, de la fréquence et durée des vents, il semble que le mouvement vertical des eaux soit plutôt gouverné par la turbulence.

Les différences entre les salinités des deux années sont difficiles à expliquer,. Bien qu'il y ait eu 3.6 fois plus de précipitation au mois de juin 1975 qu'au mois de juin 1974, l'effet de dilution ne se serait pas propagé au cours de toute la période d'échantillonnage. D'autre part, l'exac-
titude de notre salinomètre Kahl a été vérifiée en début de saison et à la fin, et la précision surveillée toutes les semaines à l'aide d'une résistance non-inductrice de 40 Ohm ; elle était de l'ordre signalé par le constructeur.

Quoi qu'il en soit, les salinités sont demeurées stables au cours des deux saisons.

De façon générale, les profils de la température ont augmenté du début de la saison jusqu'à un maximum au mois de juillet. En 1974, la température a augmenté d'un minimum de 10°C observé à GE le 5/06 jusqu'à un maximum de 20°C au début Août. Cependant, la station de l'extérieur avait toujours une température plus basse, présentant un minimum de 5°C le 7/06 et un maximum de 17.4 vers la fin juillet. En 1975, la température la plus faible a été

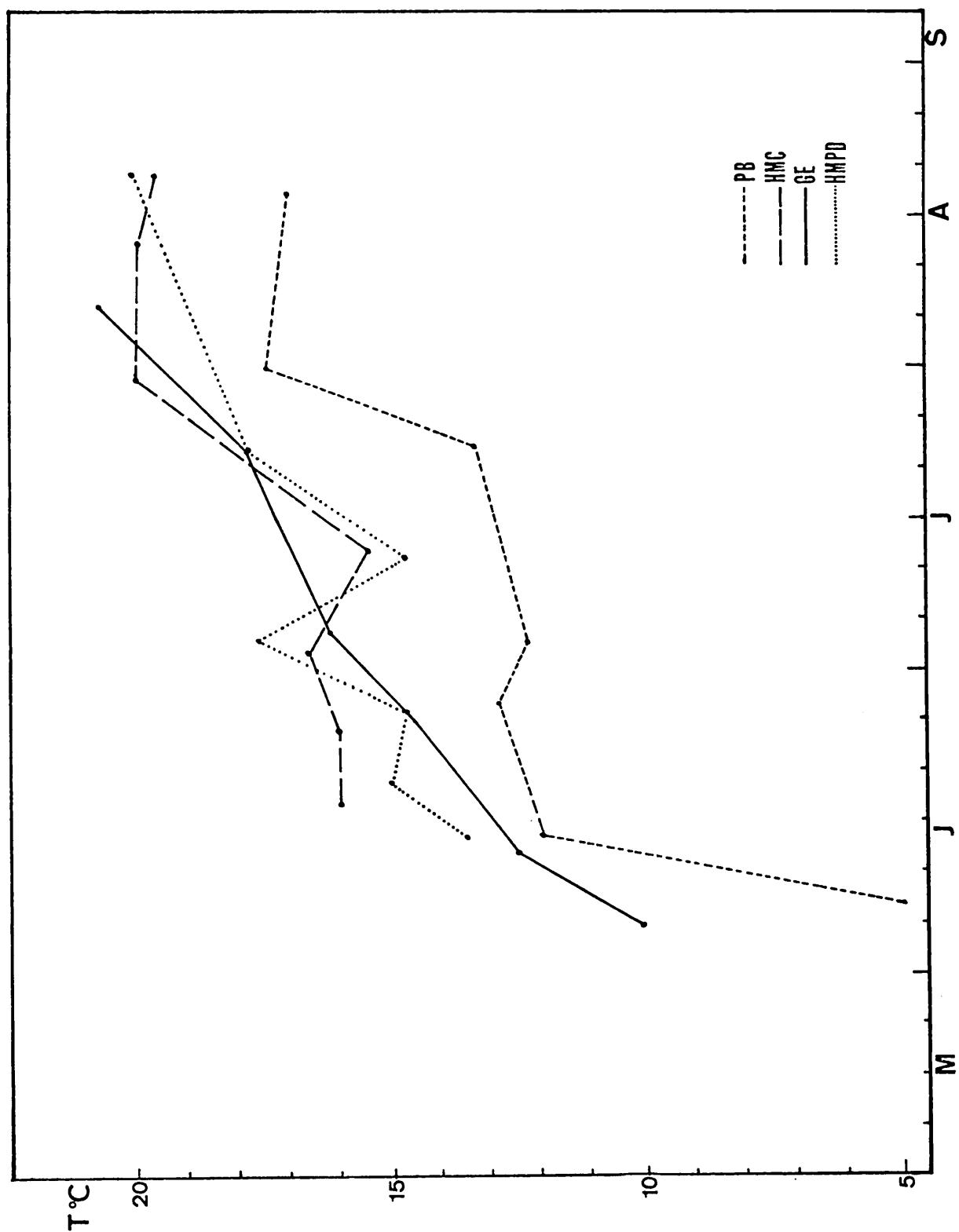


Figure 11. Evolutions des températures en 1974.

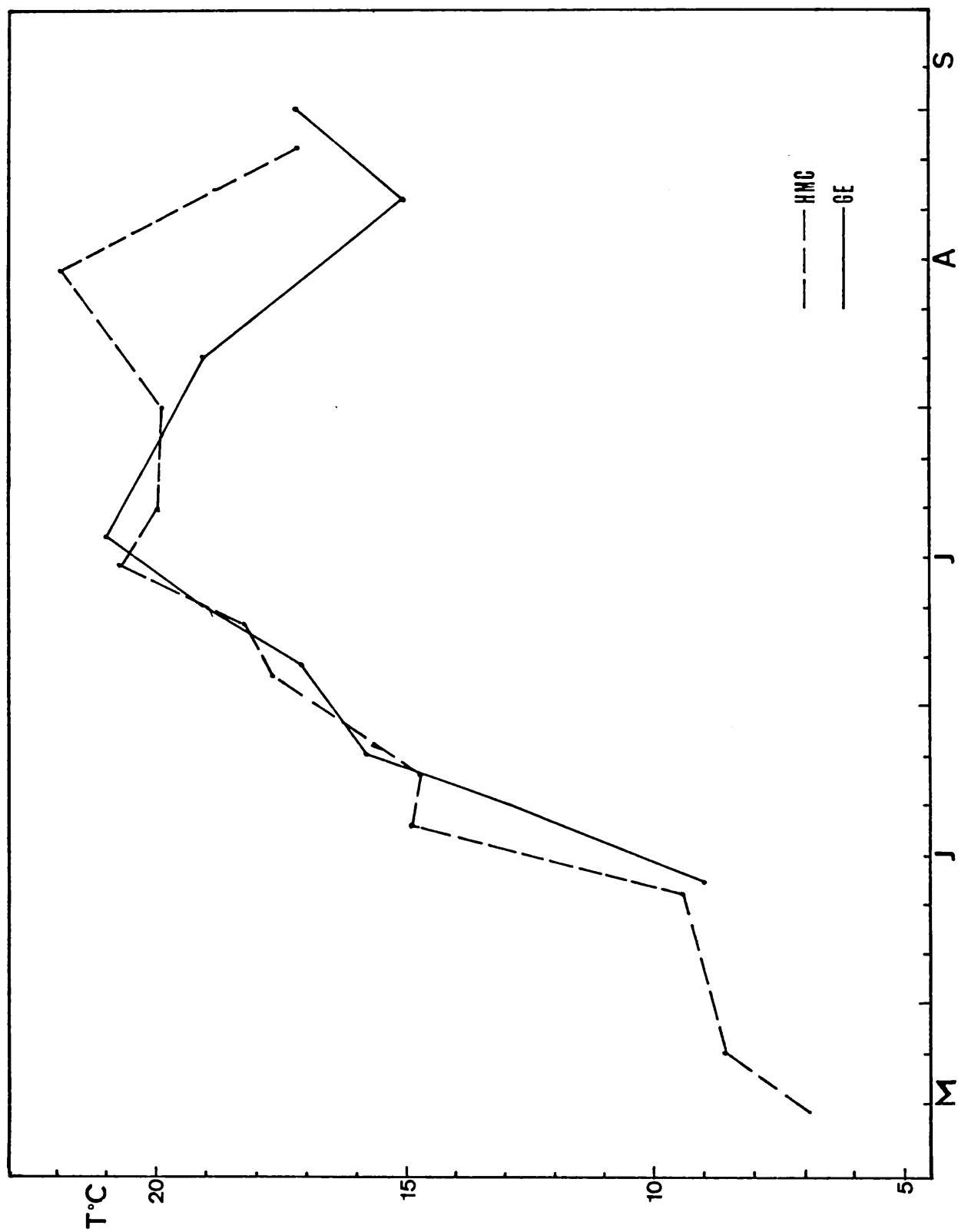


Figure 12. Evolution des températures en 1975.

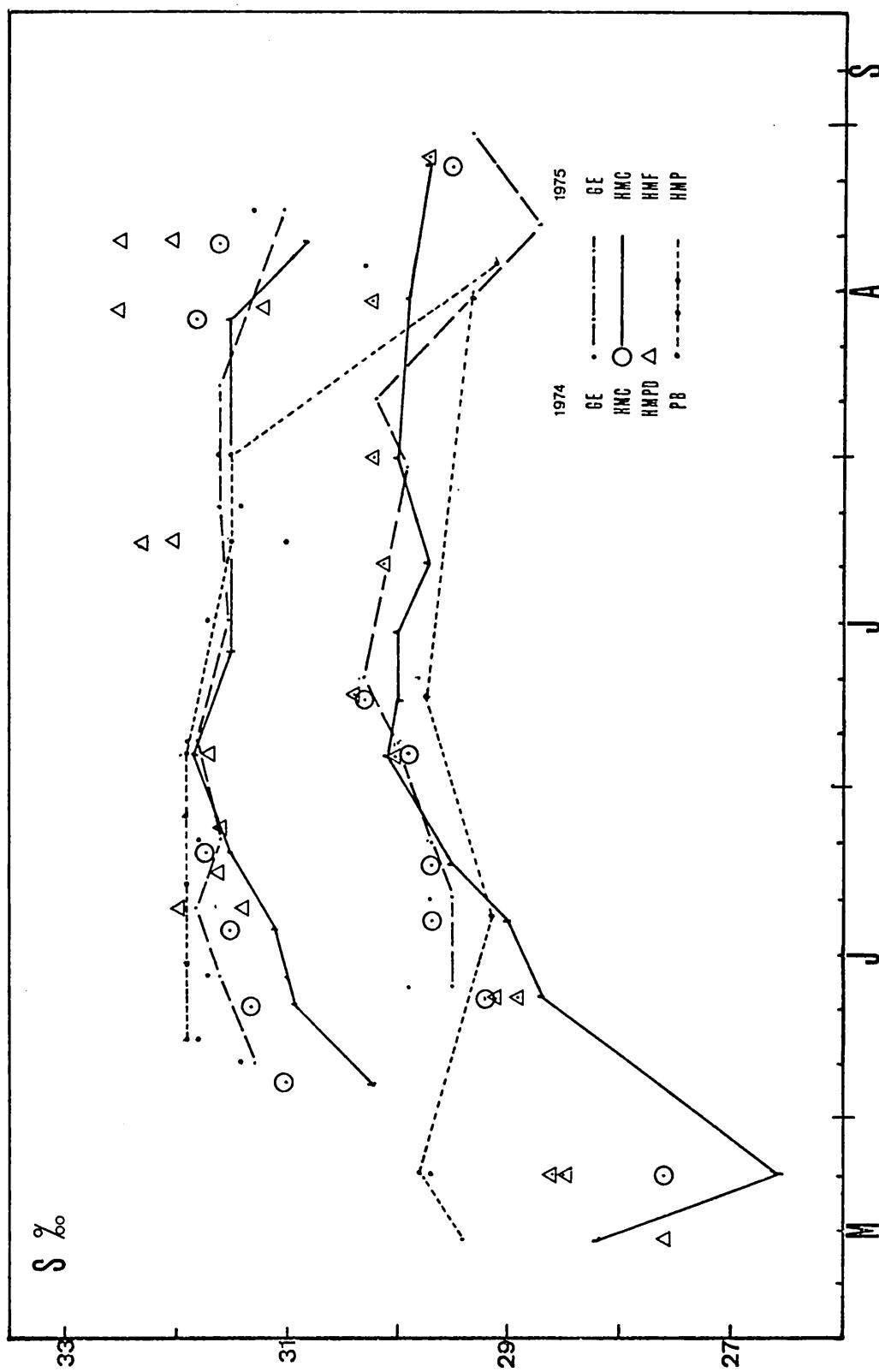


Figure 13. Evolution des salinités en 1974 et 1975.

enregistrée le 19/05, et les profils de deux stations de GE et de HM ont évolué de façon similaire jusqu'au maximum de 21°C à la mi-juillet, suivi d'un deuxième maximum à HM de 22°C à la mi-août, et une décroissance jusqu'à entre 17 et 18°C le 26 août. A GE, la température a diminuée jusqu'à 15°C le 21/08. A GE, le 21/08, la température a été de 15°C, conséquence d'un prélèvement effectué à marée haute et probablement dans une masse d'eau de provenance extérieure.

4.2. EVOLUTION DES NITRATES :

4.2.1. Résultats

En 1974, pendant les mois de juin et d'août, les teneurs ont été généralement inférieures à 0.5 µatg/l. Cependant, nous avons détecté deux augmentations ; entre 1.7 et 2.3 µatg/l à GE, PB et HMPD le 2 et le 3 juillet et de 2.4 µatg/l le 15/07 à HM. La variabilité (erreur standard de la moyenne)¹ a été faible et constante au cours de toute la saison. Fig.14 p.43.

L'évolution en 1975 a suivi un profil semblable, et l'échantillonnage plus rapproché a permis de mettre en évidence plusieurs pics dans les concentrations des nitrates. Vers la fin du printemps ces dernières étaient du même ordre que celles observées en 1974, mais, à partir du 20 juin, des augmentations de différentes amplitudes ont été notées. De la fin au début juillet les fluctuations se sont situées entre 1.7 µatg/l et 2.6 µatg/L. A partir du 10 juillet, il y a eu une augmentation jusqu'au maximum de 3.3 µatg/l à HM et 8 µatg/l GE, suivi d'un abaissement le 14/08, et d'une augmentation en début de septembre.

Les fluctuations apparaissent presqu'en phase pour les stations GE et HM, mais l'intervalle de temps entre les prélèvements fut trop faible pour permettre d'établir des tendances dans les fréquences de ces pics.

On peut également constater que la variabilité augmente en fonction des concentrations ; ce phénomène, observé pour d'autres sels minéraux (McAllister *et al.*, , 1961) ainsi que pour la chlorophylle (Platt 1970, Lewis 1973) est assez énigmatique, mais reflète probablement une activité biologique

¹Compte tenu de l'homogénéité des teneurs des 3 sels minéraux analysés, nous avons regroupé les N=2 -4 mesures/sortie et calculer ainsi une moyenne et son erreur standard.

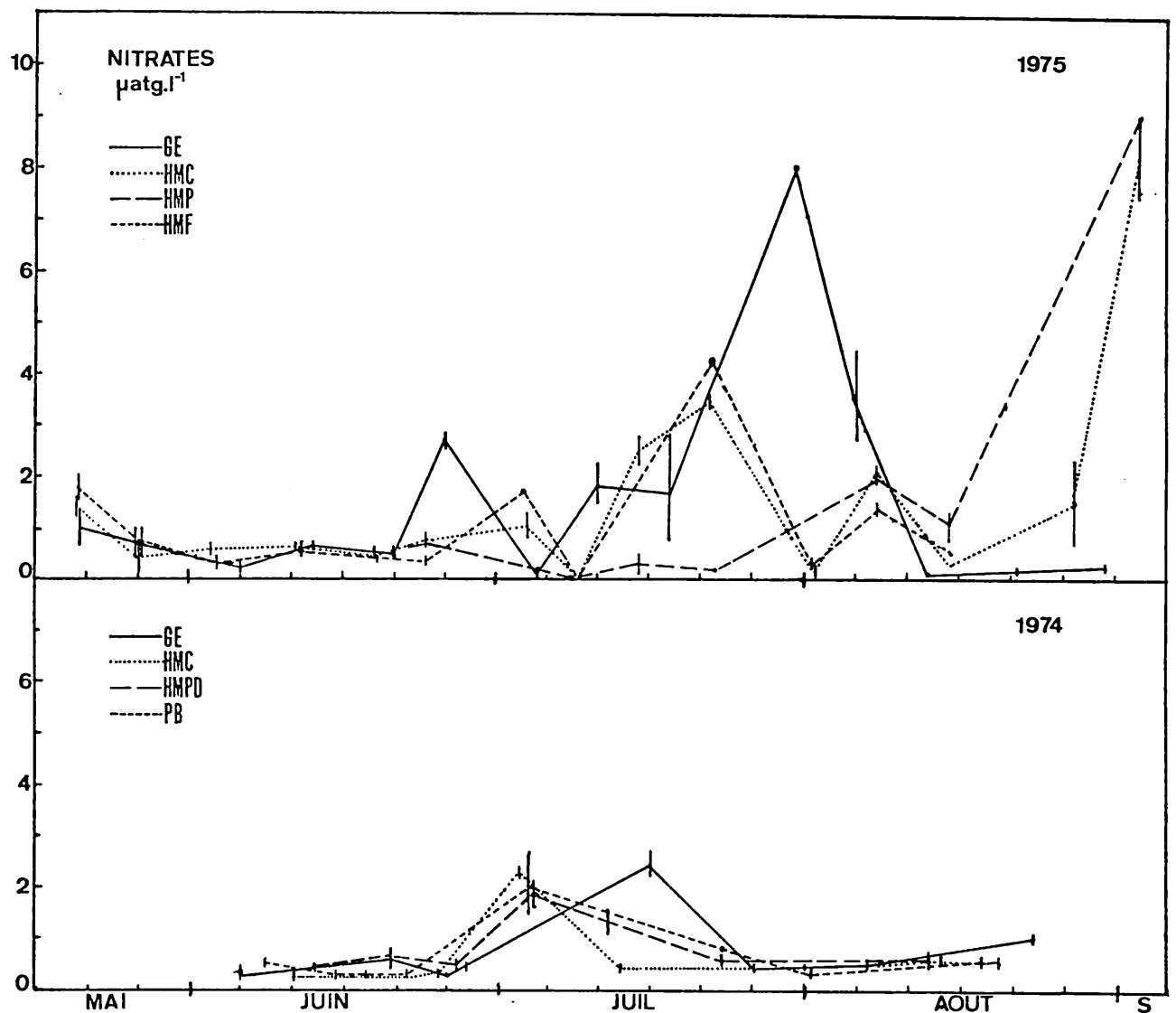


Figure 14. Evolution des nitrates en 1974 et 1975.

Les lignes verticales représentent ± 1 érreur standard de la moyenne.

plus élevée dans la colonne d'eau étudiée.

4.2.2. Discussion

Le tableau 2 p.7 et les figures 15, 16 p. 45, 46, démontrent les teneurs en nitrates, et l'indice du déplacement effectif du vent (IDE, Small, 1963). En premier lieu, les concentrations élevées semblent principalement associés au IDE, mais également à l'amplitude de la marée, et à l'heure du prélèvement par rapport à la marée haute. Des concentrations importantes ont été observées le 2, 3, 11 et 15 juillet 1974. Tous ces jours ont subi des vents de force 20 à 31 nds. Ces observations sont en accord avec la théorie d'Ekman qui prévoit par vent du S.O., un mouvement de l'eau de surface vers le large et de l'eau profonde vers la côte. Sur les côtes de la Nouvelle Ecosse, ce mécanisme de remplacement peut atteindre un rendement maximal de 70 % en trois jours, (Hachey, 1937). Platt *et al.*, (1972) ont signalé que le balayage par les marées des étangs de ces mêmes côtes intervenait plus fortement dans le remplacement des sels minéraux, que les mécanismes biologiques propres aux étangs. Les observations du 2/07/74 et du 3/07/74, où les mêmes teneurs ont été observées aux stations intérieures et à celle du large, nous portent à croire que les concentrations élevées sont d'origine extérieure. De même, entre le 4/07/74 et le 11/07/74 les marées restèrent moyennes, et du 22/07 à la mi-août, les vents ainsi que les valeurs des nitrates ont été faibles.

En 1975, du 23/06 au 25/06 et du 8/07 au 10/07, il y a eu des marées de vives-eaux, accompagnées de vent d'ouest, tandis que le 5/08 et le 7/08 ont été caractérisées par les mêmes marées, mais des vents plus faibles. La concentration la plus élevée a été mesurée le 29/07/75 lors d'une tempête avec des vents atteignant des vitesses de 70 nds. La fréquence du vent du sud-ouest au cours de ce même mois a exercé une influence directe sur les concentrations de nitrates (fig.16, p.46).

D'autre part, il faut considérer l'effet des faibles teneurs en nitrates, faute d'autres sources azotées, sur la vitesse d'assimilation du carbone. Une population phytoplanctonique peut être soit déficiente (dans le sens physiologique), ou limitée (dans le sens de sa biomasse totale), selon la concentration ambiante, l'absence ou la vitesse de recyclage d'un sel minéral. Pour comparer les caractéristiques d'assimilation des sources

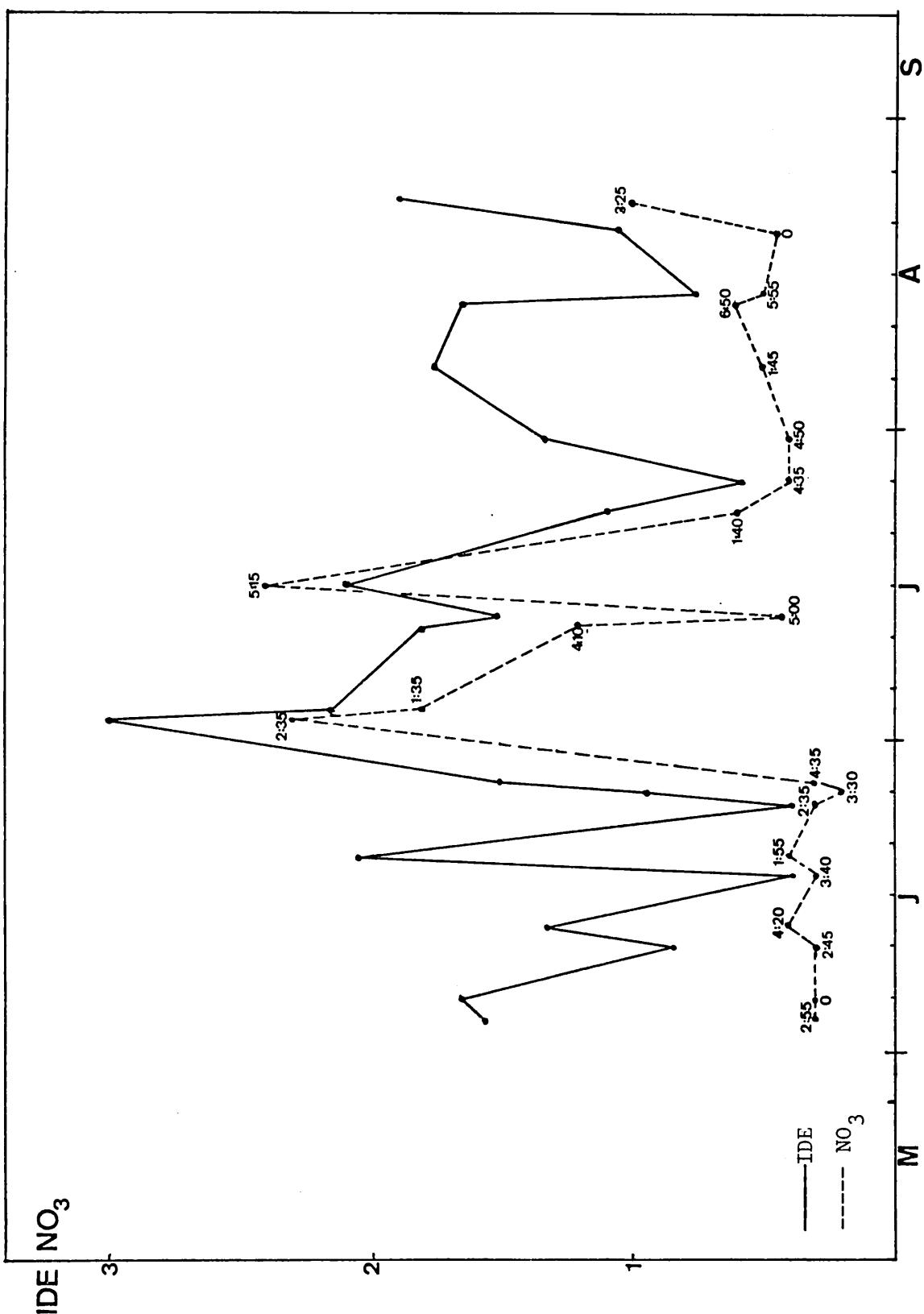


Figure 15. Relation entre l'indice du déplacement effectif du vent, (IDE, g/cm²/sec²) et la concentration en nitrates ($\mu\text{atg/l}$). Le nombre d'heures entre l'heure du prélèvement et la marée haute, est également indiqué. (1974). IDE cumulé sur 84 hres.

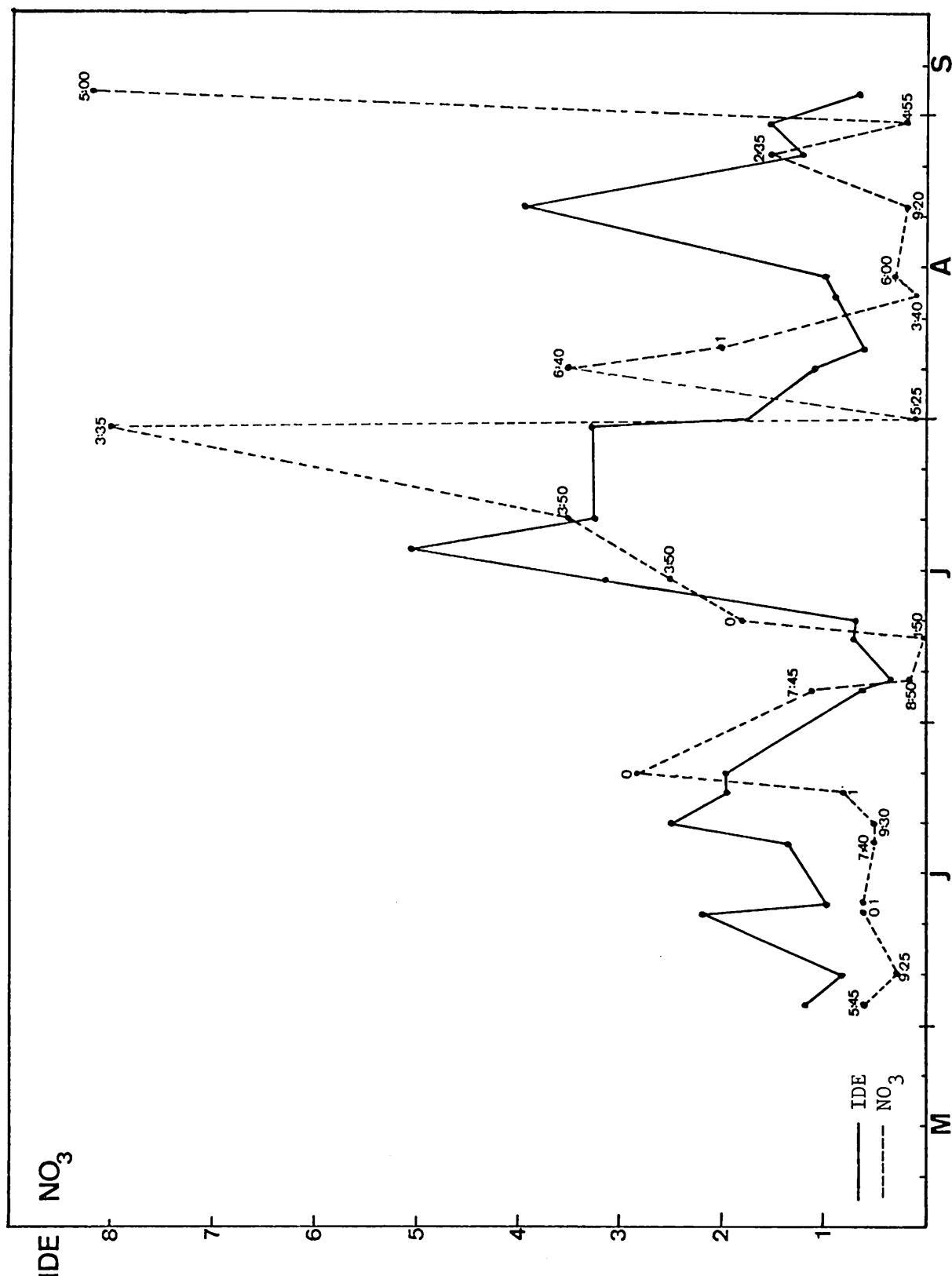


Figure 16. Relation entre l'indice du déplacement effectif du vent (IDE, g/cm/sec²) et la concentration en nitrates (μ atg/l). Le nombre d'heures entre l'heure du prélèvement et la marée haute, est également indiqué. (1975). IDE cumulé sur 84 hres.

azotées, MacIsaac et Dugdale (1969) ont employé la constante de demi-saturation (K_S), de la cinétique Michaelis-Menten, qui représente la concentration d'un sel nutritif permettant une vitesse d'assimilation égale à la moitié de la vitesse maximale d'assimilation. La variation des valeurs du K_S dépendent de l'espèce, ou de son ecotype, et de son histoire physiologique. Pour l'assimilation des nitrates Eppley et Coatsworth (1968) donnent 0.2 μM N- NO_3 pour *Ditylum brighwellii* et jusqu'à 70 μM - NO_3 pour *Anabaena cylindrica*, tandis que Eppley et Thomas (1969) ont montré que la diatomée côtière *Asterionella japonica* avait un K_S de $1.3 \pm 0.5 \mu\text{M}$ N- NO_3 , et la diatomée océanique *Chaetoceros gracilis*, un K_S de $0.3 \pm 0.5 \mu\text{M}$ N- NO_3 . Carpenter et Guillard (1971) ont travaillé sur trois clones de *Cyclotella nana*, de *Fragilaria pinnata*, et de *Bellerochia sp.* et ont affirmé que les clones isolés des zones océaniques pauvres en nitrates, avaient des K_S inférieurs à 0.75 μM N- NO_3 . tandis qu'une clone d'une même espèce isolée d'un estuaire avait un K_S supérieur à 1.5 μM N- NO_3 . Ils ont conclu que différentes races physiologiques du phytoplancton étaient adaptées à différentes concentrations en nitrates. Thomas (1970) a trouvé un K_S de 0.59 ± 0.49 (95%) μM N- NO_3 pour les communautés phytoplanctoniques du Pacifique Tropical.

Cependant, les résultats de McAllister *et al.*, (1961) et de Antia *et al.*, (1963) montrent que, lors d'une succession phytoplanctonique, le développement maximal de *Nitzschia delicatissima* et de *Glenodinium damium* n'a lieu que quand la teneur ambiante est de 0.2 μM N- NO_3 pour la première et de 0.1 μM N- NO_3 pour la deuxième. Etant donné l'augmentation de la production primaire et de la chlorophylle du 14 juin à la mi-juillet 1975 (Fig. 19, 21, p. 55 et 59) il ne semble pas que les teneurs les plus faibles en nitrates aient entraîné une déficience en azote dans le phytoplancton, bien qu'elles aient limité la biomasse totale du phytoplancton. D'autre part, il est probable que compte tenu des fortes biomasses zooplanctoniques dans cette région du Golfe, (Steven, 1974) d'autres sources d'azote soient présentes, (ammoniaque, urée)

4.3. EVOLUTION DES PHOSPHATES

4.3.1. Résultats

Les eaux lagunaires se sont avérées beaucoup plus riches en

orthophosphates que les eaux du golfe extérieur.

Les stations visitées en 1974 sont demeurées remarquablement stables avec des concentrations moyennes de 1 $\mu\text{atg/l}$. La variabilité entre les stations était également très faible sans aucune différence statistique.(Fig.17, p. 49).

Par contre, en 1975, bien qu'il ait eu une ressemblance entre les profils des stations, la variabilité surtout aux mois de juillet et d'août était beaucoup plus élevée. Du début mai à la fin juin, la gamme des teneurs moyennes s'est située entre 0.2 et 3.8 $\mu\text{atg/l}$. L'augmentation légère le 20 et le 25 juin, fut la conséquence d'un prélèvement à la marée haute, lors d'une marée de vives-eaux. Au commencement de juillet les valeurs étaient faibles, mais à partir du 3, il y a eu une très forte augmentation des teneurs et de leur variabilité. Elles se sont situées entre 2 et 5 $\mu\text{atg/l}$. A partir de la mi-août les concentrations ont diminué jusqu'à environ 1 et 2 $\mu\text{atg/l}$.

4.3.2. Discussion.

En début de saison, les profils des stations pendant les deux années sont très semblables, sauf pour les mois de juillet et d'août 1975, où la variabilité est très élevée. Pomeroy (1960) et Pomeroy *et al.*, (1965) ont démontré que le temps de résidence des orthophosphates pouvait varier de 0.06 à 111 heures, et que ce temps était fonction de la concentration de ce composé, de l'activité biologique, et des interactions eau-sédiment. A propos de ces dernières, en milieu à faible profondeur, il y a deux mécanismes qui tendent à stabiliser les concentrations entre 0.5 et 0.9 $\mu\text{atg/l}$. Le premier est un phénomène physicochimique (adsorption minérale) avec une demi-période de 15 secondes ; le deuxième agit par l'intermédiaire d'une activité biologique au sein de la matière en suspension sédimentaire (micro-organismes). Or nos résultats de 1974 et du début 1975 indiquent justement un équilibre important entre les concentrations moyennes des quatre stations et de leur erreur standard. En revanche, la déstabilisation en juillet et août 1975 est vraisemblablement due à un plus grand mélange turbulent occasionné par une intensité et une durée plus forte des vents du S.O.

Cette hypothèse de mélange turbulent est renforcé par les résultats d'un test W de Kendall ($S = 58$ NS, $S_{0.05(4)} > 258$, K = 22., Seigel, 1956) montrant

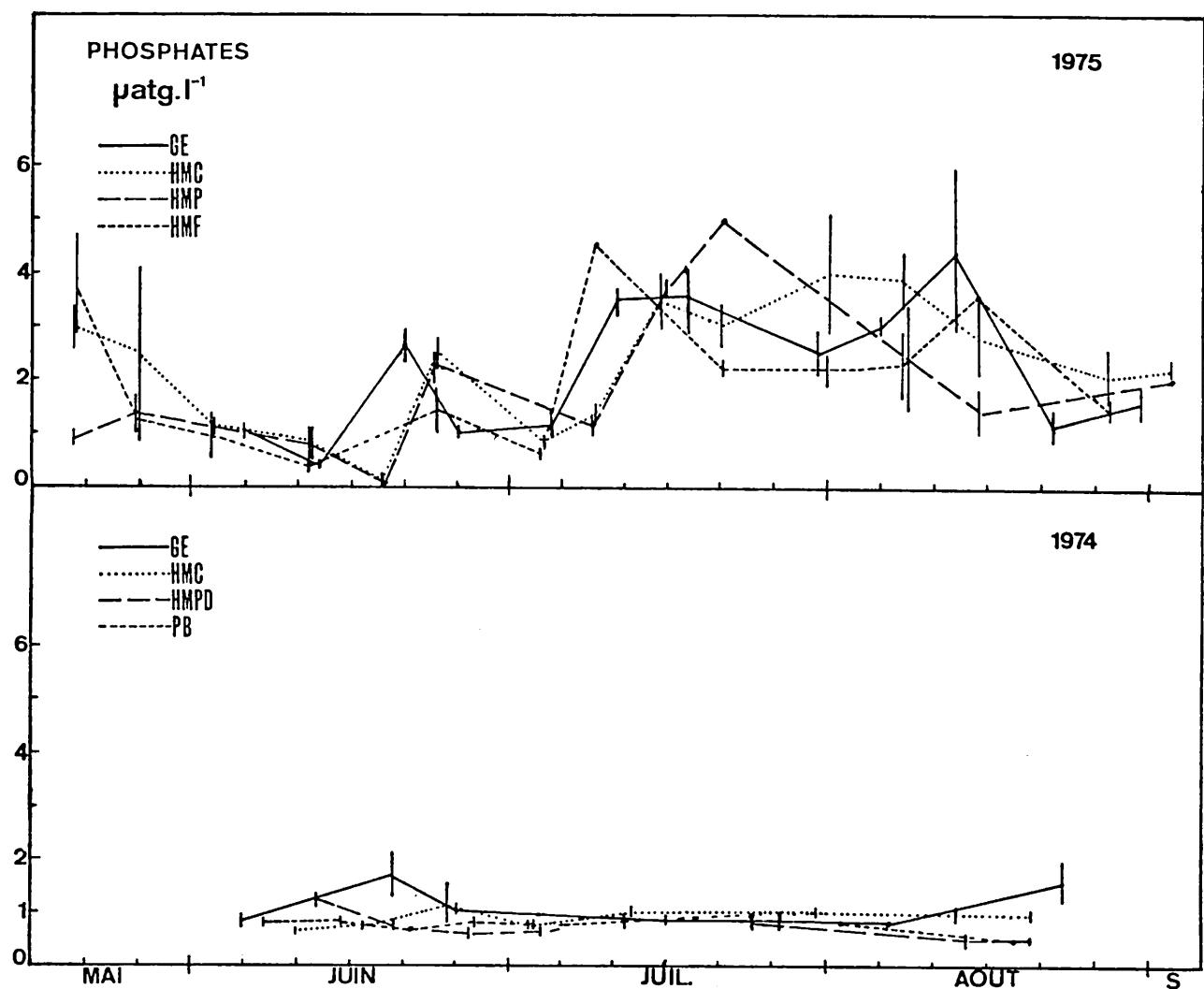


Figure 17. Evolution des orthophosphates en 1974 et 1975.

Les lignes verticales représentent ± 1 erreur standard de la moyenne.

qu'il n'y a pas de concordance entre la structure des phosphates en profondeur et les dates de prélèvement, c'est-à-dire que les distributions des teneurs étaient éphémères.

D'autre part, un autre mécanisme peut contribuer à créer des concentrations importantes d'orthophosphates. Le fond lagunaire est composé d'une biocoenose de *Zostera marina*. McRoy et Barsdate (1970) ainsi que McRoy *et al.*, (1972) ont montré que cette phanérogame pouvait puiser le phosphore des sédiments et le libérer par les feuilles sous forme d'orthophosphates. Pendant la période de croissance active, ces plantes pourraient ajouter $2 \mu\text{atg}/\text{m}^2/\text{jour}$ au cycle des phosphates en milieu lagunaire.

Egalement Steven (1974) a signalé que le plateau Madelinien présentait les biomasses les plus élevées en zooplancton du Golfe du St Laurent. Un broutage intensif peut être aussi la cause d'un recyclage rapide des phosphates dans le milieu. Ces résultats tendent à montrer que ce composé n'est pas un facteur sub-optimal de la production phytoplanctonique dans cet écosystème lagunaire.

4.4. EVOLUTION DES SILICATES :

4.4.1. Résultats.

Pendant la période d'observations en 1974, la concentration en silicates fut assez stable et il n'y a pas eu de différence statistique discernable entre les teneurs des quatre stations, (voir fig. 18, p. 51)). Il semble quand même y avoir une légère augmentation à partir du mois de juillet, mais les teneurs sont demeurées entre 0.5 et 2.0 $\mu\text{atg}/\text{l}$.

En 1975, les concentrations ont été plus élevées ; ainsi, de la mi-mai à la mi juillet, elles se sont situées entre 2 et 4 $\mu\text{atg}/\text{l}$. Il y a eu de nouveau des pics, le 22/06 et le 10/07 en coincidence avec les marées de vives-eaux, tandis que ceux de la deuxième partie du mois de juillet ont été associés, comme pour les nitrates, à des vents de S.O. de force supérieure à 20 nds. Au cours du mois d'août, les teneurs sont demeurées entre 1 et 2 $\mu\text{atg}/\text{l}$.

4.4.2. Discussion.

En 1974, étant donné que du carbonate de magnésium a été ajouté

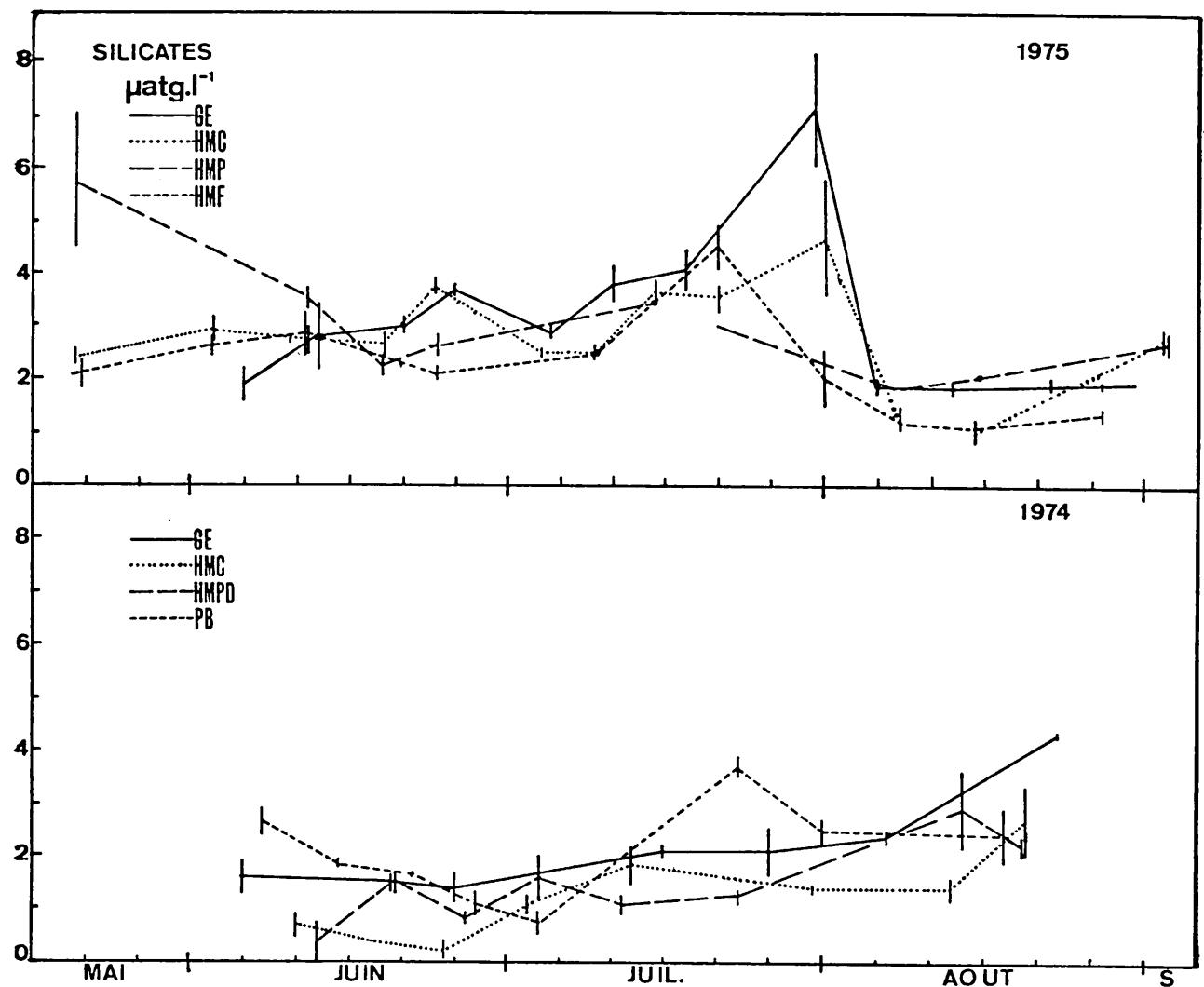


Figure 18. Evolution des silicates en 1974 et 1975.

Les lignes verticales représentent ± 1 érreur standard de la moyenne.

a l'eau prélevée pour la chlorophylle (et les sels minéraux), il est possible que cette procédure ait entraîné une diminution dans la solubilité de la silice amorphe, en formant une couche protectrice de silicate de magnésium (Krauskopf, 1956). Nos teneurs sont légèrement inférieures à celles considérées, pour la couche superficielle, comme franchement océaniques (Stefánsson et Richards, 1963., Ryther *et al.*, 1967), mais pratiquement identiques, pour cette période de l'année, à celles observées par Platt et Irwin (1968) dans la Baie de Ste Marguerite, celles de McIver (1972) pour la Baie de Malpèque et à celles de Bulleid et Steven (1972) pour la partie maritime du Golfe du St. Laurent.

En ce qui concerne les teneurs limitant la production organique primaire, elles sont pour les silicates assez malconnues. Toutefois, travaillant sur la diatomée *Asterionella*, Lund (1950) a signalé que 8.3 $\mu\text{atg/l}$ limitait la croissance, tandis que, plus récemment, Tilman et Kilham (1976) ont constaté de grandes variations du K_S de cette même espèce variant entre 0.69 et 15.7 $\mu\text{atg/l}$, et, pour *Cyclotella meneghiniana* variant de 1.28 à 10.1 $\mu\text{atg/l}$. Conway *et al.*, (1976) déterminèrent un K_S de 0.7 $\mu\text{atg/l}$ sur des cultures continues de *Skeletonema costatum* et Jorgensen (1953) signale, sur des cultures mixtes qu'il y a un arrêt de divisions cellulaires lorsque les teneurs se trouvaient entre 1.0 et 1.4 $\mu\text{atg/l}$.

Compte tenu du fait que McIver (1972), au cours des mois d'été, a observé que les populations phytoplanctoniques de la Baie de Malpèque étaient composées de micro-flagellés, et de l'augmentation rapide de la production primaire lors des apports de nitrates, il est peu probable que les concentrations en silicates contrôlent directement la production primaire dans nos lagunes, sauf au cours du "bloom" printanier s'il a lieu dans cette région, (McIver, 1972).

CHAPITRE V

PARAMETRES BIOLOGIQUES

5.1. EVOLUTION DE LA CHLOROPHYLLE :

5.1.1. Résultats.

La méthode de dosage utilisée en 1974 ne nous a pas permis de mener à bien les mesures de la chlorophylle. D'une part la méthode d'extraction manuelle n'a pas solubilisé tous les pigments, et la largeur de fente du spectrophotomètre n'a donné qu'une résolution médiocre aux longueurs d'ondes désignées (Strickland et Parsons, 1972). Pour ces raisons, les résultats n'ont pas été présentés. L'extraction au broyeur (A.H. Thomas Co., Philadelphie, USA) et le dosage au fluorimètre effectués pendant l'étude en 1975 se sont avérées beaucoup plus satisfaisants.

Dans le but d'une représentation graphique des données, nous avons dans un premier temps essayé de mettre en évidence une différence statistique entre nos teneurs observées sur quatre mètres, au moyen de l'analyse de la variance (deux facteurs, modèle aléatoire). Etant donné la corrélation entre les concentrations et leur variance, on les a rendues indépendantes en les transformant en \log_{10} . La variabilité "entre sorties" fut déduite en tant que facteur "bloc" et "entre profondeurs", il n'y a pas eu de différences statistiques (Tableau 6 p.54).

Les concentrations présentées dans les graphiques sont donc des moyennes de quatre valeurs et leur écart type. (Fig. 19 p. 55).

Du début de la saison jusqu'au 8 juillet, les concentrations des quatre stations se sont confondues (sauf HMC-18/06). Elles se sont situées entre 0.3 et 0.54 µg/l jusqu'au 25/06, une légère augmentation est apparue entre 0.7 et 0.9 µg/l le 3/07 et le 4/07. A partir du 14/07 il y a eu une augmentation rapide des teneurs jusqu'à 3.3 µg/l à HMC. Les fluctuations subséquentes, visibles dans la figure 19 p.55 ont été presqu'en phase pour les stations de HMC et GE, tandis que les teneurs de HMF oscillaient de part et d'autre de celle de HMC et la chlorophylle à HMP demeura presque toujours inférieure à celles des trois autres stations.

Les périodes où les concentrations était élevées coïncidaient avec les apports en nitrates, ce qui porte à croire que ces derniers étaient "limitants" de l'accroissement de la biomasse phytoplanctonique. Cependant la courbe de la production primaire (Fig.21 p.59), toujours croissante jusqu'à la fin juillet, suggère que le phytoplancton n'était pas déficient (dans le sens physiologique) en source azotée pendant la période antérieure au mois d'août. L'accord entre les trois stations de la lagune du Havre-aux-Maisons était plus prononcé lorsque les sorties coïncidaient avec la fin du jusant, c'est-à-dire que

Tableau 6

Source	DDL	SCE	CM	F	$F_{\text{théor.}}$
Entre Stations	8	0.4779	0.0597	37.905 ***	$F = 6.19$.001(8,16)
Entre Profondeurs	2	0.0072	0.0036	2.25 NS	$F = 3.63$.05(2,16)
Erreur	16	0.0252	0.0016	-	

Analyse de la Variance Montrant l'homogénéité des concentrations de chlorophylle en profondeur.

Source	DDL	SCE	CM	F	$F_{\text{théor.}}$
Entre Stations	2	0.0117	0.0059	0.537 NS	$F = 4.10$.05(2,10)
Entre Dates	5	1.1499	0.2300	21.137 ***	$F = 10.5$ 0.001(5,10)
Erreur	10	0.1088	0.0109		

Analyse de la Variance montrant l'homogénéité des teneurs en chlorophylle entre les stations HMC-75, HMP-75 et HMF-75

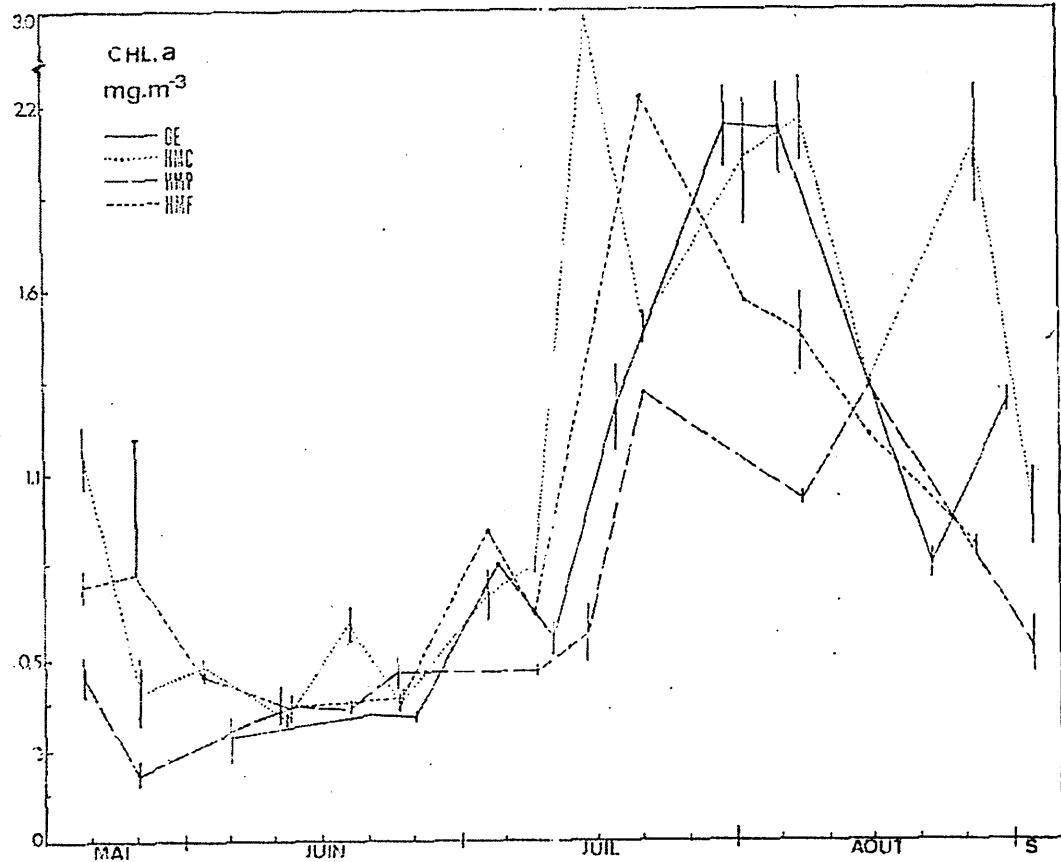


Figure 19. Evolution de la chlorophylle en 1975.

Les bornes verticales délimitent un intervalle de confiance de 68% (1σ).

la masse d'eau à ce moment là était plus homogène en ce qui concerne la distribution de la chlorophylle, tandis que, pendant le flot, la station HMP avait toujours une teneur plus faible, suggérant un mélange, ou la présence d'une masse d'eau différente.

Nos concentrations lagunaires sont beaucoup plus grandes que celles observées dans le golfe (Steven, 1974) et dans les régions avoisinantes (Platt et Irwin, 1968). Il est certain que nous avons également dosé des micro-débris des zostères, l'intersection en abscisse a une valeur positive (production=0) de la droite représentant la relation entre la production et la chlorophylle (Fig. 23 p.61) permet de renforcer cette hypothèse. Dans le but de mettre en évidence la partie détritique de notre chlorophylle, nous avons tenté, avec les données de McIver (1972), de Steven (1974) et de Platt et Irwin (1968) de régresser la chlorophylle sur la production. Pour cela nous n'avons qu'utiliser les concentrations entre 0 et 5 m, mais même après transformation logarithmique de l'un ou des deux paramètres, les coefficients de détermination (r^2), et donc le pouvoir de prédiction de la relation étaient beaucoup trop faibles.

5.1.2. Relation Chlorophylle/Phéophytine.

Lorenzen (1967), et Glooschenko *et al.*, (1972) ont suggéré que la présence de la phéophytine était liée à l'intensité du broutage du zooplancton herbivore. Notre rapport Phéophytine/Chlorophylle s'est révélé très constant au cours de la période d'échantillonnage (Fig. 20 p.57), et la Phéophytine ne représentait que 10 à 25 % des concentrations de la chlorophylle a. Cependant, il y a eu, le 11/06, 11/08 à HMC et le 19/07 à GE des rapports plus élevés situés entre 49 et 53%.

Spence et Steven (1974) signalèrent que les variations dans le rapport Chla/Phéo étaient dues aux variations saisonnières de la chlorophylle a, et que les concentrations de la phéophytine étaient relativement constantes. Il n'ont pas trouvé de relation entre les teneurs moyennes de la phéophytine et la biomasse de zooplancton dans le golfe du St. Laurent. L'augmentation en phéophytine que nous avons observée à la fin de juillet correspondait au maximum de la biomasse zooplanctonique signalé par Steven (1974) pour cette région. Celui-ci observé en début de juin pourrait correspondre également à un broutage plus prononcé en fin de "bloom" printanier.

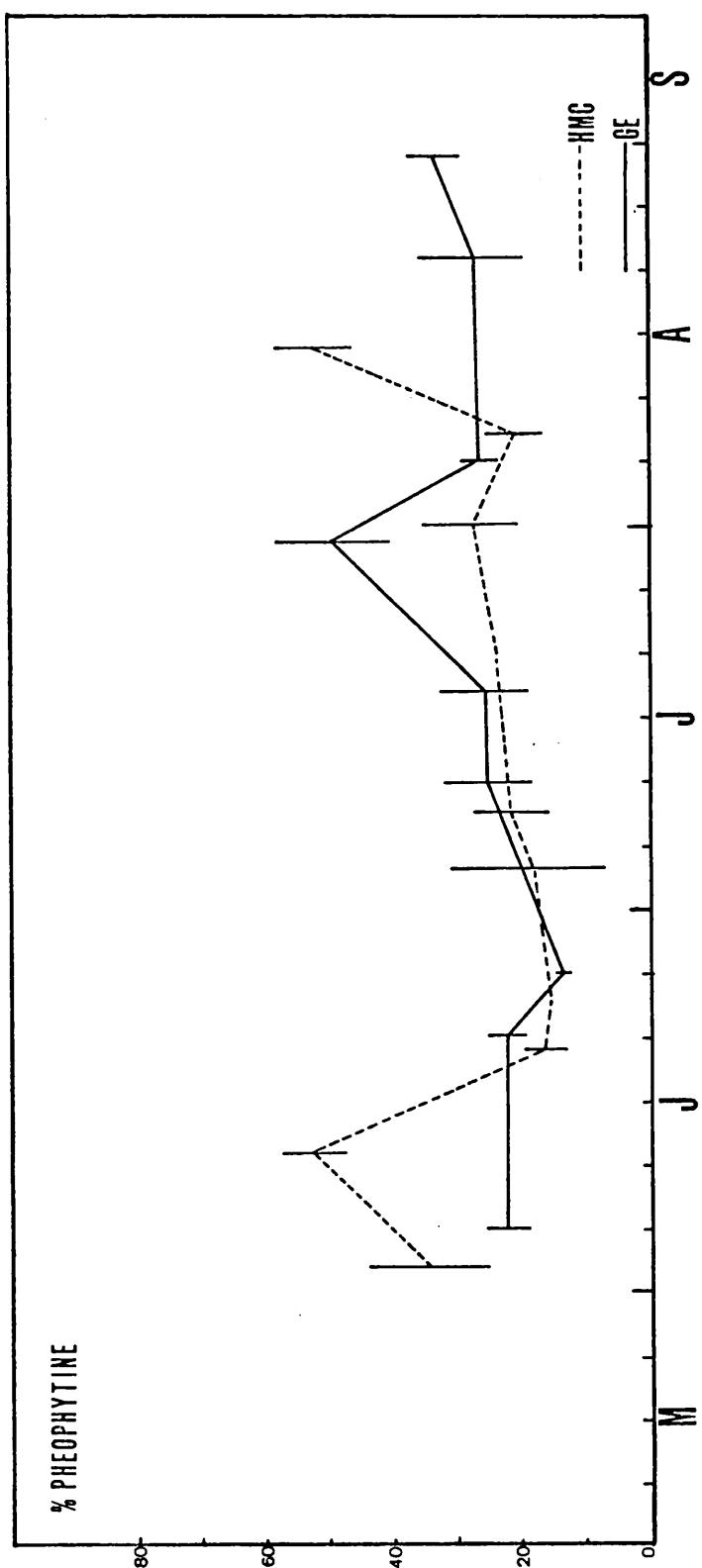


Figure 20. Evolution de la phéophytine (pourcentage) en 1975.

5.2. PRODUCTION PRIMAIRE :

5.2.1. Résultats et Discussion.

Les quelques mesures effectuées en 1974, ainsi que les profils des deux stations en 1975 sont présentés dans le fig. 21 p.59. Compte tenu de la distance qui séparait ces deux stations (≈ 26.7 km), leur similitude est remarquable, preuve que l'activité turbulente de ce milieu tend à homogénéiser la distribution du phytoplancton et des facteurs physico-chimiques contrôlant la production primaire. Il semble qu'ils soient les mêmes aux deux extrémités de l'archipel. Les seules différences au seuil de sécurité de 95% ont eu lieu entre le 18/06 et le 25/06 et le 21/08. Dans le premier cas, la différence pourrait s'expliquer par un réchauffement plus rapide à la station HMC, vue qu'elle est plus éloignée de l'ouverture sur la mer libre. L'évolution pour les deux stations a été progressive, d'un minimum de $4.91 \text{ mgC/m}^2/\text{hr}$ à GE le 12/06 jusqu'au maximum de $48 \text{ mgC/m}^2/\text{hr}$ à HMC le 14/07 suivi d'un abaissement à $25 \text{ mgC/m}^2/\text{hr}$ à GE le 29/07 et une remontée à $53 \text{ mgC/m}^2/\text{hr}$ à HMC le 9/08. Finalement une décroissance jusqu'à $22 \text{ mgC/m}^2/\text{hr}$ le 20/08 à GE et le 2/09 à HMC. Nos estimations, surtout pour les mois de juin et juillet sont très voisines de celles de Platt et Irwin (1968) et environ double de celles de McIver (1972) et Steven (1974, "MI-shore station"). Mais nos taux d'assimilation de la fin juillet à la mi-Août sont 3 à 4 fois ceux de la Baie de Ste Marguerite, (Platt et Irwin, 1968) ; ceci résulte de l'apport de nitrates consécutif à la prédominance du vent du sud-ouest au cours du mois de juillet 1975.

Les observations des mois de juillet et Août 1974, montrent que la station HMC-74 est bien confondue avec HMC-75, alors que les estimations de GE-74 sont plus faibles que celles de GE-75. La station extérieure PB-74 est caractérisée par les productions les plus faibles.

En ce qui concerne les profils de la production en profondeur (Fig. 24 p.62), pour la station HMC-75, pendant le mois de juin, l'assimilation du carbone s'est située entre 1.3 et $5 \text{ mgC/m}^3/\text{hr}$, et il n'y a pas eu de différences significatives entre les productions moyennes à chaque profondeur. La variabilité entre les bouteilles à une même profondeur (quelle qu'en soit la cause : biologique ou physique) masque ou semble avoir plus d'importance sur

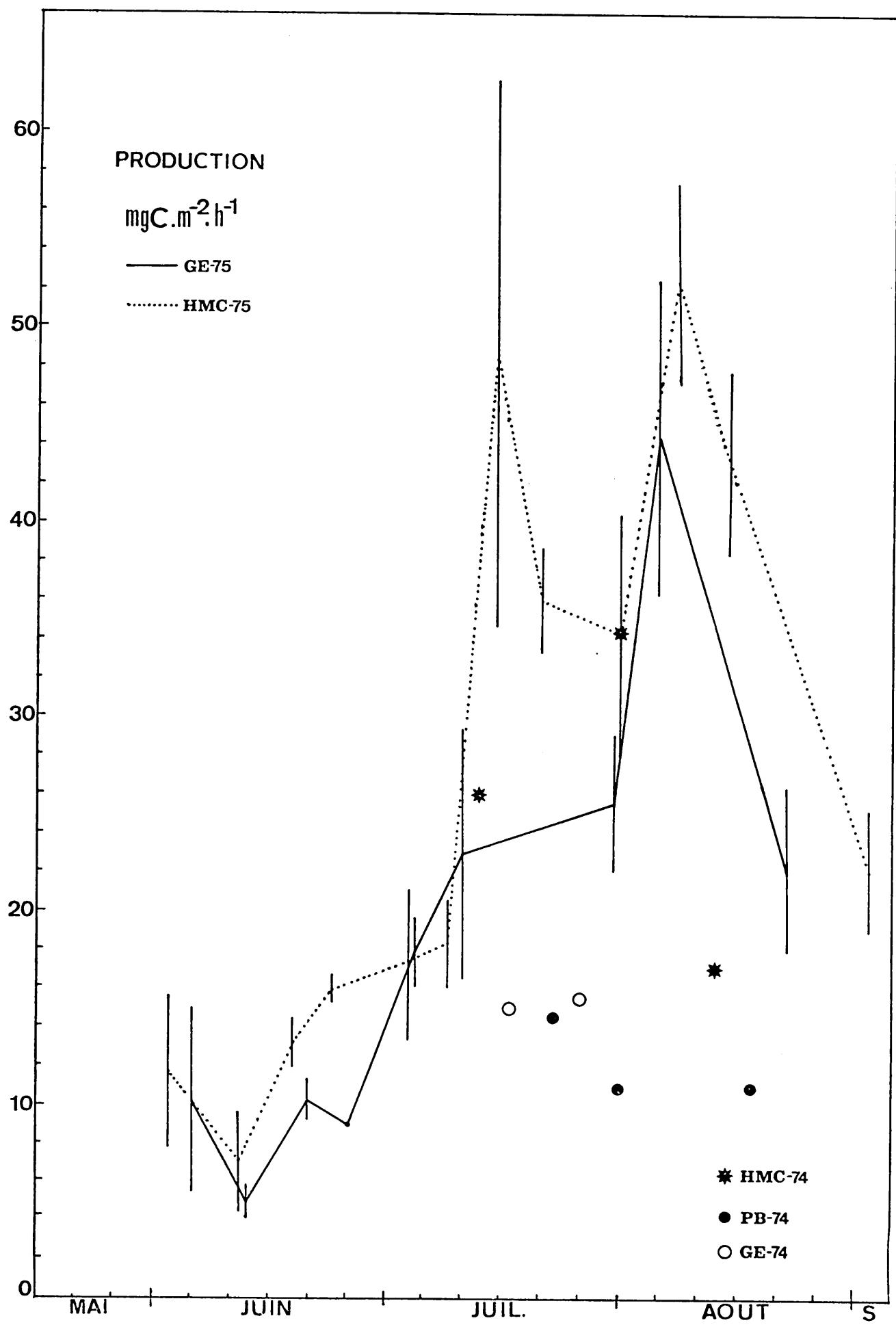


Figure 21 Evolution de la production primaire en 1975

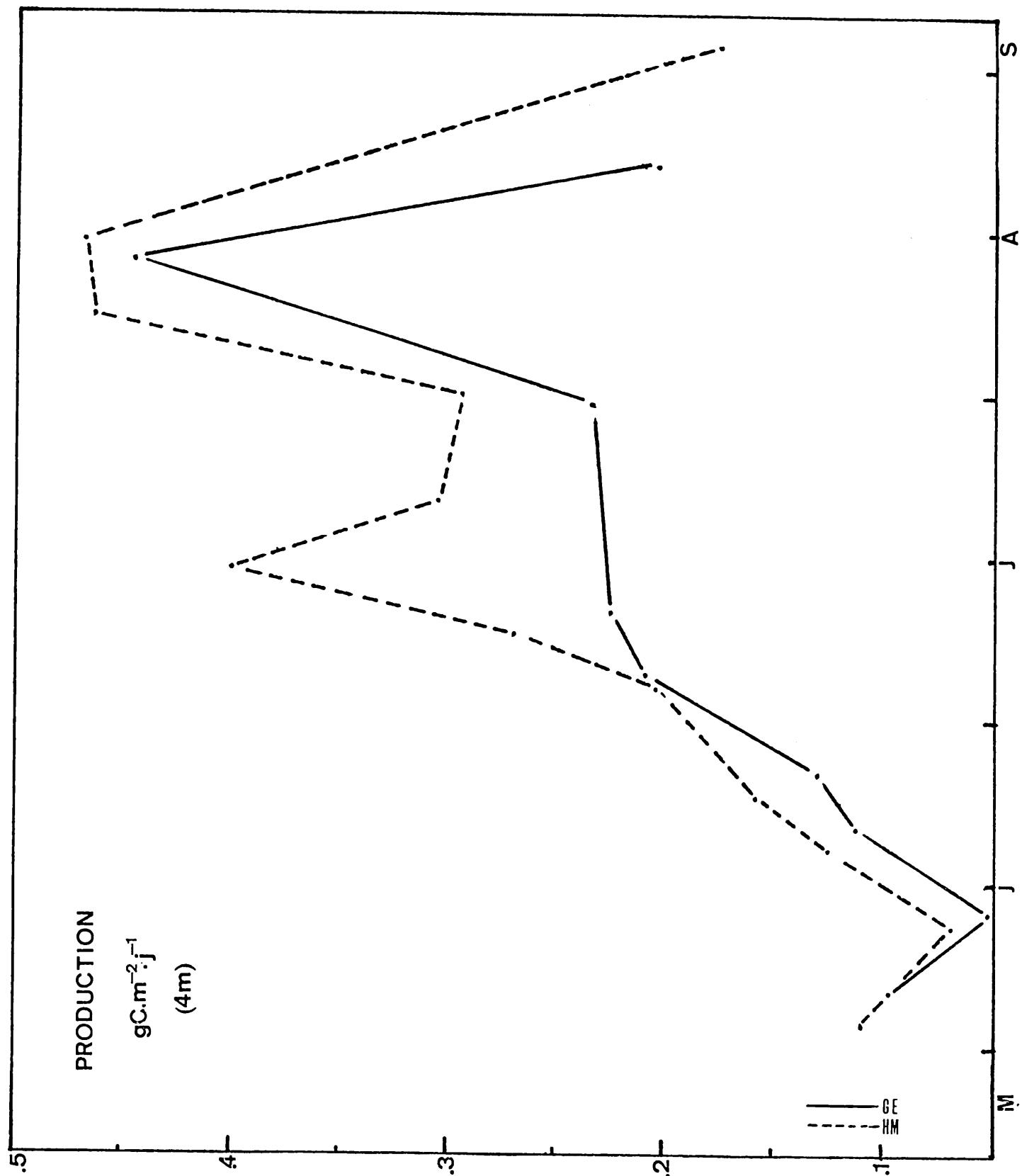


Figure 22. Evolution de la production primaire journalière ($\text{gC.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$).

Diviser les valeurs de CHL a par le facteur 18.38.
2 $\mu\text{g/L}$ = 0.10 $\mu\text{g/L}$ et
100 $\mu\text{g/L}$ = 5.4 $\mu\text{g/L}$

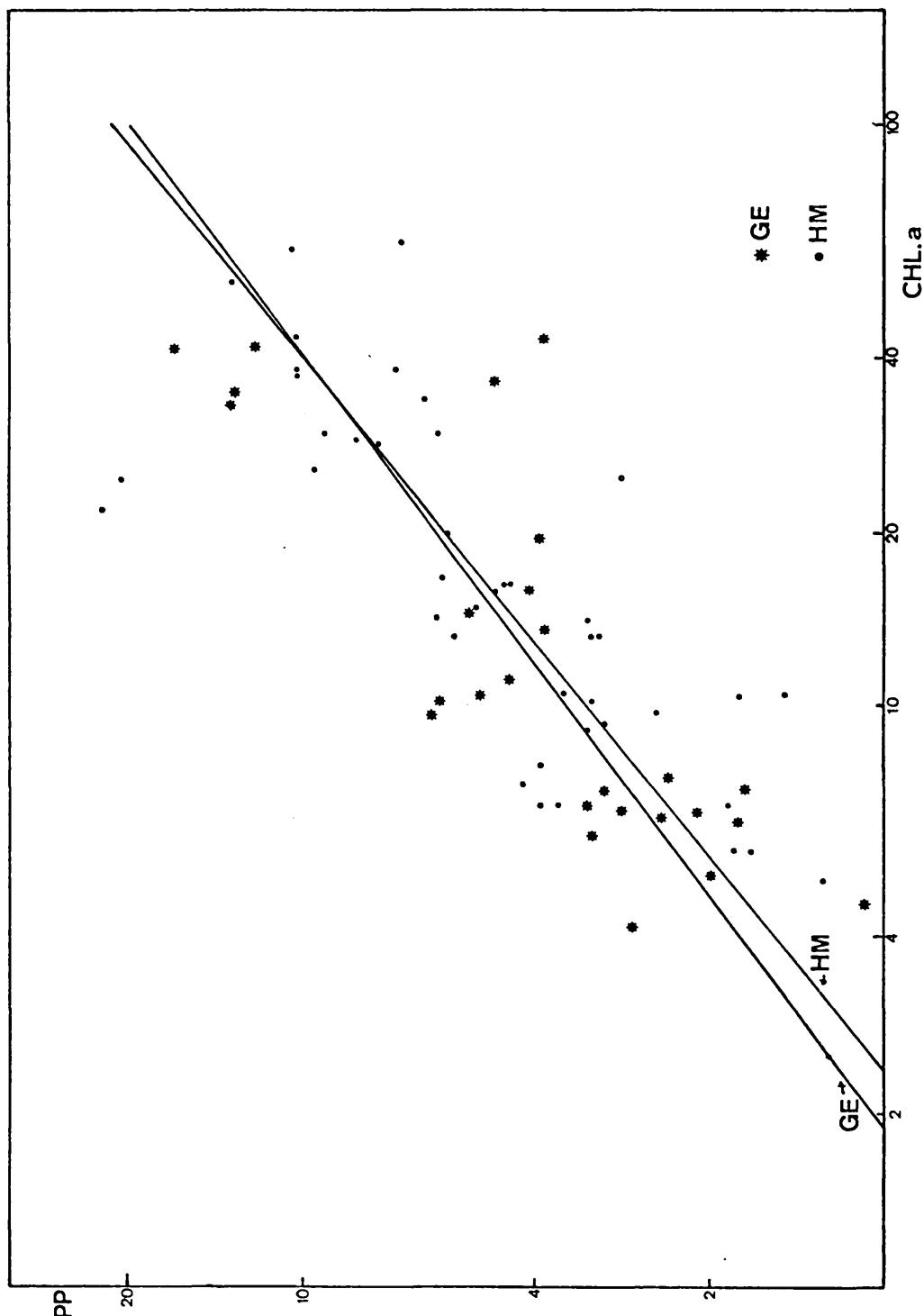


Figure 23 Regression linéaire de la chlorophylle par rapport à la production, toutes deux en échelle logarithmique.

Droites: (95%) $Y=0$, $x=(95\%)$ R^2 $F_{(1,67)}$

HM = $Y= 0.816 (\pm 0.186)x - 0.304 \quad \pm 0.291 \quad 0.65 \quad 0.023 \text{ ns.}$
GE = $Y= 0.747 (\pm 0.208)x - 0.202 \quad \pm 0.277 \quad 0.68$
(Constantes en logarithmes)

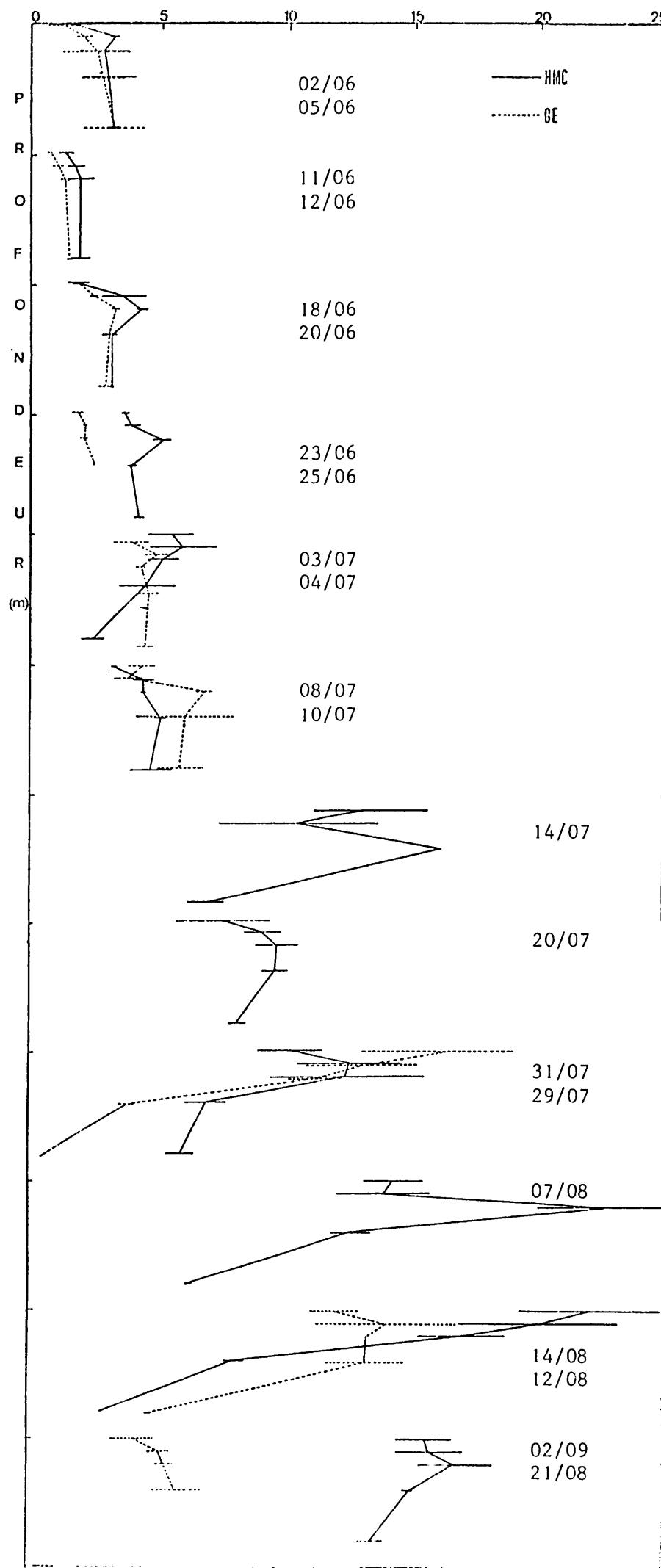


Figure 24. Profils de production en profondeur, aux stations HMC-75 et GE-75. Les lignes horizontales délimitent \pm un écart type. (1σ).

la population phytoplanctonique que l'influence de l'atténuation lumineuse. La légère augmentation vers la fin du mois coïncidait avec le réchauffement graduel de l'eau. Le mois de juillet a vu une augmentation de la production variant entre 6 et 16 mgC/m³/hr. Les différences entre les moyennes des profondeurs, ainsi que leur variance se sont accrues. A partir du 14 juillet, la variabilité entre les profondeurs a beaucoup augmentée ; ce phénomène coïncidait avec une plus grande activité turbulente et l'apport des nitrates. Au mois d'août, les profils en profondeur se sont atténués très rapidement, conséquence des teneurs très élevées en pigments végétaux et de l'augmentation du coefficient d'extinction lumineux.

Les profils de la station de la lagune de la Grande Entrée ont été très semblables à ceux de HMC-75. Il y a eu une faible variabilité entre bouteilles et entre profondeurs pendant les mois de juin et juillet, et une atténuation en profondeur de la fin juillet à la mi-août.

Aux deux stations, lorsque l'activité turbulente est forte, il est probable que la production réelle est plus élevée et l'effet d'atténuation observé est largement dû au confinement en bouteille de la population phytoplanctonique.

A partir de nos mesures, nous n'avons pas jugé utile le calcul d'un bilan annuel de production, pour les raisons suivantes :

- premièrement, bien que le nombre de mesures ai été élevé pendant les trois mois, nous ne possédons aucune information sur la production des autres mois de l'année.
- deuxièmement, la production en 1975, a été beaucoup influencée par l'apport des nitrates (perturbation) au mois de juillet. Il ne nous semble pas juste de généraliser ce phénomène sans avoir de données sur d'autres années. Si nous nous permettons d'ignorer cette perturbation, la production, notamment au mois de juin serait très voisine à celle de la Baie de Ste Marguerite (Platt, 1971). Il est donc plausible que la production annuelle soit du même ordre, environ 190 gC, ce qui représente une production assez élevée.
- troisièmement, compte tenu de la faible profondeur et de la zone euphotique tranchée, il est plus facile de comparer les estimations par unité de volume plutôt que par unité de surface. Un bilan total instantané peut se calculer en multipliant par le volume des lagunes : $7 \times 10^4 \text{ m}^3$ pour celle du Havre-aux-Maisons et $15 \times 10^4 \text{ m}^3$ pour la Grande Entrée (déterminé de la carte du Service Hydrographique Canadien, No. 4451).

5.3. ASSIMILATION A L'OBSCURITE :

L'interprétation biologique de l'assimilation du radiocarbone à l'obscurité demeure mal connue. Cependant, elle a été très constante pendant la période d'étude aux deux stations de production. La moyenne globale fut de $0.218 \text{ mgC/m}^3/\text{hre}$, avec une gamme s'étendant de 0.253 à 0.183 (intervalle de confiance de 95%). Les fixations moyennes ont été très voisines aux deux stations (Fig. 25 p. 65).

D'autre part, les valeurs moyennes du rapport fixation à l'obscurité/fixation à la lumière ont été de nouveau très voisine (sauf au mois de juin) aux deux stations, étant faibles en début de l'augmentation d'activité photosynthétique et élevées quand la production était faible. Ceci suggère une respiration plus élevée en fin de croissance, ou peut-être, une activité bactérienne (chimiosynthétique) plus importante en coïncidence avec une diminution de la qualité de l'état physiologique du phytoplancton.

Les rapports sont situés entre 4 et 6% pour la lagune du Havre-aux-Maisons, tandis qu'ils ont varié de 1.4 à 12% à Grande Entrée ; signalons que ces rapports sont très semblables à ceux observés par Morris *et al.*, (1971) dans les eaux côtières de la Floride.

5.4. RELATION AVEC LA LUMIERE : INDICE D'EFFICACITE DE LA PRODUCTION PHYTOPLANCTONIQUE.

Dans le but de comparer la production de diverses régions, certains auteurs ont proposé des indices d'efficacité qui représentent la production normalisée par rapport à l'énergie lumineuse incidente. Ces indices peuvent varier en fonction des autres paramètres physico-chimiques contrôlant la production. Patten (1961) a examiné divers indices et signalé que le seul indice "réel" (sans unités) était $\int P(z)dz/I_0$ où $P(z)$ est la production à la profondeur z en $\text{cal}/\text{m}^3/\text{hr}$, et I_0 la radiation incidente en $\text{cal}/\text{m}^2/\text{hr}$. L'inconvénient de cet indice est qu'il masque les variations de l'efficacité en profondeur. Platt (1969) a proposé un coefficient d'extinction biologique $K_b \approx P(z)/I(z)$ où $P(z)$ est la production et I l'énergie lumineuse à la profondeur z ; les unités de K_b étant m^{-1} . La précision de K_b dépend, d'une part, de la précision de la mesure $I(z)$. Ces dernières sont souvent

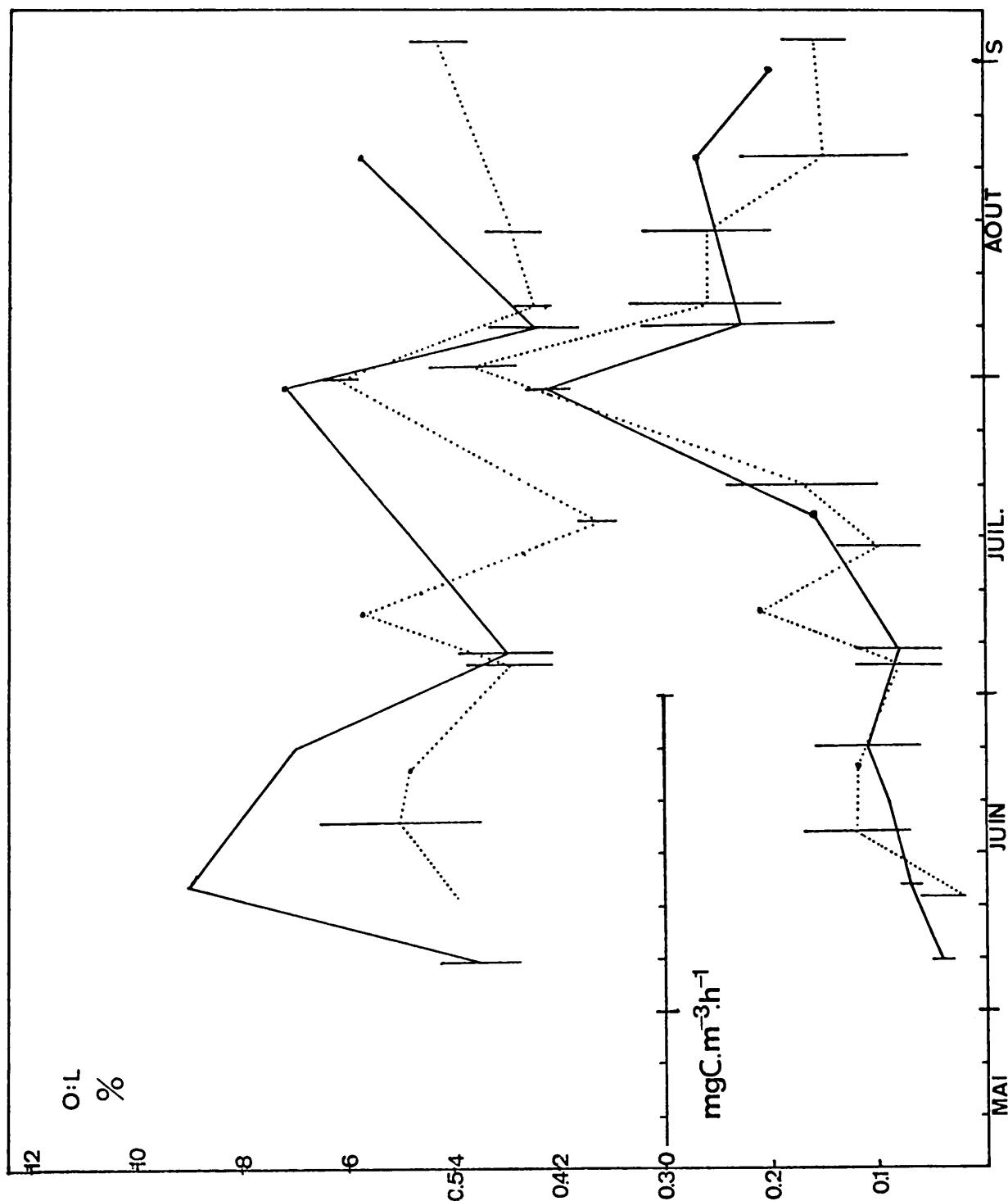


Figure 25. Assimilation à l'obscurité en 1975.

Haut: En pourcentage par rapport à la fixation à la lumière.
Bas: En valeur absolue ($\text{mgC}/\text{m}^3/\text{h}$). HM: — GE:
Bornes verticales : 16.

effectuées au moyen de photomètres sous-marins ("deux-cellules") et lors d'un seul passage (descente) en profondeur, l'erreur instrumentale qui en découle sur la détermination du coefficient d'extinction est de l'ordre de $\pm 25\%$. (Platt et Irwin, 1968).

Pour pallier à cet inconvénient, Platt, Larson et Vine (1970) ont mis au point un radiomètre qui permet l'intégration directe de l'énergie lumineuse en profondeur pendant les incubations ^{14}C . D'autre part, il faut exprimer le carbone assimilé par le phytoplancton en équivalent calorique, soit directement par combustion ou par l'intermédiaire du carbone particulaire (Platt et Irwin, 1973).

Au cours de la période d'étude en 1974, nous avons relevé plusieurs observations de la profondeur de disparition d'un disque de Secchi, et nous avons remarqué qu'elle était très constante, même lors de grands changements de l'activité hydrodynamique. Ceci, nous a amené à rechercher la précision de nos coefficients d'extinction (k) déterminés à partir de la profondeur de disparition du disque de Secchi, dans le but de comparer un K_b (max) de nos lagunes à ceux de Platt et Irwin (1968, 1971, 1972). Etant donné que nous nous intéressions à une valeur maximale de K_b , nous avons employé la relation de Poole et Atkins (1929) pour calculer k ($k = 1.7 / Z_{DS}$) au lieu de celle de Holmes (1970, $k = 1.44 / Z_{DS}$). A partir de la relation trouvée par Holmes (1970) où un k mesuré (précision inconnue) est fonction d'un k calculé à partir d'un disque de Secchi, l'erreur de détermination du coefficient d'extinction serait de l'ordre de $\pm 10\%$ (95%).

Tout en respectant les erreurs instrumentales signalées par Platt et Irwin (1968) et celle déterminé à partir des données de Holmes (1970), qui comprend une erreur instrumentale et aléatoire (milieu), nous nous sommes livré aux calculs des K_b (max) pour nos lagunes, à partir de la relation : $(P(z)(\text{mgC.m}^{-3}.\text{hr}^{-1}) \times 11.40 \text{ cal.mgC}^{-1}) / I_o e^{-kz}$ où z est la profondeur (m) et I_o la radiation solaire incidente corrigée du facteur 0.46 (Talling, 1957, 1965) qui tient compte de l'énergie lumineuse utilisable lors de la photosynthèse et 5% pour la réflexion à la surface de la mer. Le K_b calculés des données de Platt et Irwin (1968), ainsi que ceux de nos stations HMC-75 et GE-75 sont présentés dans le tableau 7 p.67. Les valeurs maximales ont été observées dans le Bassin de Bedford suivi de l'étant de Pespetwick et de la Baie de Ste

Tableau 7

Indice d'Efficacité : $K_b \times 10^{-3}$

Sta. Date	Bassin de Bedford 0m 5m	Baie de Ste Marguerite 0m 5m	Etang de Fespewick 0m 5m	Lagune du Havre aux Maisons	Lagune de la Grande Entrée 0m 4m
16/06		1.13 0.55	0.33 1.05	0m 4m	
17/06				0.09 0.2	
18/06	7.87 8.92	0.35 0.29			
20/06					0.08 0.2
22/06			3.49 1.57		
30/06	6.50 8.01				
7/07	5.32 6.80		3.04 4.43		
10/07		1.56 1.13			
13/07				0.98 1.02	
14/07	5.20 5.83				
17/07		0.88 0.18			
21/07	6.36 7.34				
24/07		0.91 0.79			
28/07			2.39 1.33		
29/07					1.38 1.48
31/07		1.38 1.34		0.6 0.9.3	
4/08	8.85 10.36				
5/08					0.96 1.22
7/08				1.29 1.45- 4.72	
11/08			6.28		
12/08	7.64 7.71				
14/08		1.08 0.57		62.19 2.36	
18/08	7.26 16.67		1.83 3.10		
21/08		0.79 0.21			0.2 0.3-0.6
26/08				1.24 2.80	
28/08		1.51 0.90			
1/09	7.57 6.96		4.82 2.19		
2/09				0.48 0.57	
5/09		0.44 0.70			

Radiation Solaire ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$) de 1-4 m.

Tab. 7B.

Prof:	1	2	3	4
495 lys	0.25	0.14	0.08	0.06
315 lys	0.16	0.09	0.05	0.03

Marguerite ; les nôtres se sont confondues avec cette dernière Baie. Cependant, les indices du mois de juin sont beaucoup plus faibles ; la température n'en est pas la cause, (Takahashi *et al.*, 1973) puisque, pour la même période, les températures lagunaires étaient le double de celles de la Baie. La figure 19 nous porte à penser que les indices faibles ont été dûs à une population sénescente correspondant à la fin du "bloom" printanier retardé dans cette région.

D'autre part, en supposant un k_{\max} de 0.567 nous avons calculé la radiation solaire atteignant 4 m. Le tableau 7B montre que, même dans ces conditions, elle est suffisante pour maintenir la photosynthèse à saturation (Platt et Jassby, 1976) ce qui explique la monotonie de nos profils de production en profondeur aux mois de juin et de juillet.

CHAPITRE VI

6.1. RESUME ET CONCLUSIONS :

Les concentrations élevées de sels nutritifs surtout des nitrates, et en partie des phosphates sont liées à un apport extérieur, conditionné par la prédominance du vent du SO, et à l'amplitude de la marée. Le mécanisme contrôlant cet apport doit être similaire à celui récemment mis en évidence par Therriault et Lacroix (1976) dans l'estuaire du Golfe de St Laurent. Dans cette région, il y a une onde interne de même période que la marée semi-diurne, qui occasionne une remonté de plusieurs mètres de la couche intermédiaire. En supposant que ce même mécanisme existe sur le plateau Madelinien, lors d'une marée de vives-eaux, compte tenu de la faible profondeur et de l'action du vent, il doit y avoir un mélange vertical important entre ces deux couches d'eau. Cette hypothèse est en accord avec le mécanisme d'enrichissement superficiel mis en évidence par l'étude très soignée de Pingree *et al.*, (1975) en Manche.

La conséquence de ces apports en nitrates, tout au moins entre la mi-juillet et la mi-août, est de maintenir des teneurs en chlorophylle et des vitesses d'assimilation de carbone élevées. Pendant la période antérieure

à la mi-juillet, le rôle de cette source d'azote n'est pas très évident ; la première augmentation de la production a eu lieu au mois de juin avec des concentrations faibles ce qui suggère que l'activation de la photosynthèse était plutôt associée à un réchauffement des eaux qu'à une limitation en azote. Etant donné la faible production , mais croissante, pendant cette même période, le phytoplancton ne semble pas avoir été très déficient en azote, bien que la biomasse totale ait été limitée.

De toute manière, les courbes des nitrates montrent que les apports sont en réalité des "perturbations", et que notre fréquence d'échantillonnage n'en a révélé que certaines ; une fréquence d'échantillonnage moins élevée aurait pu aussi bien masquer les " perturbations", tandis qu'une plus élevée aurait éclairci leur origine.

En revanche, les teneurs en orthophosphates semblent être bien tamponnées et l'augmentation de l'hydrodynamisme ne fait qu'augmenter les échanges physiques (sédiments), et biologiques tel que le montre la très grande variabilité observée dans la colonne d'eau. La "structure fine" du cycle des phosphates dans ce milieu lagunaire nécessiterait des prélèvements beaucoup plus rapprochés dans le temps et une planification expérimentale soignée afin de réduire au minimum la variabilité aléatoire. A propos de cette dernière, la corrélation entre les concentrations moyennes et leur variance (non-indépendance des mesures) de plusieurs de nos paramètres confirme la nécessité de bien connaître la distribution aléatoire des paramètres que l'on mesure avant d'effectuer des prédictions statistiques. D'autre part, lorsqu'on désire mettre en évidence un mécanisme biologique "fin", toujours dans l'espoir d'améliorer notre pouvoir de prédition sur le milieu, il ne suffit pas de mesurer des concentrations/magnitudes des paramètres en question. Il faut également tenir compte de la variance de ces paramètres ; autrement les résultats ne servent pas à leur but ultime, celui de la prédition.

Des recherches théoriques récentes en biologie tendent à montrer que les écosystèmes sont gouvernés par des lois de la thermodynamique non-linéaire. Si l'on suppose que ceci est réaliste, un outil précieux de dépouillement, et de conceptualisation sera justement la décomposition des variances des paramètres dans le domaine fréquentiel (Platt et Denman, 1975).

REFERENCES

- ANTIA N.J., MCALLISTER C.D., PARSONS T.R., STEPHENS K. and J.D.H. STRICKLAND
1963. Furthur measurements of primary production using a large volume
plastic sphere. *Limnol. Oceanogr.* 8 : 166-183.
- ARTHUR C.R. and F.H. RIGLER. 1967. A possible source of error in the ^{14}C
method of measuring primary productivity. *Limnol. Oceanogr.* 12 : 121-124.
- BRANSOME E.D. and M.F. GROWER. 1970. Liquid scintillation counting of (^3H)
and (^{14}C) on solid supports : a warning. *Anal. Biochem.* 38 : 401-408
- BRAY G.A. 1960. A simple efficient liquid scintillator for counting aqueous
solutions in liquid scintillation counting. *Anal. Biochem.* 1 : 279-285.
- BRAY G.A. 1970. Determination of radioactivity in aqueous samples, p. 170-180.
In E.D. Bransome (ed.), The current status of liquid scintillation
counting. Grune and Stratton.
- BULLEID E.R. and D.M. STEVEN. 1972. Measurements of primary and secondary
production in the Gulf of St Lawrence. McGill Univ., Mar. Sci. Centre,
M.S. Rep. no. 21, 111p.
- BUSH E.T. 1968. A double ratio technique as an aid to selection of sample
preparation procedure in liquid scintillation counting. *Int. J. appl.
Radiat. Isotopes* 19 : 447-452.
- CARPENTER E.J. and R.R.L. GUILLARD. 1971. Intraspecific differences in nitrate
half-saturation constants for three species of marine phytoplankton.
Ecology 52 : 183-185.
- CARTER G.W. and K. VAN DYKE. 1973. Scintillation counting : A comparaison of
the counting efficiencies of several aqueous solubilizers. *Anal. Biochem.*
54 : 624-627.
- CONWAY H.L., HARRISON P.J. and C.O. DAVIS. 1976. Marine diatoms grown in che-
mostats under silicate or ammonium limitation II. Transient response of
Skeletonema costatum to a single addition of the limiting nutrient.
Mar. Biol. 35 : 187-199.

COOPER R.G. 1974. A comparison of combustion techniques used in the preparation of ^{14}C -labelled samples for liquid scintillation counting from biological materials. In Liquid scintillation counting Vol. 3. M.A. Crook and P. Johnson (eds), Proc. Symp. LSC-Soc.Anal.Chem. Heyden and Sons Ltd, London.

CROUZET P. 1972. Determination des rendements de comptage par scintillation liquide du ^{14}C dans les mesures de production primaire en milieu lagunaire. *Rev. Int. Oceanogr. Medic.* 26 : 27-41.

EPPELEY R.W. and J.L. COATSWORTH. 1968. Uptake of nitrate and nitrite by *Ditylum brightwellii* kinetics and mechanisms. *J. Phycol.* 4 : 151-156.

EPPELEY R.W. and W.H. THOMAS. 1969. Comparison of half-saturation constants for growth and nitrate uptake in marine phytoplankton. *J. Phycol.* 5 : 375-379.

FARQUHARSON W.I. 1962. Tides, tidal streams and currents in the Gulf of St. Lawrence. Can. Dep. Mines Tech Surv. Mar. Sci. Branch. 76 p.

FURLONG N.B. 1970. Liquid scintillation counting of samples on solid supports, p. 201-206. In E.D. Bransome (ed.), The current status of liquid scintillation counting. Grune and Stratton.

GLOOSCHENKO W.A., MOORE J.E. and R.A. VOLLENWEIDER. 1972. The seasonal cycle of phaeopigments in Lake Ontario with particular emphasis on the role of zooplankton grazing. *Limnol. Oceanogr.* 17 : 597-605.

GOLDMAN C.R. 1963. The measurement of primary productivity and limiting factors in freshwater with carbon-14 p. 103-113. In M.S. Doty (ed.) Proc. conf. primary productivity measurements marine and freshwater. U.S.A.E.C. Div. Tech. Info., Washington, D.C.

GOLDMAN C.R. and R.C. CARTER. 1965. An investigation by rapid carbon-14- assay of factors affecting the cultural eutrophication of Lake Tahoe, California-Nevada. *J. Water. Poll. Control Fed.* 37 : 1044-1059.

GOLDMAN C.R. 1968. The use of absolute activity for eliminating serious errors in the measurement of primary productivity with ^{14}C . *J. Cons., Cons. Perm. Int. Explor. Mer* 32 : 172-179.

HACHEY H.B. 1937. Ekman's theory applied to water replacement on the Scotian shelf. *Proc. Nova Scotia Inst. Sci.* 19 : 264-276.

HAMELIN L.E. 1959. Sables et mer aux Iles-de-la-Madeleine. Min. Ind. Comm., Prov. du Québec.

HOLM-HANSEN O., LORENZEN C.J., HOLMES R.W. and J.D.H. STRICKLAND. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons., Cons. Perm. Int. Explor. Mer* 30 : 3-15.

HOLMES R.W. 1970. The secchi disk in turbid coastal waters. *Limnol. Oceanogr.* 15 : 688-694.

HORROCKS D.L. 1974. Applied liquid scintillation counting. p. 3-20. In M.A. Crook and P. Johnson (eds.) *Liquid scintillation counting Vol. 3*. Proc. Symp. Soc. Anal. Chem. Brighton, England, Heydon and Sons Ltd. London.

IVERSON R.L., BITTAKER H.F. and MYERS, 1976. Loss of radiocarbon in direct use of Aquasol for liquid scintillation counting of solutions containing ^{14}C -NaHCO₃. *Limnol. Oceanogr.* 21 : 756-758.

JITTS H.R. and B.D. SCOTT. 1961. The determination of zero-thickness activity in Geiger counting of ^{14}C solutions used in marine primary productivity studies. *Limnol. Oceanogr.* 6 : 116-123.

JOHNSONBAUGH R.E., KLEIMAN J.O. and J. SODE. 1973. Membrane filters : interference with liquid scintillation counting by the use of tissue solubilizers with cellulose ester membrane filters. *Anal. Biochem.* 54 : 490-494.

JORGENSEN E.G. 1953. Silicate assimilation by diatoms. *Physiol. Plant.* 6 : 301-315.

KRAUSKOPF B.K. 1956. Dissolution and precipitation of silica at low temperature. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 10 : 1-26.

LEGENDRE L. 1971. Production primaire dans la Baie des Chaleurs (Golfe St Laurent). *Naturaliste can* 98 : 743-773.

LEIM A.H., TIBBO S.N., DAY L.R., LAUZIER L., TRITES R.W., HACHEY H.B. and W.B. BAILEY. 1957. Report of the Atlantic Herring Investigation Committee. *Bull. Fish. Res. Board. Can.* 111, 317 p.

- LIND O.T. and R.S. CAMPBELL. 1969. Comments on the use of liquid scintillation for routine determination of ^{14}C activity in production studies. *Limnol. Oceanogr.* 14 : 787-789.
- LORENZEN C.J. 1967. Vertical distribution of chlorophyll and phaeopigments ; Baja California. *Deep-Sea Res.* 14 : 735-745.
- LORING D.H. and D.J.G. NOTA. 1973. Morphology and sediments of the Gulf of St Lawrence. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 182, 147 p.
- LOWENTHAL G.C. 1974. Comments on aspects of absolute activity measurements obtained by liquid scintillation counting, p. 349-362. In P.E. Stanley and B.A. Scoggins (eds), Liquid scintillation counting-recent developments. Academic Press, New-York.
- LUND J.W.G. 1950. Studies in *Asterionella formosa* Hass II. Nutrient depletion and the spring maximum. *J. Ecol.* 38 : 1-35.
- MCALLISTER C.D. 1961. Decontamination of filters in the ^{14}C method of measuring marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* 6 : 447-450.
- MCALLISTER C.D., PARSONS T.R., STEPHENS K. and J.D.H. STRICKLAND. 1961. Measurements of primary production in coastal seawater using a large volume plastic sphere. *Limnol. Oceanogr.* 6 : 237-258.
- MACISAAC J.J. and R.C. DUGDALE. 1969. The kinetics of nitrate and ammonia uptake by natural populations of marine phytoplankton. *Deep-Sea Res.* 16 : 45-57.
- MCIVER A.R. 1972. Primary and secondary production in Malpeque Bay, Prince Edward Island compared with one of its tributaries and the nearby Gulf of St. Lawrence. M. Sc. Thesis McGill Univ., Montreal, 83 p.
- MCMAHON J.W. 1973. Membrane filter retention-a source of error in the ^{14}C method of measuring primary production. *Limnol. Oceanogr.* 18 : 319-323.
- MCROY C.P. and R.J. BARSDATE. 1970. Phosphate absorption in eelgrass. *Limnol. Oceanogr.* 15 : 6-13.
- MCROY C.P., BARSDATE R.J. and M. NEBERT. 1972. Phosphorous cycling in an eelgrass (*Zostera marina* L.) ecosystem. *Limnol. Oceanogr.* 17 : 58-67.

- MOGHISI A.A., KELLEY H.L., REGNIER J.E. and M.W. CARTER. 1969. Low-level counting by liquid scintillation I. Tritium measurement in homogeneous systems. *Int. J. appl. Radiat. Isotopes* 20 : 145-156.
- MORRIS F., YENTSCH C.M. and C.S. YENTSCH. 1971. Relationship between light carbon dioxide fixation and dark carbon dioxide fixation by marine algae. *Limnol. Oceanogr.* 16 : 854-858.
- MUELLER E.B. 1970. An investigation of homogeneous counting systems for aqueous inorganic salts and acids, p 181-188. In E.D. Bransome (ed.). The current status of liquid scintillation counting, Grune and Stratton.
- NALEWAJKO C. and D.R.S. LEAN. 1972. Retention of dissolved compounds by membrane filters as an error in the ^{14}C method of primary production measurement. *J. Phycol.* 8 : 37-43.
- NICOLL D.R. and M.J.C. EWER. 1972. Liquid scintillation counting sample preparation techniques for organic materials. *Lab. Pract.* 21 : 174-176.
- NIVAL P., NIVAL S et R. CHARRA. 1971. Stage au laboratoire de radio-écologie marine du C.E.A., Centre de la Hague. Doc. Station Zoologique, N° 2, Villefranche-sur-Mer.
- OHLE W. 1958. Diurnal production and destruction rates of phytoplankton in Lakes. *J. Cons., Cons. Perm. Int. Explor. Mer* 144 : 129-131.
- PATTEN B. 1961. Plankton energetics of Raritan Bay. *Limnol. Oceanogr.* 6 : 369-387.
- PARSONS T.R. and G.C. ANDERSON. 1970. Large scale studies of primary production in the north Pacific Ocean. *Deep-Sea Res.* 17 : 765-776.
- PINGREE R.D., PUGH P.R., HOLLIGAN P.M. and G.R. FORSTER. 1975. Summer phytoplankton blooms and red tides along tidal fronts in the approaches to the English Channel. *Nature* 258 : 672-677.
- PLATT T. and IRWIN. 1968. Primary productivity measurements in St. Margaret's Bay, 1967. *Fisheries Res. Board Can. Tech. Rept.* N° 77., 123p.
- PLATT T. 1969. The concept of energy efficiency in primary production. *Limnol. Oceanogr.* 14 : 653-659.
- PLATT T., LARSON E. and R. VINE. 1970. Integrating radiometer : a self contained device for measurement of submarine light energy in absolute

- units. *J. Fish. Res. Board. Can.* 27 : 181-191.
- PLATT T. 1971. The annual production by phytoplankton in St. Margaret's Bay, Nova Scotia. *J. Cons., Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* 33 : 324-334.
- PLATT T. and B. IRWIN. 1971. Phytoplankton production and nutrients in Bedford Basin, 1969-70. *Fisheries Res. Board Can. Tech. Rept.* N° 247., 172 p.
- PLATT T. and B. IRWIN. 1972. Primary productivity and nutrients in St. Margaret's Bay. 1966. *Fisheries Res. Board Can. Tech. Rept.* N° 327., 20 p.
- PLATT T. and B. IRWIN. 1972. Phytoplankton productivity and nutrient measurements in Pespwick Inlet, 1971-72. *Fisheries Res. board Can. Tech. Rept.* N° 314., 111 p.
- PLATT T., PRAKASH A. and B. IRWIN. 1972. Phytoplankton nutrients and flushing of inlets on the coast of Nova Scotia. *Naturaliste can* 99 : 253-261.
- PLATT T. and B. IRWIN. 1973. Caloric content of phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* 18 : 306-310.
- PLATT T., IRWIN B. and D.V. SUBBA RAO. 1973. Primary productivity and nutrient measurements on the spring phytoplankton bloom in Bedford Basin, 1971. *Fisheries Res. Board Can. Tech. Rept.* N° 423., 45 p.
- PLATT T. 1975. Analysis of the importance of spatial and temporal heterogeneity in the estimation of annual production by phytoplankton in a small enriched, marine basin. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 18 : 99-109.
- PLATT T. and K.L. DENMAN. 1975. Spectral analysis in ecology. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 6 : 189-210.
- PLATT T. and A.D. JASSBY. 1976. The relationship between photosynthesis and light for natural assemblages of coastal marine phytoplankton. *J. Phycol.*, 12 : 421-430.
- POMEROY L.R. 1960. Residence time of dissolved phosphate in natural waters *Science* 131 : 1731-1732.
- POMEROY L.R., SMITH E.E and C.M. GRANT. 1965. The exchange of phosphate between estuarine water and sediments. *Limnol. Oceanogr.* 10 : 167-172.

- POOLE H.H. and W.R.G. ATKINS. 1929. Photoelectric measurements of submarine illumination throughout the year. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 16 : 297-324.
- PUGH P.R. 1970. Liquid scintillation counting of ¹⁴C-diatom material on filter papers for use in productivity studies. *Limnol. Oceanogr.* 15 : 652-655.
- PUGH P.R. 1973. An evaluation of liquid scintillation counting techniques for use in aquatic primary production studies. *Limnol. Oceanogr.* 18 : 310-319.
- RYTHER J.H., MENZEL D.W. and N. CORWIN. 1967. Influence of the Amazon River outflow on the ecology of the western tropical Atlantic I. Hydrography and nutrient chemistry. *J. Mar. Res.* 25 : 69-83.
- SCHINDLER D.W. 1966. A liquid scintillation method for measuring carbon-14 uptake in photosynthesis. *Nature* 211 : 844-845.
- SCHINDLER D.W. and S.K. HOLMGREN. 1971. Primary production and phytoplankton in the Experimental Lakes Area, northwestern Ontario, and other low-carbonate waters, and a liquid scintillation method for determining ¹⁴C activity in photosynthesis. *J. Fish. Res. Board Can.* 28 : 189-201.
- SCHINDLER D.W., MOORE J. and R.A. VOLLENWEIDER. 1974. Liquid scintillation techniques, p. 76-80. In R.A. Vollenweider (ed.), A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments, (2nd Ed), Blackwell, Edinburgh).
- SHARP J.H. 1974. Improved analysis for 'particulate' organic carbon and nitrogen from seawater. *Limnol. Oceanogr.* 19 : 984-989.
- SHARPE III S.E. and E.D. BRANSOME Jr. 1973. The surfactant Bio-Solv-BBS-3 as a scintillator in liquid scintillation counting. *Anal. Biochem.* 56 : 313-323.
- SEIGEL S. Nonparametric statistics for the behavioral Sciences, McGraw-Hill.
- SMALL L.F. 1963. Effect of wind on the distribution of chlorophyll a in Clear Lake, Iowa. *Limnol. Oceanogr.* 8 : 426-432.
- SNYDER F. 1970. Liquid scintillation radioassay of thin-layer chromatograms, p. 248-256. In E.D. Bransome (ed.), The current status of liquid scintillation counting. Grune and Stratton, New-York.

SPENCE C. and D.M. STEVEN. 1974. Seasonal variation of the chlorophyll a : phaeopigment ratio in the Gulf of St Lawrence. *J. Fish. Res. Board Can.* 31 : 1263-1268.

STEEMANN-NEILSEN E. 1952. The Use of radioactive carbon (C^{14}) for measuring organic production in the sea. *J. Cons.* 18 : 117-140.

STEFANSSON U. and F.A. RICHARDS. 1963. Processes contributing to the nutrient distribution off the Columbia River and Strait of Juan de Fuca. *Limnol. Oceanogr.* 8 : 394-410.

STEVEN D.M., ACREMAN J., AXELSON F. and C. SPENCE. 1973a. Measurement of primary and secondary production in the Gulf of St Lawrence, Vol. II, 1970. CCIBP. Contrib. n° 196, McGill Univ., Mar. Sci. Centre, MS Rep. N° 23., 165 p.

STEVEN D.M., ACREMAN J., AXELSON F., BRENNAN M. and C. SPENCE. 1973b. Measurement of primary and secondary production in the Gulf of St Lawrence. Vol. III, 1971. CCIBP. Contrib. n° 211, McGill Univ., Mar. Sci. Centre. MS. Rep. N° 24., 182 p.

STEVEN D.M., ACREMAN J., AXELSON F., BRENNAN M. and C. SPENCE. 1973c. Measurement of primary and secondary production in the Gulf of St. Lawrence, Vol. IV, 1971 and 1972. CCIBP Contrib. n° 212, McGill Univ., Mar. Sci. Centre, MS ; Rep. N° 25., 99 p.

STEVEN D.M. 1974. Primary and secondary production in the Gulf of St Lawrence. Mar. Sci. Centre MS. Rep. N°26., 116 p.

STRICKLAND J.D.H. and T.R. PARSONS. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 167, 311 p.

TAKAHASHI M., FUJII K and T.R. PARSONS. 1973. Simulation study of phytoplankton photosynthesis and growth in the Fraser River Estuary. *Mar. Biol.* 19 : 102-116.

TALLING J.F. 1957. Photosynthetic characteristics of some freshwater diatoms in relation to underwater radiation. *New Phytol.* 55 : 29-50.

TALLING J.F. 1965. The photosynthetic activity of phytoplankton in east African lakes. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.* 50 : 1-32.

TECHNICON. 1972. Nitrate and nitrite in water and seawater, Industrial method N° 158-71W., Technicon Industrial Systems/Tarrytown, N.Y.

TECHNICON 1973a. Orthophosphate in water and seawater, Industrial method N° 155-71W., Technicon Industrial Systems/Tarrytown, N.Y.

TECHNICON. 1973b. Silicates in water and seawater, Industrial method N° 186-71 W., Technicon Industrial Systems/Tarrytown, N.Y.

TERRIAULT J.C. et G. LACROIX. 1976. Nutrients, chlorophyll, and internal tides in the St Lawrence Estuary. *J. Fish. Res. Board Can.* 33 : 2747-2757.

TILMAN D. and S.S. KILHAM. 1976. Phosphate and silicate growth and uptake kinetics of the diatoms *Asterionella formosa* and *Cyclotella meneghiniana* in batch and semicontinuous culture. *J. Phycol.* 12 : 375-383.

THOMAS W.H. 1970. Effect of ammonium and nitrate concentration on chlorophyll increases in natural tropical Pacific phytoplankton populations. *Limnol. Oceanogr.* 15 : 386-394.

WAITE D.T., DUTHIE H.C. and J.R. MATTHEWS. 1973. A note on two liquid scintillation fluors useful in primary production work. *Hydrobiologia* 43 : 231-234.

WALLEN D.G. and G.H. GEEN. 1968. Loss of radioactivity during storage of ¹⁴C-labelled phytoplankton on membrane filters. *J. Fish. Res. Board Can.* 25 : 2219-2224.

WARD F.J. and M. NAKANISHI. 1971. A comparaison of Geiger Mueller and liquid scintillation counting methods in estimating primary productivity. *Limnol. Oceanogr.* 16 : 560-563.

WILLIAMS P.J. leB., BERMAN T. and O. HOLM-HANSEN. 1972. Potential sources of error in the measurement of low rates of planktonic photosynthesis and excretion. *Nature (New Biology)* 236 : 91-92.

WOLFE D.A. and C.L. SCHELSKE. 1967. Liquid scintillation and Geiger counting efficiencies for carbon-14 incorporated by marine phytoplankton in productivity measurements. *J. Cons., Cons. Perm. Int. Explor. Mer* 31 : 31-37.

- WOOD K.G. 1970. Effect of the beta spectrum on self-absorption of beta radiation from ^{14}C . *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes* 21 : 581-586.
- WOOD K.G. 1971. Self-absorption correction for the ^{14}C method using BaCO_3 for measurement of primary productivity. *Ecology* 52 : 491-198.
- YENTSCH C.S. and D.W. MENZEL. 1963. A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep-Sea Res.* 10 : 221-231.

A N N E X E

Erratum:

Une erreur de transcription s'est glissée à partir de la page 99 et jusqu'à la page 110. Les valeurs de chlorophylle a et de phéophytine a doivent être toutes divisées par le facteur 18.38.

Ainsi 60 µg/L devient 3.26 µg/L.

Méthodes (Annexe)

- Oxygène dissous-

A : Grand Reseaux 1975

Effectué avec une sonde (Delta Instruments)
précision: $\pm 0.1 \text{ mg/l}$.

B : Autres stations: 1974

Selon Strickland et Parsons (1972) utilisant
la microburette 'Gilmont' (Winkler).
précision: $\pm 0.001 \text{ mg/l}$.

Station Havre-aux-Maisons- 74 (HMC-74)

Date 03/06/74

Visibilité du Secchi 4 m

Prof (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l)-	Phos	Sil
0						
1			30.232			
2			30.233			
3			30.157			
4			30.135			
5			31.041			

Date 10/06/74

Visibilité du Secchi 5 m

Prof (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l)-	Phos	Sil
0				0.4	0.58 0.80	0.3
1						
2			30.928	0.3	0.74	0.4
3						
4			31.263	0.3	0.62	0.6
5			31.331	0.2	0.68	1.2 1.2

Date 17/06/74

Visibilité du Secchi 4.5 m

Prof (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l)-	Phos	Sil
0	16	31.184		0.3	0.74	0.4
1						
2	16	31.155				
3						
4	16	31.375				
5	16	31.584		0.3 0.2	0.82	0.4

Station Havre-aux-Maisons- 74 (HMC-74)

Date 24/06/74

Visibilité du Secchi 4.5 m

Prof (m)	Temp (°C)	Sal (%)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l)-	Phos	Sil
0	16	31.501	7.71	0.2	0.74	0.4
1						
2	15.9	31.512	7.83			
3	15.9		8.00	0.4	1.49	0.1
4	12.9	31.770	9.00			
5	12.8	31.758	8.74			

Date 02/07/74

Visibilité du Secchi 3 m

Prof (m)	Temp (°C)	Sal (%)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l)-	Phos	Sil
0	16.6	31.823	8.59	2.2	0.90	0.9
1						
2			8.54			
3						
4		31.837	8.51	2.4	0.52	1.1
5	16.6	31.835	-	2.4	0.90	1.2

Date 12/07/74

Visibilité du Secchi 3.25 m

Prof (m)	Temp (°C)	Sal (%)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l)-	Phos	Sil
0	15.4	31.534	7.86	0.4	1.11	1.5
1	15.5			0.4		
2	15.4		7.72			
3	15.4	31.541	7.70	0.5	1.12	1.4
4						
5	15.3	31.562		0.4	0.88	2.9 1.5

Station Havre-aux-Maisons- 74 (HMC-74)

Date 29/07/74

Visibilité du Secchi 4 m

Prof (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l)--	Phos	Sil	Prod (mgC/m ² /h)
0	20.1	31.569		0.4	1.08	1.3	9.45
1							
2	20.1						11.15
3	20.1	32.072		0.5	1.04	1.4	6.44
4	20.1						
5	20.1			0.4	1.01	1.5	7.37
							36.29

Date 12/08/74

Visibilité du Secchi

Prof (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l)--	Phos	Sil	Prod (mgC/m ² /h)
0	19.9	31.566	8.43	0.3	1.14	1.1	4.29
1							
2	19.7		8.29				
3							
4	19.4	31.736	7.81	0.6	0.81	1.4	3.95
5		31.804	7.45	0.9	0.93	1.8	
							16.48

Date 19/08/74

Visibilité du Secchi

Prof (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l)--	Phos	Sil
0	19.6	30.888	7.79	0.4	0.91	2.2
1						
2						
3	18.2		7.56	0.5	0.96	1.9
4						
5	18.2	31.597	6.66	0.6	0.99	4.0
				0.5		

Station PB-74

Date 07/06/74

Visibilité du Secchi (m): 5

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (%)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) -	Phos	Sil
0	5		9.42			
1						
2		31.802	9.64	0.8	0.72	<u>3.1</u>
3						<u>3.2</u>
4						
5		31.844	9.70	<u>0.5</u>	0.95	2.4
6				<u>0.5</u>		
7		31.915	9.64			
8						
9		31.824	9.64	0.5	<u>0.80</u>	2.3
10	5	31.856	8.44	0.3	0.72	2.2

Station PB-74

Date 14/06/74

Visibilité du Secchi (m): 10

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (%)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) -	Phos	Sil
0	12	31.942	8.90	0.2	0.91	0.5
1						
2		31.776	8.96			
3						
4						
5		31.563	9.28			
6						
7	7.5		9.26			
8						
9		31.949	9.75			
10						
11			9.44			
12						
13		31.924	9.46			
15	6.0	31.990	9.45	0.4	0.72	3.2

Station PB-74

Date 22/07/74

Visibilité du Secchi (m): 4

Station PB-74

Date 17/08/74

Visibilité du Secchi (m): 10.5

Station PB-74

Date 27/06/74

Visibilité du Secchi (m): 9.75 m

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) -	Phos	Sil
0	12.9	31.869	8.64	0.5	1.12	0.8
1						
2	12.3	31.963	8.64			
3						
4	12.0		8.73			
5	12.0	31.850	8.84	0.4	0.65	1.5
6						
7	11.4	31.877	8.90			
8						
9	11.0	31.839	9.06	0.5	0.71	1.0
10						

Station PB-74

Date 03/07/74

Visibilité du Secchi (m): 9

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) -	Phos	Sil
0	12.3	31.863	9.61	1.6	1.02	0.6
1						
2	12.0	31.879	9.70			
3						
4	11.5		9.78			
5	11.3	31.950	9.96	1.2	0.72	0.6
6						
7	10.7		10.274			
8						
9	10.2	31.900	10.478	3.4	0.58	1.1
10						

Station

Date

Visibilité du Secchi (m) :

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (%)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) -	Phos	Sil
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Station PB-74

Date 21/06/74

Visibilité du Secchi (m) :

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (%)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) -	Phos	Sil
0			31.912	0.3	0.73	0.6
1			31.949			
2			31.903			
3						
4						
5			31.927			
6						
7						
8						
9			31.990			
10						
11						
12						
13			31.946			
15			31.927	0.3	0.72	2.7

Station HMPD-74

Date 19/08/74

Visibilité du Secchi (m) :

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) -	Phos	Sil
0	20.0	32.587		9.8	0.49	2.0
1						1.8
2						
3						
4						
5	19.2			1.3	0.50	2.7
6						
7						
8						
9						
10	19.1	33.087		2.4	0.79	2.2

Station GE-74

Date 05/06/74

Visibilité du Secchi (m) : 5

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) -	Phos	Sil
0	10		9.22	0.2	0.91	1.2
1		31.274	9.21			
2		31.313	9.10			
3		31.297	9.06			
4		31.309	8.72			
5		31.294		0.4	0.81	1.7
6		31.414	8.96			
7	10	31.401	8.85			
8						
9	9	31.452	8.75	0.2	0.83	1.8
10						

Station GE-74

Date 13/06/74

Visibilité du Secchi (m): 4.5

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) -	Phos	Sil
0	12.5	31.651	8.92			
1						
2		31.677	8.72			
3						
4			8.90			
5	11.5	31.421	8.86			
6						
7		31.286	8.86			
8						
9	10.5	31.721	8.38			
10						

Station GE-74

Date 19/06/74

Visibilité du Secchi (m): -

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) -	Phos	Sil
0		31.792		0.4	1.26	1.7
1						
2		31.785				
3						
4						
5		31.807				
6						
7		31.810				
8						
9		31.878		0.8	2.13	1.4
10						

Station GE-74

Date 25/06/74

Visibilité du Secchi (m) : 7

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) -	Phos	Sil
0	14.5	31.772	8.44	0.3	0.93	0.9
1						
2		31.651	8.22			
3						
4	14.6		8.35			
5	14.5	31.820	8.24	0.3	1.13	1.9
6						
7	14.4	31.770	8.42			
8						
9	12.8	31.817	9.25	0.3	1.06	1.4
10						

Station GE-74

Date 04/07/74

Visibilité du Secchi (m) :

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) -	Phos	Sil
0	16.2	31.881	8.84			
1						
2	16.3		8.68			
3						
4	16.3		8.67			
5	16.1	31.849	8.59			
6						
7	16.1		8.67			
8						
9	15.1	31.928	8.70			
10						

Station GE-74

Date 15/07/74

Visibilité du Secchi (m): 4

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) --	Phos	Sil	Prod (mgC/m ² /h)
0	17.2	31.498		2.9	0.89	2.2	3.21
1							2.34
2							2.17
3							
4							4.12
5							
6	17.3	31.777		2.3	0.92	1.9	<u>2.12</u>
7							
8							
9							
10	17.3	31.498		2.1	0.84	2.2	14.44

Station GE-74

Date 25/07/74

Visibilité du Secchi (m): 5.5

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) --	Phos	Sil	Prod (mgC/m ² /h)
0	18.0	31.641		0.4	0.72	1.7	4.55
1							
2	17.9						4.05
3							
4	17.6						3.81
5							
6	17.5	31.406		0.4	0.83	1.6	1.60
7							
8							
9	17.4	31.404		0.5	1.10	3.0	<u>1.00</u>
10							16.46

Station GE-74

Date 06/08/74

Visibilité du Secchi (m): 3.5

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) -	Phos	Sil
0	20.7	31.579	7.37	0.5	0.80	2.2
1						
2	20.7		7.25			
3						
4	20.5		7.25			
5						
6	20.5	31.425	7.15	0.7	0.80	2.3
7						
8	20.5		7.20			
9						
10	20.3	31.608	6.77	0.3	0.80	2.6

Station GE-74

Date 22/08/74

Visibilité du Secchi (m):

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) -	Phos	Sil
0	23	31.043	8.37	1.0	1.30	2.4
1						
2			8.49			
3						
4			8.43			
5						
6		31.974	8.29	0.8	0.92	2.6
7						
8			7.60			
9						
10	23	31.376	-	1.2	2.48	8.1

Station HMPD-74

Date 12/06/74

Visibilité du Secchi (m): 4.5

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal ‰	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) -	Phos	Sil
0	13.5		7.30			
1						
2			7.46	0.4	1.22	0.8
3						
4			7.52			
5						
6			7.57	0.3	1.25	0.1
7						
8						
9						
10	13.5					

Station HMPD-74

Date 19/06/74

Visibilité du Secchi (m): 4.5

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal ‰	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) -	Phos	Sil
0	15	31.950	8.12	0.4	0.82	1.0
1						
2		31.363	8.16			
3						
4			8.08			
5		31.858	8.02			
6						
7		31.395	8.00			
8						
9						
10	15	31.418	8.09	0.8	0.75	<u>1.5</u> <u>1.7</u>

Station HMPD-74

Date 26/06/74

Visibilité du Secchi (m) :

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (µ a t g / 1) -	Phos	Sil
0	14.7	31.614	8.43	0.4	0.60	0.6
1						
2	14.6	31.629	6.12			
3						
4	14.6		8.18			
5	14.2	31.663	8.26	0.4	0.68 0.55	1.0
6						
7	14.2	31.656	8.12			
8						
9	14.2	31.695	8.38	0.6	0.57	1.0
10						

Station HMPD-74

Date 22/06/74

Visibilité du Secchi (m) :

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (µ a t g / 1) -	Phos	Sil
0		30.395	7.17			
1		29.699	8.17			
2		30.590	8.60			
3			9.28			
4		30.635				
5		30.116	8.97			
6		30.693				
7			7.68			
8						
9		30.013	9.48			
10		30.523				

Station HMPD-74

Date 03/07/74

Visibilité du Secchi (m): 9.25

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal ‰	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) -	Phos	Sil
0	17.6	31.721	7.17	2.2	0.59	0.8
1						
2	17.6	31.716	7.12			
3						
4	17.6		7.09			
5	17.5	31.695	7.01	1.2	0.71	2.1
6						
7	17.3		6.88			
8						
9	17.3	31.684	7.06	1.9	0.70	1.9
10						

Station HMPD-74

Date 11/07/74

Visibilité du Secchi (m): 6.5

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal ‰	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) -	Phos	Sil
0	14.7	30.357	7.88	0.7	0.89	1.4
1						
2			8.33			
3						
4	14.8		8.49			
5						
6	14.9	29.461	8.45	1.0	0.99	1.5
7						
8	14.8		8.41	1.8	0.95	1.8
9						
10						

Station HMPD-74

Date 22/07/74

Visibilité du Secchi (m): 6

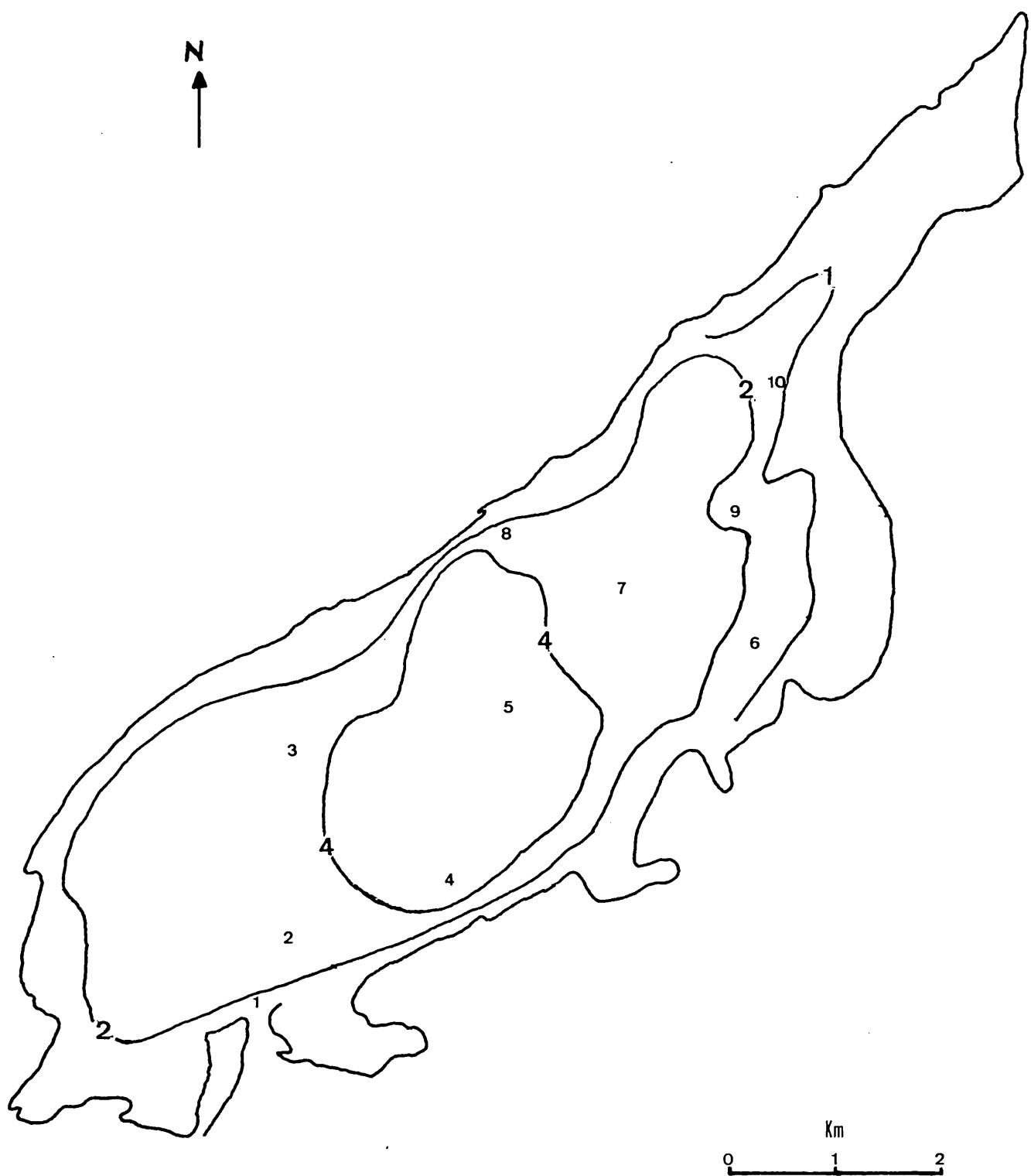
Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) --	Phos	Sil
0	17.8	32.069	7.34	0.7	0.84	1.4
1						
2	17.8		7.17			
3						
4	17.8	32.166	7.01			
5						
6	17.5		7.18	0.4	0.81	1.0
7						
8	17.5	32.387	7.26	0.6	0.95	1.3
9						
10						

Station HMPD-74

Date 13/08/74

Visibilité du Secchi (m):

Prof. (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	O ₂ (mg/l)	Nit -- (μ a t g / l) --	Phos	Sil
0		32.576	9.33	0.6	0.41	4.4
1						
2			9.42			
3			9.83			
4						
5			9.80	0.5	0.53	2.1
6		31.287				
7			7.26	0.6	0.59	2.4
8				0.5		
9						
10						



Lagune du Havre-Aux-Maisons: Stations 'Grand Reseau'

Grands Chiffres : contours en mètres, (approximatifs).
Petits Chiffres : numéros des stations

(adapté de la carte 4451 du SHC.)

-99-

Grand Reseau- Lagune du Havre-Aux-Maisons - DATE : 19/05/75

<u>Sta</u>	<u>Heure</u>	<u>Prof</u> (m)	<u>S</u> (%)	<u>T</u> (°C)	<u>O₂</u> (mg/l)	<u>Nit</u> - (µatg/l)	<u>Phos</u> - (µatg/l)	<u>Sil</u> -	<u>Chla</u> - (µg/l) -	<u>Phéo</u> -
1	A 9:14	0	29.4	5.9	9.5	1.4	0.78	8.1	9.79	9.18
	▷ 9:24	2			9.7	0.8	1.07	4.7	8.04	8.89
					1.1	0.81	4.3	9.44	9.87	
2	9:35	0	29.1	5.3	9.4	1.4	2.28	4.2	10.49	3.06
	9:45				10.0	0.9	1.72	3.3	9.09	3.78
3	9:47	0	28.8	6.2	9.6	0.8	1.19	3.0	10.14	5.10
	10:05	2			9.8	1.0	0.92	3.6	10.49	4.42
				5.8	10.0	1.1	0.71	3.9	8.04	6.19
4	10:16	0	28.1	6.8	9.6	1.1	1.82	3.4	23.77	8.75
	10:25	2			1.0	1.57	2.4	20.62	7.49	
					1.4	5.12	3.0	22.02	8.12	
		4	28.1	6.5	9.1	1.3	3.43	3.1	23.77	8.75
5	10:44	0	28.2	6.9	9.6	1.2	4.10	2.7	22.37	10.82
	10:55	2			1.3	3.05	2.0	20.97	10.19	
					1.5	2.98	2.4	18.52	11.62	
		4	28.2	6.5	9.2	1.6	1.99	2.4	22.37	8.45
6	11:09	0	28.2	7.3	9.8	2.1	1.96	2.3	12.93	5.70
	11:16	2			1.7	4.53	2.4	12.58	5.03	
			28.2	7.1	10.0	1.6	5.07	1.6	13.98	5.32
7	11:20	0	27.6	8.5	9.7	2.2	3.36	1.9	13.63	8.04
	11:25	2			9.0	-	1.8	13.28	7.04	
					20.6	3.21	1.9	14.68	8.35	
8	11:32	0	27.5	7.8	9.7	20.6	4.65	2.0	14.68	6.32
	11:50	2			20.6	1.81	2.0	13.28	5.68	
					8.6	1.05	0.9	13.98	5.66	
		4	27.5	7.4	9.8	4.5	2.78	1.0	18.87	6.19
9	12:15	0	27.6	7.9	9.9	3.4	2.18	0.9	11.88	5.73
	12:24	2			3.6	0.87	1.1	12.58	6.38	
				7.9	3.4	1.41	0.5	9.44	7.84	
		4		7.5	3.6	1.79	0.0	10.83	6.78	
10	13:05	0	27.3	8.9	10.2	0.9	2.44	4.2	6.14	3.63
					0.3	2.41	3.1	6.37	2.72	

Grand Reseau- Lagune du Havre-aux-Maisons - DATE : 25/05/75

Stations: Lagune du Havre-aux-Maisons: HMP75, HMC75, HMF75

Date: 2/06/75

Irradiation/période d'incubation= langley's

Irradiation/ jour = langley's

Incubation - - - - - Début =

Fin =

Prof (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	Nit --(μ atg/l)--	Phos --(μ atg/l)--	Sil	Chl -(μ g/l)-	Phéo -(μ g/l)-	Prod \pm Erreur (mgC/m 3 /hr)
H 0			0.4	1.20	2.5	10.49	2.72	1.47 ± .31
H 0			0.5	0.96	2.9	9.09	4.46	3.21 ± .17
M 2			0.7	1.55	2.6	9.27	2.63	2.80 ± .93
C 4			0.8	0.90	3.5	10.14	3.41	2.99 ± 1.15
		Integral						3.18 ± .25
								11.74 ± 3.92
H 0			0.5	1.00	2.8	9.44	2.76	
M 0			0.7	0.82	2.8	9.27	1.96	
F 3			0.1	2.46	2.4	8.69	2.42	
H 0								
M 0								
P 0								

Date:

Irradiation/période d'incubation= langley's

Irradiation/ jour = langley's

Incubation - - - - - Début =

Fin =

Prof (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	Nit - (μ atg/l)--	Phos - (μ atg/l)--	Sil	Chl -(μ g/l)-	Phéo -(μ g/l)-	Prod \pm Erreur (mgC/m 3 /hr)
H 0	9.4	28.7	0.6	0.64	2.1	4.98	2.54	1.29 ± .30
H 0			0.5	1.62	2.0	5.56	3.19	1.69 ± .77 (0.5)
M 2			0.8	0.64	2.9	5.56	2.52	1.84 ± .49 (1)
C 4	7.4	29.2	0.7	0.44	2.3	6.72	3.61	- -
		Integral						1.86 ± .37
								7.17 ± 2.69
H 0	9.6	29.1	0.4	0.40	2.6	6.14	2.73	
M 0			0.6	0.32	1.7	7.07	3.48	
F 3	9.3	28.9	0.6	0.41	3.1	8.69	4.89	
H 0			0.5	0.99	3.8	7.30	3.81	
M 0			0.7	1.19	3.8	5.68	3.08	
P 2			0.6	0.34	3.1	9.38	0.94	

Stations: Lagune du Havre-aux-Maisons: HMP75, HMC75, HMF75

Date: 18 / 06 / 75

Irradiation/période d'incubation = 357 langleys

Irradiation/ jour = 567 langleys

Incubation - - - - - Début =
Fin =

	Prof (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	Nit --(μ atg/l)--	Phos --(μ atg/l)--	Sil	Chl -(μ g/l)-	Phéo -(μ g/l)-	Prod*Erreur (mgC/m ³ /hr)
H	0	14.9	29.0	0.3	0.21	2.9	10.49	2.05	1.78 ± .40 (0)
	0			0.5	0.09	2.1	10.49	1.71	3.52 ± .82 (0.5)
M	2	14.6	29.2	0.5	0.07	2.7	13.28	1.62	4.22 ± .21 (1)
C	4	12.1	29.7	0.5	0.14	2.9	13.28	2.30	3.12 ± .01 (2)
			Integral						<u>3.15</u> - (4)
H	0								13.20 ± 1.15
M	0								
F	3								

H	0	15.0	29.0	0.6	0.15	1.9	7.07	1.24
M	0			0.5	0.13	2.4	7.64	0.89
P	2	14.6	29.1	0.6	0.12	2.5	-	-

Date: 23 / 06 / 75

Irradiation/période d'incubation = 402 langleys

Irradiation/ jour = 671 langleys

Incubation - - - - - Début = 10:35
Fin = 16:35

	Prof (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	Nit - (μ atg/l)--	Phos - (μ atg/l)--	Sil	Chl - (μ g/l)-	Phéo - (μ g/l)-	Prod*Erreur (mgC/m ³ /hr)
H	0	14.7	29.5	0.7	2.97	3.8	6.72	1.14	3.61 ± .16 (0)
	0			0.5	3.32	3.5	6.72	1.14	3.90 ± .29 (0.5)
M	2			1.3	1.50	4.1	7.88	1.10	4.06 ± .34 (1)
C	4	12.4	29.7	0.6	2.30	3.6	9.27	0.95	3.90 ± - (2)
			Integral						<u>4.14 ± .14</u> (4)
H	0			0.3	1.89	2.1	7.18	0.56	15.89 ± .65
M	0			0.4	1.00	2.2	8.46	0.97	
F	3								

H	0		0.8	2.62	2.5	10.42	0.80
M	0		0.6	2.00	2.8	8.34	0.98

Stations: Lagune du Havre-aux-Maisons: HMP75, HMC75, HMF75

Date: 03 / 07 / 75

Irradiation/période d'incubation= langley

Irradiation/ jour = langley

Incubation - - - - - Début = 10:30
Fin = 16:30

Date: 08 / 07 / 75

Irradiation/période d'incubation= langley

Irradiation/ jour = langleys

Incubation - - - - - Début = 10:05
 Fin = 17:40

	Prof (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	Nit - (µatg/l)	Phos - (µatg/l)	Sil --	Chl - (µg/l)	Phéo	Prod*Erreurs (mgC/m ³ /hr)
H M C	0	18.2	30.0	0	0.71	2.3	13.98	1.94	3.21±0.07
	0			0	1.51	2.4	16.08	1.53	4.38±0.38
	2			0	1.34	2.6	14.68	1.58	4.33±0.04
	4	18.2	30.0	0	1.68	2.5	15.73	3.24	5.00±0.19 <u>4.63±0.82</u>
Integral									18.37±2.38
H M F	0	19.2	30.0	0	2.79	2.4	12.23	1.99	
	0			0	6.37	2.5			
	3	19.1	30.3	0					
H M P	0	16.8	29.7	0	1.21	2.4	9.50	1.50	
	0			0	0.93	2.3	9.15	2.30	

Stations: Laque du Havre-aux-Maisons: HMP75, HMC75, HMF75

Date: 31 / 07 / 75

Irradiation/période d'incubation= 306 langleys

Irradiation/ jour = 439 langleys

Incubation - - - - - Début = 9:30
Fin = 15:30

Date: 07 / 08 / 75

Irradiation/période d'incubation = 218 langley

Irradiation/ jour = 374 langleys

Prof (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	Nit - (µatg/l)	Phos --	Sil --	Chl -(µg/l)-	Phéo -	Prod (mgC/m ³ /hr)	Erreurs (mgC/m ³ /hr)
H M C	0		1.3	3.79	1.2	42.64	6.13	14.26±1.18	
	0		2.1	5.45	1.3	41.94	7.50	13.85±1.88	
	2		2.6	3.64	1.5	37.75	8.31	22.53±2.59	
	4		2.2	2.85	1.5	34.25	8.41	12.53±0.74	<u>6.21±0.10</u>
Integral								52.39±5.05	
H M F	0		1.5	1.75	1.4	29.36	13.99		
	0		1.3	2.90	1.1	25.86	8.00		
	3								
H M P	0		2.6	1.53	2.2	18.8	1.45		
	0		1.2	3.38	1.5	18.5	1.80		

Stations: Lagune du Havre-aux-Maisons: HMP75, HMC75, HMF75

Date: 26 / 08 / 75

Irradiation/période d'incubation = 273 langleyes

Irradiation/ jour = 398 langley

Incubation - - - - - Début = 9:55
Fin = 15:40

Date: 02 / 09 / 75

Irradiation/période d'incubation=278 langley

Irradiation/ jour = 420 langley

Incubation - - - - - Début = 10:00
 Fin = 15:50

H	0	10.0	2.01	2.4	11.80	3.36
M	0	10.8	1.99	3.0	9.38	3.30

Station Grande Entrée- 1975

Date 05 / 06 / 75

Irradiation / période d'incubation = langley

Irradiation / jour = langley

Incubation ----- Début =

Fin =

Prof (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	Nit -(µatg/l)-	Phos -(µatg/l)-	Sil	Chl -(µg/l)	Phéo	Prod ^a (mgC/m ² /hr)	Erreurs
0			0.3	0.70	1.7	4.52	0.87	1.06±0.48	
0			0.2	0.75	1.4	5.10	1.30	1.99±0.31	
2			0.6	0.94	2.9	4.17	0.88	2.46±1.32	
4			0.1	1.24	1.1	6.02	1.16	3.16±1.22	
								10.29±4.74	

Date 12 / 06 / 75

Irradiation/ période d'incubation = 358 langley

Irradiation/ jour = 567 langley

Incubation-----Début= 9:45

Fin = 15:45

Prof (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	Nit - (µatg/l)	Phos - (µatg/l)	Sil - (µg/l)	Chl - (µg/l)	Phéo - (mgC/m ³ /hr)	Prod+Erreure (mgC/m ³ /hr)
0	9.0	29.5	0.9	0.47	2.4	.	0.64±0.09	
0			0.6	0.39	1.6		0.99±0.21	
2			0.5	0.34	5.1		1.22±0.16	
4	7.5	29.9	0.0	0.30	2.4		<u>1.41±0.10</u>	
							4.91±0.82	

Date 2 0 / 0 6 / 7 5

Irradiation/ période d'incubation = 402 langley

Irradiation/ jour = 671 ' langley

Incubation _____ Début = 10.10

Fin = 15-18

Prof (m)	Temp (°C)	Sal. (‰)	Nit - (µatg/l)	Phos - (µatg/l)	Sil -	Chl - (µg/l)	Phéo -	Prod ^t (mgC/m ² /hr)	Erreurs (%)
0	12.9	29.5	0.5	2.51	3.0	7.64	1.33	1.74±0.18	
0				0.4	1.51	3.1	7.18	1.80	2.37±0.18
2				0.6	1.65	3.3	7.30	1.46	3.23±0.17
4	12.9	29.7	0.5	3.25	2.6	6.60	1.37	<u>2.81±0.26</u>	
								11.35±1.07	

Station Grande Entrée - 1975

Date 25 / 06 / 75

Irradiation / période d'incubation = langley

Irradiation / jour = langleys

Incubation ----- Début= 11:00

Fin = 17:00

Date 04 / 07 / 75

Irradiation/ période d'incubation = langley

Irradiation/ jour = langley

Incubation----- Début= 10:00

Fin = 16:00

Date 10 / 07 / 75

Irradiation/ période d'incubation = 174 langley

Irradiation/ jour = 340 ' langley

Incubation-----Début= 10:05

Fin = 15:05

Station Grande Entrée- 1975

Date 17 / 07 / 75

Irradiation / période d'incubation = langley

Irradiation / jour = langley

Incubation ----- Début =

Fin =

Prof (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	Nit -(µatg/l)-	Phos -(µatg/l)-	Sil	Chl --(µg/l)	Phéo	Prod ^t (mgC/m ³ /hr)	Erreurs
0	21.0	30.9	4.1	2.97	4.8	19.92	3.45		
0			0.7	4.50	3.7	24.81	6.68		
2			0.7	4.50	3.7	24.81	6.68		
4	21.0	30.9	0.3	3.34	3.7	26.21	7.99		

Date 29/07/75

Irradiation/ période d'incubation = langley

Irradiation/ jour = langley

Incubation-----Début= 10:55

Fin = 15:50

Prof (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	Nit - (µatg/l)	Phos - (µatg/l)	Sil - (µg/l)	Chl - (µg/l)	Phéo - (µg/l)	Prod (mgC/m ³ /hr)	Erreurs
0	20.0	29.9	3.9	1.74	6.2	41.94	20.37	16.14±2.85	
0			0.7	3.80	4.5	34.48	16.09	13.08±2.20	
2	20.0	29.9	11.8	2.45	8.7	42.64	16.29	11.81±1.03	
4	20.0	29.9	15.7	2.21	9.0	36.35	21.90	3.78±0.31	
								0.40±0.02?	
								25.50±3.47	

Date 05 / 08 / 75

Irradiation/ période d'incubation = 207 langley

Irradiation/ jour = 379 langley

Incubation-----Début = 9:40

Fin = 15:10

Prof (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	Nit - (µatg/l)	Phos - (µg/l)	Sil	Chl - (µg/l)	Phéo	Prod* (mgC/m ³ /hr)	Erreurs
0	19.1	30.2	5.7	3.62	2.1	41.24	9.56	11.97±0.92	
0			1.6	2.90	2.1	42.64	10.87	14.01±2.72	
2			3.3	2.98	1.8	34.25	8.41	13.27± -	
4	19.6	30.2	3.5	2.86	1.7	36.35	11.07	4.67±0.03	
								44.39±8.07	

Station Grande Entrée- 1975

Date 21 / 08 / 75

Irradiation / période d'incubation = 280 langley's

Irradiation / jour = 476 langley's

Incubation _____ Début= 10:45

Fin = 16:15

Date 29 / 08 / 75

Irradiation/ période d'incubation = 290 langley

Irradiation/ jour = 508 langley

Incubation----- Début=

Fin =

Prof (m)	Temp (°C)	Sal (‰)	Nit - (µatg/l)	Phos 1.32	Sil 2.0	Chl 25.16	Phéo 6.67	Prod (mgC/m ³ /hr)	Erreurs
0	17.2	29.3	0.2	1.32	2.0	25.16	6.67		
0			0.1	0.95	1.8	22.37	8.11		
2			0.3	2.10	2.0	23.42	7.40		
4	17.1	29.3	0.4	2.02	1.9	24.46	8.72		

Date

Irradiation/ période d'incubation = langley

Irradiation/ jour = ' langleys

Incubation-----Début=

Fin ==