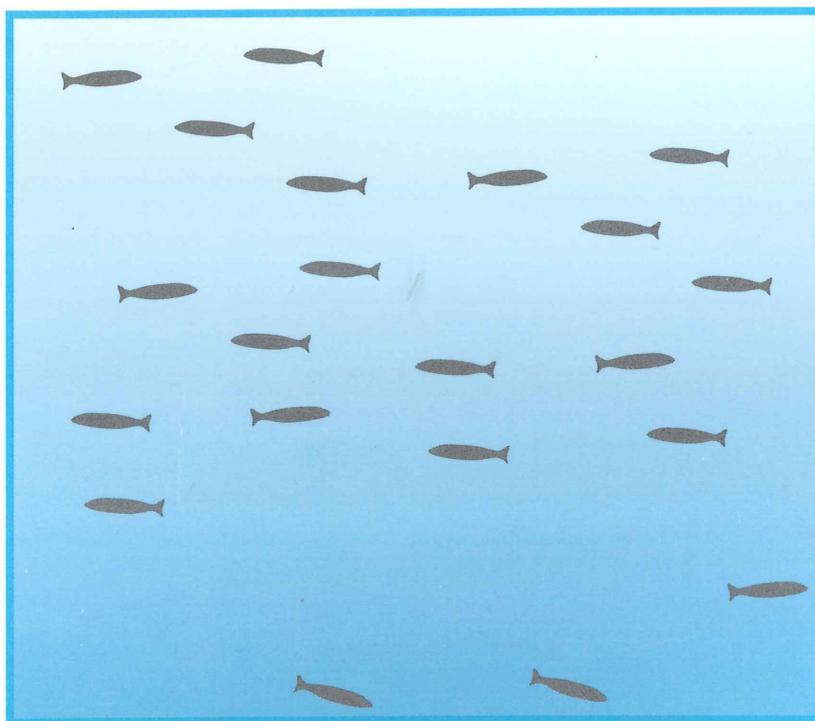


**IMPACT DE LA SALMONICULTURE MARINE
SUR L'ENVIRONNEMENT EN RADE DE CHERBOURG
(1993-1995)**

2. Etude biosédimentaire



*Marc KEMPF - Gwenaël CADOUR - Hélène JEANNERET
Yann MÉAR - Pierre MIRAMAND - Michel MERCERON*



R.INT. DEL/97-05/BREST

IFREMER - Centre de Brest
B.P. 70
29280 PLOUZANE
Tél. 02 98.22.40.40 - Télex 940 627
Télécopie 02 98.22.45.45

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DE
L'AMENAGEMENT DU LITTORAL

R420h200
IMP
I

AUTEUR(S) : Marc KEMPF, Gwenaél CADOUR, Hélène JEANNERET, Yann MÉAR, Pierre MIRAMAND & Michel MERCERON	CODE : Rapp. Int. DEL N° 97.05 Brest
TITRE : Impact de la salmoniculture marine sur l'environnement en rade de Cherbourg(1993-1995) : II Étude biosédimentaire	Date :1997
	Nb tirages :
	Nb pages : 71 Nb figures : 48 Nb photos : 0
CONTRAT : Cofinancement Conseil Général de la Manche Lettres contrat SMEL 09.03.93 et 94.97	DIFFUSION Libre X Restreinte O Confidentielle O

RESUME :

Ce document constitue la synthèse de l'étude biosédimentaire réalisée, entre 1993 et 1995, sur le site d'élevage salmonicole de la rade de Cherbourg afin d'en estimer les impacts. Il s'intéresse aux rejets solides et regroupe l'analyse du flux de matières, de la géochimie du sédiment (fraction fine < 63 µm, matière organique, carbone, azote, cuivre et zinc), de la faune benthique ainsi qu'un suivi vidéo. Ses conclusions sont que la rade ne subit qu'un impact relativement faible, localisé et temporaire en provenance de l'élevage piscicole et ce, notamment, en raison d'une forte dynamique.

Un volume distinct du même travail a été consacré aux effluents liquides et à la masse d'eau (volume I, eau et pelagos).

ABSTRACT : **Environmental impact of a marine trout farm in the Harbour of Cherbourg (France) : II Sediment and bottom living communities**

This document is a result of an environmental impact study carried out between 1993 and 1995 on the site of a marine trout culture located in the Harbour of Cherbourg, France. It deals with the solid waste of the farm and concerns deposition rate, sediment analysis and chemistry (fine fraction < 63 µm, organic matter, carbon, nitrogen, copper and zinc), bottom living organisms and underwater video monitoring. The impact observed is very moderate and localised. This is mainly due to the strong dynamics and flushing rate of the site.

A separate volume of the same study deals with dissolved waste and concerns the water mass (volume I : water and pelagos).

Mots-clés : Salmoniculture marine, impact, étude biosédimentaire, rade de Cherbourg

Key-words : Marine fish farming, trout, environmental impact, sediment, benthos, Cherbourg, France.

62386 x

IMPACT DE LA SALMONICULTURE MARINE SUR L'ENVIRONNEMENT EN RADE DE CHERBOURG (1993-1995)

II ÉTUDE BIOSÉDIMENTAIRE

Marc KEMPF (1), Gwenaël CADOUR (1), Hélène JEANNERET (2),
Yann MÉAR (3), Pierre MIRAMAND (3) & Michel MERCERON (1)

- (1) IFREMER, Centre de Brest
Direction Environnement Littoral
B.P. 70, 29 280 PLOUZANÉ
- (2) IFREMER
Station de PORT-EN-BESSIN
Lab. Côtier Environt. Littoral
avenue du Général de Gaulle, B.P. 32
14 520 PORT-EN-BESSIN
- (3) INTECHMER
B.P. 324
50 103 CHERBOURG Cedex

RÉSUMÉ OPÉRATIONNEL

But de l'étude

La pisciculture marine française est une activité en croissance, mais elle est d'importance encore modeste (près de 7 000 tonnes en 1995). Pour se développer, elle a besoin de sites favorables d'un point de vue zootechnique et économique. L'implantation des élevages sur ces sites doit recueillir l'assentiment général, notamment en ce qui concerne leur impact sur l'environnement, par le biais des enquêtes d'utilité publique. Mais la plupart des études à ce sujet ont été réalisées en Europe du nord (Norvège, Écosse et Irlande surtout) et concernent le saumon atlantique. Le salmonidé le plus élevé en France est la truite fario, et les conditions de milieu y sont différentes de celles des pays nordiques (latitude, courants, etc.). Il était donc nécessaire d'étudier, sur nos côtes, quel était l'impact réel d'un élevage de truites fario, une des principales productions de la pisciculture marine française.

Élevage atelier

Les travaux de terrain ont été réalisés sur un site exploité par un éleveur privé dans la Grande Rade de Cherbourg. Durant l'étude, le stock de poissons en place a évolué entre 140 et 350 tonnes, correspondant à une production annuelle de 190 à 700 tonnes. Les juvéniles sont produits et élevés en eau douce en France jusqu'à un poids de 50 à 100 g, stade auquel ils sont transférés en mer. Les enceintes d'élevage sont des cages flottantes en filet, portées par un radeau rectangulaire. Elles ont généralement un volume unitaire de 2 000 m³ pour une profondeur de 6,5 mètres. L'aliment est exclusivement constitué de granulés secs extrudés. Leur teneur en protéines est comprise entre 42 et 46 %. Ils sont distribués au moins deux fois par jour. Les observations vidéo ont permis de constater la très faible quantité de granulés non consommés chutant sur le fond. Le taux de conversion apparent (poids d'aliment distribué/gain de poids du cheptel) a varié entre 1,3 et 2.

Site

Le radeau est implanté le long de la Grande Digue côté intérieur, sur des fonds de 15 mètres sous le zéro des cartes marines. L'emplacement est sous l'influence d'un courant assez fort (vitesse maximum : 0,55 m/s en vive-eau), d'axe général est-ouest, mais dissymétrique et portant à l'ouest les trois quarts du temps. La Grande Digue abrite partiellement la Rade de la houle, et le clapot y est présent. Le marnage en vive-eau moyenne est de 5,3 mètres (coeff. 95). Les échanges d'eau entre la Rade et l'extérieur sont très importants. Les salinités sont à peine inférieures à celles de la mer ouverte, et les teneurs en sels nutritifs et les floraisons phytoplanctoniques y sont un peu plus élevées sans être fortes. Les rejets bactériens de l'agglomération cherbourgeoise rendent les coquillages de la Rade impropres à une consommation sans reparcage en zone salubre (coquilles Saint-Jacques en particulier). Sur le site, le fond de nature sablo-vaseuse abrite la faune habituelle de ce biotope.

Contenu de l'étude

Schématiquement, un élevage intensif de poissons induit plusieurs types d'effets sur l'environnement, dont les plus évidents sont le résultat d'un apport trophique. Ils sont observables, en principe, sur le fond et dans la colonne d'eau. C'est le sujet de la présente étude, dont les deux volumes recouvrent chacun un de ces deux compartiments. D'autres types d'impacts environnementaux des piscicultures marines existent : dérive génétique des populations naturelles provoquée par la fuite d'individus élevés, élevages réservoirs de pathogènes affectant les populations sauvages (germes microbiens, parasites), impact des produits de traitement du cheptel (antibiotiques, antiparasites). Ces impacts ne sont pas étudiés ici, parce que les tonnages élevés en France ne le justifient pas (principe de proportionnalité). Le principal intrant d'un élevage est constitué par la nourriture distribuée, et les rejets sont dissous et solides.

a / Eau et pelagos

Les rejets dissous comprennent plusieurs composés métaboliques : ammonium, urée, dioxyde de carbone. Ces apports sont en principe susceptibles d'augmenter la production phytoplanctonique, puisqu'en mer c'est l'azote qui en est généralement le facteur limitant. Un changement dans la composition spécifique du phytoplancton pourrait également être induit, privilégiant le groupe des dinoflagellés dans lequel se trouve la majorité des espèces toxiques. Par ailleurs, si la flore bactérienne intestinale des poissons ne fait que refléter celle du milieu ambiant - contrairement à celle des homéothermes -, il convenait de vérifier que les déchets organiques d'un élevage ne peuvent favoriser le développement de germes fécaux d'origine extérieure.

Une revue des données hydrologiques concernant le site avant son utilisation par l'élevage est exposée (INTECHMER). Dans nos propres travaux, les paramètres suivants ont été observés, en surface et au fond, sur trois radiales partant du radeau et à une station de référence : température, salinité, oxygène dissous, matières en suspension, phosphates, silicates, azote nitrique, nitreux et ammoniacal. Ces observations ont été effectuées au printemps et à l'automne 1993 et en hiver 1994. L'azote ammoniacal a été recherché en outre durant un cycle circadien sur les flancs du radeau en décembre 1995, et sur une radiale traversant le radeau dans l'axe exact du courant, par faibles coefficients, en janvier 1996. La chlorophylle et la composition générique des peuplements phytoplanctoniques ont été suivies selon un rythme mensuel puis bimensuel entre mars 1993 et septembre 1995, à faible distance de l'élevage, et comparées à d'autres sites de la Manche. L'impact de l'élevage a été également étudié sur les germes tests de contamination fécale, en pratiquant des comptages mensuels de germes dans des moules implantées sous l'élevage et à une station témoin, selon une fréquence mensuelle, entre mai 1994 et mai 1995.

À l'exception de l'azote ammoniacal, aucun paramètre étudié ne paraît affecté par l'élevage, même à proximité immédiate des cages. Le phytoplancton et les peuplements bactériens, en particulier, ne sont pas altérés. Une dominance quasi totale des diatomées est observée. Une surconcentration d'azote ammoniacal a pu être décelée à quelques dizaines de mètres du radeau en janvier 1996, lorsque les conditions y étaient favorables. Le plus souvent, il n'est pas possible d'observer une augmentation de ses concentrations, sauf à proximité immédiate du radeau, sous le

courant. L'hydrodynamisme important du site parvient, en outre, à occulter la modulation circadienne de l'excrétion ammoniacale des poissons. Enfin, les apports azotés du bassin versant et de l'agglomération cherbourgeoise sont nettement supérieurs au flux issu de l'élevage, et ils sont délivrés dans des sites moins bien renouvelés.

b/ Sédiment et benthos

Les rejets solides sont principalement constitués des fèces du cheptel et d'une petite fraction des granulés distribués. Leur taille unitaire est de l'ordre de quelques millimètres et leur vitesse de chute de plusieurs cm/s. Ces rejets sont constitués de particules fines agglomérées qui, après désagrégation, peuvent empâter les fonds. Leur contenu organique, voisin de 50 %, est susceptible de consommer des quantités importantes d'oxygène lors de sa minéralisation. Ces déchets induisent des changements de la faune benthique dont l'importance est fonction de celle du flux détritique sur le fond. La description de sites d'élevage nordiques, dont le sédiment sous-jacent est anoxique et azoïque, n'est pas rare.

Les travaux effectués dans le cadre de cette étude ont concerné le sédiment proche de l'élevage et le macrobenthos de la même zone. L'évaluation des flux détritiques a été réalisée à l'aide de pièges à particules disposés sur une radiale et à une station de référence, durant environ 24 heures (juillet 1993). L'analyse granulométrique du sédiment et, sur sa fraction fine, le dosage du contenu organique global, du carbone et de l'azote organiques, du cuivre et du zinc (= oligoéléments inclus dans l'aliment artificiel) ont été effectués en septembre 1993 et 1995. La mesure de la consommation d'oxygène de sédiments plus ou moins chargés en déchets a eu lieu en septembre 1993. Les peuplements macrobenthiques ont été échantillonnés à la même date pour l'étude de leur composition, biomasse et diversité spécifique. Enfin, une série de quatre vidéo sous-marines, entre janvier 1993 et septembre 1995, a permis de juger de l'intérêt d'une observation visuelle des fonds.

Le flux de particules organiques issu de l'élevage chute principalement à son aplomb et à proximité immédiate. En revanche, des accumulations de petite taille sont visibles en plongée et par vidéo à plusieurs dizaines de mètres de distance. Elles se produisent lorsque le microrelief du fond bloque le transit de ces particules, lui-même engendré par l'action conjuguée du clapot et du courant. Le sédiment du site est un sable fin plus ou moins envasé, dont le pourcentage de matières fines décroît du sud-est vers le nord-ouest. Le radeau induit seulement la présence d'une tache de sédiment moins envasé sous son extrémité ouest, du fait de l'accélération du courant sous l'obstacle. Les teneurs en carbone, azote et matière organiques de la fraction fine sont normales pour ce type de sédiment, ce qui est confirmé par sa respirométrie, elle aussi normale, sauf à l'endroit des taches d'accumulation de déchets où elle est plus élevée. Les teneurs en cuivre et zinc, un peu supérieures à proximité immédiate de l'élevage, servent de traceurs, tout en restant dans la gamme normale. La comparaison des campagnes 1993 et 1995 a permis de constater une variation de certains paramètres (augmentation de la fraction fine, teneur organique constante, diminution des teneurs en métaux) qui fait penser à un apport exogène de matières fines venant "diluer" celles issues de l'élevage. La macrofaune benthique est habituelle pour ce type de sédiment : à base d'*Abra alba* et de *Melinna palmata*. Le gradient granulométrique influence la répartition de certains animaux, tandis que la proximité de l'élevage est marquée par l'abondance de quelques espèces vagiles,

détritivores, carnivores et nécrophages. Aucune prolifération d'espèces opportunistes ou indicatrices de pollution n'est observée. La vidéo donne des indications intéressantes : taches d'accumulations organiques, macrofaune vagile, terriers et tubes d'espèces endogées. Ceci donne à peu de frais une vue sommaire de l'état d'enrichissement du fond, qui, s'il n'est pas important, ne doit pas être nécessairement étudié plus à fond.

Conclusion

Avec ses 140 à 350 tonnes de poissons, l'élevage de truites fario en Rade de Cherbourg engendre des impacts très faibles et limités à la proximité immédiate du radeau : une surconcentration d'azote ammoniacal dans l'eau de surface et, sur le fond, des accumulations de déchets organiques solides en taches éparses et une très légère augmentation des teneurs en cuivre et zinc de la fraction fine du sédiment. Ceci est essentiellement dû au caractère très dispersif du site, causé par un courant important et une agitation de l'eau efficace jusqu'au niveau du fond. De ce point de vue, les côtes françaises de la Manche et de l'Atlantique ont l'avantage d'être soumises à des courants beaucoup plus importants que les fjords norvégiens et les lochs écossais.

D'autres filières françaises, notamment celle du turbot élevé en marais ou à terre sur la façade atlantique et celle du loup et de la daurade élevés en Méditerranée, ne bénéficient pas des mêmes conditions hydrodynamiques et méritent d'être étudiées spécifiquement. C'est déjà le cas du turbot. Par ailleurs, le système d'élevage en circuit fermé, actuellement en cours de mise au point, constituera une alternative intéressante à cette question d'impact environnemental des élevages marins.

En ce qui concerne la méthodologie du suivi des sites, il est préférable de s'attacher au compartiment benthique, plus sensible que celui de la colonne d'eau. Une gradation de l'effort de surveillance semble justifiée au vu des atteintes limitées observées ici et dans d'autres sites. La vidéo ou la plongée constituent un premier stade pratique et assez peu onéreux. La mesure de la proportion de matières fines dans le sédiment et de leur contenu en cuivre et en zinc peut préciser, si besoin, l'importance de la tache d'influence de la ferme. Enfin, une mesure plus fine de l'impact peut être effectuée par l'étude des peuplements benthiques, si cela est indispensable. Dans le cas du site étudié ici, une surveillance légère de type vidéo ou plongée est suffisante, mais recommandée jusqu'à ce que l'élevage ait atteint sa production maximum.

EXTENDED ABSTRACT

Environmental impact of a marine trout farm in the Harbour of Cherbourg (France) : II Sediment and bottom living communities (1993-1995)

Study goals

French marine fish farming is a growing activity which nonetheless operates at a modest scale (approx. 7000 tons in 1995). For its development, zootechnically and economically favorable sites are needed. The establishment of farms on these sites must bring together a general agreement stemming from studies of public utility, particularly in terms of environmental impacts. But most studies of this nature have been carried out in northern Europe (in particular: Norway, Scotland and Ireland) and concern Atlantic salmon. The most frequently farmed salmonid in France is the fario trout while, in addition, environmental conditions are different from those found in Nordic countries (latitude, currents etc.). For these reasons it was necessary to study the actual impacts of fario trout farming on French coasts.

Fish farm

The field work for this study was carried out on a site used by a private farmer in the Grande Rade (Bay) of Cherbourg. During the study, on-site fish stock varied between 140 and 350 tons, corresponding to an annual production of 190 to 700 tons. Fingerlings are spawned and raised in fresh water (in France) until they reach a weight of 50 to 100 g, after which they are transferred to the salt water site. Floating pens made of netting and grouped together on a rectangular raft serve as farming enclosures. Each pen has a volume of approximately 2000 m³ for a depth of 6,5 m. Dry, extruded pellets of between 42 and 46% protein compose the unique food source. Feedings take place at least two times per day. Video recordings permitted the observation of a very low quantity of pellets descending uneaten toward the ocean floor. The food conversion rate (weight of distributed food / weight gain of fish stock) varied between 1.3 and 2.0.

Site

The raft is located on the inside of the Grande Digue (breakwater) in 15 meters of water (minimum water depth for the lowest low tide, as marked on marine charts). This location is affected by a fairly strong, dissymmetrical east-west current (maximum speed: 0.55 m/s for spring tides) which runs westward 75% of the time. The Grande Digue only partially shelters the bay from the swell and wind chop is present. The average tidal range for spring tides is 5.3 m (coeff. 95). The rate of exchange between bay water and open sea water is very high. Bay water salinity is only slightly lower than that of open sea water and the abundance of nutritive salts and phytoplanktonic blooms is slightly higher while still remaining moderate. Bacterial waste from urban Cherbourg renders shellfish from the bay unacceptable for human consumption without a subsequent cleansing in salubrious zones

(especially for scallops). At the study site, a sandy / muddy bottom shelters the indigenous fauna from this particular biotope.

Study details

Schematically, intensive fish farming induces various effects on the environment, the most visible of which result from trophic inputs. Theoretically, they are observable on the ocean floor and in the water column. This is the subject of the present study and each of the two volumes herewith deals with one of the two aspects. Other environmental impacts exist : genetic drift of natural populations provoked by the escape of raised individuals, banks of pathogens within the farming site affecting natural populations (microbial germs, parasites), impacts of fish treatments (antibiotics, antiparasites). This study does not elaborate these impacts given the relatively small output of fish farming in France (principle of proportionality).

The primary input for fish farming is comprised of distributed food while waste is either dissolved or solid.

Water and pelagos

Dissolved waste includes several metabolic components: ammonia, urea, carbon-dioxide. These inputs are theoretically capable of increasing phytoplanktonic production since, in the ocean, nitrogen is generally the limiting factor. A change in the specific composition of phytoplankton could also be induced, giving an advantage to groups of dinoflagellates which include the majority of toxic species. Moreover, if the intestinal bacterial flora of fish only reflects that of the surrounding environment, as opposed to that of homeotherms, then it was appropriate to verify that organic waste from fish farming cannot encourage the development of fecal germs coming from outside sources.

A review of hydraulic data concerning the study site before the introduction of fish farming has already been discussed (INTECHMER). In the current study, the following parameters were measured at the surface and on the bottom along three radial axes originating from the raft and at a separate reference station: temperature, salinity, dissolved oxygen, suspended matter, phosphates, silicates and nitrogen (NO_2 , NO_3 , NH_4). These observations were recorded in spring and autumn of 1993 and in winter of 1994. Ammonia nitrogen was also investigated during a circadian rhythm along the flanks of the raft in December of 1995, and along an axis crossing the raft and parallel to the current (during small coefficients) in January of 1996. Chlorophyll and the generic phytoplanktonic population were tracked at a small distance from the raft following a monthly (becoming bimonthly) rhythm between March of 1993 and September of 1995, before being compared to measurements from other sites in the English Channel. Farming impacts on fecal contamination test germs were studied by totaling monthly the quantity of germs in mussels placed under the raft, as well as at a control station, for one year beginning in May of 1994.

Except for ammonia nitrogen, none of the studied parameters appeared affected by the farming, even in close proximity to the pens. The phytoplankton and bacterial populations in particular are not altered. An almost complete dominance by diatoms is observed. A super-saturation of ammonia nitrogen was detected at a few dozen meters from the raft in January of 1996 during a period of favorable conditions. It is

rarely possible to observe an increase in concentration of these elements except in close proximity to the raft and below the current. The significant hydrodynamics of the study site succeed in, among other things, disrupting the observation of the circadian cycle of ammonia fish excretions. In short, nitrogen inputs from the drainage basin and from urban Cherbourg are substantially higher than those coming from the study site and flow into areas of lower circulation.

Sediment and benthos

Solid wastes are principally composed of fish feces with a small fraction of food pellets. Individual sizes are on the order of a few millimeters and rates of descent of several cm/s. This waste is made up of agglomerated fine particles which can coat the ocean floor once they disintegrate. The organic composition of around 50% is capable of consuming substantial quantities of oxygen during mineralization. This waste induces changes in the benthic fauna, the importance of which depends on the significance of waste input to the ocean floor. Nordic fish farming sites with underlying anoxic and nitrous sediments are not uncommon.

Work carried out within the framework of this study concerned sediments near the farming site and the macrobenthos of the same zone. An evaluation of waste input was carried out using particle traps spread along a radius and at a separate reference station during a 24-hour period in July of 1993. A granulometric analysis of the mud fraction of bottom sediments concerning the dosage of global organic contents, carbon, organic nitrogen, copper and zinc was performed in September of 1993 and 1995. Oxygen consumption in sediments with varying concentrations of waste was measured in September of 1993. The macrobenthic population was sampled at the same time in order to examine its composition, biomass and specific diversity. Lastly, a series of four underwater videos, recorded between January of 1993 and September of 1995, allowed the formulation of a judgment as to the value of visual observations of the bottom.

The flow of organic particles coming from the farming site is primarily directed straight down and to its close vicinity. On the other hand, small accumulations on the bottom at a few dozen meters from the pens are visible when diving or on the videos. This occurs when small-scale topography of the ocean floor blocks further transport created by the concurrence of ocean chop and currents. The sediment below the farming site is composed of fine, (more or less) muddy sands with a decreasing percentage of fine matter from south-east to north-west. The raft is only responsible for a small area of less-muddy sediment under its western extremity due to an acceleration of the current as it passes under the structure. Concentrations of carbon, nitrogen and organic materials within the mud fraction are normal for this type of sediment and are confirmed by the respirometry which in turn is normal except in the area of accumulated waste where readings are higher. Measured amounts of copper and zinc are somewhat higher in close proximity to the site and serve as tracers, all the while remaining within normal levels. Comparison between the 1993 and 1995 campaigns allowed the discovery of a variation in certain parameters (increase of fine grains, constant organic content, decrease in metallic contents) which is suggestive of an exogeneous input of fine materials which "dilute" those issuing from the farming activity. The benthic macrofauna is normal for this type of sediment and is comprised primarily of *Abra alba* and *Melinna palmata*. The granulometric gradient influences the distribution of certain species whereas the

vicinity of the site is notable for an abundance of certain freelifving animals : detritivores, carnivores and necrophages. No proliferation of opportunistic species nor of pollution indicator species was observed. The video recordings unveiled interesting observations: spots of organic accumulations, motile macrofauna, holes and tubes of sediment dwelling species. This technique gives an inexpensive overview of bottom enriching which, if not visibly significant, does not necessarily warrant further study.

Conclusions and Perspectives

With a production of 140 to 350 tons of fish, fario trout fish farming in Cherbourg Bay only slightly impacts the environment and, at that, only within close proximity to the raft : with an over-concentration of ammonia nitrogen in surface waters and, on the bottom, scattered patches of accumulated solid organic waste and a slight augmentation in copper and zinc contents within the mud fraction of the sediments. This is primarily due to high dispersion rate of the site stemming from a considerable current and subsequent water agitation present in the entire water column. From this perspective, the French Atlantic coasts and those along the English Channel have the advantage of being subjected to currents which are much stronger than those of the Norwegian fjords and Scottish lochs.

Other French farming efforts do not benefit from the same hydrodynamic conditions and merit a closer study, notably the farming of turbot in marshes or on land along the Atlantic coast and sea bass and sea bream raised in the Mediterranean Sea. This is already the case for turbot. Moreover, a closed circuit farming system now in development will constitute an interesting alternative in terms of the environmental impacts of marine fish farming.

Concerning the methodology for site follow-ups, it is preferable to pay particular attention to the sea bottom, as it is more sensitive to impacts than the water column. A gradation of the surveillance effort seems justified in view of observed limitations of the scope of impacts at this and other sites. Video recordings or scuba diving constitute the first practical step which is not excessively burdensome. The measure of the proportion of fine-grained materials in the sediment and of their copper and zinc content can clarify, if needed, the size of the farming area of influence. Lastly, a more precise measurement of impacts can be effected by a study of benthic populations if this is deemed indispensable. In the case of the site studied here, a straightforward video or diving surveillance suffices but is nonetheless recommended to continue until the farming activity has reached its maximum output.

RESUME OPERATIONNEL/EXTENDED ABSTRACT	3
SOMMAIRE.....	11
AVANT PROPOS	13
INTRODUCTION.....	15
1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU SITE ET DE LA FERME	17
2 ÉTUDE BIOSÉDIMENTAIRE.....	21
2.1 FLUX DE MATIÈRES PARTICULAIRES	21
2.2 GÉOCHIMIE DU SÉDIMENT (<i>fraction fine et respirométrie</i>)	25
2.3 MACROBENTHOS.....	39
2.4 SURVEILLANCE VIDÉO.....	49
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	59
BIBLIOGRAPHIE	61
LISTES DES FIGURES, CARTES ET TABLEAUX.....	63
ANNEXES.....	65

Il n'existe encore que très peu de références factuelles sur l'impact de la pisciculture marine française sur l'environnement. Les éléments disponibles concernent en général la salmoniculture en Scandinavie, Écosse ou Irlande. De telles données, obtenues dans les conditions réelles du milieu en France, sont cependant indispensables pour alimenter une réflexion objective et recevable par le public, de même que pour fonder les choix d'implantation de cette activité sur le littoral.

La Rade de Cherbourg constitue à cet égard un site atelier spécialement intéressant. La truite fario, qui y fait l'objet d'une production en cages flottantes, est le principal salmonidé marin élevé en France, mais intéresse peu les grands pays producteurs de l'Europe du Nord. Le tonnage de la ferme concernée est d'ores et déjà conséquent, et appelé à se développer ; ceci implique un signal d'impact *a priori* facilement identifiable et le besoin d'un suivi.

La stratégie adoptée ici a été de réaliser une étude de référence approfondie à partir de prélèvements et d'observations effectués durant une année (1993-94). Cette étude a été suivie d'un programme allégé élaboré en conséquence (1994-95), qu'il serait bon de maintenir durant la phase de production croissante de l'élevage. L'ensemble des résultats fait l'objet de deux rapports, l'un consacré à la masse d'eau (volume I) et l'autre au fond marin (volume II).

Cette étude scientifique est foncièrement différente des observations réalisées dans le cadre du suivi réglementaire, tel qu'il a été défini par l'arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter. D'autre part, le conditionnement du poisson à terre avant commercialisation constitue une activité à part qui n'est pas prise en compte dans notre démarche.

Dans la réalisation des travaux, les équipes de l'IFREMER de Brest et de Port-en-Bessin se sont associées à celles de l'Institut National des Sciences et Techniques de la Mer de Cherbourg (INTECHMER), ainsi qu'au personnel de la ferme SALMONA, dont la participation technique a été appréciée.

Le financement a été assuré par l'IFREMER, ainsi que par le Conseil Général de la Manche par l'intermédiaire du Syndicat Mixte d'Équipement du Littoral (SMEL), avec le soutien logistique de l'exploitant pour les prélèvements et mesures sur site.

Actions des différents partenaires	
IFREMER	financement
Brest	coordination, terrain, analyses diverses, exploitation
Port-en-Bessin	analyses et exploitation : microbiologie, plancton et benthos
INTECHMER	acquis antérieurs, hydrologie, sédiment
SALMONA	données d'élevage, soutien logistique
SMEL	cofinancement (lettre contrat 09.03.93, SMEL 94.97)

Dans le cadre d'une étude sur l'impact des rejets d'un élevage de salmonidés (truite fario), le site de Cherbourg a fait l'objet :

- d'une observation approfondie d'un an (1993-94), prenant en compte, par une approche pluridisciplinaire, les principaux paramètres pertinents pour ce problème : courantologie, hydrologie, sédimentologie, biologie, chimie... ;
- d'une surveillance allégée (1994-95) portant sur le phytoplancton, la microbiologie sanitaire (coquillages témoins), l'analyse du sédiment et l'observation vidéo sous-marine du fond ;
- d'une observation complémentaire de l'azote ammoniacal sur la ferme durant un cycle de 24 h (décembre 1995).

Les acquis antérieurs sur la rade, notamment ceux provenant des investigations préliminaires à l'implantation de la ferme, ont également été considérés.

L'ensemble fait partie d'un programme plus vaste de recherche appliquée de l'IFREMER sur les relations entre la pisciculture marine intensive et l'environnement (Environnement et Aquaculture). Les buts principaux en sont l'établissement d'états de référence, le constat de l'impact réel sur l'environnement, la mise en évidence des paramètres essentiels pour une surveillance ultérieure et, si nécessaire, un ajustement des pratiques d'élevage permettant de concilier la pisciculture et le milieu.

Le présent document est consacré aux rejets solides de la ferme et à leurs effets sur le fond marin : chimie du sédiment et peuplements. Il complète ainsi un précédent volume portant sur la masse d'eau (MERCERON et al., 1997) et apporte des précisions aux résultats partiels déjà fournis à ce sujet (KEMPF et al., 1995 ; KEMPF & MERCERON, 1994 ; MERCERON & KEMPF, 1995).

Schématiquement, un élevage intensif de poissons induit plusieurs types d'effets sur l'environnement, dont les plus évidents sont le résultat d'un apport trophique, théoriquement observable dans la colonne d'eau et sur le fond. Le principal intrant est constitué par la nourriture distribuée, sous forme de granulés, et les rejets sont de deux types, dissous et solides. Les premiers concernent un certain nombre de composés métaboliques éliminés par les poissons (dioxyde de carbone, ammonium, urée...). Les rejets solides, principalement organiques, proviennent des aliments non ingérés (pertes) ou non assimilés (fèces). Ces particules transitent par la colonne d'eau et se déposent sur le fond. Elles consomment de l'oxygène en se dégradant et relarguent des sels d'azote et de phosphore. Leur accumulation peut modifier la composition du sédiment et entraîner des changements dans les peuplements. Mais ce schéma théorique est très dépendant de la dynamique du site (courant, agitation de la surface) qui, par la dispersion qu'elle induit, conditionne fortement les impacts potentiels.

Les travaux réalisés ici sur les rejets solides concernent ainsi la recherche des principales manifestations permettant de les caractériser et de surveiller leurs effets sur le site d'un élevage commercial :

- évaluation des flux au moyen de pièges à particules proches du fond ;
- recherche d'impacts et de traces par :

- * analyse granulométrique et analyse chimique de la fraction fine du sédiment (matière organique, carbone et azote, métaux traces incorporés à l'aliment comme oligo-éléments),
- * respirométrie du sédiment,
- * analyse des peuplements benthiques (composition, biomasse, diversité...),
- * observation macroscopique du fond *in situ* par vidéo sous-marine.

Ces différentes tâches et leur répartition parmi les intervenants de l'étude sont résumées dans le tableau 1.

Travaux	Dates	Conditions Hydro-météorologiques	Élevage	Intervenants	
				prélèvement	analyse
Acquis antérieurs	Peuplt Sédt	1988 02/88 -11/89		absent	INTECHMER
Flux de matières	13-14 /07/93	temps gris + grains, vent d'O-S-O 50 km/h, clapot : 50 à 80 cm, coefficient de marée : 39-38, T° eau : 15-15,5°C		IFREMER (Brest)	
Respirométrie (sédiment)	20-21 /09/93	Coef. marée : 95-70 T° eau : 16,5°C salinité : 34 ‰ mer calme à peu agitée (après forte tempête la semaine précédente)	stock poissons : 144 t apport nourriture : 1,2 t/j		
Peuplements benthiques	23/09/93	Coef. marée 40 et 39 (après une semaine V.E. à 115 max et temps clément)		IFREMER (Brest), INTECHMER	benthos : IFREMER (Port-en-Bessin) <u>granulométrie</u> , <u>métaux</u> : INTECHMER CHN : IFREMER (Brest)
Sédiment	19/09/95	Coef. marée 30 et 33, beau temps	stock : 290 t nourrit. : 1,9 t/j		
Vidéo	20/01/93	Coef. marée : 54-58		IFREMER (Brest)	
	12/05/93	Coef. marée : 54-49			
	19/08/94	Coef. marée : 73-79			
	18/09/95	Coef. marée : 30	stock : 290 t nourrit. : 1,9 t/j		
Logistique site				SALMONA	
Coordination				IFREMER (Brest)	
Financement				IFREMER, SMEL	

Tableau 1 : Étude biosédimentaire 1993-95 : travaux, conditions et intervenants

1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU SITE ET DE LA FERME

Le site et la ferme sont présentés en détail dans le premier volume de cette étude (MERCERON *et al.*, 1997). En conséquence, seul un résumé des informations essentielles est fourni ici.

SITE ET HYDRODYNAMIQUE

Surfaces :

Grande Rade 1 300 ha ($8 \times 1,6$ km) et Petite Rade 260 ha ;

Profondeurs :

moyenne 5-12 m, site d'élevage environ 11 m ;

Volumes :

en millions de m³ en vive eau (coef. 95 et 5,3 m d'amplitude de marée)

à pleine mer : $153 + 32 = 185$; à basse mer : $86 + 19 = 105$;

soit un volume oscillant de 80 millions de m³ en vive eau pour les deux rades ;

Courants :

courants de marée alternatifs assez forts

(vitesse max. : en ME = 0,30 m/sec, en VE = 0,55 m/sec),

direction ouest nettement prédominante (jusant 75 % du cycle),

site d'élevage en bordure d'un tourbillon induit par la Grande Digue ;

Agitation de surface :

Grande Rade sujette au clapot, mais abritée de la houle.

APPORTS

Agglomération cherbourgeoise :

environ 120 000 habitants ;

Apports azotés :

apports totaux de différentes origines estimés à 40-140 kg N/h selon les conditions de précipitations, soit 360-1225 t N/an ;

Eau douce :

apports très faibles, influençant très peu la salinité de la Grande Rade (ex. Divette : débit moyen 1,3 m³/sec, soit 55 000 m³ /cycle de marée), $\leq 1/1000^e$ du volume oscillant des deux rades.

HYDROLOGIE

Température :

6°C (fév.) - 18°C (août) ;

Salinité :

34 – 35 ‰, stable et assez élevée ;

Azote¹ :

N minéral dissous : 1 à 4 µM (été) - ≥ 15 µM (hiver)

¹ Teneur de l'eau de mer en sels nutritifs exprimée en micromoles par litre (µM), sachant que

1 mole (M)	d'ammoniac équivaut à	18 g de NH ₄	ou à	14 g de N-NH ₄
"	de nitrate	"	62 g de NO ₃	" 14 g de N-NO ₃
"	de phosphate	"	95 g de PO ₄	" 31 g de P-PO ₄
"	de silicate	"	48 g de SiOH ₄	" 28 g de Si-SiOH ₄

dont NH_4 1-3 μM , $\text{NO}_3 \leq 1 \mu\text{M}$ (été) - environ 12 μM (hiver) ;
Phosphore :
 $\text{PO}_4 : \leq 0,1 \mu\text{M}$ (été) - 0,6 à 1 μM (hiver) ;
Silice :
 $\text{SiO}_2 : 1 \text{ à } 2 \mu\text{M}$ (été) – env. 8 μM (hiver) ;
Particules (matières en suspension) :
MES totales : 1,5 - 3, 0 mg/l.

PLANCTON

Chlorophylle :

Chl a $\leq 1 \mu\text{g/l}$ (hiver) - $\geq 2 \text{ à } 3 \mu\text{g/l}$ (printemps-été) ;

Phytoplancton :

composition très fortement dominée par les diatomées,
maximum de la poussée printanière en mai-juin.

SÉDIMENT ET PEUPELEMENTS BENTHIQUES (INTECHMER, 1983)

Fonds meubles de sable et silt, avec un pourcentage variable de vase,

Site d'élevage contigu à une zone de décantation, correspondant à un tourbillon en arrière de la Digue Centrale, moitié Est.,

Sur le site d'élevage, le benthos est dominé en nombre par les vers polychètes, principalement tubicoles.

En résumé, le site d'élevage est soumis à un hydrodynamisme assez fort, principalement assuré par les courants de marée, avec une participation du clapot. Il est abrité de la houle. Les conditions hydrologiques et de développement phytoplanctonique sont comparables à celles des eaux côtières de la région. Le fond sableux et sablo-vaseux est caractérisé par l'importance numérique des vers polychètes.

FERME

Espèce :

truite commune ou fario *Salmo trutta fario* ;

Concession :

15 ha (1 500 × 100 m) le long de la Grande Digue ;

Structure :

cages flottantes en filets,

4 radeaux à 4 cages de 20 × 15 × 6,5 m, soit des volumes d'élevage unitaires d'environ 2 000 m³,

profondeur libre sous les cages 8-15 m ;

Élevage :

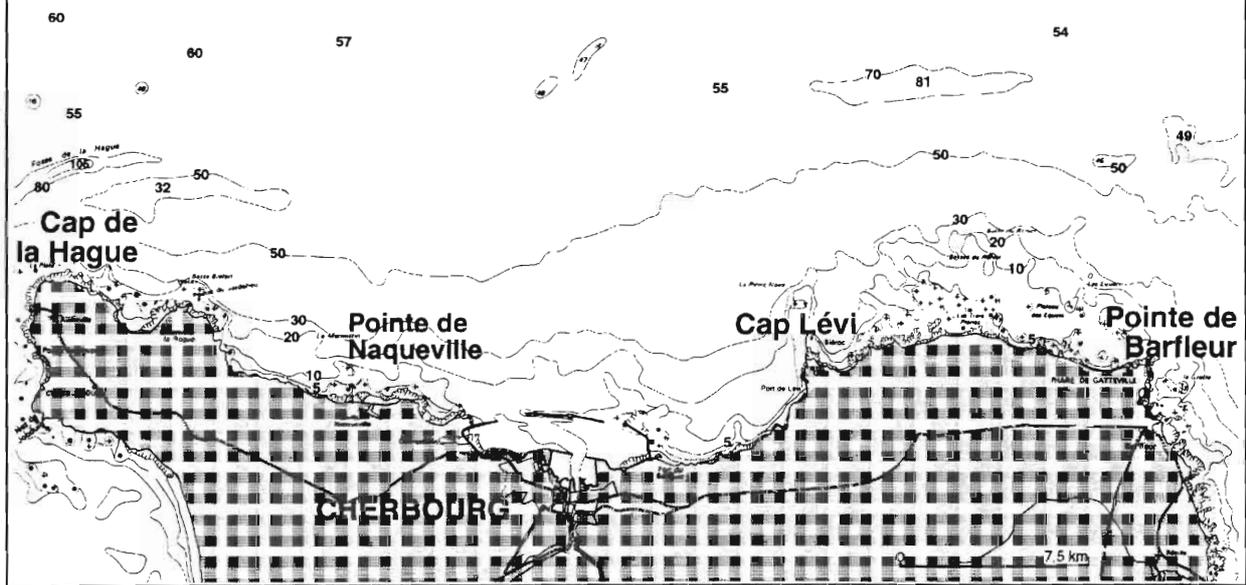
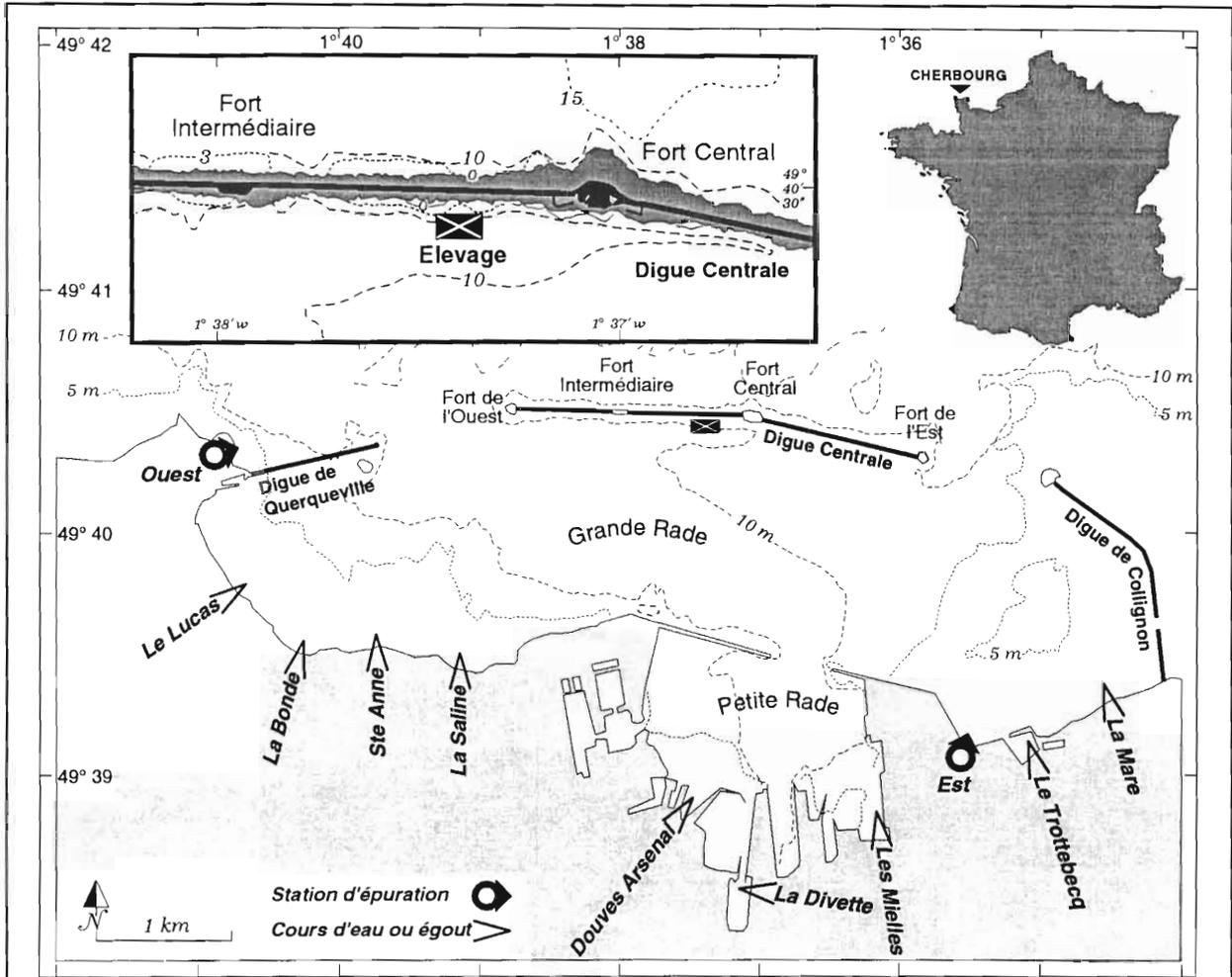
transfert de juvéniles d'un an et 60-100 g en automne et au printemps,

grossissement durant 1-2 ans permettant d'obtenir des tailles commerciales de 1,5-5 kg,

densité d'élevage de 20-25 kg/m³,

stock en place de 140 t (été 1993) à 350 t (moy. 1994-95) avec maxima temporaires de 450-500 t,

production de 190 t (1993) à 700 t (1995), prévision de 1 500 t (1996/97),



Carte 1 : Localisation de la rade de Cherbourg et du site piscicole SALMONA

aliment granulé extrudé, nourrissage matin et après-midi,
indice de conversion de 1,3 à 2 (rapport aliment sec/gain biomasse fraîche) ;

Réglementation :

installation classée,
autorisation d'exploitation pour 1 500 t (déc. 1991)².

² étendue par la suite à 3 000 t.

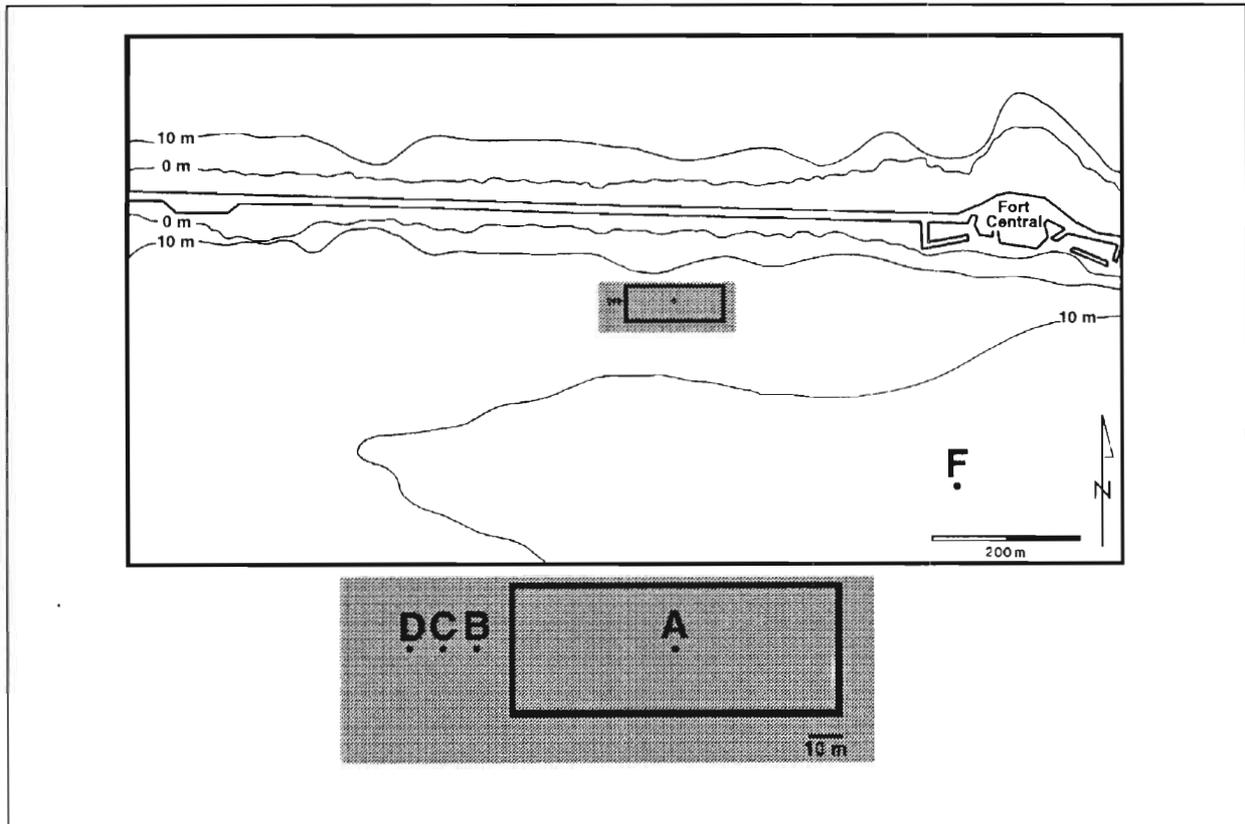
2.1 FLUX DE MATIÈRES PARTICULAIRES

2.1.1 METHODE

2.1.1.1 PRELEVEMENTS

Les rejets solides d'un élevage de poissons sont constitués d'aliments non consommés et de fèces. Leur vitesse de chute est assez rapide et dépend de leur taille ; pour les granulés, elle est de 3 à 15 cm/sec., et pour les fèces de 1,6 à 3,9 cm/sec. (GOUX-PLAIRE, 1992). En conditions expérimentales ou en bassins de volume limité, ils peuvent être collectés sur le circuit d'eau, moyennant un certain nombre de précautions et d'incertitudes. En milieu ouvert, tel que celui des cages flottantes, la seule technique simple permettant d'avoir une idée du matériel particulaire issu d'une ferme est l'utilisation de pièges à particules. Compte tenu de l'évolution de la matière organique, ceux-ci ne peuvent rester en place qu'un temps limité (≤ 24 h).

Cinq pièges à particules, portant chacun 6 tubes d'un diamètre intérieur de 60 mm, ont ainsi été disposés à 80-85 cm au-dessus du fond à proximité de l'élevage (carte 2). Ils sont de nature simple (un cadre métallique supportant des tubes en PVC pouvant être fermés à la remontée) et mis en oeuvre par plongeur. Leur disposition (de A vers D) prend en compte le fait que le courant dominant porte à l'ouest. Le piège F sert de référence extérieure hors de l'impact supposé de la ferme. La mise à l'eau a eu lieu le 13 juillet 1993 et le relevage le 14 (tableau 2). En raison de problèmes techniques, seuls 3 des 6 tubes du piège F ont pu être exploités.



Carte 2 : Localisation des pièges à particules (13 et 14 juillet 1993)

	A	B	C	D	F
Mise à l'eau (13/07/93)	12h 15	11h 30	11h 30	11h 30	14h 00
Fermeture (14/07/93)	13h 50	12h 35	12h 35	12h 35	14h 15
Durée de collecte	25h 35	25h 05	25h 05	25h 05	24h 15

Tableau 2 : Dates et durées des différents prélèvements des pièges à particules

Durant cette période, le temps a été maussade avec des grains, un vent d'ouest-sud-ouest d'environ 50 km/h et un clapot de 50 à 80 cm. Les coefficients de marée étaient de 39 et 38, la température de l'eau de 15 à 15,5°C.

Le stock de poissons (12 juillet 1993) était de 144 tonnes, avec un apport d'aliments extrudés d'environ 1 260 kg/j (500 kg/j de granulés de Ø 9 mm pour les gros poissons et 760 kg/j de granulés de Ø 4 mm pour les petits). Pour des raisons logistiques, les pièges ont dû rester en place pour une durée dépassant légèrement 24 heures. Ils ont donc enregistré un nourrissage supérieur à celui d'une journée (soit entre 1 et 1,5 fois la ration quotidienne). Après le prélèvement, les échantillons ont été congelés dans un délai de 4 heures.

2.1.1.2 ANALYSE

a) Préparation des échantillons

La reprise des échantillons (particules et eau de mer) pour analyse a montré une accumulation importante de sel pouvant influencer les pesées. Il a donc été décidé d'éliminer ce sel, au risque de perdre par lessivage une partie de la matière collectée. Ainsi, après ajout d'eau distillée à une masse connue, les échantillons A, B, C et F (entre 1 et 2 g) ont été centrifugés à 3000 tours/min. pendant 5 minutes, opération renouvelée après élimination du surnageant. Le traitement par centrifugation a réduit la masse des échantillons de 28 % (A), 18,8 % (B), 14,9 % (C) et 53,9 % (F). Cependant, les surnageants étaient relativement limpides et seul celui de l'échantillon A semblait légèrement chargé. Les échantillons bruts ayant les comportements extrêmes lors du traitement, à savoir A' et F', avant traitement de A et F respectivement, ont alors été testés à titre de comparaison (tableau 3). L'échantillon D n'a pas subi de centrifugation, car il ne présentait pas d'accumulation visible de sel.

b) Détermination du taux de matière organique (MO) : perte au feu

Après séchage préalable à l'étuve, les échantillons ont été passés au four pendant 4 heures à 460°C afin de connaître la quantité de matière organique présente. En déterminant la masse avant (Pa) et après le passage (Pp) au four, le pourcentage de matière détruite, qui correspond à la fraction organique, peut être déduit.

c) Détermination des pourcentages de carbone et d'azote

Un analyseur CHN 800 (Carbone, Hydrogène, Azote) LECO a servi pour déterminer les pourcentages en carbone et azote total dans les échantillons originaux. La même opération, réalisée sur les échantillons déjà utilisés pour le dosage de la matière organique, permet de connaître les pourcentages de carbone organique et minéral.

Ainsi, les pourcentages de carbone total (CT), de carbone minéral (CM), de carbone organique (CO) et d'azote total (NT) ont été mesurés avec :

- CT et NT obtenus directement par l'analyseur CHN sur les échantillons originaux ;
- $CM = CM_{CHN} \times (1 - Pp/Pa)$ et $CO = CT - CM$
- CM_{CHN} : % de carbone donné directement par l'appareil CHN sur les échantillons préalablement passés au four ;
- Pa : masse avant passage au four ; Pp : masse après passage au four.

2.1.2 RESULTATS

Numéro d'échantillon	Quantité totale (en g/m ² /j)	% matière organique	% carbone total	% carbone minéral	% carbone organique	% azote total
A	263,52	48,53	27,5	1,37	26,13	3,63
B	207,12	13,86	6,28	1,90	4,38	0,41
C	194,4	13,12	5,04	1,24	3,80	0,28
D	non déterminée	8,41	5,13	2,52	2,61	0,26
F	123,6	10,35	6,03	3,28	2,75	0,22
A'	363,76	44,54	24,88	0,59	24,29	3,39
F'	268,32	15,96	2,42	0,19	2,23	0,12

Tableau 3 : Quantité et qualité des prélèvements des pièges à particules

2.1.3 COMMENTAIRES

En ce qui concerne l'échantillon A, le traitement de dessalement n'a pas modifié de façon très prononcée les résultats obtenus. En revanche, F a, quant à lui, connu un changement plus conséquent avec une perte de plus de 50 % de masse, une baisse notable du pourcentage de matière organique, une hausse de celui du carbone total et minéral, de l'azote.

Les quantités de matériel particulaire déposées dans les pièges peuvent parfois paraître élevées, mais, hormis pour la station A située directement sous l'élevage, leur pourcentage de matière organique est relativement faible, témoignant d'un important flux sédimentaire minéral engendré par l'hydrodynamique du site. La variation spatiale des pourcentages de matière organique (MO), de carbone organique (CO) et d'azote total (NT) est significative à cet égard. Ces résultats montrent que le flux de matière issu de l'élevage est bien présent dans la colonne d'eau et maximum à la verticale de la structure, mais qu'il se réduit rapidement et se rapproche de la valeur de référence du site dès que l'on s'en écarte, même dans le sens du courant dominant.

KUPKA-HANSEN *et al.* (1991) ont étudié le taux de sédimentation sous cinq fermes norvégiennes de saumon atlantique, observées en automne. La hauteur d'eau sur ces sites était assez semblable à celle de Cherbourg (7-15 m en Norvège contre 12 à 18 m ici selon la marée) et la courantologie nettement plus faible (0,10 m/sec contre 0,3 à 0,55 m/sec). Les pièges étaient placés dans une position bien plus au-dessus du

fond (3 à 5 m contre 0,8 m) et leur durée de fonctionnement non précisée (trop longue, elle pourrait minorer les résultats par un début de minéralisation de la matière organique). Dans ces conditions, les auteurs norvégiens mesurent des apports de matière particulaire de 4-40 g/m²/j, dont 3-33 g/m²/j de matière organique, représentant un pourcentage élevé et stable (70-85 %). La part réduite de matière minérale s'explique aisément par la faiblesse de la dynamique et la position élevée des pièges au dessus du fond. Ces fermes norvégiennes ont un impact prononcé sur le fond en raison d'une dynamique réduite due à des vitesses de courant très faibles. En effet, l'épaisseur des dépôts accumulés sous les cages y est de quelques centimètres à quelques décimètres. En fait, les apports observés sont très variables selon les sites suivis. Ainsi, HARGRAVE (1994), reprenant les résultats de 8 études concernant les dépôts sous des cages de salmonidés dans divers pays (Norvège, Écosse, Japon, États Unis, Australie), donne une gamme de sédimentation, pour le carbone, de 0,3 à 181 g/m²/j.

Dans le cas de Cherbourg, où seuls des microdépôts passagers de matériel frais ont pu être observés, les valeurs de sédimentation organique particulaire (MO), mesurées à proximité du radeau (stations B, C, D), sont de l'ordre de 13 à 28 g/m²/j, dont 3 à 9 g/m²/j de carbone. Seule la station A, située sous l'élevage, présente des valeurs extrêmes (127 g/m²/j de MO, dont 69 g/m²/j de CO), probablement dues à un recueil exceptionnel de granulés ou de fèces directement issus d'une cage, et peu représentatives de la situation moyenne. A titre de comparaison, des mesures similaires effectuées à Camaret sur une autre exploitation de truite fario, à la même époque et avec une courantologie bien moindre, montrent un taux de sédimentation de matière organique d'environ 40 g/m²/j sous le radeau, de 20 g/m²/j en périphérie et de 6 à 8 g/m²/j à l'écart de la structure (KEMPF *et al*, 1995).

Il apparaît donc que les apports particuliers de l'élevage de Cherbourg sont dilués dans un important flux sédimentaire entretenu par une agitation prononcée. Ces apports se matérialisent dans les pièges, principalement à la verticale de l'élevage. Mais, comme cela se vérifie par d'autres observations (sédiment, vidéo), l'hydrodynamique du site en assure une bonne dispersion.

2.2 GÉOCHIMIE DES SÉDIMENTS : fraction fine et respirométrie

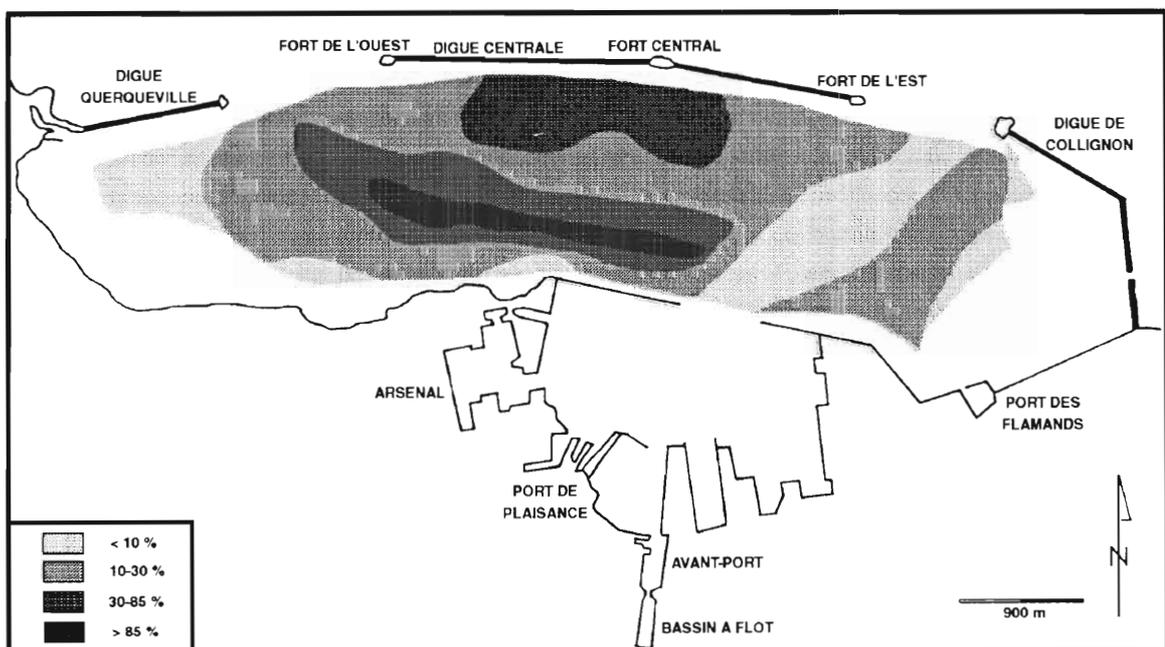
2.2.1 ETUDE DE LA FRACTION FINE

2.2.1.1 ACQUIS ANTERIEURS

a) Granulométrie et fraction fine

L'état de référence de la Rade de Cherbourg, établi avant l'implantation de l'élevage, s'appuie sur deux séries de prélèvements effectués en 1988 et 1989 (INTECHMER, 1989). Entre le 23 et le 28 février 1988, 70 échantillons ont été prélevés à la benne Smith-McIntyre dans la Grande Rade pour l'étude du sédiment et du benthos. La période de prélèvement de ces échantillons était caractéristique d'un épisode dominé par l'action des courants de marées et d'une faible houle. Les analyses effectuées ont porté sur le premier centimètre prélevé. Pour l'évaluation de l'envasement, la fraction retenue a été celle des vases fines ($\varnothing < 40 \mu\text{m}$), limite parfois utilisée dans les études de benthos, mais moins en géochimie, qui s'intéresse à l'ensemble des vases ($\varnothing < 63 \mu\text{m}$).

Les résultats (carte 3) font apparaître un taux de fraction fine très variable. Aux extrémités orientale et occidentale de la rade ainsi que sur un axe reliant la Petite Rade à la Passe de l'Est, des secteurs de faible envasement ($< 10\%$) correspondent à la présence, dans le sédiment, d'un important stock de graviers issus de la désagrégation *in situ* de rochers schisteux. A l'inverse, deux zones plus fortement envasées (45 - 95 %) occupent une position plus centrale, en arrière de la Grande Digue et au centre de la rade, selon un axe sensiblement est-ouest. "La plus septentrionale de ces zones s'appuie sur la digue centrale, le taux d'envasement y apparaît extrêmement homogène (environ 50 % de fraction fine $< 40 \mu\text{m}$). L'analyse granulométrique de la fraction fine montre qu'il s'agit d'un dépôt par décantation" (INTECHMER, 1989). L'emplacement actuel des cages d'élevage se situe dans cette zone. Sur le site, le substrat est un sédiment sableux très fin et bien classé (160 - 100 μm), plus ou moins envasé (30 - 85 % $\varnothing < 40 \mu\text{m}$). Les carbonates y représentent 10-20 % et sont d'origine biogène (débris de coquilles).



Carte 3 : Envasement de la rade de Cherbourg (fraction fine $< 40 \mu\text{m}$) (INTECHMER, 1989)

Le 9 novembre 1989, une douzaine d'échantillons ont été prélevés au sud de la Digue Centrale, soit dans la zone étudiée dans le présent document. L'analyse de la fraction fine ($\varnothing < 40 \mu\text{m}$) a montré peu de différences par rapport aux précédents prélèvements, si ce n'est une diminution de surface de la zone d'envasement maximum située au sud du Fort Central.

b) Carbone organique (CO) de la fraction fine ($\varnothing < 40 \mu\text{m}$)

Une quinzaine d'échantillons, prélevés en février 1988 et répartis dans l'ensemble de la Grande Rade, ont été analysés avec l'appareil LECO CS 125, après destruction du carbone minéral à l'acide chlorhydrique afin de déterminer le taux de carbone organique (CO). Deux groupes de valeurs peuvent être distingués. Le premier correspond aux échantillons contenant plus de 45 % de fraction fine. Le taux de CO y est toujours supérieur à 1,5 % et peut dépasser 2,6 %. Ce pourcentage est largement corrélé ($r = 0,95$) à celui de la fraction fine. Pour le second groupe (échantillons renfermant moins de 45 % de fraction fine), le taux de CO est plus faible, entre 0,8 et 1,3 % et sa corrélation avec la fraction fine est moins bonne. En définitive, les échantillons les plus riches en vase sont également ceux renfermant le plus de carbone organique.

Concernant le site étudié ici, trois stations sont recensées et donnent des valeurs de CO de 1,9, 2,2 et 2,3 % qui correspondent à la zone d'envasement proche du Fort Central (carte 3).

2.2.1.2 CAMPAGNES 1993 ET 1995

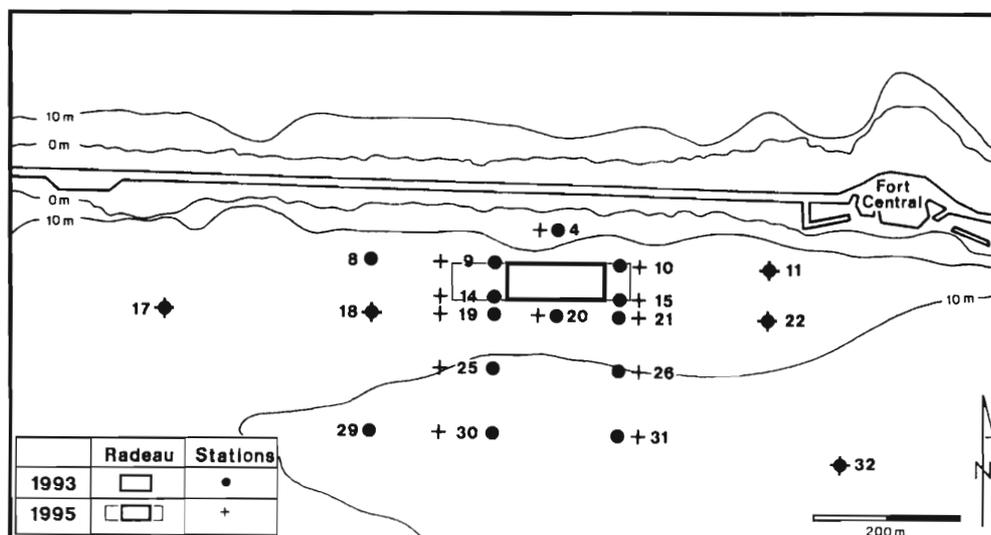
a) Prélèvements

Dans le cadre de la présente étude, deux campagnes de prélèvements ont eu lieu sur le site piscicole de Cherbourg (carte 4) :

- le 23 septembre 1993 (19 stations, coefficients de marée 40 et 39), après une semaine pendant laquelle le coefficient de marée a atteint 115 et le temps était clément. Mais une tempête avait eu lieu durant la décade précédente (vent ≥ 50 noeuds durant la nuit du 12 au 13 septembre). Le 20 septembre, le stock de poissons en place était de 144 tonnes et l'apport de nourriture de 1,2 tonne par jour ;
- le 19 septembre 1995 (17 stations, coefficients de marée 30 et 33), après une semaine de marée moyenne (coefficient maximum 94, 7 jours avant, puis déchet). Lors des prélèvements, le temps était relativement beau. À la mi-septembre, le stock de poissons en place était de 290 tonnes pour un apport nutritionnel de 1,9 tonne par jour.

Les échantillons ont été prélevés au carottier Reineck afin de conserver intact le premier centimètre de sédiment qui a servi à l'analyse.

Entre 1993 et 1995, l'élevage s'est agrandi de plusieurs cages (et d'une cinquantaine de mètres vers l'ouest) et d'une barge de servitude (une vingtaine de mètres vers l'est). Les stations situées aux extrémités est et ouest de la structure s'en sont donc trouvées décalées. Cette variabilité pourrait entraîner un certain biais concernant les résultats. Toutefois, on peut penser qu'elle reste limitée par rapport à celle des autres facteurs : courantologie, hydrologie, apports de l'élevage...



Carte 4 : Localisation des stations de prélèvement au carottier Reineck :
23 septembre 1993 et 19 septembre 1995

b) Analyse

- Granulométrie

La granulométrie du sédiment a été réalisée au moyen d'une tamiseuse électromagnétique sur une colonne de tamis de norme AFNOR. Pour la suite des analyses (MO, C, N, Cu et Zn), seule la fraction fine inférieure à 63 μm (vase) a été retenue.

- Taux de matière organique (MO), de carbone (CT, CO et CM) et d'azote (NT)

Les teneurs respectives sont déterminées sur des échantillons lyophilisés de la fraction fine (63 μm). La procédure suivie est celle déjà exposée pour les pièges à particules (§ 2.1.1.2).

- Teneur en métaux traces : cuivre (Cu) et zinc (Zn)

Trois aliquotes (environ 200 mg) de chaque échantillon ont été attaquées par un mélange d'acide nitrique et d'acide perchlorique à chaud (80°C) sans reflux pendant 12 heures. Elles ont ensuite été reprises dans 10 ml d'acide nitrique (HNO₃ à 0,3 M). La mesure a été réalisée par spectrophotométrie d'absorption atomique dans une flamme air-acétylène avec une correction d'absorption par une lampe au deutérium. La qualité de l'analyse a été contrôlée par passage de standards certifiés.

2.2.1.3 RESULTATS ET COMMENTAIRES

L'étude des stations échantillonnées en 1993 et en 1995 montre l'état des différents paramètres ainsi que leur évolution entre les deux séries de prélèvements (détail des résultats en annexe 1).

a) Granulométrie et fraction fine < 63 µm (vase) (figures 1-2, cartes 5 a-b)

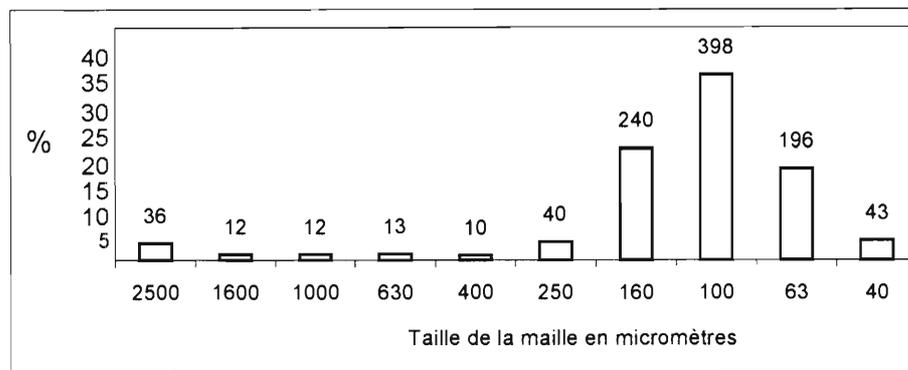
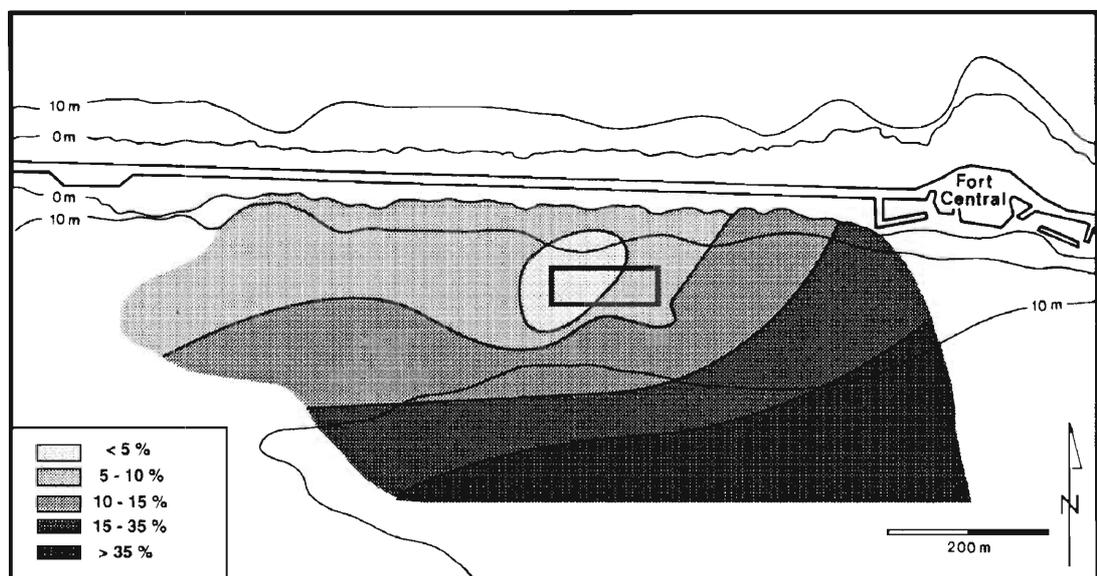
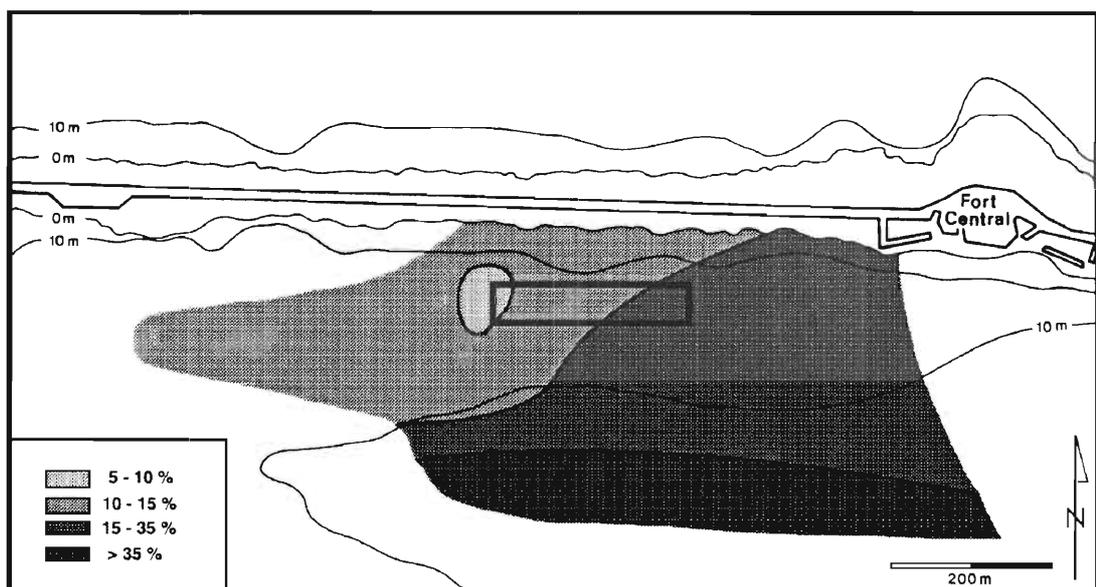


Figure 1 : Granulométrie moyenne de l'ensemble des stations échantillonnées en 1993



Carte 5-a : Pourcentage de la fraction fine (< 63 µm) , 23 septembre 1993



Carte 5-b : Pourcentage de la fraction fine (< 63 µm), 19 septembre 1995

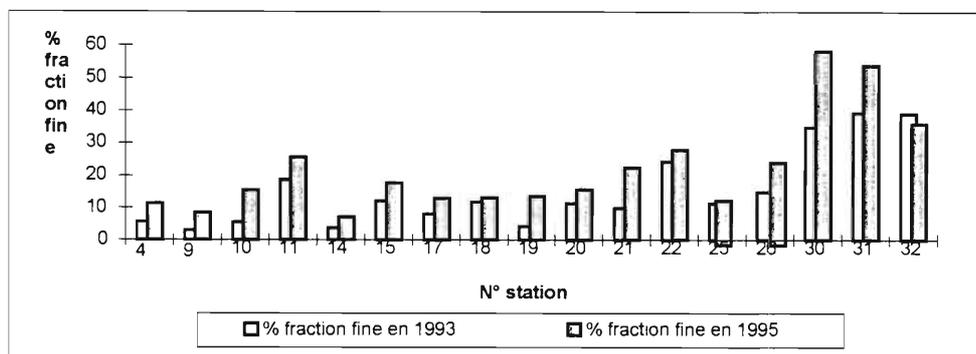


Figure 2 : Évolution du pourcentage de fraction fine (< 63 µm) du sédiment entre septembre 1993 et septembre 1995

Le sédiment du site de la ferme, échantillonné en 1993 et 1995, est un sable très fin, bien calibré et plus ou moins envasé.

En 1993 la moyenne des prélèvements montre un mode centré autour de 100 µm (figure 1). Dans la réalité, il existe un gradient d'affinement sur un axe nord-ouest à sud-est, *i.e.* de la proximité de la Grande Digue vers une zone de décantation due à un tourbillon hydrodynamique local, en accord avec la courantologie dominante. Le mode de la série passe ainsi de 160 µm à 100-63 µm, voire à 63 µm pour les stations les plus envasées (stations 31 et 32). Les prélèvements les plus au nord et à l'ouest du site montrent également une faible fraction grossière (10 % de fraction 2 500 µm aux stations 8 et 17) de débris coquilliers. La teneur du sédiment en vase ($\varnothing < 63 \mu\text{m}$) varie d'environ 5-10 % à plus de 35 % (max. 39 % aux stations 31 et 32) pour une moyenne de 15,7 %, toujours selon le gradient défini (figure 2). Une tache de moindre pourcentage apparaît à la partie ouest de la structure d'élevage, en relation avec une accélération du courant sous les cages (MERCERON & GAFFET, 1994).

La comparaison des valeurs de 1993 et 1995 révèle une augmentation moyenne du pourcentage de vase de près de 7 % en valeur (passant de 15,7 à 22,3 %), davantage pour certaines stations en bordure de la zone de décantation (station 26, 30 et 31). Mais la carte de répartition est sensiblement identique, ce qui suggère une variation d'ensemble de la dynamique sédimentaire entre les deux dates (cartes 5 a et b, figure 2), probablement liée à des antécédents hydro-météorologiques différents.

Une comparaison de ces deux années avec les valeurs de 1988-89 (INTECHMER, 1989) montre des différences bien plus importantes. En effet, le pourcentage moyen de fraction fine (vases fines inférieures à 40 µm) de la zone était voisin de 50 à cette date, contre 16 et 22, respectivement en 1993 et 1995 (pour la fraction inférieure à 63 µm). Il convient, certes, de tenir compte des variations méthodologiques (prélèvement à la benne en 1988-89 et au microcarottier en 1993-95, tamis de $\varnothing 40 \mu\text{m}$ en 1988-89 et 63 µm en 1993-95), mais celles-ci auraient plutôt dû jouer en faveur d'une réduction des fines observées dans l'état de référence antérieur. Il semble donc que la teneur en vase des sédiments superficiels de la Rade de Cherbourg soit susceptible de variations importantes, ce qui concorde avec diverses observations (INTECHMER, données non publiées). En l'absence d'analyses plus précises sur la fraction minérale (argiles par exemple), il est difficile d'en déterminer l'origine. Mais, vu la faiblesse des apports continentaux et l'éloignement de la zone de dépôt des dragages du port (Cap Lévi), les variations générales peuvent être liées à la dynamique marine.

b) Matière organique (MO) dans la vase (figure 3, carte 6)

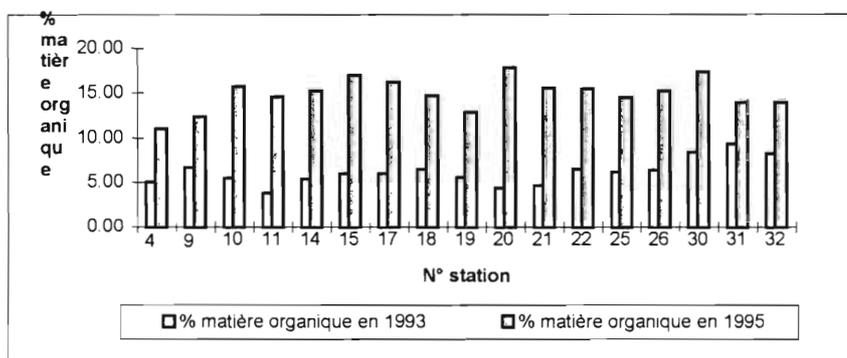
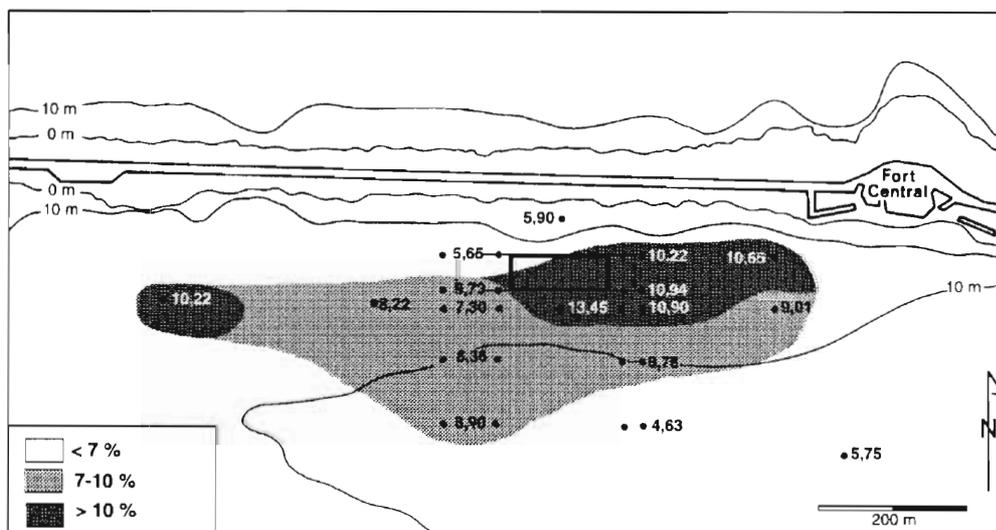


Figure 3 : Évolution du pourcentage de matière organique de la fraction fine (< 63 μm) du sédiment entre septembre 1993 et septembre 1995

Si l'envasement observé en 1995 est légèrement supérieur à celui de 1993, cette augmentation est nettement plus importante pour la teneur de la vase en matière organique (MO), dont la valeur moyenne a plus que doublé entre les deux dates (respectivement 6 et 15 %). De plus, tandis qu'en 1993 ces pourcentages étaient plus faibles le long de l'axe est-ouest passant par la pisciculture que ceux de la zone envasée au sud, en 1995, ils étaient parfois comparables voire supérieurs (station 20). Ceci laisserait penser que l'apport en vase le long de cet axe est-ouest est plus chargé en MO que ceux de la zone sud et que ceci est en relation avec les rejets de l'élevage. Cette augmentation relative du pourcentage de matière organique dans la vase est matérialisée sur la carte 6.



Carte 6 : Variations du pourcentage en matière organique dans la fraction fine < 63 μm entre 1993 et 1995

Par ailleurs, il existait, en 1993, une corrélation entre le pourcentage de vase du sédiment et le contenu de celle-ci en matière organique, ainsi qu'en carbone et azote ($0,69 < r < 0,79$). En 1995, cette corrélation était faible, voire inexistante ($0,06 < r < 0,48$). Ainsi, on peut supposer que la composition de la vase a également subi une variation temporelle.

Une comparaison concernant la matière organique est possible avec la Baie de Seine, au moins pour l'année 1993, où une campagne du Réseau National d'Observation de la Qualité du Milieu Marin (RNO) s'est déroulée sur

des fonds identiques (granulométrie semblable, en moyenne 15,3 % de fraction fine < 63 μm), à peu près à la même période (une quarantaine de stations, 5-9 septembre 1993 : BOUTIER, 1995). Ces valeurs de matière organique en Baie de Seine sont exprimées par rapport au sédiment total. Elles montrent une moyenne de 3,6 % de MO, avec des extrêmes de 1,5 à 14 % pour l'ensemble des stations (et une moyenne de 2,6 %, avec des extrêmes de 1,5 à 5,8 %, si l'on élimine les stations les plus envasées du fond de la Baie des Veys). Les résultats de Cherbourg ont été rapportés à la même base par calcul. Ils se situent dans un ordre de grandeur semblable et suivent l'augmentation générale de la fraction fine entre 1993 et 1995, en particulier dans les stations du sud-ouest de la zone, les plus envasées, à l'écart de la ferme. Les teneurs en matière organique recalculées par rapport au sédiment total sont ainsi de 1 % en moyenne, avec des extrêmes de 0,2 et 3,6 % en 1993, et de 3,3 % en moyenne, avec des extrêmes de 1 % et 10 % en 1995.

La comparaison avec d'autres piscicultures marines est par contre délicate, car les exemples bien connus se réfèrent à des sites plus profonds et de faible dynamique. Ainsi, KUPKA-HANSEN *et al.* (1991) ont étudié les effets sur le fond des déchets organiques de sept fermes piscicoles norvégiennes. Ces auteurs ont calculé le pourcentage du contenu organique des deux premiers centimètres du sédiment total après les avoir brûlés à 450°C pendant 24 heures. Les valeurs obtenues vont de 15 à 47 % (avec jusqu'à 35 cm d'accumulation de déchets au fond), tandis que les teneurs maximales correspondantes de la vase à Cherbourg (1995) sont comprises entre 11 et 17 %.

c) Carbone dans la fraction fine < 63 μm (figure 4, cartes 7 et 8)

Les différentes formes de carbone dans la vase du sédiment ont été analysées : carbone total (CT), carbone minéral (CM) et carbone organique (CO).

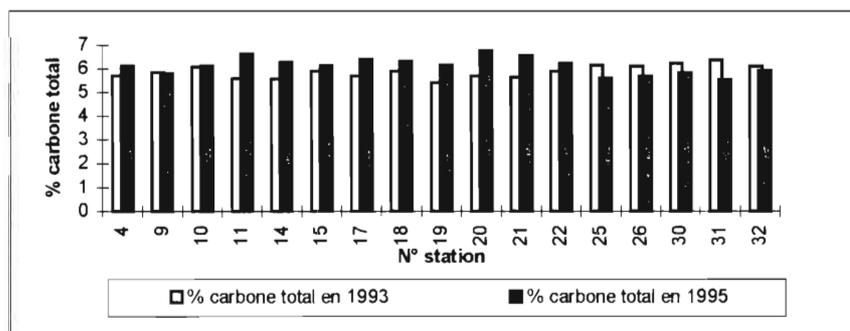


Figure 4-a : Le carbone total

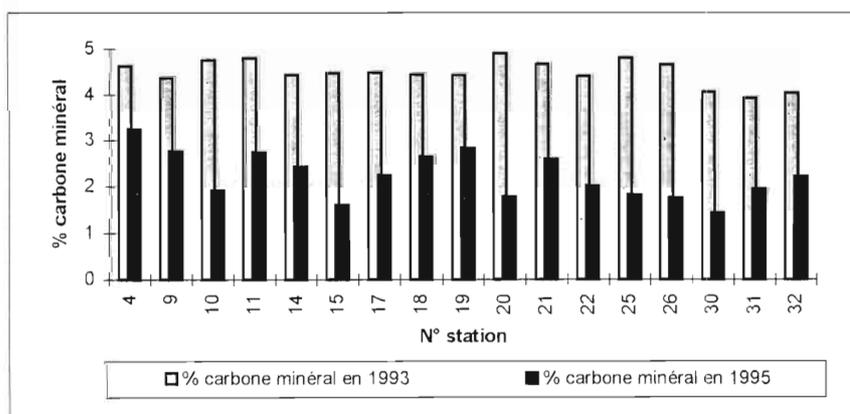


Figure 4-b : Le carbone minéral

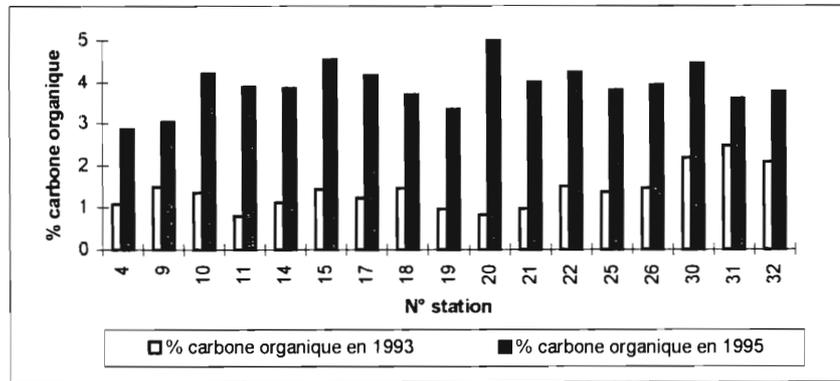
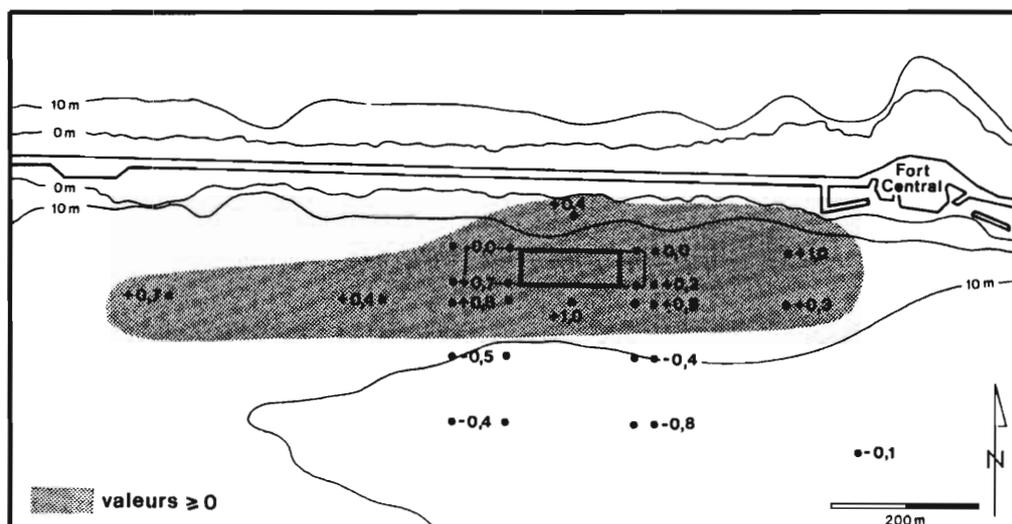


Figure 4-c : Le carbone organique
Figure 4 : Évolution du pourcentage de carbone de la fraction fine < 63 μm du sédiment entre septembre 1993 et septembre 1995

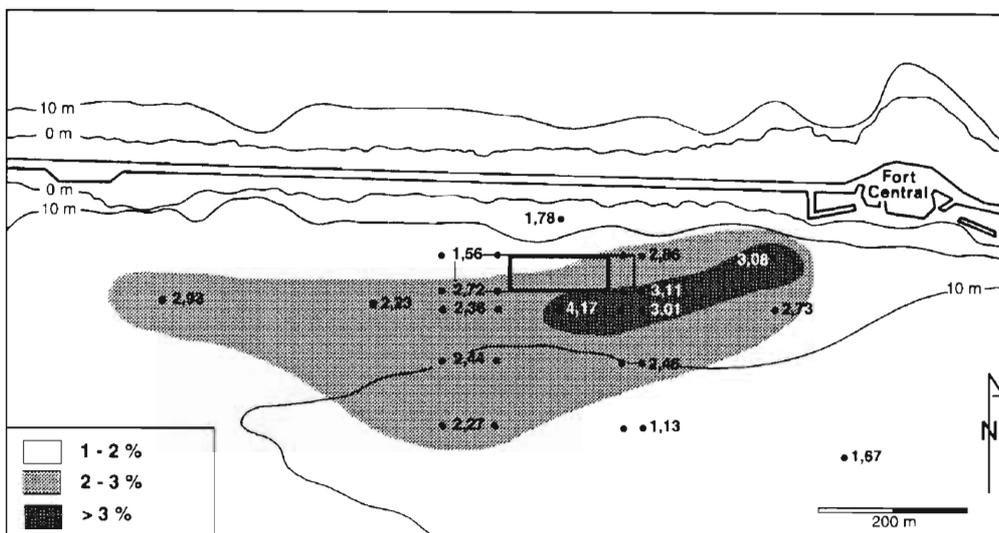
Les teneurs en carbone total (CT) sont relativement homogènes sur l'ensemble des stations et les deux séries de prélèvement en 1993 et 1995, avec des valeurs moyennes d'environ 6 %. Tout au plus peut on noter, entre les deux dates, une évolution faiblement positive le long d'un axe est-ouest passant par l'élevage, sans qu'un gradient existe selon la distance à la ferme, tandis que les stations situées au sud de la pisciculture (stations 25, 26, 30, 31 et 32) connaissent une baisse relative (carte 7).



Carte 7: Variations du pourcentage en carbone total dans la fraction < 63 μm entre 1993 et 1995

Pour ce qui concerne le carbone organique (CO), les résultats obtenus en 1988 par une méthode différente de celle utilisée ici (INTECHMER, 1989) sont difficile à comparer avec ceux de la présente étude. Ainsi, les teneurs de 1993, à proximité des cages, sont inférieures aux quelques chiffres de la zone en 1988, alors que les valeurs des stations plus éloignées sont quasi similaires.

En revanche, une modification de la composition du carbone total sur la période 1993-1995, entre les fractions minérale et organique, apparaît nettement : en moyenne, la part minérale baisse de 4 % à 2 %, alors que la part organique augmente de près de 2 % à 4 %. Sur l'ensemble des prélèvements, l'enrichissement relatif en carbone organique est plus prononcé sur l'axe est-ouest passant par l'élevage (carte 8).



Carte 8: Variations du pourcentage en carbone organique dans la fraction $< 63 \mu\text{m}$ entre 1993 et 1995

d) Azote dans la fraction fine $< 63 \mu\text{m}$ (figure 5, carte 9)

La teneur de la vase en azote total (NT) est globalement faible. Elle était en moyenne proche de 0,2 % en 1993, les valeurs les plus élevées étant associées aux stations les plus envasées, au sud-est du site (stations 30, 31 et 32). 1995 montre une augmentation (teneur moyenne proche de 0,3 %), comme dans le cas du carbone organique.

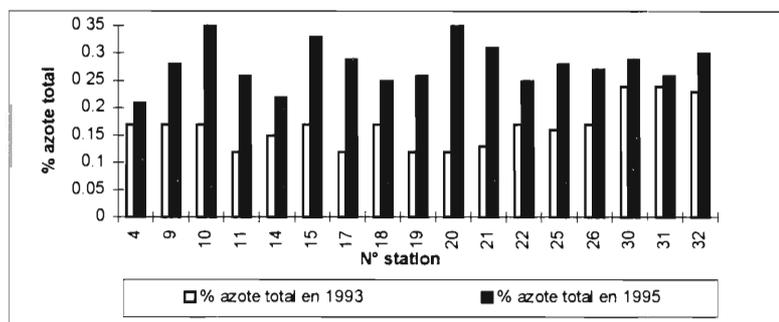
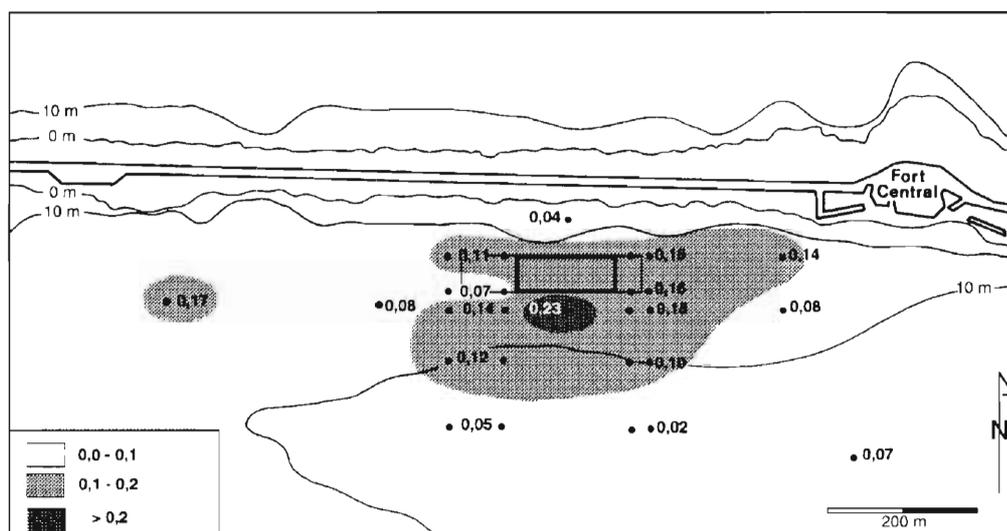


Figure 5 : Évolution du pourcentage d'azote total de la fraction fine $< 63 \mu\text{m}$ du sédiment entre septembre 1993 et septembre 1995



Carte 9: Variations du pourcentage en azote total de la fraction $< 63 \mu\text{m}$ entre 1993 et 1995

e) Métaux traces (Cu et Zn) dans la fraction fine < 63 µm
(tableau 4, figures 6-7, cartes 10-11)

Les métaux, en l'occurrence le cuivre (Cu) et le zinc (Zn), ajoutés comme oligo-éléments par les fabricants des aliments distribués aux poissons (tableau 4), se retrouvent dans les fèces, puis dans la fraction fine du sédiment.

Année d'utilisation	Aliment	[Zn] (µg/g sec)	[Cu] (µg/g sec)
1993	Granulé moyen	132	7,2
1993	Granulé petit	76	8,5
1995	3euroc80	176,2	4,8
1995	5euroc50	181,4	5,6

Tableau 4 : Teneurs des aliments en cuivre et zinc

Tant pour le cuivre que pour le zinc, les concentrations de métaux traces dans la vase sont faibles (environ moins de 10-20 µg/g ou ppm Cu et moins de 100-200 µg/g ou ppm Zn). Elles se situent dans la partie basse de la gamme de variation des teneurs normales du milieu naturel et de la zone (figure 6), d'après les indications des réseaux de surveillance (RNO 1981). Dans les deux cas, les valeurs diminuent entre 1993 et 1995, passant en moyenne, respectivement, de 12 à 10,5 ppm Cu et 122 à 81 ppm Zn (figure 7), comme s'il s'agissait d'une dilution des métaux dans une augmentation générale de la fraction fine. Cette baisse est plus significative pour le zinc que pour le cuivre, dont certains chiffres individuels augmentent légèrement sur quelques stations. Dans les deux cas également, et pour les deux années, les valeurs du voisinage immédiat de la ferme sont supérieures à celles du reste du site, constituant ainsi une trace de l'élevage (cartes 10 et 11).

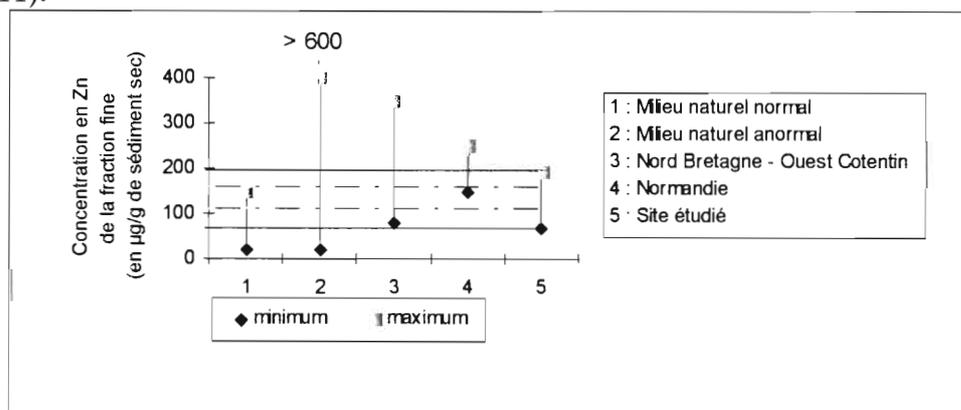


Figure 6-a : le zinc

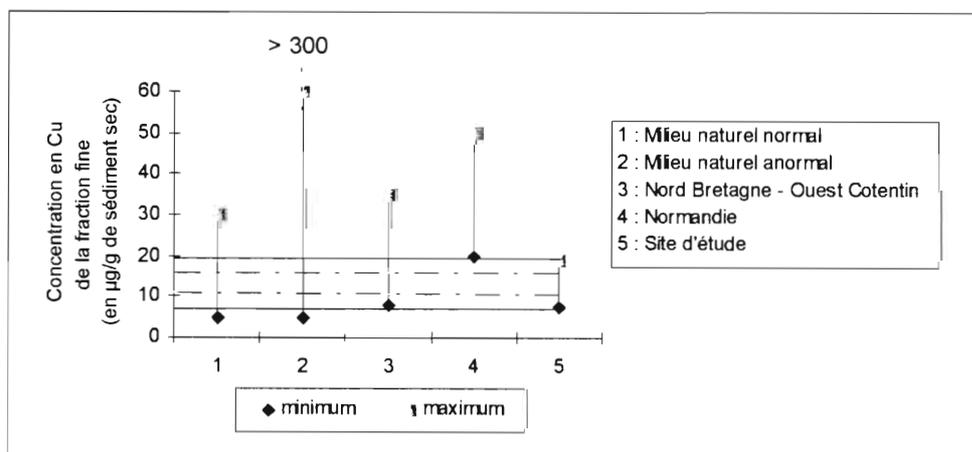


Figure 6-b : le cuivre

Figure 6 : Comparaison des concentrations en métaux dans la fraction fine < 63 µm du site étudié et de divers milieux (d'après RNO, 1981)

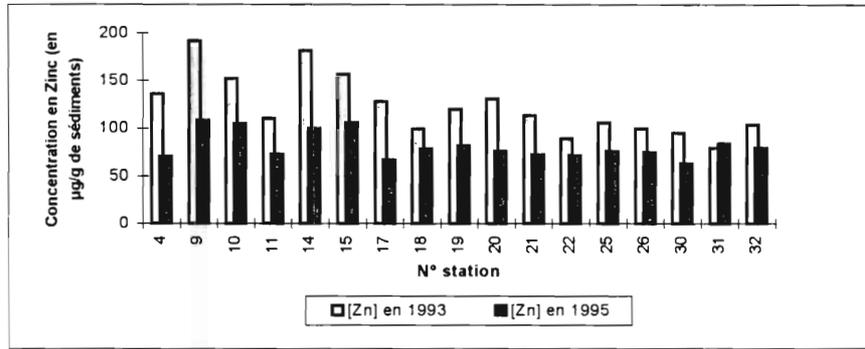


Figure 7-a : le zinc

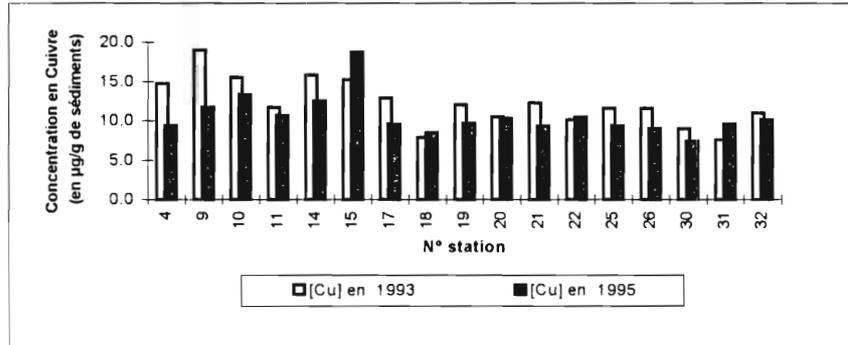
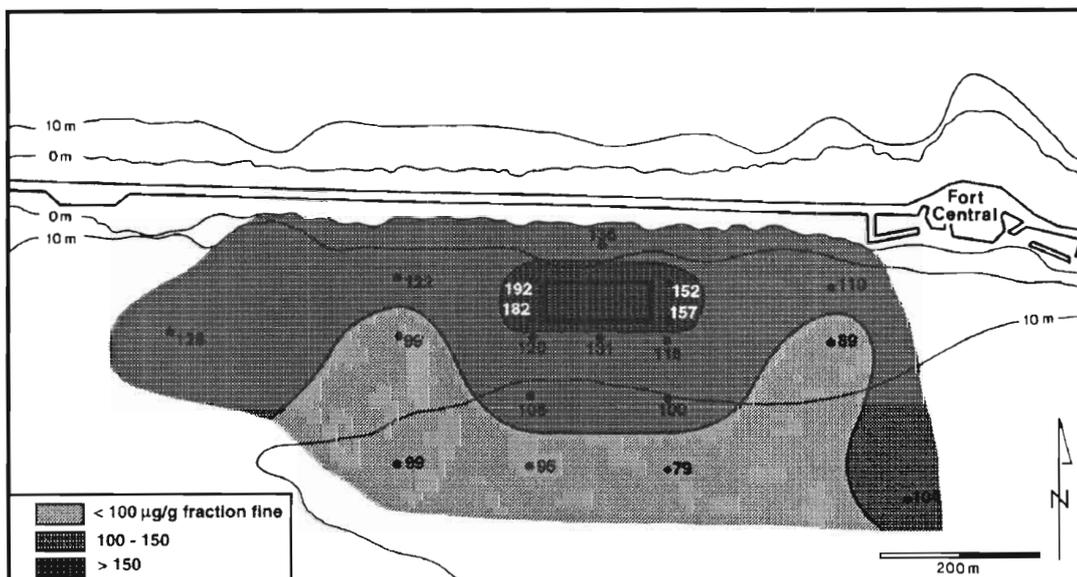


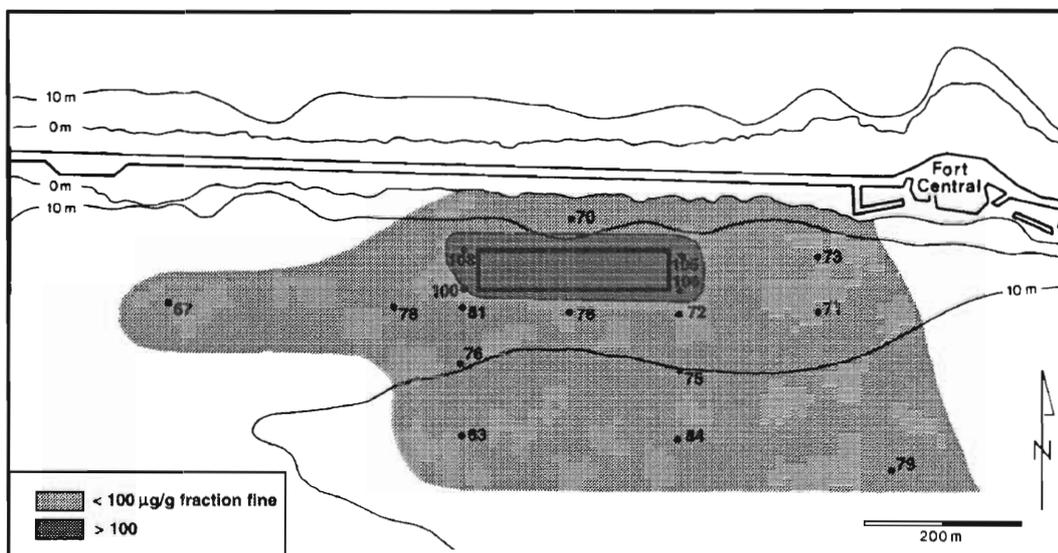
Figure 7-b : le cuivre

Figure 7 : Évolution de la concentration en métaux traces dans la fraction fine < 63 µm entre septembre 1993 et septembre 1995

Une comparaison est possible avec des mesures similaires effectuées en Finlande, dans une baie très fermée (UOTILA, 1991). Les teneurs du sédiment total de site sont de 20 à 30 ppm pour le cuivre et de 100 ppm pour le zinc. Sous l'élevage observé et à sa proximité immédiate, par 10 m de profondeur, elles sont respectivement de 100 à 320 ppm pour le cuivre et de 300 à 500 ppm pour le zinc (dont la teneur de l'aliment distribué est de 134 ppm). La « marque » de la pisciculture est donc, ici, beaucoup plus forte. De plus, l'auteur attribue les concentrations élevées en cuivre à la peinture anti-salissure utilisée sur le radeau.

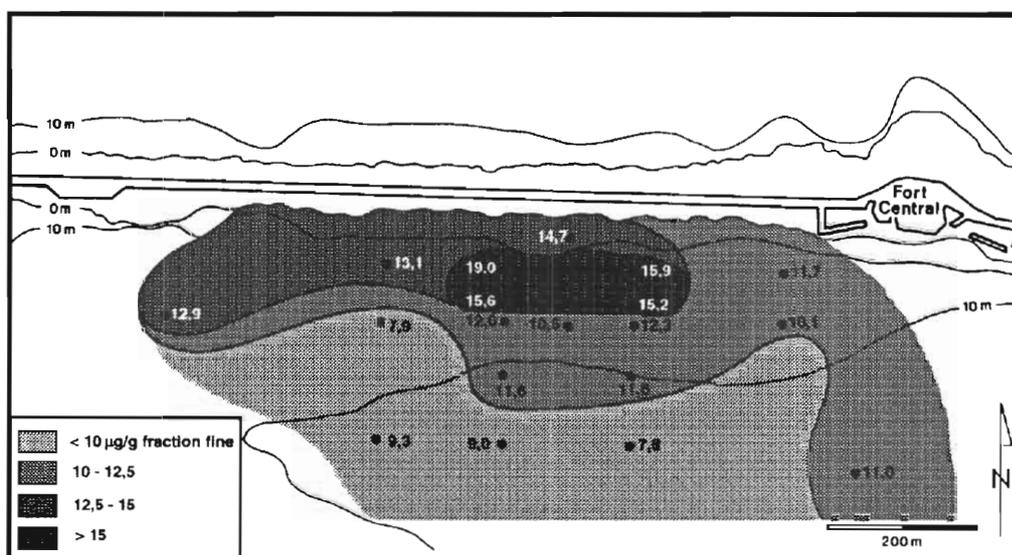


Carte 10-a : septembre 1993

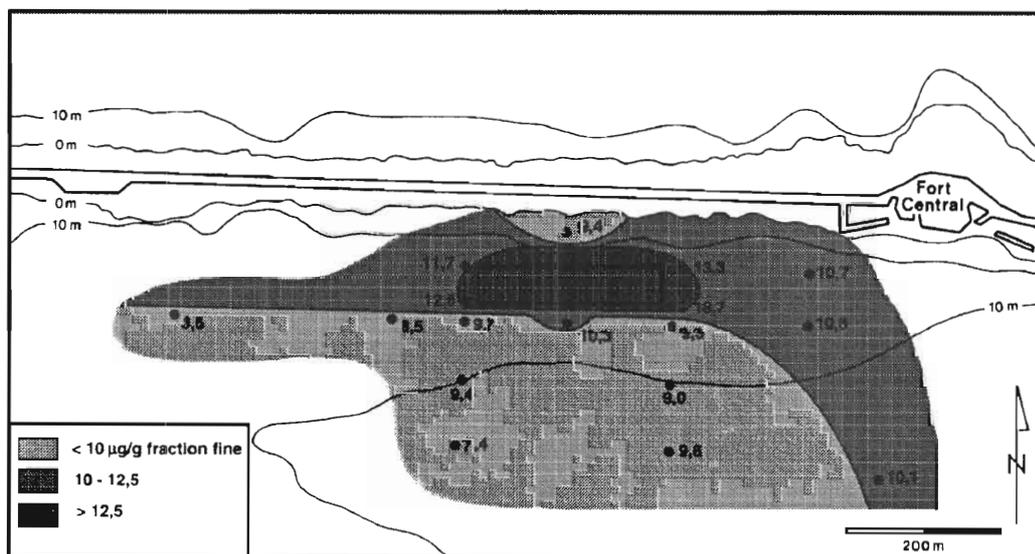


Carte 10-b : septembre 1995

Cartes 10 : Concentrations en zinc dans la fraction fine (< 63 μm) du sédiment



Carte 11-a : septembre 1993



Carte 11-b : septembre 1995

Cartes 11 : Concentrations en cuivre dans la fraction fine (< 63 μm) du sédiment

2.2.1.4 CONCLUSION

L'analyse des sédiments ne signale aucune valeur anormale. En revanche, l'évolution des différents paramètres observée entre 1993 et 1995 montre, à la fois, (1) des indications d'une variation générale de la dynamique sédimentaire, qui interfère avec les résultats du suivi de la ferme, et (2) l'empreinte de l'élevage, dont la production monte en puissance dans l'intervalle :

- (1) * augmentation de l'envasement (fraction fine < 63 µm),
 - * constance dans la répartition spatiale de cette fraction fine,
 - * constance dans la teneur de cette fraction en carbone total,
 - * diminution de la teneur de cette fraction en métaux traces de l'élevage (Cu et Zn incorporés aux rations comme oligo-éléments) ;
- (2) * augmentation de la teneur de la fraction fine en matière organique, en carbone organique et en azote, et diminution en carbone minéral,
 - * répartition spatiale des augmentations constatées, ainsi que des traceurs spécifiques (métaux Cu et Zn), selon un axe est-ouest centré sur la ferme.

2.2.2 RESPIROMETRIE DU FOND

2.2.2.1 METHODE

La consommation d'oxygène a été mesurée les 20 et 21 septembre 1993 grâce à un petit respiromètre portable comportant :

- une cloche sombre avec agitation asservie (volume liquide = 10 l, surface sédimentaire emprisonnée = 0,0452 m²) ;
- un oxymètre Orbisphère couplé à un enregistreur Rustrack.

Les coefficients de marée allaient de 95 à 70. Le fond était composé de sable avec de nombreux débris coquilliers. La température de l'eau était de 16,5°C, la salinité de 34 ‰. La mer était calme à peu agitée. Mais il y avait eu une tempête durant la décade précédente (vent ≥ 50 noeuds durant la nuit du 12-13 septembre).

Deux stations ont été suivies, après un choix sommaire opéré sur place par le plongeur chargé de la mise en oeuvre du dispositif :

- station A : au droit du pignon ouest du radeau d'élevage, sur un fond normal, pendant 5 h 20 mn ;
- station B : à environ 70 mètres à l'ouest de la station A, sur une tache localisée de dépôts organiques peu ou pas oxydés (sédiment noir), pendant 19 h 45 min.

Pour le calcul de la consommation d'oxygène (R) du fond, seul le début (en pente constante) des enregistrements est utilisé.

$$R = (x_1 - x_0) \times V/S/t$$

- avec
- R : consommation d'oxygène du fond (mg O₂.m⁻².h⁻¹) ;
 - x₁ : teneur O₂ en fin de période exploitée (mg .l⁻¹) ;
 - x₀ : teneur O₂ en début de période exploitée (mg .l⁻¹) ;
 - V : volume d'eau emprisonné (V = 10 l) ;
 - S : surface du fond emprisonnée (S = 0,0452 m²) ;
 - t : durée de la période exploitée (heures, décimales).

2.2.2.2 RESULTATS ET COMMENTAIRES

En A : $R = (8,2 - 6,8) \times 10 / 0,0452 / 4,5 = 68,8 \text{ mg O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ soit 48,2 ml $\text{O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$

En B : $R = (8,8 - 6,7) \times 10 / 0,0452 / 2,17 = 214,1 \text{ mg O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ soit 149,8 ml $\text{O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$

Les consommations d'oxygène ainsi mesurées recouvrent la respiration des animaux et végétaux, de même que les demandes chimique et biologique des sédiments superficiels. La valeur nettement plus forte, relevée en B par rapport à la station A, semble traduire la demande en oxygène du fond près des obstacles où se rassemblent temporairement les fèces et autres matières organiques issues de l'élevage ; d'après les observations faites en plongée et par vidéo sous-marine, de tels points existent, mais ils sont très localisés (vidéo du 20/01/93 § 2.4.2.1). Des mesures de ce type, effectuées au Canada sous les cages d'un élevage de saumon (HARGRAVE *et al.*, 1993), sont comparables à celles de la présente étude. KUPKA-HANSEN *et al.* (1991), qui ont suivi sept fermes norvégiennes avec des taux d'accumulation de plusieurs centimètres à plusieurs décimètres sous les cages, ont mesuré des consommations d'oxygène de l'ordre de 90 à 360 $\text{mg O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$.

2.3 MACROBENTHOS

2.3.1 ACQUIS ANTERIEURS

En 1988, deux campagnes de prélèvements à la benne Smith-Mc Intyre ou à la benne Van Veen ont été réalisées afin d'échantillonner la faune endogée de la rade (80 prélèvements ; INTECHMER, 1989). Trois faciès ont été mis en évidence pour l'ensemble de la rade en fonction de la dominance des espèces ou des groupes :

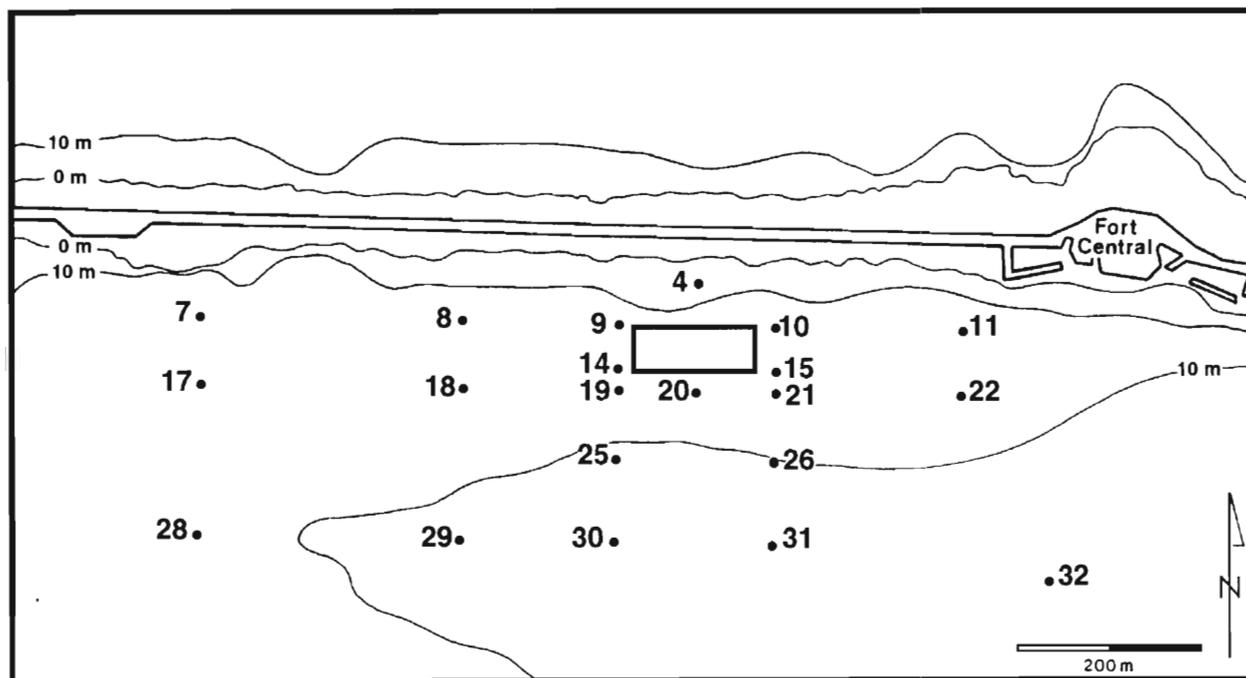
- annélides tubicoles;
- *Nucula sp.* ;
- *Lanice conchilega*.

La zone de la présente étude correspond au premier de ces faciès, qui est caractérisé par la prédominance numérique des annélides tubicoles (Sabelles et espèces non déterminées). Ces vers ont une densité de 800 ± 500 tubes au m^2 et représentent de 40 à 85 % des espèces présentes. Trois autres invertébrés leur sont régulièrement associés :

- *Nephtys sp* (ver polychète errant)., de 1 à 15 %, et 0 à 170 individus/ m^2 .
- *Nucula sp* (mollusque bivalve), de 0 à 15%, et 0 à 500 individus/ m^2 .
- *Pandora sp.*(mollusque bivalve), de 0 à 35%, et 0 à 250 individus/ m^2 .

2.3.2 METHODE

La campagne de benthos (21 stations, carte 12) s'est déroulée dans le même temps que les prélèvements de sédiment, le 23 septembre 1993 (voir § 2.2.1.2 Prélèvements).



Carte 12 : Localisation des stations de prélèvements de la faune benthique

Les prélèvements de benthos (sédiment + organismes) ont été effectués à la benne HAMON (surface de $0,25 m^2$), puis tamisés sur deux mailles de 5 et 1 mm pour la séparation de la macrofaune. Celle-ci a ensuite fait l'objet d'une analyse en laboratoire, comportant un tri par groupes zoologiques et espèces, leur

comptage et pesée, ainsi qu'un traitement de ces données. Ceci permet d'obtenir, pour chaque station :

- la liste des espèces ;
- le nombre d'individus et la biomasse/m²/espèce, ainsi que le pourcentage des principaux groupes zoologiques pour chacune de ces valeurs ;
- le nombre total d'espèces (ou richesse spécifique, S) et d'individus (ou abondance, A) par m² et la biomasse totale (B) par m², exprimée en poids sec décalcifié ;
- les indices de diversité (indice de Shannon, H) et d'équitabilité (E), obtenus par calcul selon les formules suivantes (FRONTIER ET PICHOD-VIALE, 1991) :

- diversité : $H = -\sum_{i=1}^n p_i \times \log_2 p_i$ (indice de Shannon)

- équitabilité : $E = H/\log_2 N$

avec : $p_i = n_i/N$;

n_i : nombre d'individus de l'espèce i ;

N : nombre total d'individus dans le prélèvement.

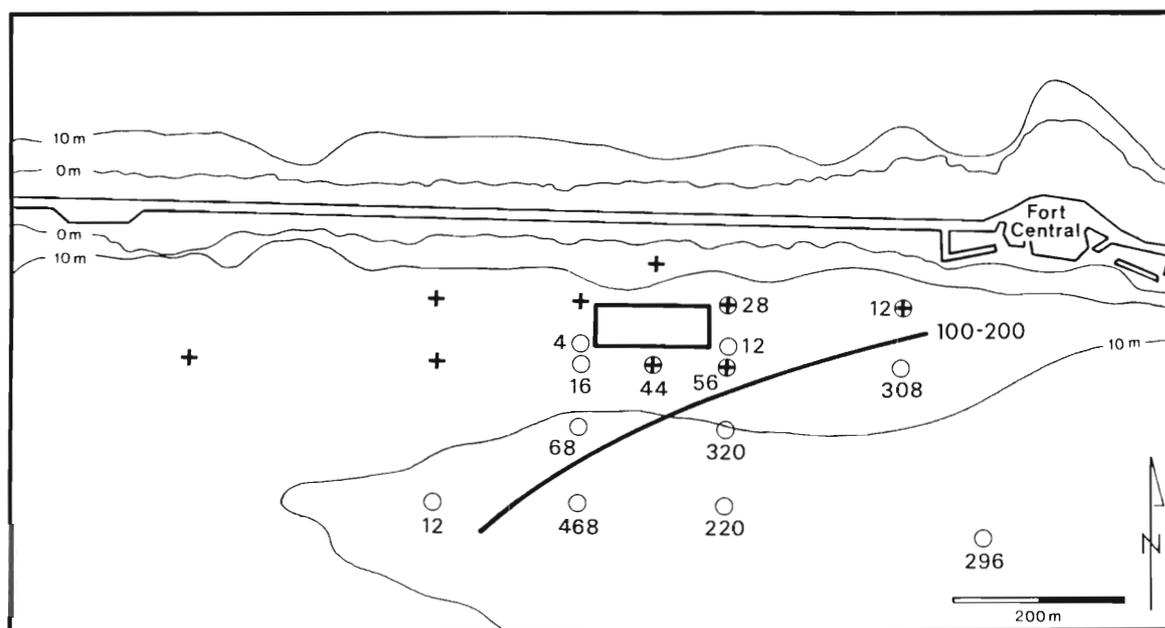
2.3.3 RESULTATS ET COMMENTAIRES

2.3.3.1 PEUPLEMENT BENTHIQUE (carte 13, figure 8)

La faune observée sur le site d'étude appartient au peuplement des "sables fins côtiers plus ou moins envasés". Celui-ci est présent en Manche à la partie supérieure de l'étage infralittoral (10-15 m) et caractérisé par des espèces telles que les petits mollusques bivalves *Abra alba* et *Corbula gibba*, ou le petit ver polychète sédentaire *Melinna palmata* dont l'abondance est fonction du degré d'envasement. Le nombre d'espèces trouvées (34 au total) est cependant peu important comparé à la richesse spécifique de ce peuplement dans les eaux côtières de la Manche.

La répartition spatiale des espèces reflète, à la fois, l'influence des caractéristiques granulométriques du sédiment et une légère attirance pour la ferme de quelques animaux mobiles susceptibles de profiter directement ou indirectement de l'apport nutritif de l'élevage. Dans le premier cas, l'effet de la granulométrie est matérialisé par la répartition respective de *Melinna palmata*, petit polychète sédentaire, dépositif superficiel, particulièrement abondant dans les stations les plus envasées, et, à l'inverse, de *Branchiomma vesiculosum*, grand polychète tubicole filtreur, limité aux stations les moins envasées (carte 13 et figure 8). Dans le deuxième cas, l'attraction par le nourriture s'exerce sur le gastéropode détritivore et nécrophage *Nassarius reticulatus*, le polychète carnivore *Nephtys hombergii*, les pagures et les dragonnets (vus à la vidéo). Mais la plupart des espèces ne montrent pas de préférence particulière. La présence d'espèces de grande taille, dont certaines d'intérêt commercial, encore confortée par l'examen vidéo (voir plus loin), est à noter (palourde rose *Venerupis rhomboides*, coquille *Ensis ensis*, coquille St-Jacques, crustacé fouisseur *Upogebia deltaura*, araignée). Aucune prolifération d'espèce opportuniste ou indicatrice de pollution organique n'est relevée. Le polychète tubicole *Capitella capitata*, qui joue habituellement ce rôle, est bien présent sur le site mais en trop faible densité pour une espèce de très petite taille, capable d'explosions importantes dès que les conditions lui sont favorables.

La comparaison des résultats acquis en 1993 avec ceux de 1988 (INTECHMER, 1989) révèle la disparition, sans explication apparente, du bivalve *Pandora sp.*, qui était une espèce importante dans les premiers prélèvements.



Carte 13 : Répartition de *Melinna palmata* (O et nombre d'individus/m²) et *Branchiomma vesiculosum* (+ présence seule)

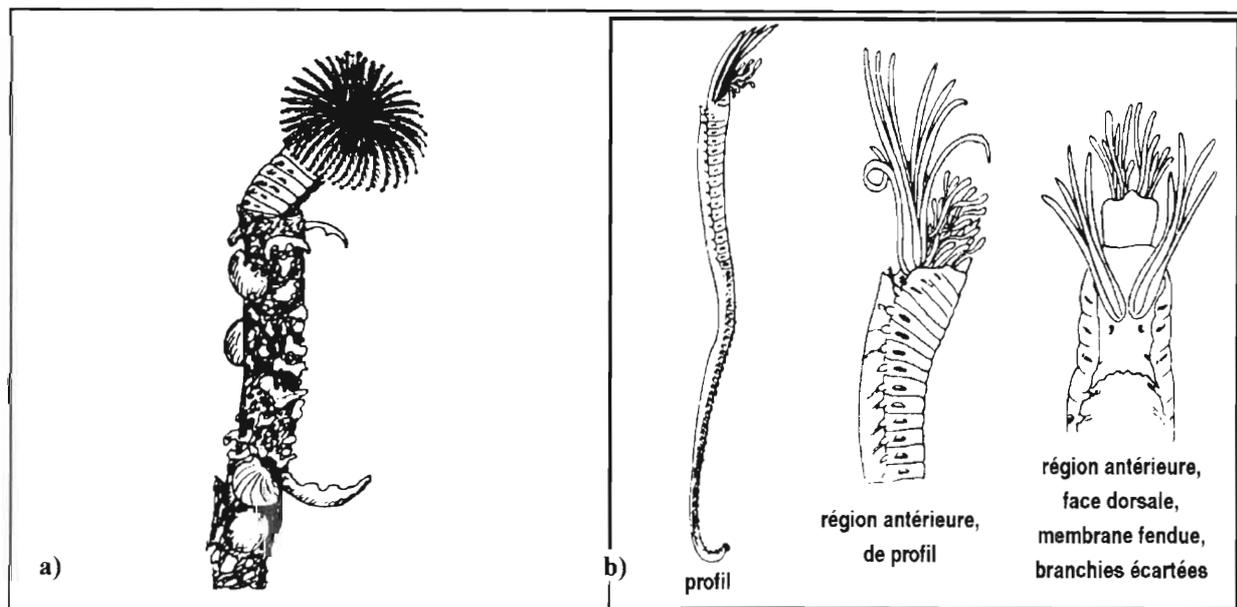


Figure 8 : a) *Branchiomma vesiculosum* (L 100-150 mm, Ø 6-10 mm) et b) *Melinna palmata* (L 15-30 mm, Ø 2-3 mm)

2.3.3.2 PRINCIPAUX PARAMETRES DU PEUPEMENT (figures 9-11, cartes 14-18, tab. 5)

Les résultats obtenus pour les différents paramètres sont présentés sous forme d'histogrammes des valeurs pour toutes les stations de prélèvements (figure 9) et leur répartition spatiale est cartographiée (cartes 14 à 18). Par ailleurs, le pourcentage représenté par les principaux groupes zoologiques dans le nombre d'individus collectés et dans la biomasse est évalué pour chaque station (figure 10) et pour l'ensemble des prélèvements (figure 11).

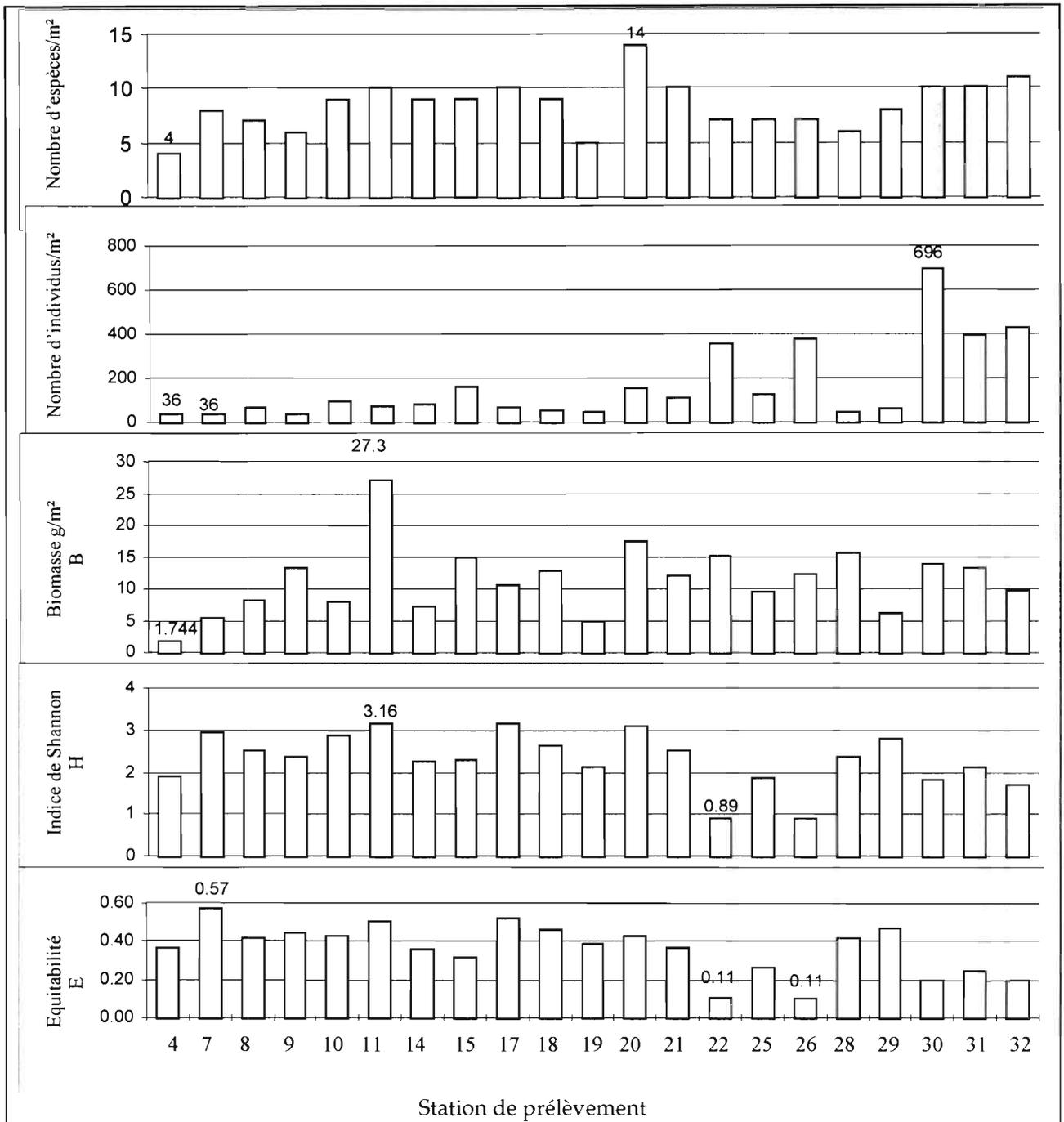


Figure 9 : S, A, B, H et E par station

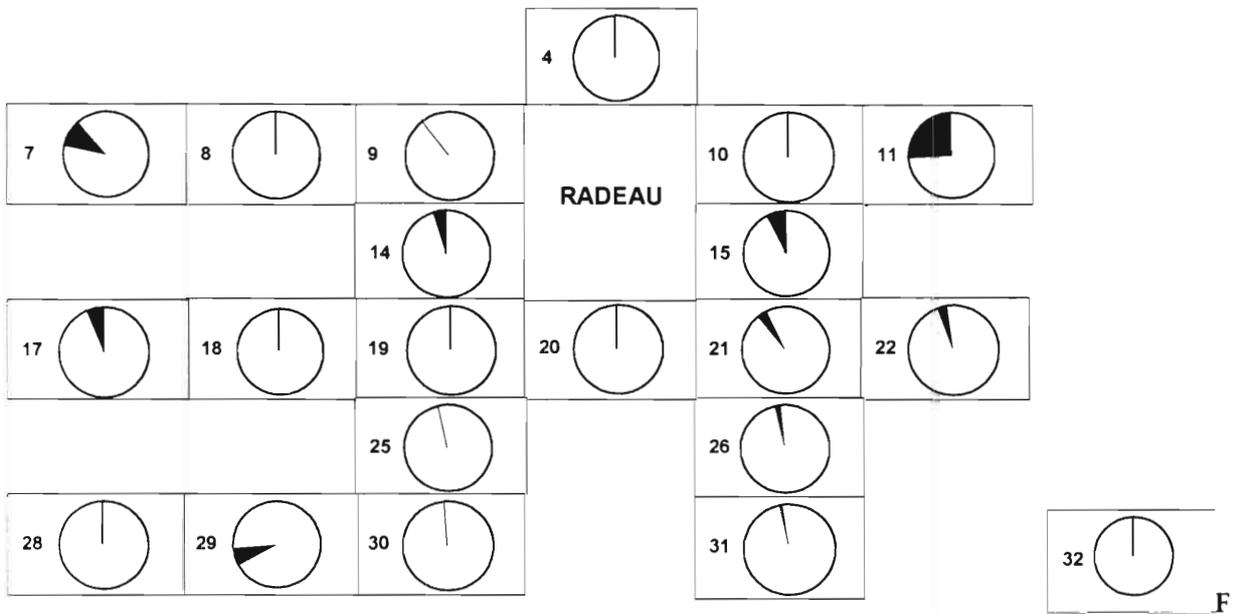


figure 10-a : Nombre d'individus

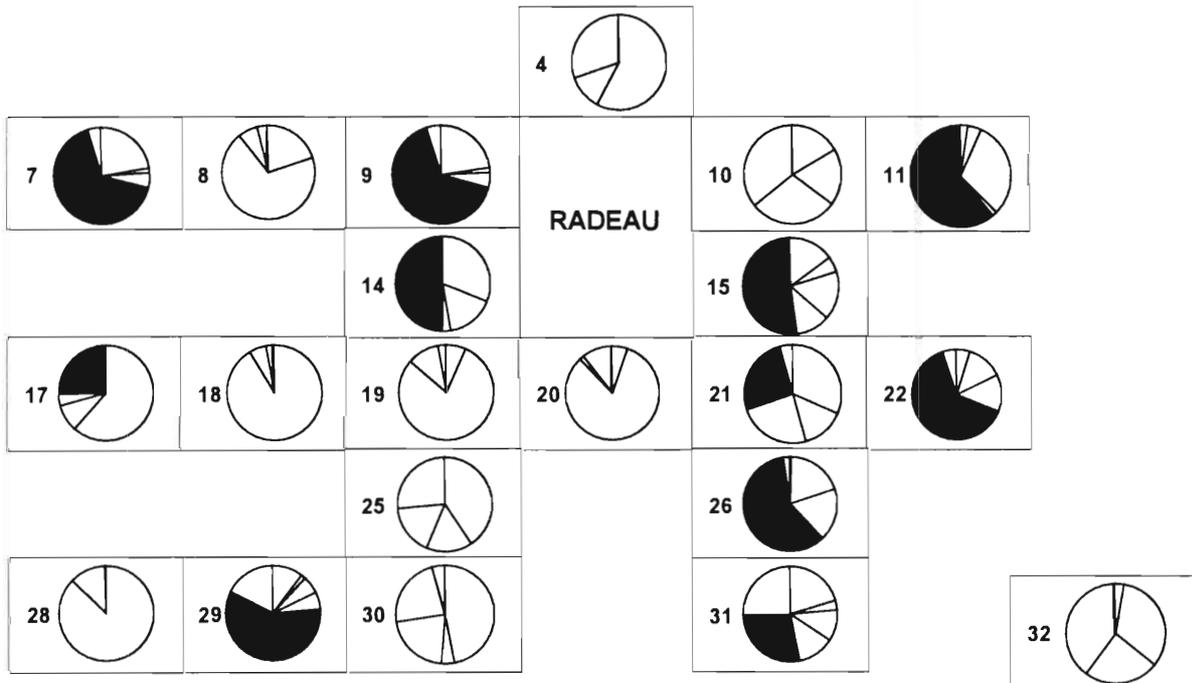


Figure 10-b : Biomasse

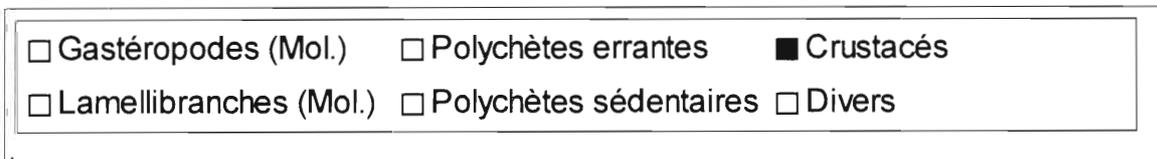


Figure 10 : Nombre d'individus et biomasse par groupe d'espèces (%) et par station¹
(Détail sur annexe 2 : nombre d'individus et biomasse)

¹ disposition des cercles selon le positionnement des stations par rapport à l'élevage, mais sans respect d'échelle spatiale

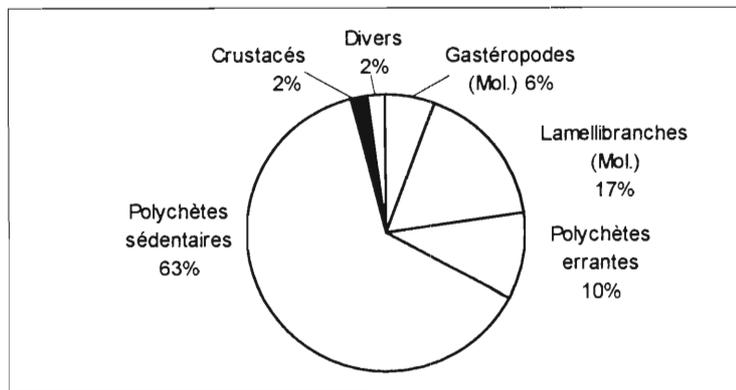


Figure 11-a : Nombre d'individus

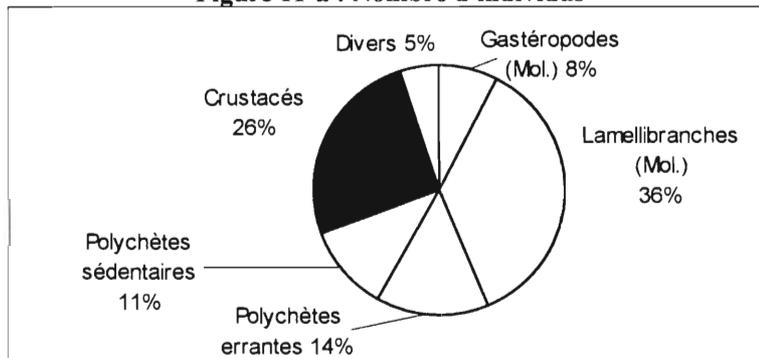
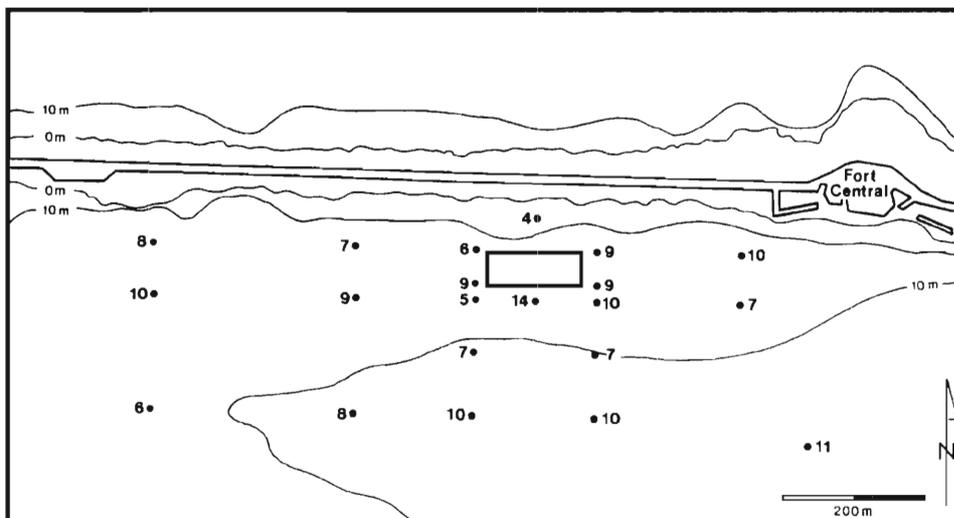
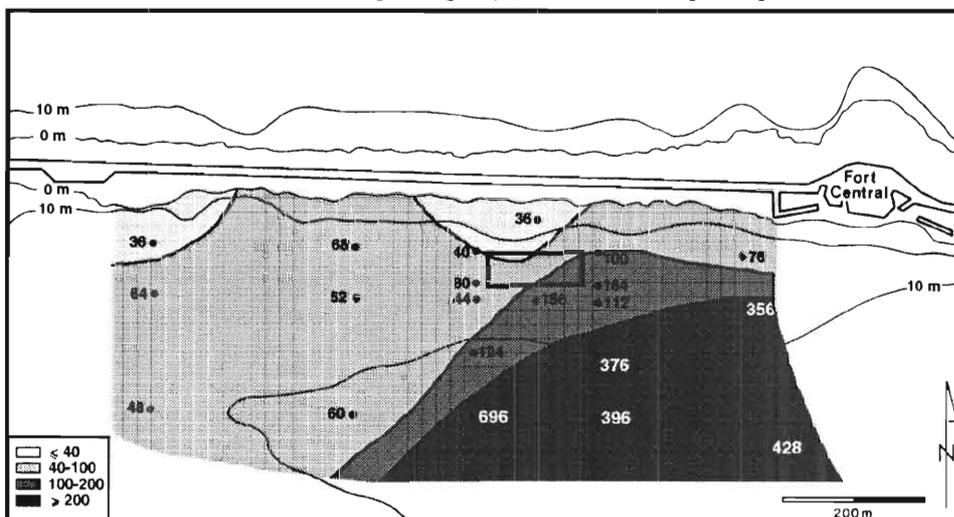


Figure 11-b : Biomasse

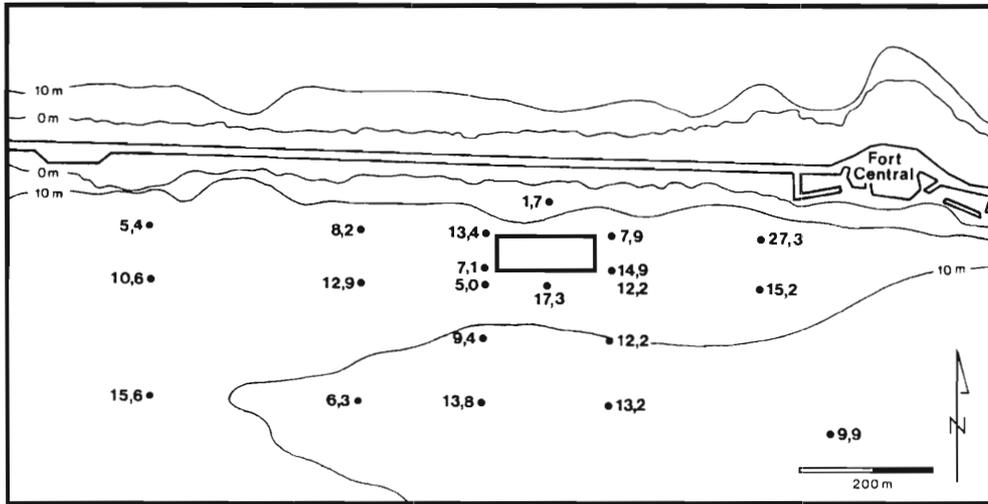
Figure 11 : Nombre d'individus et biomasse par groupe d'espèces (%) pour l'ensemble des stations



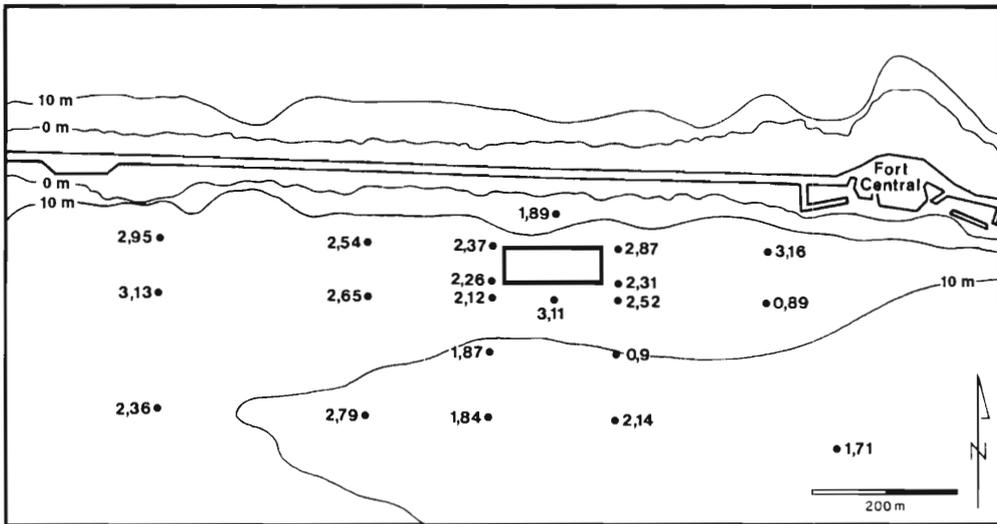
Carte 14 : Richesse spécifique (S) : nombre d'espèces par m²



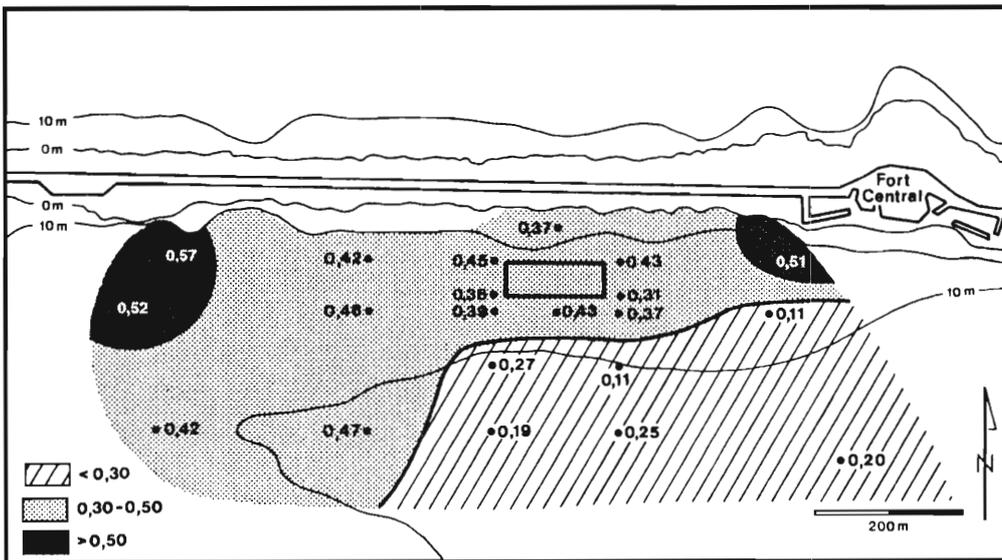
Carte 15 : Abondance (A) : nombre d'individus par m²



Carte 16 : Biomasse (B) en g par m²



Carte 17 : Indice de diversité de Shannon (H)



Carte 18 : Équitabilité (E)

2.4 SURVEILLANCE VIDÉO

2.4.1 METHODE

La vidéo sous-marine est un outil d'observation qui permet d'obtenir rapidement une première appréciation de la nature et de la qualité du fond et d'orienter les recherches complémentaires. Grâce aux enregistrements, des comparaisons dans le temps sont également possibles. Lors de cette étude, diverses méthodes de prises de vues ont été expérimentées afin de pouvoir choisir, ultérieurement, celle qui sera la plus appropriée au suivi d'une pisciculture. Bien qu'elle apporte des éléments intéressants, l'hétérogénéité des premières images qui en résulte a compliqué l'interprétation et la comparaison temporelle.

Quatre campagnes ont ainsi été réalisées :

- 20 janvier 1993 (coefficients de marée 54 et 58), par plongeurs : 3 radiales (du radeau vers l'ouest, l'est et le sud) filmées en continu (tableau 6) ;
- 12 mai 1993 (coefficients de marée 54 et 49), par caméra télécommandée fixée sur une troïka : 3 radiales (carte 19 et tableau 7) filmées avec un total de 42 stations ;
- 19 août 1994 (coefficients de marée 73 et 79), par caméra télécommandée fixée sur cloche avec un moteur d'orientation sur deux plans permettant une vision circulaire à chaque point : 17 stations (carte 20 et tableau 8) ;
- 18 septembre 1995 (coefficient de marée 30), par caméra télécommandée fixée sur cloche (idem) : 15 stations (carte 21 et tableau 9).

Faune et Flore :					
<i>Beggiatoa</i> sp.: colonies bactériennes formant des filaments ou des taches blanchâtres.					
Actinies : Bru (brunes) ; Bla (blanches).					
Mollusques : Csj (coquille St Jacques) ; Cré (crépidule).					
Crustacés : Ara (araignée) ; Dor (dormeur) ; Etr (étrille) ; Pa (Pagure ou Bernard-l'hermite) ; CrX (non identifié).					
Poissons : Dra (dragonnets) ; PoX (non identifié).					
Petits trous : trous de polychètes avec ou sans tube.					
Grands trous : trous de crustacés (<i>Upogebia</i> sp.).					
Fond : S (sableux) ; V (vaseux) ; C (colmaté).					
? : incertitudes sur la présence ou l'absence de l'élément en question dues à des problèmes d'identification et/ou de prises de vues.					
NB : Pour la plupart des éléments, seule la distinction absence/présence a été effectuée. Le découpage absence/présence /présence importante n'est valable que pour les algues (essentiellement en dérive), les trous (petits et grands) et les débris coquilliers.					
	Absence		Présence		Présence importante

Figure 12 : Légende et remarques de la grille utilisée pour les observations en vidéo sous-marine

Les éléments macroscopiques caractéristiques de la faune, de la flore et de la nature du substrat des stations échantillonnées sont représentés sur une grille (figure 12).

Ces paramètres ne sont pas une mesure directe de la qualité du milieu, mais leur évolution spatio-temporelle est une indication rapidement disponible permettant, si nécessaire, d'orienter les recherches complémentaires. Ainsi, l'accumulation de matière organique et son impact sur le fond marin peuvent se visualiser directement ou par le biais d'indicateurs simples comme les *Beggiatoa* ; il s'agit d'une bactérie filamenteuse dont les colonies forment des taches blanchâtres en surface, là où le sédiment superficiel est anoxique et au contact d'une eau normalement oxygénée. Ces taches constituent donc un signe visible d'enrichissement organique. On sait également que cet excès organique induit un changement dans la faune benthique, tel qu'un remplacement des mollusques par des polychètes et l'apparition d'espèces opportunistes et proliférantes (LE BRIS, 1983 ; TSUTSUMI, 1995). Cette méthode semi-quantitative, souffre de plusieurs limites qui sont, entre autres, la subjectivité de l'analyse des images, l'hétérogénéité des prises de vue et leur qualité (la clarté de l'eau y joue un rôle important), la valeur en tant qu'indice de comparaison de certains éléments pris en compte.

2.4.2 RESULTATS

2.4.2.1 20/01/93

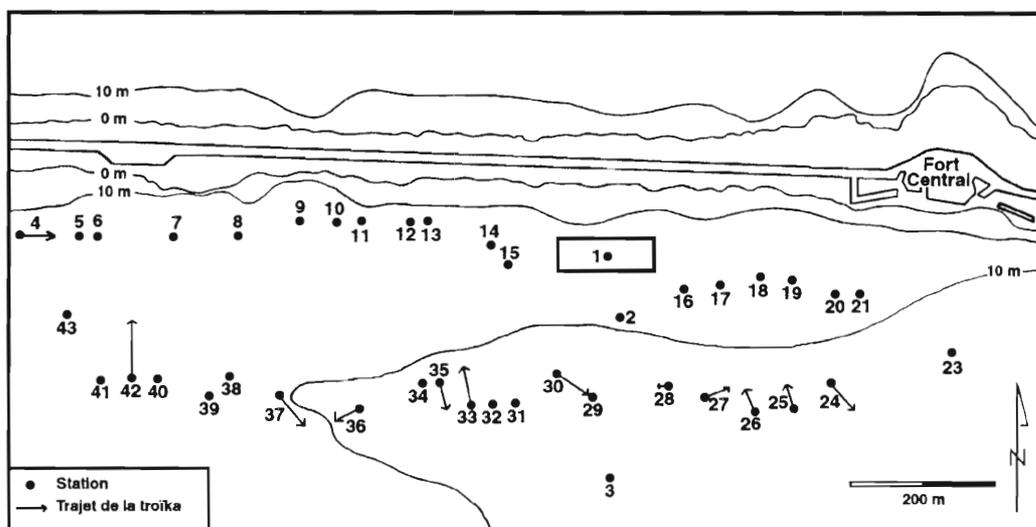
Pour cette campagne, les observations sont uniquement exprimées qualitativement dans la grille de résultats. En effet, la taille des secteurs explorés par plongeur est très variable.

Le substrat est plat, sablo-vaseux, clair, oxydé en surface avec de très nombreux débris coquilliers (spisules, amandes, etc.). Des fèces cylindriques isolées, souvent grosses, de couleur jaune brune et d'apparence fraîche sont libres sur le fond et réparties à peu près uniformément. Elles ne s'accumulent pas, si ce n'est ponctuellement en fonction du microrelief et du courant (petites dépressions, obstacles). Leur apparence est celle d'éléments non fixés. Elles sont encore abondantes à 100 m à l'ouest, à 25 m et plus au sud et à l'est. Les algues sont absentes de ce type de fond, sauf débris dérivants. La faune macroscopique la plus visible est constituée d'actinies en petite quantité, de coquilles St-Jacques (dont la valve inférieure est noircie au contact du sédiment), de nombreux individus d'espèces mobiles comme les pagures et les poissons dragonnets *Callionymus lyra*. Sans que l'on puisse l'expliquer, de très nombreux bernard-l'hermite sont présents sur la radiale sud. Aucune trace de *Beggiatoa* n'est observée. Il n'y a pas de différence apparente entre le fond situé sous le radeau et celui des radiales.

		Radiales			
		radeau	est	sud	ouest
Faune et Flore	<i>Beggiatoa sp</i>				
	Algues			X	
	Actinies	Bla	Bla	Bla	Bla
	Mollusques	Csj	Csj	Csj	Csj
	Crustacés	Pa	Pa	Pa	Pa
		Dor	CrX		CrX
		CrX			
	Poissons	Dra	Dra		
		PoX			
	Grands trous				
	Petits trous				
	Débris coquilliers				
Apports pisciculture	Fèces				
	Granulés			?	
Fond		SV	SV	SV	SV
		C	C		C

Tableau 6 : Grille des observations de la campagne vidéo du 20/01/93 (par plongeurs)

2.4.2.2 12/05/93



Carte 19 : Localisation des stations de la campagne vidéo du 12/05/93 (observations ponctuelles et traits de troïka)

		STATIONS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Faune et Flore	<i>Beggiatoa sp.</i>						?	?			
	Algues										
	Actinies		Bla		Bru	Bru	Bru	Bru	Bru		Bru
	Mollusques										Cré
	Crustacés		Ara		Pa						Ara
	Poissons				Dra						
	Grands trous										
	Petits trous			?							
	Débris coquilliers										
Apports pisciculture	Fèces										
	Granulés										
Fond		SV C	SV C	?	S	S	S	S	S	S	S

		STATIONS										
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Faune et Flore	<i>Beggiatoa sp.</i>											
	Algues											
	Actinies	Bla	Bru	Bru	Bla, Bru	Bla, Bru	Bru	Bla, Bru	Bru	Bla, Bru	Bla, Bru	Bla, Bru
	Mollusques											
	Crustacés										Ara	
	Poissons									Dra		
	Grands trous				?							
	Petits trous	?	?									
	Débris coquilliers											
Apports pisciculture	Fèces											
	Granulés											
Fond		S	S	S	S	SV C	SV C	SV C	SV C	SV C	SV C	SV C

		STATIONS									
		23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Faune et Flore	<i>Beggiatoa sp.</i>										
	Algues										
	Actinies		Bla		Bru						
	Mollusques									Cré	Cré
	Crustacés	Ara					Ara			Ara	
	Poissons										
	Grands trous										
	Petits trous										
	Débris coquilliers										?
Apports pisciculture	Fèces										
	Granulés										
Fond		V	V	V	V	V	V	SV	SV	SV	SV

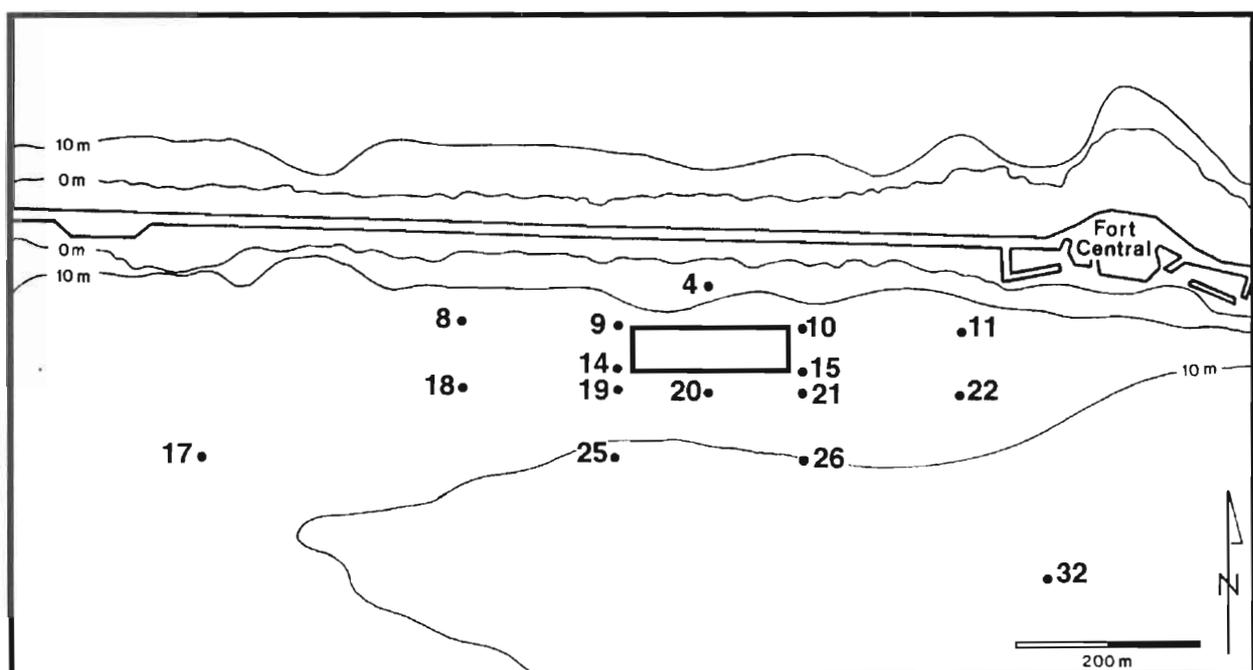
Tableaux 7 : Grille des observations de la campagne vidéo du 12/05/93

		STATIONS										
		33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Faune et Flore	<i>Beggiatoa sp.</i>											
	Algues											
	Actinies				Bru		Bru			Bru	Bru	Bru
	Mollusques	Cré	Cré	Cré	Cré	Cré	Cré	Cré				
	Crustacés		Ara									
	Poissons											
	Grands trous											
	Petits trous						?				?	
	Débris coquilliers				?							
	Apports pisciculture	Fèces										
Granulés												
Fond		V	SV	SV	S	SV	SV	S	S	S	S	S

Tableaux 7 (suite) : Grille des observations de la campagne vidéo du 12/05/93

Le gradient granulométrique du sédiment, entre le fond sableux au nord-ouest et le sable fortement envasé au sud-est, est apparent sur les images. Cette campagne ne révèle ni granulés ni fèces. Toutefois, des taches isolées de *Beggiatoa* sont présentes, principalement, à l'ouest du radeau. Les algues dérivantes sont largement réparties dans l'espace, tandis que la faune est représentée par des actinies blanches et brunes, des araignées, des bernard-l'hermite, des dragonnets et un nombre très faible de coquilles Saint-Jacques. La limite nord du fond à crépidules, qui avait été cartographié en 1988 (INTECHMER 1989), est visualisé dans le sud-ouest de la zone.

2.4.2.3 19/08/94



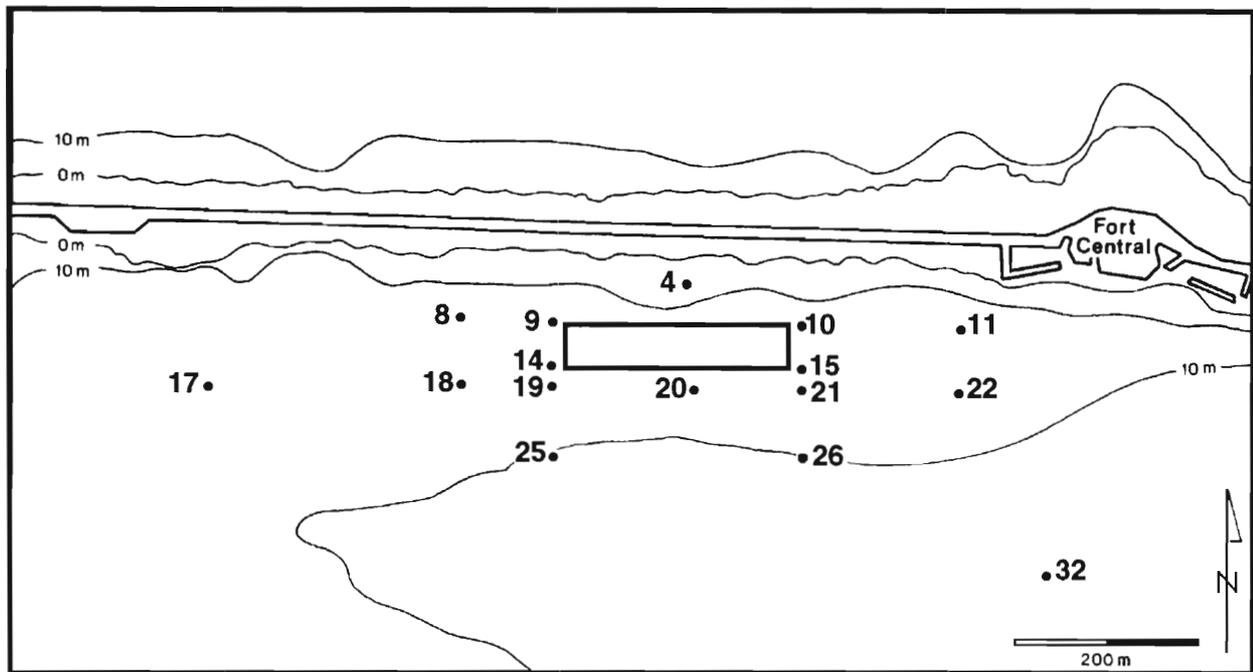
Carte 20 : Localisation des stations de la campagne vidéo du 19/08/94

		Stations															
		11	10	4	9	8	22	15	21	20	19	14	18	17	32	26	25
Faune et Flore	<i>Beggiatoa sp.</i>																
	Algues																
	Actinies		Bla								Bru			Bru			
	Mollusques		Csj						Csj		Csj	Csj		Csj			
	Crustacés		Ara		Ara					CrX Ara	Pa						
	Poissons			Dra	Dra	Dra	Dra			Dra	Dra		Dra	Dra		Dra	
	Grands trous													?			
	Petits trous													?			
	Débris coquilliers																
Apports pisciculture	Fèces			?	?									?			
	Granulés													?			
Fond		SV	SV	SV	SV	SVV	V	SV	SV	SV	SV	SV	SVV	SV	V	V	V

Tableau 8 : Grille des observations de la campagne vidéo du 19/08/94

La répartition des sédiments reste globalement conforme au schéma déjà observé. Il semble cependant qu'il y ait un affinement entre 1993 et 1994 (de sableux vers sablo-vaseux) à l'ouest du radeau, notamment aux stations 8 et 18. Toutefois, l'interprétation des images n'est pas toujours aisée et il conviendrait de la confirmer en couplant la vidéo à une analyse granulométrique. Celle-ci permettrait de "calibrer" la nature du fond interprétée à partir des images. Lors de cette campagne, aucune trace de *Beggiatoa* n'est relevée et la présence de fèces et granulés n'est pas clairement établie. La macrofaune est bien présente, tandis que les algues en épave sont moins nombreuses.

2.4.2.4 18/09/95



Carte 21 : Localisation des stations de la campagne vidéo du 18/09/95

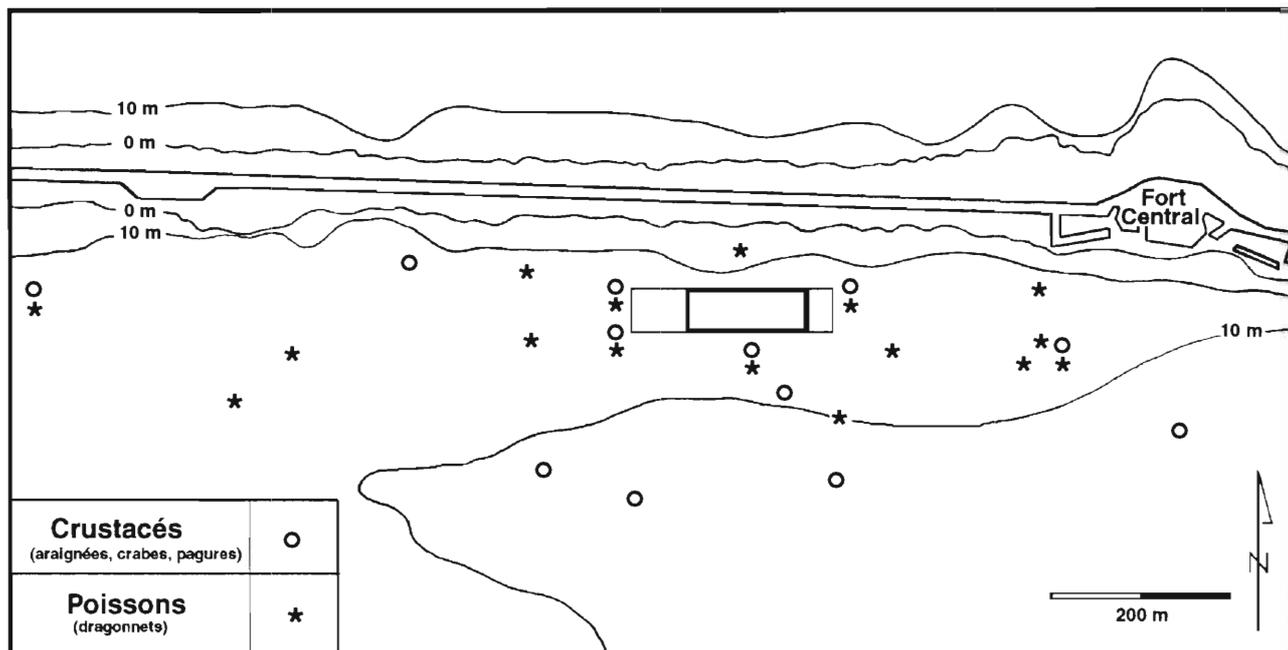
		STATIONS														
		11	10	4	9	8	22	21	20	19	14	18	17	32	26	25
Faune et Flore	<i>Beggiatoa sp.</i>															
	Algues															
	Actinies	Bru	Bla									Bru				
	Mollusques		Csj			Csj		Csj	Csj			Csj				
	Crustacés								Pa							
	Poissons	Dra	Dra			Dra	Dra	Dra	Dra				Dra			
	Grands trous															
	Petits trous		■	■		■	■				■	■	■	■	■	
	Débris coquilliers		■	■								■	■			
Apports pisciculture	Fèces				P								?			
	Granulés												?			
Fond		SV	S	S	SV	S	V	SV	SV	SV	SV	S	S	V	V	V
							C							C	C	

Tableau 9 : Grille des observations de la campagne vidéo du 18/09/95

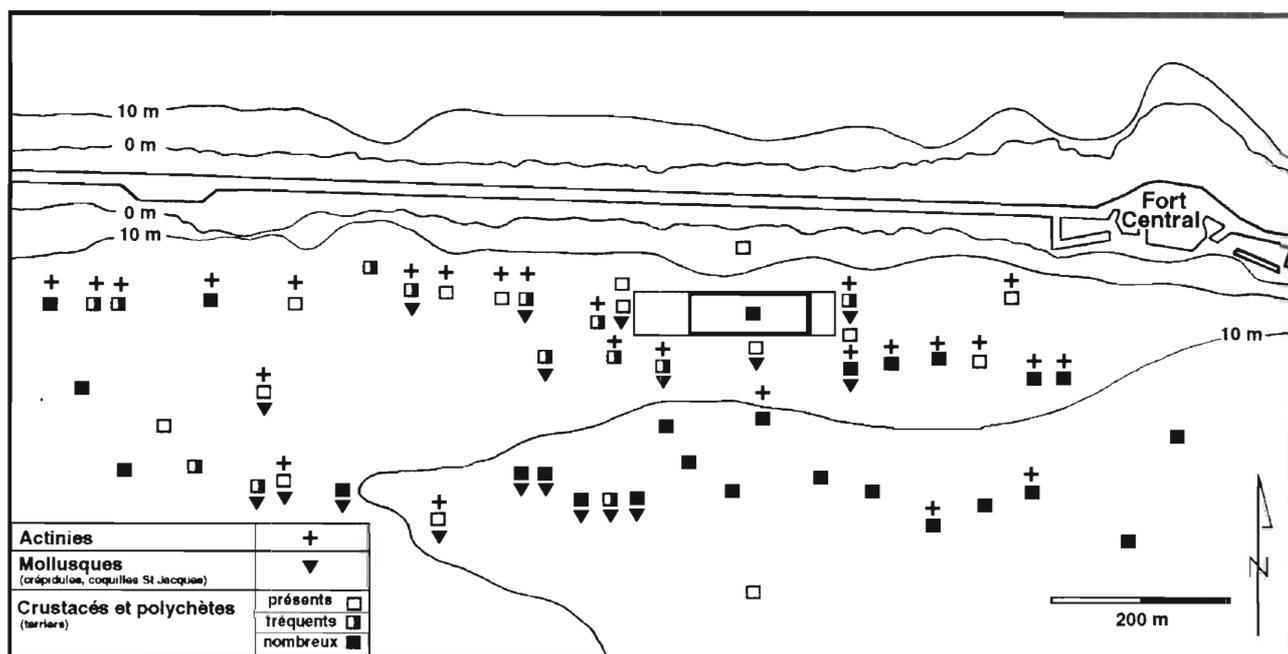
L'affinement sédimentaire observé en 1994 par vidéo à l'ouest de la structure n'est plus visible et l'on retrouve un gradient granulométrique semblable à celui de 1993 : du plus sableux au nord-ouest au plus envasé au sud-est. Une tache de *Beggiatoa* et la présence de fèces sont recensées à la proximité ouest du radeau. La répartition des algues dérivantes est stable et la macrofaune présente.

2.4.3 DISCUSSION

L'observation vidéo sous-marine du fond confirme la répartition du gradient sédimentaire révélée par l'étude granulométrique, sans toutefois avoir la précision de celle-ci ; il n'a donc pas été jugé utile de cartographier ces résultats. Elle complète utilement la connaissance du benthos en montrant la macrofaune mobile et sédentaire, ou ses traces, qui échappent totalement ou partiellement aux prélèvements à la benne. Elle révèle aussi que cette faune est largement présente sur le site, y compris dans le voisinage immédiat de la ferme : ce que montrent les deux cartes 22 et 23, qui récapitulent les observations cumulées des différentes campagnes.



Carte 22 : Faune vagile observée par vidéo
(mai 1993, août 1994 et septembre 1995 ; cumul non indiqué)



Carte 23 : Faune sessile observée par vidéo
(mai 1993, août 1994 et septembre 1995 ; cumul non indiqué)

L'observation vidéo confirme également l'existence d'apports solides de l'élevage (granulés non consommés et fèces d'apparence fraîche), en même temps que leur absence de permanence visible, si ce n'est sous forme de petites accumulations ponctuelles en rapport avec le microrelief du fond, comme de petites dépressions ou des obstacles au courant (ceci montre que, dans de telles conditions de dynamique, le fond gagne à être maintenu plat et libre d'obstacles, de manière à faciliter la dispersion des rejets solides). La présence de taches isolées de *Beggiatoa* en 1993 et 1995, principalement à l'ouest de la structure et, peut-être, l'aspect colmaté de la surface du sédiment également à l'ouest en septembre 1994, montrent un début d'impact localisé, sans doute à mettre en relation avec la période estivale (température élevée, calme météorologique, morte eau). Mais la macrofaune et l'étude ultérieure du sédiment ne révèlent pas d'anomalies.

D'un point de vue technique, l'utilisation ponctuelle d'une caméra fixée dans un cadre en cloche et montée sur un plateau motorisé permettant un balayage en deux plans (site et azimut), le tout contrôlé depuis la surface, semble actuellement un bon compromis pour une surveillance légère et un premier diagnostic. En effet, l'observation en plongée est difficile à mettre en oeuvre en routine à cause d'une réglementation de sécurité très contraignante. Par ailleurs, il existe bien des robots filoguidés susceptibles d'effectuer le même travail avec plus de souplesse. Mais, en l'état actuel du marché, il s'agit soit de matériels légers n'offrant pas la précision souhaitée en qualité d'image ou de positionnement, soit d'équipements lourds et onéreux.

La méthodologie d'interprétation peut encore être améliorée en calibrant les observations visuelles par des analyses précises : granulométrie et chimie de quelques échantillons de sédiment prélevés simultanément, détermination spécifique de la macrofaune, à récolter spécialement si nécessaire. De la sorte, la vidéo sous-marine, utilisée de manière semi-quantitative, constitue un bon outil pour un suivi d'élevage en routine, l'établissement d'un premier diagnostic et la définition de mesures plus précises en cas de besoin.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les effets sur l'environnement d'un élevage commercial de truite fario en cages flottantes implanté en Grande Rade de Cherbourg ont été étudiés. Après les rejets dissous et la masse d'eau (volume 1), les travaux réalisés ici concernent les rejets solides (aliments non consommés et fèces), ainsi que les principales manifestations permettant de les caractériser et de surveiller leurs effets sur le fond marin (sédiment et animaux vivants) :

- évaluation des flux au moyen de pièges à particules proches du fond (1993) ;
- recherche d'impacts et de traces par :
 - * analyse granulométrique et analyse chimique sur la fraction fine du sédiment (vase) : matière organique, carbone et azote, métaux traces incorporés à l'aliment comme oligo-éléments (1993 et 1995),
 - * respirométrie du sédiment (1993),
 - * analyse des peuplements benthiques : composition, biomasse, diversité... (1993),
 - * observation macroscopique du fond *in situ* par vidéo sous-marine (1993 à 1995).

Durant la période de l'étude (1993-1995), l'exploitation s'est agrandie, passant d'un stock de poissons en place de 140 à 350 t, avec un maximum temporaire de 450-500 t, et d'une production de 190 t/an à 700 t/an. Cette croissance se poursuit.

Certains paramètres suivis révèlent effectivement la trace de l'élevage, mais aucun ne montre une dégradation substantielle du fond marin.

- * Des aliments non consommés et surtout des fèces de poisson se déposent dans les pièges à particules, mais essentiellement à l'aplomb de la structure et très peu au-delà, même à l'aval de celle-ci dans le sens du courant dominant. Des taches de ces matières sont visibles sur le fond en plongée ou par vidéo sous-marine. Toutefois, il s'agit d'accumulations de petite taille, ponctuelles et passagères (matériel frais) en fonction du microrelief du fond et du courant. La consommation d'oxygène au niveau du fond, mesurée par respirométrie, confirme ces observations ; la demande en oxygène est normale sur le fond ordinaire, à proximité immédiate des cages, et nettement plus importante sur un petit dépôt organique localisé, un peu au delà. Des taches isolées de *Beggiatoa* (bactéries filamenteuses signalant l'existence d'un sédiment anoxique) sont parfois relevées par vidéo, surtout à l'ouest des cages.
- * La granulométrie du sédiment reflète la dynamique du site, avec un gradient d'envasement décroissant du sud-est vers le nord-ouest, dans le sens du courant dominant. À la partie ouest de la structure d'élevage, une tache de sable appauvrie en vase témoigne d'une accélération du courant sous les cages. Les teneurs en matière organique, carbone et azote dans la fraction fine (< 63 µm) sont normales pour un sédiment de sable fin côtier plus ou moins envasé. Le cuivre et le zinc, ajoutés comme oligo-éléments dans l'aliment du poisson, se retrouvent dans les fèces puis dans la vase, en quantité plus importante à proximité de l'élevage ; mais, dans l'absolu, il

s'agit de valeurs faibles, tout à fait conformes aux teneurs normales du milieu naturel et de la zone. Ces éléments permettent néanmoins de tracer l'effet des cages.

- * La macrofaune benthique appartient à un peuplement normal des sables fins côtiers plus ou moins envasés (*Abra alba*, *Melinna palmata*). La répartition des espèces reflète, à la fois, l'influence du gradient granulométrique pour certaines (*Melinna*, *Branchiomma*) et une légère attirance pour l'élevage chez d'autres, notamment quelques animaux mobiles détritivores, nécrophages ou carnivores susceptibles de profiter directement ou indirectement de l'apport nutritif (*Nassarius*, *Nephtys*, pagure, dragonnet) ; mais la plupart des espèces ne montrent pas de préférence particulier. Aucune prolifération d'espèce opportuniste ou indicatrice de pollution organique n'est visible. La présence d'espèces de grande taille, dont certaines d'intérêt commercial (palourde rose, couteau, coquille St-Jacques, araignée, *Upogebia*, dragonnet...) sur l'ensemble du site, même à proximité de l'élevage, est confortée par les observations vidéo.

L'évolution des paramètres du sédiment entre 1993 et 1995 montre des résultats pouvant correspondre, à la fois, à l'influence de l'élevage, en croissance durant cette période, et aux variations normales du milieu, sans qu'il soit possible de distinguer clairement les deux.

- * La fraction fine < 63 µm augmente, mais le schéma de sa répartition spatiale n'est pas modifié. Sa teneur en carbone total reste constante, mais la part organique double, au détriment de la part minérale. L'azote total augmente également. Ces accroissements de teneurs se font sur un axe est-ouest, selon la courantologie, et passant par la ferme.
- * Les concentrations en métaux traces, cuivre et zinc, diminuent, comme si elles étaient diluées dans un afflux de sédiments fins, mais leur répartition spatiale reste centrée sur l'élevage. Des informations d'autres sources laissent effectivement penser que la Rade de Cherbourg est soumise à des fluctuations naturelles de la fraction vaseuse du sédiment, probablement d'origine marine, mais les données précises manquent encore sur le sujet.

En définitive, si la mise en évidence de l'empreinte de l'élevage sur le fond marin est possible, l'hydrodynamique du site est suffisante pour disperser les rejets solides sans traces d'accumulation ni de perturbation du sédiment et du peuplement durant la période suivie. Néanmoins, quelques signaux d'alerte appellent à la vigilance pour accompagner la poursuite de la croissance de la ferme. A cette fin, une surveillance est recommandée. L'étude de la masse d'eau ayant montré les limites de la mise en évidence des rejets dissous dans un milieu ouvert et bien brassé, cette surveillance doit être cantonnée au fond marin. Il convient de la moduler par étapes successives, les résultats des observations de chacune commandant le passage ou non à la suivante :

- niveau 1 - observation macroscopique par vidéo sous-marine ou plongée,
- niveau 2 - biogéochimie du sédiment,
- niveau 3 - peuplements benthiques.

De plus, la granulométrie et la chimie du sédiment sont à mettre en parallèle avec une connaissance plus générale de la dynamique sédimentaire de la Rade, qu'il reste à acquérir.

BIBLIOGRAPHIE

BOUTIER, B., 1995. Les métaux lourds dans les sédiments de la baie de Seine (campagne 1993). IFREMER et Min. Environnt, Surveillance du Milieu Marin, Trav. RNO 1995 : 25-32.

FAUVEL, P. 1927. Polychètes sédentaires. Faune de France, Krauss Reprint 1977, 16 : 494 p.

FRONTIER, S. & PICHOD-VIALE, D., 1991. Écosystèmes : structure, fonctionnement, évolution. Collection d'Écologie 21. Masson (Ed.) : 392 p.

GOUX-PLAIRE, S., 1992. Devenir des rejets solides des piscicultures marines intensives. Mém. Maîtrise Océan. biol. UBO, Brest : 13 p.

HARGRAVE, B.T., 1994. A benthic enrichment index. In Hargrave, B.T. (Ed). *Modelling Benthic Impacts of Organic Enrichment from Marine Aquaculture*. Canadian technical Report of Fisheries and aquatic Sciences, 1949 : 80-91.

HARGRAVE, B.T., DUPLISEA, D.E., PFEIFFER, E. & WILDISH, D.J., 1993. Seasonal changes in benthic fluxes of dissolved oxygen and ammonium associated with marine cultured Atlantic salmon. *Marine Ecology Progress Series*, 96 (3) : 249-257.

HENDERSON, A.R. & ROSS, D.J., 1995. Use of macrobenthic infaunal communities in the monitoring and control of the impact of marine fish farming. *Aquaculture Research*, 26 : 659-678.

HILY, C., 1983. Modification de la structure écologique d'un peuplement de *Melinna palmata* (annélide polychète) soumis aux effluents urbains et industriels en rade de Brest. *Ann. Inst. océanogr. Paris*, 59 (1) : 37-56.

INTECHMER, 1989. Étude de l'environnement de la rade de Cherbourg. Rapport INTECHMER N°5, décembre 1989 : 56 p.

KEMPF, M., DATIN, L., JEANNERET, H., LE GRAND, J. & MERCERON, M., 1995. Impact de la salmoniculture marine sur l'environnement en rade de Cherbourg : Surveillance scientifique allégée, année 1994. Rapport IFREMER, DEL Brest, août 1995 : 15 p.

KEMPF, M., JACQ, E., LE GUELLEC, C., MERCERON, M., MONFORT, P., NEZAN, E. & RYCKAERT, M., 1995. Impact de la pisciculture marine intensive sur l'environnement : (2) L'environnement d'un site d'élevage de salmonidés en cages flottantes, Camaret, année 1994. Rapport IFREMER, DEL Brest, janvier 1995 : 49 p.

KEMPF, M. & MERCERON, M., 1994. Impact de la salmoniculture marine sur l'environnement en rade de Cherbourg : compte rendu préliminaire d'une année d'observations (janv. 1993-fév. 1994). Réunions APEM et SMEL, Blainville fév.-mars 1994. Rapport IFREMER, DEL Brest, mars 1994 : 3 p, 19 figs.

KUPKA-HANSEN, P., PITTMAN, K. & ERVIK, A., 1991. Organic waste from marine fish farms - Effects on the seabed. *In* Mäkinen, T. (Ed.). *Marine Aquaculture and Environment*. Nord 1991 : 22, 105-119.

MERCERON, M., BENTLEY, D., LE GRAND, J., LAMORT-DATIN, L. & KEMPF, M., 1997. Impact de la salmoniculture marine sur l'environnement en rade de Cherbourg : I Eau et Pélagos (1993-1995). Rapport IFREMER, DEL 97.04 Brest : 54 p. + annexes.

MERCERON, M. & GAFFET, J.D., 1994. Courantométrie du site d'élevage de salmonidés en Grande Rade de Cherbourg. Rapport IFREMER, DEL/94.02/Brest : 5 p.

MERCERON, M. & KEMPF, M., 1995. Environmental quality of a salmonid farm site in a flushed area (Cherbourg, France). Int. Conf. "Aquaculture Europe 95", Trondheim (N), Aug. 9-12, 1995, E.A.S. spec. Publ. 23 : 258-259 + Poster.

RNO, 1981. Synthèse des travaux de surveillance 1975-1981 du Réseau National d'Observation de la Qualité du Milieu Marin. Centre National pour l'Exploitation des Océans, Ministère de l'Environnement, Centre Océanologique de Bretagne, Brest : 358 p.

TSUTSUMI, H., 1995. Impact of fish net pen culture on the benthic environment of a cove in south Japan. *Estuaries*, 18 (1A) : 108-115.

UOTILA J., 1991. Metal content and spread of fish farming sludge in southwestern Finland. P 121-126 *in* MAKINEN T. (Edit), *Marine Aquaculture and Environment*, Nord 1991 : 22.

LISTES DES FIGURES, CARTES ET TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Granulométrie moyenne de l'ensemble des stations échantillonnées en 1993
- Figure 2 : Évolution du pourcentage de fraction fine du sédiment entre septembre 1993 et septembre 1995
- Figure 3 : Évolution du pourcentage de matière organique de la fraction fine du sédiment entre septembre 1993 et septembre 1995
- Figure 4 : Évolution du pourcentage de carbone de la fraction fine du sédiment entre septembre 1993 et septembre 1995 (carbone total, minéral et organique)
- Figure 5 : Évolution du pourcentage d'azote total de la fraction fine du sédiment entre septembre 1993 et septembre 1995
- Figure 6 : Comparaison des concentrations en métaux dans la fraction fine du sédiment du site étudié et de divers milieux (d'après RNO, 1981) : zinc et cuivre
- Figure 7 : Évolution de la concentration en métaux traces dans la fraction fine des sédiments entre septembre 1993 et septembre 1995 : zinc et cuivre
- Figure 8 : *Branchiomma vesiculosum* et *Melinna palmata*
- Figure 9 : Richesse spécifique, abondance, biomasse, indice de Shannon et équitabilité par station
- Figure 10 : Nombre d'individus et biomasse par groupe d'espèces (%) et par station
- Figure 11 : Nombre d'individus et biomasse par groupe d'espèces (%) pour l'ensemble des stations
- Figure 12 : Légende et remarques de la grille utilisée pour les observations en vidéo sous-marine

LISTE DES CARTES

- Cartes 1 : Localisation de la rade de Cherbourg et du site piscicole SALMONA
- Carte 2 : Localisation des pièges à particules (13 et 14 juillet 1993)
- Carte 3 : Envasement de la rade de Cherbourg (INTECHMER, 1989)
- Carte 4 : Localisation des stations de prélèvement au carottier Reineck : 23 septembre 1993 et 19 septembre 1995
- Cartes 5 : Pourcentage de la fraction fine : 23 septembre 1993 et 19 septembre 1995
- Carte 6 : Variations du pourcentage en matière organique entre 1993 et 1995 (en valeur)
- Carte 7 : Variations du pourcentage en carbone total entre 1993 et 1995 (en valeur)

- Carte 8 : Variations du pourcentage en carbone total entre 1993 et 1995 (en valeur)
- Carte 9 : Variations du pourcentage en azote total entre 1993 et 1995 (en valeur)
- Cartes 10 : Concentrations en zinc dans la fraction fine du sédiment : 09/93 et 09/95
- Cartes 11 : Concentrations en cuivre dans la fraction fine du sédiment : 09/93 et 09/95
- Carte 12 : Localisation des stations de prélèvements de la faune benthique
- Carte 13 : Répartition de *Branchiomma vesiculosum* (présence) et de *Melinna palmata* (nombre d'individus par m²)
- Carte 14 : Richesse spécifique (S) : nombre d'espèces par m²
- Carte 15 : Abondance (A) : nombre d'individus par m²
- Carte 16 : Biomasse (B) en g par m²
- Carte 17 : Indice de diversité de Shannon (H)
- Carte 18 : Équitabilité (E)
- Carte 19 : Localisation des stations de la campagne vidéo du 12/05/93
- Carte 20 : Localisation des stations de la campagne vidéo du 19/08/94
- Carte 21 : Localisation des stations de la campagne vidéo du 18/09/95
- Carte 22 : Faune vagile observée par vidéo (1993, 1994, 1995)
- Carte 23 : Faune sessile observée par vidéo (1993, 1994, 1995)

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 : Étude biosédimentaire 1993-95 : travaux, conditions et intervenants
- Tableau 2 : Dates et durées des différents prélèvements des pièges à particules
- Tableau 3 : Quantité et qualité des prélèvements des pièges à particules
- Tableau 4 : Teneurs des aliments en cuivre et zinc
- Tableau 5 : Qualification de S, A et H en fonction de l'importance d'un impact organique issu de piscicultures marines écossaises (d'après HENDERSON & ROSS, 1995).
- Tableau 6 : Grille des observations de la campagne vidéo du 20/01/93
- Tableaux 7 : Grille des observations de la campagne vidéo du 12/05/93
- Tableau 8 : Grille des observations de la campagne vidéo du 19/08/94
- Tableau 9 : Grille des observations de la campagne vidéo du 18/09/95

ANNEXES

Annexe 1 : Résultats concernant la géochimie de la fraction fine du sédiment

Annexe 2 : Résultats concernant la biologie du sédiment

**Annexe 1 : Résultats concernant la géochimie de la fraction fine
< 63 µm du sédiment**

N° station	% fraction < 63 µm	% matière organique	% carbone total	% carbone minéral	% carbone organique	% azote total	zinc (µg/g)	cuivre (µg/g)
4	5.7	5.08	5.72	4.39	1.33	0.17	136	14.7
8	7.7	5.47	5.89	4.38	1.51	0.15	122	13.1
9	3	6.70	5.86	4.08	1.78	0.17	192	19.0
10	5.6	5.48	6.11	4.50	1.61	0.17	152	15.5
11	18.7	3.86	5.6	4.61	0.99	0.12	110	11.7
14	3.7	5.42	5.57	4.20	1.37	0.15	182	15.8
15	12.1	5.96	5.9	4.20	1.70	0.17	157	15.2
17	8.1	5.98	5.72	4.22	1.50	0.12	128	12.9
18	11.8	6.43	5.91	4.16	1.75	0.17	99	7.9
19	4.2	5.51	5.41	4.20	1.21	0.12	120	12.0
20	11.5	4.38	5.72	4.69	1.03	0.12	131	10.5
21	9.9	4.61	5.65	4.45	1.20	0.13	113	12.3
22	24.3	6.44	5.91	4.13	1.78	0.17	89	10.1
25	11.4	6.13	6.17	4.52	1.65	0.16	106	11.6
26	15	6.39	6.12	4.36	1.76	0.17	100	11.6
29	31.6	9.33	6.37	3.66	2.71	0.26	99	9.3
30	35	8.38	6.24	3.73	2.51	0.24	95	9.0
31	39.4	9.27	6.4	3.57	2.83	0.24	79	7.6
32	39.1	8.17	6.12	3.71	2.41	0.23	104	11.0

Annexe 1-a : Résultats de la campagne de prélèvements du 23 septembre 1993

N° station	% fraction < 63 µm	% matière organique	% carbone total	% carbone minéral	% carbone organique	% azote total	zinc (µg/g)	cuivre (µg/g)
4	11.5	10.98	6.13	3.26	2.87	0.21	69.9	9.4
9	8.5	12.35	5.82	2.77	3.05	0.28	107.8	11.7
10	15.5	15.7	6.13	1.92	4.21	0.35	104.9	13.4
11	25.8	14.51	6.63	2.75	3.88	0.26	72.5	10.7
14	7.2	15.15	6.29	2.44	3.85	0.22	99.5	12.5
15	17.9	16.9	6.15	1.61	4.54	0.33	105.9	18.7
17	13	16.2	6.41	2.25	4.16	0.29	67	9.6
18	13.3	14.65	6.34	2.65	3.69	0.25	78.2	8.5
19	13.5	12.81	6.17	2.84	3.33	0.26	81.2	9.7
20	15.8	17.83	6.77	1.78	4.99	0.35	75.8	10.3
21	22.5	15.51	6.59	2.60	3.99	0.31	72.1	9.3
22	27.8	15.45	6.25	2.02	4.23	0.25	71.1	10.5
25	13.8	14.49	5.62	1.82	3.80	0.28	75.7	9.4
26	25.6	15.15	5.68	1.76	3.92	0.27	74.5	9.0
30	58.4	17.28	5.87	1.43	4.44	0.29	63.4	7.4
31	53.9	13.9	5.55	1.95	3.60	0.26	83.9	9.6
32	35.9	13.92	5.97	2.22	3.75	0.3	79.3	10.1

Annexe 1-b : Résultats de la campagne de prélèvements du 19 septembre 1995

Annexe 2 : Résultats concernant la biologie du sédiment (23/09/93)

a. Nombre d'individus/m ² /espèce	STATIONS																				TOTAL	Nombre de stations	
	4	7	8	9	10	11	14	15	17	18	19	20	21	22	25	26	28	29	30	31			32
MOLLUSQUES <i>Crepidula fornicata</i>																			52	16		68	2
Gastéropodes <i>Nassarius reticulatus</i>	12		20	4	16	8		28			4	12						8	12	8	4	136	12
Lamellibranches <i>Nucula nucleus</i>	8						20	4	8	4	4	4									4	56	8
<i>Loripes lactea</i>												4							40	68	52	164	4
<i>Cardium echinatum</i>		4			4				4			4										16	4
<i>Venerupis rhomboides</i>			12	4	8	4	4		4	8		4					4				4	56	10
<i>Abra alba</i>					4		4	52				8				4	4	4		44	24	172	10
<i>Corbula gibba</i>																					8	8	1
<i>Mya truncata</i>														4								4	1
<i>Ensis ensis</i>		8	16	12			4		8	16	12		12		8			12	4		4	116	12
ANNÉLIDES <i>Hermione hystrix</i>								4		4		4	4						4			20	5
Polychètes errantes <i>Aphroditidae</i> (indét.)							4															4	1
<i>Phyllodoce lineata</i>	4								4			4	4						8			24	5
<i>Eteone picta</i>							4															4	1
<i>Nereis sp.</i>										4								8				12	2
<i>Nephtys hombergii</i>	12	4	8	4	16	8	16	16	8	4	8	4	8	12	32	32	16	8	28	20	20	284	21
<i>Marphysa sanguinea</i>						8																8	1
Polychètes sédentaires <i>Audouinia tentaculata</i>								28				20										48	2
<i>Capitella capitata</i>		4	4		8		20	8	16	4		36	4	12		4	4		32	28	8	192	15
<i>Clymene robusta</i>		4	4								4		4					4				20	5
<i>Owenia fusiformis</i>																4						4	1
<i>Melinna palmata</i>					28	12	4	12			16	44	56	308	68	320		12	468	220	296	1864	14
<i>Amphitrite edwardsi</i>					4								4								4	12	3
<i>Sabella pavonina</i>															4							4	1
<i>Sabella fabricii</i>						4			4													8	2
<i>Branchiomma vesiculosum</i>		4	4	12	12	8			4	4		4	8		4							64	10
<i>Serpula vermicularis</i>																			4			4	1
CRUSTACÉS <i>Upogebia deltaura</i>		4				4	4	12					4	12		8		4		4		56	9
<i>Atelecycclus rotun</i>						16																16	1
<i>Macropipus depur</i>									4													4	1
DIVERS <i>Actinia equina</i>				4											4							8	2
<i>Anemonia sulcata</i>																				4		4	1
<i>Halcampa chrysanthellum</i>														4								4	1
<i>Ophiocentrus brachiatus</i>		4											8	4		4		16	8	4		48	7
Morceaux d'annélides				*					*									*	*		*	0	5
TOTAL	36	36	68	40	100	76	80	164	64	52	44	156	112	356	124	376	48	60	696	396	428		
RICHESSSE (S)	4	8	7	6	9	10	9	9	10	9	5	14	10	7	7	7	6	8	10	10	11		

b. Biomasse/m²/espèce

		STATIONS																					
		4	7	8	9	10	11	14	15	17	18	19	20	21	22	25	26	28	29	30	31	32	
MOLLUSQUES	<i>Crepidula fornicata</i>																			5.48	2 034		
Gastéropodes	<i>Nassarius reticulatus</i>	0 996		1 66	0 332	1 328	0 664		2 324			0 332	0 996						0.664	0.996	0.664	0.332	
Lamellibranches	<i>Nucula nucleus</i>	0.208						0 328	0 104	0.208	0.104	0 104	0.104									0 104	
	<i>Loripes loctea</i>												0 008								0.008	0.136	0 104
	<i>Cardium echinatum</i>		0.036			0.036				0.036			11.464										
	<i>Venerupis rhomboides</i>			0 312	2 56	1.36	1 256	1 256		2.56	3.816		2.56					2 56				2.56	
	<i>Abra alba</i>					0 052		0 052	0 676				0 104			0.052	0 052	0 052		0.572	0.312	0 312	
	<i>Corbula gibba</i>																						0 028
	<i>Mya truncata</i>														0 808								
	<i>Ensis ensis</i>		1 216	5.396	7 244			0.608		3.672	7.852	3 856		3.856		3.756		10 968	0.1				0.1
ANNÉLIDES	<i>Hermione hystrix</i>								0.1		0.1		0.1	0 1						0.1			
Polychètes errantes	Aphroditidae (indét.)						0 312																
	<i>Phyllodoce lineata</i>	0.288								0.288			0 068	0.288							0.572		
	<i>Eteone picta</i>							0 006															
	<i>Nereis sp.</i>										0.436							0.872					
	<i>Nephtys hombergii</i>	0 252	0.084	0.568	0.284	2 252	1 312	1 136	2 252	0.74	0.284	0.568	0.084	1.312	1.944	1.472	2.4	1.1	0.368	2.316	1.384	2.336 0	
Polychètes sédentaires	<i>Marphysa sanguinea</i>						6 608																
	<i>Audouinia tentaculata</i>								1.4				1										
	<i>Capitella capitata</i>		0 028	0.028		0.056		0.14	0.104	0.112	0.052		0.252	0.028	0.156		0.028	0.052		0.416	0.364	0.056	
	<i>Clymene robusta</i>		0 088	0.088							0.088		0 088						0 232				
	<i>Owenia fusiformis</i>																0 208						
	<i>Melinna palmata</i>					0.224	0 096	0 032	0 096			0 128	0.352	0.448	1.848	0.544	1.92		0.096	2.808	1.32	1.776	
	<i>Amphitrite edwardsi</i>					2.108								2 108									2 108
	<i>Sabella pavonina</i>															0.944							
	<i>Sabella fabricii</i>						0.136			0.136													
	<i>Branchioma vesiculosum</i>		0 148	0 148	0.444	0 444	0.296				0 148	0.148		0 148	0.296		0 148						
<i>Serpula vermicularis</i>																			0 048				
CRUSTACÉS	<i>Upogebia deltaura</i>		3 572				3 572	3.572	7 84						3.2	9.6		7.344		3.672		3.672	
	<i>Atelecyclus rotun</i>						13 024																
	<i>Macropipus dépur</i>									2.684													
DIVERS	<i>Actinia equina</i>				2 468												2.468						
	<i>Anemonia sulcata</i>																					3.072	
	<i>Halocampa chrysanthellum</i>														0 54								
	<i>Ophiocentrus brachiatus</i>		0 264											0 528	0 264		0.264		1.056	0.528	0.264		
	Morceaux d'annélides				0 044						0 05								0.036	0 052			0.04
TOTAL		1.744	5 436	8.2	13 376	7 86	27.276	7 13	14 896	10.584	12.93	4 988	17 328	12.164	15 16	9 384	12 216	15.604	6 272	13 848	13.222	9.856	
RICHESSSE (S)		4	8	7	6	9	10	9	9	10	9	5	14	10	7	7	7	6	8	10	10	11	

