

**MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE**  
Laboratoire de Biologie des Invertébrés Marins et Malacologie

**THESE**

pour l'obtention du grade de Docteur du  
**Muséum National d'Histoire Naturelle**

*Discipline* : Environnement marin

présentée et soutenue publiquement par

**Pascal MOUNY**

le 21 décembre 1998

*Titre* :

**Structure spatio-temporelle du zooplancton et du suprabenthos de  
l'estuaire de la Seine. Dynamique et rôle des principales espèces dans  
la chaîne trophique pélagique**

**SYNTHESE**

-----

*Directeur de thèse* : DAUVIN Jean-Claude

-----

**JURY**

M. DOUMENC D., Président  
M. DODSON J., Rapporteur  
M. MEES J., Rapporteur  
M. ROMANA L.A., Examineur  
M. SAUTOUR B., Examineur

## **SOMMAIRE**

### **INTRODUCTION**

### **MATERIEL ET METHODES / SITE D'ETUDE**

### **LE MESOZOOPLANKTON**

Composition faunistique

Structure spatiale de la communauté

Evolution temporelle de la communauté

a- Evolution journalière

b- Evolution annuelle

c- Evolution, dynamique et production du copépode *Eurytemora affinis*

### **LE SUPRABENTHOS**

Composition faunistique

Structure spatiale de la communauté

Evolution temporelle de la communauté

a- Evolution journalière

b- Evolution annuelle

### **LE RESEAU TROPHIQUE DANS L'ESTUAIRE SALE**

### **PERSPECTIVES**

### **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

Ce rapport est une synthèse du mémoire de thèse intitulée « Structure spatio-temporelle du zooplancton et du suprabenthos en estuaire de Seine. Dynamique et rôle dans la chaîne trophique pélagique » soutenue le 21 décembre 1998. 250 pp. + Annexes

## INTRODUCTION

Les estuaires sont depuis toujours des zones privilégiées pour les activités humaines. En effet, ces zones de transition entre les eaux continentales et les eaux marines sont des lieux favorables au développement de l'activité économique. A ce titre, les estuaires ont souvent fait l'objet de nombreux aménagements (aménagements portuaires et complexes industriels, chenalisation) plus ou moins importants afin de favoriser l'implantation de l'activité industrielle aussi bien au niveau de l'embouchure de l'estuaire que dans la zone fluviale.

Les estuaires sont également des sites d'un grand intérêt biologique dans lesquels les interactions physiques, chimiques et biologiques génèrent des écosystèmes parmi les plus actifs de tous les milieux naturels. L'intérêt des écosystèmes estuariens pour les espèces marines est liée à la présence de fortes populations zooplanctoniques, maillons essentiels dans la chaîne trophique entre la production primaire et secondaire, qui font des estuaires des zones de nurserie idéale pour le développement des larves et des juvéniles de crustacés et de poissons (écophase estuarienne). Ainsi, les différentes espèces de l'écosystème estuarien pélagique ont développé des stratégies pour migrer ou demeurer dans ces milieux favorables à leur croissance et/ou leur reproduction. D'autre part, les estuaires sont des lieux de passage d'importantes quantités de matière organique d'origine continentale et océanique transitant dans l'estuaire de l'amont vers l'aval ou de l'aval vers l'amont en fonction des rythmes tidaux et des fluctuations saisonnières des débits fluviaux. Un des phénomènes essentiel engendré par l'interaction de la dynamique du fleuve (débit) et celle de la dynamique de la marée, notamment dans les mers à fort marnage comme la Manche (système mégatidal), est la formation d'une zone de turbidité maximale ou bouchon vaseux (zone de concentration de particules fines : argiles et vases, de matière organique en suspension et de détritus).

La Seine est le seul grand fleuve se jetant dans la Manche qui permet de surcroît aux complexes industriels de la région rouennaise d'avoir une connexion directe avec les réseaux maritimes de la Manche et de l'Atlantique. Pour ce faire, de nombreux aménagements ont été réalisés dont une chenalisation importante de l'estuaire et d'une partie du fleuve. Toutes ces activités anthropiques ont modifié l'estuaire de la Seine tant au niveau physique que biologique. Le rôle prépondérant de l'estuaire sur l'économie régionale et sur la production biologique estuarienne et marine ainsi que la fragilité de cet écosystème face aux perturbations créées par l'homme ont amené la mise en place en 1995 d'un programme scientifique pluridisciplinaire, coordonné par la Région Haute Normandie en associations avec différents partenaires régionaux dont l'Agence de l'Eau Seine

Normandie et des industriels, sur l'étude de l'estuaire de la Seine qui à l'instar des autres grands estuaires français de la façade atlantique n'avait fait l'objet, auparavant, d'aucune recherche dans le cadre d'un grand programme d'étude. Seules quelques études sur les composantes biologiques intertidales dans le cadre du Schéma d'Aptitude à l'Utilisation de la Mer (SAUM, 1980), des travaux sur le bouchon de turbidité (Avoine, 1981) et quelques observations sur le zooplancton de la baie de Seine (Seguin, 1976) étaient disponibles. Ainsi, le programme Seine-Aval à caractère scientifique a été mis en place avec l'objectif principal de « fournir les connaissances nécessaires à la compréhension du fonctionnement de l'écosystème estuarien et développer des outils nécessaires aux prises de décision des acteurs locaux dans l'optique d'une restauration de la qualité des eaux de la Seine et de préservation des milieux naturels de la vallée ». Dans ce but, plus de vingt cinq laboratoires, de disciplines diverses et complémentaires (physique, chimie, biologie) se sont regroupés dans ce programme. Le programme Seine-Aval s'est attaché, dès le début, à étudier les perturbations de l'écosystème par les modifications des cycles naturels (matière organique vivante et détritique, oxygène dissous...) et par la contamination chimique, perturbations qui sont à l'origine du principal problème de l'estuaire de la Seine : une mauvaise qualité des eaux caractérisée notamment par un déficit chronique en oxygène principalement dans la partie amont de l'estuaire. Pour étudier les différentes composante de l'écosystème estuarien de la Seine, le programme Seine-Aval s'est organisé en quatre thèmes principaux : Hydrodynamique et transport sédimentaire, Microbiologie et oxygénation, Chimie des contaminants et Edifices biologiques. Un thème central, le thème modélisation mathématique, fait le lien entre les quatre thèmes précédemment cités.

Dans ce travail, le plus exhaustif possible, deux communautés estuariennes ont fait l'objet d'études approfondies : 1- **le mésozooplancton** (plancton dont la taille adulte est supérieure à 200µm) représenté en estuaire par les formes planctoniques comme les copépodes, les cladocères et les larves de crustacés et 2- **le suprabenthos** qui est le compartiment faunistique localisé dans la couche d'eau immédiatement au dessus du fond et qui inclus tous les animaux de petite taille (taille adulte supérieure à 500µm) possédant de bonnes capacités natatoires, liés au fond et effectuant des migrations verticales journalières ou saisonnières pendant des périodes et à des distances variables du fond (Brunel *et al.*, 1978) comme les mysidacés (*Neomysis integer*, *Mesopodopsis slabberi*), les décapodes (*Crangon crangon* et *Palaemon longirostris*) et les poissons gobiidés (*Pomatoschistus microps* et *P. minutus*).

## MATERIEL ET METHODES / SITE D'ETUDE

Plusieurs techniques de prélèvements ont été utilisées lors des différentes campagnes pour échantillonner au mieux la communauté mésozooplanctonique. Des traits en surface et obliques à l'aide de filets WP2 de vide de maille de 200  $\mu\text{m}$  ont été réalisés mais n'ont permis de prélever que les stades âgés de la communauté. De ce fait, l'utilisation de bouteilles Niskin (filtration sur 63 $\mu\text{m}$ ) a permis de compléter ces prélèvements par échantillonnage de tous les stades planctoniques dans le but de réaliser une étude précise de la dynamique du copépode majoritaire de l'estuaire de la Seine *Eurytemora affinis*.

La faune démersale de l'estuaire (incluant le macrozooplancton, le suprabenthos et l'ichtyofaune) a été échantillonnée grâce au traîneau Macer-GIROQ modifié (Dauvin & Lorgeré, 1989) selon le modèle initial québécois (Brunel *et al.*, 1978).

A chaque campagne, la salinité [en P.S.U. (Practical Salinity Unit)], la température (en  $^{\circ}\text{C}$ ), la turbidité [exprimée en quantité de Matières En Suspension (M.E.S.)] ainsi que l'oxygène dissous (en  $\text{mg.l}^{-1}$ ) ont été mesurées, à chaque station d'échantillonnage, en surface et au fond.

Plusieurs types d'échantillonnage ont été effectués :

- **des radiales longitudinales** (1995, 1996 pour le suprabenthos et le mésozooplancton et en 1997 uniquement pour le plancton) pour étudier la composition des populations estuariennes le long du gradient de salinité ; la remontée de l'estuaire a été faite en suivant le flot des eaux extérieures vers les eaux du fleuve donc en période de déplacement des isohalines vers l'amont, la vitesse de déplacement du bateau était légèrement supérieure à celle du flot.

- **des radiales transversales** (en 1998) afin de montrer une éventuelle zonation « berge à berge » du copépode *Eurytemora affinis*.

- **des cycles de 24 heures** (en 1995 pour le suprabenthos et le mésozooplancton et en 1997 uniquement pour le plancton), dans la zone oligohaline entre les ponts de Normandie et de Tancarville (Figure 1), afin de suivre les effets de l'advection tidale pendant deux cycles complets de marée (deux basse mers et deux pleine mers) et d'étudier les rythmes nycthéméraux éventuels.

Le tableau I récapitule le nombre de prélèvements zooplanctoniques et suprabenthiques réalisés de 1994 à 1998 servant de support à ce travail. Ainsi depuis 1994, de l'ordre de 1000 échantillons ont été prélevés en 75 jours de mer et analysés pour ce travail.

### Localisation des stations d'étude

Les stations d'échantillonnage s'échelonnent des eaux marines de la baie jusqu'aux eaux douces du fleuve. Pour les campagnes 2 à 16 (1994, 1995 et 1997), les positions des stations ont été choisies en fonction de la salinité en respectant des prélèvements approximativement dans les zones de salinité suivante : 20 - 15 - 10 - 5 - 2 - 0.

La station la plus en aval se localise en baie de Seine (février 1995 : 49°27'290N/0°05'850W), la station la plus amont est située dans la partie fluviale de la Seine (49°26'318N/0°38'077E).

Lors des campagnes de 1997 et 1998, des stations d'échantillonnage ont été fixées sans tenir compte de la salinité. Ainsi les prélèvements ont été effectués, en 1997, au niveau de quatre stations : Bouée 20 (49°25'950N/0°13'680E), Bouée 26 (Pont de Normandie ; 49°26'/0°18'E), Bouée 32 (49°26'600N/0°23'700E) et station PT (Pont de Tancarville ; 49°28'300N/0°26'650E). Les cycles de 24 heures ont été faits en amont du Pont de Normandie soit à la bouée 26 ou la bouée 32 (Figure 1).

## LE MESOZOOPLANKTON

Avant le lancement du programme Seine Aval, la communauté mésozooplanctonique de la baie et de l'estuaire de la Seine n'avait pas fait l'objet d'études complètes. Seuls quelques travaux sur le zooplancton de la baie de Seine avaient été réalisés (Seguin, 1976 ; Wang *et al.*, 1994). La mise en place du programme Seine Aval à partir de 1993 lors de la campagne pré-Seine Aval a permis de combler ce déficit de connaissances sur le zooplancton estuarien.

Le copépode calanoïde *Eurytemora affinis* domine fortement la communauté mésozooplanctonique de l'estuaire puisque celui-ci peut représenter, en terme de densité, entre 50 et 100% du mésozooplancton aussi bien en zone mésohaline qu'en zone oligohaline. Ce copépode étant par conséquent un maillon essentiel de l'écosystème estuarien de la Seine, il était indispensable d'y consacrer une étude particulière. Les différentes stratégies d'échantillonnage d'*Eurytemora affinis* ont permis d'étudier de façon approfondie sa distribution, sa dynamique annuelle et printanière et d'estimer sa production secondaire.

### Composition faunistique

Cinquante sept taxa ou espèces mésozooplanctoniques ont été répertoriés depuis les eaux marines de la baie de Seine jusqu'aux eaux douces du fleuve, répartis en 33 taxa de cladocères et 21 taxa ou espèces de copépodes ; des espèces de méduses (indéterminées), l'appendiculaire *Oikopleura dioica* et les larves de cirripèdes ont également été observés.

Les espèces estuariennes ou dulçaquicoles dominent largement la communauté de cladocères (30 taxa ou espèces) avec notamment la dominance des espèces des genres *Bosmina* spp. et *Daphnia* spp. Seulement trois taxa d'affinité marine (*Evadne nordmanni*, *E. spinifera* et *Podon* spp.) ont été recensés dans la zone estuarienne prospectée.

Pour les copépodes, les différents taxa se répartissent dans les trois principaux groupes de copépodes (calanoïdes, cyclopoïdes et harpacticoïdes). Les calanoïdes, avec 13 espèces déterminées représentent le groupe majoritaire dominé par 11 espèces néritiques côtières comme les espèces du genre *Acartia*, *Centropages* ou encore *Temora longicornis* ; une espèce typiquement estuarienne, *Eurytemora affinis*, et un taxon d'eau douce (*Diaptomus* spp.) sont également recensés. Les harpacticoïdes (cinq taxa) sont essentiellement représentés par des espèces marines.

Les cyclopoides, avec trois espèces, sont faiblement représentés ; deux taxa marins et une espèce d'eau douce dominante *Acartocyclops robustus* ont été identifiés.

La composition faunistique du maillon mésozooplanctonique de l'estuaire de la Seine est similaire à celle rencontrée dans d'autres estuaires européens (Heerebout, 1974 ; Castel, 1984 ; Rijstenbil *et al.*, 1993 ; Bakker, 1994 ; Bamber & Henderson, 1994). La dominance en nombre d'espèces des copépodes calanoïdes des genres *Acartia*, *Calanus* (*Pseudocalanus* et *Paracalanus*), *Centropages*, *Eurytemora* ou *Temora* est d'ailleurs une constance de l'ensemble des estuaires tempérés et boréaux (Bousfield *et al.*, 1975 ; Holt & Strawn, 1983 ; Vecchione, 1989). Les espèces marines comme l'appendiculaire *Oikopleura dioica* et les larves de cirripèdes sont également recensées dans la communauté mésozooplanctonique dans différents estuaires où les études ont été faites sur tout le gradient de salinité (Kimmerer, 1993) comme il a été réalisé en estuaire de Seine.

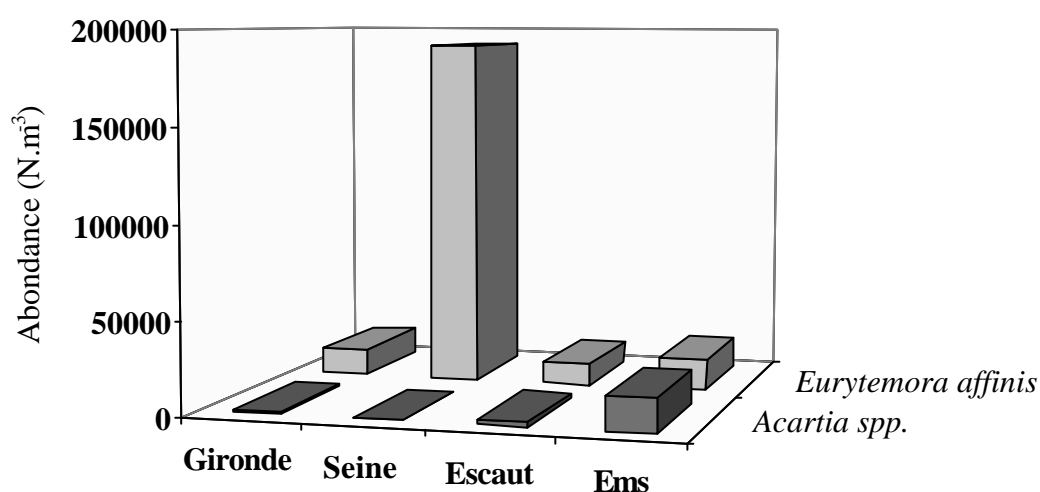


Figure 2. Comparaison des densités printanières maximales des copépodes calanoïdes *Acartia* spp. et *Eurytemora* affinis dans quatre grands estuaires nord-européens. Gironde, Escaut et Ems : Sautour *et al.*, 1995 ; Seine : présente étude.

La communauté mésozooplanctonique de l'estuaire de la Seine, bien que semblable à celle des autres estuaires nord-européens avec la dominance des copépodes calanoïdes des genres *Acartia* et *Eurytemora*, se singularise par de fortes densités printanière du mésozooplancton dans la zone de salinité inférieure à 18,0 P.S.U. (Figure 2). Ces fortes abondances du mésozooplancton

caractéristiques de l'estuaire de Seine sont dues aux très fortes densités du copépode majoritaire *E. affinis*.

### **Structure spatiale de la communauté**

La communauté zooplanctonique est relativement riche en espèces dans la partie aval de l'estuaire avec la présence de nombreuses espèces marines qui pénètrent peu dans l'estuaire de la Seine (uniquement dans la partie aval de l'estuaire : zones polyhaline et mésohaline). Les intrusions de ces espèces, observées dans la zone amont, sont sporadiques et souvent liées à leur période de forte abondance en baie de Seine permettant un accroissement de leur aire de répartition, mais également dues à l'advection tidale qui induit une pénétration des eaux marines de la baie au cours des périodes de flot. L'estuaire de la Seine présente une simplification de la communauté zooplanctonique de l'aval vers l'amont avec réduction importante du nombre des espèces et dominance progressive du copépode *Eurytemora affinis* à partir de la zone mésohaline. Les densités totales, avec des valeurs maximales en avril et juin, sont sous l'influence du copépode *Eurytemora affinis* dont les périodes de fortes densités sont les mêmes ; les espèces marines et dulçaquicoles colonisent respectivement les zones aval et amont de l'estuaire plus tardivement dans l'année (fin de printemps et été) du fait de l'étalement de leur répartition par augmentation de leurs densités.

Cette structuration aval-amont de la communauté mésozooplanctonique de l'estuaire de la Seine est présente aussi bien au niveau qualitatif (nombre et type d'espèces) qu'au niveau quantitatif. La distribution longitudinale du plancton, dans l'estuaire de la Seine, est sous l'influence du gradient de salinité qui fait apparaître une succession d'espèces avec des espèces marines localisées dans la partie aval de l'estuaire, caractérisée par des densités zooplanctoniques peu élevées ; les espèces d'origine fluviale ainsi que le copépode *E. affinis* se localisent dans la partie amont de l'estuaire (zone oligohaline) caractérisée par les plus fortes abondances du mésozooplancton en estuaire de Seine. D'autre part, les autres facteurs environnementaux étudiés (notamment turbidité et oxygène dissous) ne sont pas déterminant dans la structuration spatiale du mésozooplancton en estuaire de Seine.

### **Evolution temporelle de la communauté**

### a- Evolution journalière

L'analyse des cycles journaliers (février et septembre 1995) permet de mettre en évidence les rythmes tidaux de la communauté mésozooplanctonique de l'estuaire de la Seine (Figure 3). Deux types d'évolutions journalières apparaissent avec d'une part des espèces d'origine dulçaquicole (cladocères *Bosmina* et *Daphnia* spp. et les copépodes *Eurytemora affinis* et *Acartocyclops robustus*) qui présentent leurs plus fortes abondances, au niveau du Pont de Normandie (partie moyenne de l'estuaire) lors du passage des masses d'eau de faible salinité et d'autre part les espèces d'origine marine comme les copépodes du genre *Acartia* lesquelles sont observées, à la station Pont de Normandie, au niveau des masses d'eau de salinité les plus fortes. En conséquence, au cours d'une journée (2 pleines mers et 2 basses mers) il apparaît, dans la partie moyenne de l'estuaire, une succession d'espèces en fonction du rythme tidal ; les espèces de la partie amont de l'estuaire sont observées pendant les périodes de jusant et de basse mer dans la masse de surface (eau douce du fleuve s'écoulant vers la baie) tandis que les espèces marines (localisées dans la partie aval de l'estuaire) ne sont présentes qu'en fin de flot et pleine mer dans la colonne d'eau (pénétration de la masse d'eau marine par le fond) (Figure 3.).

### b- Evolution annuelle

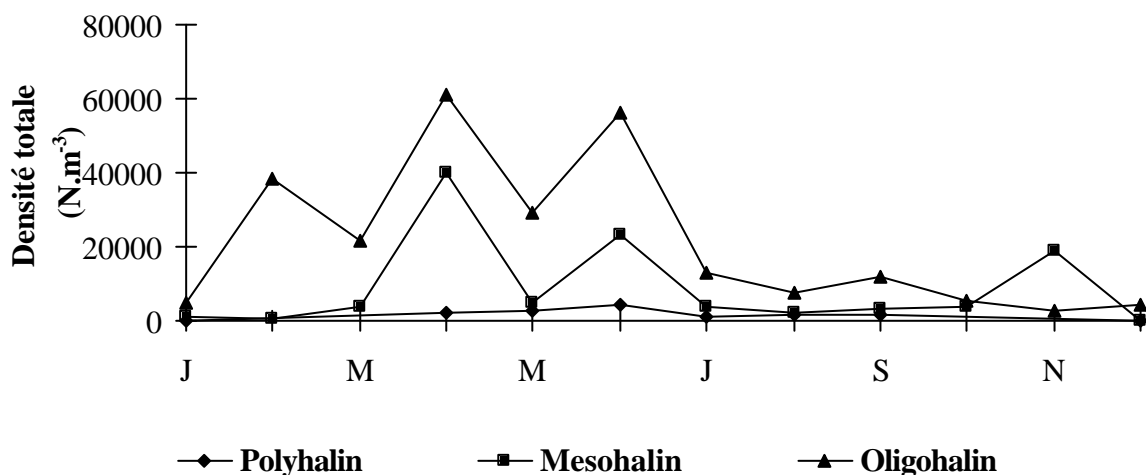


Figure 4. Evolution annuelle des densités totales mésozooplanctoniques de l'estuaire de la Seine, au cours de l'année 1996 dans trois zones de salinités différentes (Zone polyhaline :  $S > 18,0$  P.S.U. ; Zone mésohaline :  $18,0 < S < 5,0$  P.S.U. et Zone oligohaline :  $5,0 \text{ P.S.U.} < S$ ). Densité totale : moyenne des densités des stations localisées dans chaque zone

La communauté mésozooplanctonique de l'estuaire de la Seine présente deux pics de fortes abondances en avril (période de densité maximale) et en juin aussi bien en zone mésohaline qu'en zone oligohaline (zone caractérisée par des densités toujours les plus fortes le long du gradient de salinité) (Figure 4). Cette période printanière de maximum de densité de la communauté zooplanctonique en estuaire de Seine est identique à ce que l'on observe dans les systèmes estuariens nord européens (Baretta & Malschaert, 1988 ; Irigoien, 1994). Néanmoins, l'estuaire de la Seine diffère des autres systèmes estuariens cités par des densités maximales printanières beaucoup plus élevées sauf en zone polyhaline où les abondances maximales annuelles de la communauté mésozooplanctonique de l'estuaire sont parmi les plus faibles des différents estuaires présentés.

Cette évolution annuelle de la densité totale mésozooplanctonique dans les différentes zones de l'estuaire de la Seine reflète celle des espèces principales de cette communauté comme les copépodes du genre *Acartia* et *Eurytemora*. Ainsi, les abondances maximales annuelles enregistrées en juin en zone polyhaline sont principalement dues aux copépodes *Acartia* spp. et *Temora longicornis* qui sont présents en abondance dans l'estuaire durant cette période. Ces deux genres de copépodes présentent également des abondances nettement plus fortes en zone mésohaline, en fin de printemps et début d'été, indiquant une colonisation importante de la partie aval de l'estuaire lors de leur période de recrutement. Le pic de maximum d'abondance d'*Acartia* spp. en estuaire de Seine est identique aux périodes de fortes abondances de ce copépode en Gironde où le premier pic de maximum est observé en juillet en raison de l'abondance du copépode *Acartia bifilosa* (Irigoien, 1994). Un deuxième pic de fortes densités est également enregistré en Gironde correspondant à la période de recrutement du copépode *Acartia tonsa*. Cette succession des espèces du genre *Acartia*, qui est observée en estuaire de Gironde, pourrait également exister en Seine et expliquer la présence des différents pics d'abondances maximales observés avec une succession d'espèces du genre *Acartia*. Seule une identification précise des espèces pourrait renseigner cette hypothèse.

### **c- Evolution, dynamique et production du copépode *Eurytemora affinis***

L'évolution annuelle du copépode *Eurytemora affinis* a été étudiée en 1996 à partir d'un échantillonnage mensuel. Ce suivi annuel a permis de cibler de façon précise la période d'abondance maximale d'*Eurytemora affinis* qui est observée au printemps et début d'été (avril, mai et juin).

Afin de faire une étude précise de l'évolution d'*Eurytemora affinis* durant sa période de maximum d'abondance, des prélèvements décennaux à quatre stations (Bouées 20, 26, 32 et Pont de Tancarville) ont été réalisés entre la mi-mars et la mi-juin 1997 en différenciant tous les stades composant la population du copépode (nauplii, copépodites et adultes).

A partir de ces prélèvements, une tentative de détermination du nombre de générations (assimilés à une augmentation d'effectif par recrutement) présentes dans l'estuaire de la Seine pendant la période printanière a été entreprise. En Seine, bien que la lecture de l'évolution temporelle des abondances du copépode soit délicate du fait de la reproduction quasi continue et des éventuels déplacements de l'amont vers l'aval et réciproquement du copépode, on observe la présence d'au moins quatre générations successives d'*E. affinis* pendant la période printanière (Figure 5) ; le laps de temps entre le maximum de CI et d'adultes est de l'ordre de 30 jours en début de printemps et d'une dizaine de jour en fin de printemps (juin) où l'augmentation de température permet un développement plus rapide des stades.

Le calcul de la production secondaire d'*E. affinis* pendant la période de maximum d'abondance (printemps) a été réalisé en utilisant la méthode de Heinle (1966). Les valeurs de production printanière observées en estuaire de Seine sont du même ordre de grandeur que celles enregistrées en estuaire de Gironde (Feurtet, 1989), où la production du copépode en avril est de l'ordre de  $38,5 \text{ mg.m}^{-3}.\text{j}^{-1}$  (le 10/04) pour  $37,9 \text{ mg.m}^{-3}.\text{j}^{-1}$  en estuaire de Seine (le 8/04) à  $42,6 \text{ mg.m}^{-3}.\text{j}^{-1}$  (le 29/04) contre  $46,2 \text{ mg.m}^{-3}.\text{j}^{-1}$  en estuaire de Seine le 30 avril (utilisation du même modèle).

En conclusion, *E. affinis* présente, au cours de l'année, une période de fortes densités et production au printemps (de mars à juin) qui correspond à la période de reproduction intense avec les densités maximales en femelles ovigères dans la population. Durant cette période printanière, quatre générations sont mises en évidence bien que les interprétations des résultats soient délicates du fait de la reproduction quasi continue d'*E. affinis*.

## LE SUPRABENTHOS

La mise en place du programme Seine-Aval en 1993 et les travaux qui ont été entrepris de 1994 à 1998 ont permis de combler le déficit de connaissances sur les compartiments biologiques de l'estuaire de la Seine comme le suprabenthos dont les études avaient surtout porté sur la partie aval de l'estuaire (Wang *et al.*, 1994) et sur la baie de Seine (Vallet, 1997). L'utilisation du traîneau suprabenthique Macer-GIROQ modifié (Dauvin & Lorgeré, 1989) permet d'échantillonner la faune démersale entre 0,10 et 1,45 m du fond. Cette faune est composée du suprabenthos mais également d'autres espèces appartenant soit au macrozooplancton comme les larves de poissons et les larves de décapodes, soit au necton comme la majorité des poissons prélevés, soit enfin au mésozooplancton comme les copépodes qui sont cependant mal échantillonnés avec le traîneau compte tenu de l'utilisation d'un filet de 500  $\mu\text{m}$  ; cette dernière catégorie ne sera donc pas étudiée dans cette partie.

### Composition faunistique

Soixante treize taxa ont été recensés dans la zone prospectée, dont 19 appartiennent à l'ichtyofaune, 11 au macrozooplancton dont le cténaire *Pleurobrachia pileus*, les chaetognathes et les larves de poissons clupéidés et gobiidés et 48 taxa suprabenthiques. Les espèces suprabenthiques récoltées sont principalement des amphipodes (19 taxa) dominant en terme de nombre d'espèces, des isopodes (trois taxa), des mysidacés (huit taxa), des décapodes (10 taxa), des cumacés (six taxa). Il est à noter que les deux espèces de poissons gobiidés *Pomatoschistus microps* et *P. minutus*, de part leur comportement et leur localisation dans la couche d'eau au dessus du fond, ont été classés dans le suprabenthos.

La composition faunistique de la faune démersale de l'estuaire de la Seine bien que comparable à celles observées dans les autres grands estuaires nord européens comme dans l'Ems, l'Escaut et la Gironde (Mees, 1994) se singularise par de très fortes abondances du mysidacé *Neomysis integer* et du décapode *Palaemon longirostris* qui dominent cette communauté en estuaire de Seine notamment au printemps.

### Structure spatiale de la communauté

De fortes densités totales sont enregistrées aussi bien dans la zone oligohaline (salinité de surface comprise entre 0,0 et 5,0 P.S.U.) que dans la zone mésohaline (salinité de surface comprise entre 5,0 et 18,0 P.S.U.) (Figure 6). Le mysidacé *Neomysis integer*, dont les densités au cours de l'année influencent directement les densités totales observées, présente la même structure longitudinale avec une forte présence dans les eaux douces (partie amont) jusqu'aux eaux de salinités de fond de l'ordre de 25,0 P.S.U.

Il existe, pour les principales espèces suprabenthiques de l'estuaire de la Seine, trois schémas de structure longitudinale ; i) les espèces d'affinité marine (*Mesopodopsis slabberi*, *Crangon crangon* et *Pomatoschistus minutus*) étant abondantes dans la partie moyenne de l'estuaire (salinité de fond entre 8,0 et 25,0 P.S.U.) ; ii) les deux espèces caractéristiques de la zone amont (*Palaemon longirostris* et *P. microps*) ne pénétrant quasiment pas dans la partie la plus salée de l'estuaire tandis que iii) le mysidacé *Neomysis integer*, qui est une espèce euryhaline, colonisant tout l'estuaire.

On peut également déduire qu'il existe, d'après les différents résultats obtenus sur les répartitions des espèces suprabenthiques en estuaire de Seine, une seule communauté suprabenthique typiquement estuarienne composée du mysidacé *Neomysis integer*, du décapode *Palaemon longirostris* et du gobiidé *Pomatoschistus microps*. Ces trois espèces sont une constante dans tous les prélèvements effectués en estuaire de Seine au cours des campagnes réalisées pour ce travail.

La répartition des espèces démersales en estuaire de Seine est principalement liée au gradient de salinité. La turbidité ne semble jouer qu'un rôle indirect sur la répartition des espèces estuariennes. L'accumulation d'un certain nombre de taxons zooplanctoniques (notamment le copépode *Eurytemora affinis*) à proximité du bouchon vaseux, du fait des mêmes mécanismes hydrodynamiques de rétention, fait de cette zone de maximum de turbidité une zone trophique favorable pour les espèces suprabenthiques estuariennes. En effet, ces espèces (*Neomysis integer*, *Palaemon longirostris* et *Pomatoschistus microps* principalement) peuvent ainsi trouver une quantité importante de matière organique et de proies couvrant leurs besoins nutritionnels. Cette zone de maximum de turbidité est une zone qui assure alors un réseau très productif dans la partie moyenne de l'estuaire de la Seine. Les espèces marines pénètrent dans la partie interne de l'estuaire

(zone mésohaline) au printemps et en été afin de trouver des conditions favorables au développement des juvéniles qui trouvent ainsi dans l'estuaire des sources nutritionnelles abondantes (grande densité de copépodes).

## **Evolution temporelle de la communauté**

### **a- Evolution journalière**

L'analyse du suivi de 24h de septembre 1995 montre, pour les espèces étudiées, une évolution journalière de leurs abondances en fonction du rythme tidal (pleine mer / basse mer) et de l'alternance jour/nuit. Lors d'un cycle journalier, les espèces démersales présentent des évolutions en relation avec les rythmes tidaux et nycthéméraux (Figure 7). D'une part, ces espèces colonisent toute la colonne d'eau la nuit et reviennent vers le fond le jour. D'autre part, les espèces marines sont présentes à la station Pont de Normandie (Bouée 26) au moment des pleines mers alors que les espèces de la zone amont de l'estuaire n'apparaissent, à cette station, qu'au moment des périodes de basses mers. De plus, les pics d'abondance de ces différentes espèces, enregistrés au cours d'un cycle journalier à la station Pont de Normandie, sont dus au passage du centre de masse des populations suprabenthiques de la zone salée lors du flot et de la pleine mer et de la zone oligohaline de l'estuaire lors du jusant et de la basse mer.

De nombreuses études sur le suprabenthos ont permis de mettre en évidence de telles évolutions journalières en relation avec les rythmes nycthéméraux comme chez les isopodes, les amphipodes ou encore les décapodes (Macquart-Moulin, 1976 ; Fincham & Furlong, 1984 ; Vallet, 1997). Toutes ces études montrent une colonisation de la colonne d'eau par le suprabenthos pendant la nuit puis un retour vers le fond pendant les périodes diurnes. Dans les systèmes estuariens, le couplage rythme journalier et rythme tidal devient important comme l'ont montré Hough & Naylor (1992) concluant que notamment les mysidacés sont fortement influencés par ce couplage. En estuaire de Seine, il semble que le rythme tidal soit prépondérant avec des espèces plus dépendantes des cycles basse mer/pleine mer que de l'alternance jour/nuit. De plus, les abondances généralement plus fortes observées dans le filet supérieur du traîneau suggèrent un certain évitement de la zone en contact avec le fond (filet inférieur F1) où les courants provoquent de fortes remises en suspension susceptibles de gêner les espèces tant pour la nage que pour la nutrition.

## **b- Evolution annuelle**

En terme de richesse spécifique, la communauté suprabenthique de l'estuaire de la Seine présente deux types d'évolution au cours d'un cycle annuel. Le schéma le plus couramment observé tout au long de l'année se caractérise par une diminution progressive du nombre d'espèces de l'aval vers l'amont. La forte richesse spécifique observée dans la zone aval est liée à la présence de nombreuses espèces d'amphipodes (gammaridés par exemple) et de mysidacés (*Gastrosaccus spinifer* et *Schistomysis* spp.) communes en baie de Seine (Vallet, 1997). En revanche, seulement quelques espèces (*Neomysis integer*, *Palaemon longirostris* et *Pomatoschistus microps* notamment) sont adaptées aux conditions relativement difficiles de la partie amont de l'estuaire (forte turbidité, dessalure). En fait, cette décroissance est principalement due à une monotonisation de la communauté en pénétrant dans l'estuaire. Les principales causes de ce phénomène sont d'une part la dessalure et d'autre part les aménagements de l'estuaire interne. En effet, la dessalure a créé un appauvrissement en espèces, les espèces marines supportant difficilement les variations importantes de salinité. Les aménagements de l'estuaire sont également sans doute responsables de cette réduction d'espèces ; en effet, il est probable que le dragage régulier du chenal de navigation empêche toute colonisation de l'estuaire moyen par les amphipodes (nombreux dans la partie aval, dans les sédiments sablo-vaseux) par exemple (Mouny *et al.*, 1998). Au printemps, l'augmentation du nombre d'espèces suprabenthiques dans la partie moyenne de l'estuaire traduit en fait la pénétration d'espèces euryhalines (localisées dans la baie de Seine et dans la zone aval de l'estuaire) comme les décapodes (*Crangon crangon*, *Carcinus maenas*) et les mysidacés (*Anchialina agilis*, *Gastrosaccus spinifer*, *Mesopodopsis slabberi* et *Schistomysis* spp.), phénomènes également observés dans l'Ems (Mees, 1994). Cette intrusion d'espèces d'affinité marine dans la partie moyenne de l'estuaire peut s'expliquer par la présence pendant cette période de très fortes abondances de copépodes et autres sources nutritionnelles.

En terme de densités, le mysidacé *Neomysis integer* domine nettement la communauté suprabenthique tout au long de l'année excepté en février et novembre où le décapode *Palaemon longirostris* devient dominant dans la communauté (Tableau II). Une co-dominance des deux mysidacés principaux (*Neomysis integer* et *Mesopodopsis slabberi*) est également observée dans l'estuaire en mars. De plus, les espèces suprabenthiques dominant largement dans l'estuaire de la Seine (en terme d'abondance) tout au long de l'année. Toutefois, le macrozooplancton est plus représentatif au printemps (mai et juin) avec la présence et la pénétration dans la partie aval de

l'estuaire du cténaire *Pleurobrachia pileus*. Les espèces suprabenthiques présentent en général leurs plus fortes abondances dans l'estuaire de la Seine pendant la période de fin de printemps et d'été comme le mysidacé *Neomysis integer* qui présente ces plus fortes abondances dans l'estuaire pendant l'été (juin, juillet et août).

Au cours du suivi annuel de 1996, cinq cohortes du mysidacé *Neomysis integer* sont identifiées. La première et la deuxième cohorte correspondent à la classe de 1995 et sont à l'origine du recrutement printanier en 1996 ; ces deux cohortes ( $C_2$  1995 et  $C_3$  1995) donnent naissance à la première cohorte de 1996 ( $C_1$  1996) (Figure 8.). Cette première cohorte de 1996 ainsi que la dernière cohorte de 1995 ( $C_3$  1995) sont à l'origine de l'apparition de la deuxième cohorte de 1996 ( $C_2$  1996) qui elle même donnera naissance à la troisième cohorte de 1996 ( $C_3$  1996). En fait, les trois cohortes de 1996, représentent trois phases de recrutement de *Neomysis integer* qui se caractérise donc par trois générations au cours de l'année avec un recrutement en avril, juin et septembre. Mauchline (1971a) sur les côtes ouest écossaises et Mees (1994) dans l'Escaut ont également mis en évidence trois générations annuelles du mysidacé *Neomysis integer*. De plus, comme dans l'Escaut (Mees, 1994), *Neomysis integer* ne semble pas se reproduire pendant la période hivernale (faible proportion de femelles ovigères) ; la phase de reproduction apparaît au printemps dès l'augmentation de température de l'eau à partir des individus ayant hiverné devenus matures.

Les gobiidés *P. microps* et *P. minutus* présentent une période de recrutement pendant la période estivale (Figure 8). Le devenir des larves de gobiidés observées en septembre est difficilement interprétable. En effet, ces juvéniles disparaissent rapidement de la population de dès octobre. La «disparition» de ces juvéniles pourrait être due à des migrations dans la zone aval notamment, ces larves pouvant être des larves soit de *P. minutus* soit de *P. microps* ou d'un autre gobiidé de la baie de Seine dont la phase adulte serait absente dans l'estuaire de la Seine.

Pour le décapode *Palaemon longirostris*, deux classes d'âge peuvent être distinguées au cours de l'année (Figure 8). La première classe d'âge 1995, est observée en début d'année et peut être identifiée jusqu'en octobre 1996. Cette classe 1995 est à l'origine du recrutement estival (août) mis en évidence par l'apparition de jeunes stades de *Palaemon longirostris* dans la population (taille comprise entre 3 et 25 mm). Après la période de recrutement, les individus de la classe annuelle précédente disparaissent de l'estuaire soit par mortalité soit par migration dans des zones

non échantillonnées. L'absence ou la faible importance des très jeunes stades de *Palaemon longirostris*, identifiés uniquement en juillet et en août, dans les prélèvements est difficile à expliquer. De nombreuses auteurs suggèrent la localisation de ces stades au niveau des rives et des chenaux, où les contraintes de courant sont beaucoup moins fortes (par exemple Sorbe, 1983 en estuaire de Gironde) ou dans la partie la plus amont des estuaires [Figueras, 1987 dans l'estuaire de Vigo (Espagne)]. D'autres suggèrent enfin une éclosion des oeufs synchronisée avec les périodes de jusant afin de maximiser l'exportation des larves vers la partie aval de l'estuaire favorable au développement des jeunes stades (Fincham & Furlong, 1984).

## LE RESEAU TROPHIQUE DE L'ESTUAIRE SALE

La mise en place du réseau trophique a été réalisée à partir de l'étude des régimes alimentaires des gobiidés *Pomatoschistus microps* et *P. minutus* ainsi que du décapode *Palaemon longirostris* dans la zone dite de l'estuaire salé. De plus, afin de compléter ce réseau trophique, les travaux réalisés (HPLC, analyses biochimiques) par le laboratoire ELICO (Université de Lille 1 et Université du Littoral) sur le régime alimentaire d'*Eurytemora affinis* en estuaire de Seine (Beghin *et al.*, 1998 ; Cotonec *et al.*, 1998) mais également celles réalisées par la CSLHN sur le régime alimentaire des bars et des flets en estuaire (Bessineton *et al.*, 1998) ont été intégrés ainsi que les données tirées de la bibliographie concernant le régime alimentaire des espèces non étudiées dans ce travail : *Neomysis integer* et *Crangon crangon*.

Les trois espèces suprabenthiques étudiées, *Palaemon longirostris*, *Pomatoschistus microps* et *P. minutus*, présentent dans cette zone de l'estuaire un régime alimentaire basé sur des organismes pélagiques avec une prédominance du copépode *Eurytemora affinis*. Ce réseau trophique exclusivement pélagique est également une des particularités de la partie chenalisée de l'estuaire de la Seine qui se singularise des autres estuaires comme la Loire, la Gironde ou l'Escaut où la part du macrozoobenthos dans le réseau trophique peut être importante. Ceci est sans doute dû au dragage continu de cette partie de l'estuaire limitant fortement la colonisation du milieu par le benthos. Plus en aval, dans la zone d'embouchure et dans les deux fosses nord et sud de l'estuaire, les peuplements macrozoobenthiques intertidaux et subtidaux sont très riches (Desprez, 1981 ; Mouny *et al.*, 1998) à l'inverse de la communauté pélagique. L'alimentation des maillons supérieurs du réseau trophique est dans ces conditions différente de celle rencontrée plus en aval comme le souligne Bessineton *et al.* (1998) pour les flets (*Platichthys flesus*) et les bars (*Dicentrarchus labrax*) dont le régime alimentaire présente une composante benthique importante (benthos intertidal et subtidal) avec notamment des annélides (*Pectinaria koreni*, *Lanice conchilega*, *Nephtys* spp. ou encore *Owenia fusiformis*) et des bivalves (*Macoma balthica*, *Abra alba*). Ces deux poissons montrent néanmoins un régime alimentaire à tendance pélagique lorsque ceux-ci sont localisés dans la zone oligohaline de l'estuaire.

L'analyse des contenus stomacaux d'*Eurytemora affinis* récoltés pendant la période printanière, basée sur la détermination et la quantification des composés lipidiques du bol alimentaire, ont montré qu'une part importante du phytoplancton était ingérée par *Eurytemora affinis* comme le démontre la présence d'acides gras polyinsaturés d'origine phytoplanctonique dans les copépodes (Beghin *et al.*, 1998). En revanche, l'absence de marqueurs de particules détritiques d'origine terrigène ou fécale (acides gras et stérols) indiquent que les copépodes ne se nourrissent probablement pas sur ce compartiment détritique. De même, par cette approche analytique, une faible proportion d'acides gras bactériens est détectée ce qui indiquerait que les bactéries hétérotrophes associées aux particules détritiques ne sont qu'une source accessoire de nourriture pour *Eurytemora affinis*. En complément à ces analyses des marqueurs biochimiques, une analyse des marqueurs pigmentaires phytoplanctoniques a été réalisée (Cottonnec *et al.*, 1998). Ainsi, d'après ces analyses, il apparaît qu'*Eurytemora affinis* se nourrit de diatomées et de chlorophycées voire de cyanophycées. De plus, la comparaison des cortèges pigmentaires du pool nutritif et des copépodes a mis en évidence une sélectivité des particules phytoplanctoniques par les copépodes. Les jeunes stades d'*Eurytemora affinis* consomment préférentiellement des cryptophycées et des diatomophycées alors que les stades âgés se nourrissent plus de cyanobactéries et diatomophycées. De plus, ces analyses ont montré que les jeunes stades couvrent leurs besoins nutritionnels par le broutage du phytoplancton (régime herbivore préférentiel) tandis que ce phytoplancton ne peut supporter à lui seul les besoins des stades âgés. Afin de couvrir tous leurs besoins, ces stades âgés d'*Eurytemora affinis* se nourriraient sur un autre maillon notamment des bactéries hétérotrophes et des ciliés conférant à ces stades un régime alimentaire à tendance omnivore. Ces différents résultats rejoignent ceux de Gasparini (1997) qui a montré le rôle important du phytoplancton et de la boucle microbienne dans l'alimentation d'*Eurytemora affinis* en estuaire de Gironde. Ces deux entités sont plus ou moins importantes dans le régime alimentaire du copépode en fonction de la teneur en M.E.S. du milieu : fortes teneurs en M.E.S., régime alimentaire basé sur la boucle microbienne, faibles teneurs en M.E.S., régime alimentaire basé sur la production phytoplanctonique.

Des compléments sur le régime alimentaire du décapode *Palaemon longirostris*, par analyse des marqueurs biochimiques, ont permis de compléter les analyses par binoculaire (Beghin *et al.*, 1998). Ainsi, le rapport C/N et la proportion de cholestérol, des contenus stomacaux des crevettes, proche de ceux du copépode *Eurytemora affinis* suggèrent que ces crevettes se nourrissent essentiellement de copépodes, la présence de marqueurs phytoplanctoniques détectés

étant liés au bol alimentaire des copépodes ingérés. Les crevettes ne semblent pas, en revanche, ingérer de particules détritiques d'origine terrigène, fécale ou algale. En synthèse, la figure 9 présente un réseau trophique simplifié de la zone oligohaline de l'estuaire, élaboré à partir des travaux réalisés sur le réseau trophique par les différents laboratoires impliqués dans le thème Edifices Biologiques du programme Seine Aval. Celui-ci montre d'une part que le copépode majoritaire de l'estuaire de la Seine, *Eurytemora affinis*, est au centre du réseau ; les fortes abondances de ce copépode permettent de supporter les pressions de prédatrices multiples dans l'estuaire notamment au printemps. L'importance de ce copépode dans le réseau trophique de cette zone de l'estuaire de la Seine, confère à ce réseau trophique une particularité par rapport aux autres grands estuaires nord européens (Gironde et Loire par exemple) puisque celui-ci est totalement tributaire du pelagos même pour des espèces de poissons aux préférences alimentaires benthiques comme les flets et les gobiidés notamment. Cette particularité est en fait une adaptation aux conditions environnementales et anthropiques qui ont conduit à une disparition du maillon benthique dans la zone étudiée et met également en évidence les facultés d'adaptation des espèces prédatrices (poissons, décapodes) de l'estuaire de la Seine afin d'utiliser au maximum les ressources disponibles.

L'établissement d'un tel réseau trophique est une étape importante dans la démarche scientifique du thème Edifices Biologiques du programme Seine Aval puisque celui-ci est indispensable à de nombreuses équipes étudiant, plus particulièrement, les taux de contaminations en PCB et en métaux dans les différents maillons biologiques de l'estuaire ainsi que le cheminement et les éventuelles bioaccumulations de ces contaminants dans le réseau trophique.

## CONCLUSIONS

Ce travail a permis de mettre en évidence les structures spatiales et temporelles des deux communautés étudiées : le mésozooplancton et le suprabenthos. Au niveau spatial, ces deux communautés de l'estuaire de la Seine présentent une structure longitudinale en fonction du gradient halin (Figure 10). La zone polyhaline (salinité de surface comprise entre 18,0 P.S.U. et 30,0 P.S.U.) est surtout dominée par les espèces marines vivant en baie de Seine. La zone oligohaline, caractérisant la partie amont de l'estuaire salé (salinité de surface inférieur à 5,0 P.S.U.), est dominée par seulement quatre espèces qui y présentent en général leur maximum d'abondance : le copépode *Eurytemora affinis* qui représente dans cette zone jusqu'à 95 % de la biomasse zooplanctonique, le mysidacé *Neomysis integer*, le décapode *Palaemon longirostris* et le gobiidé *Pomatoschistus microps*. La zone de transition ou zone mésohaline, où les salinités de surfaces sont comprises entre 18,0 et 5,0 P.S.U., est caractérisée par les espèces présentes dans les zones soit aval soit amont dont l'aire de répartition est plus ou moins large (copépodes *Acartia* spp. et *E. affinis*, mysidacés *N. integer* et *Mesopodopsis slabberi*, décapode *Crangon crangon*). Contrairement aux autres estuaires nord européens, le mésozooplancton de l'estuaire de la Seine se caractérise par une pénétration importante des espèces marines dans la partie dessalée de l'estuaire ainsi que d'une forte présence d'espèces dulçaquicoles dans des eaux de salinité de l'ordre de 3-5 (Figure 10). Ces intrusions importantes d'espèces marines en zone amont et dulçaquicoles en zone aval sont à mettre en relation avec la morphologie de l'estuaire ; la faible surface ainsi que la chenalisation de l'estuaire favorisant ces phénomènes.

Comme il a été souligné régulièrement dans cette étude, la salinité est le facteur environnemental prépondérant dans la structuration des communautés biologiques de l'estuaire de la Seine. Toutefois, la turbidité et principalement la zone de maximum de turbidité (bouchon vaseux) reste un facteur non négligeable. En effet, il apparaît, d'après les différentes études réalisées sur le mésozooplancton et le suprabenthos, des relations entre la répartition des espèces et celle du bouchon vaseux dans l'estuaire. Le positionnement du copépode *Eurytemora affinis* à proximité du bouchon vaseux (dans la partie amont) s'expliquerait par des mécanismes de rétention du copépode similaires à ceux des particules piégées dans ce bouchon. De ce fait, il apparaît que ce bouchon vaseux serait une zone trophique favorable pour les espèces suprabenthiques estuariennes qui y trouveraient un stock important de matière organique et de nourriture (copépodes).

Le suivi annuel des deux communautés biologiques majeures de l'estuaire de la Seine (mésozooplancton et suprabenthos) a permis de mettre en évidence les périodes de recrutement des principales espèces vivant dans la zone oligohaline de l'estuaire de la Seine. Ainsi, au printemps, cet écosystème est caractérisé par l'exubérante abondance du copépode *Eurytemora affinis* dont la période de recrutement commence en début de printemps avec l'augmentation des températures de l'eau (mars) et se poursuit jusqu'en juin au moment où les températures de l'eau deviennent limitantes pour ce copépode. Au cours de cette période printanière de recrutement et de maximum d'abondance, quatre générations successives sont observées. De même, en début de printemps, le premier recrutement du mysidacé *Neomysis integer* apparaît. Au cours de la période de reproduction intense de ce mysidacé, observée de mars à septembre, trois générations sont mises en évidence. Contrairement à *Neomysis integer*, les deux autres espèces suprabenthiques majeures de l'estuaire de la Seine présentent une période de reproduction plus tardive. Les gobiidés du genre *Pomatoschistus* montrent une période de reproduction entre mai et septembre donnant lieu à deux recrutements ; le premier de ces recrutements apparaît en fin de printemps et début d'été (mai-juin) et est à l'origine de la seule génération observée au cours de l'année pour *P. microps*. Le décapode *Palaemon longirostris* présente, quant à lui, une période relativement courte de recrutement puisque celle-ci ne dure que deux mois de juillet à août. De ce fait, et comme pour le gobiidé *P. microps*, une seule génération (une classe d'âge) est observée au cours du cycle annuel provenant du recrutement de la population de l'année précédente.

Les premiers résultats, obtenus sur les régimes alimentaires du décapode *Palaemon longirostris* et du gobiidé *Pomatoschistus microps*, ont montré une part importante du copépode *Eurytemora affinis* dans leur régime. Ce copépode est, en fait, au centre de ce réseau trophique pélagique dans la zone oligohaline de l'estuaire de la Seine et peut à certaines périodes (notamment au printemps) constituer l'unique source de nourriture pour ces espèces suprabenthiques. La contribution du benthos est quasi inexistante dans cette zone estuarienne du fait du dragage incessant de la partie chenalisée empêchant toute colonisation au fond.

En conclusion, ce travail sur les communautés mésozooplanctonique et suprabenthique de l'estuaire de la Seine fournit les premiers éléments du fonctionnement de l'écosystème estuarien de la Seine. Cet écosystème, en zone oligohaline, est ainsi centré sur le copépode dominant *Eurytemora affinis* dont les fortes densités printanières (caractérisant l'estuaire de la Seine par rapport aux autres systèmes estuariens nord européens) supportent le développement printanier et estival des

populations suprabenthiques comme celles de *Neomysis integer*, de *Palaemon longirostris* et de *P. microps*.

## PERSPECTIVES

Aux vues des différents résultats acquis au cours de la première phase du Programme Seine-Aval, plusieurs études complémentaires apparaissent nécessaires pour comprendre de façon plus précise le fonctionnement de l'estuaire de la Seine.

Au cours des tous prochains mois, une modélisation de la répartition de la population du copépode *E. affinis* va être entreprise en collaboration avec Pierre le Hir du laboratoire Ifremer DEL/EC-TP en utilisant le modèle SAM 3D afin d'étudier les mécanismes de rétention et de dispersion du copépode dans l'estuaire. D'autre part, une modélisation de la dynamique d'*E. affinis*, en collaboration avec Jean-Christophe Poggiale du C.O.M. (Université de Méditerranée) est en cours en utilisant le modèle dynamique d'Argentesi. Ces études apparaissent innovantes en terme d'écologie estuarienne puisque quasiment aucune modélisation des espèces estuariennes intégrant la physique et la biologie ont été faites jusqu'à présent.

A plus long terme, dans la prospective d'une phase 2 du programme Seine-Aval, des études complémentaire concernant le réseau trophique établi dans la partie salée de l'estuaire devront être réalisées. Ainsi, il est nécessaire d'étudier le régime alimentaire du mysidacé *Neomysis integer* (par des techniques biochimiques principalement) et du décapode *Crangon crangon*. De plus, il est impératif d'étudier le compartiment phytoplanctonique et de quantifier la production primaire estuarienne afin de voir si celle-ci peut supporter les fortes productions du copépode *E. affinis*. Cette étude du phytoplancton de l'estuaire demandera l'application de techniques différentes par rapport à celles utilisées en milieu marin du fait de l'importante masse turbide présente en estuaire et qui est susceptible de perturber les mesures. Des études systématiques permettraient, de plus, de mettre en évidence l'origine de ce phytoplancton (origine marine ou fluviale), qui doit varier au cours du cycle de marée dans la zone salée de l'estuaire (origine marine pendant le flot et fluviale pendant le jusant). Enfin, il sera important de quantifier la part des différentes sources nutritionnelles d'*E. affinis* (phytoplancton et boucle microbienne) afin de compléter le réseau trophique.

D'autre part, il sera nécessaire d'identifier les bio-marqueurs ou les bio-indicateurs biologiques d'impact anthropique dans l'estuaire de la Seine. Du fait de la forte variabilité de cet écosystème, le nombre d'espèces autochtones présentes est généralement faible alors que les

densités et biomasses peuvent être considérables. La recherche de bio-indicateurs d'impact anthropique peut se faire au travers de l'identification d'organismes cibles intéressants dont la présence ou l'absence sera le témoin d'une modification de l'écosystème (poissons migrateurs). Les modifications de la biologie des autochtones comme *Eurytemora affinis* peuvent aussi être utilisées comme bio-indicateur. Des modifications à court terme peuvent être observées : modification du métabolisme des individus. Des modifications à plus long terme, dues aux temps de génération courts du copépode ou du mysidacé *Neomysis integer*, peuvent aussi être recherchées : modification de la morphologie des individus.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Avoine, J., 1981.** L'estuaire de la Seine : sédiments et dynamique sédimentaire. Thèse de doctorat, Université de Caen, 236 pp.
- Bakker, C., 1994.** Zooplankton species composition in the Oosterschelde (SW Netherlands) before, during and after construction of a storm-surge barrier. *Hydrobiologia*, 282/283 : 117-126.
- Bamber, R.N. & Henderson, P.A., 1994.** Seasonality of caridean decapod and mysid distribution and movements within the severn Estuary and Bristol estuary. *Biol. J. Linn. Soc.*, 51 : 83-91.
- Baretta, J.W. & Malschaert, J.F.P., 1988.** Distribution and abundance of the zooplankton of the Ems estuary (North Sea). *Neth. J. Sea Res.*, 22 : 69-81.
- Beghin, V., Thoumelin, G., Bodineau, L. & Wartel, M., 1998.** Impact du pool nutritif sur les premiers maillons de la chaîne trophique par analyse de marqueurs biochimiques (acides gras et stérols). Rapport final par laboratoire du programme scientifique Seine Aval. Thème : Edifices biologiques, 120-153.
- Bousfield, E.L., Filteau, G., O'Neill, M. & Gentes, P., 1975.** Population dynamics of zooplankton in the middle St Lawrence estuary. *Estuarine Res.*, 1 : 325- 351.
- Brunel, P., Besner, M., Messier, D., Poirier, L., Granger, D. & Weinstein, M., 1978.** Le traîneau Macer-GIROQ : appareil amélioré pour l'échantillonnage quantitatif de la petite faune nageuse au voisinage du fond. *Inter. Rev. Ges. Hydrobiol.*, 63 : 815-829.
- Castel, J., 1984.** Dynamique du copépode *Eurytemora hirundoides* dans l'estuaire de la Gironde : influence du bouchon vaseux. *J. Rech. Océanogr.*, 9 : 112-114.
- Cottonnec, G., Mouny, P., Dauvin, J.C. & Sautour, B., 1998.** Broutage et sélectivité du copépode *Eurytemora affinis* sur le pool nutritif dans l'estuaire de la Seine. Rapport final par laboratoire du programme scientifique Seine Aval. Thème : Edifices biologiques, 105-119.
- Dauvin, J.C. & Lorgère, J.C., 1989.** Modifications du traîneau Macer-GIROQ pour l'amélioration de l'échantillonnage quantitatif étagé de la faune suprabenthique. *J. Rech. Océanogr. Paris*, 14 : 65-67.
- Desprez, M., 1981.** Etude du macrozoobenthos intertidal de l'estuaire de la Seine. Thèse de 3ème cycle, faculté des sciences de Rouen, 186 pp.
- Feurtet, A., 1989.** Dynamique de population, caractérisation morphologique et production secondaire d'*Eurytemora affinis hirundoides* (copépode Calanoïde) dans l'estuaire de la Gironde. Thèse de 3ème cycle, Université de Bordeaux I, 169 pp.
- Figueras, A.J., 1987.** Distribution and abundance of larvae of palaemonid prawns in the ria de Vigo, N.W. Spain. *J. Plankton Res.*, 9 : 729-738.
- Fincham, A.A. & Furlong, J.A., 1984.** Seasonal swimming rhythms of female palaemonid estuarine prawns and shrimps. *J. Nat. Hist.*, 18 : 425-439.
- Gasparini, S., 1997.** Fécondité, régime alimentaire et production des principaux copépodes planctoniques de quatre estuaires européens. Thèse de 3ème cycle, Université Bordeaux I, 207 pp.
- Heerebout, G.R., 1974.** Distribution and ecology of the Decapoda Natantia of the estuarine region of the rivers Rhine, Meuse and Schelde. *Neth. J. Sea. Res.*, 8 : 52-67.
- Heinle, D.R., 1966.** Production of a calanoid copepod, *Acartia tonsa*, in the Patuxent River estuary. *Chesapeake Sci.*, 7 : 59-74.
- Holt, J. & Strawn, K., 1983.** Community structure of macrozooplankton in Trinity and Upper Galveston Bays. *Estuaries*, 6 : 66-75.
- Hough, A.R. & Naylor, E., 1992.** Distribution and position maintenance behaviour of the estuarine mysid *Neomysis integer*. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 72 : 869-876.
- Irgoien, X., 1994.** Ingestion et production secondaire des copépodes planctoniques de l'estuaire de la Gironde en relation avec la distribution du phytoplancton et la matière en suspension. Thèse de Doctorat, spécialité Océanographie, Université Bordeaux I, 137 pp. + 51 pp. d'annexes.

- Kimmerer, W.J., 1993.** Distribution Patterns of Zooplankton in Tomales Bay, California. *Estuaries*, 2 : 264-272.
- Macquart-Moulin, C., 1976.** Rythmes d'activité persistants chez les pécarides du plancton nocturne de Méditerranée (Amphipodes, Isopodes). *Mar. Behav. Physiol.*, 7 : 64-83.
- Mauchline, J., 1971a.** The biology of *Neomysis integer* (Crustacea, Mysidacea). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 51 : 347-354.
- Mees, J., 1994.** The hyperbenthos of shallow coastal waters and estuaries: community structure and biology of the dominant species. Thesis, Universiteit Gent, 212 pp.
- Mouny, P., Dauvin, J.C., Bessineton, C., Elkaim, B. & Simon, S., 1998.** Biological components from the Seine estuary: first results. *Hydrobiologia*, 373/374 : 333-347.
- Rijstenbil, J.W., Bakker, C., Jackson, R.H., Merks A.G.A. & Visscher P.R.M., 1993.** Spatial and temporal variation in community composition and photosynthetic characteristics of phytoplankton in the upper Westerschelde (Belgium, SW Netherlands). *Hydrobiologia*, 269/270 : 263-273.
- S.A.U.M., 1980.** Rapport du conseil d'orientation, 98 pp.
- Sautour, B. & Castel, J., 1995.** A comparaison of zooplankton communities in European Estuaries. *Hydrobiologia*, 311 : 85-101.
- Seguin, G., 1976.** Premières observations sur la distribution qualitative et quantitative du zooplancton de la baie de Seine. *Bull. Ecol.*, 7 : 315-325.
- Vallet, C., 1997.** Le compartiment suprabenthique des fonds circalittoraux de la Manche : Composition faunistique et quantitative et rôle dans les transferts benthos/pélagos. Thèse de 3ème cycle, Université Paris 6, 164 pp.
- Vecchione, M., 1989.** Zooplankton distribution in three estuarine bayous with different types of anthropogenic influence. *Estuaries*, 12 : 169-179.
- Wang, Z. & Dauvin, J.C., 1994.** La communauté zooplanctonique de l'estuaire de la Seine. Campagne novembre 1993. Rapport Scientifique du contrat Universitaire, 94 33 430036, 11 pp., 3 annexe.
- Wang, Z. & Dauvin, J.C., 1994.** The suprabenthic crustacean fauna of the infralittoral fine sand community from the Bay of Seine (Eastern English Channel): composition, swimming activity and diurnal variation. *Cah. Biol. mar.*, 35 : 135-155.

#### **PUBLICATIONS SUR LE SUJET :**

- Mouny, P., 1995.** Structure spatio-temporelle du mésozooplancton et de l'hyperbenthos de l'estuaire de la Seine. D.E.A., Université P. & M. Curie, 30 pp.
- Mouny, P. & Dauvin, J.C., 1996.** Les communautés mésozooplanctoniques et hyperbenthiques de l'estuaire de la Seine. Programme Seine Aval : Edifices Biologiques, Rapport 1995 : 47-75.
- Mouny, P., Zouhiri, S. & Dauvin, J.C., 1997.** Les communautés mésozooplanctoniques et suprabenthiques de l'estuaire de la Seine. Programme Seine Aval : Edifices Biologiques, Rapport 1996 : 62-98.
- Mouny, P., Dauvin, J.C., Bessineton, C., Elkaim, B. & Simon, S., 1998.** Biological components from the Seine estuary: first results. *Hydrobiologia*, 373/374 : 333-347.

**Mouny, P., 1998.** Structure spatio-temporelle du zooplancton et du suprabenthos de l'estuaire de la Seine. Dynamique et rôle des principales espèces dans la chaîne trophique pélagique. Thèse de Doctorat du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 255 pp. + annexes.

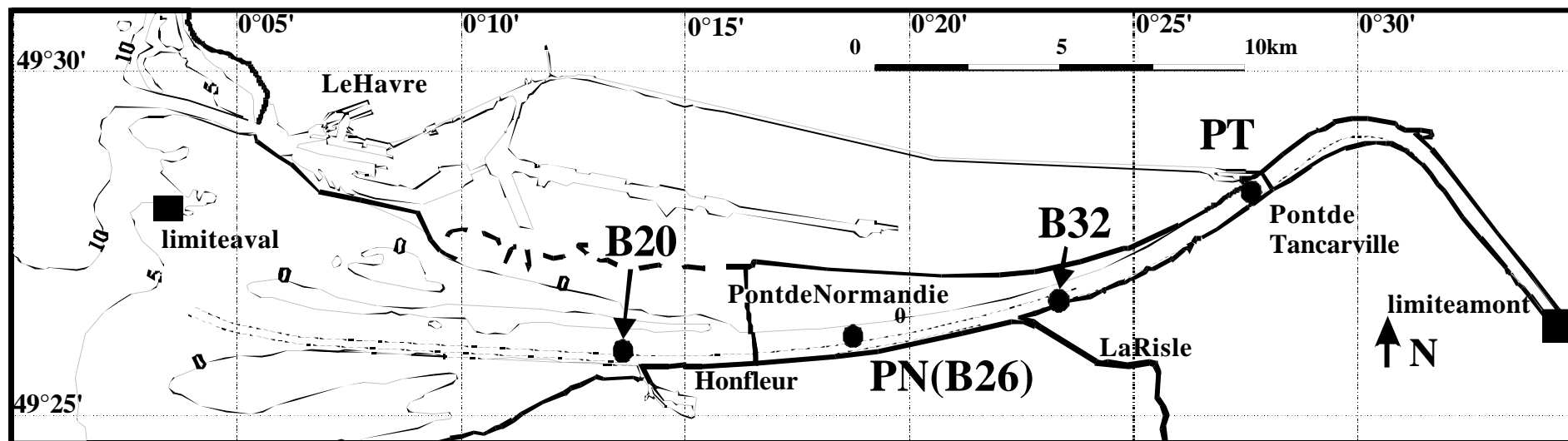


Figure 1. Carte de l'estuaire de la Seine montrant les différentes stations d'échantillonnage.  
 PNetPT: stations de suivi de 24 heures.

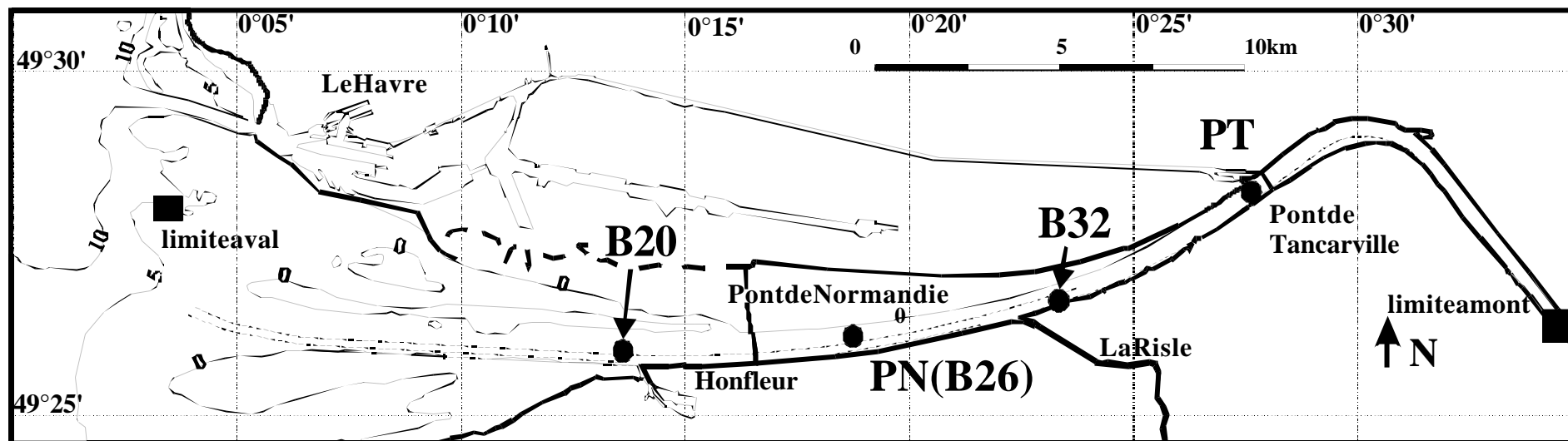
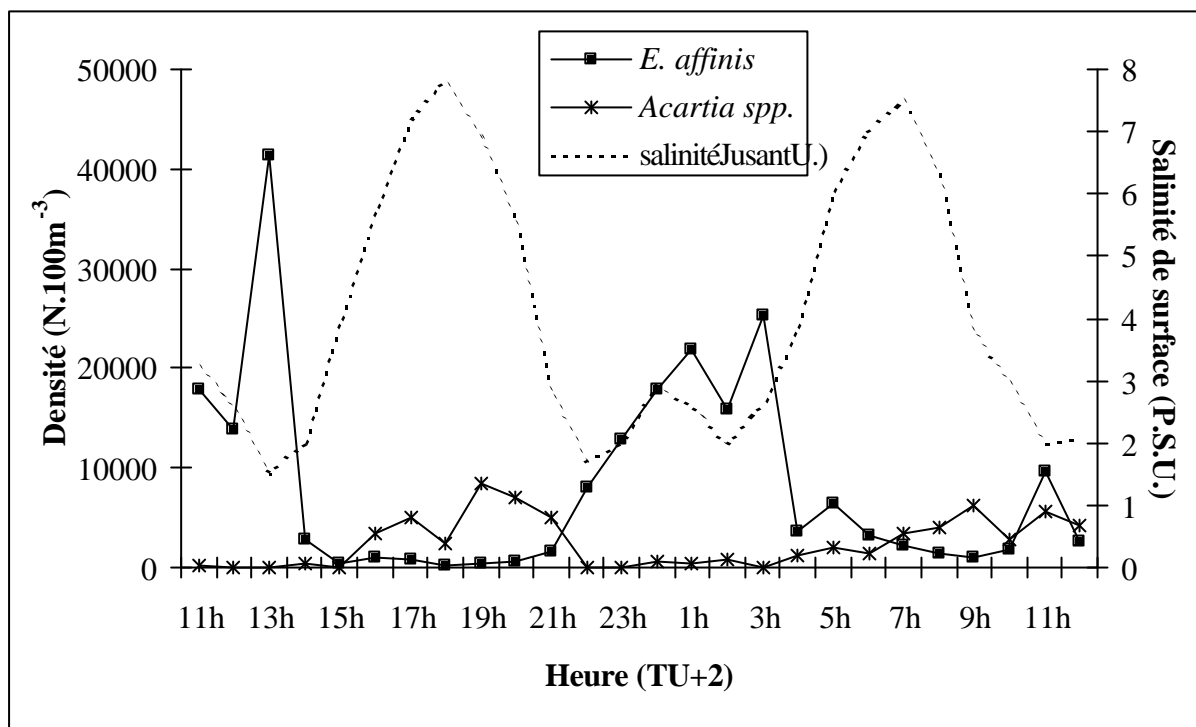


Figure I.2. Carte de l'estuaire de la Seine montrant les différentes stations d'échantillonnage.  
 PNetPT: stations de suivi de 24 heures.



---



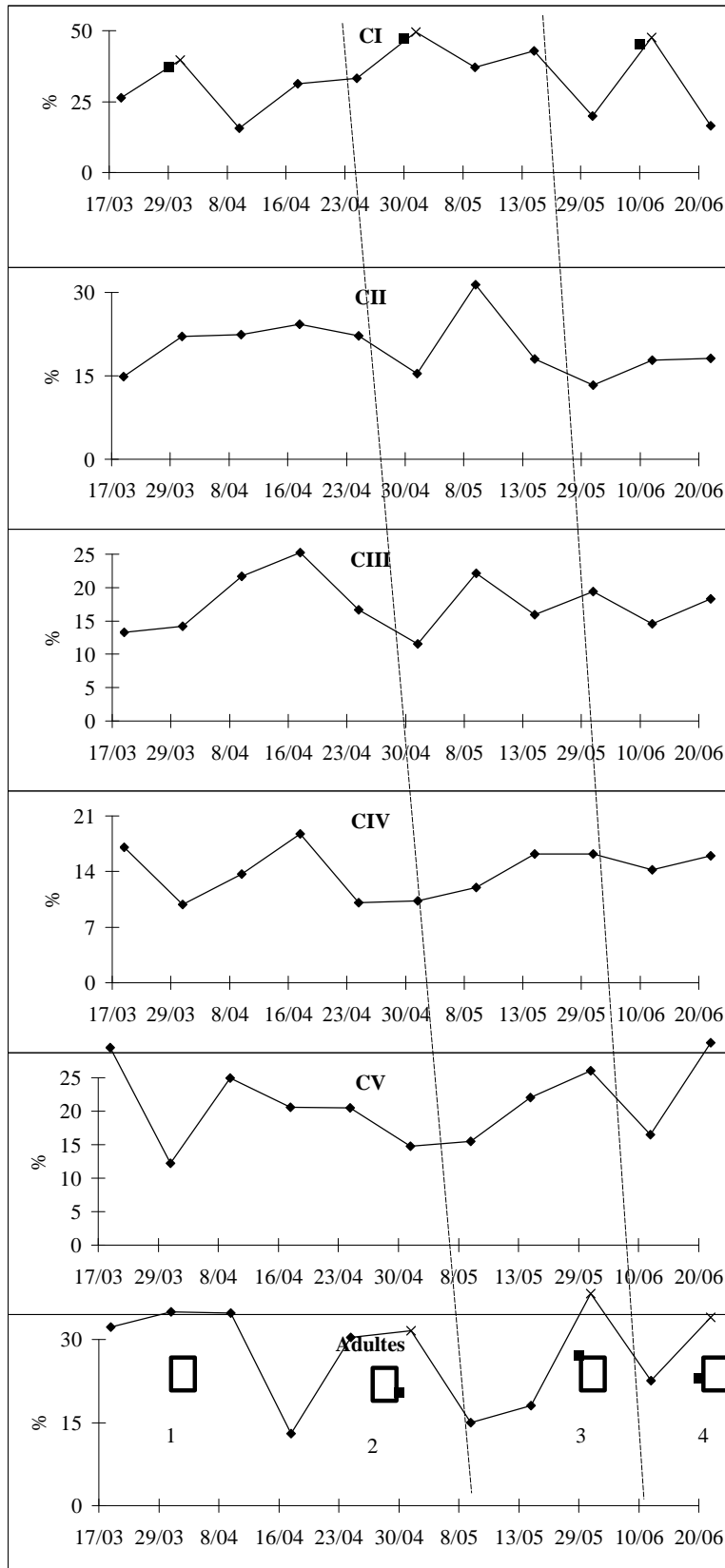


Figure 5. Variation des pourcentages des différents stades du copépode *Eurytemora affinis* (abondances moyennées sur les quatre stations de la radiale) au cours de la période printanière de maximum d'abondance de 1997. Encadré : N° de la génération.

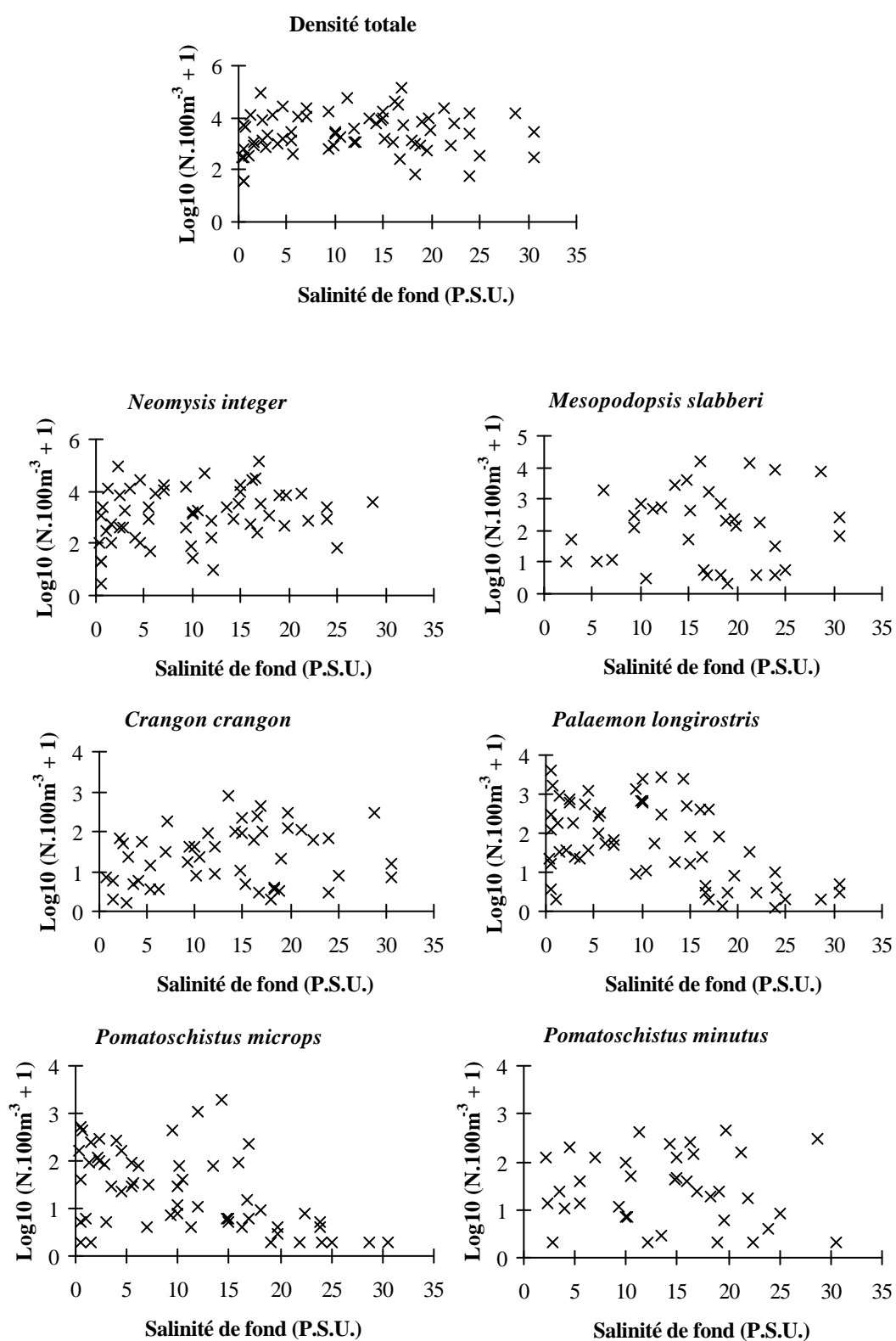


Figure 6. Structure longitudinale de la communauté suprabenthique et des principales espèces la composant le long du gradient de salinité en 1996.

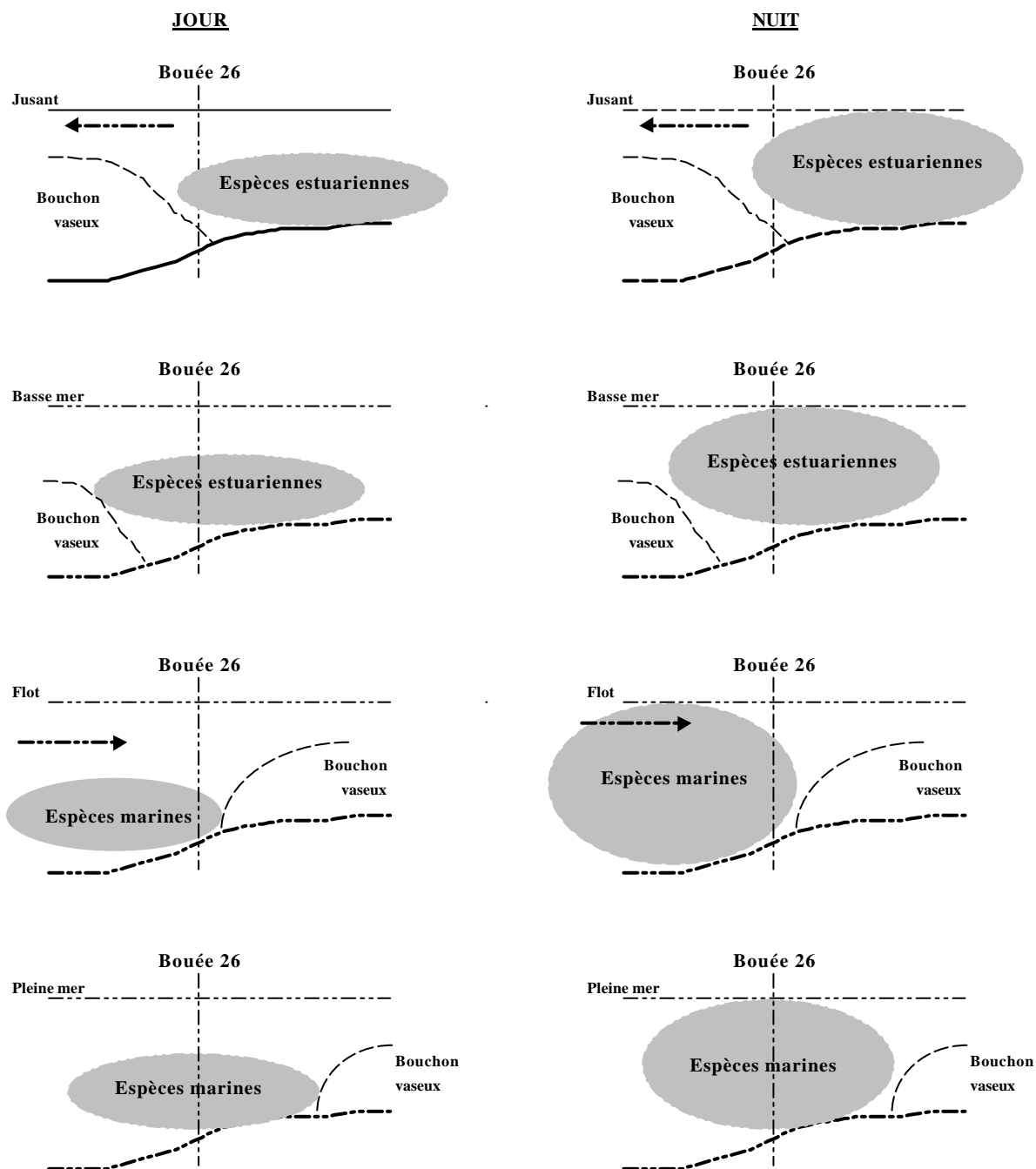


Figure 7. Schéma récapitulatif de l'évolution spatio-temporelle journalière de la communauté suprabenthique à la station Bouée 26 (Pont de Normandie). Les flèches indiquent le sens préférentiel du courant. *Espèces marines* : Crangon crangon, Mesopodopsis slaberry ; *espèces estuariennes* : Neomysis integer, Palaemon longirostris et Pomatoschistus microps.

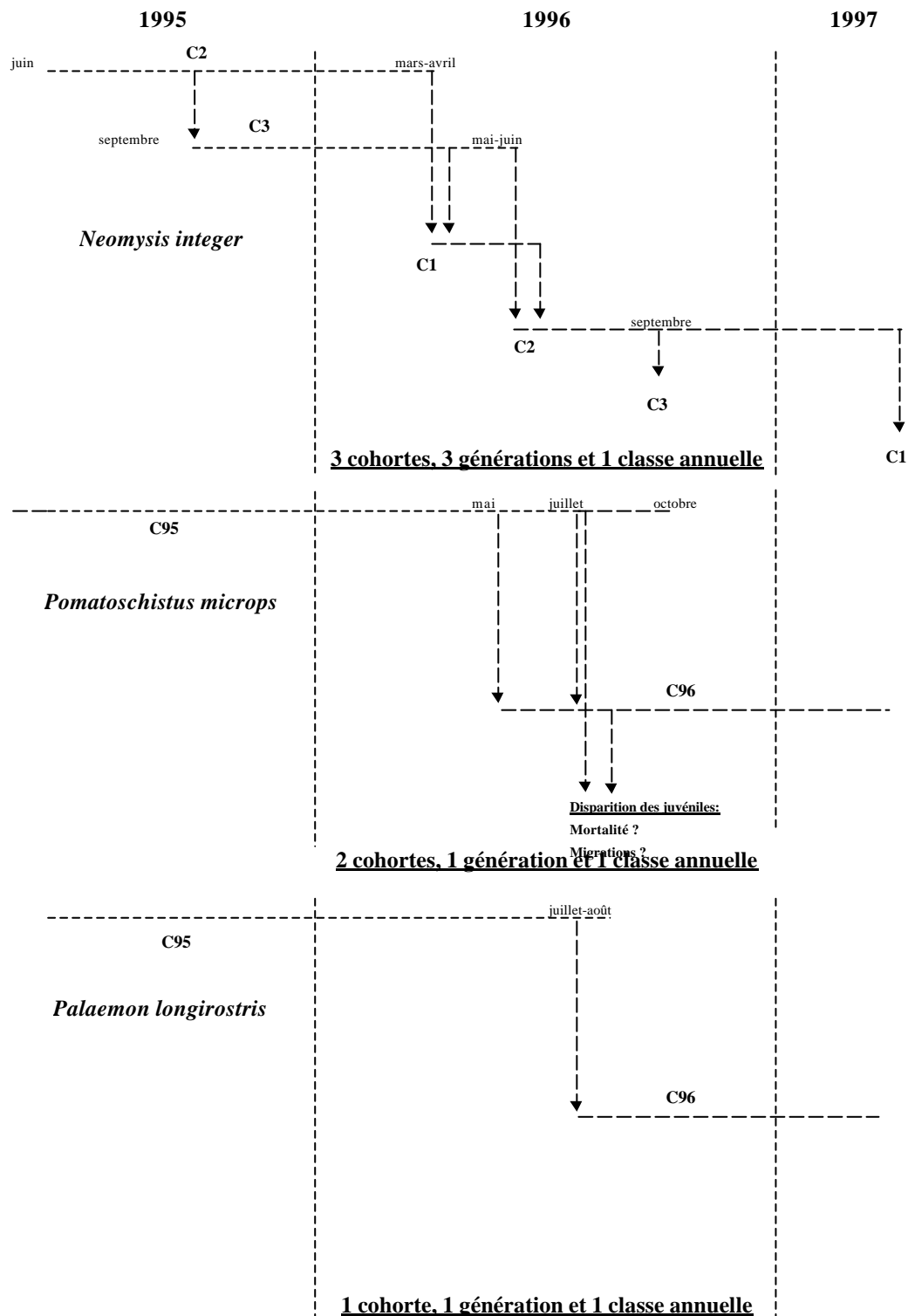


Figure 8. Représentation synthétique de la dynamique annuelle des principales espèces suprabenthiques de l'estuaire salé. C : Cohorte

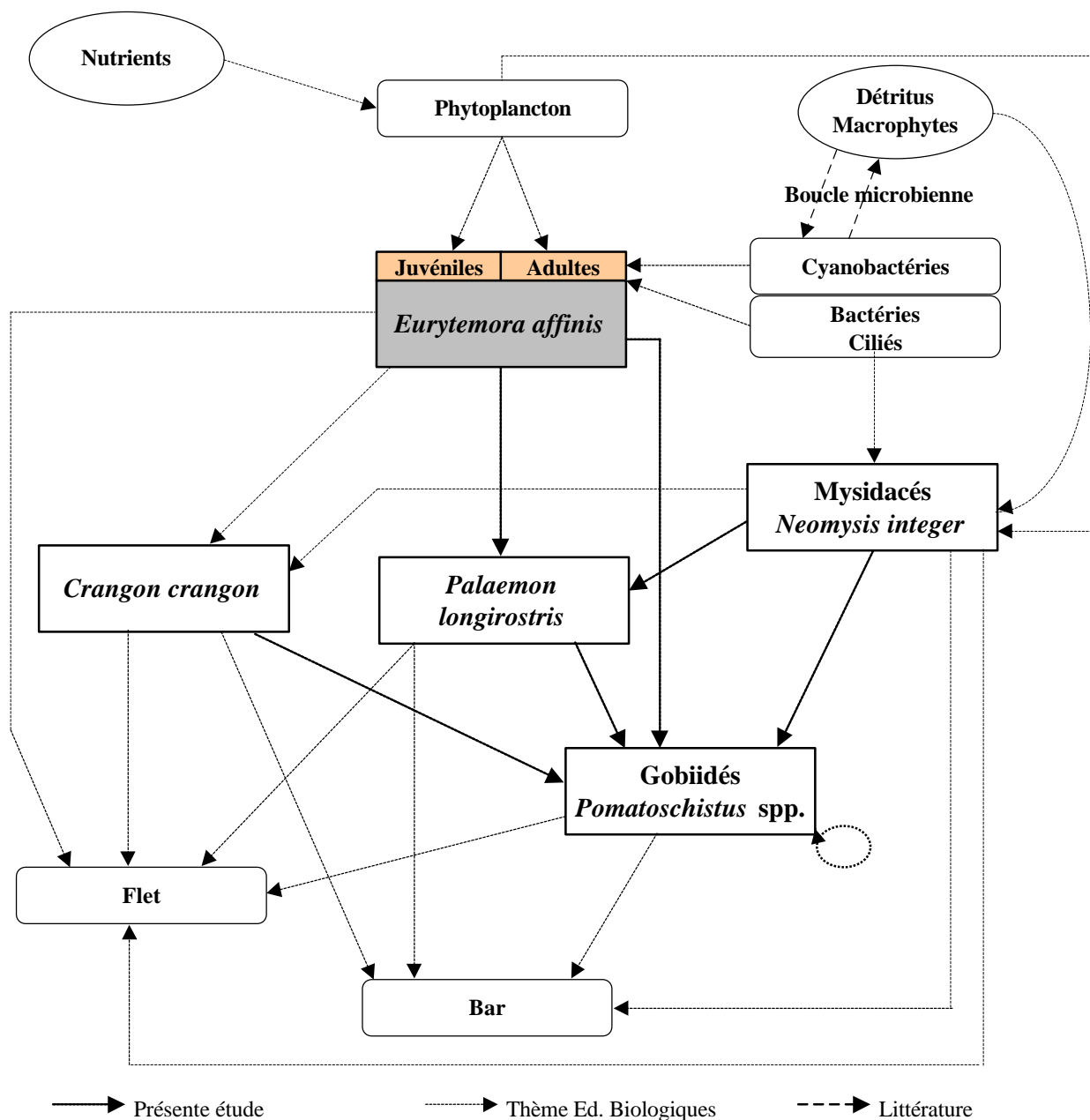


Figure 9. Schéma récapitulatif du réseau trophique pélagique de la partie chenalisée de l'estuaire de la Seine (entre le Pont de Normandie et le Pont de Tancarville) regroupant les données de la présente étude et des différents laboratoires\* associés au thème Edifices Biologiques du programme Seine Aval. \* Cellule de Suivi du Littoral Haut Normand, UPRES A ELICO (Lille, Wimereux).

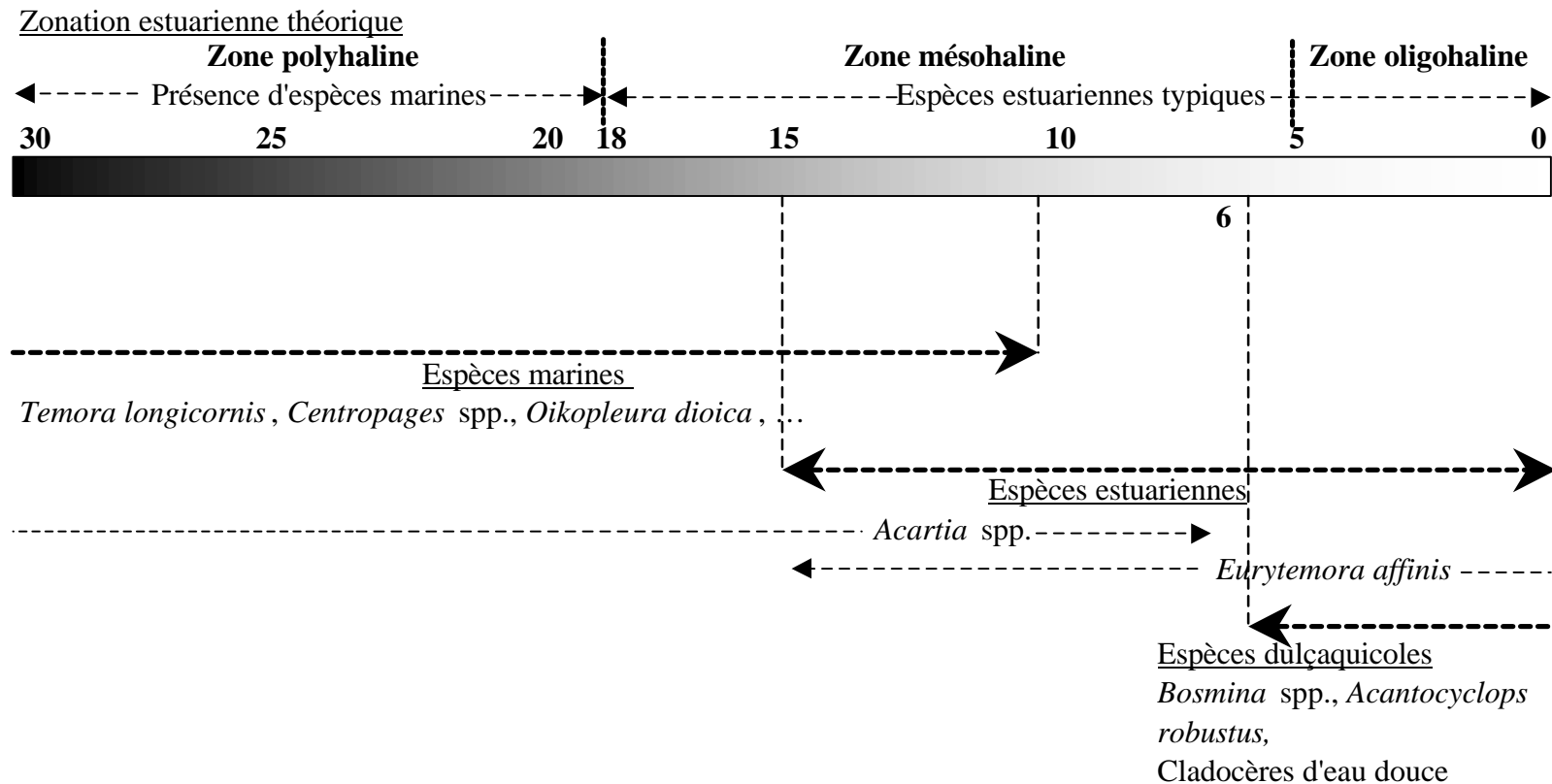


Figure 10. Représentation schématique de la répartition longitudinale du mésozooplancton dans un estuaire théorique et en estuaire de Seine.

Tableau I. Récapitulatif du nombre de prélèvements réalisés et analysés au cours des campagnes de 1994 à 1998. - pas d'échantillonnage. SEAV pk : Seine Aval plankton  
Suprabenthos : traîneau ; mésozooplancton : filet et bouteille.

Date	N° Campagne	Type de prélèvement	Suprabenthos	Mésozooplancton
<b>Année 1994</b>				
13-15/05	SEAV pk02	Radiale	6	12
<b>Année 1995</b>				
05-07/02	SEAV pk03	Radiale	4	22
		Cycle de 24h	10	44
12-14/09	SEAV pk04	Radiale	5	10
		Cycle de 24h	13	52
<b>Année 1996</b>				
29/01	SEAV pk05	Radiale	6	12
27/02	SEAV pk06	Radiale	6	12
29/03	SEAV pk07	Radiale	6	12
24/04	SEAV pk08	Radiale	5	10
29/05	SEAV pk09	Radiale	6	12
24/06	SEAV pk10	Radiale	6	12
23/07	SEAV pk11	Radiale	6	12
20/08	SEAV pk12	Radiale	6	12
17/09	SEAV pk13	Radiale	6	12
21/10	SEAV pk14	Radiale	5	10
17/11	SEAV pk15	Radiale	5	10
15/12	SEAV pk16	Radiale	6	12
<b>Année 1997</b>				
17/03	SEAV pk17	Radiale	-	12
29/03	SEAV pk18	Radiale	-	12
08/04	SEAV pk19	Radiale	-	12
16/04	SEAV pk20	Radiale	-	12
		Cycle de 24h	-	75
23/04	SEAV pk21	Radiale	-	12
30/04	SEAV pk22	Radiale	-	12
07/05	SEAV pk23	Radiale	-	12
13/05	SEAV pk24	Radiale	-	12
		Cycle	-	75
31/05	SEAV pk25	Radiale	-	12
10/06	SEAV pk26	Radiale	-	12
20/06	SEAV pk27	Radiale	-	12
<b>Année 1998</b>				
20/04	SEAV pk28	Radiale transversale	-	12
28/05	SEAV pk29	Radiale transversale	-	8

<b>Total</b>			107	580

Tableau II. Evolution annuelle de la composition en pourcentage du suprabenthos, du necton, du macrozooplancton et des principales espèces suprabenthiques collectées avec un traîneau suprabenthique Macer-GIROQ en estuaire de Seine au cours de l'année 1996 (moyennes des stations de chaque radiale). - : % < 0.1.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Mysidacés</b>												
<i>Mesopodopsis slabberi</i>	0,3	1,6	29,0	22,6	9,3	15,6	15,7	14,1	0,5	-	0,3	3,9
<i>Neomysis integer</i>	66,1	18,9	26,3	44,4	48,8	65,9	82,1	68,6	86,1	66,7	9,4	44,8
<b>Décapodes</b>												
<i>Crangon crangon</i>	-	1,4	0,6	0,2	0,3	0,8	0,2	0,8	1,1	0,9	1,0	0,7
<i>Palaemon longirostris</i>	33,0	28,9	12,0	10,6	1,4	1,4	0,1	12,9	8,2	25,4	58,8	21,3
<b>Poissons</b>												
<i>Pomatoschistus microps</i>	0,5	19,6	5,1	3,5	1,0	0,1	0,2	0,2	2,4	5,6	14,6	10,5
<i>Pomatoschistus minutus</i>	-	5,2	0,5	0,2	-	-	0,6	0,7	1,6	1,2	1,3	1,2
<b>Suprabenthos</b>	99,5	98,1	93,3	87,5	76,7	77,5	98,5	98,7	99,0	99,3	97,4	97,5
<b>Macrozooplancton</b>	-	0,3	6,4	12,5	23,2	22,4	1,4	1,2	0,9	0,6	2,3	1,8
<b>Necton</b>	0,5	1,6	0,3	-	0,1	-	0,1	0,1	0,1	-	0,3	0,7