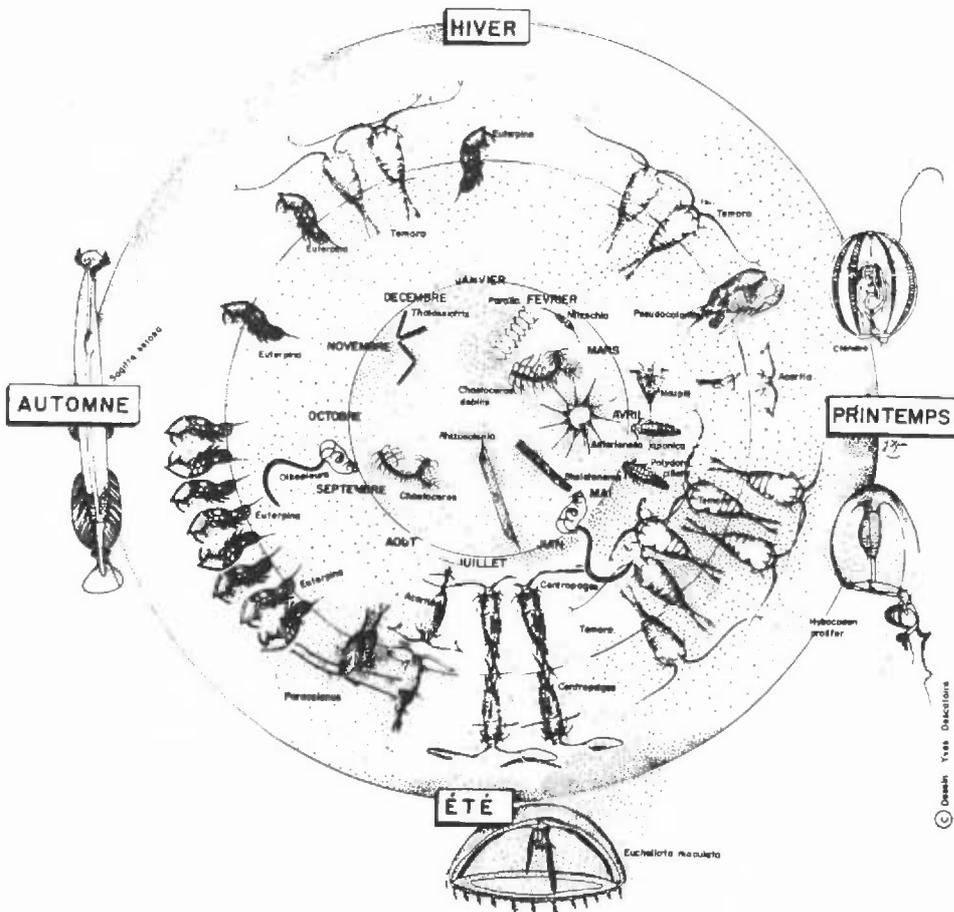


Surveillance Ecologique et Halieutique Site de Gravelines

Novembre 1997 - Octobre 1998



RESUME

Surveillance de Gravelines Novembre 1997 - Octobre 1998

La stratégie de surveillance est identique à celle des années précédentes. Durant la période 1997-1998, les températures plus élevées que la normale ont été relevées : la température moyenne de l'air s'établit, pour la période, à 11,6 °C. La pluviosité globale est également supérieure à la normale avec 778 mm, comparée à 675 mm, valeur moyenne des années précédentes. La température de l'eau observée était 5,5 °C, ce qui est élevé pour le 2 février. Le maximum, le 10 août, est normal : 20,3 °C. La moyenne annuelle à la prise est 12,89 °C, soit 0,55 °C supérieure à la période précédente.

En 1997-1998, la puissance électrique correspond à l'équivalent de 4.7 tranches. L'augmentation moyenne des températures calculées est identique à celle des températures mesurées, soit 9,09 °C. Conséquence d'un hiver clément, la chloration des eaux de refroidissement ne s'est arrêtée que pendant 3 mois et demi. Les composés chimiques stables formés sont bromés dont le plus abondant, le bromoforme, présente une concentration de 20,8 µg/l. La mesure du bromoforme à la prise provient de la recirculation des eaux estimée à 5,2 %. Les dosages des composés chlorés plus lourds ont mis en évidence de faibles concentrations de 2-4-6 bromophenol.

Le passage de l'eau de refroidissement dans la centrale et l'apport des rejets des installations aquacoles entraîne une multiplication du nombre de vibrions (70 fois en moyenne géométrique). En terme d'abondance, le maximum au rejet en été est relativement stable. Le minimum montre une augmentation depuis les dernières années. En terme de diversité, l'espèce *vibrio alginolyticus* était pratiquement la seule observée au début des études. Elle est de plus en plus concurrencée par d'autres espèces. Pour la période 1997-1998, *V. alginolyticus* reste majoritaire mais avec 56 % seulement des isollements. *Vibrio cholerae nag* est la seconde espèce par ordre d'importance avec 20 % des isollements. Les autres espèces mises en évidence en pourcentage non négligeable sont *V. parahaemolyticus*, *V. mimicus*, *V. fluvialis*, *V. damsela*. Etaient présentes également les souches *V. hollisae*, *V. vulnificus* et *V. metschnikovii*.

Depuis 1984, l'eau tiède produite par la centrale alimente la ferme aquacole qui a augmenté sa capacité de production de 80 à 1000 tonnes et est autorisée à produire 2000 tonnes/an. Les élevages sont maintenus à 24 °, le débit du rejet de la ferme est 9m³/sec pour l'année considérée. Les espèces de vibrions concernées par la multiplication dans les fermes aquacoles sont *V. alginolyticus*, *V. cholerae nag*, *V. parahaemolyticus*, *V. mimicus* et *V. damsela*. En ce qui concerne les vibrions totaux, le flux émis par l'aquaculture est le 1/4 du flux total de vibrions sortant du canal de rejet.

La biomasse chlorophyllienne atteint 22mg/m^3 le 6 avril en relation avec le bloom des *Phaeocystis*. La campagne de printemps se situe en période de prolifération des Diatomées, principalement les *Rhizosolenia delicatula*. L'impact de la centrale mesuré au cours de la campagne printanière montre un déficit sur la biomasse chlorophyllienne. Au point de contrôle, le déficit de surface par rapport au fond atteint 56 %. Le pourcentage de chlorophylle active montre une différence de 30 % entre la prise et le rejet montrant l'altération dans la qualité du phytoplancton, conséquence du transit dans la centrale.

Pendant l'année 1998, les impacts observés sur les populations zooplanctoniques restent limités et conformes à ceux observés les années antérieures. Les espèces qui montrent une fragilité plus importante sont les Appendiculaires *Oikopleura dioica*, les chaetognathes *Sagitta spp.* et certaines larves comme les larves d'ophiures.

La surveillance mensuelle au canal d'entrée a montré la succession des espèces selon le schéma décrit les années précédentes. Les cténaires *Pleurobrachia pileus* n'ont pas présenté cette année de prolifération suffisamment importante pour mettre en danger le pompage au niveau des tambours filtrants. Les dinoflagellés noctiluques n'ont pas provoqué d'eau rouge.

L'année 1998 se présente, comme l'année précédente, une année précoce du point de vue de la reproduction du sprat et de la sole. Le décalage est plus marqué encore qu'en 1997 en liaison avec des températures relativement élevées pour la saison, $10\text{ }^\circ\text{C}$ est atteint dès avril. On observe des densités d'oeufs se situant dans la moyenne du site mais les larves sont plus abondantes que pour les années précédentes. La survie des larves ayant été favorisée semble-t-il par de bonnes conditions de nutrition (phytoplancton à Diatomées précoce). Les structures spatiales sont également bien reproductibles avec un maximum dans la zone médiane.

En 1998, on ne note pas d'évolution marquante dans les densités moyennes des espèces euryhalines de l'Estran par rapport à 1997. Cependant, les espèces tolérantes à une légère dessalure augmentent, c'est le cas de *Cerastoderma edule*, *Hydrobia ulvae* et *Corophium arenarium*.

En 1998, la répartition des spionidiens est complètement bouleversée par rapport à la période 95-97. *Pygospio elegans* disparaît complètement de l'estran de Petit Fort Philippe, alors que *Spio martinensis* colonise entièrement l'estran. La biomasse moyenne de l'estran reste au même niveau qu'en 1997 : 8g/m^2 . L'impact de la centrale sur l'estran est faible.

L'étude du benthos subtidal permet de comparer 2 stations : la station B hors impact et la station C soumise à l'impact. La granulométrie montre en 1998, comme l'année précédente, une dominance des sables fins en B avec pélites tandis qu'en C, les sables moyens dominant. Le peuplement à *Abra alba* montre une plus grande diversité en B avec 54 taxons récoltés (51 en 1997) contre 27 taxons à la station C (21 en 1997). Ceci est conforme au schéma déjà décrit montrant l'impact de la centrale sur les peuplements benthiques du champ proche du rejet. Le déficit en biomasse causé par le fonctionnement de la centrale est important, la biomasse globale enregistrée à la station B est 219 g/m^2 alors qu'elle n'est que de 3g/m^2 à la station C, ce qui représente un déficit de 99 % dû à l'impact de la centrale, pourcentage du même ordre de grandeur que celui de l'année 1997.

8.4. ETUDE DES POPULATIONS DE *Abra alba* et de *Tellina fabula*

8.4.1. Etude de la population de *Abra alba*.

La population de *Abra alba* est connue pour ses fluctuations brutales, liées au caractère pionnier de cette espèce. Certaines fluctuations peuvent être attribuées au recrutement, d'autres sont dues à des migrations passives. La dynamique de la population de cette espèce est basée sur un cycle de 7 à 8 ans calqué sur celui de la température. Cette espèce présente cette année un très fort recrutement en septembre ($1249/m^2$) alors que depuis 1991 on n'avait pu mettre en évidence que deux recrutements importants qui n'avait pas été suivis d'un maintien de la population. Au vu des résultats enregistrés au début 1999, il semble que le recrutement mis en évidence en septembre soit pérenne et que la population d'*Abra alba* se maintienne à un niveau important. Ceci vient étayer les hypothèses de retour à la normale du peuplement à *Abra alba* à cette station. Nous avons envisagé lors de la précédente étude la possibilité d'un fort recrutement de cette espèce en 1998 du fait du retour à la normale de la structure granulométrique et bionomique.

8.4.2. Etude de la population de *Tellina fabula*

Cette espèce, proche de *Abra alba*, s'en différencie par une affinité moindre aux sédiments envasés et par une stratégie de dynamique de population différente. Elle n'a pas le caractère pionnier de *Abra alba* et les densités habituelles de cette espèce n'atteignent jamais celles qu'*Abra alba* peut atteindre.

La densité de cette espèce était restée à un niveau très faible en 1997. Par contre en 1998 elle a bénéficié d'un recrutement un peu meilleur en juin. La densité était alors de $66/m^2$. Néanmoins le recrutement ne semble pas s'être maintenu et la densité de population n'était que de $18/m^2$.

Cette espèce ne parvient donc toujours pas à se réimplanter sur le site, néanmoins son suivi doit être maintenu dans la mesure où elle peut présenter des phénomènes de compétition avec *Abra alba*.

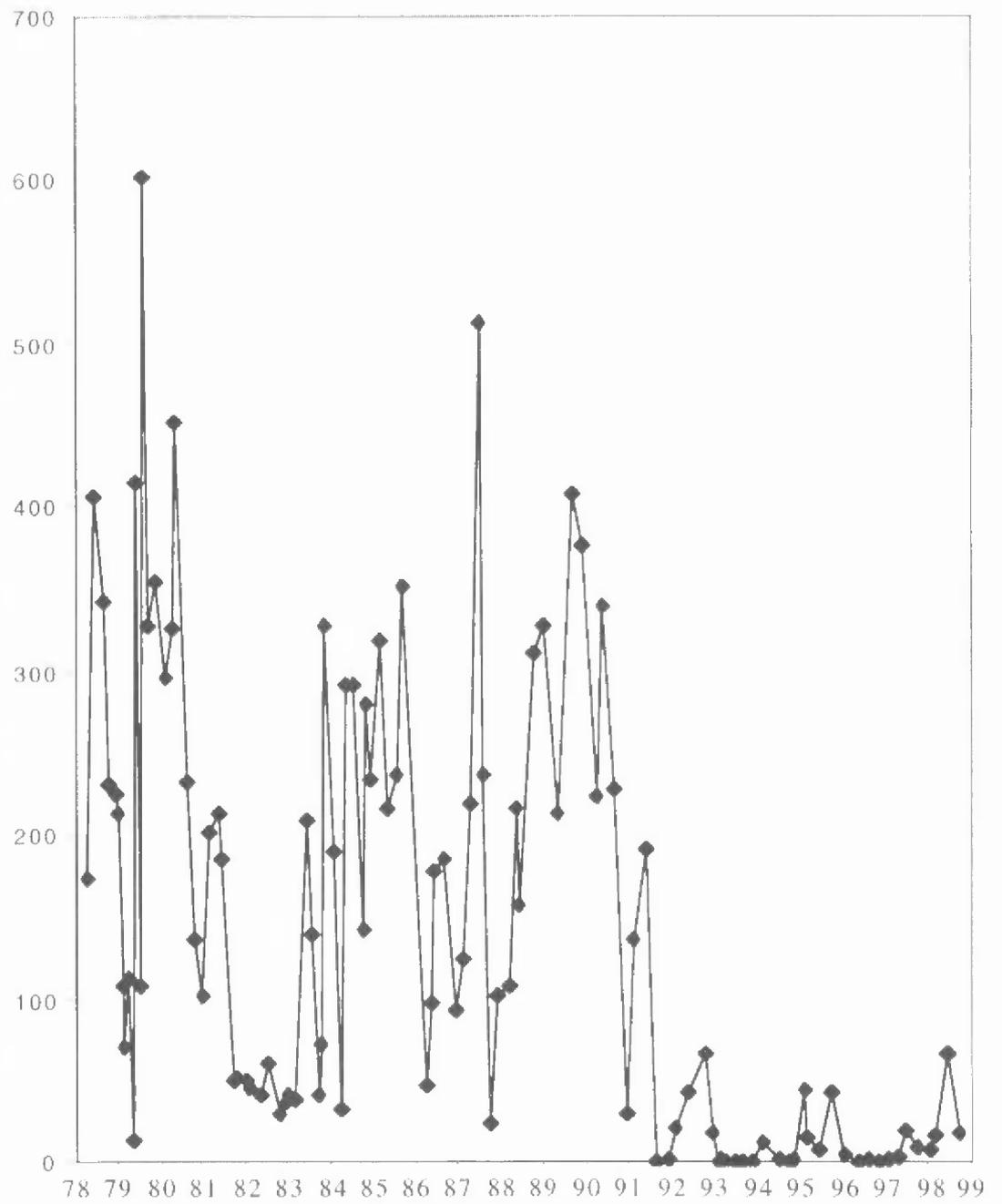


Fig.8.4. *Tellina fabula* , évolution de la densité de population entre 1977 et 1998

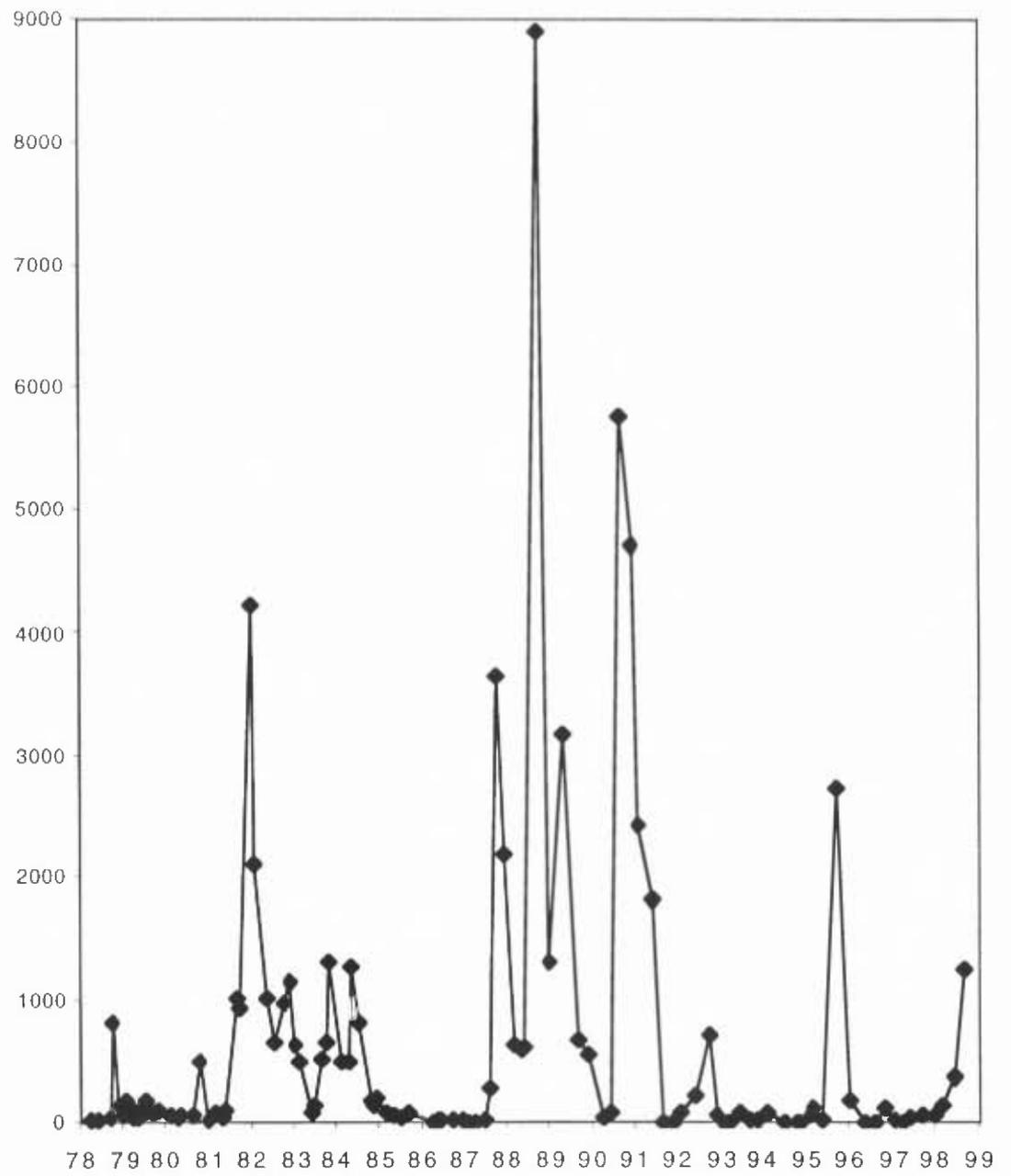


Fig.8.3. *Abra alba*, évolution de la densité (par m²) de la population entre 1977 et 1998

Le fait marquant des résultats enregistrés en septembre est le fort recrutement de *Abra alba* (1249/m²) et de *Ophiura albida* (814/m²). Il est à noter pour cette dernière espèce que la densité de juvéniles est de 796/m². Après la mortalité ayant affecté le précédent recrutement, la population se développe donc à nouveau. *Venerupis pullastra* a bénéficié elle aussi d'un bon recrutement pendant l'été (36/m²). D'autres espèces voient également leur densité de population progresser fortement mais il est difficile de relier cette progression avec un recrutement dans la mesure où leur période de fixation larvaire est antérieure à juin ou parce que les individus récoltés n'étaient pas des nouvelles recrues. Il s'agit notamment de *Notomastus latericeus* (413/m²), *Phyllodoce mucosa* (114/m²), *Stenelais boa* (82/m²), *Spisula subtruncata* (63/m²), *Eunereis longissima* (51/m²) et *Pectinaria koreni* (54/m²). Malgré ces recrutements, on note une baisse de la biomasse (67,5g/m²) qui peut s'expliquer tout de même par la taille des individus récoltés en septembre. Par exemple, la biomasse de *Abra alba* chute de 14g/m² alors que la densité de population augmente de près de 900 individus, elle n'est plus que de 27,3g/m². Les autres espèces qui participent fortement à la biomasse globale sont *Spisula subtruncata* (9,1g/m²), *Notomastus latericeus* (6,3g/m²), *Ensis directus* (5,6g/m²) et *Nassarius reticulatus* (4,7g/m²).

On peut affirmer au vu des résultats enregistrés en 1998 que le peuplement à *Abra alba* est complètement rétabli à la station B et qu'il a incorporé *Ensis directus* dans son cortège spécifique.

Station C

La station C permet de visualiser l'impact de la centrale sur le peuplement à *Abra alba*. Le courant de rejet provoque un lessivage des fines qui est parfaitement matérialisé par les analyses granulométriques (sédiment dominé par les sables moyens).

Les résultats enregistrés en 1998 confirment largement l'impact de la centrale sur les peuplements benthiques du champ proche du rejet. Ces résultats sont très similaires à ceux de 1997, l'espèce dominante reste *Nephtys cirrosa* qui représente plus de 57% des individus récoltés. Certains recrutements enregistrés à la station B se retrouvent de manière atténuée à la station C : *Lanice conchilega* (10/m² en juin), *Magelona mirabilis* (10/m² en juin), *Spiophanes bombyx* (18/m² en juin) et *Ophiura albida* (1/m² en janvier et mars). Il est à noter que *Nerine cirratulus* est présente en fortes densités en janvier (19/m²) et en mars (82/m²).

La biomasse reste très faible, elle ne dépasse pas 0,7g/m², *Nephtys cirrosa* représente 41,5 % de cette biomasse et 3 *Hyperoplus lanceolatus* récoltés en janvier 10,7 %. La biomasse reste donc très faible à cette station.

Le déficit en biomasse causé par le fonctionnement de la centrale est très important. La biomasse globale enregistrée à la station B est de 218,86g/m² alors qu'elle n'est que de 2,56g/m² à la station C. Le déficit en biomasse du à l'impact est donc de 98,8 %.

Date	30/01/98	10/03/98	15/06/98	21/09/98
<i>Némertes</i>			0,8	15,2
<i>Harmothoe lunulata</i>			4,5	
<i>Nerine cirratulus</i>	13,7	16,2	0,3	2,0
<i>Spio martinensis</i>	0,6		0,8	
<i>Spiophanes bombyx</i>			3,3	
<i>Magelona mirabilis</i>		0,2	44,1	
<i>Capitella capitata</i>			0,1	
<i>Phyllodoce mucosa</i>			0,2	
<i>Eteone longa</i>		0,1		
<i>Nephtys cirrosa</i>	259,8	302,4	308,5	193,2
<i>Nephtys hombergii</i>			44,6	
<i>Lumbrineris impatiens</i>			52,9	
<i>Lanice conchilega</i>			28,0	
<i>Nassarius reticulatus</i>	14,3			
<i>Donax vittatus</i>		2,2	34,9	
<i>Gastrosaccus spinifer</i>		4,7		
<i>Diastylis bradyi</i>			1,1	
<i>Pontocrates altamarinus</i>	0,3		1,9	
<i>Bathyporeia elegans</i>		0,4	0,3	0,8
<i>Urothoe elegans</i>	7,6	1,0		
<i>Crangon crangon</i>			66,0	89,7
<i>Pagurus bernhardus</i>			20,5	
<i>Diogenes pugilator</i>			4,3	
<i>Portunus latipes</i>	83,1	196,8	16,3	442,2
<i>Ophiura albida</i>	0,1	0,1		
<i>Hyperoplus lanceolatus</i>	276,6			
<i>Solea solea</i>		7,6		
Total par m2	2624,4	2126,8	2533,6	2972,4

Tab.8.5. Station C, biomasse en mg par m²

Date	30/01/98	10/03/98	15/06/99	21/09/98
<i>Némertes</i>			4	1
<i>Harmothoe lunulata</i>			1	
<i>Nerine cirratulus</i>	19	24	2	1
<i>Spio martinensis</i>	2		2	
<i>Spiophanes bombyx</i>			18	
<i>Magelona mirabilis</i>		1	10	
<i>Capitella capitata</i>			1	
<i>Phyllodoce mucosa</i>			1	
<i>Eteone longa</i>		1		
<i>Nephtys cirrosa</i>	47	88	88	20
<i>Nephtys hombergii</i>			1	
<i>Lumbrineris impatiens</i>			1	
<i>Lanice conchilega</i>			10	
<i>Nassarius reticulatus</i>	1			
<i>Donax vittatus</i>		1	2	
<i>Gastrosaccus spinifer</i>		1		
<i>Diastylis bradyi</i>			1	
<i>Pontocrates altamarinus</i>	1		3	
<i>Bathyporeia elegans</i>		2	5	3
<i>Urothoe elegans</i>	10	6		
<i>Crangon crangon</i>			2	3
<i>Pagurus bernhardus</i>			1	
<i>Diogenes pugilator</i>			1	
<i>Portunus latipes</i>	7	14	3	8
<i>Ophiura albida</i>	1	1		
<i>Hyperoplus lanceolatus</i>	3			
<i>Solea solea</i>		1		
Total par m2	364	560	628	144

Tab.8.4. Station C, densités en nombre d'individus par m²

s'était bien reconstitué, terminant ainsi la ré-appropriation du milieu par les espèces caractéristiques du peuplement à *Abra alba*. L'étude 1998 vient confirmer cette ré-appropriation, bien que les densités n'atteignent pas encore celles que l'on pouvait observer certaines années avant 1991.

En Janvier, les densités sont faibles comme c'est généralement le cas l'hiver en milieu marin, nous sommes à ce moment à l'étiage de la communauté. Le peuplement est dominé par *Ophiura albida* (103/m²) *Magelona mirabilis* (61/m²), *Abra alba* (58/m²), *Mysella bidentata* (58/m²) et *Nephtys hombergii* (52/m²). Les espèces accompagnatrices sont *Spisula subtruncata* (33/m²), *Phyllodoce mucosa* (23/m²), *Notomastus latericeus* (16/m²), *Ensis directus* (13/m²) et *Eunereis longissima* (12/m²). La densité globale est de 513/m². La biomasse globale est de 18,7g/m², les espèces les plus contributives à la biomasse sont *Ensis directus* (5,9g/m²), *Abra alba* (4,5/m²) et *Spisula subtruncata* (2,5g/m²). La biomasse de *Ophiura albida* est très faible (0,1g/m²), les individus récoltés sont tous de très petite taille (101 sur 103 individus). La récolte de nombreux *Ensis directus* cassés fait que la biomasse est sous-évaluée. Ce phénomène se reproduit à chaque campagne. Les densités remarquablement stables de cette espèce pendant les quatre campagnes montre qu'elle s'est parfaitement intégrée au cortège spécifique du peuplement. Cette espèce a remplacé *Ensis arcuatus* dont les populations n'atteignaient jamais de telles densités.

En mars, la densité globale progresse (910/m²). Les espèces les plus importantes sont *Ophiura albida* (234/m²), *Abra alba* (135/m²), *Nassarius reticulatus* (98/m²), *Magelona mirabilis* (84/m²), *Spisula subtruncata* (74/m²), *Nephtys hombergii* (70/m²) et *Notomastus latericeus* (48/m²). Les espèces accompagnatrices sont *Mysella bidentata* (26/m²), *Ensis directus* (26/m²), *Spiophanes bombyx* (18/m²) et *Tellina fabula* (16/m²). La biomasse globale est de 28,8g/m². Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse sont *Ensis directus* (11g/m²), *Abra alba* (7,5g/m²), *Nassarius reticulatus* (3,8g/m²) et *Spisula subtruncata* (3,3/m²). On note principalement au cours de cette campagne un nouveau recrutement d'*Ophiura albida*.

En juin, la densité globale progresse encore (4685/m²). On notera surtout le fort recrutement de *Lanice conchilega* (3592/m²) et de *Notomastus latericeus* (331/m²) la population de *Abra alba* progresse également (376/m²). Les autres espèces importantes sont *Tellina fabula* (66/m²), *Nassarius reticulatus* (46/m²), *Pectinaria koreni* (37/m²), *Liocarcinus holsatus* (36/m²), *Mysella bidentata* (35/m²) et *Spisula subtruncata* (28/m²). Il résulte des forts recrutements une forte augmentation de la biomasse globale qui atteint 107,9g/m². Les espèces les plus contributives à l'élaboration de la biomasse sont *Abra alba* (41,9g/m²), *Notomastus latericeus* (27,8g/m²), *Lanice conchilega* (11,2g/m²), *Nassarius reticulatus* (5,3g/m²) et *Ensis directus* (5,1g/m²). La population des juvéniles de *Ophiura albida* disparaît complètement tandis que les adultes se maintiennent au même niveau qu'en mars. Il est à noter également la progression des populations de *Tellina fabula* et de *Pectinaria koreni*. Par contre, on note une régression de la population de *Nephtys hombergii*.

	30/01/1998	10/03/1998	15/06/1998	21/09/1998
<i>Melita obtusata</i>				1
<i>Urothoe poseidonis</i>	2	3	1	5
<i>Atylus swammerdami</i>	5			4
<i>Bodotria scorpioides</i>		1		
<i>Diastylis bradyi</i>		5		4
<i>Gastrosaccus spinifer</i>				1
<i>Crangon crangon</i>			5	6
<i>Pagurus bernhardus</i>		1	0	2
<i>Corystes cassivelaunus</i>		1	4	
<i>Liocarnus holsatus</i>			36	15
<i>Acrocnida brachiata</i>		1		1
<i>Ophiura texturata</i>	1			3
<i>Ophiura albida</i>	103	234	19	814
<i>Asterias rubens</i>	1			
<i>Hyperopus lanceolatus</i>		1		
Total par m ²	513	910	4685	3241

Tab. 8.2. Station B, densités en nombre d'individus par m² (suite)

	30/01/1998	10/03/1998	15/06/1998	21/09/1998
<i>Magelona mirabilis</i>	27,2	39,4		
<i>Notomastus latericeus</i>	215,4	346,6	27778,6	6346,7
<i>Phyllodoce mucosa</i>	21,2	22,5	14,2	82,6
<i>Stenelais boa</i>				940,8
<i>Eunereis longissima</i>	1941,1		172,5	1561,1
<i>Nephtys hombergii</i>	528,8	935,4	764,5	156,6
<i>Nephtys assimilis</i>	958,8			
<i>Owenia fusiformis</i>	264,3	319,4	1361,6	
<i>Pectinaria koreni</i>	13,6	71,6	191,9	1769,3
<i>Lanice conchilega</i>	36,3		11249,6	540,0
<i>Nassarius reticulatus</i>	873,5	3809,5	5307,6	4727,9
<i>Mysella bidentata</i>	28,9	11,3	13,9	12,0
<i>Venerupis pullastra</i>				1089,0
<i>Spisula subtruncata</i>	2484,7	3274,6	8549,3	9099,7
<i>Maetra corallina</i>			943,0	
<i>Tellina fabula</i>	191,3	138,4	535,7	77,2
<i>Abra alba</i>	4485,7	7496,3	41941,9	27305,0
<i>Ensis directus cassés</i>	5904,8	10983,0	5141,1	5587,9
<i>Liocarcinus holsatus</i>			310,3	
<i>Ophiura albida</i>	117,1	409,9	204,0	860,7
<i>divers</i>	630,6	903,6	3403,5	3337,0
TOTAL	18723,3	28761,5	107883,2	63493,5

Tab. 8.3. Station B, biomasse en mg par m²

Date	30/01/1998	10/03/1998	15/06/1998	21/09/1998
<i>Sagartia troglodytes</i>			3	6
<i>Tubulanus polymorphus</i>	4	2		
<i>Cerebratulus sp.</i>	3	3		2
<i>Scoloplos armiger</i>		2		1
<i>Spiophanes bombyx</i>	7	18		
<i>Magelona mirabilis</i>	61	84		
<i>Chaetozone setosa</i>	2			2
<i>Notomastus latericeus</i>	20	48	331	413
<i>Heteromastus filiformis</i>		1		
<i>Mediomastus fragilis</i>				1
<i>Ophelia borealis</i>	1	1	1	1
<i>Phyllodoce mucosa</i>	23	18	1	114
<i>Phyllodoce groenlandica</i>		1		
<i>Eumida sanguinea</i>	5		8	2
<i>Eteone picta</i>		1		2
<i>Harmothoe glabra</i>		2	4	5
<i>Harmothoe lunulata</i>		1		
<i>Stenelais boa</i>			3	82
<i>Pholoe baltica</i>		1		11
<i>Kefersteinia cirrata</i>			1	1
<i>Eunereis longissima</i>	12	4	4	61
<i>Glycera alba</i>		1	2	3
<i>Nephtys longosetosa</i>	1	8		19
<i>Nephtys cirrosa</i>	2			2
<i>Nephtys hombergii</i>	52	70	42	15
<i>Nephtys assimilis</i>	5	5		
<i>Owenia fusiformis</i>	5	7	17	2
<i>Pectinaria koreni</i>	2	3	37	54
<i>Lanice conchilega</i>	9	4	3592	142
<i>Crepidula fornicata</i>			1	
<i>Nassarius reticulatus</i>	16	98	46	28
<i>Mysella bidentata</i>	58	26	35	21
<i>Venerupis pullastra</i>	1			36
<i>Spisula subtruncata</i>	33	74	28	63
<i>Mactra corallina</i>			1	
<i>Macoma balthica</i>		3	3	2
<i>Tellina fabula</i>	8	16	66	18
<i>Abra alba</i>	58	135	376	1249
<i>Ensis directus</i>	13	26	18	27

Tab. 8.2. Station B, densités en nombre d'individus par m²

8.3.1. Composition bionomique

L'ensemble des résultats bionomiques figurent dans les tableaux 8.2. à 8.5. L'analyse faunistique a permis de recenser, en 1998, 67 taxons différents sur les deux stations. 54 taxons ont été récoltés à la station B et 27 à la station C. Ils se répartissent comme suit :

- 1 Cnidaire
- 3 Némertes
- 31 Annélides polychètes
 - 14 sédentaires
 - 17 errantes
- 11 Mollusques
 - 2 Gastéropodes
 - 9 Bivalves
- 15 Crustacés
 - 1 Mysidacé
 - 2 Cumacés
 - 6 Amphipodes
 - 6 Décapodes
- 4 Echinodermes
 - 3 Ophiurides
 - 1 Astéride
- 2 Poissons

Ces 67 taxons représentent 9873 individus récoltés : 9349 à la station B et 424 à la station C. On ne note que peu de changement à la station C au niveau de la densité globale, l'espèce dominante reste *Nephtys cirrosa* qui représente plus de 57 % des individus récoltés. Par contre à la station B la densité globale chute de 2441 individus. A cette station, les recrutements très importants en 1997 de *Spiophanes bombyx*, de *Magelona mirabilis* et de *Lanice conchilega* n'ont pas trouvé l'équivalent en 1998 avec *Lanice conchilega*, *Notomastus latericeus*, *Abra alba* et *Ophiura albida*. Cette diminution de la densité globale des populations implantées à la station B est liée directement aux aléas du recrutement.

Station B

Cette station est représentative du peuplement à *Abra alba*. Ce peuplement est sujet à des basculements bionomiques importants qui ne remettent pas en cause sa structuration, organisée autour d'une dizaine d'espèces principales. Il a été montré qu'en fait, ce peuplement à la station B était soumis à des cycles de 7 à 8 années que l'on peut relier à la température. Des liens avec les oscillations nord-atlantique (NAO) sont également recherchés.

L'étude 1997 montrait un retour vers des aspects classiques du peuplement à *Abra alba* après l'altération granulométrique de 1991. Le cortège spécifique

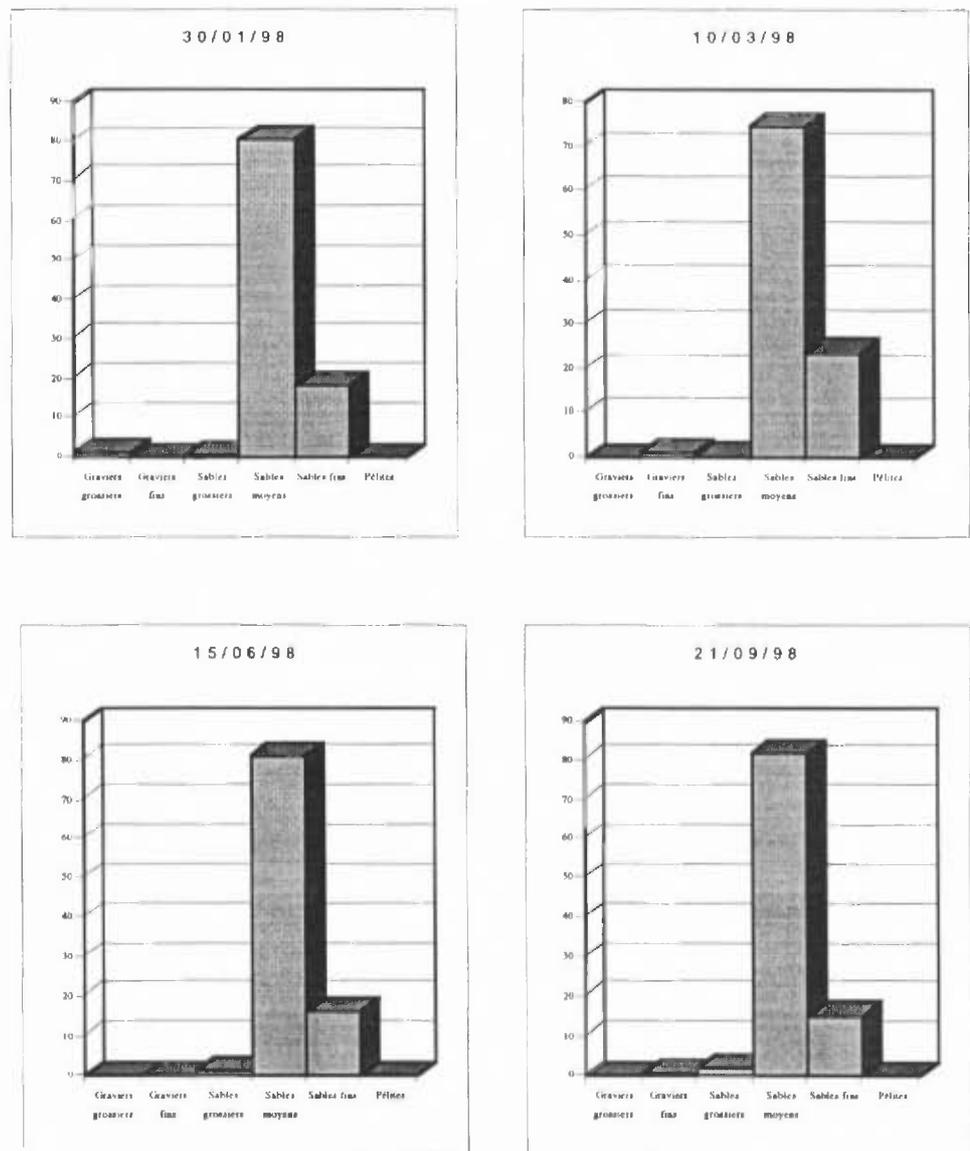


Fig. 8.2. Station C, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

deux classes représentent plus de 97 % pondéraux du sédiment. La fraction grossière est très faible (moins de 3 %) et la fraction péltique quasiment inexistante : moins de 0,04 %. L'impact de la circulation d'eau de refroidissement de la centrale sur le sédiment est donc toujours très important.

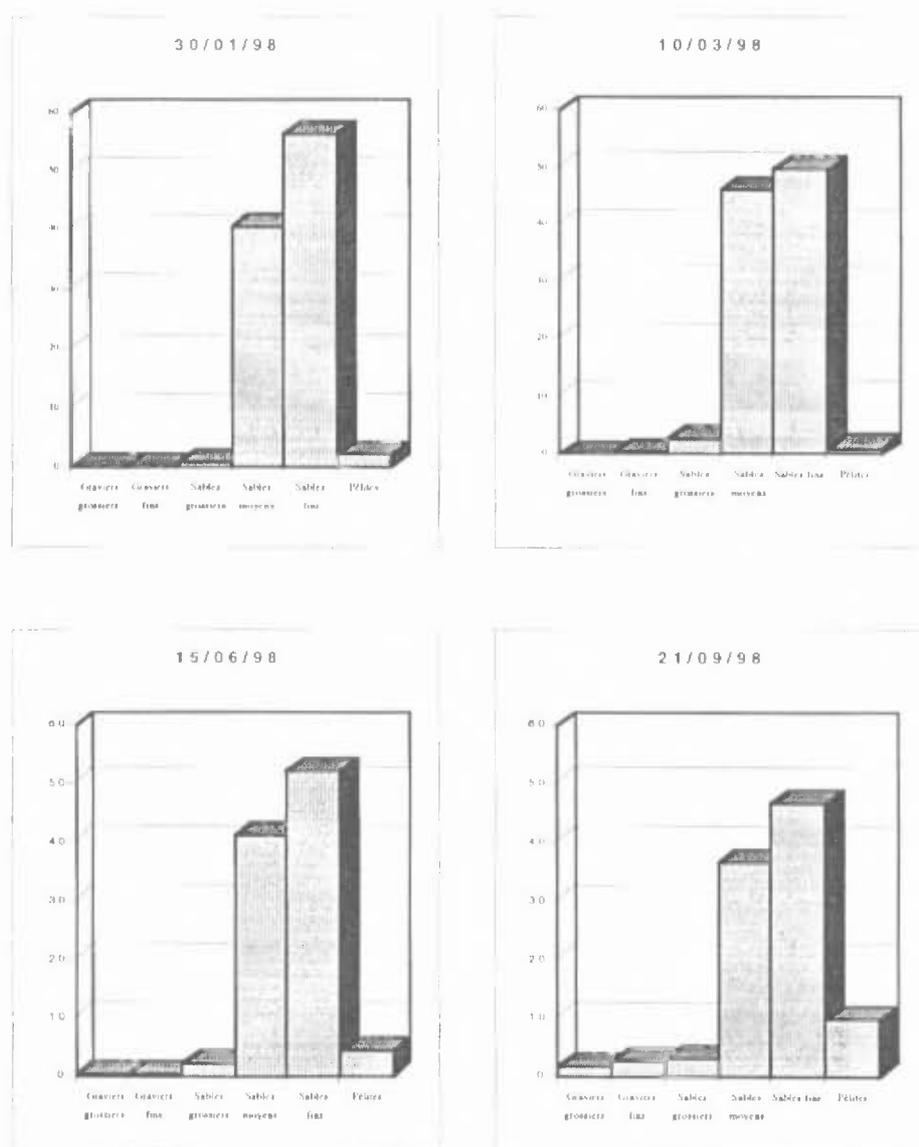


Fig. 8.1. Station B, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

8.3. RESULTATS

8.3.1. Analyses granulométriques

L'ensemble des résultats des analyses granulométriques est présenté par les tableaux 8-1 et les figures 8-1 et 8-2.

Station B

Une altération sédimentologique a été mise en évidence à la station B en 1991. Le peuplement à *Abra alba* s'est finalement réinstallé sur un sédiment comportant une forte proportion d'éléments grossiers. En 1997 le sédiment semblait être redevenu typique du peuplement, dominé par les sables fins. Même si la proportion de sédiment grossier pouvait sembler encore un peu élevée (de 6 à 20 %). En 1998, le sédiment est tout à fait normal, la teneur en sable grossier reste comprise entre 1 et 3 %. De plus l'évolution annuelle du sédiment redevient tout à fait classique et présente un taux de pélites minimum en hiver et maximum en été. Le taux de pélites varie entre 1,1 et 9,7 %.

Station B	30/01/1998	10/03/1998	15/06/1998	21/09/1998
Graviers grossiers	0,03	0,05	0,03	1,69
Graviers fins	0,16	0,26	0,41	2,47
Sables grossiers	1,02	2,78	2,22	2,93
Sables moyens	40,51	45,88	41,01	36,65
Sables fins	56,03	49,88	51,88	46,59
Pélites	2,26	1,14	4,46	9,67

Station C	30/01/1998	10/03/1998	15/06/1998	21/09/1998
Graviers grossiers	1,30	0,00	0,32	0,02
Graviers fins	0,07	1,35	0,40	0,89
Sables grossiers	0,60	0,16	1,71	2,22
Sables moyens	80,64	74,68	81,23	81,49
Sables fins	18,33	23,78	16,32	15,38
Pélites	0,04	0,03	0,01	0,00

Tab. 8.1. Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

Station C

Le sédiment de la station C n'évolue pas par rapport à 1997 et reste quasiment identique tout au long de l'année. Il est dominé par les sables moyens (de 74,7 à 81,5 %) et par les sables fins (15,4 à 23,8 %). Ces

8.1. INTRODUCTION

Les études écologiques du benthos subtidal du site de Gravelines sont menées depuis 1973. Aux études descriptives des premières années ont succédé des études quantitatives du peuplement à *Abra alba* qui portent depuis 1976 sur la station C (peuplement impacté par le fonctionnement de la centrale) et la station B (peuplement non impacté). La comparaison de l'évolution du peuplement installé en ces deux stations permet de mettre en évidence l'impact de la centrale sur les communautés benthiques proches.

Le fonctionnement de la centrale induit un lessivage des fines à proximité du rejet du fait du courant engendré par le rejet des eaux de refroidissement. Ce lessivage a entraîné la disparition des espèces vasicoles qui y étaient établies.

La station C est soumise aux mêmes recrutements que la station B, cela a été montré à l'occasion de plusieurs études et notamment celle de 1991 pendant laquelle le recrutement de *Ensis directus* a pu être mis en évidence. Mais si le recrutement a bien eu lieu avec la même intensité aux deux stations, la population de *Ensis directus* ne s'est pas maintenue à la station C du fait d'un sédiment inapproprié, tandis qu'à la station B les conditions ont été favorables au maintien des recrues.

Le peuplement à *Abra alba* est particulièrement productif. La biomasse a déjà été supérieure à 400g/m² (poids sec sans cendres).

8.2. METHODOLOGIE

La méthodologie de prélèvement reste inchangée par rapport à l'étude précédente. Quatre campagnes ont été effectuées les 30 janvier, 10 mars, 15 juin et 21 septembre 1998.

Nous employons depuis maintenant 1996 pour la détermination de la biomasse, la méthode du poids sec sans cendres (PSSC). Cette méthode vous est détaillée dans le chapitre "Benthos intertidal". Nous avons pu remarquer à l'occasion d'une intercalibration entre le poids sec décalcifié (PSD) que nous utilisions auparavant et le PSSC que les biomasses obtenues par PSD étaient plus faibles que celles qui sont obtenues par PSSC, ceci étant dû à un lessivage de la matière organique lors de la décalcification à l'acide chlorhydrique.

8 LE DOMAINE BENTHIQUE SUBTIDAL

Jean-Marie DEWARUMÉZ

Christophe LUCZAK

Dominique MENU

Ces résultats confirment ceux qui ont été enregistrés pour les autres espèces et tendent à montrer que l'influence de la centrale a été moins importante en 1998.

7.3.3. Cas de la biomasse

Toute altération de la structure bionomique d'un peuplement provoque une altération de la biomasse. Selon les espèces mises en cause, ces modifications peuvent être positives ou négatives. Cela dépend en fait de la stratégie démographique employée par les espèces. En général une espèce pionnière, donc à développement rapide pourra provoquer rapidement une forte augmentation de la biomasse.

g/m ²	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996 PSD	1996 PSSC	1997 PSSC	1998 PSSC
E	7,92	4,62	2,99	7,25	8,7	9,87	8,68	11,82	8,79	19,34
F	25,97	13,37	0,48	1,37	20,63	3,42	25,94	31,16	52,64	39,59
G	0,41	0,61	0,12	0,48	0,61	0,77	0,44	0,47	0,27	0,40
H	1,29	0,12	2,97	0,11	0,29	0,77	0,29	0,31	0,48	0,68
I	0,6	0,38	3,02	3,94	1,47	1,68	1,49	2,34	1,72	4,29
J	0,32	0,15	0,35	0,35	0,48	0,75	0,48	0,48	0,49	0,35
K	0,71	0,77	0,02	0,47	1,63	0,55	1,03	1,06	0,29	0,69
L	0,18	0,9	20,52	0,59	0,3	2,49	1,84	1,91	0,28	0,32
Moy. estran	4,68	2,54	3,77	1,82	4,26	2,05	5,02	6,19	8,12	8,21

La biomasse moyenne de l'estran reste au même niveau qu'en 1997, plus de 8 g/m². Si en 1997 la forte biomasse moyenne était due à *Cerastoderma edule*, à la station F, en 1998, la biomasse semble bien mieux répartie, bien que restant toujours plus importante dans les niveaux supérieurs. Ceci confirme également la diminution de l'impact de la centrale sur l'estran de Gravelines en 1998.

dessalure causée par l'Aa reste importante. Néanmoins les populations d'espèces euryhalines présentent une très grande variabilité dans le temps.

Densité moyenne	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<i>Ophelia rathkei</i>	4	82	55	396	115	148
<i>Oligochètes</i>	20	1	45	6	4	0
<i>Hediste diversicolor</i>	3	1	11	2	17	14

En 1998, on ne note pas d'évolution marquante dans les densités moyennes des espèces typiquement euryhalines par rapport à 1997. Cependant les espèces tolérantes à une légère dessalure comme *Cerastoderma edule* et *Hydrobia ulvae* ou *Corophium arenarium* voient la densité de leurs populations augmenter d'une manière considérable. On peut donc en conclure qu'en 1998 l'influence de l'Aa se fait encore sentir intensément dans la partie ouest de l'estran.

7.3.2. Cas des Spionidiens

Le principe de la séparation spatiale des populations de *Spio martinensis* et de *Pygospio elegans* qui avait été très marquée jusqu'en 1995 a été remis en cause en 1996 du fait de la complète disparition de *Spio martinensis*. En 1997, la situation semblait être redevenue normale, avec séparation parfaite des deux populations, bien que les densités de *Spio martinensis* soient encore faibles et que cette espèce ait été récoltée en bas niveau de la radiale Est.

Densité/m ²		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<i>Spio martinensis</i>	E	52	92	12	836	8	348	0	76	8
	F	192	8	12	938	4	692	0	196	36
	I	0	0	0	0	0	0	0	0	186
	J	0	0	0	0	0	0	0	60	4
<i>Pygospio elegans</i>	E	0	0	0	0	0	0	32	0	0
	F	0	144	0	0	0	0	672	0	0
	I	208	148	424	1404	32	772	64	1144	0
	J	60	0	0	4	0	0	4	0	0

En 1998, la situation est à nouveau complètement bouleversée. *Pygospio elegans* disparaît complètement de l'estran de Petit Fort Philippe, alors que *Spio martinensis* colonise entièrement l'estran. Il est remarquable d'ailleurs que les densités les plus fortes aient été trouvées à la station I qui est la station la plus directement influencée par le rejet de la centrale.

Stations K et L

Depuis plusieurs années les peuplements établis à ces stations sont d'une très grande stabilité. Ils sont caractérisés par des cortèges spécifiques typiques des niveaux inférieurs des estrans de la région, dominés par *Haustorius arenarius*, *Nephtys cirrosa* et *Portumnus latipes*.

En 1998, il se produit à ces stations un phénomène analogue à celui que nous avons mis en évidence sur la partie Ouest de l'estran : une importante augmentation de la diversité et de la densité globale des peuplements, bien que certaines espèces caractéristiques des niveaux supérieurs (*Ophelia rathkei*) aient été récoltées en épave. Il en résulte également une augmentation légère de la biomasse.

Ainsi, 14 espèces ont été récoltées en 1998 contre 10 en 1997, elle représentaient un total de 300 individus contre 104 en 1997. La biomasse passe de 0,6 à 1,0 g/m². Les espèces dominantes sont *Nerine cirratulus* à la station K et *Nephtys cirrosa* à la station L. La récolte de *Nerine cirratulus* en densité relativement forte (156 /m²) confirme les résultats enregistrés à la station J, la population de *Nerine cirratulus* semble s'être déplacée vers les niveaux inférieurs de l'estran.

Nephtys cirrosa est toujours l'espèce dominante à la station L. Enfin, il faut noter la récolte pour la première fois depuis de très nombreuses années de *Donax vittatus*. Le retour de cette espèce est confirmé par plusieurs récoltes à la station C en milieu subtidal.

Conclusion

La campagne 1998 a permis de mettre en évidence un retour des peuplements benthiques aux niveaux marégraphiques auxquels on les rencontre classiquement sur les estrans de la région. Les populations de *Corophium arenarium* et de *Hydrobia ulvae* semblent s'être reconstituées dans les hauts niveaux à l'inverse de la population de *Pygospio elegans* qui disparaît complètement. La diversité spécifique augmente dans les niveaux inférieurs tout comme dans les bas niveaux de la radiale 1.

7.3. CONCLUSION SUR L'EVOLUTION DE L'ESTRAN

7.3.1. Cas de la partie Ouest

Les peuplements typiquement estuariens ont disparu de la partie ouest de l'estran dès la mise en service de la centrale. La disparition de la dune hydraulique a entraîné le lessivage des fines, mais l'influence de la

Espèce	Stations I		J		K		L	
	Nb.	Biom.	Nb.	Biom.	Nb.	Biom.	Nb.	Biom.
<i>Némertes</i>					6	3,0		
<i>Oligochètes</i>	26	0,5						
<i>Eteone longa</i>	13	11,6	1	0,5				
<i>Nephtys cirrosa</i>							13	68,9
<i>Nerine cirratulus</i>					39	165,9		
<i>Spio martinensis</i>	46	2,4	1				3	0,3
<i>Ophelia rathkei</i>					1	0,5		
<i>Lanice conchilega</i>					1	0,7		
<i>Hydrobia ulvae</i>	367	76,7						
<i>Donax vittatus</i>							1	4,4
<i>Eurydice affinis</i>		.	9	11,1				
<i>Eurydice pulchra</i>	5	2,3	8	8,5	1	1,2	2	1,6
<i>Corophium arenarium</i>	1751	976,8	33	14,9				
<i>Pontocrates altamarinus</i>							1	3,5
<i>Bathyporeia pelagica</i>					3	1,0	2	0,4
<i>Bathyporeia pilosa</i>	10	3,0						
<i>Bathyporeia sarsi</i>			230	50,5				
<i>Urothoe elegans</i>					1	0,3		
<i>Portunus latipes</i>							1	0,3
<i>Larves de Diptères</i>			1	1,5				
Total/m ²	8872	4293,2	1132	348	208	690,4	92	317,6

Tab 7.3. Radiale 2 : Résultats bruts par 0,25 m²

La population de *Pygospio elegans* a complètement disparu des hauts niveaux de la radiale est. Elle était certes soumise depuis plusieurs années à d'importantes fluctuations, mais l'espèce demeurait toujours présente. L'évolution simultanée des populations d'*Hydrobia ulvae*, de *Corophium arenarium* et de *Pygospio elegans* semble montrer une influence moins forte du rejet de la centrale en 1998.

En conséquence, la densité et la biomasse globales augmentent fortement à cette station en 1998 : 1,7 g/m² en 1997 contre 4,3g/m² en 1998. Cette biomasse est la plus forte enregistrée depuis le début des études à cette station.

Station J

Cette station est située à proximité immédiate du complexe de dunes et de bâches situé à mi-estran. Cette station est depuis maintenant plusieurs années le siège d'un lent phénomène d'érosion qui élimine du sédiment les particules fines. Cette érosion a pour conséquence de faire évoluer le peuplement installé à cette station vers des aspects caractéristiques de moyens niveaux inférieurs. Cette évolution semblait s'être inversée en 1997, le cortège spécifique devenant proche de ce que l'on peut trouver classiquement sur ce type d'estran dans les niveaux supérieurs.

En 1998, le peuplement se trouve dans un état intermédiaire avec la présence d'espèces caractéristiques des hauts niveaux (*Eurydice affinis*) et la présence d'espèces à affinité "moyen niveau inférieur" (*Bathyporeia sarsi*). Il est à noter d'ailleurs que cette espèce remplace cette année une espèce voisine (*Bathyporeia pilosa*) qui elle est caractéristique des hauts niveaux.

Les résultats enregistrés en 1998 tant au niveau de la densité globale de la population qu'au niveau de la biomasse globale sont très semblables à ceux qui ont été enregistrés en 1997 : 1356 /m² en 1997 à 1132 /m² en 1998 0,5g/m² en 1997 contre 0,3g/m² en 1998.

Densité/m ²	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<i>Nerine cirratulus</i>	36	32	88	68	96	76	4	0
<i>Eurydice affinis</i>	0	140	240	16	68	0	188	36
<i>Eurydice pulchra</i>	0	16	0	236	308	120	20	32
<i>Bathyporeia pilosa</i>	0	156	76	0	0	0	988	0

L'ensemble des modifications bionomiques ne semble donc pas altérer profondément la productivité du peuplement établi à la station J.

Radiale 1 : Conclusions

Les résultats enregistrés en 1998 ne remettent pas en cause la structuration des peuplements telle qu'elle est décrite depuis maintenant plusieurs années. La partie Ouest reste sous l'influence de la dessalure provoquée par l'Aa. Les conditions environnementales semblent avoir été favorables à plusieurs espèces dont les populations se sont développées de manière spectaculaire : *Hydrobia ulvae* et *Cerastoderma edule*. Il semble que la population de *Spio martinensis* ait régressé d'une manière importante sur la totalité de la partie ouest de l'estran.

Les biomasses des différentes stations (hormis celle de la station F) ont plus ou moins augmenté du fait de modifications bionomiques expliquées ci-dessus.

Radiale 2

Station I

Depuis maintenant plusieurs années cette station est le reflet du résultat des actions combinées des trois facteurs écologiques principaux (dessalure, température et courants), qui régissent la répartition des communautés benthiques de l'estran de Petit Fort Philippe.

Les peuplements benthiques établis à cette station sont rendus instables par la proximité du rejet de la centrale. On peut aussi y noter une forte influence des eaux douces de ruissellement.

L'étude 1998 fait apparaître deux faits marquants. La population de *Hydrobia ulvae* progresse fortement et revient au niveau de ce que l'on trouvait en 1995 et 1996. Elle passe de 204/m² en 1997 à 1468/m² en 1998, c'est la plus forte densité enregistrée depuis plus de 10 ans sur le site à cette station. La population de *Corophium arenarium* qui était remarquablement stable depuis 1994 progresse d'une manière considérable de 1508/m² en 1997 à 7004/m² en 1998 niveau jamais atteint à cette station.

Densité/m ²	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<i>Enchytraeidae</i>	8	20	0	0	16	4	212	104
<i>Pygospio elegans</i>	148	424	1404	32	132	64	1144	0
<i>Hydrobia ulvae</i>	0	620	116	1216	1380	840	204	1468
<i>Corophium arenarium</i>	624	3772	6184	956	1232	1604	1508	7004
<i>Bathyporeia pilosa</i>	100	60	684	64	128	0	4	40
<i>Eurydice affinis</i>	0	20	236	448	436	24	36	0

Espèces	Stations E		F		G		H	
	Nb.	Biom.	Nb.	Biom.	Nb.	Biom.	Nb.	Biom.
<i>Némertes</i>	3	1,9	4	0,6	7	9,4		
<i>Eteone longa</i>			3	0,5				
<i>Hediste diversicolor</i>			14	566,0				
<i>Nephtys cirrosa</i>					2	26,2	8	128,6
<i>Nerine cirratulus</i>	17	85,4	10	8,1				
<i>Spio martinensis</i>	2	1,4	9	0,3	6	0,7		
<i>Ophelia rathkei</i>			147	89,9	1	0,2		
<i>Lanice conchilega</i>					1	1,0		
<i>Arenicola marina</i>			4	667,1				
<i>Hydrobia ulvae</i>	4396	4648,3	2294	1280,9				
<i>Cerastoderma edule</i>			200	6596,2	2	52,9		
<i>Macoma balthica</i>			42	437,4	2	5,5		
<i>Eurydice affinis</i>	12	93,5					1	3,8
<i>Eurydice pulchra</i>							7	15,1
<i>Corophium arenarium</i>	10	4,7					1	0,4
<i>Bathyporeia pelagica</i>					10	4,1	2	0,7
<i>Bathyporeia pilosa</i>	4	0,8						
<i>Bathyporeia sarsi</i>					1	0,4		
<i>Crangon crangon</i>							1	2,1
<i>Portunus latipes</i>							1	19,8
Total/m ²	17776	19344,0	10908	38588,0	128	401,6	84	682,0

Tab 7.2. Radiale 1 : Résultats bruts par 0,25 m²

La population de *Spio martinensis* régresse comme à la station E, elle passe de 192/m² en 1997 à 36/m² en 1998. Les espèces affectionnant les eaux saumâtres restent remarquablement stables : *Hediste diversicolor* de 68/m² en 1997 à 56/m² en 1998 et *Ophelia rathkei* de 460/m² en 1997 à 588/m² en 1998.

La population de *Nerine cirratulus* reste à un niveau équivalent à celui de 1997. Mais le phénomène le plus important reste l'explosion de la population de *Hydrobia ulvae* qui passe de 56/m² en 1997 à 9176/m² en 1998. Ce résultat confirme celui qui a été enregistré à la station E ; *Hydrobia ulvae* semble avoir bénéficié en 1998 d'un excellent recrutement sur la partie ouest de l'estran. Il est à noter que les individus récoltés à la station F sont d'une taille plus petite que ceux qui ont été récoltés à la station E.

Ces fortes augmentations des densités de populations d'espèces auraient pu laisser présager une forte augmentation de la biomasse. Cependant du fait de la structure démographique des populations échantillonnées (les populations de *Hydrobia ulvae*, de *Cerastoderma edule* et de *Macoma balthica* sont constituées majoritairement de jeunes individus), la biomasse est moins importante qu'en 1997 : 52,4 g/m² en 1997 contre 38,6 g/m² en 1998. Néanmoins la biomasse enregistrée à la station F en 1998 arrive au troisième rang des biomasses enregistrées sur l'estran de Gravelines.

Stations G et H

Ces stations sont caractérisées depuis plusieurs années par une très grande stabilité et une diversité spécifique relativement faible (6 espèces récoltées en 1997 sur les deux stations). Cette année il semblerait que la diversité ait fortement augmenté : 14 espèces sur les deux stations. Mais on s'aperçoit que plusieurs espèces de haut niveau y ont été récoltées (*Corophium arenarium*, *Eurydice affinis*) et que l'aire d'extension des populations de *Cerastoderma edule* et de *Macoma balthica* semble s'étendre en 1998 aux moyens niveaux inférieurs. Ces stations demeurent dominées par *Nephtys cirrosa*, par *Portunus latipes* et par *Bathyporeia pelagica*. La biomasse demeure faible, voisine de 0,5g/m².

Parallèlement à cela, la densité de la population de *Nerine cirratulus* augmente : $+64/m^2$. Il résulte de ces variations de densité de population une très forte augmentation de la biomasse qui passe de 2,2 à $19,3 g/m^2$. On note également une disparition quasi complète de *Spio martinensis*, nous reviendrons sur le cas de cette espèce dans un prochain paragraphe.

Densité/ m^2	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<i>Hydrobia ulvae</i>	4060	10172	11304	12028	10488	5772	17584
<i>Spio martinensis</i>	12	836	8	348	0	76	8
<i>Pygospio elegans</i>	0	0	0	0	32	160	0
<i>Eurydice affinis</i>	496	244	100	76	12	160	48
<i>Corophium arenarium</i>	180	1808	3168	2830	24	200	40

Station F

C'est à cette station que les plus fortes variations ont pu être enregistrées depuis le début des études. Ces variations concernent à la fois la composition faunistique des peuplements, la densité des espèces récoltées et aussi la biomasse. Ces évolutions sont surtout liées aux populations de mollusques bivalves (*Macoma balthica* et *Cerastoderma edule*) mais aussi aux influences plus ou moins grandes de la dessalure causée par l'Aa.

Les résultats enregistrés en 1998 à la station F confirment le bon recrutement de *Cerastoderma edule* en 1997. Le recrutement de 1998 a lui aussi été excellent. La densité de la population de cette espèce progresse fortement, elle passe de $52/m^2$ en 1997 à $800/m^2$ en 1998. Parallèlement la densité de la population de *Macoma balthica* régresse d'une manière importante, mais demeure quand même très élevée.

Densité/ m^2	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<i>Hediste diversicolor</i>	12	0	12	4	40	8	68	56
<i>Spio martinensis</i>	8	12	968	4	692	0	192	36
<i>Pygospio elegans</i>	144	0	0	0	0	672	2	0
<i>Ophelia rathkei</i>	28	0	16	324	184	1576	460	588
<i>Hydrobia ulvae</i>	0	8	20	0	0	12	56	9176
<i>Cerastoderma edule</i>	64	8	0	0	0	12	52	800
<i>Macoma balthica</i>	8	0	4	40	20	40	648	168
<i>Corophium arenarium</i>	60	0	4	24	100	0	0	0

7.3.2. Résultats globaux

(Figures 7-1 & 2, tableaux 7-1 à 7-4)

Radiale 1

On ne note pas en 1998 d'évolution du complexe de dunes et de bâches. Il a atteint depuis plusieurs années son extension maximale et n'a pas évolué suite aux travaux de construction des nouvelles jetées de l'Aa. La transformation de l'ancienne dune hydraulique en un complexe de dunes et de bâches moins haut mais plus large ne procure plus d'abri vis-à-vis de la houle aux niveaux supérieurs de l'estran.

Station E

Les placages de vase ont disparu depuis plusieurs années. Néanmoins le sédiment reste toujours relativement envasé (de 0,9 à 8 % du poids du sédiment). La teneur en pélites du sédiment à la station E mesurée en 1998 est dans la moyenne de ce que l'on trouve habituellement à cette station (4,6 %). On note toutefois un fort affinement du sédiment par rapport à 1997, la teneur en pélites était très faible au cours de cette campagne 1997 (0,04 %). Cet affinement se ressent également au niveau des catégories de sables. Si les sables grossiers restent dominants (50,8 %) leur teneur régresse par rapport à 1997 tandis que la teneur en sables moyens progresse (38,28 %). Il s'agit donc bien là d'un affinement généralisé du sédiment à cette station en 1998. La proportion de sédiment fin est très importante (93,2 %).

% pondéraux	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Pélites	7,73	2,96	1,27	2,51	2,34	0,99	2,76	0,04	4,58
Sable fin	19,72	20,61	7,60	18,39	25,59	25,46	27,11	31,61	38,28
Sable moyen	71,06	70,75	80,95	73,36	68,43	61,08	67,55	64,72	50,33

On note en 1998 une très forte évolution des peuplements des hauts niveaux. Le peuplement est dominé par *Hydrobia ulvae* qui représente 98,9 % des individus récoltés. La densité de la population passe donc de 5772 /m² en 1997 à 17584 en 1998. Cette espèce explique en grande partie la forte augmentation de la densité globale de l'estran de Gravelines. La population de *Corophium arenarium* qui semblait se rétablir en 1997 décroît à nouveau, de même que celle des autres petits crustacés amphipodes (*Bathyporeia pilosa*, 16/m²) et isopodes (*Eurydice affinis*, 48/m²).

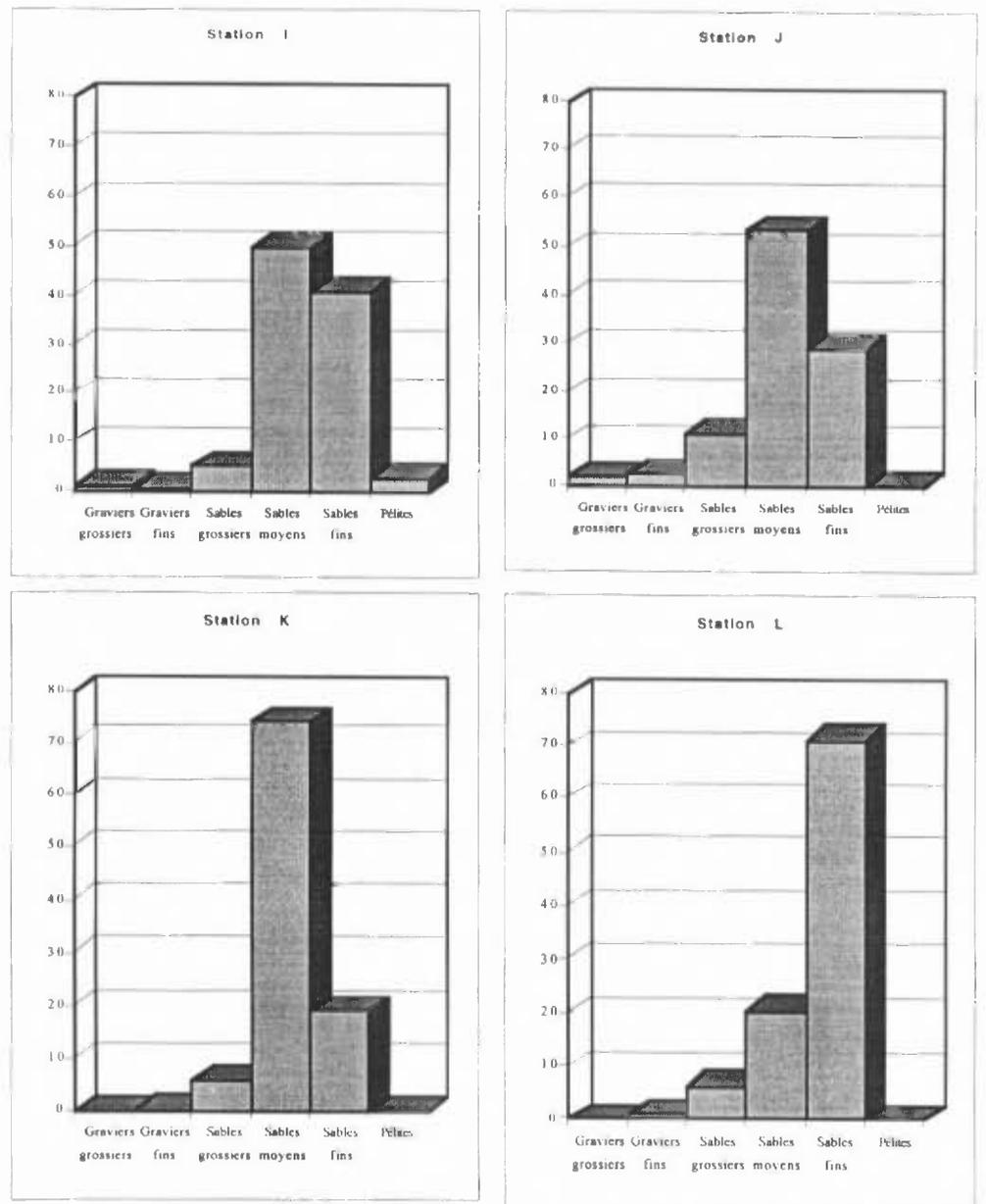


Fig.7.2. Radiale 2, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

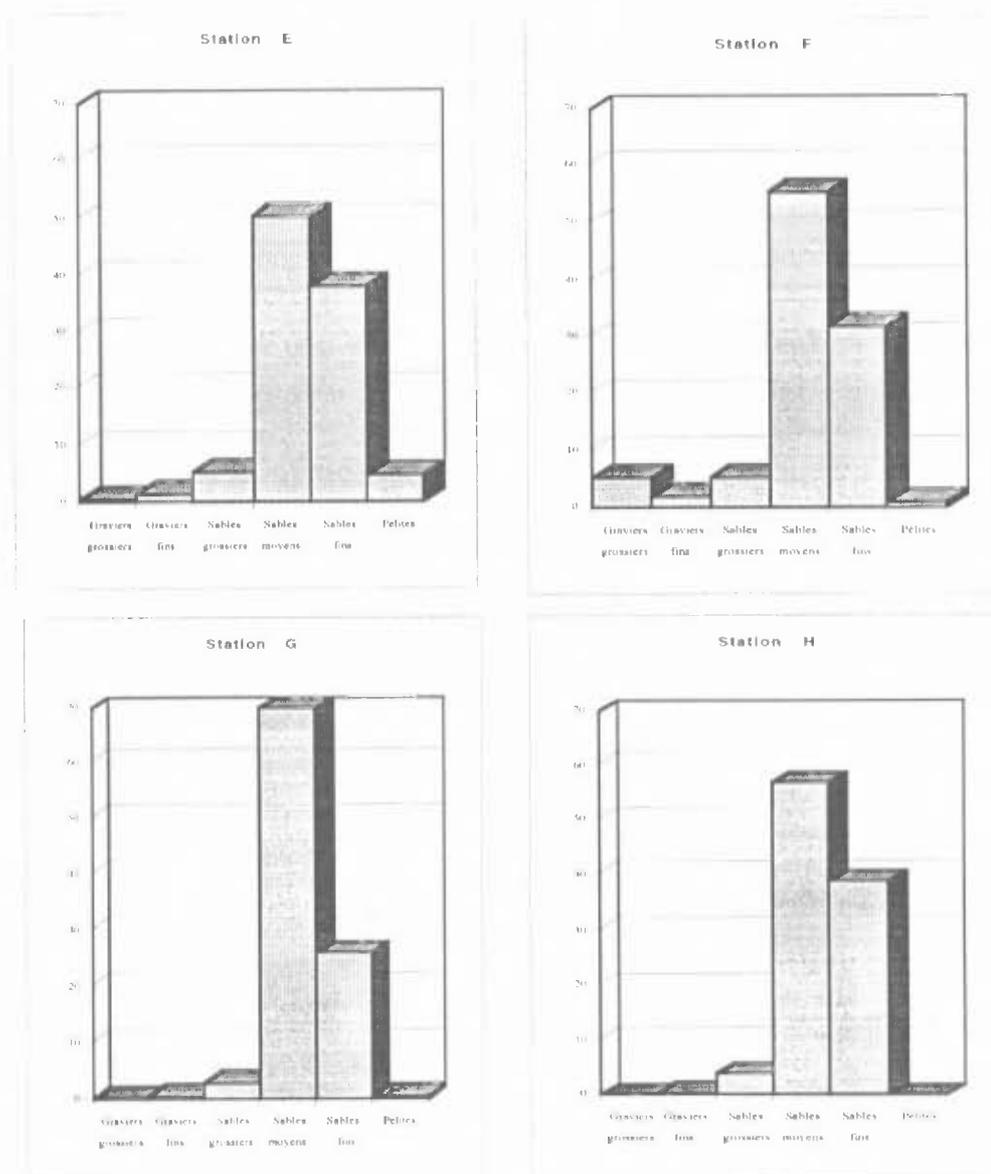


Fig.7.1. Radiale I, caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

7.3. RESULTATS

7.3.1.Composition bionomique

Au cours de cette étude 25 taxons ont été récoltés sur les deux radiales. Ils se répartissent comme suit :

- 1 Némerte
- 1 Annélide Oligochète
- 8 Annélides Polychètes
 - 3 errantes
 - 5 sédentaires
- 4 Mollusques
 - 1 Gastéropode
 - 3 Bivalves
- 10 Crustacés
 - 2 Isopodes
 - 6 Amphipodes
 - 2 Décapodes
- 1 Insecte

Ces 25 taxons correspondent à 9800 individus récoltés : 7224 sur la radiale 1 et 2576 sur la radiale 2. Ces résultats sont largement supérieurs à ceux qui ont été enregistrés en 1997. On note une augmentation de la densité globale de 6166 individus, soit presque deux fois la densité globale de 1997. Cette augmentation de la densité des populations est nette sur les deux radiales bien qu'elle soit beaucoup plus forte sur la radiale 1. Cette augmentation de la densité globale est due à la conjonction de plusieurs variations de populations.

radiale 1	station E	station F	station G	station H
Graviers grossiers	0,26	5,14	0,00	0,00
Graviers fins	1,37	1,71	0,12	0,23
Sables grossiers	5,20	4,99	2,50	3,95
Sables moyens	50,33	55,38	71,46	56,90
Sables fins	38,28	31,85	25,88	38,86
Pélites	4,57	0,92	0,04	0,07

radiale 2	station I	station J	station K	station L
Graviers grossiers	1,30	2,29	0,27	0,08
Graviers fins	0,60	2,77	0,33	1,07
Sables grossiers	5,06	11,71	6,06	6,67
Sables moyens	50,19	53,66	74,13	20,85
Sables fins	41,04	29,23	19,20	71,21
Pélites	2,78	0,34	0,02	0,12

Tab. 7.1. Caractéristiques granulométriques du sédiment (% pondéraux)

7.1. INTRODUCTION

Les études annuelles menées depuis 1973 sur l'estran de Petit Fort Philippe ont permis d'avoir une parfaite connaissance des facteurs qui déterminent l'organisation, la répartition et l'évolution des communautés benthiques intertidales. Elles sont sous l'influence directe de deux principaux facteurs environnementaux : la salinité et la teneur en fines du sédiment. Depuis 1985, on note le rôle important que joue un troisième facteur, l'impact thermique de la centrale. Cet impact est particulièrement évident sur deux populations d'annélides polychètes de la famille des Spionidiens : *Spio martinensis* et *Pygospio elegans*. Ces deux populations se répartissent sur l'estran en fonction de leur préférence thermique différent.

Les évolutions respectives de ces trois facteurs permettent de décrire dans une large mesure l'ensemble des variations bionomiques que l'on peut mettre en évidence sur l'estran de Gravelines. Ces altérations sont particulièrement évidentes au niveau des populations de la partie supérieure de l'estran et notamment de celles du peuplement des espèces vasicoles et d'eaux saumâtres. Les niveaux inférieurs de l'estran sont caractérisés depuis plusieurs années par une grande stabilité bionomique qui ne peut être remise en cause temporairement que par la résonance dans les bas niveaux des phénomènes (en général liés au recrutement) qui se déroulent dans le milieu subtidal proche. Ces phénomènes sont toujours indépendants du fonctionnement de la centrale.

7.2. METHODOLOGIE

La stratégie d'échantillonnage reste inchangée en 1998 par rapport aux années précédentes, les deux radiales ont été échantillonnées sur 4 niveaux le 10 juillet 1998.

Depuis 1996, la méthode de détermination de la biomasse a changé. Nous utilisons désormais la méthode du poids sec sans cendres (PSSC) en lieu et place de la méthode du poids sec décalcifié (PSD). Les résultats d'inter-comparaison entre les pesées effectuées selon les deux méthodes ont montré que la méthode du PSD sous-évaluait la biomasse, sans doute par destruction ou le lessivage d'une partie de la matière organique lors des opérations de traitement. Le PSSC, quant à lui, nous permet d'éviter ce problème, ce qui permet d'obtenir une biomasse plus proche de la réalité, si l'on ne tient pas compte des pertes dues aux récoltes d'animaux brisés.

La technique du PSSC utilisée est la suivante :

- séchage à 60°C pendant 72 heures, première pesée pour déterminer le poids sec, passage au four à 520°C pendant 6 h, puis pesée des cendres. Le PSSC est la différence entre les deux pesées.

7 LE DOMAINE BENTHIQUE INTERTIDAL

Jean-Marie DEWARUMÉZ

Dominique MENU

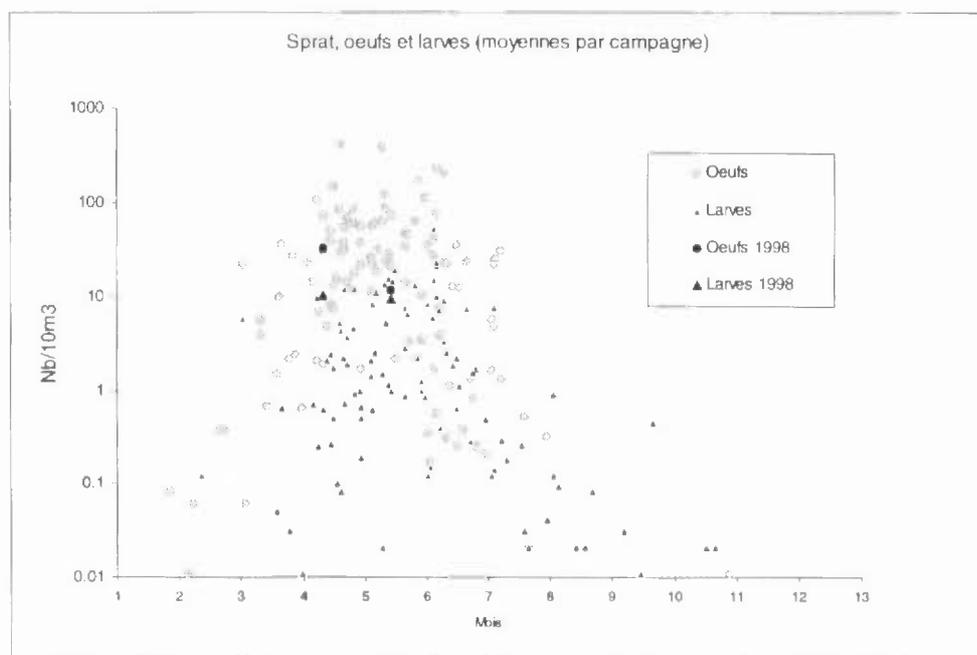


Fig. 6.10. Effectifs saisonniers des œufs et larves de sprat à Gravelines de 1975 à 1998

6.4. ÉLÉMENTS DE CONCLUSION

L'année 1998 se présente comme une année précoce du point de vue de la reproduction du sprat et de la sole. Le décalage est plus marqué encore qu'en 1997 en liaison avec des températures relativement importantes pour la saison. Des températures proches de 10°C sont atteintes dès avril alors qu'en moyenne on ne les observe qu'à partir de début mai, voire mi-mai. L'ensemble du cycle thermique semble avancé d'un mois environ, entraînant un décalage du même ordre des cycles de ponte.

On retrouve, pour les deux espèces, des densités d'œufs se situant dans la moyenne du site. Depuis 1995, leurs variations annuelles sont comparables. Les larves présentent depuis 1994 des effectifs réguliers, plus élevés que ceux habituellement observés au cours des années précédentes. Ce phénomène est particulièrement marqué pour le sprat. Les cycles annuels de température, avec un réchauffement printanier précoce mais régulier, semblent favorables au recrutement des larves. L'abondance de celles-ci est déterminée davantage par leur taux de survie, plus important vers fin mai-début juin, lorsque la température et la nourriture disponible (sous ses aspects quantitatifs et qualitatifs), sont favorables.

Les structures spatiales sont également bien reproductibles, notamment pour les œufs avec un gradient global côte-large et des effectifs souvent plus importants au point médian.

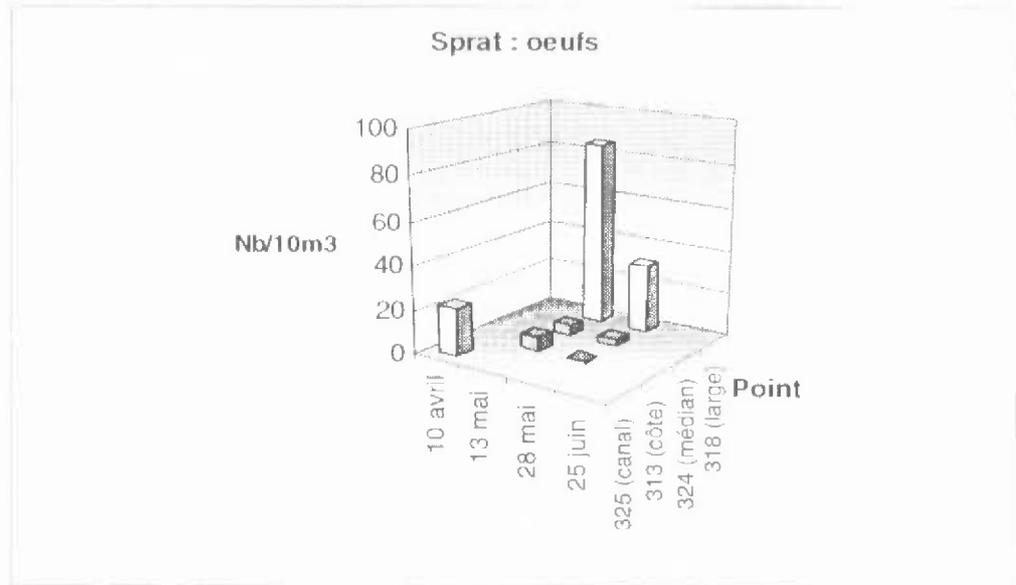


Fig. 6.8. Densités d'œufs de sprat à Gravelines en 1998 en fonction de la date et du point de prélèvement

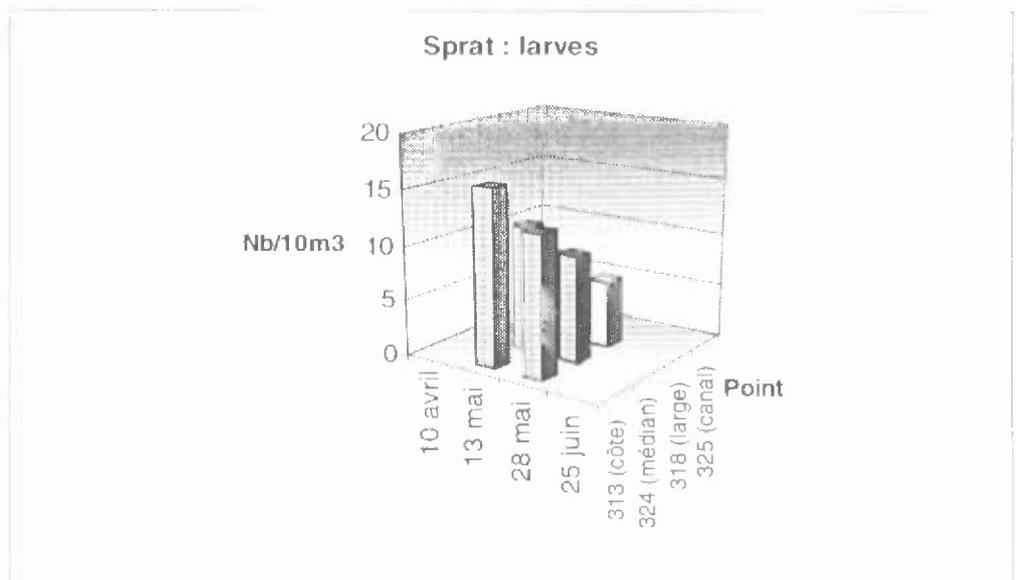


Fig. 6.9. Densités de larves de sprat à Gravelines en 1998 en fonction de la date et du point de prélèvement

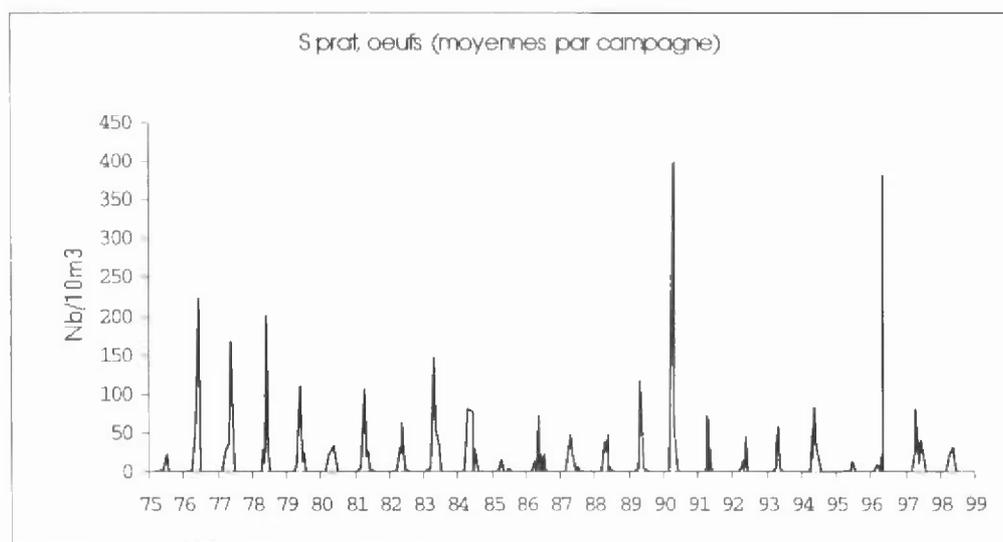


Fig. 6.6. Variations annuelles des densités d'œufs de sprat à Gravelines de 1975 à 1998

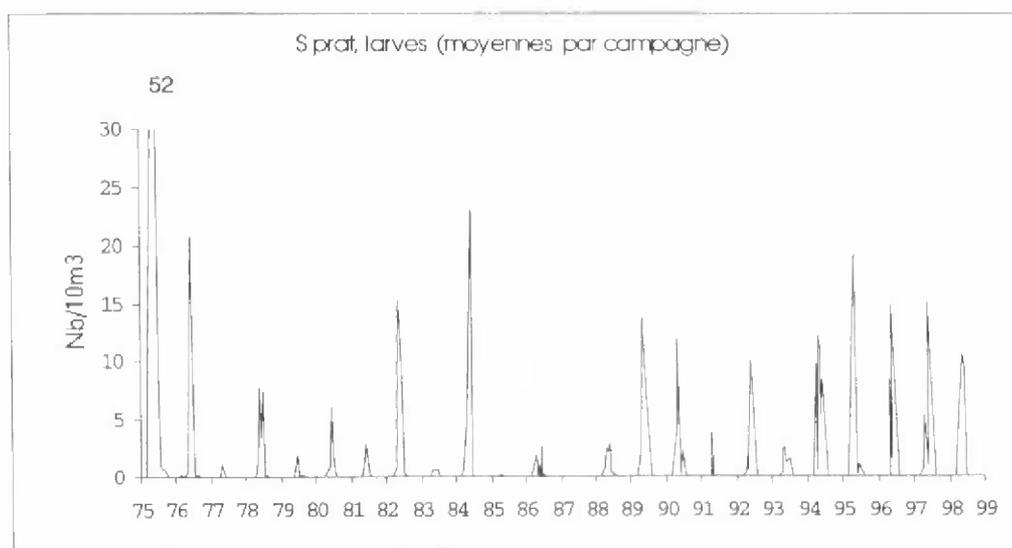


Fig. 6.7. Variations annuelles des densités de larves de sprat à Gravelines de 1975 à 1998

6.3.2 Le sprat *Sprattus sprattus* (L.) (tableau 6.3 et figures 6.6 à 6.10)

Cette espèce pélagique, bien que n'étant pas exploitée à Gravelines, est bien représentée dans le plancton du secteur. La reproductibilité des cycles d'abondance en fait une espèce caractéristique du site.

Œufs

Les effectifs sont nettement moins élevés que lors du pic de 1996 (fig. 6.6) mais, comme en 1997, des abondances importantes sont observées dès avril (fig. 6.10 et tabl. 6.3), suggérant pour cette espèce également une période de ponte précoce, bien que le maximum soit plus tardif que pour la sole. On observe un gradient vers le large (fig. 6.8), plus net qu'en 1997.

Larves

Les effectifs sont constants mais moins élevés qu'en 1997. Les larves sont trouvées dès avril à des densités situées autour de 10 par 10 m³. Depuis 1994, les effectifs sont importants (fig. 6.7). Les larves présentent un gradient d'abondance régulier vers la côte (fig. 6.9).

Date	Point	Replicat	Total œufs	Œufs stade 1	Œufs stade 2	Larves	
10 avril	325	1	10,41	3,12	7,28	3,12	
		2	33,30	9,99	23,31	8,56	
		Moyenne	21,86	6,56	15,30	5,84	
13 mai	313	1	8,80	0,80	8,00	12,40	
		2	3,43	0,00	3,43	19,41	
		Moyenne	6,12	0,40	5,72	15,91	
	324	1	7,54	0,94	6,60	15,71	
		2	1,77	0,44	1,33	7,37	
		Moyenne	4,66	0,69	3,97	11,54	
	318	1	120,20	42,65	77,55	4,12	
		2	49,57	12,02	37,56	3,76	
		Moyenne	84,89	27,34	57,56	3,94	
28 mai	313	1	0,51	0,00	0,51	4,58	
		2	0,56	0,19	0,37	20,91	
		Moyenne	0,54	0,10	0,44	12,75	
	324	1	4,52	1,13	3,39	9,41	
		2	1,12	0,34	0,79	9,89	
		Moyenne	2,82	0,74	2,09	9,65	
	318	1	31,60	20,51	11,09	6,10	
	25 juin	325		0,00	0,00	0,00	0,00

Tabl. 6.3. Densités d'œufs et de larves de sprat à Gravelines en 1998 (en nombre par 10 m³)

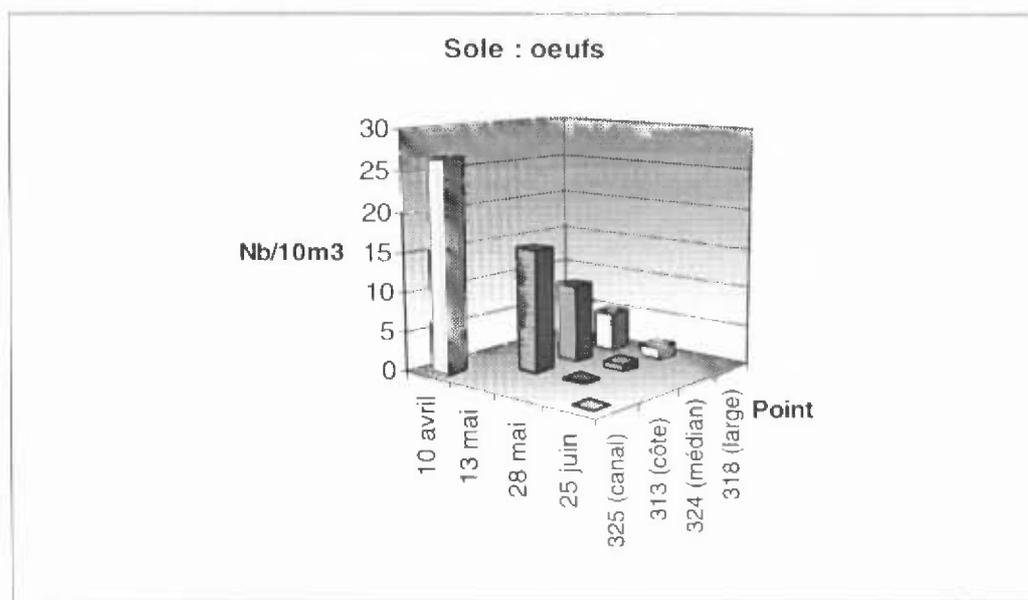


Fig. 6.4. Densités d'œufs de sole à Gravelines en 1998 en fonction de la date et du point de prélèvement

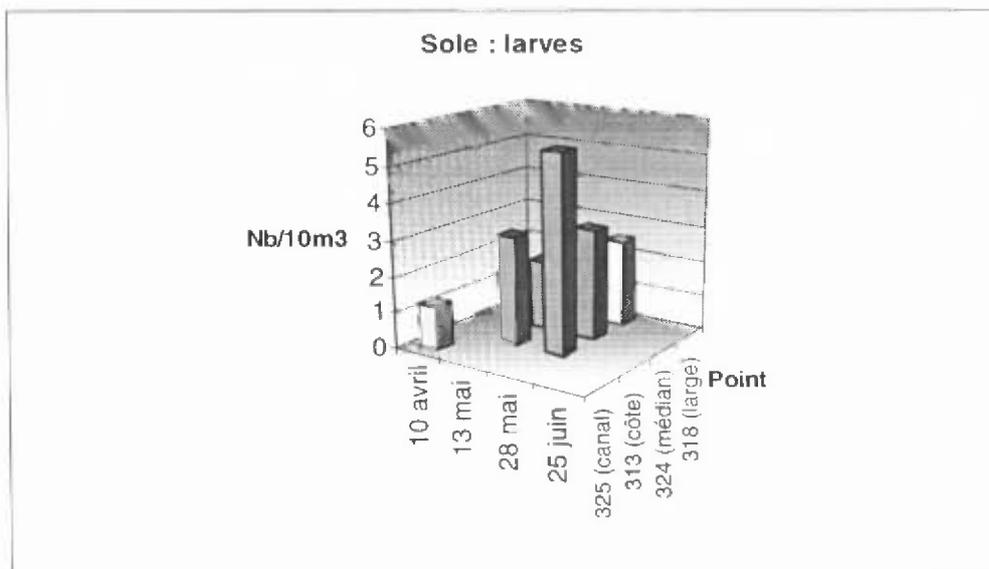


Fig. 6.5. Densités de larves de sole à Gravelines en 1998 en fonction de la date et du point de prélèvement

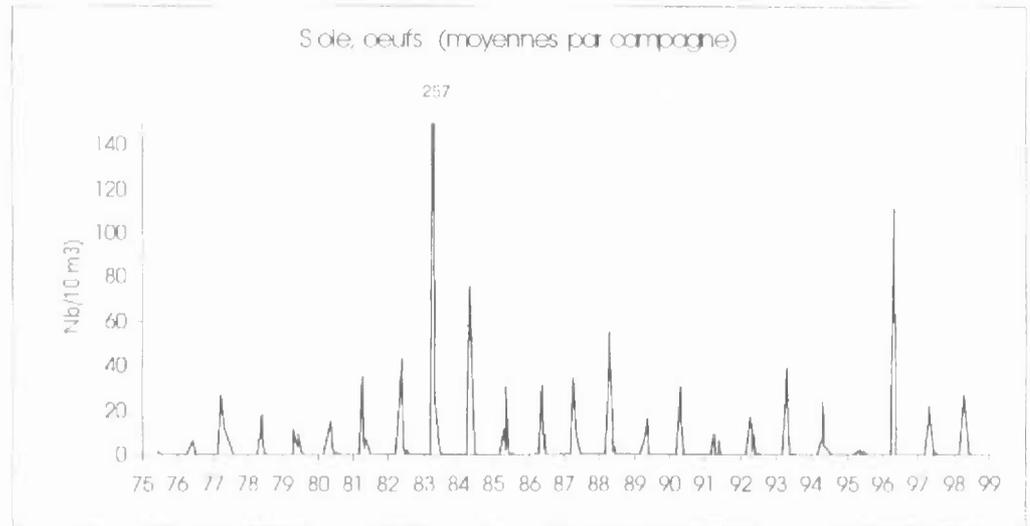


Fig. 6.2. Variations annuelles des densités d'œufs de sole à Gravelines de 1975 à 1998

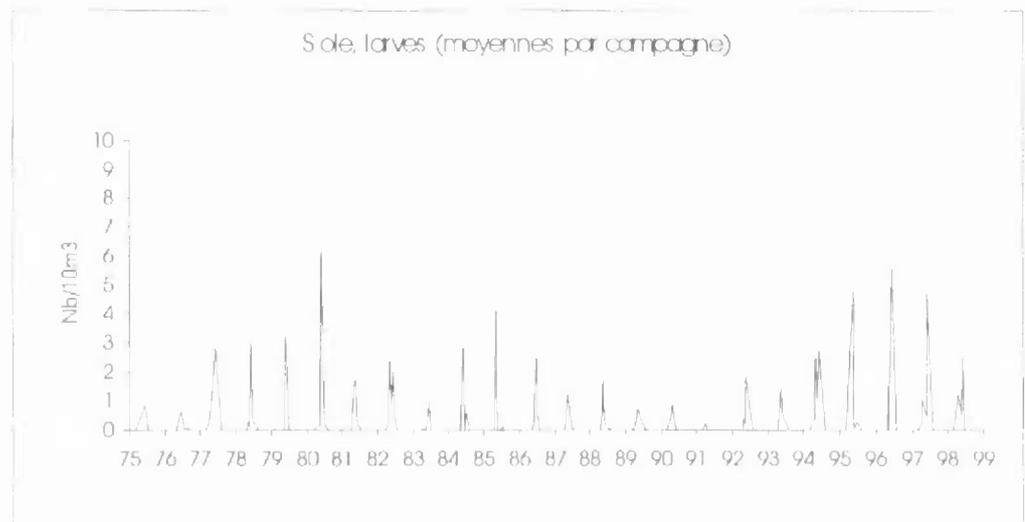


Fig. 6.3. Variations annuelles des densités de larves de sole à Gravelines de 1975 à 1998

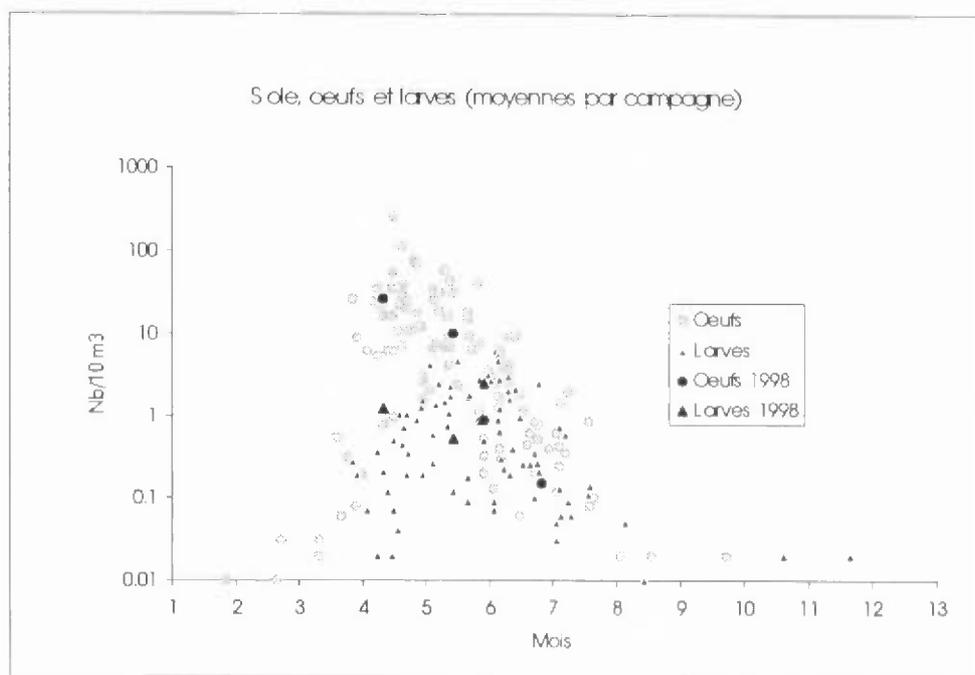


Fig. 6.1. Effectifs saisonniers des œufs et larves de sole à Gravelines de 1975 à 1998

Date	Point	Replicat	Total œufs	Œufs stage 1	Œufs stage 2	Larves
10 avril	325	1	16,65	10,93	5,72	0,52
		2	36,63	21,41	15,22	1,90
		Moyenne	26,64	16,17	10,47	1,21
13 mai	313	1	21,61	6,40	15,20	3,20
		2	9,42	3,14	6,28	2,85
		Moyenne	15,52	4,77	10,74	3,03
	324	1	15,71	7,22	8,48	2,51
		2	4,13	1,47	2,65	1,47
		Moyenne	9,92	4,35	5,57	1,99
318	1	3,88	0,00	3,88	0,85	
	2	6,01	4,51	1,50	0,19	
	Moyenne	4,95	2,26	2,69	0,52	
28 mai	313	1	0,38	0,38	0,00	2,03
		2	0,19	0,00	0,19	8,96
		Moyenne	0,29	0,19	0,10	5,50
	324	1	1,51	1,13	0,38	4,33
		2	0,22	0,11	0,11	1,91
		Moyenne	0,87	0,62	0,25	3,12
318	1	1,54	0,59	0,95	1,80	
25 juin	325	2	0,15	0,15	0,00	0,00

Tabl. 6.2. Densités d'œufs et de larves de sole à Gravelines en 1998 (en nombre par 10 m³)

6.3. RÉSULTATS

6.3.1 La sole *Solea vulgaris* Quensel (tableau 6.2) et figures 6.1 à 6.5)

La sole constitue la principale espèce halieutique du secteur. Le site étant inclus dans l'aire de reproduction, à proximité du barycentre de la grande frayère de mer du Nord, les œufs et larves de sole forment un élément caractéristique du plancton de Gravelines et les cycles annuels d'abondance sont reproductibles.

Œufs

Après des densités élevées observées en 1996, lesquelles étaient de l'ordre de grandeur de celles relevées au cours des années 1983 et 1984 (fig. 6.2), les effectifs de 1998, comme ceux de 1997 se situent à nouveau dans la moyenne du site (environ 30 à 50 par 10 m^3). Néanmoins, observées dès la première quinzaine d'avril (fig. 6.1), ces densités sont l'indice, à l'instar de 1997, d'une année relativement précoce, comme l'attestent par ailleurs les températures supérieures à 10° qui normalement sont atteintes en mai et relevées dès le 10 avril. L'année 1998 semble d'ailleurs assez exceptionnelle puisqu'on enregistre des températures de près de 12° dès début mai et des températures de 14° lors de la campagne du 23 mai. Dès lors, il n'est pas surprenant d'observer des densités proches du maximum dès la première quinzaine d'avril. Le pic semble encore plus précoce qu'en 1997 puisque les densités décroissent au cours des campagnes ultérieures.

On retrouve des effectifs plus importants à l'entrée du canal d'aménée et un gradient d'abondance vers la côte à l'époque du maximum (fig. 6.4) : mais contrairement à 1997, ce dernier est très régulier. En fin de saison, le gradient d'abondance est inversé.

Larves

Comme en 1997, les larves apparaissent dès la première campagne d'avril, confirmant la précocité de la ponte. Comparé à celui des œufs, leur maximum d'abondance est décalé. Fin mai et en juin, on atteint les densités habituelles (quelques unités par 10 m^3). Le gradient d'abondance vers la côte est net (fig. 6.5).

6.2.2 Localisation des points de prélèvement

Les prélèvements ont été effectués en trois points situés en mer le long d'une radiale (313 : côte, 324 : médian, 318 : large) et un point (325) situé à l'entrée du canal d'amenée.

6.2.3 Chronologie

En 1998, quatre campagnes ont été menées (deux campagnes en mer et deux campagnes au canal d'amenée), dans l'intervalle allant du 10 avril au 25 juin, afin de couvrir au mieux la période de présence des œufs et larves de la sole et du sprat. Cette chronologie ainsi que les principales caractéristiques des campagnes figurent dans le tableau 6.1.

N° de campagne	Date	Heure Pleine mer (T.U.)	Coefficient de marée	Point	Température (°C)	Replicat	Heure du prélèvement t	Durée du traict (min)	Volume filtré (m ³)
195	10 avril	11 h 14	80	325	10,24	1	9 h 10	15	76,88
						2	9 h 34	5	42,04
196	13 mai	12 h 47	84	313	13,41	1	13 h 27	4	70,05
						2	13 h 35	3	99,98
				324	13,10	1	13 h 48	3	63,67
						2	13 h 55	3	135,74
				318	12,22	1	14 h 18	5	82,53
						2	14 h 27	5	106,51
197	28 mai	13 h 27	96	313	15,32	1	12 h 11	5	157,34
						2	12 h 20	5	107,15
				324	15,00	1	12 h 35	4	106,27
						2	12 h 42	5	178,00
				318	14,23	1	13 h 5	7	288,60
						2	13 h 16	7	158,41
198	25 juin	12 h 26	95	325	17,60	1	7 h 35	14	77,78
						2	7 h 54	15	131,94

Tabl. 6.1. Caractéristiques principales des campagnes de prélèvement de zooplancton halieutique sur le site de Gravelines en 1998

6.1. INTRODUCTION

Dans le domaine halieutique, l'étude écologique est centrée sur les principales espèces constituant les ressources vivantes du secteur et sa capacité biotique. Parallèlement, est réalisé le suivi de grandes espèces holoplanctoniques comme les "groseilles de mer" (*Pleurobrachia pileus*, Cténaire) représentant un danger potentiel de colmatage des grilles de filtration¹.

La centrale de Gravelines est située en bordure orientale de l'entonnoir formé par le bassin du sud de la mer du Nord, secteur de convergence de hauts-fonds, et présentant les caractéristiques d'une mer épicontinentale riche de nombreux apports telluriques. Le site s'inscrit dans une famille d'aires côtières de nutrition, frayères et nourriceries d'espèces halieutiques, en particulier pour les poissons plats. De ce point de vue, il est en continuité avec les côtes belges et hollandaises, à la frange méridionale d'une des plus importantes frayères de sole de mer du Nord, dont l'épicentre se situe à quelques dizaines de kilomètres au nord-est.

Depuis la réactualisation de programme de surveillance, l'étude est focalisée sur les stades planctoniques de deux espèces cibles choisies pour leur importance économique effective ou potentielle et la reproductibilité de leur présence dans le milieu : la *sole* et le *sprat*, toutes deux à ponte côtière et caractéristiques du site. Le choix de deux espèces d'écologie différente en phase adulte (la première est benthique, la seconde pélagique), outre leur intérêt direct, permet de mettre en évidence des processus généraux affectant le site.

6.2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le matériel et les méthodes de terrain et de laboratoire sont dérivés de ceux utilisés depuis le début des études et harmonisés pour l'ensemble des sites d'implantation de centrales nucléaires. Ils sont décrits en détail dans les précédents rapports.

6.2.1 Rappel succinct

Les prélèvements de plancton sont réalisés à l'échantillonneur *Bongo* grand modèle (61 cm de diamètre d'embouchure) muni de deux filets de maillage 500 µm pêchant simultanément (sauf pour le point 325 à l'entrée du canal d'amenée où l'armature ne comporte qu'un seul filet. Deux repliquats sont réalisés en chaque point.

¹ Depuis 1997, les résultats des prélèvements réalisés dans le cadre de l'étude halieutique sont regroupés avec ceux commentés dans la partie "Zooplancton".

6 ZOOPLANCTON HALIEUTIQUE

Daniel WOEHLING

Franck COPPIN

PLEUROBRACHIA							
Dates	mailles µm	POINT					
		Entrée 325	Rejet 327	Cote 323	Contrôle 324	Référence 302	Référence 318
13-nov-97	200	2					
23-déc-97	200	4					
09-janv-98	200	0					
10-févr-98	200	4					
17-mars-98	200	22	2		35	0	
10-avr-98	500	37.5					
22-avr-98	200	5					
13-mai-98	500			117	107		50
20-mai-98	200	43					
28-mai-98	500			47	43		2.4
04-juin-98	200	16					
25-juin-98	500	0.6					
01-juil-98	200	0					
19-août-98	200	0					
18-sept-98	200	0	0		0	0	
01-oct-98	200	0					
BEROE							
Dates	mailles µm	POINT					
		Entrée 325	Rejet 327	Cote 323	Contrôle 324	Référence 302	Référence 318
27-sept-97							
13-nov-97	200	2					
23-déc-97	200	0					
9-janv-98	200	0					
10-févr-98	200	0					
17-mars-98	200	0					
10-avr-98	500	0					
22-avr-98	200	0					
13-mai-98	500			0	0		0
20-mai-98	200	3					
28-mai-98	500			0.8	1.3		0
4-juin-98	200	1					
25-juin-98	500	0.5					
1-juil-98	200	2					
19-août-98	200	0					
18-sept-98	200	0					
1-oct-98	200	0					

Tab. 5.5 Surveillance au canal d'entrée – Abondance des Cténaïres

	Gravelines	Gravelines	Gravelines	Gravelines	Gravelines	Gravelines
n° Point	327	324	302	327	324	302
DATE	17/03/98	17/03/98	17/03/98	18/09/98	18/09/98	18/09/98
Volume filtré (m3)	4.1	4.3	10.9	2.5	6.2	10.5
Nature des résultats	N/10 m ³					
Isias clavipes	0	0	0	0	0	0
Candacia armata	0	0	0	0	0	0
Labidocera wollastonii	0	0	0	0	0	38
Parapontella brevicornis	0	0	0	0	0	0
Acartia clausi	1976	1628	3816	41	168	760
Acartia discaudata	0	0	0	0	0	0
Oithona sp.	0	0	0	0	0	0
Oncaea sp.	0	0	55	0	0	0
Euterpina acutifrons	145	186	166	2642	3657	3951
Corycaeus sp.	48	47	55	41	91	684
Harpacticoides	48	0	0	41	0	0
Cyclopoides indet.	0	0	0	81	621	4558
Cyclopina littoralis	0	0	0	0	0	190
Monstrilides	0	0	0	0	0	0
Nauplii copépodes	0	0	0	0	0	0
TOTAL COPEPODES	9398	17256	22230	3374	5741	13637
EUPHAUSIACES	0	0	0	0	0	0
Larves NATANTIA	0	2	0	8	34	70
Larves THALASSINIDEA	0	0	0	0	0	23
Larves de Porcellanidae	0	0	0	4	5	36
Larves de Paguridae	5	7	14	0	2	2
Larves de Diogeneidae	0	0	0	0	0	0
Larves de Galatheidae	0	0	0	0	0	2
TOTAL L. d' ANOMOURES	5	7	14	4	6	40
Zoe de Brachyours	12	56	135	4	6	15
Mégalopes de Brachyours	0	2	0	0	0	4
TOTAL L. de BRACHYOURES	12	58	135	4	6	19
Larves GASTEROPODES	0	0	0	122	65	152
Larves BIVALVES	145	186	0	0	39	152
TOTAL L. de MOLLUSQUES	145	186	0	122	104	304
Cyphonautes BRYOZOAIRES	0	47	0	0	104	190
Ophiopluteus d'Echinodermes	0	0	0	0	4919	69136
Echinopluteus d'Echinodermes	0	0	0	0	0	0
TOTAL L. d'ECHINODERMES	0	0	0	0	4919	69136
Oikopleura dioica	627	3163	2654	0	91	722
Fritillaria borealis	0	0	0	0	0	0
TOTAL APPENDICULAIRES	627	3163	2654	0	91	722
Larves d'Ascidiés	0	0	0	0	0	0
Oeufs Téléostéens	14	58	47	0	0	0
Alevins et larves de Poissons	2	9	28	0	0	0
TOTAL ZOOPLANCTON	15913	23681	26182	5894	11932	86465
Noctiluca scintillans	0	0	0	0	175	0
DATE	17/03/98	17/03/98	17/03/98	18/09/98	18/09/98	18/09/98

Tab. 5.4 Points Rejet, contrôle et référence au printemps et en automne – Abondance des espèces

n° Point	Gravelines	Gravelines	Gravelines	Gravelines	Gravelines	Gravelines
DATE	17/03/98	17/03/98	17/03/98	18/09/98	18/09/98	18/09/98
Volume filtré (m3)	4.2	4.3	10.9	2.5	6.2	10.5
Nature des résultats	N/10 m ³					
Obelia sp.	0	0	0	0	0	0
Hybocodon prolifer	0	0	0	0	0	0
Eucheilota maculata	0	0	0	0	2	8
Clytia hemispherica	0	0	0	0	3	19
Autres Cnidaires	12	0	0	0	0	0
TOTAL CNIDAIRES	12	0	0	0	5	27
Pleurobrachia pileus	2	35	0	0	0	0
Beroe sp.	0	0	0	0	0	0
TOTAL CTENAIRES	2	35	0	0	0	0
TOTAL CHAETOGNATHES	0	0	0	12	220	1254
Lanice conchilega	1012	698	28	122	155	304
Spionidae	3566	1233	437	12	65	456
Autres Annélides	386	140	0	0	104	190
TOTAL ANNELIDES	4964	2070	465	134	324	950
Bosmina sp	0	0	0	0	0	0
Podon sp.	0	0	0	0	0	0
Evadne sp.	0	0	0	0	0	0
TOTAL CLADOCERES	0	0	0	0	0	0
Nauplii Cirripèdes	482	605	553	2033	337	0
Cypris Cirripèdes	241	186	55	203	13	38
TOTAL Larves CIRRIPEDES	723	791	608	2236	350	38
AMPHIPODES	5	0	0	0	13	32
ISOPODES	0	0	0	0	0	0
CUMACES	0	0	0	0	13	21
Mesopodopsis slabberii	2	0	0	0	2	0
Schistomysis spiritus	0	0	0	0	0	0
Schistomysis kervielli	0	0	0	0	0	0
Autres Mysidacés	2	0	0	0	2	4
TOTAL MYSIDACES	5	0	0	0	3	4
Calanus helgolandicus	289	558	166	0	52	38
Paracalanus parvus	1205	5209	4479	122	298	1899
Pseudocalanus minutus	1542	6233	7963	41	0	0
Stephos minor	0	0	0	0	0	0
Temora longicornis	3036	2047	5088	244	712	1254
Eurytemora affinis	0	0	0	0	0	0
Metridia lucens	0	0	0	0	0	0
Centropages typicus	0	0	0	0	13	0
Centropages hamatus	1108	1349	442	122	129	266

Tab. 5.4 Points Rejet, contrôle et référence au printemps et en automne – Abondance des espèces

n° Point	325	325	325	325	325	325
DATE	20/05/98	04/06/98	01/07/98	19/08/98	18/09/98	01/10/98
Volume filtré (m ³)	8.7	6.7	8.8	1.8	2.4	3.1
Nature des résultats	N/10 m ³					
<i>Candacia armata</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Labidocera wollastonii</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Parapontella brevicornis</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Acartia clausi</i>	946	2009	5211	3282	33	719
<i>Acartia discaudata</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Oithona</i> sp.	0	0	0	0	0	0
<i>Oncaea</i> sp.	0	0	0	0	0	0
<i>Euterpina acutifrons</i>	23	180	139	1193	1029	2524
<i>Corycaeus</i> sp.	0	0	0	0	17	32
Harpacticoides	0	3	2	17	0	0
Cyclopoides indet.	12	45	0	0	33	32
<i>Cyclopina littoralis</i>	0	0	0	0	0	0
Monstrilides	0	0	0	0	0	0
Nauplii copépodes	0	0	0	0	0	0
TOTAL COPEPODES	8155	8295	5462	5536	1297	4633
EUPHAUSIACES	0	0	0	0	0	0
Larves NATANTIA	1	1	1	6	13	13
Larves THALASSINIDEA	0	4	0	0	0	0
Larves de Porcellanidae	0	1	1	11	0	0
Larves de Paguridae	0	0	0	0	0	0
Larves de Diogeneidae	0	0	0	0	0	0
Larves de Galatheidae	0	0	0	0	0	0
TOTAL L. d' ANOMOURES	0	1	1	11	0	0
Zoe de Brachyours	8	4	3	44	0	3
Mégalopes de Brachyours	2	4	1	0	0	0
TOTAL L. de BRACHYOURES	10	9	5	44	0	3
Larves GASTEROPODES	0	60	7	33	67	16
Larves BIVALVES	12	0	1	0	0	32
TOTAL L. de MOLLUSQUES	12	60	8	33	67	48
Cyphonautes BRYOZOAIRES	0	0	1	33	0	256
Ophiopluteus d'Echinodermes	900	165	0	0	5084	144
Echinopluteus d'Echinodermes	0	0	0	0	0	0
TOTAL L. d'ECHINODERMES	900	165	0	0	5084	144
<i>Oikopleura dioica</i>	992	90	30	149	293	495
<i>Fritillaria borealis</i>	0	0	0	0	0	0
TOTAL APPENDICULAIRES	992	90	30	149	293	495
Larves d'Ascidies	0	0	0	0	8	0
Oeufs Téléostéens	10	0	0	0	0	0
Alevins et larves de Poissons	6	15	1	0	0	0
TOTAL ZOOPLANCTON	10321	9910	5697	6541	7331	7665
<i>Noctiluca scintillans</i>	519	8771	100571	2188	14226	3802
DATE	20/05/98	04/06/98	01/07/98	19/08/98	18/09/98	01/10/98
Volume filtré (m ³)	8.7	6.7	8.8	1.8	2.4	3.1

Tab. 5.3 (suite) Surveillance au canal d'entrée - Abondance des espèces

SITE	Gravelines	Gravelines	Gravelines	Gravelines	Gravelines	Gravelines
n° Point	325	325	325	325	325	325
DATE	20/05/98	04/06/98	01/07/98	19/08/98	18/09/98	01/10/98
Volume filtré (m³)	8.7	6.7	8.8	1.8	2.4	3.1
Nature des résultats	N/10 m ³					
Obelia sp.	0	555	1	0	0	0
Hybocodon prolifer	0	0	0	0	0	0
Eucheilota maculata	0	4	0	6	0	6
Clytia hemispherica	12	46	2	0	0	0
Autres Cnidaies	5	0	0	0	0	0
TOTAL CNIDAIRES	16	606	3	6	0	6
Pleurobrachia pileus	43	16	0	0	0	0
Beroe sp.	3	1	2	0	0	0
TOTAL CTENAIRES	46	18	2	0	0	0
TOTAL CHAETOGNATHES	0	3	3	348	67	102
Lanice conchilega	35	105	11	17	109	96
Spionidae	46	405	74	33	59	192
Autres Annélides	46	0	43	33	50	431
TOTAL ANNELIDES	127	510	129	83	218	719
Bosmina sp	0	0	0	0	0	0
Podon sp.	0	0	0	0	8	0
Evadne sp.	0	0	0	0	0	0
TOTAL CLADOCERES	0	0	0	0	8	0
Nauplii Cirripèdes	12	120	22	249	234	1070
Cypris Cirripèdes	23	0	24	33	33	128
TOTAL Larves CIRRIPÉDES	35	120	46	282	268	1198
AMPHIPODES	12	6	5	11	8	32
ISOPODES	0	0	0	0	0	0
CUMACES	0	4	0	0	0	10
Mesopodopsis slabberii	0	0	0	0	0	6
Schistomysis spiritus	0	0	0	0	0	0
Schistomysis kervielli	0	0	0	0	0	0
Autres Mysidacés	0	1	0	0	0	0
TOTAL MYSIDACES	0	1	0	0	0	6
Calanus helgolandicus	12	15	0	0	0	48
Paracalanus parvus	23	0	1	133	17	112
Pseudocalanus elongatus	288	3088	1	50	0	0
Stephos minor	0	0	0	0	0	0
Temora longicornis	6286	2789	89	464	109	1054
Eurytemora affinis	0	0	0	0	0	0
Metridia lucens	0	0	0	0	0	0
Centropages typicus	0	0	0	0	0	0
Centropages hamatus	565	165	17	398	59	112
Isias clavipes	0	0	0	0	0	0

Tab. 5.3 (suite) Surveillance au canal d'entrée – Abondance des espèces

SITE n° Point DATE	Gravelines 325 13/11/97	Gravelines 325 23/12/97	Gravelines 325 09/01/98	Gravelines 325 10/02/98	Gravelines 325 17/03/98	Gravelines 325 22/04/98
Volume filtré (m ³)	4.9	5.4	3.6	2.7	1.8	9.2
Nature des résultats	N/10 m ³					
Acartia discaudata	0	0	0	0	0	0
Oithona sp.	0	0	0	0	0	0
Oncaea sp.	0	0	0	0	0	0
Euterpina acutifrons	4888	388	145	4	0	13
Corycaeus sp.	49	0	0	0	0	0
Harpacticoïdes	0	0	14	4	0	0
Cyclopoïdes indet.	5499	41	95	15	0	7
Cyclopina littoralis	0	4	3	0	0	0
Monstrilides	0	0	0	0	0	0
Nauplii copépodes	0	0	0	0	0	0
TOTAL COPEPODES	13507	1437	869	456	21011	497
EUPHAUSIACES	0	0	0	0	0	0
Larves NATANTIA	0	0	0	0	0	0
Larves THALASSINIDEA	0	0	0	0	0	0
Larves de Porcellanidae	0	0	0	0	0	0
Larves de Paguridae	0	0	3	0	0	0
Larves de Diogeneidae	0	0	0	0	0	0
Larves de Galatheidae	0	0	0	0	0	0
TOTAL L. d' ANOMOURES	0	0	3	0	0	0
Zoe de Brachyours	0	0	0	4	67	7
Mégalopes de Brachyours	0	0	0	0	0	0
TOTAL L. de BRACHYOURES	0	0	0	4	67	7
Larves GASTEROPODES	24	11	25	0	0	9
Larves BIVALVES	12	0	0	0	0	11
TOTAL L. de MOLLUSQUES	37	11	25	0	0	20
Cyphonautes BRYOZOAIRES	293	26	6	4	0	0
Ophiopluteus d'Echinodermes	0	0	0	0	0	20
Echinopluteus d'Echinodermes	0	0	0	0	0	0
TOTAL L. d'ECHINODERMES	0	0	0	0	0	20
Oikopleura dioica	244	119	72	115	5674	92
Fritillaria borealis	0	0	0	0	0	0
TOTAL APPENDICULAIRES	244	119	72	115	5674	92
Larves d'Ascidies	0	0	0	0	0	0
Oeufs Téléostéens	0	0	0	0	17	1
Alevins et larves de Poissons	0	2	0	0	34	2
TOTAL ZOOPLANKTON	15367	1726	1267	8770	39899	819
Noctiluca scintillans	904	246	0	0	0	0
DATE	13/11/97	23/12/97	09/01/98	10/02/98	17/03/98	22/04/98
Volume filtré (m ³)	4.9	5.4	3.6	2.7	1.8	9.2

Tab. 5.3 (suite) Surveillance au canal d'entrée - Abondance des espèces

n° Point	325	325	325	325	325	325
DATE	13/11/97	23/12/97	09/01/98	10/02/98	17/03/98	22/04/98
Volume filtré (m ³)	4.9	5.4	3.6	2.7	1.8	9.2
Nature des résultats	N/10 m ³					
Obelia sp.	0	0	0	0	0	2
Hybocodon prolifer	0	0	0	0	0	0
Eucheilota maculata	2	0	0	0	0	0
Clytia hemispherica	0	0	0	0	0	0
Autres Cnidaïres	4	4	0	11	34	4
TOTAL CNIDAÏRES	6	4	0	11	34	7
Pleurobrachia pileus	2	4	0	4	22	5
Beroe sp.	2	0	0	0	0	0
TOTAL CTENAÏRES	4	4	0	4	22	5
TOTAL CHAETOGNATHES	293	9	3	0	0	0
Lanice conchilega	208	67	3	4	787	52
Spionidae	37	0	214	156	11011	35
Autres Annélides	367	7	17	0	393	70
TOTAL ANNELIDES	611	75	234	159	12191	157
Bosmina sp.	0	0	0	0	0	0
Podon sp.	0	0	0	0	0	0
Evadne sp.	0	0	0	0	0	0
TOTAL CLADOCERES	0	0	0	0	0	0
Nauplii Cirripèdes	122	34	22	8019	562	4
Cypris Cirripèdes	244	4	3	0	281	4
TOTAL Larves CIRRIPEDES	367	37	25	8019	843	9
AMPHIPODES	4	2	25	0	0	4
ISOPODES	0	0	0	0	0	0
CUMACES	0	0	6	0	0	0
Mesopodopsis slabberii	0	0	0	0	6	0
Schistomysis spiritus	0	0	0	0	0	0
Schistomysis kervielli	0	0	0	0	0	0
Autres Mysidacés	0	0	0	0	0	0
TOTAL MYSIDACES	0	0	0	0	6	0
Calanus helgolandicus	4	11	3	4	562	4
Paracalanus parvus	758	116	33	4	2584	4
Pseudocalanus elongatus	98	284	120	56	2416	35
Stephos minor	0	0	0	0	0	0
Temora longicornis	916	190	262	222	9551	281
Eurytemora affinis	0	0	0	0	0	0
Metridia lucens	0	0	0	0	0	0
Centropages typicus	0	0	0	0	0	0
Centropages hamatus	183	34	45	26	1742	17
Isias clavipes	0	0	0	0	0	0
Candacia armata	0	0	0	0	0	0
Labidocera wollastonii	0	0	0	0	0	0
Parapontella brevicornis	0	0	0	0	0	0
Acartia clausi	1112	369	150	122	4157	135

Tab. 5.3 Surveillance au canal d'entrée - Abondance des espèces

	Point n°	% C	% C Moy.	% N	% N Moy.	C/N	C/N Moy.	Poids C mg.m ⁻³	Poids C	Poids N mg. m ³ Moy.	Poids N Moy.
13/11/97	325	18.3	18.3	3.3	3.3	5.5	5.5	5.1	5.1	0.9	0.9
23/12/97	325	17.2	17.2	3.6	3.6	4.8	4.8	0.9	0.9	0.2	0.2
09/01/98	325	8.9	8.9	1.1	1.1	7.8	7.8	2.1	2.1	0.3	0.3
10/02/98	325	11.6	11.3	1.8	1.8	6.5	6.5	4.1	4.1	0.6	0.6
17/03/98	325	34.6	32.2	7.6	6.9	4.6	4.6	18.0	22.9	3.9	4.9
	325	35.3		7.7		4.6		18.2		4.0	
	325	35.9		7.6		4.7		31.4		6.7	
	325	34.5		7.3		4.8		25.3		5.3	
	325	34.6		7.4		4.7		27.5		5.9	
	325	18.1		4.0		4.5		17.1		3.8	
20/05/98	325	16.6	16.6	3.4	3.4	4.9	4.9	6.0	6.0	1.2	1.2
01/07/98	325	31.1	31.1	7.7	7.7	4.0	4.0	5.5	5.5	1.4	1.4
19/08/98	325	15.9	15.9	2.7	2.7	5.9	5.9	13.9	13.9	2.3	2.3
18/09/98	325	17.4	13.7	3.7	2.4	4.8	5.8	10.8	6.6	2.3	1.2
	325	12.0		2.0		6.2		5.0		0.8	
	325	14.6		2.6		5.6		5.2		0.9	
	325	12.8		2.0		6.3		4.0		0.6	
	325	12.7		2.1		6.1		9.0		1.5	
	325	13.0		2.3		5.8		5.7		1.0	
01/10/98	325	12.23	12.3	2.3	2.3	5.4	5.4	4.5	4.5	0.8	0.8
17/03/98	327	21.3	21.2	3.7	3.9	5.7	5.5	10.2	15.2	1.8	2.8
	327	23.6		4.5		5.3		13.0		2.5	
	327	17.9		3.2		5.5		16.7		3.0	
	327	19.7		3.6		5.5		17.0		3.1	
	327	19.6		3.5		5.6		17.8		3.2	
	327	25.2		4.8		5.2		16.2		3.1	
17/03/98	324	27.6	27.9	5.1	5.3	5.34	5.3	12.1	10.8	2.3	2.1
	324	26.8		5.0		5.3		8.4		1.6	
	324	28.8		5.3		5.5		11.9		2.2	
	324	28.3		5.4		5.2		9.3		1.8	
	324	26.23		5.0		5.3		11.2		2.1	
	324	29.8		6.0		5.0		12.1		2.4	
17/03/98	302	31.3	26.0	6.2	4.9	5.0	5.3	8.3	16.3	1.7	3.0
	302	23.9		4.7		5.1		9.7		1.9	
	302	23.2		4.4		5.3		16.2		3.1	
	302	23.0		4.2		5.5		16.5		3.0	
	302	25.7		4.7		5.5		23.0		4.2	
	302	28.6		5.0		5.7		24.2		4.2	
18/09/98	327	13.5	13.6	2.3	2.2	5.8	6.2	4.8	9.0	0.8	1.4
	327	14.2		2.2		6.4		6.2		1.0	
	327	13.3		2.1		6.3		8.7		1.4	
	327	13.3		2.2		6.1		10.8		1.8	
	327	12.8		2.0		6.4		15.5		2.4	
	327	14.7		2.4		6.2		8.2		1.3	
18/09/98	324	26.2	23.0	4.3	4.2	6.0	5.4	1.7	2.1	0.3	0.4
	324	24.0		4.2		5.8		2.3		0.4	
	324	24.0		4.1		5.9		1.0		0.2	
	324	21.5		4.2		5.2		3.9		0.8	
	324	21.4		4.5		4.8		2.1		0.4	
	324	20.7		4.2		5.0		1.5		0.3	
18/09/98	302	19.7	20.1	4.2	4.3	4.7	4.7	11.1	12.4	2.4	2.6
	302	21.0		4.5		4.6		11.1		2.4	
	302	20.6		4.4		4.7		15.3		3.3	
	302	21.0		4.5		4.7		10.4		2.2	
	302	17.5		3.7		4.8		15.8		3.3	
	302	20.8		4.5		4.7		10.7		2.3	

Tab. 5.2 Carbone et Azote du Zooplancton

Date	Point numéro	Poids sec (mg/m ³)	Moyenne Poids sec	Ecart type Poids sec
17/03/98	327	47.8	73.0	19.8
	327	55.2		
	327	93.8		
	327	86.4		
	327	90.8		
	327	64.2		
17/03/98	324	44.0	38.8	5.3
	324	31.5		
	324	41.5		
	324	32.7		
	324	42.5		
	324	40.6		
17/03/98	302	26.6	63.8	24.3
	302	40.5		
	302	69.8		
	302	71.7		
	302	89.4		
	302	84.6		
18/09/98	327	35.8	67.1	30.8
	327	43.6		
	327	65.2		
	327	81.2		
	327	120.9		
	327	55.7		
18/09/98	324	6.4	9.3	4.9
	324	9.7		
	324	4.1		
	324	18.2		
	324	9.9		
	324	7.3		
18/09/98	302	56.1	62.4	16.2
	302	52.8		
	302	74.4		
	302	49.8		
	302	90.0		
	302	51.5		

Tab. 5.1 (suite) Biomasses du Zooplancton

Date	Point numéro	Poids sec (mg/m ³)	Moyenne Poids sec	Ecart type Poids sec
13/11/97	325	27.8	27.8	
23/12/97	325	5.4	5.4	
09/01/98	325	23.8	23.8	
10/02/98	325	35.0	35.0	
17/03/98	325	52.0	73.1	18.1
	325	51.4		
	325	87.6		
	325	73.2		
	325	79.6		
	325	94.6		
22/04/98	325	qte. très faible		
20/05/98	325	36.0	36.0	
01/07/98	325	17.8	17.8	
19/08/98	325	87.6	87.6	
18/09/98	325	62.3	47.7	15.6
	325	41.4		
	325	35.9		
	325	31.4		
	325	71.2		
	325	44.0		
01/10/98	325	36.6	36.6	

Tab. 5.1 Biomasses du Zooplancton

ANNEXES

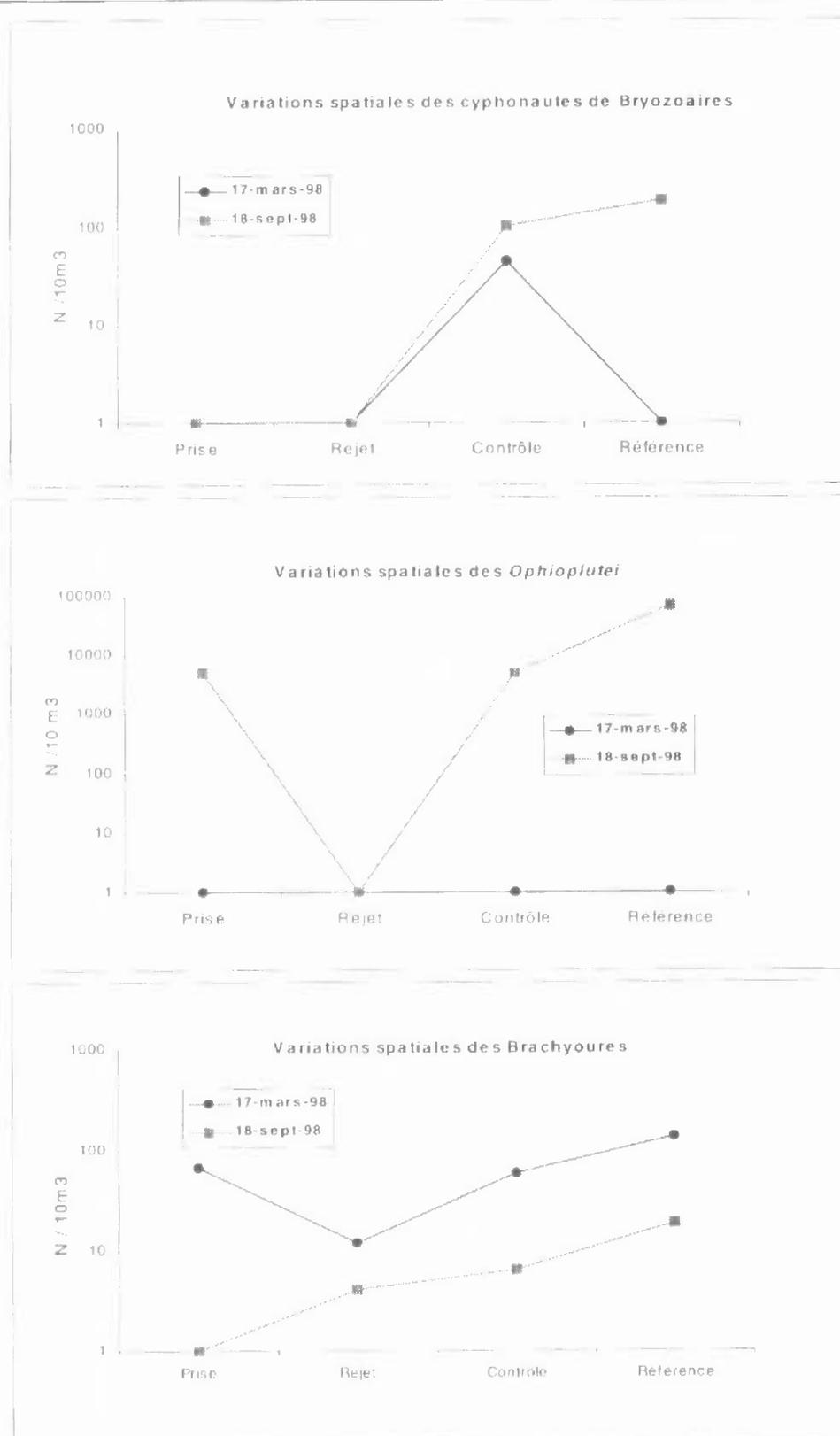


Fig. 5.16

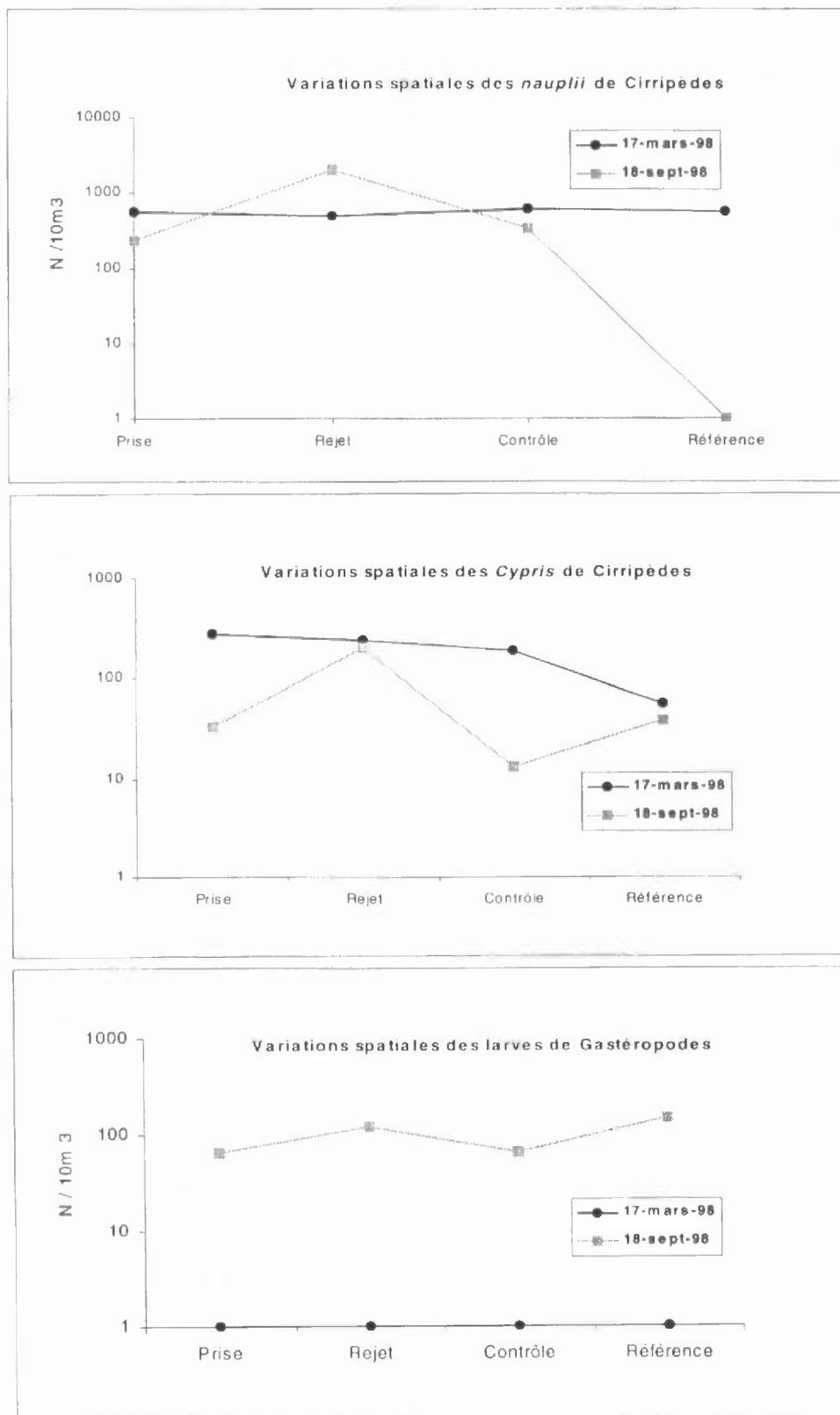


Fig. 5.15

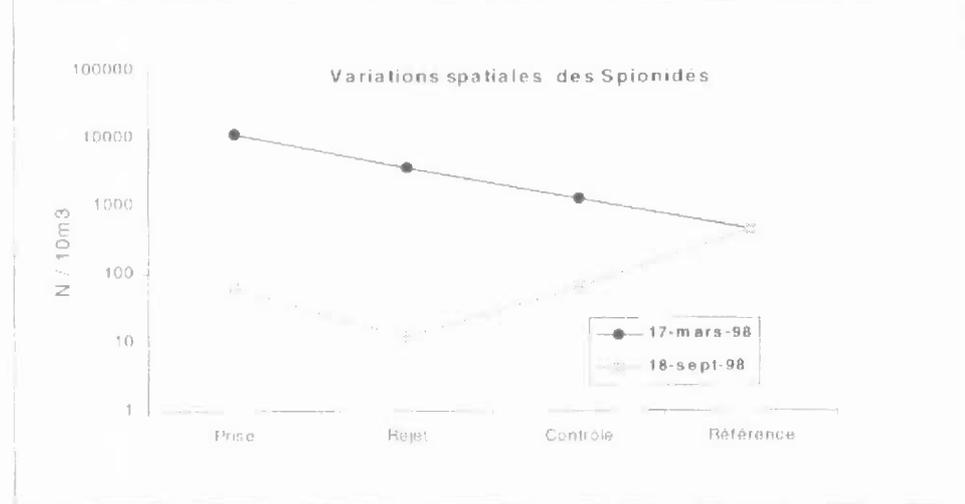
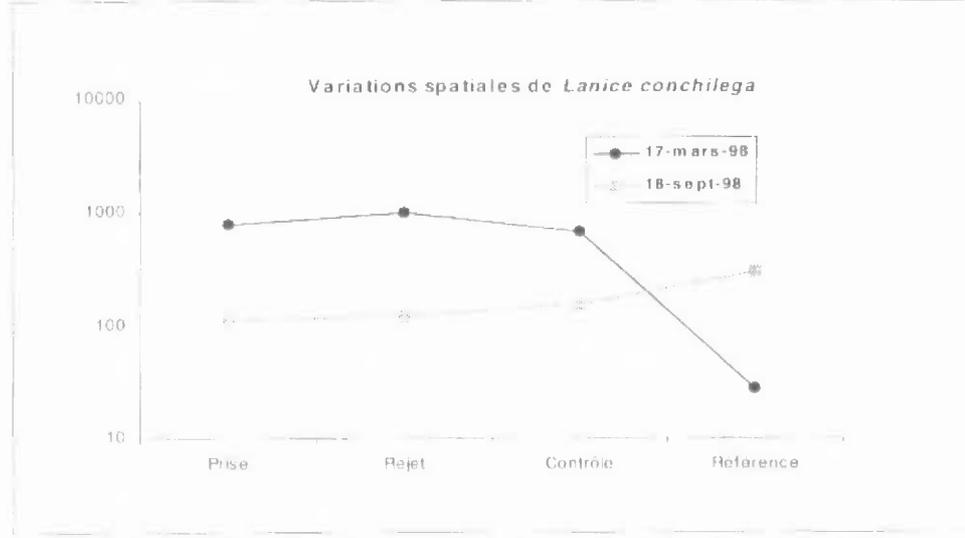
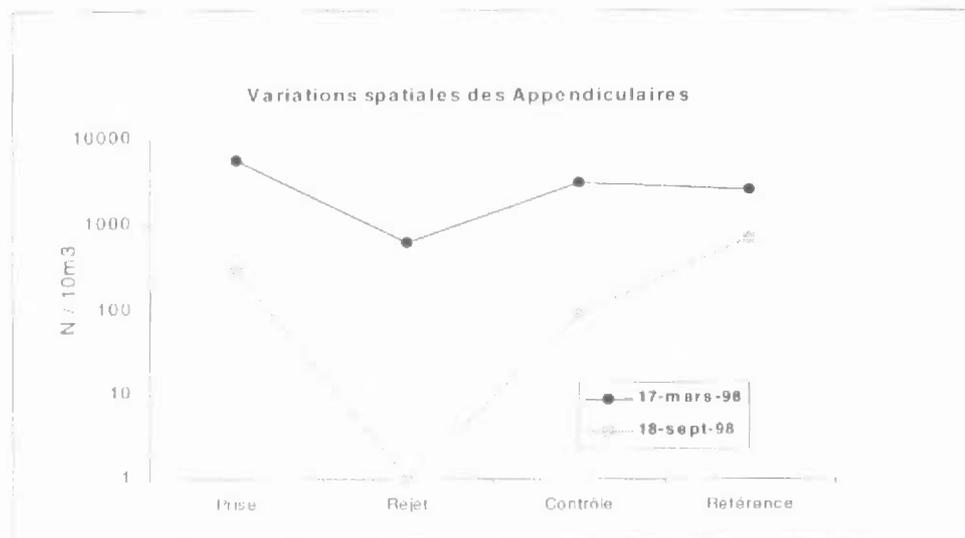


Fig. 5.14

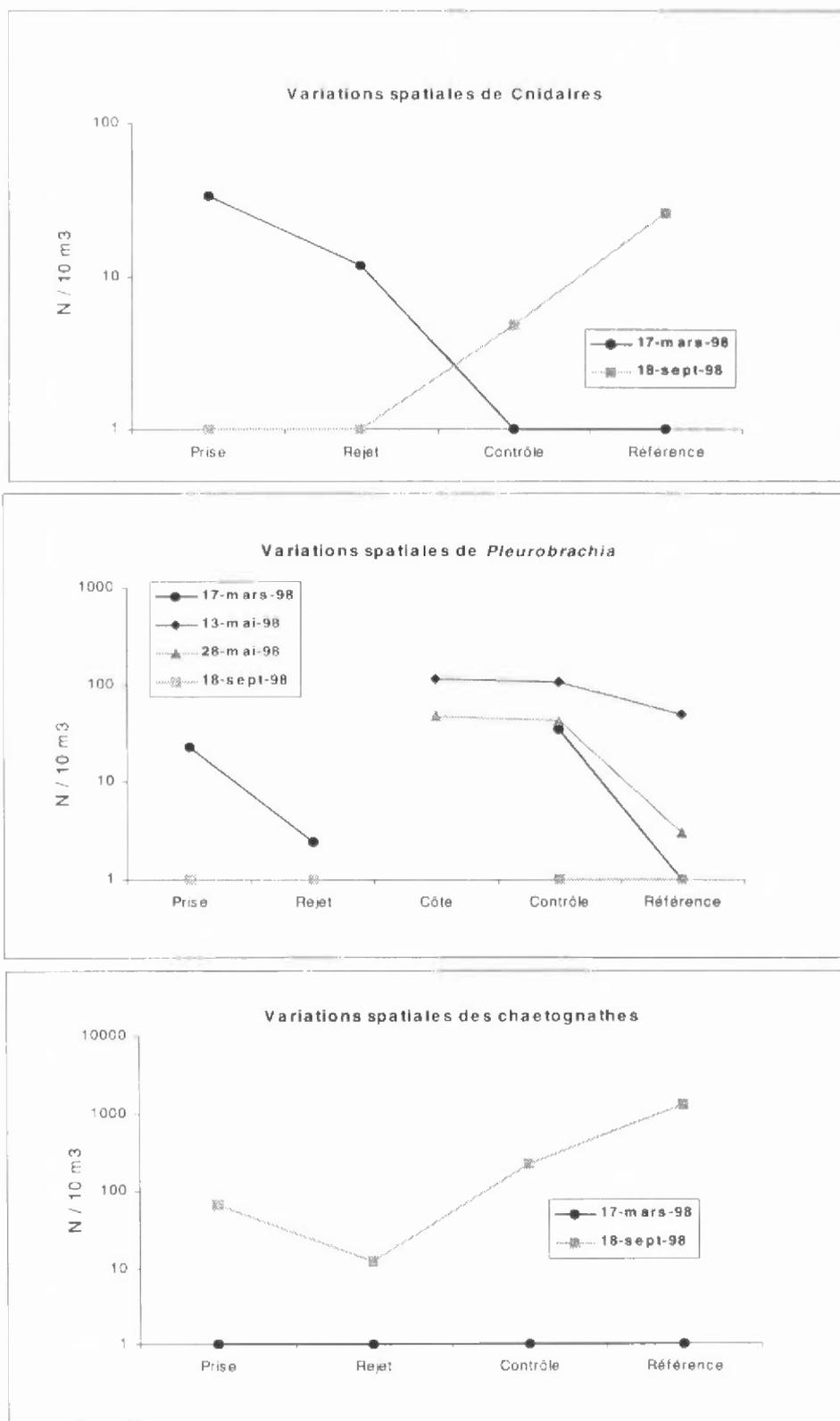


Fig. 5.13

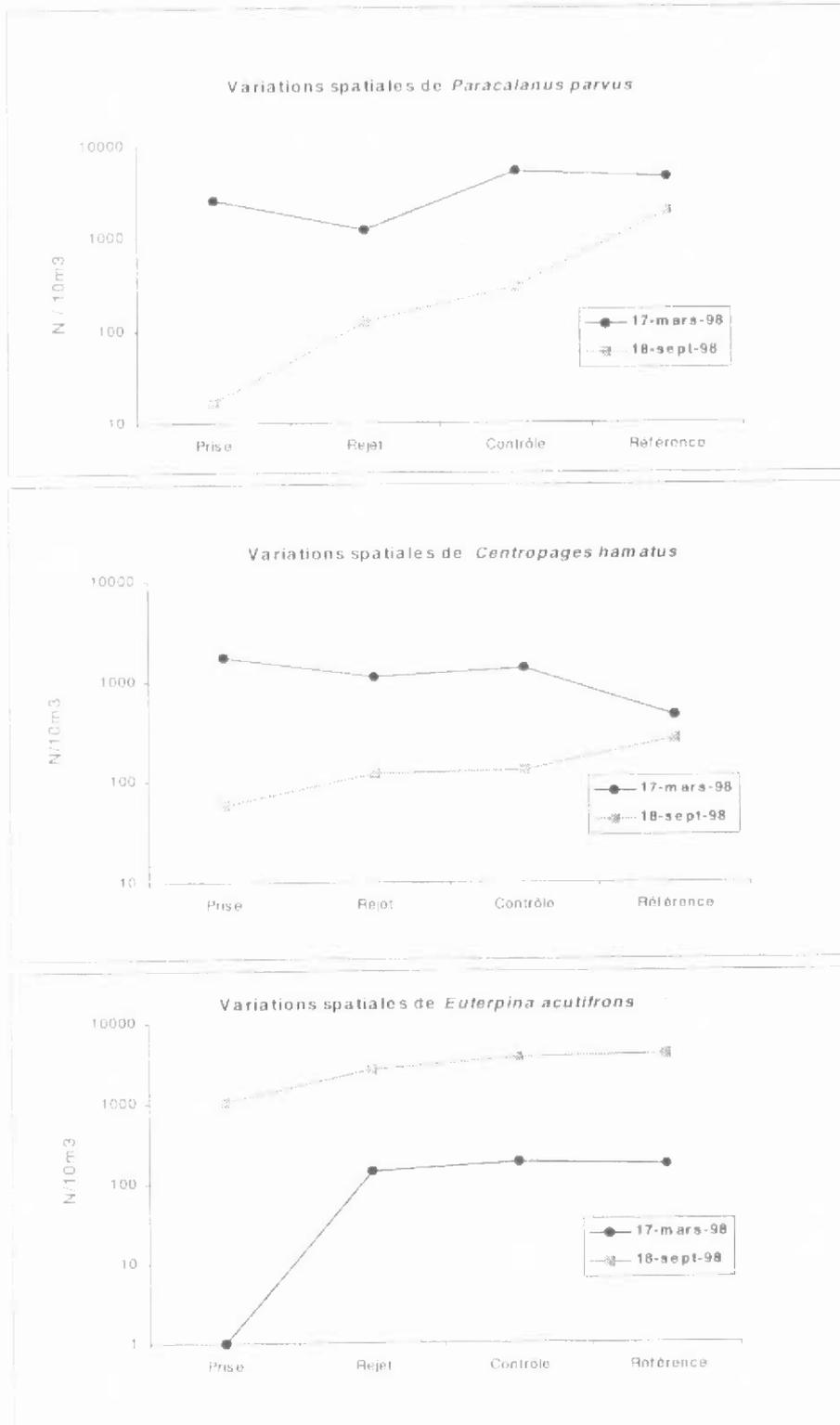


Fig. 5.12

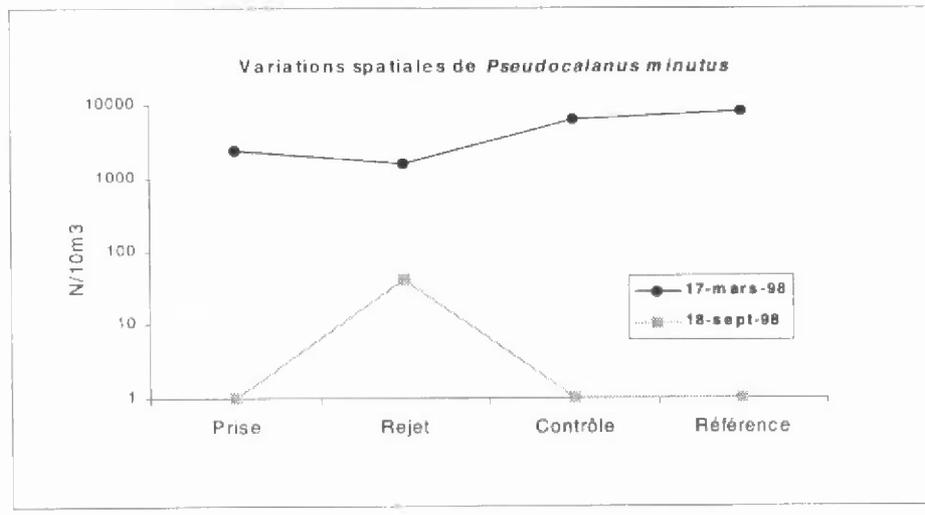
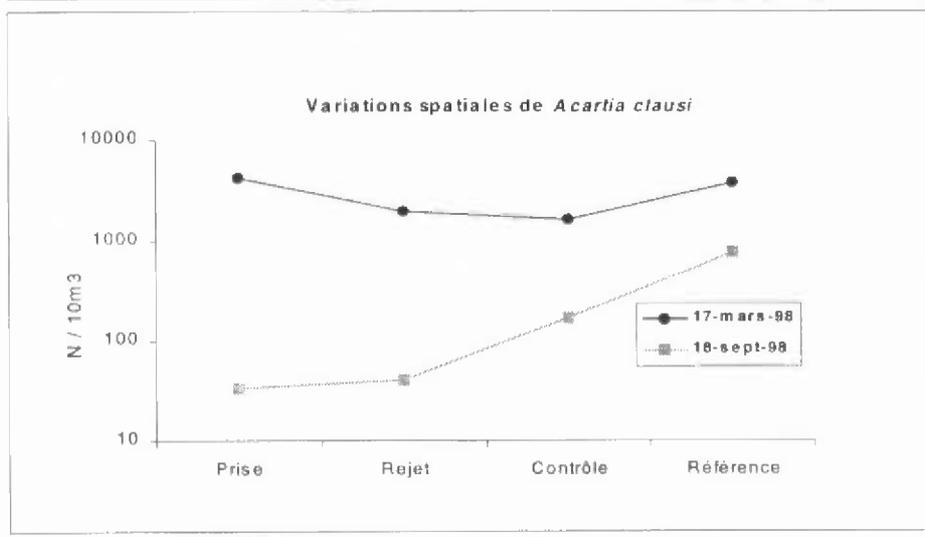
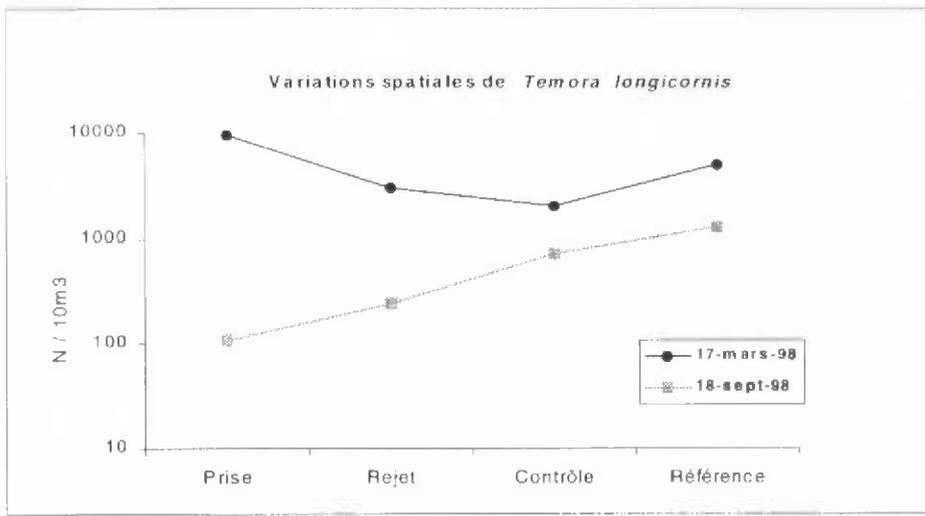


Fig. 5.11

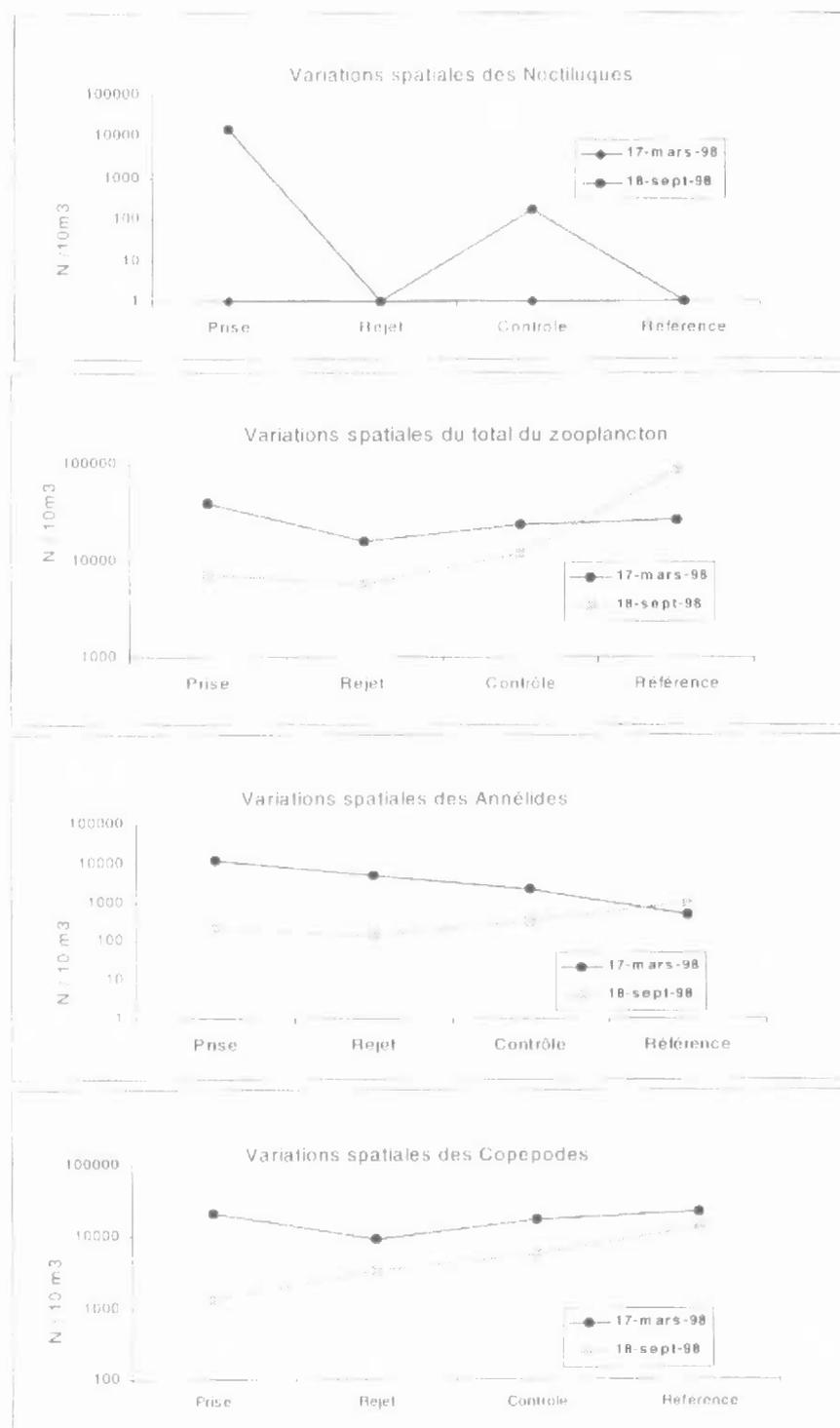


Fig. 5.10

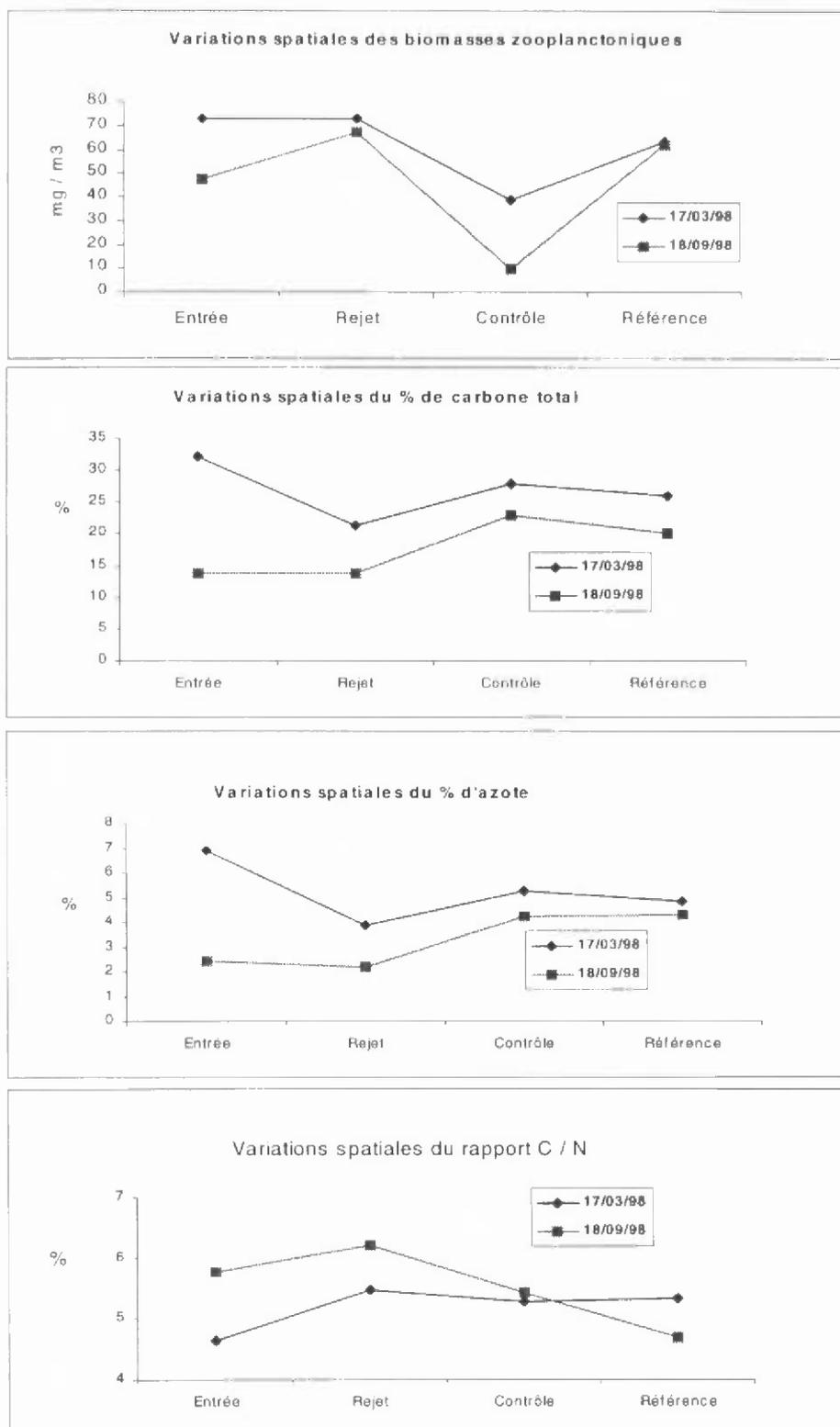


Fig. 5.9

5.2.2 Missions du 17 Mars et du 18 Septembre

Biomasses (poids secs) Carbone et Azote (fig. 5.9)

Si on compare les points selon un gradient côte large par rapport au canal d'entrée, on remarque qu'il n'y a pas de différence majeure en biomasse totale entre l'entrée et le rejet en mars et même, que la biomasse est plus forte au rejet en septembre. Cela est dû à une contamination autre que la biomasse zooplanctonique, confirmée par les comptages d'espèces. Par contre on remarque un déficit pour les deux missions dans le panache au point contrôle, ce qui est un résultat régulièrement observé depuis plusieurs années. L'impact sur le plancton se manifeste soit au rejet soit au contrôle conséquence de l'effet thermique dans la panache chaud qui se maintient d'une manière très irrégulière, le temps de résidence dans la panache dépend de la situation météorologique (vent) de la puissance de fonctionnement de la centrale, de la marée (coefficient, heure de prélèvement). Les observations cumulées des différentes années nous permettent d'observer des conditions différentes et ainsi dans le cas de répétition des résultats d'établir un bilan moyen plus crédible qu'une observation isolée.

La qualité du zooplancton évolue entre les points, on remarque une chute du % de carbone et d'azote dans le poids sec au rejet, la diminution de N est plus forte que celle de C et on remarque aux deux missions le rapport C / N augmenter au rejet.

Noctiluques et espèces zooplanctoniques (fig. 5.10 à 5.16)

Les noctiluques ne sont présentes qu'à la mission de septembre. On constate l'impact de transit sur le stock des noctiluques avec disparition complète dans le rejet (impact 100 %), ce qui est régulièrement observé chaque année. Le zooplancton total présente un déficit de 60 % en septembre. Les copépodes ne montrent aucun réel effet négatif, un léger déficit se manifeste sur *Temora longicornis* et *Acartia clausi* en mars au point contrôle tandis que *Paracalanus*, les larves de crabes, et surtout les cténaïres et les appendiculaires *Oikopleura dioica*, très fragiles subissent l'impact dès le rejet. En septembre, un impact fort est bien visible sur les Appendiculaires et les larves d'Ophiures.

5.3 CONCLUSION

Pendant l'année 1998 les impacts observés devant la centrale restent limités et sont conformes à ceux observés les années antérieures. Quelques points restent importants à surveiller, en particulier les dominances respectives des espèces et en particulier les réactions des espèces les plus fragiles. Une attention particulière est apportée sur les relations entre l'abondance du zooplancton et la composition spécifique du phytoplancton. Enfin les espèces proliférantes ou parasites font l'objet d'une plus grande attention.

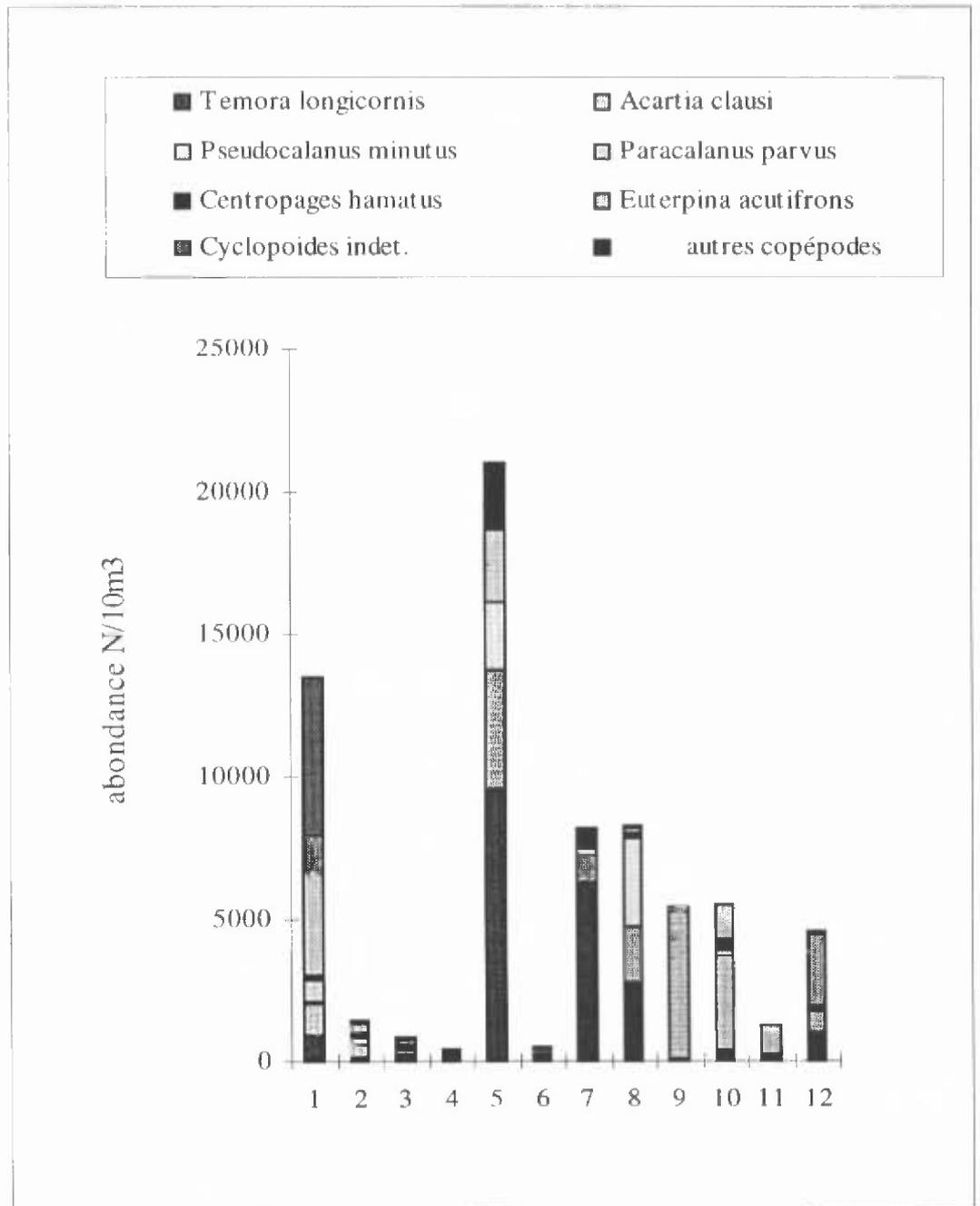


Fig. 5.8

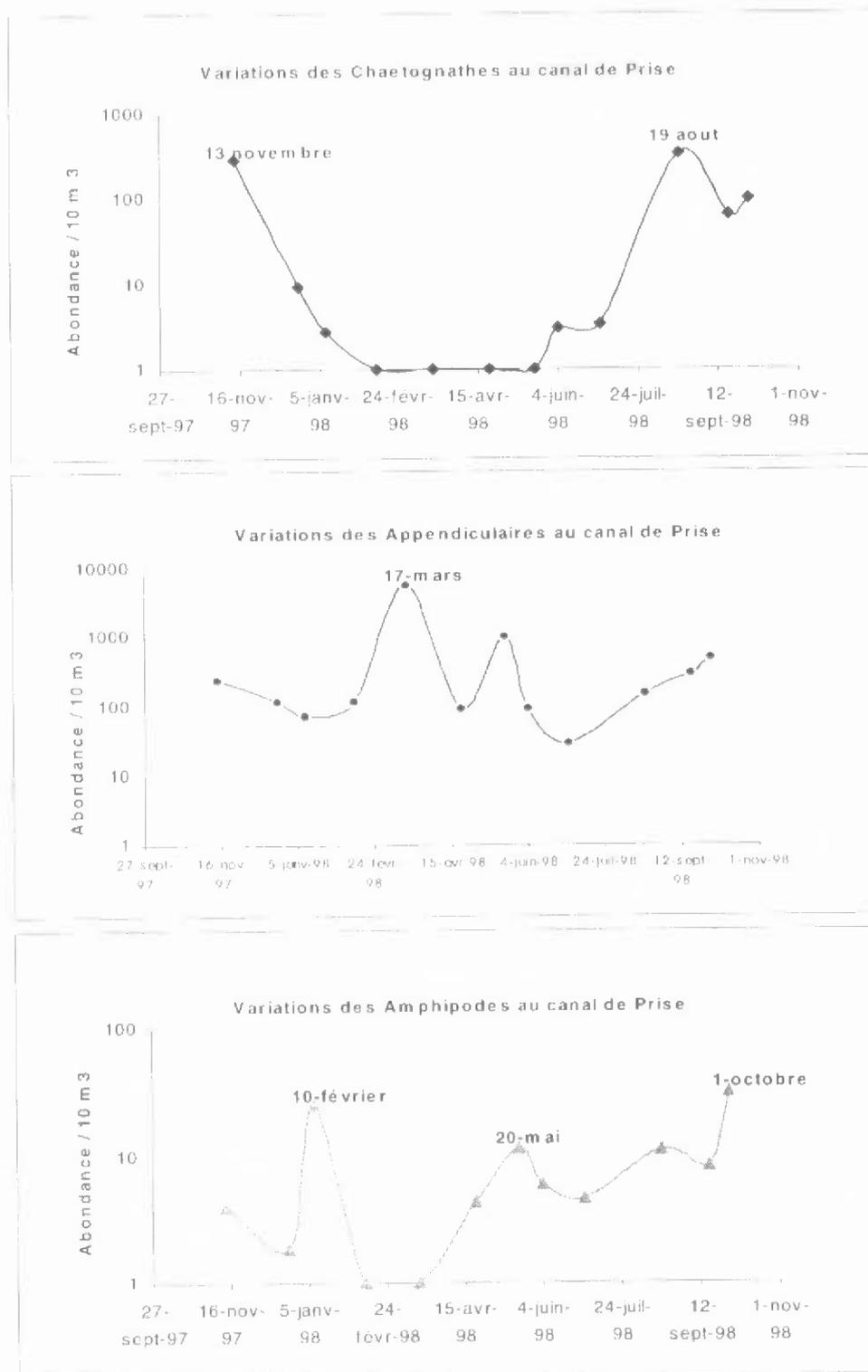


Fig. 5.7

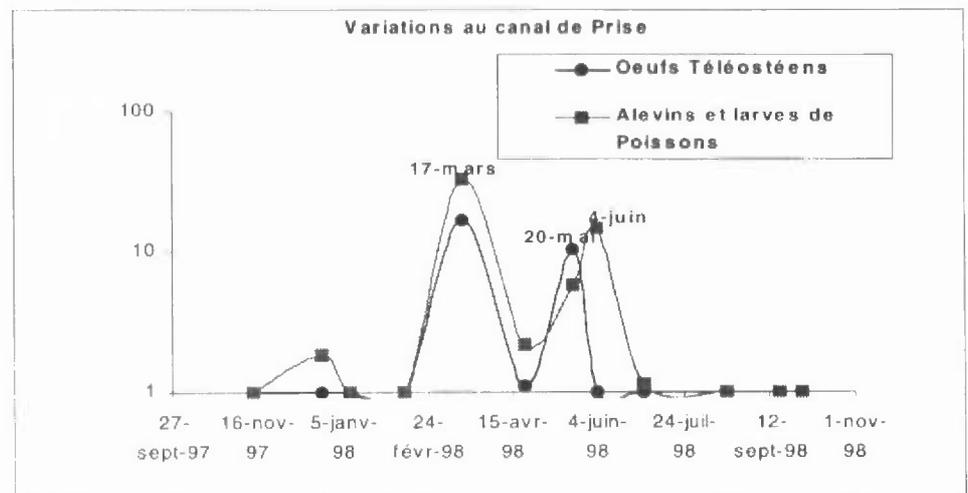
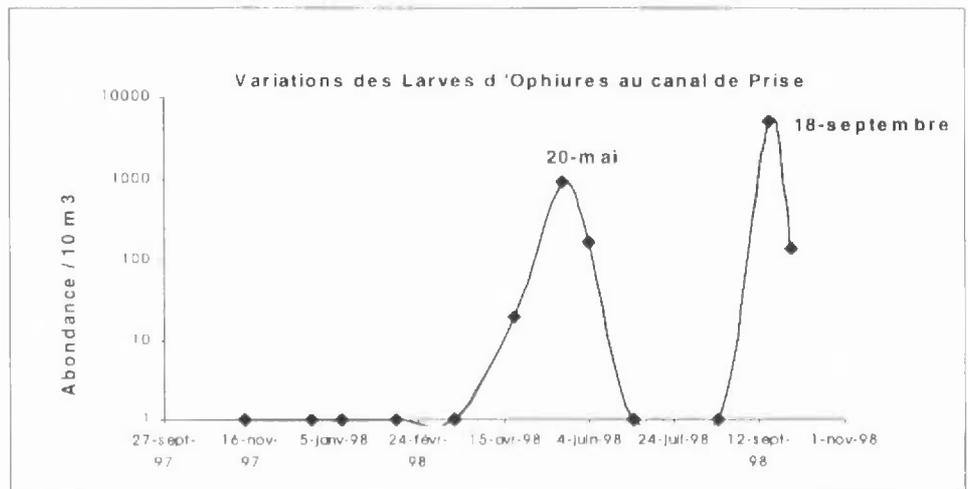
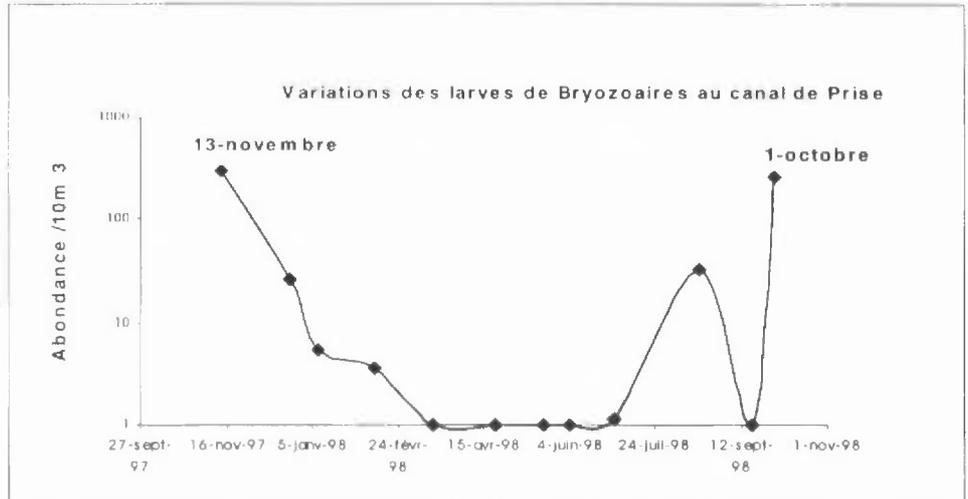


Fig. 5.6

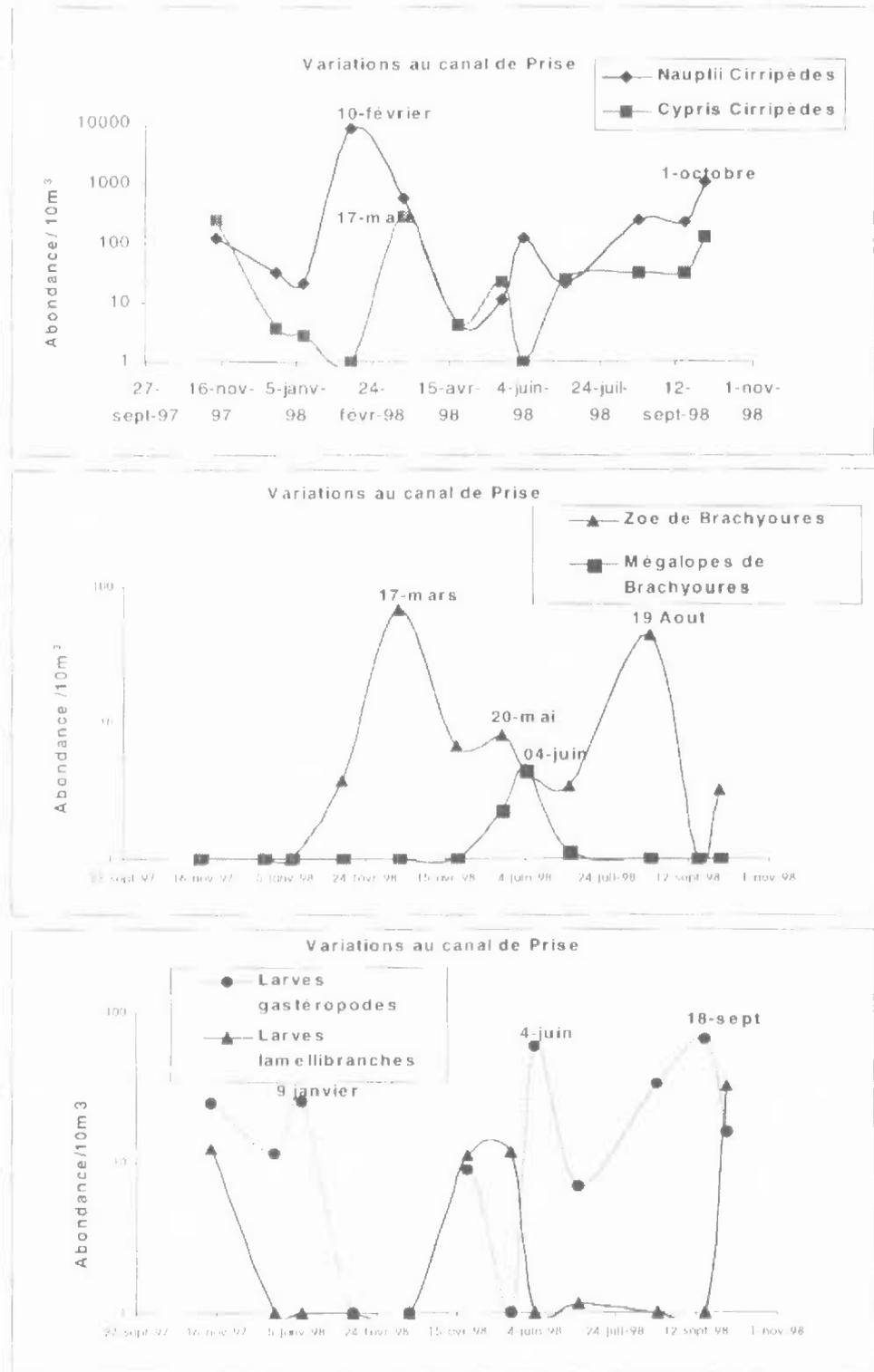


Fig. 5.5

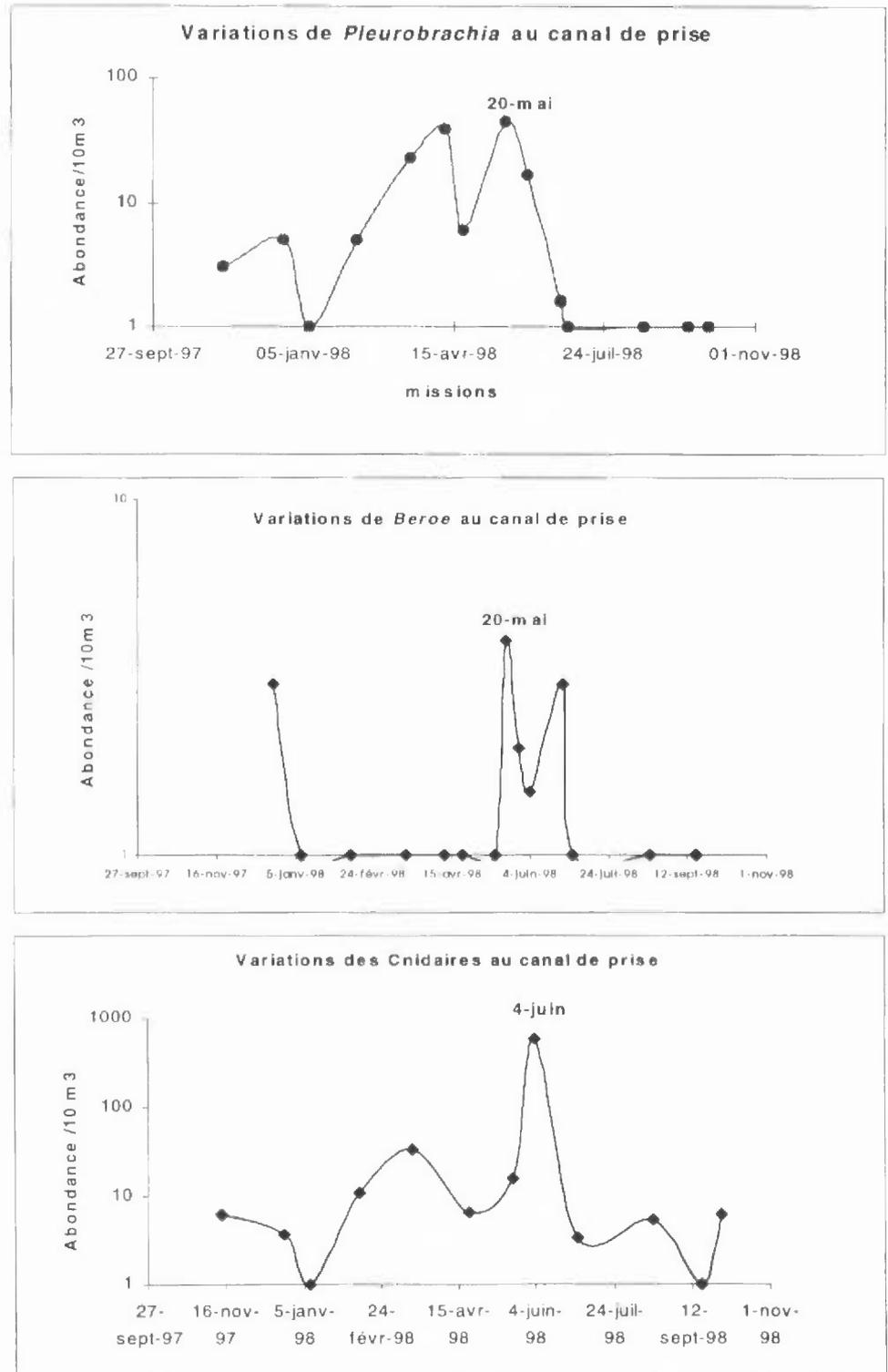


Fig. 5.4.

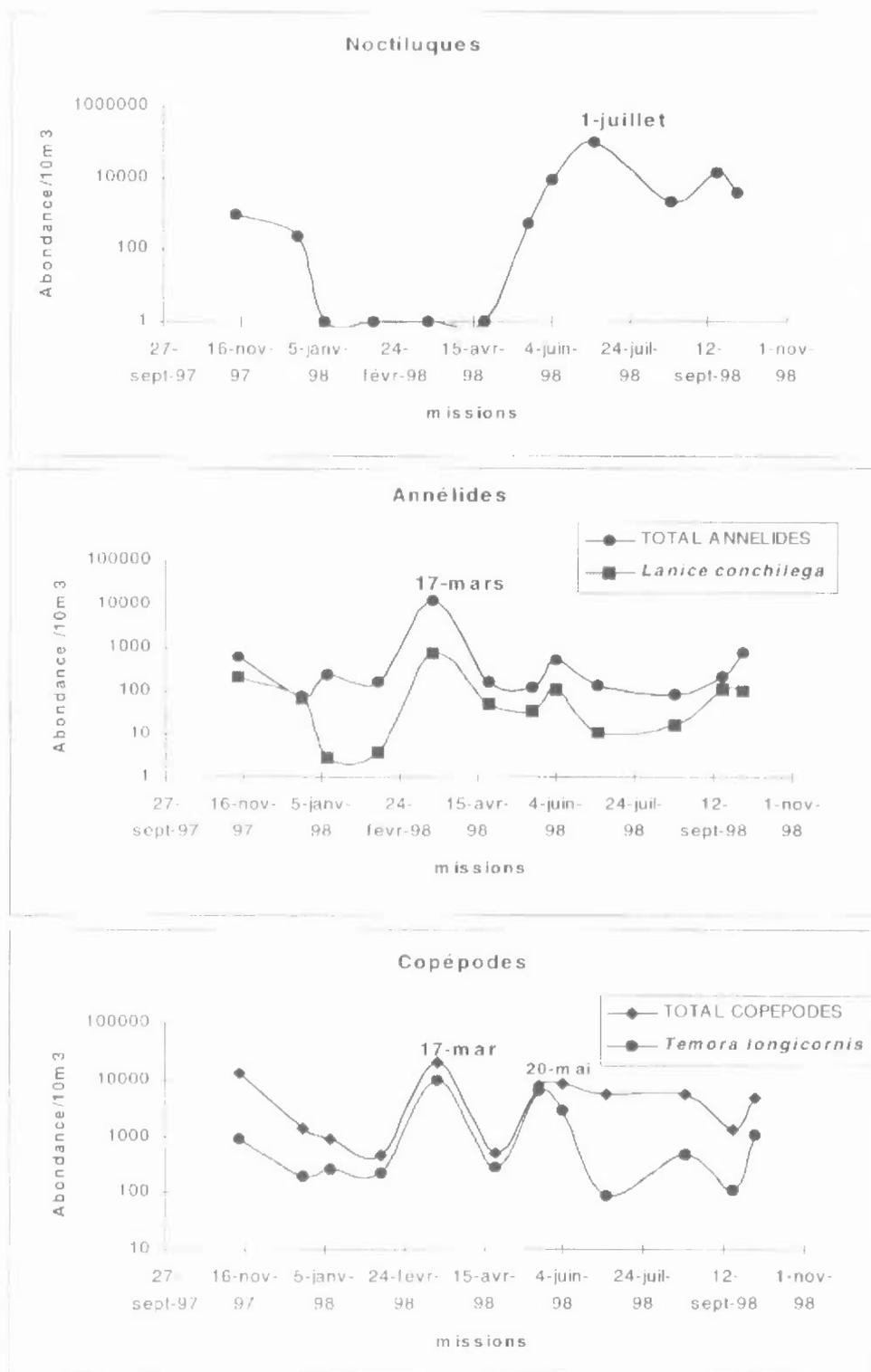


Fig. 5.3.

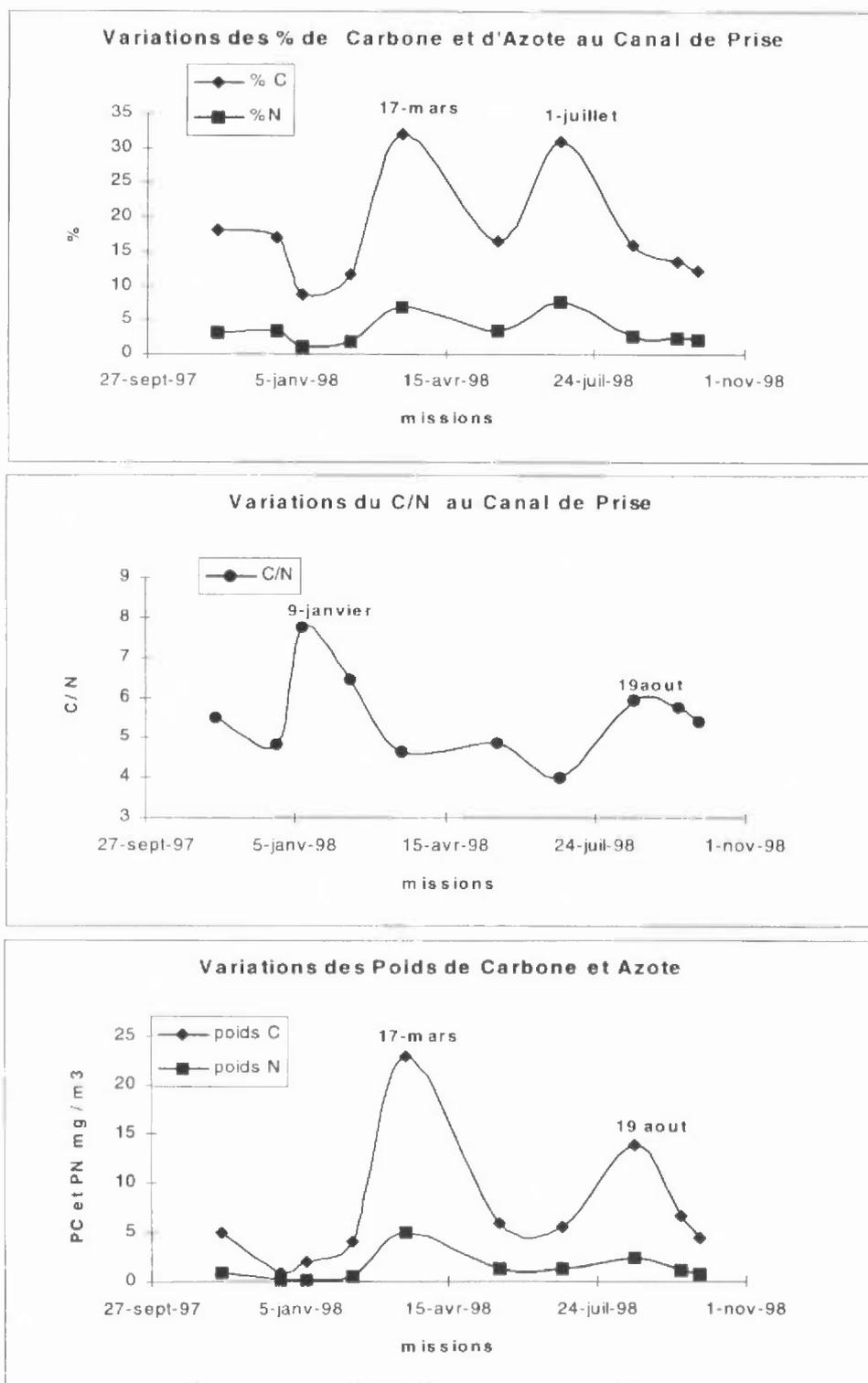


Fig. 5.2

Entre mars et juin on observe les œufs et larves de poissons (fig. 5.6). Selon les espèces les larves de crabes sont abondantes en mars et en Août, les larves des Ophiures sont présentes en mai et septembre. A noter une bonne représentation des carnivores chaetognathes à partir du mois d'Août et en automne (fig. 5.7). Les successions de dominance des différents copépodes sont conformes au cycle habituel observé à Gravelines : *Temora longicornis* de mai à juillet, *Acartia clausi* d'août à octobre et *Euterpina acutifrons* d'octobre à janvier, les copépodes parasites sont abondants en automne comme les années précédentes.

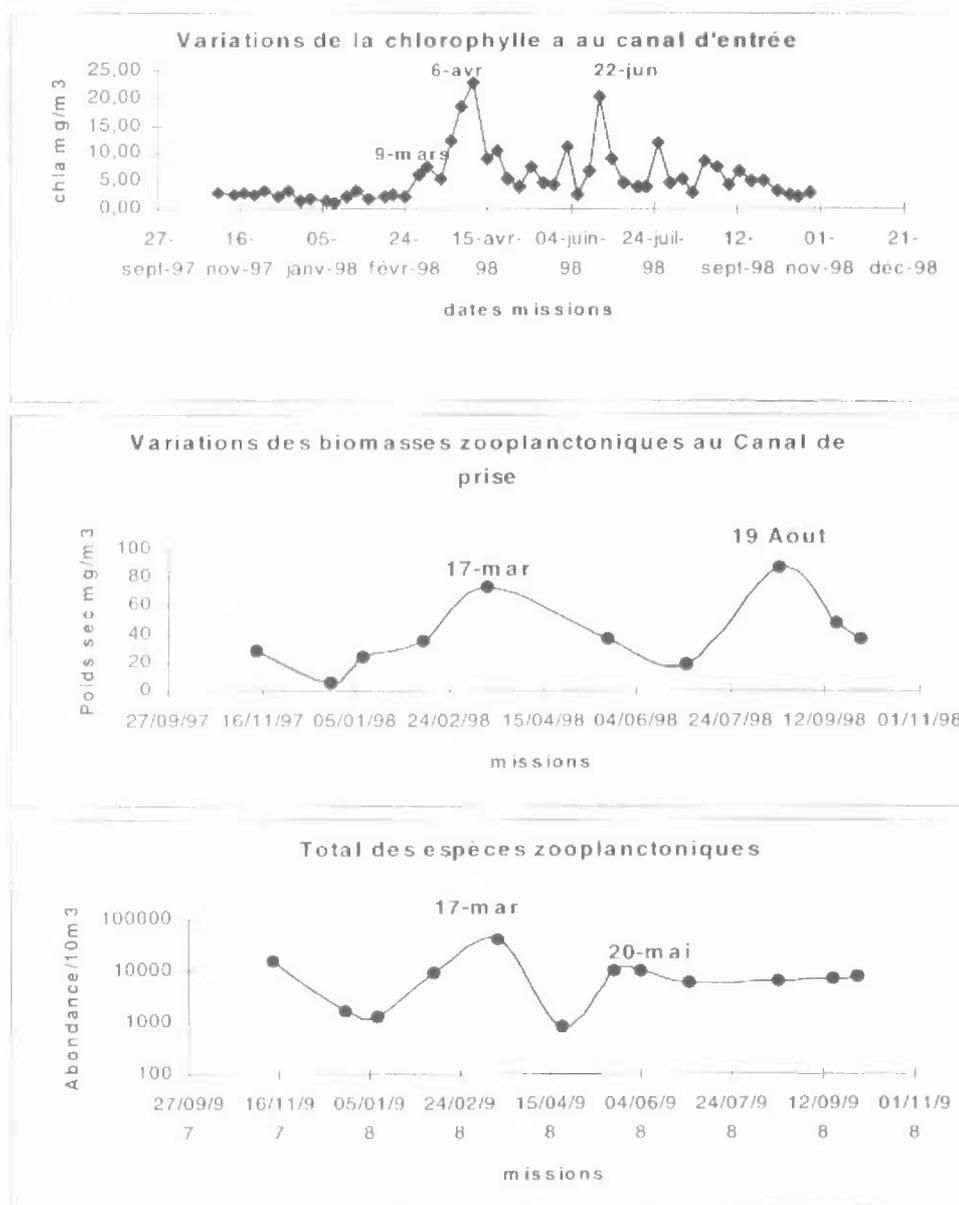


Figure 5.1

5.2. RESULTATS

5.2.1 Surveillance au canal d'entrée

Biomasses (Poids secs) Carbone et Azote

Les poids secs présentent deux maxima annuels, l'un en mars l'autre en août (fig. 5.1 et tableau 5.1). Les valeurs maximales sont proches de 80 mg/m^3 ce qui correspond à des valeurs normales à Gravelines.

Les pourcentages de carbone et d'azote (fig. 5.2 et tableau 5.2) se situent dans la fourchette normale des valeurs à Gravelines. Les maxima sont notés en mars et en juillet (en février et juillet pour 1997). Le rapport C/N présente une forte valeur en janvier 98 proche de 8 comme pendant la période précédente (décembre 96 et janvier 97) indiquant une période de plus forte dégradation du zooplancton. Les valeurs de 4 à 6 indiquent un bon état physiologique des populations pendant la plus grande partie de l'année 1998.

Les espèces : les dinoflagellés noctiluques et le zooplancton (fig. 5.1 à 5.8)

Les noctiluques n'ont pas présenté de valeurs correspondant à celles qui forment les eaux rouges présentes certaines années à Gravelines. Le maximum observé le 1er juillet était égal à $10^4/\text{m}^3$ ce qui est une valeur normale à cette saison (fig. 5.3). Les densités de *Pleurobrachia* en 1998 (tableau 5.5) sont proches de celles de 1997 ou légèrement inférieures avec un maximum observé de $38 / 10 \text{ m}^3$ le 10 avril (filet $500 \mu\text{m}$) et $43 / 10 \text{ m}^3$ le 20 mai (filet $200 \mu\text{m}$). Le zooplancton total présente un maximum d'abondance le 17 mars (fig. 5.1). La première quinzaine de mars a été favorable à l'accroissement des espèces holoplanctoniques herbivores (Appendiculaires, (fig. 5.7) et des larves du benthos. Les conditions d'environnement ont montré dans cette période un accroissement rapide de la température et de la quantité de phytoplancton. Il est intéressant de noter que ce n'est pas la date du maximum de chlorophylle (6 Avril) qui est favorable à l'augmentation de la biomasse du zooplancton mais l'augmentation notée le 9 Mars. Une semaine est une durée qui est très normalement observée entre les développements phytoplanctoniques et zooplanctoniques : la qualité de nourriture est essentielle et les populations de diatomées *Rhizosolenia* sont plus favorables au zooplancton herbivore que les blooms de *Phaeocystis*. Sur la figure 5.3 ont été représentées les variations des copépodes et de la principale espèce printanière *Temora longicornis* qui représente 24 % du zooplancton en mars et 61 % en mai. Les larves d'Annélides montrent également leur maximum en mars essentiellement constitués de larves de *Lanice conchilega* (fig. 5.3) et de Spionidae. Les autres larves abondantes en début d'année sont en période hivernale les cirripèdes, jeunes stades nauplii en février et stades âgés en mars (fig. 5.5).

5.1. METHODOLOGIE

Les missions annuelles, destinées à évaluer l'impact par la comparaison spatiale des prélèvements selon un axe côte-large, ont été réalisées le 17 mars 1998 pour la mission printanière et le 18 septembre pour la mission d'automne. Les variations saisonnières du milieu non impacté sont estimées par la surveillance au canal d'entrée de centrale. Les prélèvements de zooplancton au point entrée sont réalisés selon une périodicité d'un prélèvement par mois. Les résultats obtenus peuvent s'appuyer sur les données de chlorophylle et température mesurées selon une périodicité hebdomadaire.

La surveillance permet de suivre l'évolution du plancton au canal d'entrée, en relation avec les conditions météorologiques générales de l'année. On détecte ainsi, l'arrivée à date variable des blooms de *Phaeocystis*, noctiluques ou *Pleurobrachia*. Ces organismes risquent de produire des colmatages au moment du maximum d'abondance avec des conséquences différentes selon l'espèce. Au moment où les maxima de *Phaeocystis* (de fin mars à mai selon les années) ou les noctiluques (variable également) se produisent, il y a risque de colmatage des engins de prélèvements, les filets à plancton WP2 de vide de maille 200 µm en particulier. Les conséquences sont d'une part une mauvaise évaluation quantitative des abondances spécifiques et des biomasses (refoulement et évitement à l'entrée du filet) et d'autre part une évaluation erronée de certains paramètres. Un exemple est celui des biomasses totales (poids sec) et composition en carbone et Azote de la récolte si le mélange zooplanctonique et *Phaeocystis* est très important. Quand il s'agit de la prolifération des cténaires *Pleurobrachia* ou *Beroe* au printemps les individus adultes sont de taille suffisante pour provoquer le colmatage des grilles des tambours de filtration d'eau à l'entrée du circuit de refroidissement des condenseurs. Le risque apparaît au niveau du fonctionnement de la centrale, ce qui pose un problème d'ordre technique sérieux pour le fonctionnement et la sécurité de la centrale. Quand l'arrivée est trop massive la circulation peut être impossible dans certaines tranches et conduire à l'arrêt d'une ou plusieurs tranches.

5 DINOFLAGELLES NOCTILUQUES ET ZOOPLANCTON

Geneviève LE FÈVRE – LEHOËRFF
Jacqueline LE GRAND

	station	Teneur en chlorophylle
17 mars 1998	canal d'aménée	5.61
	rejet	3.92
	contrôle surface	4.81
	contrôle fond	10.89
	référence surface	10.41
	référence milieu	10.41
	référence fond	12.39
18 septembre	canal d'aménée	
	rejet	
	contrôle surface	
	contrôle fond	
	référence surface	
	référence milieu	
	référence fond	

Tab. 4. 4. Biomasse chlorophyllienne (mg/m^3)

	station	Pourcentages de chlorophylle
17 mars 1998	canal d'aménée	63.99
	rejet	41.33
	contrôle surface	58.84
	contrôle fond	71.35
	référence surface	71.85
	référence milieu	72.33
	référence fond	61.26
18 septembre	canal d'aménée	
	rejet	
	contrôle surface	
	contrôle fond	
	référence surface	
	référence milieu	
	référence fond	

Tab. 4. 5. pourcentage de chlorophylle active

Date station	CHLOROPHYLLE (mg/m ³)	% CHLOROPHYLLE ACTIVE
03/11/97	3.00	78.67
12/11/97	2.62	80.53
18/11/97	3.06	59.15
24/11/97	2.70	80.00
01/12/97	3.37	61.42
09/12/97	2.28	72.37
15/12/97	3.37	62.31
22/12/97	1.63	68.71
29/12/97	1.89	70.37
07/01/98	1.31	66.41
12/01/98	0.97	68.04
19/01/98	2.19	47.95
26/01/98	3.25	60.62
02/02/98	1.70	68.24
11/02/98	2.32	78.88
16/02/98	2.56	76.95
23/02/98	2.00	83.00
04/03/98	6.17	88.33
09/03/98	7.44	90.59
17/03/98	5.61	36.01
24/03/98	12.44	93.41
30/03/98	18.33	85.22
06/04/98	22.65	93.38
14/04/98	9.00	97.44
20/04/98	10.44	89.46
27/04/98	5.26	85.93
04/05/98	3.87	78.29
11/05/98	7.74	95.48
18/05/98	4.60	89.35
25/05/98	4.42	91.18
02/06/98	11.41	97.37
08/06/98	2.39	72.38
15/06/98	6.76	91.12
22/06/98	20.28	96.20
29/06/98	8.97	87.18
06/07/98	4.64	85.34
15/07/98	3.98	80.90
20/07/98	4.00	88.00
27/07/98	12.06	96.43
03/08/98	4.60	80.65
10/08/98	5.53	85.35
17/08/98	3.05	79.34
24/08/98	8.82	84.24
31/08/98	7.66	90.08
07/09/98	4.17	87.77
14/09/98	7.03	54.34
21/09/98	5.04	90.67
28/09/98	4.98	88.15
07/10/98	3.30	68.79
14/10/98	2.42	72.31
19/10/98	2.04	68.63
26/10/98	2.76	70.65

Tab. 4. 3. Biomasse chlorophyllienne et pourcentage de chlorophylle active

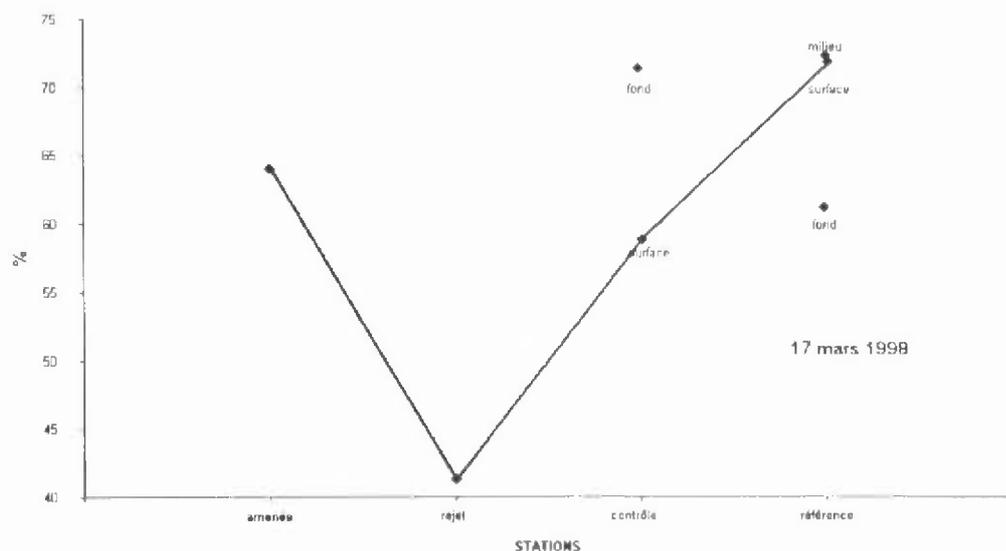


Fig. 4. 8. Impact de la centrale sur le pourcentage de chlorophylle active

Conclusion,

En ce qui concerne les maxima de chlorophylle, 1998 est comparable aux années 1992 et 1994 avec une teneur de 22 mg/m^3 , légèrement plus élevée qu'en 1997 (18 mg/m^3), mais plus faible qu'en 1993 et 1995 où les teneurs culminaient à 35 mg/m^3 . La campagne de printemps a été effectuée au début de la période d'augmentation de la biomasse chlorophyllienne. Celle de l'automne s'est déroulée alors que les teneurs en chlorophylle décroissaient.

Lors de la campagne de printemps, la teneur en chlorophylle à la station contrôle est comparable à celle relevée au canal d'amenée. Ceci montre une bonne régénération de la biomasse à cette époque. On constate par ailleurs un gradient côte - large décroissant très important comme le montre la différence de biomasse entre le canal d'amenée et la station de référence. Cette différence ne se remarque ni au niveau de la température, ni au niveau de la biomasse zooplanctonique.

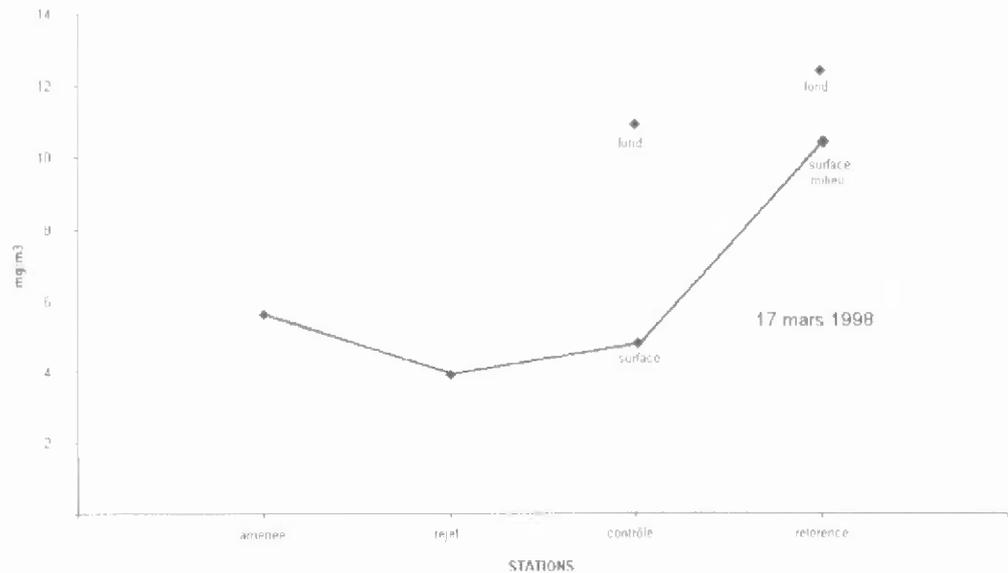


Fig. 4. 7. Impact de la centrale sur la biomasse chlorophyllienne.

4.2.2. Pourcentage de chlorophylle active

La figure 4.8 présente les différents pourcentages de chlorophylle active aux stations lors de la campagne printanière de prélèvement.

La chlorophylle est altérée en passant dans la centrale. Le pourcentage de chlorophylle active passe de 63 à 41 % soit une différence de 30 %. Au point de contrôle, en surface, les valeurs sont redevenues proches de celles relevées au canal d'amenée et de la station de référence, au fond.

La centrale a une grande influence sur la qualité de la biomasse phytoplanctonique qui se régénère presque totalement avant d'arriver à la station contrôle. Toutefois, il n'y a pas mélange des masses d'eau à ce niveau. Le relevé des températures et des salinités le laissait déjà supposer.

Les valeurs relevées à la station contrôle, au fond, et à la station référence au milieu et en surface sont similaires. Ceci montre qu'il s'agit de la même masse d'eau.

4.2. Impact de la centrale : campagnes du 17 mars et du 18 septembre

Des prélèvements hydrologiques ont été effectués au cours de deux campagnes. Les figures 4.1 et 4.2 permettent de les situer sur les courbes d'évolution annuelle représentant la biomasse chlorophyllienne d'une part, et sur celle montrant l'activité de la chlorophylle d'autre part. Ce paramètre montre l'état physiologique des pigments chlorophylliens et leur aptitude à se régénérer. Ces deux campagnes ont pour but de comparer trois stations à un point de référence situé en dehors de la tache thermique créée par le rejet de la centrale.

Le 18 septembre, des problèmes techniques ne nous ont pas permis d'avoir des résultats d'analyses interprétables pour ces paramètres.

La campagne du 17 mars se situe à un palier au début de la phase ascendante de la floraison printanière. La teneur maximale de chlorophylle est atteinte 3 semaines plus tard le 6 avril.

Lors de la campagne de printemps, les teneurs en chlorophylle à la station de référence et au point de contrôle, au fond sont toutes supérieures à 10 mg/m^3 et dans la même fourchette de valeur. On constate un gradient surface fond croissant.

La campagne du 18 septembre s'est déroulée au cours de la période de décroissance lente des teneurs en chlorophylle et juste après un prélèvement où la chlorophylle était peu active.

4.2.1. Biomasse chlorophyllienne

Sur la figure 4.7 est représentée la biomasse chlorophyllienne des échantillons d'eau aux différentes stations de prélèvement.

Les différents prélèvements font apparaître deux groupes de stations. Le canal d'amenée, le canal de rejet et la station contrôle, en surface d'une part ; la station de référence et le point de contrôle, au fond d'autre part.

Le 17 mars, le déficit de biomasse chlorophyllienne entre le canal d'amenée et le rejet est de 30 %. Au niveau du point de contrôle le déficit entre la surface et le fond est très marqué puisqu'il est de 56 %. La teneur du fond est comparable à celles relevées dans toute la colonne d'eau de la station de référence. A cette station, on constate un léger gradient entre le fond et la surface (16 %). La différence entre les teneurs en chlorophylle relevées au canal d'amenée et à la station de référence indique un gradient côte - large très prononcé. Les teneurs en chlorophylle sont semblables au rejet et au point de contrôle, en surface.

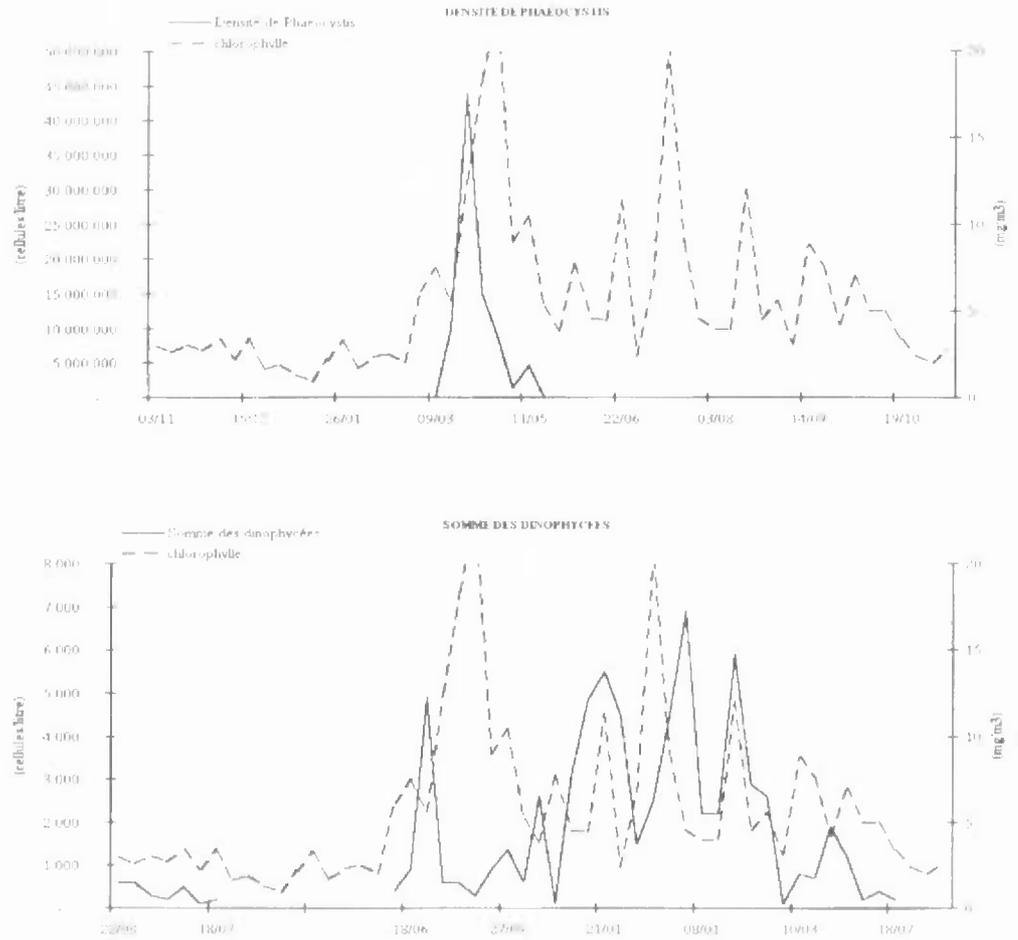


Fig. 4. 5. Biomasse chlorophyllienne et succession d'espèces phytoplanktoniques.

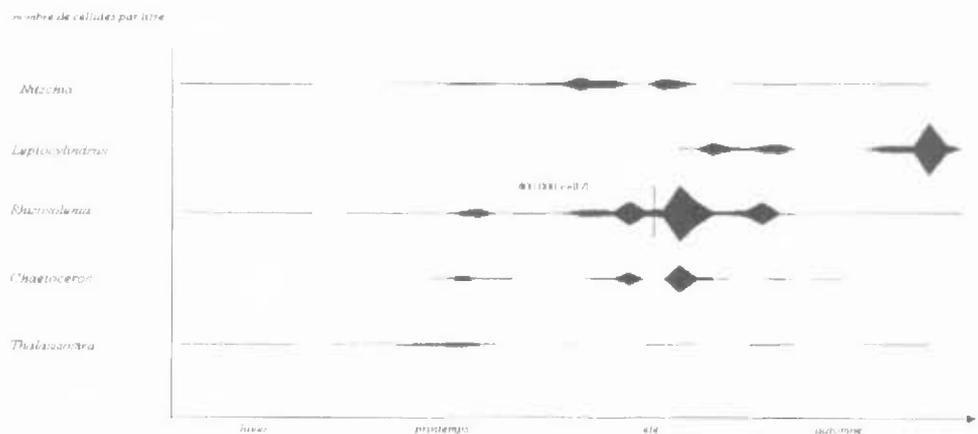


Fig. 4. 6. Densité de quelques genres phytoplanktoniques

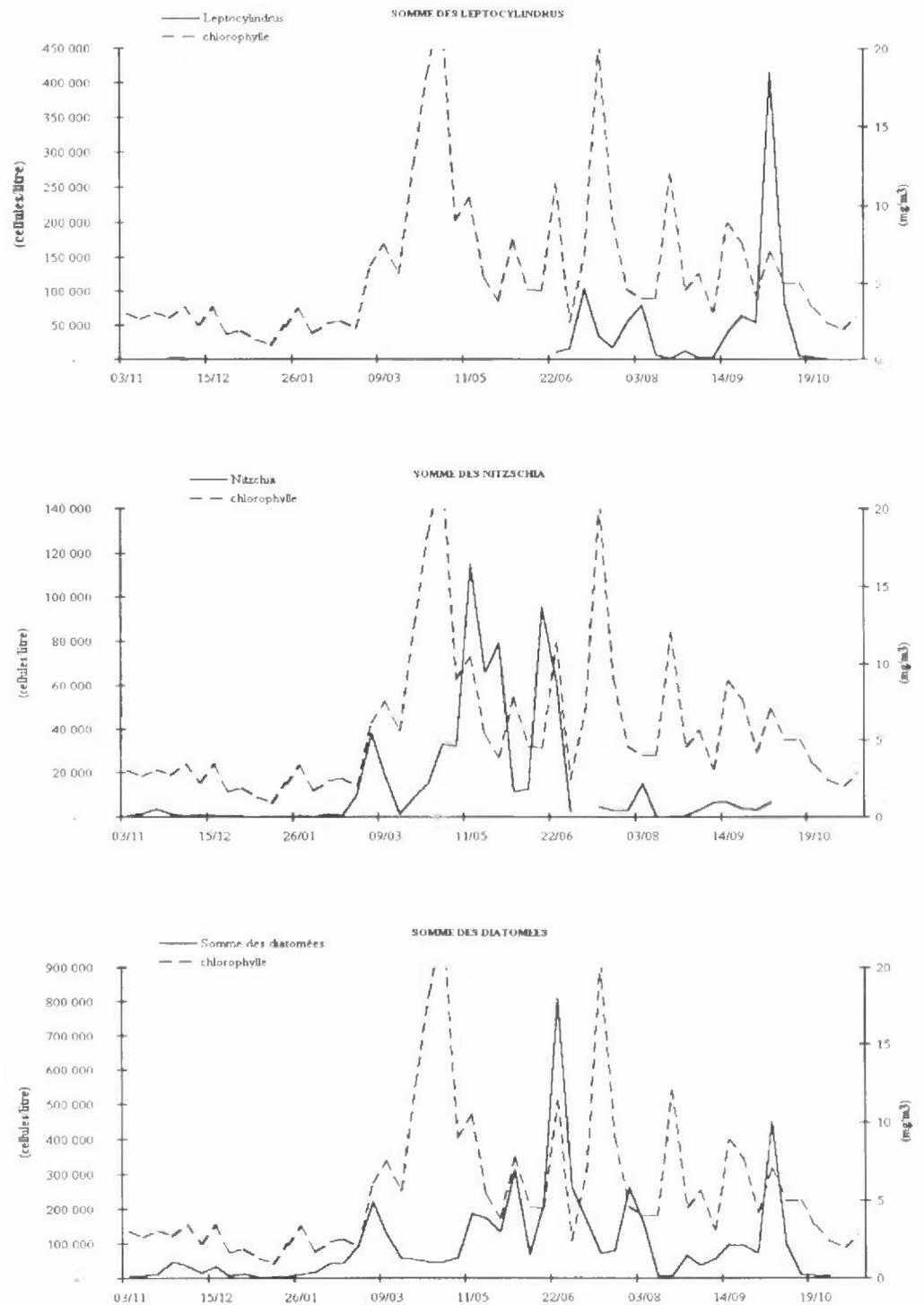


Fig. 4. 4. Biomasse chlorophyllienne et succession d'espèces phytoplanctoniques

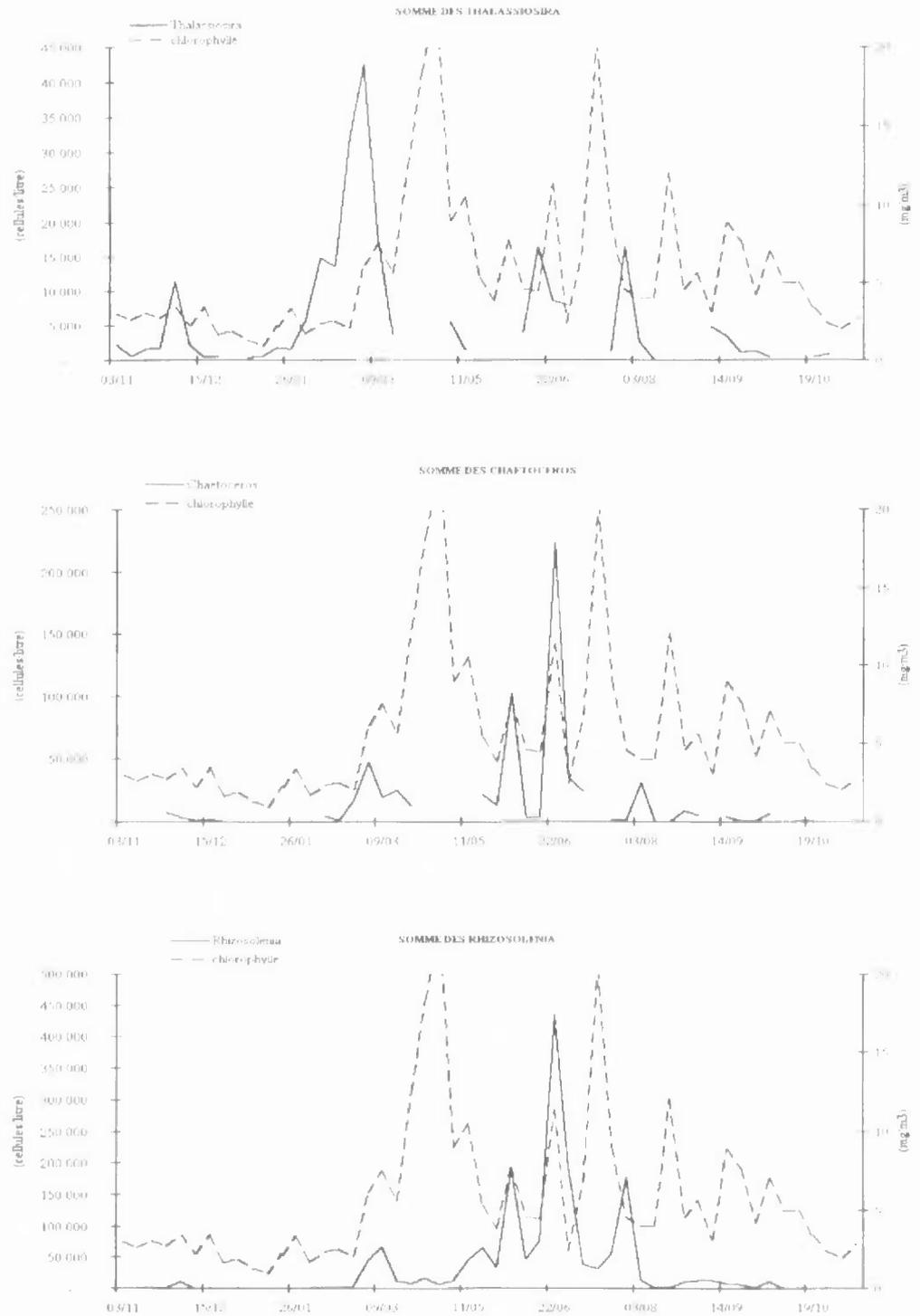


Fig. 4. 3. Biomasse chlorophyllienne et succession d'espèces phytoplanctoniques

En dehors de *Phaeocystis*, on observe plus de 100 000 cellules de diatomées par litre aux dates suivantes :

Date	Nombre de diatomées (cellules par litre)	espèce(s) dominante(s)
23/2/98	103 000	<i>Skeletonema et Thalassionema</i>
4/3/98	228 000	<i>Chaetoceros sociale, Skeletonema et Nitzschia</i>
9/3/98	129 000	<i>Rhizosolenia delicatula</i>
11/5/98	194 000	<i>Pseudonitzschia</i>
18/5/98	202 000	<i>Pseudonitzschia seriata et Rhizosolenia</i>
25/5/98	143 000	<i>Pseudonitzschia</i>
2/6/98	319 000	<i>Rhizosolenia et Chaetoceros sociale</i>
15/6/98	226 000	<i>Pseudonitzschia et Rhizosolenia setiger</i>
22/6/98	818 000	<i>Rhizosolenia setiger et Chaetoceros sociale</i>
29/6/98	274 000	<i>Rhizosolenia imbricata et setiger</i>
6/7/98	176 000	<i>Leptocylindrus</i>
27/7/98	269 000	<i>Rhizosolenia delicatula</i>
3/8/98	162 000	<i>Leptocylindrus</i>
28/9/98	469 000	<i>Leptocylindrus</i>
7/10/98	111 000	<i>Leptocylindrus</i>

Tab. 4. 2. Dates où le nombre de cellules par litre dépasse 100 000

Comme on peut le voir sur la figure 4.4, on observe la première efflorescence de diatomées dès la fin du mois de février. Elle se prolonge jusqu'au 9 mars. Elle est corrélée à l'augmentation des teneurs en chlorophylle et précède l'arrivée massive de *Phaeocystis*. La seconde se déroule pendant les mois de mai et de juin. On remarque que les deux prélèvements du 2 et du 22 juin où le plancton a été abondant correspondent à 2 pics de chlorophylle. Il en est de même pour le dernier pic de chlorophylle du 28 septembre qui est attribué à *Leptocylindrus*.

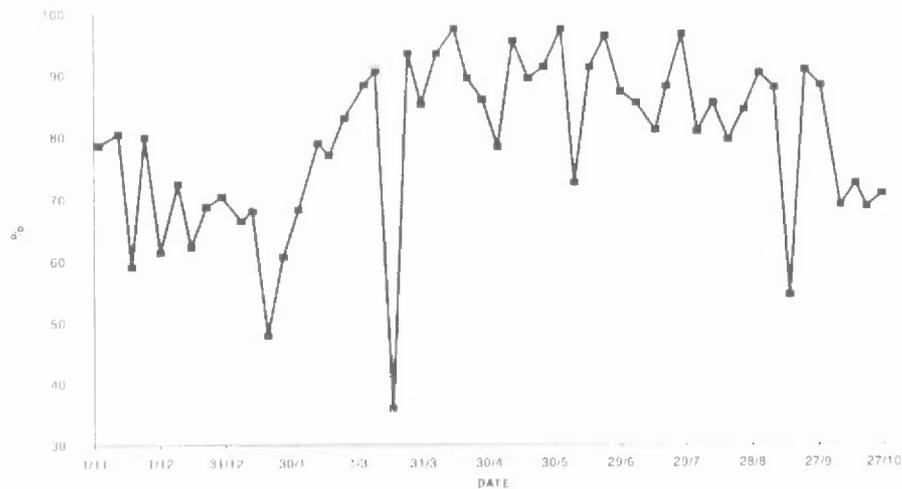


Fig. 4. 2. Pourcentage de chlorophylle active

4.1.2. Succession des espèces planctoniques.

Phaeocystis, espèce coloniale très abondante lorsqu'elle est présente dans le milieu, est responsable d'écumes et d'eaux très turbides particulièrement visibles dans le canal de rejet de la centrale. Comme on peut le voir dans le tableau 4.1 et la figure 4.5, il est présent pendant presque deux mois cette année. Les quantités observées sont très élevées. Le maximum de cellules est atteint dès le début de sa période d'apparition puis l'espèce disparaît progressivement ensuite avec un second pic beaucoup moins important le 11 mai. Ce jour là, on note une concentration relativement importante de chlorophylle et on a observé 200 000 cellules de diatomées.

On a compté :

Date	nombre de cellules par litre
24 mars	19 millions
6 avril	44 millions
14 avril	15 millions
20 avril	9 millions
4 mai	1 million
11 mai	4.6 millions
18 mai	27 000
28 septembre	10 000

Tab. 4. 1. Quantité de *Phaeocystis*

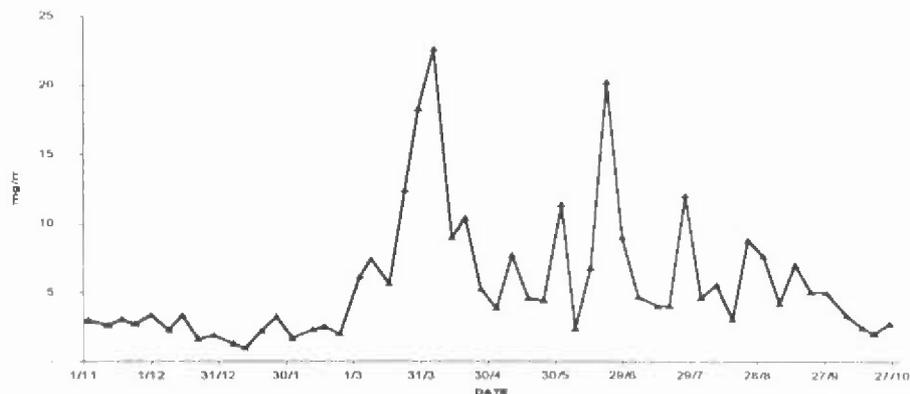


Fig. 4. 1. Biomasse chlorophyllienne

La figure 4.2 présente l'activité de la chlorophylle.

L'indice de dégradation donne des indications sur l'état physiologique des cellules, et la composition du plancton. Il permet de calculer le pourcentage de chlorophylle active.

On constate que les pourcentages oscillent autour de 70 % dans toute la période précédant le 19 janvier. Ce jour là, la qualité de la chlorophylle se dégrade fortement puisqu'elle descend à 47 %. La qualité de la chlorophylle s'améliore régulièrement ensuite pour se maintenir presque toujours au-dessus de 80 % jusqu'à la fin du mois de juillet. Le pourcentage diminue ensuite pour se retrouver inférieure à 75 % au début du mois d'octobre.

On remarque une valeur exceptionnellement faible où le pourcentage est de 36 % le 17 mars. Cette chute se situe dans la semaine qui précède le premier pic printanier de chlorophylle.

Une autre valeur faible (54%) est observée le 14 septembre. Mais ce jour là, la quantité de chlorophylle est légèrement plus élevée (7 mg/m^3) que la valeur observée lors des prélèvements situés de part et d'autre.

La surveillance du phytoplancton et de la biomasse chlorophyllienne du site de Gravelines a deux objectifs.

- Un prélèvement d'eau hebdomadaire au canal d'amenée est destiné à observer les variations de la biomasse chlorophyllienne et de dénombrer les espèces du phytoplancton tout au long de l'année. Il permet de comparer les années. Il situe chronologiquement les deux campagnes de prélèvements hydrologiques par rapport aux pics de chlorophylle et à l'efflorescence de *Phaeocystis*, espèce planctonique responsable d'eaux turbides et d'écumes particulièrement visibles dans le panache de rejet de la centrale.
- Des prélèvements de chlorophylle et de phytoplancton sont effectués au cours des deux campagnes hydrologiques du 17 mars et du 18 septembre. Celles-ci ont pour objet de comparer trois stations (amenée, rejet et contrôle) à un point de référence situé en dehors de l'impact du rejet de la centrale.

4.1. Surveillance hebdomadaire au canal d'amenée.

4.1.1. Biomasse chlorophyllienne.

Le tableau 4.3 rassemble les résultats de biomasse chlorophyllienne et de chlorophylle active.

La figure 4.1 présente graphiquement l'évolution de la chlorophylle au cours de la période d'étude.

La biomasse chlorophyllienne donne une idée de la quantité de phytoplancton présente dans l'eau.

Les valeurs restent très faibles, comprises entre 1 et 3 mg/m³, jusqu'au 23 février. Elles augmentent ensuite rapidement pour atteindre 25 mg/m³ le 6 avril. Les teneurs chutent ensuite en se maintenant dans une fourchette comprise entre 5 et 10 mg/m³. Elles passent par un nouveau pic le 22 juin puis redescendent progressivement en oscillant jusqu'à la fin de la période étudiée.

La chlorophylle atteint un maximum de 22 mg/m³, comparable aux teneurs observées au cours des printemps 1992 et 1994. C'est en 1997 que le maximum relevé a été le plus faible de ces dernières années avec 18 mg/m³. Au contraire, les valeurs printanières ont culminé à 35 mg/m³ en 1995 et en 1993.

4. PHYTOPLANCTON ET BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE

Benoist HITIER, Pascale HEBERT & René OLIVESI

Date	Température	Vibrions 37°c	V. alginolyticus	V. cholerae Nag	V. damsela	V. fluvialis	V. harveyi	V. hollisae	V. metschnikovii	V. mimicus	V. parahaemolyticus	V. vulnificus	V. spp.
03/11/97	20,7	49	14	26							9		
12/11/97	20,9	8 000	5 000	3 000									
18/11/97	22,1	2 700	1 100	1 000		600							
24/11/97	20,8	60	17	43									
01/12/87	20,6	540	380	160									
09/12/97	19,4	3 400	2 400	1 000									
15/12/97	18,4	1 200	300	900									
22/12/97	17,0	620	200	400							20		
29/12/97	17,0	560	40		120	400							
07/01/98	17,7	1 220	80	640	500								
12/01/98	19,0	3 600	700	1 300						1 600			
19/01/98	16,9	2 800	800	1 000							1 000		
26/01/98	15,2	840	240	360							240		
02/02/98	15,5	560	200	40	160	160							
11/02/98	16,7	510	350		160								
16/02/98	17,0	410	200			100				110			
23/02/98	17,4	840	640			200							
04/03/98	18,5	840	140			200				300	200		
09/03/98	18,3	740	300	200							240		
17/03/98	19,5	1 300	300			1 000							
24/03/98	18,3	2 200	1 000	600			600						
30/03/98	20,3	4 025	25	1 500	1 500	1 000							
06/04/98	19,8	3 600	700					1 000		1 900			
14/04/98	19,5	5 000	800		2 000	200				2 000			
20/04/98	20,4	1 200	100	500						600			
27/04/98	19,8	4 200	100	2 600							1 500		
04/05/98	19,4	4 000	2 200	800		1 000							
11/05/98	21,8	3 100	1 800							1 300			
18/05/98	25,1	5 000	5 000										
25/05/98	24,0	140 000	90 000	50 000									
02/06/98	24,0	28 000	26 000								2 000		
08/06/98	25,2	120 000	80 000	40 000									
15/06/98	24,0	40 000	40 000										
22/06/98	27,1	250 000	220 000		30 000								
29/06/98	27,3	1 800 000	1 200 000	600 000									
06/07/98	26,5	310 000	100 000	210 000									
15/07/98	23,5	50 000	50 000										
20/07/98	26,6	130 000	130 000										
27/07/98	28,2	650 000	640 000			10 000							
03/08/97	26,2	310 000	40 000	120 000						100 000	50 000		
10/08/98	28,4	120 000	60 000	30 000							30 000		
17/08/98	26,9	230 000	230 000										
24/08/98	27,9	150 000	140 000	10 000									
31/08/98	26,9	120 000	90 000								30 000		
07/09/98	27,7	12 000	12 000										
14/09/98	23,5	30 100	30 000			100							
21/09/98	25,4	45 000	35 000	10 000									
28/09/98	27,3	170 000	70 000								100 000		
07/10/98	24,1	19 000	19 000										
14/10/98	22,9	2 900	2 900										
19/10/98	23,2	1 900	900							1 000			
26/10/98	23,2	1 800	1 700	100									

Tab.3.A.4 Bactériologie: mesures hebdomadaires au rejet

Date	Température	Vibrions 37°C	V. alginolyticus	V. cholerae Nag	V. damsela	V. fluvialis	V. harveyi	V. hollisae	V. metschnikovii	V. mimicus	V. parahaemolyticus	V. vulnificus	V. spp.
03/11/97	10,0	48	48										
12/11/97	11,4	230	170	10	50								
18/11/97	11,0	54	10	20	14	10							
24/11/97	10,8	8	8										
01/12/87	10,9	64	12			52							
09/12/97	9,9	100	80	20									
15/12/97	8,8	76	16	16				20			24		
22/12/97	8,2	6	6			2					4		
29/12/97	9,1	46	18	26	2								
07/01/98	8,8	118	30	20		60				8			
12/01/98	9,1	66	18	14	34								
19/01/98	8,8	80	12	48									20
26/01/98	5,5	22	12						6			4	
02/02/98	5,5	8	1	5		2							
11/02/98	6,5	22	6			4				12			
16/02/98	7,6	12	10			2							
23/02/98	8,1	46	10	16	20								
04/03/98	9,0	30	28			2							
09/03/98	8,6	24	6		10						8		
17/03/98	8,1	22			6	16							
24/03/98	8,2	20		3	14					3			
30/03/98	10,2	36	2	18		4				12			
06/04/98	10,4	160	60								100		
14/04/98	9,3	10	2	2						6			
20/04/98	10,2	48	4					24		20			
27/04/98	11,6	280	80	20		80				100			
04/05/98	10,5	22	2	6						10	4		
11/05/98	13,1	36	24							12			
18/05/98	15,5	10	2	8									
25/05/98	14,9	40	40										
02/06/98	15,7	30	10	20									
08/06/98	16,4	210	80	130									
15/06/98	16,4	420	260		160								
22/06/98	17,9	700	600	100									
29/06/98	17,8	520	220		300								
06/07/98	18,1	600	40		540						20		
15/07/98	17,2	560	60		180	320							
20/07/98	18,8	480	240		180	60							
27/07/98	18,8	460	240			220							
03/08/97	19,0	900	100	100						400	300		
10/08/98	20,3	5 000	4 000								1 000		
17/08/98	19,7	2 400	1 800		600								
24/08/98	19,1	6 200	3 000	1 000							2 200		
31/08/98	17,8	680	520								160		
07/09/98	18,7	160	160										
14/09/98	16,9	420	360		60								
21/09/98	16,6	70	70										
28/09/98	17,8	660	200	40	160				20		240		
07/10/98	15,1	380	320								60		
14/10/98	15,0	160	100			60							
19/10/98	14,0	120	20			100							
26/10/98	13,5	330	110	10	60	150							

Tab.3.A.3 Bactériologie: mesures hebdomadaires à la Prise d'eau

Date Seuils	Chlore tot. 0,03 mg/l	PRISE			REJET		
		C H Cl ₂ Br 0,02 µg/l	C H Cl Br ₂ 0,02 µg/l	C H Br ₃ 0,05 µg/l	C H Cl ₂ Br 0,02 µg/l	C H Cl Br ₂ 0,02 µg/l	C H Br ₃ 0,05 µg/l
03/11/97	0,08	-	-	0,60	0,04	0,89	30,06
12/11/97	-	-	-	0,42	-	0,21	4,81
18/11/97	-	-	-	0,83	-	0,31	5,65
24/11/97	0,07	-	-	0,86	0,06	0,84	19,07
01/12/87	-	-	-	0,82	-	0,49	11,61
09/12/97	0,04	-	-	0,63	-	0,22	5,25
15/12/97	-	-	-	0,17	-	0,26	4,61
22/12/97	-	-	-	-	-	-	2,14
29/12/97	-	-	-	-	-	-	-
07/01/98	-	-	-	-	-	-	-
12/01/98	-	-	-	-	-	-	-
19/01/98	-	-	-	-	-	-	-
26/01/98	-	-	-	-	-	-	-
02/02/98	-	-	-	-	-	-	-
11/02/98	-	-	-	-	-	-	-
16/02/98	-	-	-	-	-	-	-
23/02/98	-	-	-	-	-	-	-
04/03/98	-	-	-	-	-	-	-
09/03/98	-	-	-	-	-	-	-
17/03/98	*	-	-	0,27	-	0,34	7,86
24/03/98	-	-	-	-	-	-	2,11
30/03/98	-	-	-	0,61	-	0,68	17,04
06/04/98	0,05	-	-	1,20	-	1,09	34,33
14/04/98	0,04	-	-	0,83	-	0,92	23,67
20/04/98	-	-	-	2,07	0,10	1,84	74,57
27/04/98	-	-	0,05	1,54	-	0,87	24,16
04/05/98	-	-	-	0,29	-	0,61	15,84
11/05/98	-	-	-	1,16	-	0,66	16,14
18/05/98	0,04	-	-	1,04	0,10	1,84	50,81
25/05/98	-	-	-	1,03	0,09	1,42	38,94
02/06/98	-	-	0,10	1,54	-	0,90	23,43
08/06/98	-	-	0,12	3,26	0,07	0,90	19,91
15/06/98	-	-	-	0,92	0,08	0,94	19,18
22/06/98	-	-	-	1,45	-	0,75	17,96
29/06/98	-	-	0,06	1,68	0,08	1,05	26,77
06/07/98	-	-	0,05	1,51	-	0,88	20,13
15/07/98	0,04	-	-	0,98	-	0,82	16,20
20/07/98	0,04	-	-	1,52	0,07	0,89	16,78
27/07/98	0,03	-	0,06	1,36	-	1,53	48,01
03/08/97	0,06	-	-	1,07	0,08	1,11	22,81
10/08/98	-	-	-	0,70	-	0,65	14,04
17/08/98	-	-	0,04	1,41	-	1,05	27,33
24/08/98	0,07	-	0,06	1,92	-	0,55	10,81
31/08/98	-	-	-	0,71	0,07	1,12	30,87
07/09/98	0,03	-	0,05	1,91	0,06	0,81	18,37
14/09/98	-	-	-	0,58	-	0,27	4,74
21/09/98	0,04	-	-	0,63	0,08	1,18	30,74
28/09/98	-	-	-	1,98	-	0,68	17,58
07/10/98	-	-	-	0,60	-	0,64	14,35
14/10/98	0,06	-	-	1,59	-	0,56	20,74
19/10/98	0,03	-	-	1,41	-	0,51	17,82
26/10/98	-	-	-	1,54	0,06	0,79	26,05

Tab.3.A.2.. Chlore résiduel et haloformes

Date	Puissance moyenne (MW) de la semaine	Débit (m ³ /sec.)	Echauffement mesuré (°C)	Echauffement calculé (°C)
03/11/97	4920	245	10,7	9,6
12/11/97	4692	245	9,5	9,2
18/11/97	4892	236	11,1	9,9
24/11/97	4389	206	10,0	10,2
01/12/87	4386	204	9,7	10,3
09/12/97	4299	204	9,5	10,1
15/12/97	4207	204	9,6	9,9
22/12/97	3645	241	8,8	7,2
29/12/97	4028	242	7,9	8,0
07/01/98	4787	245	8,9	9,3
12/01/98	4810	239	9,9	9,6
19/01/98	4338	206	8,1	10,1
26/01/98	4402	204	9,7	10,3
02/02/98	3827	194	10,0	9,4
11/02/98	4376	204	10,2	10,2
16/02/98	4366	210	9,4	9,9
23/02/98	4387	218	9,3	9,6
04/03/98	4159	227	9,5	8,8
09/03/98	4822	242	9,7	9,5
17/03/98	5248	245	11,4	10,2
24/03/98	5240	245	10,1	10,2
30/03/98	5203	245	10,1	10,1
06/04/98	5252	245	9,4	10,2
14/04/98	5090	245	10,2	9,9
20/04/98	5046	245	10,2	9,8
27/04/98	4415	238	8,2	8,9
04/05/98	4204	203	8,9	9,9
11/05/98	3520	199	8,7	8,5
18/05/98	4089	204	9,6	9,6
25/05/98	3929	207	9,1	9,1
02/06/98	3659	224	8,3	7,8
08/06/98	3573	230	8,8	7,4
15/06/98	3948	207	7,6	9,1
22/06/98	4236	204	9,2	9,9
29/06/98	4160	205	9,5	9,7
06/07/98	4061	240	8,4	8,1
15/07/98	3662	241	6,3	7,3
20/07/98	4212	245	7,8	8,2
27/07/98	4517	245	9,4	8,8
03/08/97	3900	239	7,2	7,8
10/08/98	3056	205	8,1	7,1
17/08/98	3403	204	7,2	8,0
24/08/98	3568	204	8,8	8,4
31/08/98	3313	204	9,1	7,8
07/09/98	3634	206	9,0	8,4
14/09/98	3393	191	6,6	8,5
21/09/98	3414	185	8,8	8,8
28/09/98	4153	208	9,5	9,5
07/10/98	4175	234	9,0	8,5
14/10/98	4248	245	7,9	8,3
19/10/98	4272	242	9,2	8,4
26/10/98	4868	245	9,7	9,5

Tab:3.A.1. Fonctionnement de la centrale de Gravelines

ANNEXES

Régis DELESMONT & Edith DELESMONT

trique et les installations aquacoles entraîne une multiplication importante du nombre des vibrions (70 fois en moyenne géométrique).

En dépit de variations liées aux conditions climatiques, l'amplitude du cycle des vibrions dans le rejet est relativement stable depuis la mise en service des six tranches de la centrale de Gravelines (cycle 1986). Le développement de l'aquaculture (phase expérimentale en 1984 puis extensions en 1992 et 1996) ne semble pas avoir eu d'influence sur les vibrions en terme d'abondance.

Avant 1984, la quasi totalité de la flore des vibrions isolés sur le site était représentée par *Vibrio alginolyticus*. Parallèlement au développement de l'aquaculture sur le site, une diversité croissante des espèces de vibrions a été observée. Cette diversité des espèces de vibrions est pleinement confirmée cette année. Les différentes espèces de vibrions mises en évidence profitent toutes des conditions du site pour se multiplier.

Vibrio alginolyticus qui était auparavant la seule espèce de vibron mise en évidence sur le site, reste l'espèce majoritaire dans le rejet de la centrale avec 56 % des isollements. Le rôle important de l'aquaculture dans les modifications de la microflore bactérienne est mis en évidence par la mesure de son rejet dans le canal de la centrale.

Vibrio cholerae Nag est la seconde espèce par ordre d'importance avec un pourcentage de 20%. Ce pourcentage d'isolement de *V. cholerae* Nag est le plus grand enregistré depuis 1993 où il avait atteint 13 %. Les souches de *Vibrio cholerae* isolées sur le site ne sont pas agglutinables par les sérums anti-*Vibrio cholerae* O1 (Nag) et sont depuis trois ans halophiles strictes, ce qui permet de les différencier a priori des souches épidémiques. En ce qui concerne *Vibrio cholerae*, il convient de rappeler que cette espèce comprend environ 140 sérotypes et que seulement deux de ces sérotypes présentent un risque sanitaire important. Ces deux sérotypes n'ont jamais été mis en évidence sur le site de Gravelines.

Les autres espèces mises en évidence en 1997-1998 sont : *Vibrio damsela*, *V. mimicus*, *V. hollisae*, *V. vulnificus*, *V. parahaemolyticus*, *V. harveyi*, *V. metschnikovii* et *V. fluvialis*. C'est à dire toutes les espèces définies dans la clé d'identification que nous utilisons.

Les vibrions sont en concentration plus importante au rejet et au point Contrôle que dans le milieu marin non concerné par le panache de rejet lors des deux campagnes pélagiques. En septembre, la concentration en vibrions est plus anormalement faible au rejet car le prélèvement a été réalisé depuis le radeau du canal, c'est à dire en amont du point de contrôle habituel.

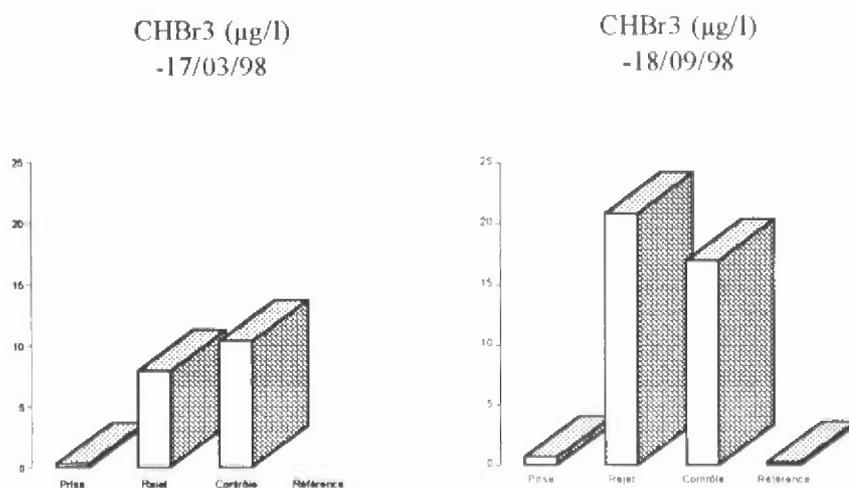


Fig.3.16.. Campagnes pélagiques - Bromoforme

Les trihalométhanes résultants de la chloration de l'eau de mer sont mis en évidence lors des deux campagnes pélagiques. Les concentrations en haloformes sont légèrement plus grandes au Contrôle qu'au rejet lors de la campagne de mars.

3.3. CONCLUSION

Les résultats obtenus cette année précisent et confirment les modifications du milieu observées lors des dernières études de surveillance écologique du site de Gravelines.

Conséquence d'un hiver clément, la chloration des eaux de refroidissement ne s'est arrêtée que pendant 3 mois et demi. Les composés chimiques formés sont bromés. Le plus abondant est le bromoforme avec une concentration moyenne de 20.8 µg/l (97 % du total). Les dosages d'haloformes et, en particulier, du plus abondant d'entre eux, le bromoforme, permettent de mesurer l'étendue du panache de rejet et d'estimer le taux de recirculation de l'eau de refroidissement (5,2 % en 1997-1998). Les dosages de composés chlorés plus lourds que les haloformes formés par la chloration ont mis en évidence de faibles concentrations en 2-4-6 bromophénol. Le passage de l'eau dans l'ensemble constitué par la centrale élec-

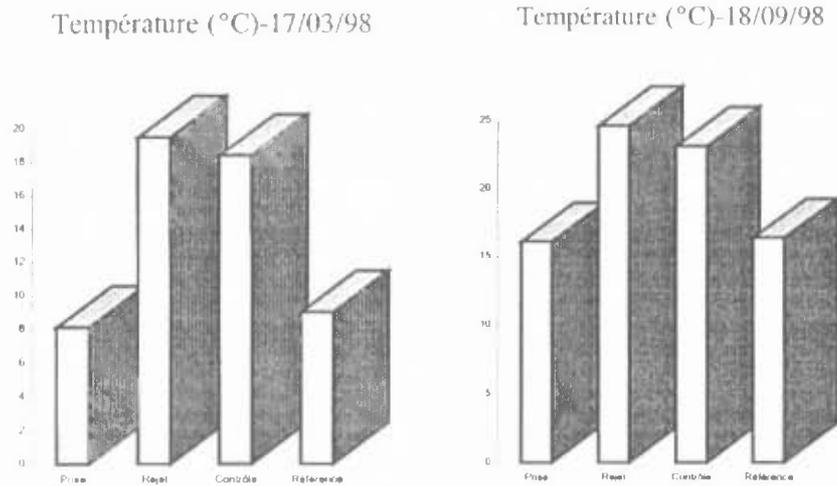


Fig.3.14.. Campagnes pélagiques - Températures

On n'observe pratiquement aucune dilution du rejet en mer au point contrôle lors des deux campagnes. En effet, par temps calme, les eaux du rejet se mélangent peu et s'étalent sur l'eau de mer plus froide comme le montrent les figures ci-dessus représentant les températures de surface.

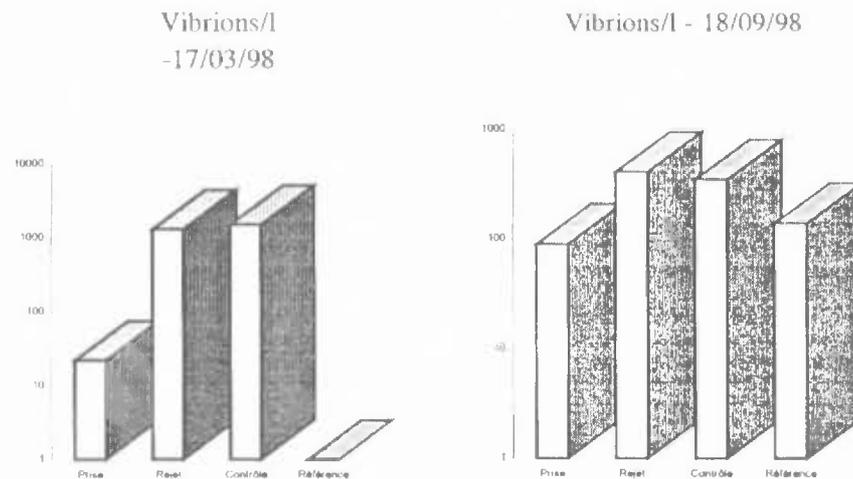


Fig.3.15.. Campagnes pélagiques - Vibrions

vibrions de ces alimentations, la grande majorité des vibrions ensemençant le canal de rejet provient de l'aquaculture.

Une estimation des flux moyens annuels de vibrions a été réalisée en utilisant les résultats de contrôle mensuel. En ce qui concerne les vibrions totaux, le flux émis par l'aquaculture du même ordre de grandeur que le flux total de vibrions sortant du canal de rejet.

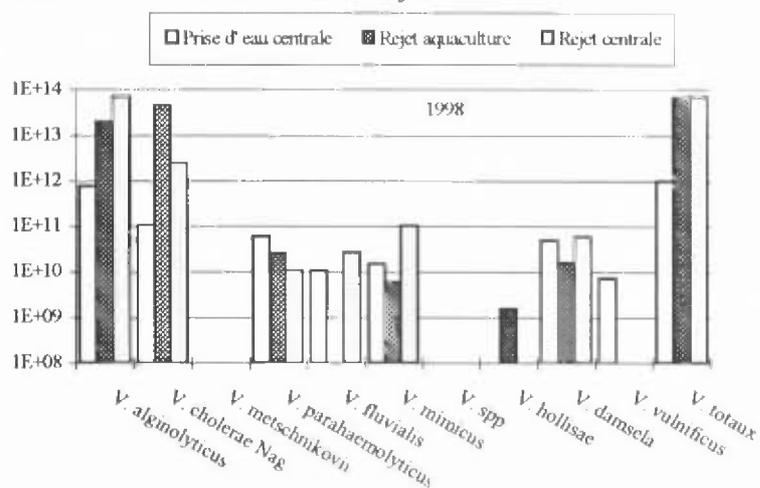


Fig.3.13... Flux par 24 heures des vibrions (contrôles mensuels)

3.2.2. Campagnes pélagiques

Date	Point	Température (°C)	Vibrions 37°C /litre						Haloformes		
			Vibrions totaux (fl)	V. alginolyticus	V. cholerae Nag	V. damsela	V. fluvialis	V. parahaemolyticus	CHCl2Br (µg/l)	CHClBr2 (µg/l)	CHBr3 (µg/l)
17/03/98	Prise	8,1	22			6	16				0,2
	Rejet	19,5	1300	300			1000			0,34	7,1
	Contrôle	18,4	1500	200	300		1000			0,49	10,3
	Référence	9	1	1							
18/09/98	Prise	16,1	90	90							0,6
	Rejet	24,6	410	250	60			100		0,86	20,8
	Contrôle	23,1	350	150	200					0,72	17,0
	Référence	16,4	140	50	30			60			0,2

Tab.3.2..Campagnes pélagiques. Bactériologie et chloration

Les espèces concernées par la multiplication dans les fermes aquacoles sont *Vibrio alginolyticus*, *V. cholerae* Nag, *V. parahaemolyticus*, *V. mimicus* et *V. damsela*. Les concentrations moyennes de ces espèces sont beaucoup plus élevées dans le rejet aquacole qu'à l'extrémité du canal EDF.

Dans le rejet aquacole, *Vibrio alginolyticus* ne représente que 31 % des isollements de vibrions. *Vibrio cholerae* Nag qui était l'espèce la plus fréquemment isolée avec 59 % en 1995 avait vu son pourcentage baisser pendant deux années consécutives (32 % en 1996 et 24 % en 1997) est à nouveau la plus fréquente avec 47% des isollements. Cette année encore, *V. parahaemolyticus* est bien représenté dans le rejet aquacole avec 9 % des isollements.

Le rejet des fermes marines représente sur la période un débit moyen de 9 m³/s qui se déversent dans les 223 m³/s du rejet de la centrale. Par effet de dilution, une espèce bactérienne qui ne se multiplierait pas dans le canal de rejet verrait sa concentration réduite d'un facteur de l'ordre de 25 entre l'aquaculture et le rejet en mer.

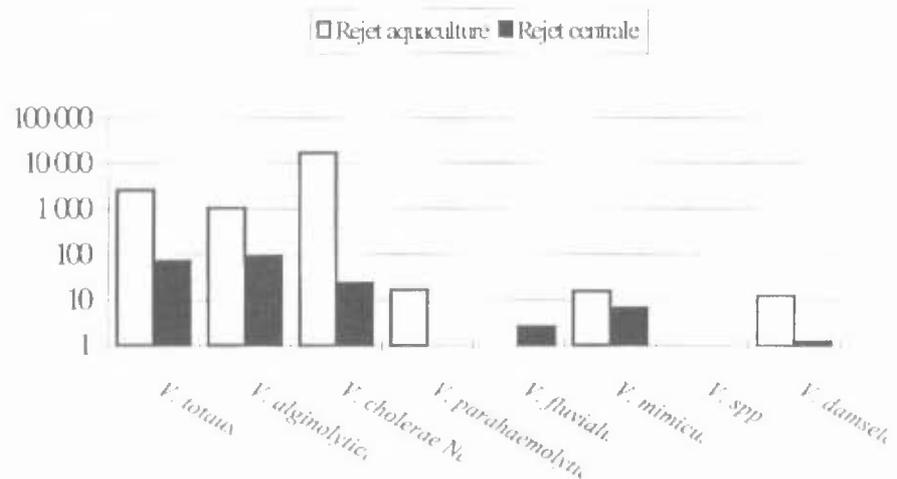


Fig.3.12.. Concentrations moyennes des espèces de vibrions (contrôle mensuel)

En tenant compte de l'influence de l'aquaculture, il se confirme que *Vibrio alginolyticus* est l'espèce la mieux adaptée aux modifications thermiques dues à la centrale. Toutes les autres espèces voient leur concentration décroître de façon plus importante entre l'aquaculture et l'extrémité du canal car la multiplication dans le canal de la centrale ne compense pas la dilution.

Le canal de rejet de la centrale est alimenté par les déversoirs (eau chaude) et le rejet aquacole. Compte tenu des concentrations respectives en

bactéries se produit dans l'eau échauffée dès que l'oxydant résiduel a disparu (extrémité du canal de rejet et bassins aquacoles).

Les résultats de la figure 3.11. représentent les pourcentages des différentes espèces de vibrions dans le rejet aquacole comparés aux valeurs du rejet de la centrale prélevé aux mêmes dates.

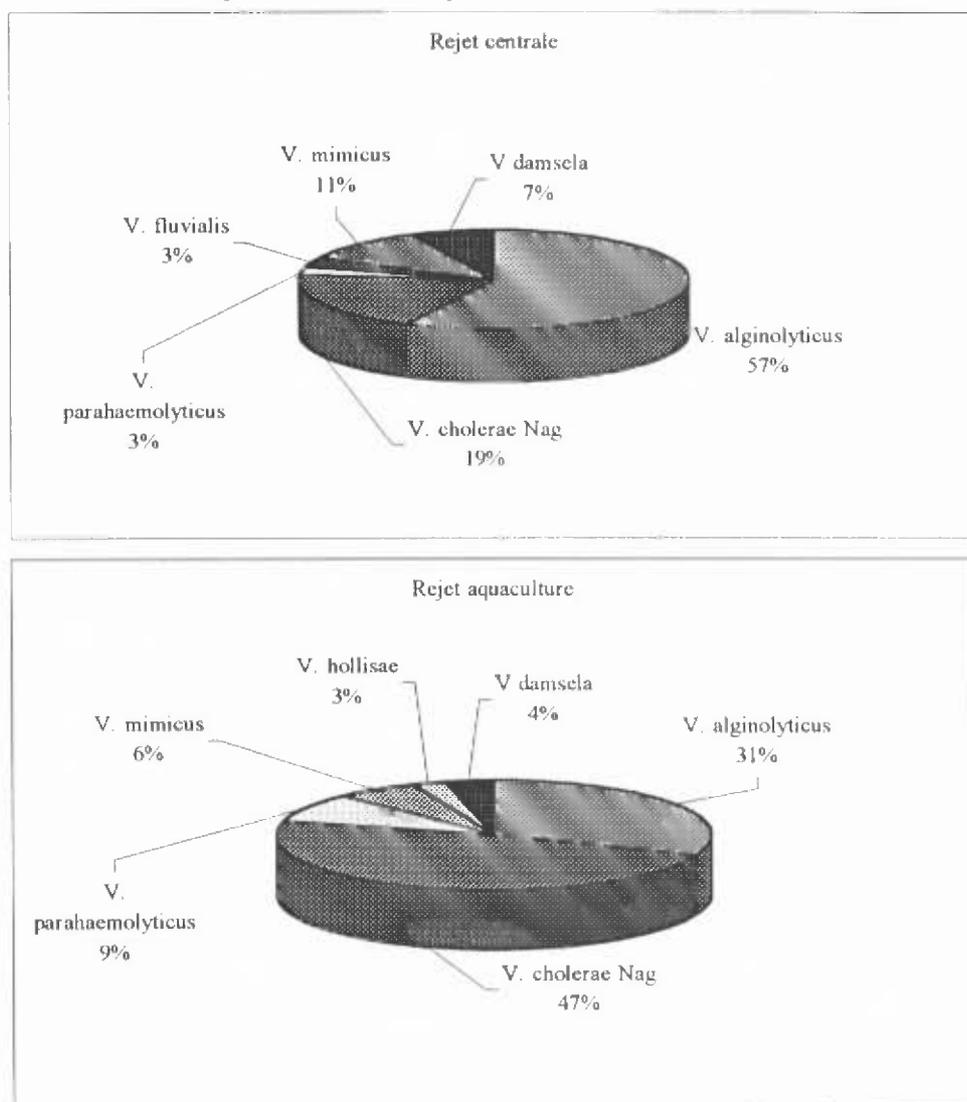


Fig. 3.11.. Pourcentages moyens des espèces de vibrions (contrôle mensuel)

Au rejet de la centrale et à la prise d'eau, les pourcentages calculés sont sensiblement différents de ceux mesurés avec les prélèvements hebdomadaires. La fiabilité des résultats est cependant plus faible compte tenu du plus petit nombre d'échantillons concernés (12 au lieu de 52).

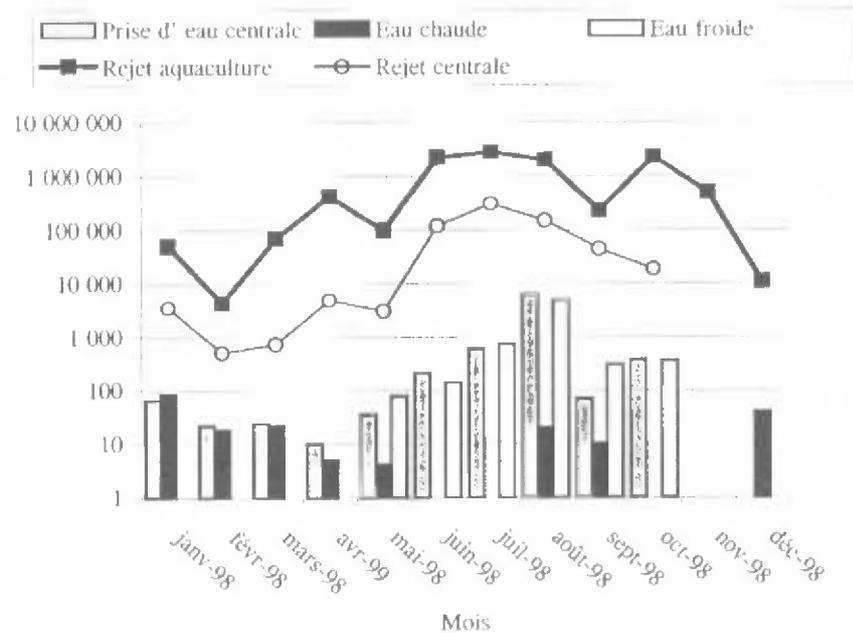


Fig.3.9.. Concentrations moyennes des vibrions (Vibrions/litre - base mensuelle)

Les concentrations en vibrions dans le rejet aquacole sont toute l'année supérieures à celles du rejet en mer. En moyenne annuelle, les vibrions sont 28 fois plus abondants dans le rejet aquacole.

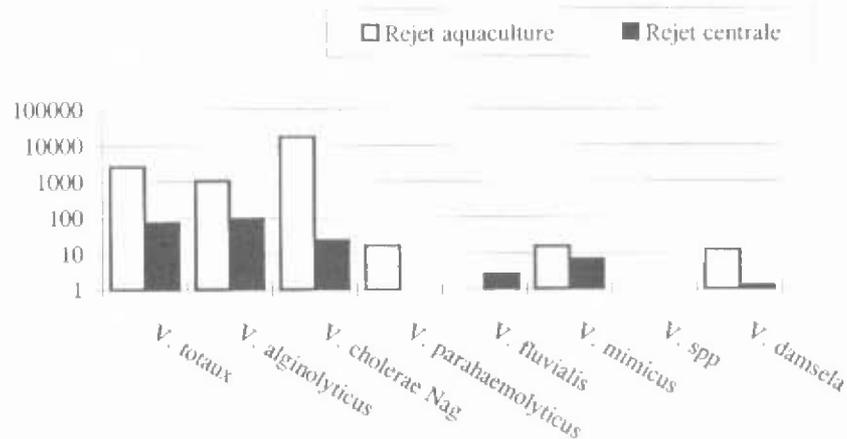


Fig.3.10.. Facteurs de multiplication des vibrions (base de mesure mensuelle)

La chloration par EDF réduit nettement les concentrations en vibrions dans les déversoirs de tranches (point "eau chaude"). La multiplication des

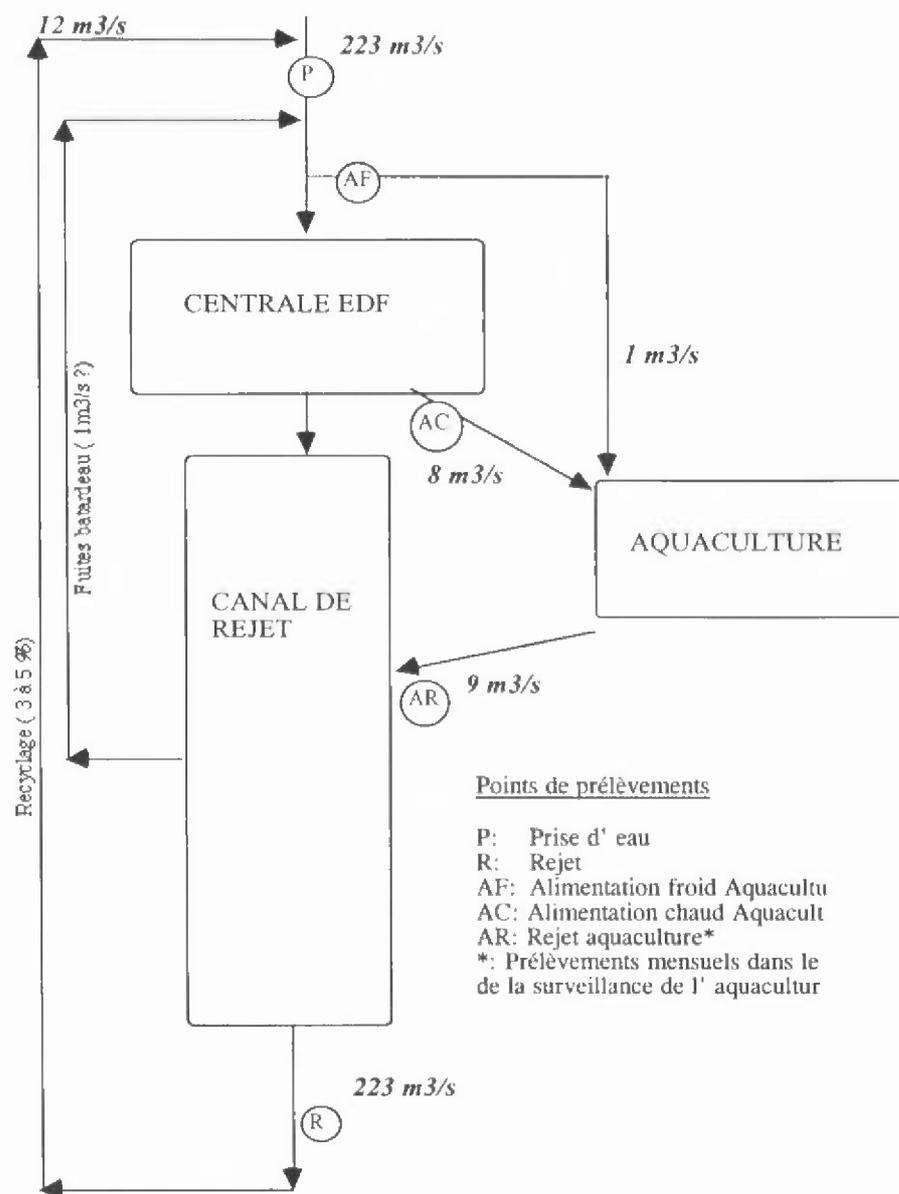


Fig.3.8.. Schéma de la circulation de l'eau sur le site de Gravelines – Points de surveillance – 1998

3.2. AUTRES POINTS DE CONTROLE

3.2.1. Influence de l'aquaculture

Depuis 1984, l'eau tiède produite par la centrale est utilisée pour alimenter des piscicultures en eau de mer. Une ferme expérimentale d'une capacité de production de 80 tonnes par an a été remplacée en 1992 par des structures plus importantes d'une capacité de 1 000 t/an. Depuis septembre 1996, un nouvel arrêté préfectoral autorise la production de 2 000 tonnes de poissons/an sur le site

La figure suivante schématise la circulation de l'eau sur le site de Gravelines. Les fermes aquacoles sont alimentées en eau chaude à partir des déversoirs de tranches en tête du canal de rejet. Afin de maintenir les élevages à une température maximale de 24 °C, de l'eau froide est pompée dans le canal de prise d'eau de mai à septembre. Le débit total utilisable est actuellement de l'ordre de 12 m³/s. Le rejet des eaux aquacoles se fait par un déversoir dans la partie amont du canal de rejet EDF. La quantité moyenne d'eau utilisée par l'aquaculture est cette année : de 9 m³/s.

Une éclosérie marine utilise également le pompage des fermes aquacoles et rejette ses eaux dans le circuit de rejet de la ferme aquacole le débit utilisé est faible, de l'ordre de 10 l/s.

Depuis le mois de mai 1992, les établissements aquacoles sont soumis à une surveillance mensuelle de leur rejet dans le cadre d'un arrêté préfectoral. Les mesures portent sur la pollution organique et incluent la recherche des vibrions selon la même méthodologie que celle adoptée pour la surveillance centrale électrique.

Afin d'apprécier l'influence de l'aquaculture sur le rejet de la centrale, les résultats obtenus dans le cadre de la surveillance aquacole pour la période de janvier à décembre 1998 ont été comparés à ceux de la surveillance de la centrale aux mêmes dates.

En ce qui concerne les espèces rares (présentes à des concentrations moyennes de l'ordre de une bactérie par litre), du fait du petit nombre d'identifications réalisées, lors des dénombrements, la multiplication observée est peu significative.

La figure ci-après représente l'évolution de la composition des populations de vibrions dans le rejet depuis 1989. Le pourcentage d'isolement de *V. alginolyticus* qui semblait se stabiliser au niveau de 75% descend cette année à 56%. Le pourcentage de *V. cholerae* Nag (non 01) atteint 20% dépassant la plus forte valeur enregistrée (13% en 1993)

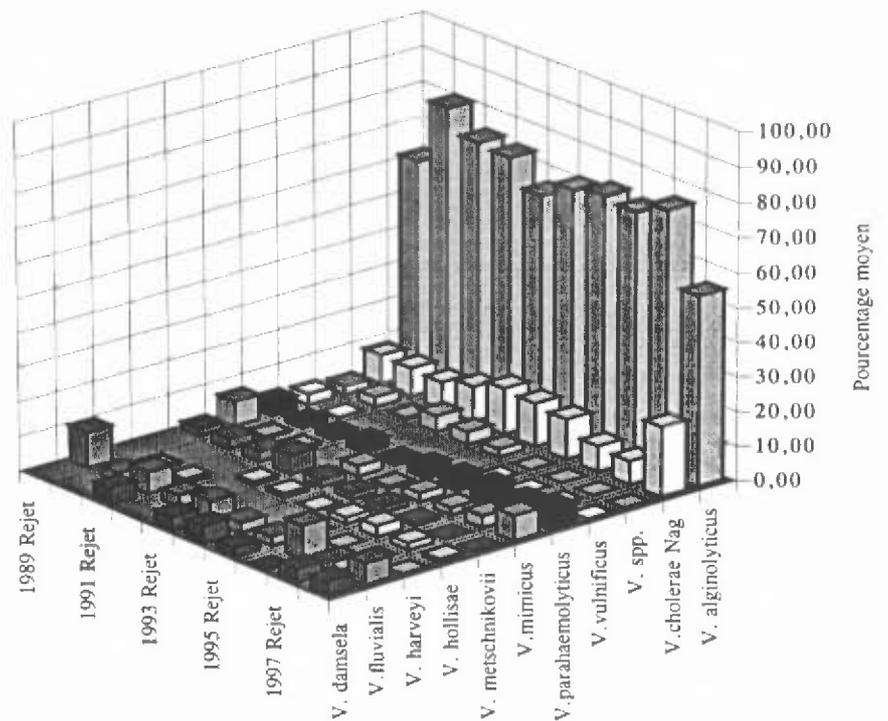


Fig.3.7. Abondance relative des espèces de vibrions (moyenne des pourcentages d'abondances hebdomadaires)

Les souches de *Vibrio cholerae* isolées sur le site ne sont pas agglutinables par les sérums anti-*Vibrio cholerae* O1 (Nag) et sont, depuis quelques années, halophiles strictes, ce qui permet de les différencier a priori des souches épidémiques. En ce qui concerne *Vibrio cholerae*, il convient de rappeler que cette espèce comprend environ 140 sérotypes et que seulement deux de ces sérotypes présentent un risque sanitaire important. Ces deux sérotypes n'ont jamais été isolés sur le site de Gravelines. Les autres espèces mises en évidence en 1997-1998 sont : *Vibrio parahaemolyticus*, *V. damsela*, *V. fluvialis*, *V. metschnikovii*, *V. harveyi*, *V. mimicus*, *V. hollisae* et *V. vulnificus* (Ceci correspond à la totalité des espèces répertoriées dans le système API20E que nous utilisons).

Si le transit de l'eau de mer entre la prise et le rejet semble s'accompagner de peu de modification dans la structure des populations de vibrions, il faut se rappeler que le point Prise d'eau est lui même influencé par le rejet par l'intermédiaire de la recirculation d'une fraction de l'eau déjà passée dans la centrale.

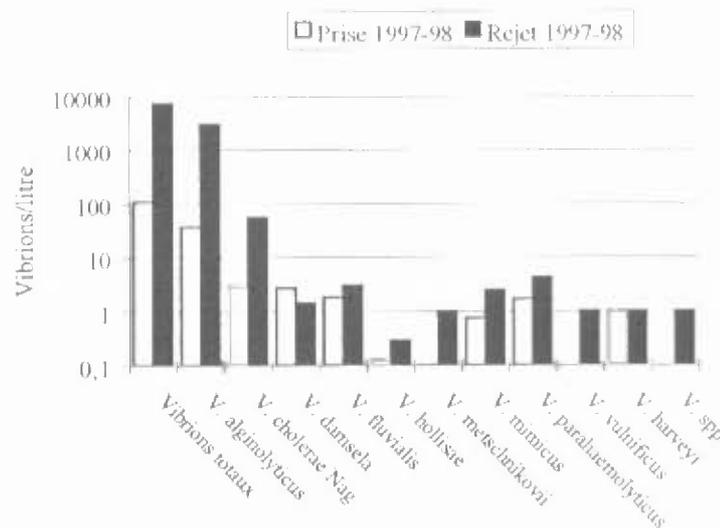


Fig 3.7. Concentrations moyennes des diverses espèces de vibrions aux points Prise et Rejet

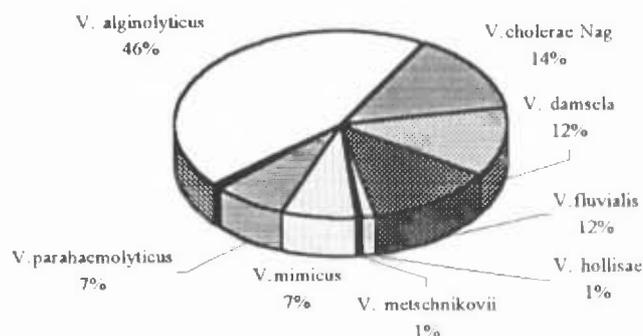
Vibrio alginolyticus reste l'espèce la plus adaptée aux conditions actuelles du site (multiplication moyenne $X=82$ fois). *Vibrio cholerae* Nag, qui occupe depuis quelques années la seconde place par l'importance de sa multiplication sur le site, a cette année un facteur de multiplication de 18 fois entre la prise et le rejet.

Avant 1984, la quasi-totalité de la flore des vibrions était représentée par *Vibrio alginolyticus* ; l'isolement d'une espèce différente avait un caractère exceptionnel.

Depuis cette période, une diversité croissante des espèces de vibrions est observée. Avec les galeries d'identification bactérienne que nous utilisons (API 20E), toutes les espèces répertoriées dans ce système ont été successivement isolées sur le site de Gravelines.

L'espèce majoritaire présente à Gravelines reste *Vibrio alginolyticus*. L'espèce la plus fréquemment isolée dans le rejet après celle-ci est encore *Vibrio cholerae* Nag avec un pourcentage record de 20%

1998 Prise



1998 rejet

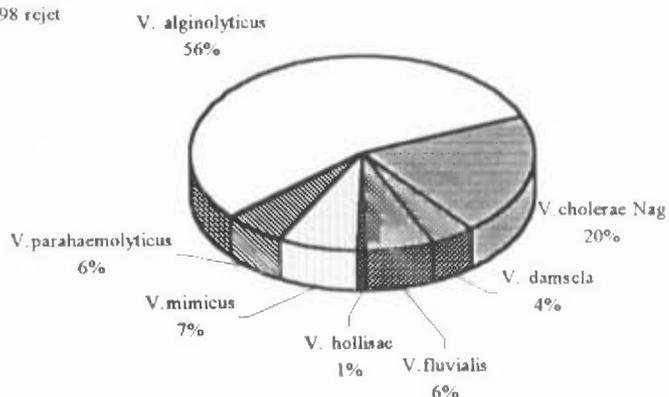


Fig.3.6. Pourcentages moyens d'isolement des diverses espèces de vibrions aux points Prise et Rejet

d'ampleur intermédiaire entre celui de 1996-1997 (89 fois) et celui de 1995-1996 (45)

La concentration moyenne des vibrions à la prise d'eau est cette année de 105 par litre ce qui correspond aux valeurs habituelles. La concentration en vibrions (moyenne géométrique) observée en 1997-1998 dans le rejet est de 7415 vibrions par litre. Ces concentrations importantes sont explicables en partie par la clémence des températures hivernales

En effet, la température de l'eau de mer est, depuis le début des études de surveillance, le facteur du milieu expliquant le mieux les concentrations en vibrions :

Pour l'ensemble des 104 mesures réalisées à la prise d'eau et au rejet lors de ce cycle d'étude, la relation entre concentration en vibrions et température est la suivante :

$$\begin{aligned} (\text{Température de l'eau en } ^\circ\text{C}) &= 5.049 + 4.216 * (\log \text{ Vibrions/litre}) \\ r^2 &= 0.807 \end{aligned}$$

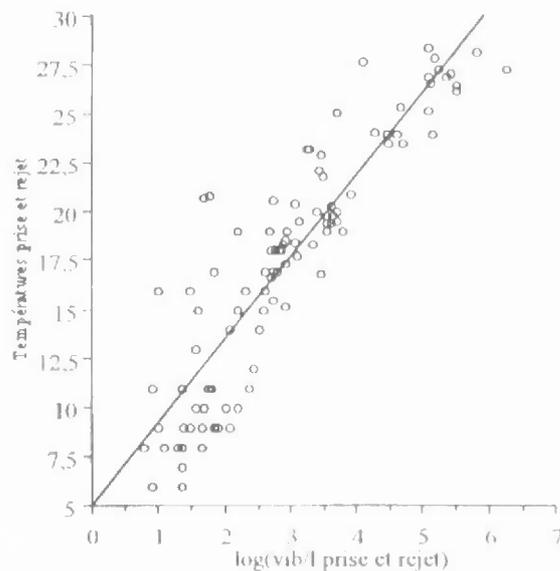


Fig. 3.5..Corrélation entre la température et les concentrations en vibrions (log).

Aspect qualitatif

Si sur le plan quantitatif la situation des vibrions semble se stabiliser depuis la mise en service des tranches 5 et 6, il n'en est pas de même en ce qui concerne la composition de cette population

A Gravelines, le transit de l'eau de mer dans la centrale (et les installations aquacoles) entraîne une importante multiplication des vibrions. Ce phénomène est observé en toutes saisons.

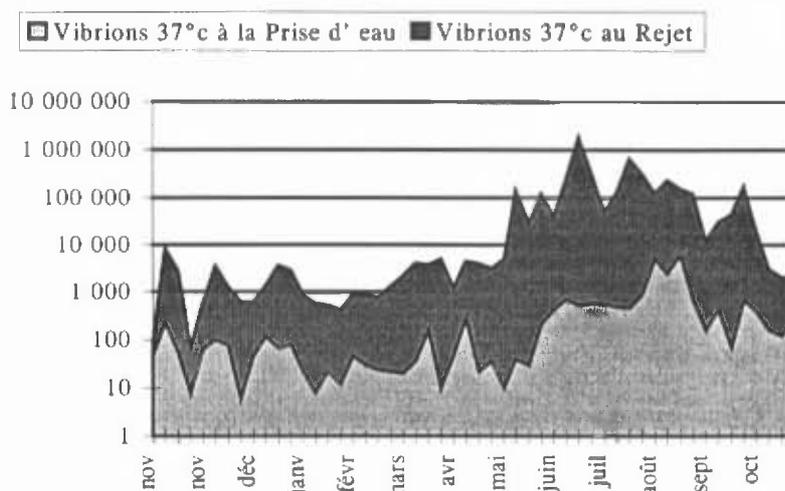


Fig. 3.3. Dénombrement des vibrions par culture à 37°C (Vibrions/litre-échelle logarithmique)

Cet important changement quantitatif, annoncé par les études d'avant-projet, s'est développé avec la montée en puissance de la centrale. Depuis la mise en service de la totalité du site (6 tranches), la situation en termes de concentrations en vibrions semble relativement stabilisée.

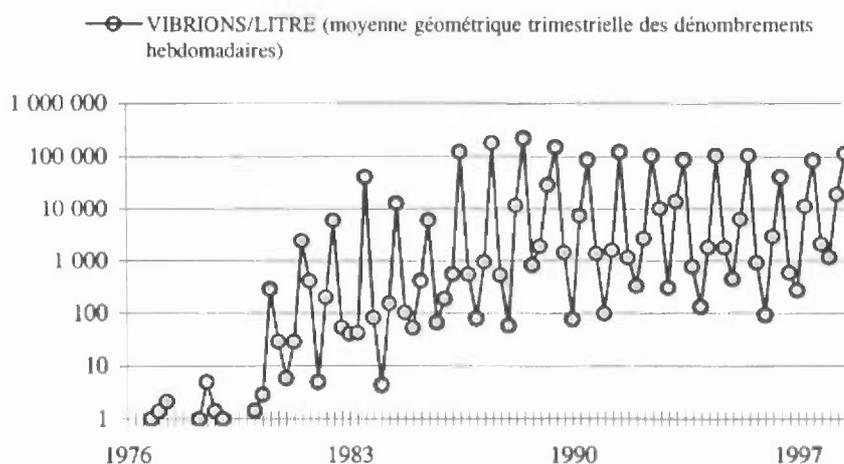


Fig. 3.4. Moyenne géométrique trimestrielle des concentrations en vibrions observées depuis 1977 au rejet.

La concentration en vibrions est, en moyenne géométrique annuelle, multipliée par 70 entre la Prise et le Rejet depuis deux ans. Ce phénomène est

Les dosages ont été réalisés en chromatographie en phase gazeuse après dérivation. De faibles quantités de 2-4-6 tri bromo-phénol ont été détectées sur quelques uns des dosages réalisés

Date	25/5/98	15/7/98	21/9/98	7/10/98	19/10/98	26/10/98	28/9/98	14/10/98	14/9/98	29/6/98
2-4-6 tri bromo phénol (ng/l)	<20	220	<20	337	663	554	<20	334	<20	<20

Tab. 3.1. Dosages de Bromo-phénols au rejet

Les dosages de mono-bromo-phénols et de di-bromo-phénols se sont avérés négatifs aux seuils respectifs de 20 et 5 ng/l (Un dosage réalisé à la prise d'eau le 24/08/98 s'est avéré négatif au seuil de 20 ng/l)

3.1.2. Bactériologie

Aspect quantitatif

Depuis 1989, les études bactériologiques portent uniquement sur les vibrions. En effet, cette catégorie de bactéries marines est particulièrement sensible aux modifications du milieu apportées par la centrale. Le développement d'importantes activités aquacoles, sur le site même du rejet, occasionne également un impact sur ce groupe bactérien.

Les mesures concernent les vibrions capables de se multiplier à 37 °C, car la quasi-totalité de ces bactéries peut présenter des caractères pathogènes pour l'homme. Parmi les vibrions, un certain nombre de souches bactériennes pathogènes pour la faune aquatique sont incapables de se multiplier à cette température trop élevée.

Dans le milieu marin régional, l'abondance des vibrions varie avec la température de l'eau : Peu nombreux en hiver, leur plus grande population est observée en fin d'été. Les concentrations mesurées avant la mise en service de la centrale variaient de <1 vibron/l en hiver à 1000 vibrions/l en été. Les concentrations actuellement observées à la prise d'eau sont de cet ordre de grandeur.

La persistance du bromoforme en mer permet également de chiffrer le pourcentage d'eau de refroidissement qui passe une seconde fois dans la centrale. La valeur calculée en 1997-1998 est de 5,2 % pour la période de chloration. Cette valeur est conforme aux valeurs habituelles qui variaient entre 3,5 et 7 % en relation probable avec la météorologie influençant la dispersion en mer du panache de rejet de la centrale.

Ce pourcentage a une grande importance sur le plan bactériologique car le recyclage de l'eau du rejet permet de sélectionner et de fixer sur le site des espèces bactériennes.

Le graphique 3.1 permet de visualiser la concentration en bromoforme au rejet en relation avec la température de l'eau à la prise d'eau.

Les deux autres composés formés et mis en évidence sont également bromés :

- chlorodibromométhane (CHClBr_2): 3,6 % du total formé avec une concentration moyenne de 0,78 $\mu\text{g/l}$
- dichlorobromométhane (CHCl_2Br) : 0,12 % du total formé avec une concentration moyenne de 0,03 $\mu\text{g/l}$

Les quantités relatives de ces composés sont liées entre elles par des relations linéaires :

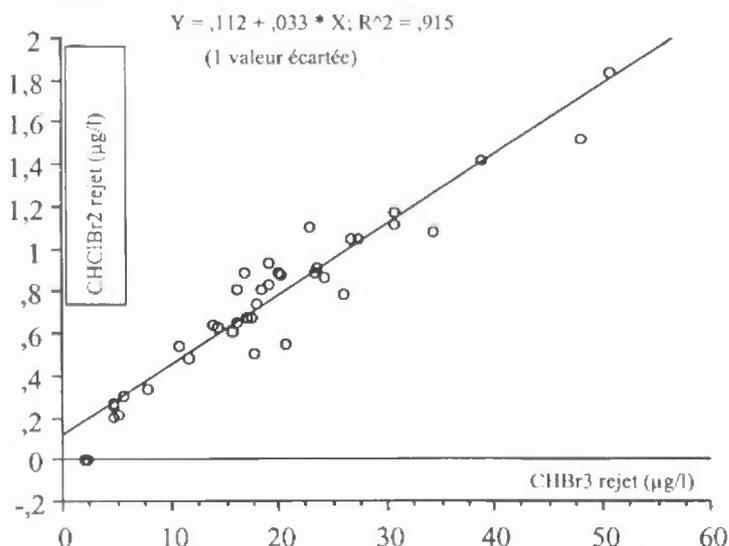


Fig.3.2..Relation entre deux espèces d'haloformes au rejet

Cette année ont été entreprises des recherches de composés issus de la chloration de masse plus importante que les tri-halo-méthanés, en particulier des bromo-phénols.

3.1. POINTS PRISE ET REJET

3.1.1. Chloration

Afin de limiter les proliférations biologiques, du chlore est injecté sous forme d'eau de mer électrolysée dans les circuits de refroidissement.

Habituellement, la chloration est en service lorsque la température à la prise d'eau est supérieure à 10 °C.

L'oxydant injecté est consommé de façon rapide par l'eau de mer. Au point Rejet, la dose maximale de "chlore résiduel" mesurée à mi-marée est égale à 0,08 mg/l le 3/11/97. La présence de chlore en concentration mesurable (> 0.03 mg/l) est observée aussi fréquemment que lors des périodes précédentes (14 mesures positives).

La disparition du chlore s'accompagne de la formation de dérivés stables.

Le bromoforme est, en eau de mer, le plus abondant de ces produits de réaction. Il représente cette année 96,9 % des haloformes formés.

Durant la période d'étude 1997-1998, la chloration est arrêtée durant trois mois et demi : de la mi-décembre à fin mars.

La concentration moyenne en bromoforme est pour la période de chloration de 20,81 µg/l, valeur comparable à 19,28 µg/l, moyenne des cinq dernières périodes.

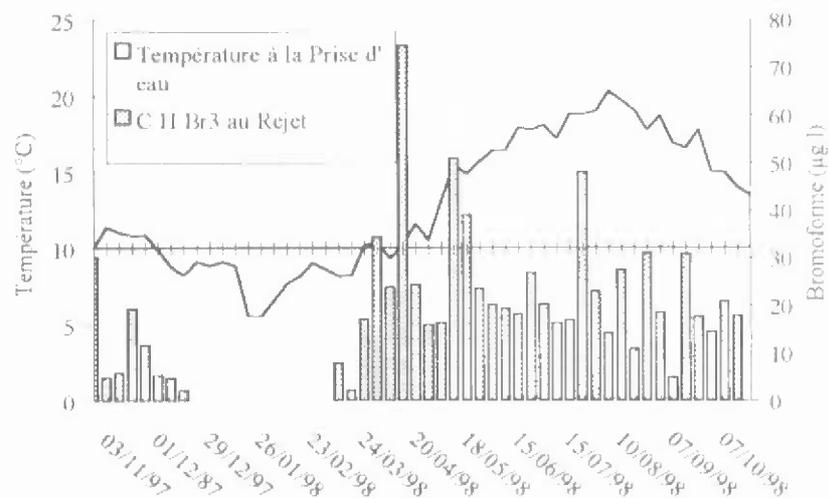


Fig. 3.1. Bromoforme au rejet en relation avec la température de l'eau au point Prise

3 – ETUDE DE LA CHLORATION ET BACTERIOLOGIE

Régis DELESMONT & Edith DELESMONT

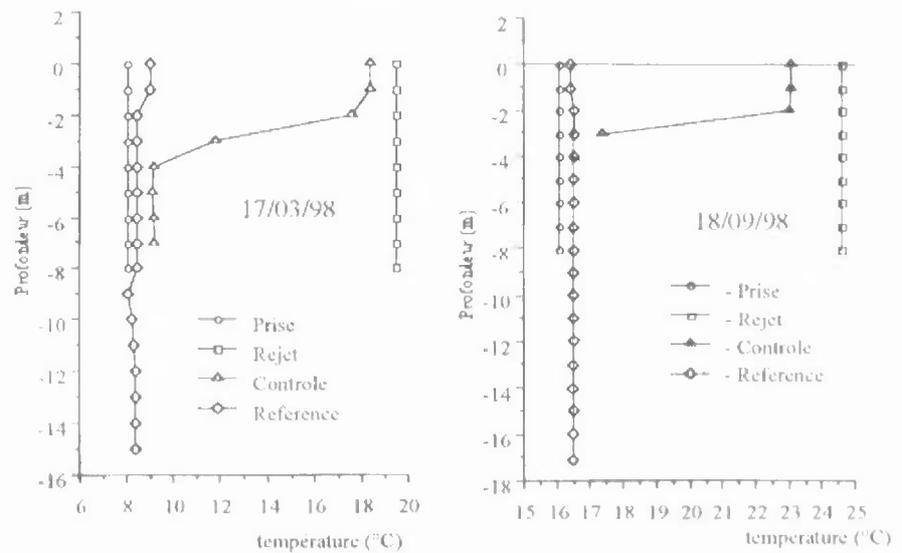


Fig. 2.6. Profils thermiques lors des campagnes pélagiques

Le point de référence a été prélevé au large en dehors de tout échauffement, de petites quantités de bromoforme sont cependant mesurées à ce point lors des deux campagnes. Le critère thermique n'est donc pas suffisant pour définir une référence d'eau non impactée par la centrale. Les profils verticaux de températures observés lors des deux campagnes pélagiques sont représentés ci-dessous. En raison des turbulences importantes régnant dans les canaux de prise et de rejet, leurs températures sont considérées comme homogènes sur toute la hauteur de la colonne d'eau. La stratification thermique habituelle du panache de rejet est observée au point de contrôle malgré la faible profondeur d'eau. Dans les conditions de courant existant lors des deux campagnes, le panache de rejet était collé à la côte en direction de Petit Fort Philippe.

2.4. PRÉSENTATION DES CAMPAGNES PELAGIQUES

2.4.1. Fonctionnement de la Centrale lors des campagnes pélagiques

Campagne	Jours	Puissance (MW)	Débit (m ³ /s)	Chloration (% eau chlorée au rejet)
17/3/98	16/3/98	5200	240	33
	17/3/98	5400	240	33
18/9/98	17/9/98	3500	180	89
	18/9/98	3500	180 puis 220	89 puis 72

Tab 2.1. Fonctionnement de la centrale lors des campagnes pélagiques

2.4.2. Structure hydrologique

Température:

Les deux campagnes de prélèvement ont été réalisées en mars et en septembre.

Date	Profondeur (m)	Prise d'eau	Rejet	Contrôle	Référence	
17/3/98	-0	8.1	19.5	18.4	9	
	-1	8.1	19.5	18.4	9	
	-2	8.1	19.5	17.6	8.5	
	-3	8.1	19.5	11.8	8.5	
	-4	8.1	19.5	9.2	8.5	
	-5	8.1	19.5	9.1	8.5	
	-6	8.1	19.5	9.2	8.5	
	-7	8.1	19.5	9.2	8.5	
	-8	8.1	19.5		8.5	
	-9					8.1
	-10					8.2
						8.3
					8.4	
18/9/98	-0	16.1	24.6	23.1	16.4	
	-1	16.1	24.6	23.1	16.4	
	-2	16.1	24.6	23.0	16.5	
	-3	16.1	24.6	17.4	16.5	
	-4	16.1	24.6		16.5	
	-5	16.1	24.6		16.5	
	-6	16.1	24.6		16.5	
	-7	16.1	24.6		16.5	
	-8	16.1	24.6		16.5	
	-9					16.5
	-10					16.5

Tab 2.2.. Profils thermiques lors des campagnes pélagiques en 1998

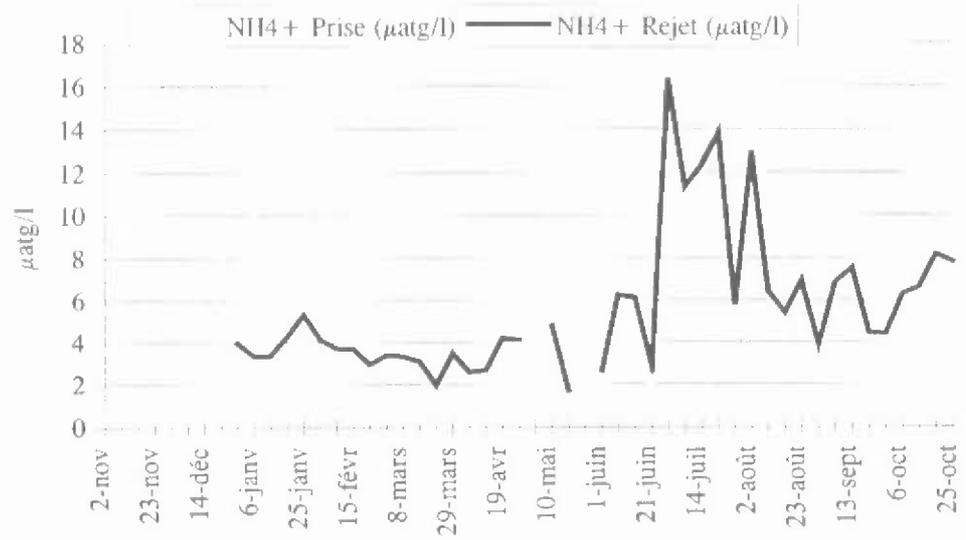


Fig.2.6.. Ammonium aux points Prise et Rejet

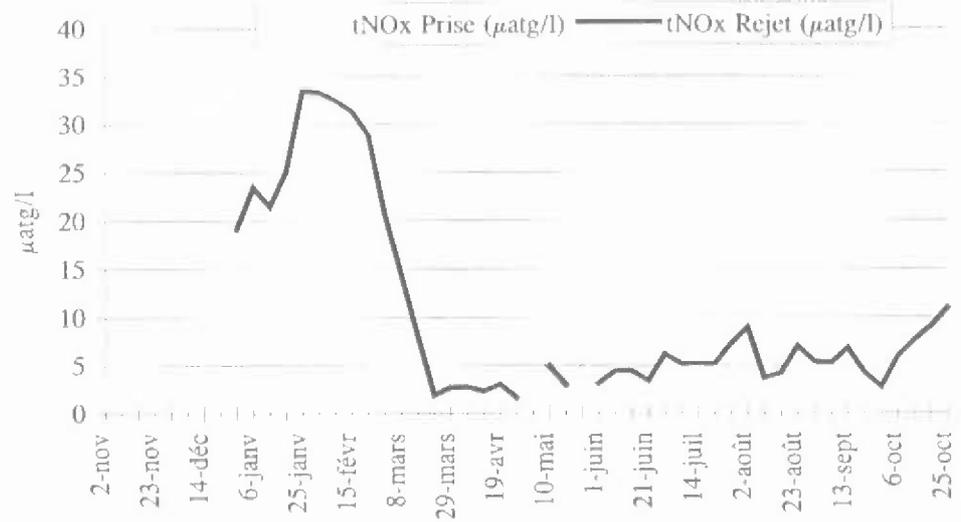


Fig.2.7.. Azote oxydé (tNOx en µatg/l) aux points Prise et Rejet

Sur cette base de calcul, l'augmentation moyenne de la température de l'eau au rejet est de 9.09°C . Cette valeur est un peu plus importante que les 8.70°C calculés en 1996-1997.

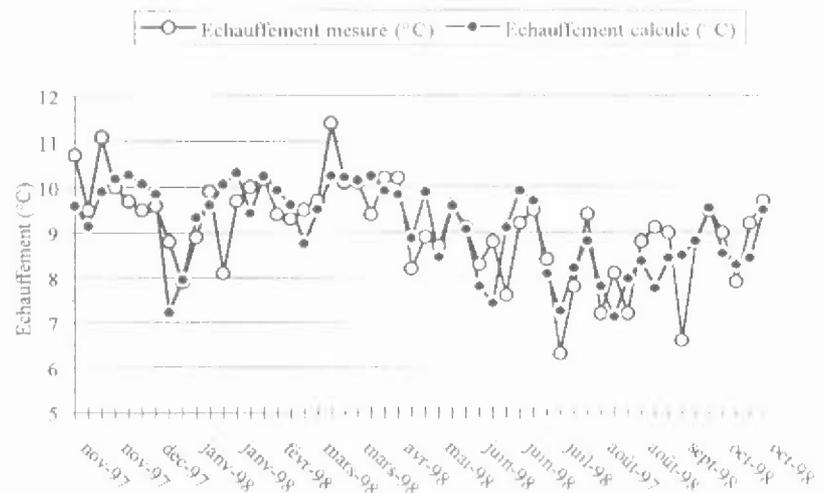


Fig 2.4. Comparaison entre les échauffements calculés et mesurés.

2.3. HYDROLOGIE

2.3.1. Résultats de la surveillance à la prise et au rejet

A la prise d'eau dans l'avant-port Ouest, une température minimale élevée de 5.5°C est observée fin janvier. Les températures les plus élevées sont relevées le 10 août avec 20.3°C .

La moyenne des températures de l'eau à la prise est de 12.89°C pour la période d'étude soit au dessus de la moyenne des cycles précédents.

Au rejet, la température minimale ($10,8^{\circ}\text{C}$) est observée le 26 janvier 1998. Durant le mois d'août, les températures n'ont pas été supérieures à 30°C ; le maximum relevé est de 28.4°C le 10 août 1998.

Le transit de l'eau dans la centrale, calculé sur la base des prélèvements hebdomadaires réalisés, se traduit par un échauffement moyen de 9.09°C ce qui est dans la gamme des valeurs habituelles. Cette valeur est identique à celle estimée par calcul.

2.2. FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE

Ce paragraphe est réalisé à partir des données de fonctionnement communiquées par la Centrale de Gravelines.

La centrale de Gravelines comprend six réacteurs d'une puissance électrique unitaire de 900 MW.

En 1997-1998 la puissance électrique produite par la centrale de Gravelines correspond à l'équivalent de 3.4 à 5.8 tranches de 900 MW. La production est la plus importante en saison froide. La puissance hebdomadaire moyenne produite pour la période est proche de 4240 MW, soit l'équivalent de 4,7 tranches (4.4 lors de la période précédente).

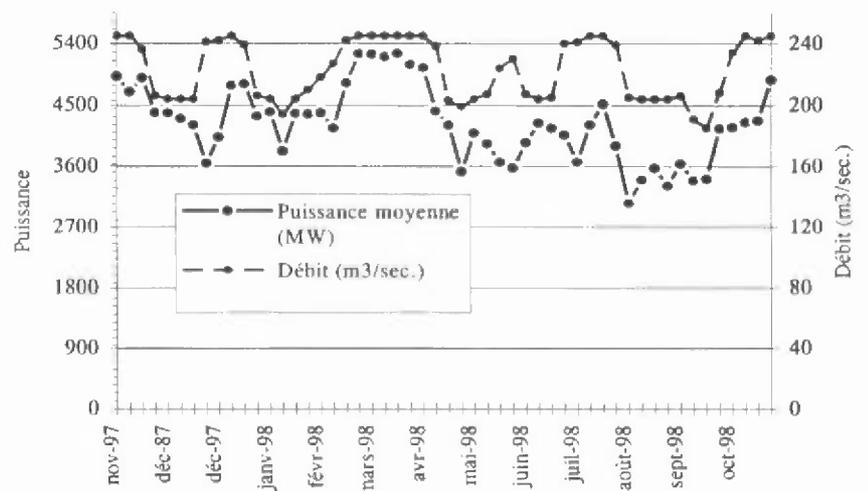


Fig 2.3. Fonctionnement de la centrale de Gravelines

Les débits d'eau de mer de refroidissement des condenseurs ont varié de 185 à 245 m³/s, soit les débits unitaires de pompage de 4.6 à 6 tranches. Le débit moyen calculé sur une base hebdomadaire est de 223 m³/s, soit l'équivalent du débit de pompage de 5,6 tranches. Les échauffements les plus faibles sont durant l'été.

En première approximation, on peut considérer que la production d'un MW électrique s'accompagne de la dissipation dans l'eau de mer de deux MW thermiques. Il est alors possible de calculer un échauffement théorique du rejet de la centrale sur la base des données hebdomadaires de puissance électrique.

Dans la réalité, suite aux variations de la hauteur de l'eau de mer avec la marée, le débit des pompes de refroidissement varie légèrement et l'élévation de température observée fluctue d'environ 10% autour de la valeur nominale calculée.

2.1. CLIMATOLOGIE

Durant la période 1997-1998 des températures plus élevées que la normale ont été relevées ; la moyenne annuelle s'établit à 11,6°C soit 1,3°C au-dessus de la normale. La pluviosité globale est également supérieure à la normale avec 778 mm à comparer au 675 mm de valeur moyenne. Les précipitations excédentaires proviennent presque exclusivement des pluies d'automne (novembre 1997, septembre et octobre 1998).

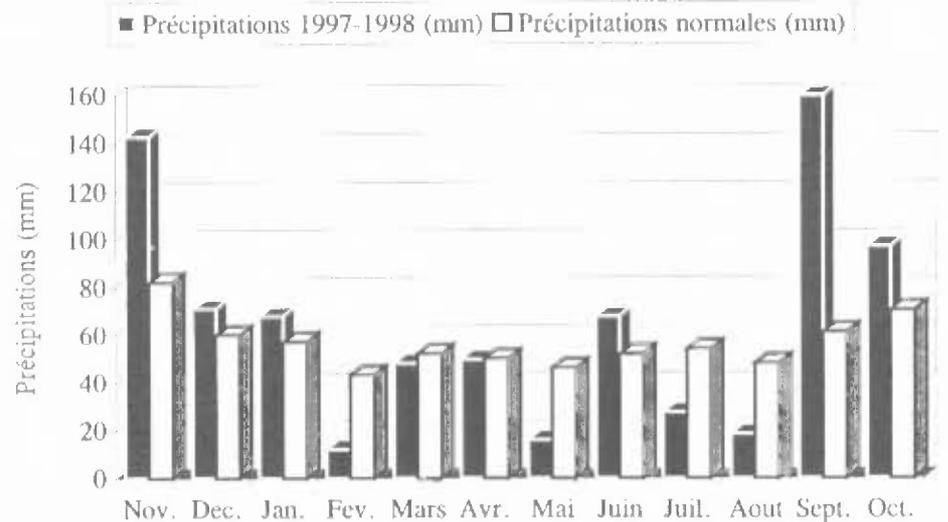


Fig.2.1. Précipitations par décades à Dunkerque (mm)

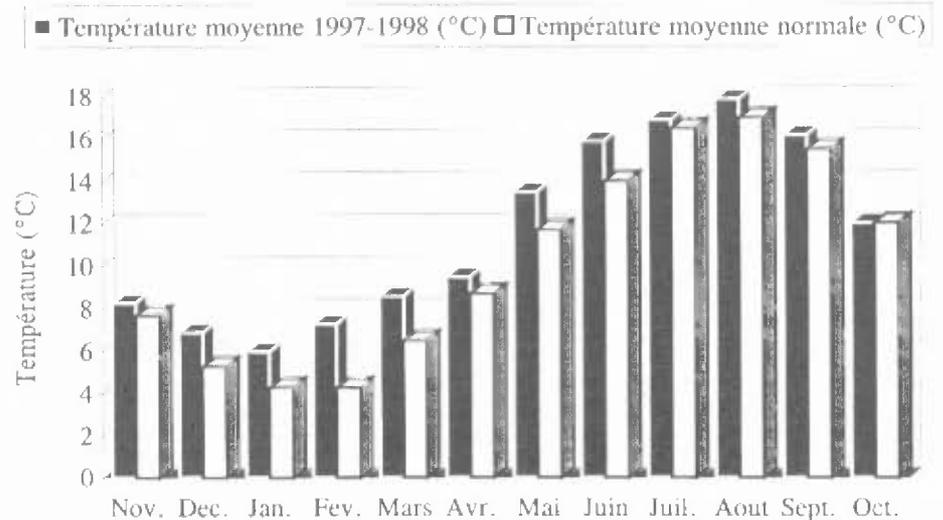
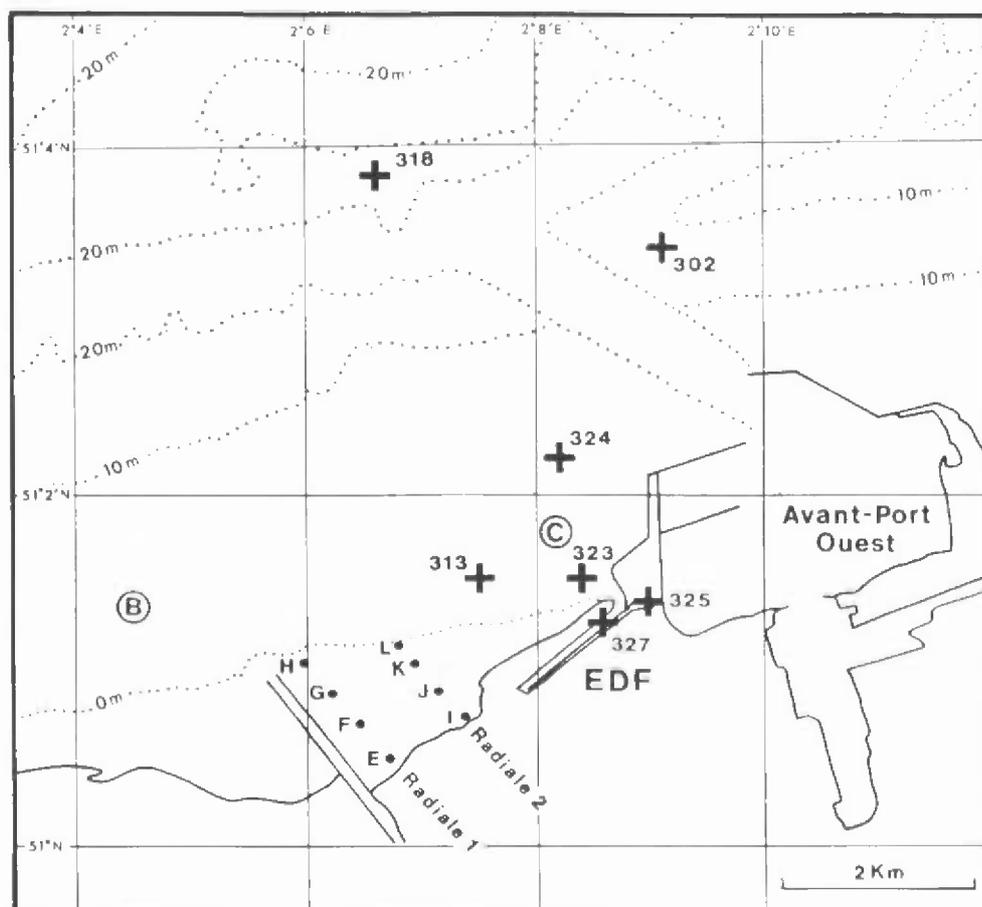


Fig 2.2. Températures moyennes de l'air par décades à Dunkerque (°C)

**2 CLIMATOLOGIE – HYDROLOGIE – FONCTIONNEMENT
DE LA CENTRALE – PRESENTATION DES CAMPAGNES
PELAGIQUES**

Régis DELESMONT & Edith DELESMONT



- ✚ Points domaine pélagique
- Points domaine subtidal
- Points benthos intertidal

Références des points du domaine pélagique

Point base Quadrige	Latitude Nord	Longitude Est	Ancien libellé (années précédentes et texte 1996)
302	51°03'40	2°09'10	Référence 02 = large (Ch. I à V)
313	51°01'50	2°07'50	Côte = Pt. 1 Halieutique (Ch. I)
318	51°03'80	2°06'60	Référence 18 = Pt. 3 Halieutique (Ch. VI)
323	51°01'50	2°08'40	Côser (Ch. I à V)
324	51°02'20	2°08'20	Médian ou contrôle (Ch. I à IV)
325	51°01'38	2°09'10	Canal d'Amenee ou pnse (Ch. I à V)
327	51°01'26	2°08'60	Canal de rejet (Ch. I à V)

Fig. 1. Points de prélèvements

Paramètres	Janvier	Février Mars Avril	Mai	Juin Juillet Août	Septembre	Octobre Novembre Décembre
Température Chlore Haloformes Vibrions	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Hebdo
Chlorophylle Phaéopigments	Mensuel	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Hebdo	Mensuel
Noctiluques	-	-	Mensuel	Bi-mensuel	Mensuel	-

Tab.1.1 Stratégie de Prélèvements au point Prise d'eau

Milieu récepteur

Les deux campagnes de prélèvements en mer se sont déroulées avec le chalutier "JEAN XXIII".

Date	Pleine mer (T.U.)	Coeft.	Prise	Rejet	Contrôle	Référence
17/03/98	14h10	79	11h00	10h00	12h07	10h50
18/09/98	09h28	72	09h20	08h10	08h05	08h55

Tab 1.2. Dates et horaires des campagnes pélagiques

1.3.2. Halieutique

La surveillance du plancton halieutique comprend quatre campagnes :

- 2 campagnes à trois stations en mer (13/5/98 et 28/5/98) selon un gradient côte-large du milieu récepteur,
- 2 campagnes de deux stations au canal d'amenée (10/4/98 et 25/6/98).

1.3.3. Domaine benthique

Zone intertidale : une campagne annuelle (10/7/98) comprenant deux radiales de 4 stations.

Zone subtidale : surveillance du peuplement à *Abra alba*. campagnes subtidales de deux stations (30/1/98, 10/3/98, 15/6/98 et 21/9/98).

utilisée en période de crue pour évacuer des volumes d'eau importants par le Port Est de Dunkerque.

Débits moyens estimés :

Canal de Dunkerque : 4,6 m³/s

Fleuve Aa : 7,5 m³/s

Canaux de Calais : 3,0 m³/s

L'influence de ces cours d'eau n'est pas prépondérante sur la qualité de l'eau de mer transitant dans la centrale. Les dessalures significatives observées sur le site (1 à 3‰ environ) ont lieu par temps sec quand le vent de nord-est établi sur de longues périodes modifie les courants et amène des eaux du large de la Belgique.

1.3 STRATEGIE D' ECHANTILLONNAGE

1.3.1. Domaine pélagique

Surveillance des eaux de la Prise et du Rejet

La stratégie d'échantillonnage mise en place depuis 1989 a été reconduite sans modification dans les domaines pélagique et benthique.

Les quatre stations définies précédemment (Prise, Rejet, Contrôle dans le panache de rejet (+ 3 à + 4 °C) et Référence hors panache) sont étudiées simultanément dans deux situations annuelles différentes (printemps et fin d'été). Des prélèvements hebdomadaires sont réalisés depuis les berges aux stations Prise et Rejet. Ils concernent la bactériologie (vibrions) et l'étude de la chloration. Le phytoplancton et le zooplancton sont également l'objet de mesures à la prise d'eau, en particulier lors des périodes de blooms.

La périodicité des divers prélèvements réalisés à la Prise d'eau est détaillée dans le tableau ci-après.

1 PRESENTATION DU SITE – STRATEGIE D'ETUDE

Régis DELESMONT & Edith DELESMONT

SOMMAIRE

Chapitre I – Présentation du site – Stratégie d'étude.....	1
Edith et Régis DELESMONT (1)	
Chapitre II - Climatologie et fonctionnement de la centrale et.....	7
et présentation des campagnes pélagiques	
Edith et Régis DELESMONT	
Chapitre III - Etude de la chloration et Bactériologie.....	17
Edith et Régis DELESMONT	
Chapitre IV - Phytoplancton et biomasse chlorophyllienne.....	43
Benoist HITIER (2) et Pascale HEBERT (2)	
Chapitre V - Zooplancton. Biomasses et espèces. Dinoflagellés noctiluques.....	57
Geneviève LE FEVRE-LEHOERFF (3) et Jacqueline LE GRAND (3)	
Chapitre VI - Zooplancton halieutique.....	89
Daniel WOEHLING (4) et Franck COPPIN (2)	
Chapitre VII - Le domaine benthique intertidal.....	101
Jean-Marie DEWARUMEZ (5) et Dominique MENU (5)	
Chapitre VIII - Le domaine benthique subtidal.....	117
Jean-Marie DEWARUMEZ, Christophe LUCZAK (5) et Dominique MENU (5)	

DEL/EC/99.06

Avril 1999

Contrat : Accord Cadre S64T7001 avenant n° 1

La coordination des travaux est assurée par Geneviève LE FÈVRE-LEHOËRFF

(1) Institut Pasteur de Lille - Laboratoire de Gravelines

(2) IFREMER - Centre de Boulogne

(3) IFREMER - Centre de Brest

(4) IFREMER - Centre de Nantes

(5) Station Marine de Wimereux

FICHE DOCUMENTAIRE

Résumé :

Le présent rapport de surveillance de Gravelines est le 20^{ème} rapport de surveillance du site nucléaire. La climatologie de l'année a été marquée par la clémence des températures hivernales et une pluviosité supérieure à la moyenne des années précédentes. La moyenne annuelle de la température de l'air est 11.6 °C, la température de l'eau à l'entrée de la centrale 12.89 °C et la pluviosité 778 mm. La chloration ne s'est arrêtée que pendant 3 mois et demi. La concentration moyenne en bromoforme est égale à 20.8 µg/l. Le % d'eau recyclée dans la centrale est 5.2 %. Les dosages de composés halogénés plus lourds ont mis en évidence de faibles concentrations de 2-4-6 bromophénols. En terme d'abondance de Vibrions le maximum annuel observé au rejet est stable mais la diversité évolue. *V. alginolyticus* n'atteint plus 60 %, *V. cholerae* n'atteint 20 %. La biomasse chlorophyllienne maximale le 6 avril, 22 mg/m³ est en relation avec le Bloom de *Phaeocystis*. Le pic de diatomées *Rhizosolenia* a lieu en mars. L'impact de la centrale sur le phytoplancton et le zooplancton est du même ordre de grandeur que les années précédentes. Les espèces présentent des fragilités différentes à l'impact : fort impact sur les Appendiculaires et les Chaetognathes. L'année 1998 est précoce pour la ponte du sprat et de la sole. Les abondances des œufs sont moyennes mais les larves sont abondantes indiquant de bonnes conditions d'environnement en particulier de nourriture pour leur survie. En 1998 on observe une abondance forte des espèces tolérantes à une légère dessalure sur l'estran, en particulier *Cerastoderma edule*, *Hydrobia ulvae*. La répartition des spionidiens est complètement bouleversée avec disparition de *Pygospio elegans* de la plage de Petit Fort Philippe. L'impact de la centrale sur l'estran est identique à celui déjà constaté précédemment. L'impact de la centrale sur le benthos subtidal est visible dans le champ proche du rejet où le déficit en biomasse causé par le fonctionnement de la centrale est 99 %.

Abstract :

This is the 20th annual surveillance report concerning the Gravelines nuclear power plant site. The climatology characteristics for 1998 were a mild winter and high rainfall (778 mm). Average annual air temperature was 11.6 °C and water temperature at the plant entrance was 12.89 °C. Chlorination was stopped only 3 1/2 months. Bromoform average value was 20.8 µg/l and the percentage of water recirculation was 5.2 %. The 2-4-6 Bromophenols were detected using halogen compounds. Maximum annual *Vibrio* abundance was similar to that of previous years, but the diversity was modified : *V. alginolyticus* was under 60 % of total *Vibrio* and *V. cholerae* n'atteint 20 %. The maximum chlorophyll biomass was 22 mg/m³ on 6th April, as a consequence of the *Phaeocystis* bloom. A Spring diatom increase in *Rhizosolenia* was noted in March. Zooplankton and phytoplankton populations were equally affected as in previous years. The impact was not the same for all species, the highest deficit was shown for Appendicularia and Chaetognatha. Sprat and Sole egg abundance showed was early in 1998. Egg abundance showed average values but larvae were abundant due to a good diet. In 1998, *Cerastoderma edule* and *Hydrobia ulvae* euryhaline species were abundant in the intertidal zone. Spionidae Annelida distribution was strongly modified, *Pygospio elegans* disappeared on Petit Fort Philippe beach. The nuclear plant impact is similar to that of 1997. The impact on Subtidal benthos was seen in the area close to the outfall where biomass deficit reaches 99 %.

Mots-clés :

Centrale nucléaire – Sud de la Mer du Nord – Hydrologie – Microbiologie – Pélagos- Benthos Surveillance

Keywords :

Nuclear power plant – South of the North Sea – Hydrology - Microbiology – Pelagos – Benthos Surveillance

FICHE DOCUMENTAIRE

Numéro d'identification du rapport : DEL/EC/PP/R.INT./99/06		date de publication Avril 1999
Diffusion : libre		nombre de pages 132
Validé par : P Gentien		bibliographie
Version du document : définitive		illustration(s)
langue du rapport Français		
Titre et sous-titre du rapport : Surveillance écologique et halieutique du site de Gravelines Année 1998 – Rapport annuel		
Titre traduit : Ecological and fisheries monitoring of the Gravelines nuclear power plant		
Auteur(s) principal(aux) : nom, prénom Le Fèvre-Lehoërff Geneviève Delesmont Régis Hitier Benoist Woehrling Daniel Dewarumez Jean Marie Luczak Christophe	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER / BREST / DEL/EC INSTITUT PASTEUR / GRAVELINES IFREMER/ BOULOGNE / DEL IFREMER/ NANTES/ /DRV/ RH STATION MARINE /WIMEREUX STATION MARINE /WIMEREUX	
Collaborateur(s) : nom, prénom Le Grand Jacqueline Delesmont Edith Hebert Pascale Coppin Franck Menu Dominique	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER / BREST / DEL/EC INSTITUT PASTEUR / GRAVELINES IFREMER/ BOULOGNE / DEL IFREMER/ BOULOGNE / DRV STATION MARINE / WIMEREUX	
		n° de contrat IFREMER
<p>Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse Electricité de France (EDF) – Production C.N.P.E de Gravelines Sous Unité Technique B.P. 77 – 59820 GRAVELINES</p> <p>Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), siglet(s), adresse(s) IFREMER Centre de Brest, B.P 70, 29280 Plouzané IFREMER Centre de Boulogne, 15 Quai Gambetta, B.P. 699, 62321 Boulogne sur mer cedex IFREMER Centre de Nantes, B.P 21105, 44311 Nantes cedex 3 INSTITUT PASTEUR de Gravelines, Route du colombier, 59820 Gravelines STATION MARINE de WIMEREUX, 28 Avenue Foch, B.P. 80, 62930 Wimereux</p> <p>Responsable scientifique : Geneviève Le Fèvre Lehoërff - IFREMER /Brest / DEL/EC</p>		
Cadre de la recherche :		
Programme :	Convention :	
Surveillance de la centrale nucléaire de Gravelines	S 64T7001 avenant n°1	
Projet : I. G. A Impact des Grands Aménagements	Autres (préciser) :	

