

Programme scientifique Seine-Aval

7 Patrimoine biologique et chaînes alimentaires

Coordinateur
Jean-Claude Dauvin

7 - Patrimoine biologique et chaînes alimentaires



7

Programme scientifique Seine-Aval

1261 ENV



REGION
HAUTE
NORMANDIE

Ifremer



AGENCE DE L'EAU
SEINE-NORMANDIE



Présentation du programme Seine-Aval

Seine-Aval est un programme d'études et de recherches interdisciplinaires à caractère appliqué sur l'estuaire de la Seine qui a débuté en 1995. La zone d'étude couvre les 160 km de Poses (en amont de Rouen) à la baie de Seine.

Il réunit plus d'une centaine de chercheurs dans des disciplines aussi diverses que la physique, la géologie, la chimie, l'écologie, l'écotoxicologie, appartenant à plus d'une vingtaine de laboratoires répartis sur l'ensemble du territoire national et en Belgique.

Le programme Seine-Aval est piloté par un comité exécutif constitué par un directeur, M. Louis-Alexandre Romaña, et trois membres, MM. Daniel Cossa, Ghislain de Marsily et Robert Meyer.

Les objectifs principaux fixés au programme Seine-Aval sont de fournir les connaissances nécessaires à la compréhension du fonctionnement de l'écosystème estuarien et de développer des outils d'aide à la décision pour les acteurs régionaux et nationaux :

- dans l'optique d'une restauration de la qualité des eaux de la Seine et de la préservation des milieux naturels de la vallée,
- dans le souci de concilier les différents usages identifiés.

Pour structurer la démarche opérationnelle, quatre axes de recherche ont été développés :

▶ **Hydrodynamique et transport sédimentaire** : sont concernés le régime des eaux, l'érosion et la sédimentation. Ces processus ont une incidence directe sur la formation du bouchon

vaseux, phénomène majeur pour le fonctionnement du système estuarien. Cet axe permet aussi de comprendre le transport et le devenir des contaminants qu'ils soient chimiques ou biologiques ;

▶ **Microbiologie et oxygénation** : ont été étudiés les organismes microscopiques jouant un rôle essentiel dans le maintien de la qualité de l'eau, notamment le taux d'oxygène dissous qui connaît de graves déficits en période estivale. Sont concernés aussi les germes d'intérêt sanitaire ;

▶ **Dynamique des contaminants** : on cherche la détermination des niveaux de concentrations des contaminants chimiques et à mieux connaître les processus régissant le comportement de certaines espèces chimiques dans l'estuaire ainsi qu'à développer et intégrer la modélisation biogéochimique aux modèles hydro-sédimentaires ;

▶ **Édifices biologiques** : le constat de l'état biologique de l'estuaire, l'étude des relations trophiques entre les organismes vivants, la bioaccumulation le long de certaines chaînes alimentaires font partie de ce thème. Cela a impliqué de connaître l'état des populations, d'évaluer leur niveau de contamination et d'apprécier les effets de cette contamination sur les organismes (poissons, mollusques bivalves, etc.).

En outre, un important travail de modélisation mathématique a permis d'intégrer les données obtenues dans ces différents domaines. La traduction, sous une forme synthétique et simplifiée, des mécanismes étudiés permet de produire, dans la mesure du possible, des outils descriptifs et prédictifs du fonctionnement de cet écosystème continuellement en cours de réaménagements.



Partenaires du programme Seine-Aval

Le programme scientifique Seine-Aval est inscrit au contrat de plan État-Région de Haute-Normandie et au contrat de plan interrégional du Bassin parisien.

Les travaux et recherches réalisés dans ce cadre sont financés par les partenaires suivants :

- ▶ la Région Haute-Normandie (maître d'ouvrage) et les autres Régions du Bassin parisien (Ile-de-France, Basse-Normandie, Pays de la Loire, Centre, Picardie, Champagne-Ardennes, Bourgogne) ;
- ▶ le ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement ;
- ▶ les industriels de Haute-Normandie ;
- ▶ l'agence de l'Eau Seine-Normandie.



ASICEN



Moyens nautiques

Les moyens nautiques sont fournis par les partenaires suivants :

- ▶ l'Ifremer ;
- ▶ l'Insu/CNRS ;
- ▶ la cellule antipollution de la Seine.

Ifremer





DREAL NORMANDIE
SMCAP/BARDO
N° d'inventaire : 7043

Patrimoine biologique et chaînes alimentaires

Coordinateur : Jean-Claude Dauvin⁽¹⁾

Auteurs : Katherine Costil⁽²⁾, Jean-Claude Dauvin⁽¹⁾,
Sylvain Duhamel⁽³⁾, Régis Hocdé⁽⁴⁾, Pascal Mouny⁽¹⁾,
Gwenola de Roton⁽³⁾,

Contributions : Nicolas Desroy⁽¹⁾, Christine Le Neveu⁽⁵⁾

(1) Université de Lille 1, station marine de Wimereux

(2) Université de Caen, laboratoire de biologie et biotechnologies marines

(3) Cellule du suivi du littoral haut-normand, Le Havre

(4) Université de Rouen, laboratoire de géologie

(5) Diren Haute-Normandie, Rouen

Avertissement

La coordination de ce fascicule avait été confiée en 1999 à un collègue qui n'a pas pu mener à bien cette mission. Les documents n'ont été récupérés que le 1^{er} octobre 2001 dans un état d'avancement embryonnaire. Je remercie les collègues qui m'ont aidé, in extremis, à finaliser ce fascicule, qui pourra apparaître, à certains égards, préliminaire : N. Desroy, S. Duhamel, R. Hocdé, G. de Roton, et S. Delattre qui a assuré la mise en forme de ce fascicule et réalisé certaines des figures. Nous avons cependant tenu à éditer ce fascicule avant l'échéance finale. Le rapport du comité d'experts pour l'estuaire de la Seine, préfecture de la région Haute-Normandie - Diren (version du 22 novembre 1999), a été à l'origine de beaucoup de textes présentés ici ; merci aux différents auteurs de nous avoir permis d'utiliser ce document. Merci de votre compréhension et de votre indulgence. Merci enfin à Alain Abarnou et André Ficht pour leurs lectures attentives.

Sommaire

Introduction	3	Chapitre III - Chaînes alimentaires	
Chapitre I - Forces, contraintes et évolution historique du milieu estuarien		Réseau trophique dans l'estuaire salé	27
Les forces et contraintes	5	Le macrobenthos de l'estuaire fluvial de la Seine : quel type de réseau trophique ?	27
Faible biodiversité, fortes densités et forte productivité	6	Importance de la baie de Seine orientale et de l'estuaire en tant que nourricerie de poissons, rôle particulier de l'intertidal	28
Évolution du milieu et conséquences sur le vivant	7	Valeur halieutique et fonctionnalité du site	28
Évolution de la pêche estuarienne	7	Exigences alimentaires des peuplements et relations trophiques	30
Poissons migrateurs en Seine du Moyen Âge au XX^e siècle	9	Importance des zones intertidales de l'estuaire de la Seine pour l'avifaune	32
Chapitre II - Patrimoine biologique de l'écosystème estuarien		Chapitre IV - Le fonctionnement actuel de l'estuaire : la compartimentalisation des édifices biologiques, les dangers et les évolutions probables	
L'estuaire sous influence saline	12	La compartimentalisation de l'écosystème estuarien	34
Caractéristiques du compartiment pélagique	12	Un compartiment difficile à gérer : les zones humides	35
Caractéristiques du compartiment suprabenthique	14	Des effets attendus d'un projet d'aménagement majeur...	
Caractéristiques du compartiment benthique	14	...aux travaux de réhabilitation de différents habitats	38
Caractéristiques quantitatives	15	Conclusion et perspectives	41
Évolution temporelle	17	Références bibliographiques	43
L'estuaire fluvial	18	Glossaire	45
Caractéristiques du compartiment pélagique	18		
Caractéristiques du compartiment benthique	19		
Zone rivulaire	20		
Chenal	20		
Comparaison avec d'autres fleuves européens	22		
Quelle est la qualité écologique de la Seine selon le macrozoobenthos ?	22		

Introduction

Les écosystèmes* estuariens sont des systèmes complexes en raison de trois facteurs majeurs : de fortes contraintes physico-chimiques (marée, apports d'eau douce, turbidité*...), de fortes concentrations en contaminants (organiques, métalliques et chimiques) et un fort gradient de sensibilité des espèces lié à la gradation des caractéristiques physico-chimiques (salinité, température, oxygène).

Près de 80 % de la population mondiale est concentrée sur le littoral et surtout autour des estuaires* qui ont depuis toujours été utilisés par l'homme pour y ériger de grandes cités et y développer des industries en relation avec les voies de navigation maritimes et fluviales, s'appuyant sur un développement portuaire dont les capacités croissent régulièrement.

L'essor économique et industriel a entraîné des aménagements importants des estuaires pour répondre aux besoins de la navigation et d'accessibilité aux bassins portuaires. Ce processus a engendré de profonds remaniements qui ne sont pas sans conséquences sur les organismes vivants, tant animaux que végétaux, les populations et les peuplements dans ces milieux d'interface. En final, il apparaît désormais

que l'impact socio-économique de l'atteinte aux fonctionnalités de l'écosystème estuarien est loin d'être négligeable.

La Seine, seul grand fleuve se jetant dans la Manche, permet 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 autour d'un fleuve endigué jusqu'à son débouché vers la mer. Toutes ces activités anthropiques* ont modifié l'écosystème estuarien de la Seine tant au niveau physique que biologique. Le rôle prépondérant de l'estuaire sur l'économie régionale et, par conséquent, sur la production biologique estuarienne et marine ainsi que la fragilité de cet écosystème face à ces perturbations ont amené la mise en place en 1995 du programme scientifique pluridisciplinaire Seine-Aval. Coordonné par la région Haute-Normandie, ce dernier associe différents partenaires, dont l'agence de l'Eau Seine-Normandie, et focalise son intérêt sur l'estuaire de la Seine. En effet, à l'instar des autres grands estuaires français de la façade atlantique, cet estuaire n'avait fait l'objet, auparavant, d'aucun grand programme d'étude.

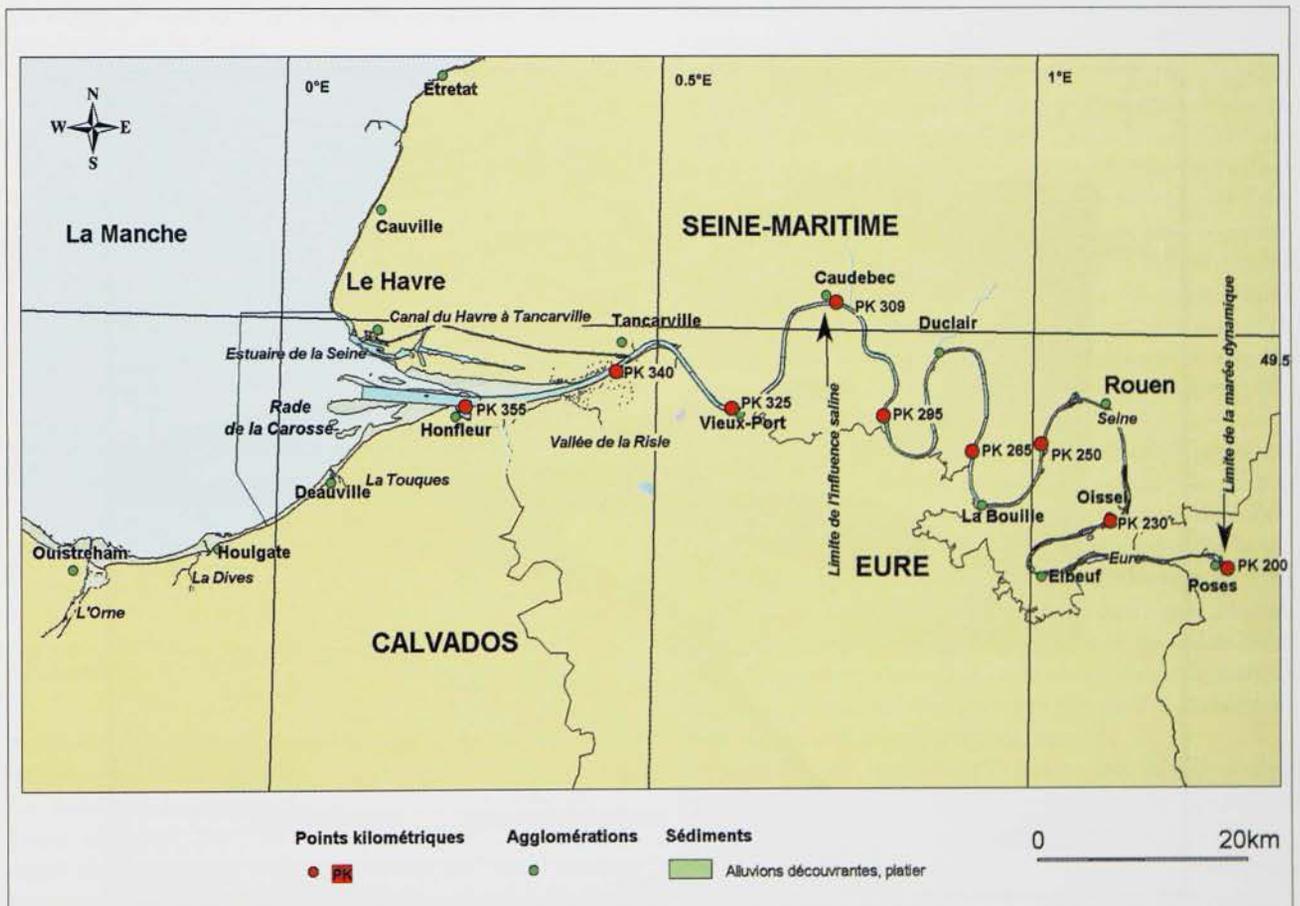


Figure 1- L'estuaire de la Seine.

(*) expliqué dans le glossaire.

Seules quelques recherches dans le cadre du Schéma d'aptitude et d'utilisation de la mer (SAUM), des travaux sur le bouchon de turbidité et quelques observations sur le zooplancton* de la baie de Seine étaient disponibles (Mouny, 1998).

Ainsi, le programme scientifique Seine-Aval à caractère finalisé a été mis en place avec le double objectif principal de fournir les connaissances nécessaires à la compréhension du fonctionnement de l'écosystème estuarien et de développer des outils nécessaires aux prises de décision des acteurs locaux dans l'optique d'une restauration des milieux naturels de la vallée. 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 de la mauvaise qualité des eaux, caractérisée notamment par un déficit chronique en oxygène principalement dans la partie amont de l'estuaire.

Le milieu vivant ou patrimoine biologique est un bon témoin de l'état d'un milieu, en tant qu'intégrateur de l'ensemble des conditions abiotiques* (physiques et chimiques) et biotiques* (interactions entre les différentes espèces). Ce fascicule, intitulé « Patrimoine biologique et

chaînes alimentaires », fait le point des connaissances actuelles que nous avons sur le milieu vivant estuarien, de Poses (en amont dans le fleuve) jusqu'au débouché vers la mer dans la partie orientale de la baie de Seine (fig. 1).

Il convient d'ores et déjà de dire que le niveau actuel de connaissance n'est pas le même selon que l'on s'intéresse à l'aval ou à l'amont du système : dans l'estuaire actuel (fig. 2), l'état des connaissances apparaît satisfaisant, sauf pour les premiers maillons des chaînes alimentaires (phytoplancton, microphytobenthos* et méiobenthos*). En revanche, la connaissance de l'estuaire fluvial reste faible, même pour les niveaux supérieurs des chaînes alimentaires que sont les poissons. Après une première partie précisant les caractéristiques générales de la vie en estuaire ainsi que l'évolution historique de l'estuaire de la Seine, ce fascicule traite successivement, et en trois parties, de l'état des connaissances actuelles sur l'estuaire de la Seine, de l'organisation des chaînes trophiques* et du fonctionnement actuel du système.

L'avenir de l'estuaire et ses fonctionnalités dépendent des aménagements et des mesures de protection et de restauration qui seront engagés dans le futur. La gestion globale de cet estuaire fortement anthropisé mais où subsiste un fort patrimoine biologique devrait assurer pour les prochaines décennies une prise en compte plus maîtrisée des conflits d'usage de cet espace tant convoité.

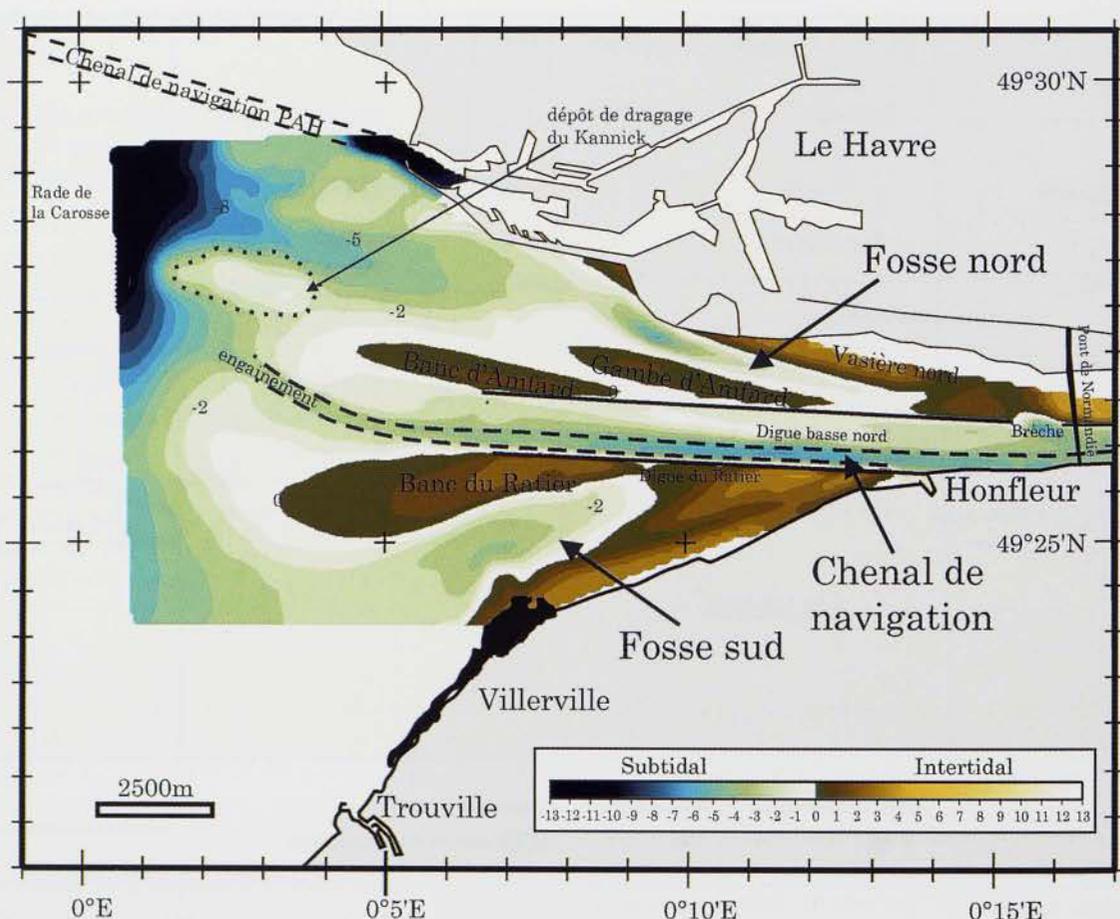


Figure 2 - Carte typologique de l'estuaire salé de la Seine (d'après N. Delsinne, source données bathymétriques 2000 : port autonome de Rouen, données inédites).

Chapitre I

Forces, contraintes et évolution historique du milieu estuarien

Les forces et contraintes

Parmi les nombreuses définitions d'un estuaire, nous retiendrons celle pour laquelle « un estuaire est un bras de mer pénétrant dans une vallée fluviale jusqu'à la limite supérieure où la marée provoque une élévation de l'eau ». Cette définition présente bien l'antagonisme majeur responsable de la structure et des conditions hydrologiques en estuaire : le débit du fleuve et la marée. Cette opposition des forces est à l'origine même du mot estuaire qui vient du latin *aestus* - *aesto* qui signifie bouillonnement, bouillonner. Les écosystèmes estuariens sont caractérisés par une très forte et permanente interaction entre un pôle marin et un pôle fluvial. La figure 3 illustre les différentes contraintes environnementales rencontrées en estuaire, montrant notamment les réductions du marnage et de la salinité de l'aval vers l'amont et l'expulsion du bouchon de turbidité vers l'aval lors des crues.

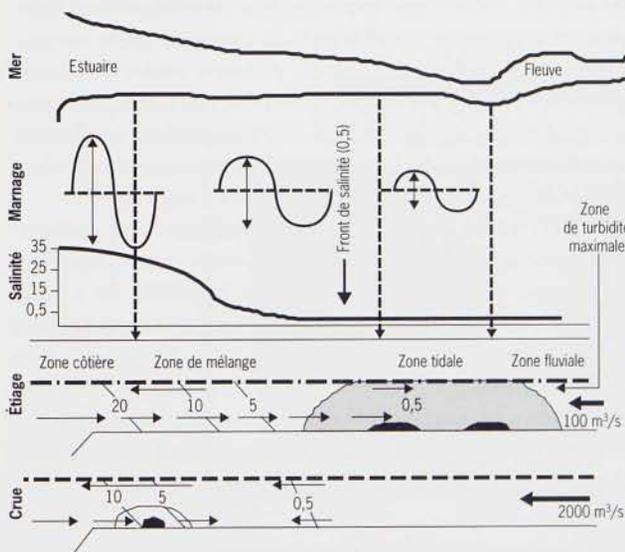


Figure 3 - Les principales contraintes physiques rencontrées dans un estuaire mégatidal*.

- **L'hydrodynamisme*** présente deux composantes, l'une dynamique et l'autre saline.

La marée dynamique correspond à la pénétration de l'onde de marée dans l'estuaire et se traduit par un marnage* dont l'intensité va décroissant de l'aval vers l'amont.

La marée saline correspond à l'incursion de l'eau de mer dans l'estuaire et se traduit par une dilution mesurable de la salinité selon un gradient longitudinal aval-amont.

Cette marée saline, opposée à l'arrivée d'eau douce de la Seine, entraîne un gradient halin* depuis les eaux douces (zone fluviale*) situées en général en amont du pont de Tancarville vers les eaux marines situées en baie de Seine (zone euryhaline*). Ce gradient se traduit par l'existence de trois zones successives : oligohaline* ($S < 5$), mésohaline* ($5 < S < 18$) et polyhaline* ($18 < S < 30$). Le passage des eaux saumâtres aux eaux douces se fait au niveau d'un front de salinité (0,5).

- **La sédimentation** représente un second paramètre clé en estuaire. Les éléments minéraux constituant les fonds de l'estuaire sont le plus souvent composés de particules très fines qui constituent un stock de vase ou « masse turbide » dénommé bouchon vaseux. Cette vase se comporte en véritable piège et réacteur chimique pour la matière organique et les divers contaminants associés, et est souvent le lieu de déficit en oxygène.

- **Les variations climatiques** viennent s'ajouter à ces deux contraintes majeures. D'abord, les variations de température sont saisonnières avec des eaux douces plus froides en hiver et plus chaudes en été que les eaux marines. Ces fluctuations peuvent être interannuelles et déterminantes dans les processus de renouvellement des populations, avec des hivers plus ou moins doux et des printemps plus ou moins précoces. Des fortes chaleurs en été peuvent être à l'origine d'une mortalité massive du benthos* et induire une migration des jeunes poissons vers le large où les eaux sont plus fraîches. Enfin, on constate également des variations, sur une période de 7 à 8 ans environ, voire plus longues : 10-11 ans, 18 ans, 100 ans...

- Il s'ajoute, dans les estuaires, un déficit en oxygène ou anoxie*, souvent associé au bouchon vaseux. Ce phénomène, peu prononcé dans la Seine, est important dans l'estuaire de l'Escaut où le déficit en oxygène empêche la vie sur plusieurs kilomètres dans la zone de faible salinité. Une autre zone de déficit en oxygène peut être située plus en amont dans la partie fluviale de l'estuaire en raison de la minéralisation de l'azote ou de l'oxydation de la matière organique rejetée par des stations d'épuration (Achères et Rouen principalement pour la Seine).

Cet ensemble de contraintes va déterminer des conditions du milieu entraînant des caractéristiques biologiques et écologiques particulières, typiques des estuaires de l'hémisphère Nord.

Faible biodiversité, fortes densités et forte productivité

Les variations de salinité, du niveau de l'eau et de la température font que peu d'espèces sont adaptées à ce milieu extrêmement changeant ; au fil de l'évolution, seules quelques espèces eurythermes* et euryhalines* ont pu survivre. On remarque une faible diversité et surtout peu d'espèces permanentes, lesquelles présentent une large répartition biogéographique. Par exemple, pour l'Atlantique Nord-Est, on trouve quasiment les mêmes espèces des estuaires portugais aux estuaires scandinaves et russes. Cependant, les espèces qui s'accommodent de telles conditions écologiques vont trouver dans les estuaires une abondante source de nourriture et vont être caractérisées par de très fortes densités. À titre d'exemple, les abondances du macrozoobenthos* intertidal* en Seine estimées en 1985 passent de 300 ind.m⁻² dans le domaine marin à 24000 ind.m⁻² en estuaire aval puis à 10000 ind.m⁻² en estuaire amont alors que le nombre d'espèces passe respectivement de 17 à 8 (Desprez, 1981).

De l'amont vers l'aval, on assiste progressivement au remplacement de la faune dulcicole* par la faune marine (fig. 4). La zone oligohaline est marquée par une biodiversité* faible (milieu paucispécifique*) liée à la disparition des espèces dulcicoles dans cette partie de l'estuaire sous influence saline, puis la richesse en espèces croît régulièrement de la zone mésohaline à la zone polyhaline. Il convient de remarquer que la faune des eaux saumâtres est peu diversifiée tout le long du gradient halin.

Pour la Seine, les inventaires actuels aboutissent à l'estimation suivante du nombre d'espèces (faune seulement), présentes dans chacune des cinq principales zones de l'estuaire, depuis Rouen à la baie de Seine (ligne cap d'Antifer-Ouistreham ; tab. 1).

Il apparaît ainsi une richesse faunistique plus élevée dans la zone marine que dans les quatre autres zones, due à l'absence en zone estuarienne de nombreuses espèces (amphipodes, échinodermes) en raison de leur faible résistance à la dessalure ou aux contaminants. Il s'ajoute également des contraintes physiques en estuaire liées aux courants et aux instabilités du substrat benthique. Il existe une réduction importante de la richesse spécifique entre la zone polyhaline et les zones mésohaline et oligohaline où la richesse spécifique est minimale ; ensuite, on observe une augmentation de la richesse en espèces dans la zone fluviale. Cette évolution observée en Seine est donc conforme au schéma général illustré dans la figure 4.

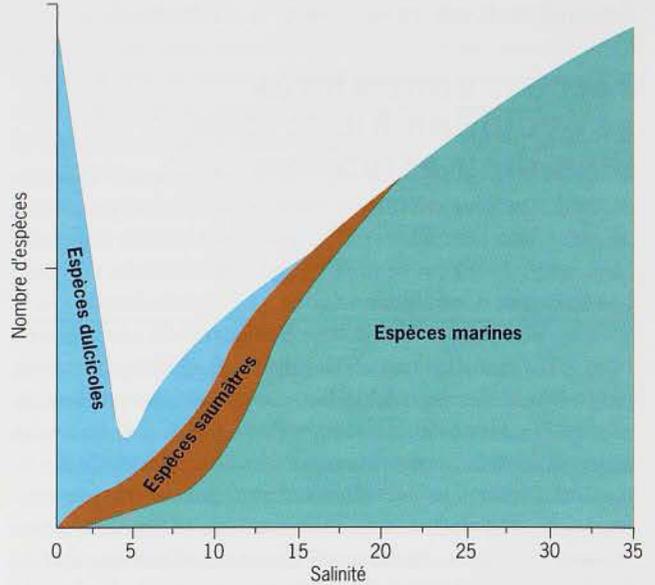


Figure 4 - Schéma montrant l'évolution du nombre d'espèces vivant dans un estuaire en fonction de l'augmentation de la salinité.

De façon connexe, compte tenu des fortes abondances et biomasses* des espèces estuariennes, il existe une forte production inhérente à la situation d'interface de ces écosystèmes permettant également d'assumer un rôle de nurserie* important pour d'autres organismes qui vont venir en estuaire réaliser une partie de leur développement (éco-phase estuarienne : juvéniles* de poissons plats notamment) ou se nourrir (crustacés, poissons adultes, oiseaux, pinnipèdes). Parmi ces espèces, certaines ne feront que transiter dans l'estuaire au cours de leurs migrations anadromes (ponte en eau douce : saumon, alose, esturgeon, éperlan, lamproie) ou catadromes (ponte en mer : anguille).

Ces différentes caractéristiques confèrent aux milieux estuariens un rôle stratégique important dans l'équilibre écologique et économique des zones littorales, lié à leurs capacités biologiques. Ces dernières sont directement liées à l'abondance des espèces benthiques* ou pélagiques* dont la pérennité peut être remise en question par des aménagements dans l'estuaire ou en amont, sur les fleuves, par des extractions de granulats et par introduction de polluants dans les fleuves de leur source à leur embouchure.

Tableau 1 - Variation du nombre d'espèces le long de l'estuaire de la partie marine (euryhaline) aux eaux douces (zone fluviale).

	Euryhaline	Polyhaline	Mésohaline	Oligohaline	Fluviale
Macrobenthos	170	60	30	15	75
Suprabenthos*	90	50	15	10	1
Mésozooplancton*	40	15	10	30	40
Macrozooplancton*	30	15	10	5	-
Poissons	50	40	20	10	15
Total	380	180	85	70	140

Évolution du milieu et conséquences sur le vivant

Il est important de caractériser l'évolution morphologique et l'étendue de l'estuaire afin d'en apprécier l'impact sur ses peuplements et sur sa fonctionnalité biologique.

Dès le milieu du siècle dernier, des travaux d'endiguement et d'approfondissement du chenal sont entrepris entre Rouen et la mer pour améliorer la navigation et créer des surfaces à vocation industrialo-portuaire.

Les conséquences de ces aménagements sont :

- une réduction du volume de l'estuaire;
- un engraissement (en sédiment) sur les berges de celui-ci.

On estime que le volume d'eau de l'estuaire était de 2 milliards de mètres cubes en 1677 ; il n'est plus que de 840 millions en 1978. L'engraissement en vase est de l'ordre de 5,3 millions de mètres cubes en moyenne annuelle avec des variations importantes : de 2,6 (avant les aménagements) à 11 millions de mètres cubes (de 1863 à 1880).

Cet engraissement s'ajoute à la progression des herbus et a pour conséquence une diminution des surfaces de vasières* où règne une activité biologique intense. De 1978 à 1994, ce sont plus de 350 ha de vasières intertidales* ou slikkes* qui ont été colonisés par les herbus et se sont ainsi « continentalisés » (fig. 5). Cette réduction des surfaces des vasières de 1834 à 1997 équivaut également à une réduction considérable des zones de nourrissage des jeunes poissons à marée haute et des oiseaux à marée basse.

La dynamique des masses d'eau estuariennes et le phénomène de bouchon vaseux ont également évolué pendant ce même laps de temps. De 1955 à 1981, la migration du bouchon vaseux vers l'aval a été de 50 kilomètres et, depuis 1981, cette tendance s'est inversée ; il occupe actuellement une position moyenne majoritairement comprise entre les pk 340 et 350 (fig. 1).

Évolution de la pêche estuarienne

Jusqu'au début du XX^e siècle, la pêche en Seine (jusqu'à Elbeuf) et dans l'embouchure du fleuve faisait vivre plusieurs centaines de professionnels et leurs familles. De Rouen au Havre, les communes du bord de fleuve ont toutes eu leurs familles de pêcheurs. Les « pêcheurs d'en haut » vivaient en amont de Rouen et dépendaient du syndicat d'Elbeuf ; ceux « d'en bas » exerçaient entre Rouen et Quillebeuf ; enfin, les pêcheurs « d'estuaire » travaillaient dans une zone où la pêche n'était alors pas vraiment fluviale, entre Le Havre, Honfleur, Berville-sur-Mer, Tancarville et Quillebeuf.

Bien que des enquêtes aient été réalisées à plusieurs reprises sur la situation de la pêche et des pêcheurs, notamment en 1882 sous contrôle de la préfecture, puis sur l'aloise et le saumon en 1889, 1902 et 1922 (PNRB-SER, 1994), les données quantitatives globales sur les productions par syndicat, et les emplois directs et indirects liés à la pêche sont très rares dans la bibliographie et constituent une lacune à combler.

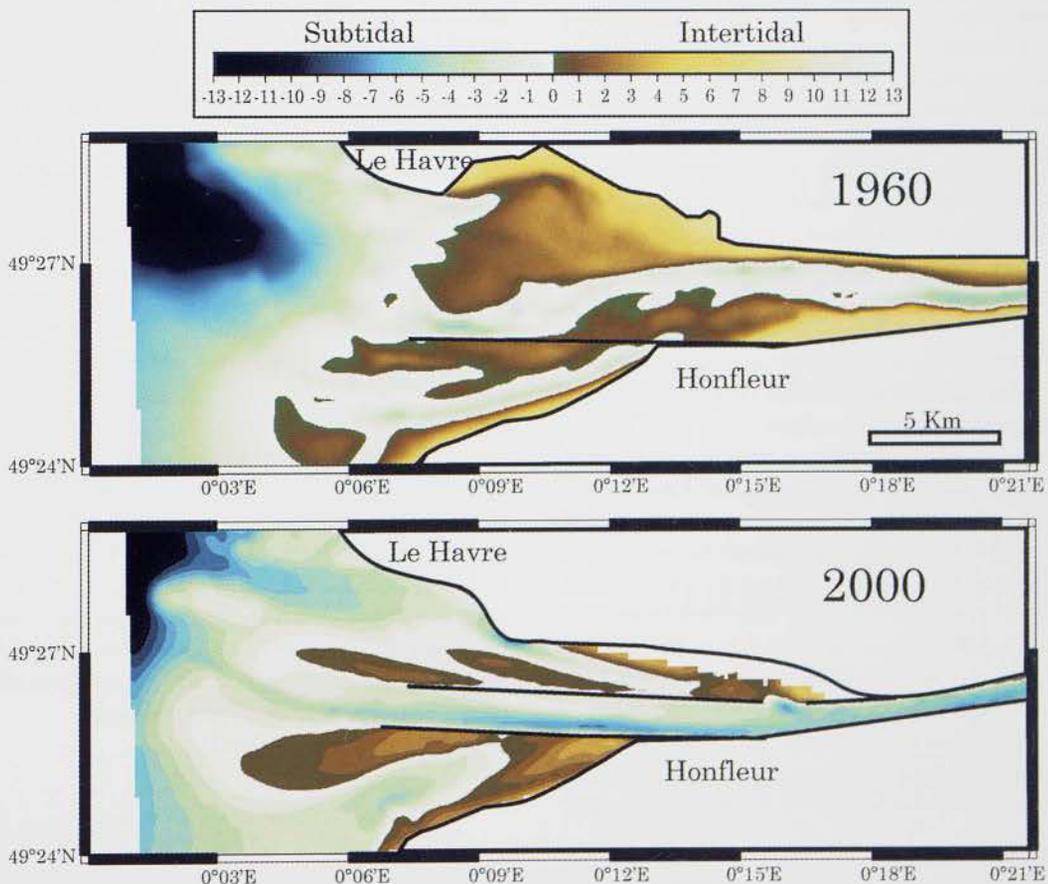


Figure 5 - Évolution temporelle de la zone intertidale de l'estuaire moyen de la Seine montrant la réduction importante de sa surface (d'après N. Delsinne, source données bathymétriques 2000 : port autonome de Rouen, données inédites).

Les techniques de pêche étaient complexes et variées : elles comprenaient des engins passifs (filets maillants, pêche à la ligne, pièges, dont le guideau ou diable et les fameux « gords », véritables pêcheries fixes lorsque plusieurs engins étaient montés en batterie), ou actifs, c'est-à-dire basés sur une action de ramassage, de levage, de tirage ou de poussage (chaluts, dragues, sennes, éperviers...). Les principaux poissons migrateurs amphihalins* pêchés furent le saumon, l'aloise (principale ressource des pêcheurs entre Rouen et Villequier), l'éperlan, l'anguille, la lamproie, le flet, le mullet et le sprat, dénommé aussi « œillet ». Concernant le poisson blanc, on pêche alors la carpe, la brème, la perche et le brochet ; les autres espèces, consommés en friture, sont le barbeau, la vandoise, le gardon, le hotu et le chevesne, le goujon et l'ablette. L'organisation de la pêche était rythmée par les saisons : la pêche des éperlans et de l'aloise, plutôt hivernale dans le fleuve, précédait celle du saumon et du mullet au printemps. L'anguille était pêchée de mars à octobre et l'œillet entre novembre et février.

Les habitats propices à la pêche sont connus ; hormis les axes de migration, il s'agit bien évidemment des zones intertidales, estrans* et berges naturels, en pente douce ou en talus. Dans le fleuve, ces zones de transition ou écotones composées de racines, arbres, branches immergées et de « trous » (creusement de la berge vers l'intérieur sous l'action de courants tourbillonnants) constituent des abris idéaux pour la faune piscicole. Les berges artificielles constituées d'enrochements grossiers abritent aussi des niches écologiques, tout comme les bras (îles) et bras morts résultant de la divagation naturelle du fleuve, les ballastières connectées au fleuve et les confluences où se réfugient temporairement certaines espèces.

Dès la fin du XIX^e siècle, on mentionne déjà l'existence de conflits d'usage, à cause des gords qui gênaient la navigation ou bien en raison d'une pêche de jour comme de nuit avec des filets, suspectés de porter atteinte à l'aloise... Le souci d'une protection de la ressource n'est pas non plus un fait nouveau, puisqu'une réserve de pêche à proximité de Saint-Pierre-les-Elbeuf a été mise en place entre 1895 et 1899. À cette époque cependant, les pêcheurs de Rouen-Elbeuf débarquaient 250 tonnes de poissons dont 45 d'aloses, 25 d'éperlans et 5 de saumons.

L'endiguement progressif du fleuve vers la mer conduit malgré tout, peu à peu, alors que la ressource diminue, à la disparition des ports de pêche. Parallèlement, le nombre de pêcheurs décroît ; il ne reste plus que 22 pêcheurs en 1940 dans le quartier de Rouen-Elbeuf, ils seront six en 1960, trois en 1968 et aucun aujourd'hui. Une évolution semblable se produit dans la partie basse du fleuve, où l'activité de pêche des ports de Quillebeuf, Tancarville ou encore Berville s'affaiblit depuis le XIX^e siècle.

Aujourd'hui, la production de pêche liée à l'estuaire provient des ports de Honfleur et du Havre ainsi que, dans une moindre mesure, de Trouville, Dives et Ouistreham. Elle

repose pour une grande part sur des espèces passant à un moment ou à un autre de leur vie par la zone estuarienne. Entre 1989 et 1992, on peut estimer cette importance à 15-45 % des apports en poids et 40-70 % des apports en valeur selon les ports (Bessineton *et al.*, 1995). Ces chiffres ne prennent pas en compte les captures de civelles (jeunes anguilles) dont la valeur marchande ferait probablement passer l'espèce au premier rang pour le port de Honfleur. Se faire une idée de l'importance de la pêche dans l'estuaire de la Seine passe également par l'intégration de nombreux facteurs : économiques et sociaux (prix du gas-oil, situation économique extérieure au port), techniques (taille des navires), météorologiques et enfin biologiques, bien que ceux-ci soient difficiles à isoler des autres. On constate que, depuis les années soixante-dix, un déplacement des zones de pêche vers l'aval s'est effectué pour la plupart des espèces qui étaient ou sont encore pêchées dans l'estuaire. Les principales espèces entrant dans les tonnages débarqués (données 1992) sont, à titre d'exemple, pour le port de Honfleur, la sole, le maquereau, la plie, la crevette grise et la limande. En valeur, ce sont la sole, la crevette grise, le maquereau et la plie qui constituent l'essentiel des apports des espèces ayant une vie estuarienne.

Parmi les métiers pratiqués par les pêcheries des ports de l'estuaire, certains sont plus particulièrement dépendants de l'estuaire par la localisation de leurs espèces cibles ; ils se rapportent à la pêche à la crevette grise, au bouquetin (ou crevette blanche), à l'anguille et à la civelle (fig. 8). La pêche à la crevette grise est une activité traditionnelle pratiquée au moyen d'un chalut de fond à poissons muni d'un faible maillage, dans l'estuaire (en été et automne) et sur le littoral du Calvados (en hiver et au printemps). L'évolution des débarquements de crevette grise depuis 1948 fait apparaître de fortes fluctuations, avec notamment de très fortes valeurs de 1965 à 1973 et une nette diminution des tonnages depuis le début des années quatre-vingt (fig. 8) ; cette pêche demeure une activité importante pour les ports du Havre, Honfleur et Trouville. Les autres métiers sont exercés par les pêcheurs d'estuaire, détenteurs d'une licence « Estuaire », à bord de petits canots basés à Honfleur. La pêche au bouquetin, activité développée au début des années quatre-vingt-dix, est pratiquée d'octobre à avril sur les berges de la Seine entre les ponts de Tancarville et de Normandie au moyen d'une ou de deux dragues à bouquetin ; elle concerne une dizaine de professionnels. Celle à la civelle, activité récente et fort lucrative, se réalise en hiver au niveau de la Risle au moyen de tamis à civelle (cadre portant une nappe très fine). Enfin, la pêche à l'anguille est pratiquée de mai jusqu'à septembre au moyen de nasses à anguille disposées de part et d'autre des deux digues submersibles délimitant la partie chenalisée.

Poissons migrateurs en Seine du Moyen Âge au XX^e siècle (d'après SMIGR' Seine)

Dès le XIII^e siècle, le chevelu de tous les petits cours d'eau, en amont comme en aval, est segmenté par le système meunier élaboré en 150 ans, du début du XI^e siècle à la moitié du XIII^e siècle. Entre le XVI^e siècle et le XVIII^e siècle, l'Yonne est utilisée pour le flottage du bois avec mise en place de retenues et lâchers créant une onde dévalante. Mais, c'est au XVIII^e siècle que se développe la navigation inter-bassins avec l'érection de barrages, dont celui de Poses en 1851, et la dérivation des cours d'eau.

Avec le XIX^e siècle, la canalisation de la Seine en amont de Poses et la chenalisation de la basse Seine s'intensifient. À la suite des inondations de 1910 et 1924, des aménagements des réservoirs des hauts-bassins de la Seine sont entrepris. Leur vocation est d'écrêter les crues et soutenir les étiages pour permettre la navigation, l'alimentation en eau de la région parisienne et diluer la pollution* à l'aval des exutoires des stations d'épuration, notamment celle d'Achères. Si les premiers réservoirs, de Chammençon et de Crescent-Malassis, ont été construits entre 1918 et 1940, les autres constructions ont duré toute la seconde moitié du XX^e siècle : 1950 (Pannesière-Chaumard), Seine (1966), Marne (1974) et Aube (1990) (fig. 6).

Ces constructions et aménagements divers sont autant d'obstacles aux passages amont-aval des grands migrateurs amphilahins que sont le saumon, la truite de mer, l'alose franche et l'alose feinte, la lamproie fluviale, la lamproie maritime, l'esturgeon, l'éperlan et l'anguille. Avant la révolution industrielle, ces espèces fréquentaient en abondance la Seine, l'alose franche remontait dans les Ardennes sur l'Aisne, l'esturgeon remontait l'Yonne jusqu'à Auxerre,

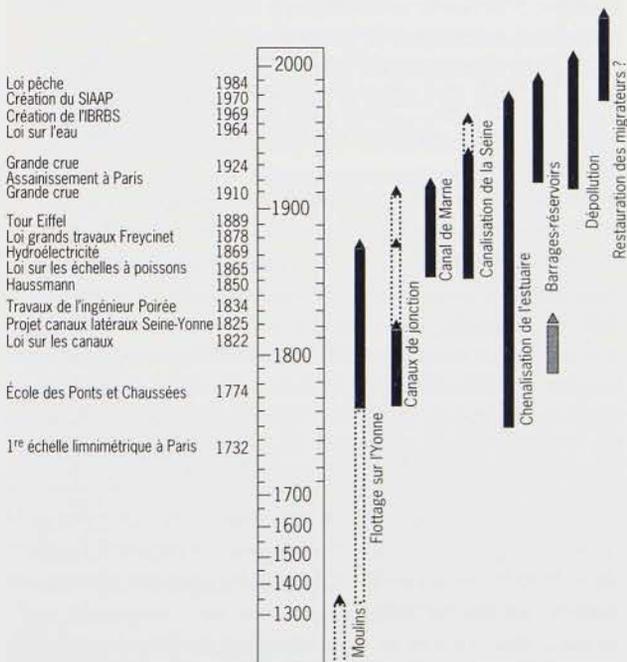


Figure 6 - Évolution historique des principaux aménagements et principales dates ayant eu pour effet un aménagement du fleuve du Moyen Âge à aujourd'hui.

l'alose feinte se cantonnait en basse Seine et l'éperlan se limitait à la partie la plus en aval de l'estuaire jusqu'à Elbeuf. En 1881, quelques esturgeons étaient pêchés en amont de Sens. Le déclin de l'ensemble des migrateurs remonte donc à 1850 mais leurs effectifs demeurent suffisants pour maintenir une pêcherie fluviale jusqu'en 1970. Les espèces remontant le plus en amont sont celles dont les populations vont le plus décroître en 100 ans (de 1850 à 1950), voire de 1850 à 1900 (fig. 7). L'alose feinte et l'éperlan, moins exposés à l'impact

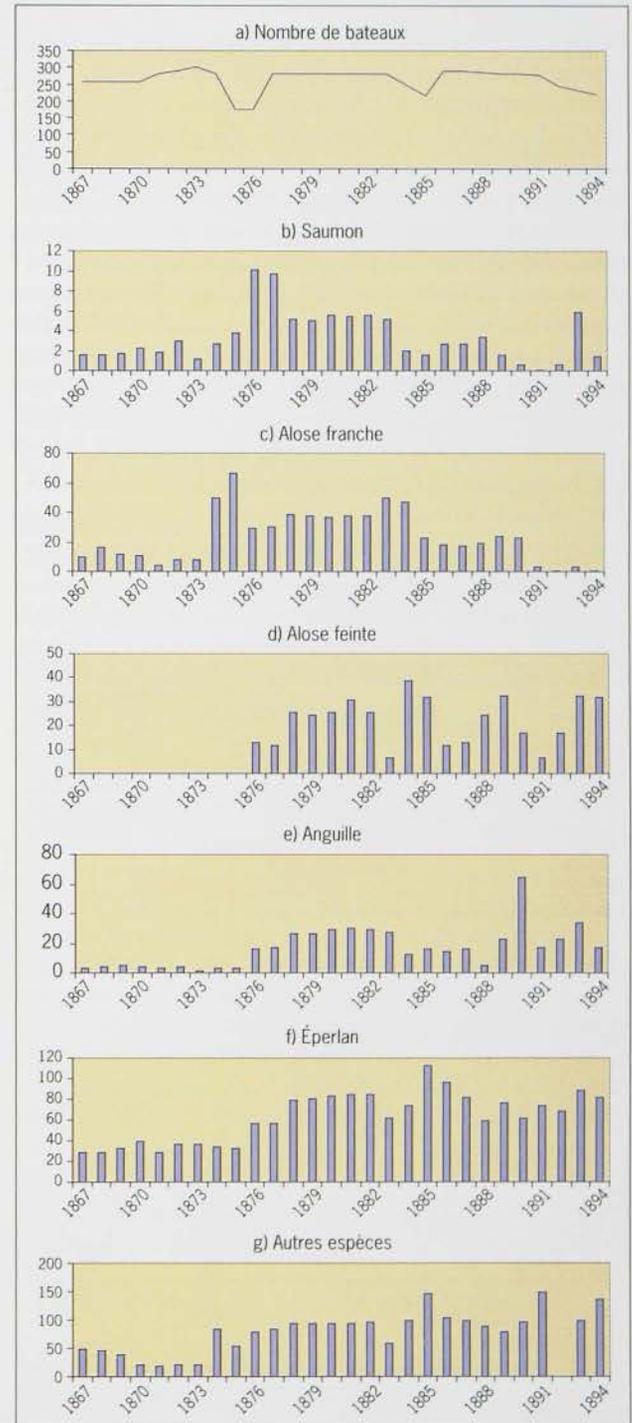


Figure 7 - Évolution de la pêche professionnelle fluviale (estimée en nombre de bateaux et des débarquements en tonnes des principales espèces de poissons migrateurs pêchés) de 1867 à 1894.

des barrages, maintiennent leurs effectifs jusqu'en 1950, ces espèces déclinent alors brusquement pour quasiment disparaître en 1965-1970. La disparition des migrateurs est essentiellement liée à l'établissement des barrages de navigation. Avant 1850, la circulation est perturbée mais pas bloquée, les poissons pouvant passer par les pertuis et profiter des « lâchures » (lâchers d'eau) fréquentes pour les besoins de la navigation. De plus, les barrages restaient de hauteur modérée et surtout n'étaient pas étanches, ils restaient même largement ouverts chaque hiver. Après 1850, la migration est rendue très difficile à Poses. Dans les années 1870-1880, le nombre des ouvrages et leur mode de maintenance hydraulique furent fatals. Les effets négatifs d'une exploitation aveugle tout le long du réseau et d'une pollution industrielle et domestique de l'agglomération parisienne, déjà mise en cause en 1875, ne peuvent cependant pas être occultés. Il s'ajoute pour certaines espèces, comme l'éperlan, la destruction des frayères*, liée aux dragages des chenaux de navigation. Malgré plusieurs tentatives de restauration, liées à la mise en place d'échelles à poissons sur les barrages infranchissables et au repeuplement en saumon et en alose à la fin du XIX^e et au début du XX^e siècle, force est de constater la disparition quasi totale de la plupart des grands migrateurs. Truite de mer, saumon, anguille, lamproies fluviale et maritime, alose franche et éperlan ont été vus dans la passe de Poses au début des années quatre-vingt-dix ; ces populations sont, au regard de la dégradation de leur habitat*, dans un état sous-optimal ou encore accidentel pour certaines d'entre elles.

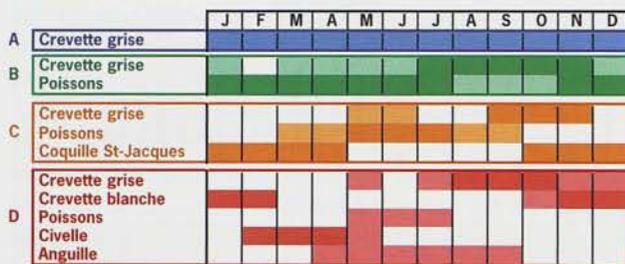


La Seine n'est pas un cas fluvial isolé ; tous les grands fleuves européens et américains ont subi le même sort. Les Anglo-Saxons ont pour leur part entrepris des projets ambitieux de restauration de ces espèces emblématiques de la qualité des eaux. La motivation profonde est la restauration d'un patrimoine naturel et, à terme, une relance socio-économique *via* la pêche sportive. Des réussites sont à noter, comme le plan de restauration sur la Tamise. De telles restaurations comportent six principaux volets avec des approches sensiblement différentes selon les pays, les priorités et les investissements techniques et financiers.

Ces phases successives ou synchrones sont les suivantes :

- connaissance du milieu et estimation des potentiels ;
- restauration et amélioration de la libre circulation ;
- repeuplement ;
- mise en place de mesures réglementaires ;
- sensibilisation et information du public, des politiques et des administrations ;
- restauration et amélioration des habitats.

Par conséquent, des remèdes existent, il convient de convaincre les pouvoirs publics et politiques de mobiliser les moyens. L'amélioration indispensable et indéniable de la qualité des eaux de la Seine ne sera pas suffisante pour assurer le retour des migrateurs ; il convient, parallèlement à cette restauration de la qualité du milieu, de favoriser la libre circulation des poissons dans tout le système Seine. Il ne fait pas de doute que ce défi aura pleinement sa place dans la gestion globale de l'estuaire pour en assurer un développement durable.



Alternance des métiers en fonction de la stratégie de pêche du bateau

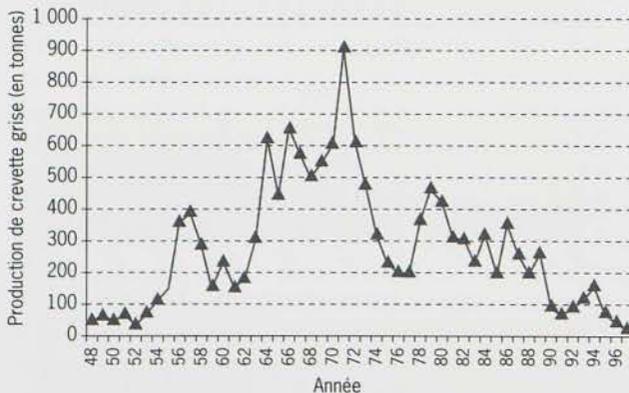


Figure 8 - Évolution de la production de la crevette grise (tonnes) en baie de Seine orientale entre 1948 et 1997 et alternance des métiers en fonction de quatre stratégies de pêche du bateau.

L'éperlan - *Osmerus eperlanus* L., 1758

L'éperlan, *Osmerus eperlanus* (Osmériformes, Osmeridae), est un poisson que l'on détecte facilement dans les captures en raison d'une odeur de concombre tout à fait caractéristique (fig. 1). De couleur beige avec les flancs blanchâtres à reflets argentés, il se reconnaît notamment à la position de la commissure de la bouche, située en arrière des yeux et à la présence d'une nageoire adipeuse haute et étroite. L'éperlan est une espèce d'origine paléarctique. Il est signalé dans l'Atlantique Nord-Est dans les eaux côtières (de 0 à 30 m) et à l'embouchure des fleuves depuis la Norvège et la mer Baltique jusqu'en Gironde, qui marque la limite méridionale de son aire de répartition.

Cycle biologique

Bien que l'existence de populations strictement dulçaquicoles ait été signalée en Norvège, la plupart des populations d'*Osmerus eperlanus* sont amphihalines potamotoques (Pronier & Rochard, 1998). Les adultes se regroupent en zone estuarienne en fin d'année et la migration de reproduction a lieu, suivant la température de l'eau, de février à mars (Gironde) ou mars à avril (Elbe). Les éperlans se regroupent généralement en limite de marée dynamique et frayent en eau douce sous forme de bancs assez denses. Les œufs sont benthiques et adhèrent au substrat grâce à une membrane d'attache qui leur permet de résister au courant jusqu'à l'éclosion. Cette dernière a lieu après une incubation d'environ 20 jours. Les larves* dévalent alors le fleuve avec le courant jusqu'aux zones favorables à leur rétention et à leur alimentation. De tels milieux correspondent, par exemple dans l'Elbe, à des bras morts du fleuve où les courants sont plus faibles. Dans le Saint-Laurent (Canada), la distribution des éperlans arc-en-ciel (*O. mordax*) est associée à la zone de maximum de turbidité. Les larves effectuent alors des migrations verticales dans la colonne d'eau, ce qui leur permet de conserver leur position longitudinale et de rester dans la zone riche en nourriture (copépodes). Les juvéniles arrivent ensuite dans l'estuaire en juin-juillet. La croissance est rapide et ils se mélangent alors avec les individus plus âgés. Pour les populations vivant au cœur de l'aire de répartition, l'âge à la première maturité sexuelle est de 1 an. La longévité maximale de l'espèce est de 4 à 5 ans pour une taille maximale d'environ 300 millimètres.

Historique dans la Seine

Au début du siècle, l'éperlan a tenu la première place dans les revenus des pêcheurs du fleuve (Morel, 1984). Si Duclair fut la capitale de l'alose, Caudebec-en-Caux devint celle de l'éperlan et les édiles de la cité cauchoise avaient fait figurer trois éperlans d'argent sur les armes de la ville. La pêche était pratiquée lors de la migration de reproduction au moment de la montaison, entre fin février et début avril ; c'était « la moisson ». L'éperlan montait le fleuve en se laissant porter par le « bout du flot » jusqu'aux environs d'Elbeuf où il frayait sur un fin gravier. Les premiers poissons étaient les plus gros tandis que les plus petits, âgés d'un an et dénommés « les clous », fermaient la marche. À l'automne, on pêchait les juvéniles et les adultes dans la partie basse de l'estuaire. La saison de pêche était perçue à l'avance par les pêcheurs qui guettaient le « reverdissement » de la nature et les signes annonciateurs : « À la Saint-Aubin,



Figure 1 - Photo d'éperlans, *Osmerus eperlanus* L., 1758.

l'éperlan est en chemin ». Les pêcheurs d'en haut (en amont de Rouen) et ceux d'en bas (entre Villequier et Rouen) se retrouvaient alors chaque année. Ils étaient absents de chez eux parfois plus d'un mois, amenés à coucher à l'auberge ou chez des amis qui avaient l'habitude de les recevoir pendant cette période de nomadisme durant laquelle ils suivaient la migration du poisson.

La saison était courte. Certains pêchaient de jour comme de nuit mais l'éperlan était au rendez-vous puisque l'on mentionne jusqu'à 300 à 400 kg d'éperlans par jour. Les engins le plus souvent employés étaient alors la senne, le filet maillant et le guideau (ou diable).

Situation actuelle

L'éperlan se serait raréfié dans la Seine depuis les années trente. Les raisons en sont mal connues mais on invoque le plus souvent les travaux d'endiguement du fleuve et un accroissement considérable des activités du port de Rouen. Cette période correspond à une tendance à la détérioration de la qualité de l'eau et des habitats, dont les frayères, dans de nombreux estuaires de par le monde.

Considéré encore comme une espèce disparue de l'éperlan, il apparaît depuis 1998 qu'un fragile retour de l'éperlan soit en cours puisqu'il est à nouveau régulièrement observé par les pêcheurs de l'estuaire. À mi-route entre les objectifs de protection de la nature (directive Habitats) et les projets d'intérêt économique qui jalonnent encore l'estuaire de la Seine, la gestion et la préservation de ce poisson dont l'intérêt patrimonial est désormais évident, constituent un enjeu pour les années à venir.

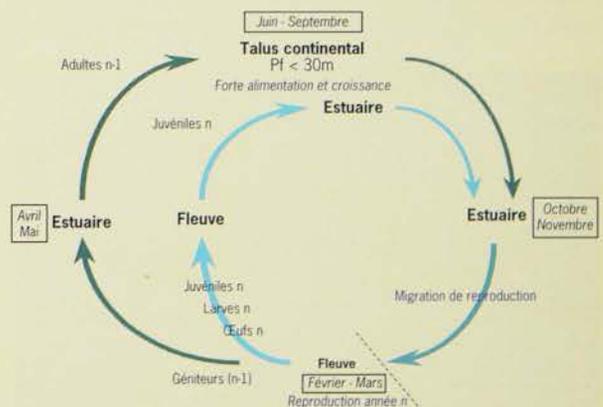


Figure 2 - Schéma du cycle écologique d'une population amphihaline d'éperlan, *Osmerus eperlanus* (d'après Pronier & Rochard, 1998).

Chapitre II

Patrimoine biologique de l'écosystème estuarien

L'estuaire sous influence saline

Il convient de signaler le faible niveau de connaissance du niveau trophique primaire (phytoplancton et phytobenthos* ou microphytobenthos) aussi bien en termes de composition spécifique et de caractéristiques démographiques (abondance et biomasse) que de production primaire* et l'absence totale de connaissance de la méiofaune de l'estuaire et de la baie de Seine (organismes retenus sur 40 µm et passant au travers d'un tamis de 1 mm), souvent à la base de la chaîne trophique.

Caractéristiques du compartiment pélagique

Les données sur les biomasses phytoplanctoniques dans la baie de Seine ne sont encore que parcellaires. Cependant, les travaux menés actuellement dans le cadre du chantier baie de Seine du Programme national d'environnement côtier (PNEC) devraient les compléter avantageusement.

Copépode - *Eurytemora affinis* (Poppe, 1880)

Le crustacé copépode calanoïde *Eurytemora affinis* (fig. 1) est une espèce présente dans tous les estuaires de l'hémisphère boréal. Il est la composante majeure du mésozooplancton estuarien et présente ses plus fortes abondances dans la zone oligohaline de l'estuaire (jusqu'à 200 000 ind. m⁻³), il peut cependant être récolté jusque dans la zone mésohaline. En Seine, *E. affinis* présente trois périodes d'abondance maximale : en février-mars, à la mi-avril et fin mai. Au moins quatre générations printanières se succèdent pendant la période d'abondance maximale. *E. affinis* se nourrit de phytoplancton, essentiellement d'origine fluviale.

Il est à la base du réseau trophique* de l'estuaire salé. Il pourrait, par ses caractéristiques biologiques et morphologiques, servir d'espèce indicatrice des conditions estuariennes.

Le cycle de vie de l'espèce est complexe (fig. 2). Les premiers stades naupliens (N1 à N6) subissent en général une très forte mortalité. La taille très petite des stades naupliens

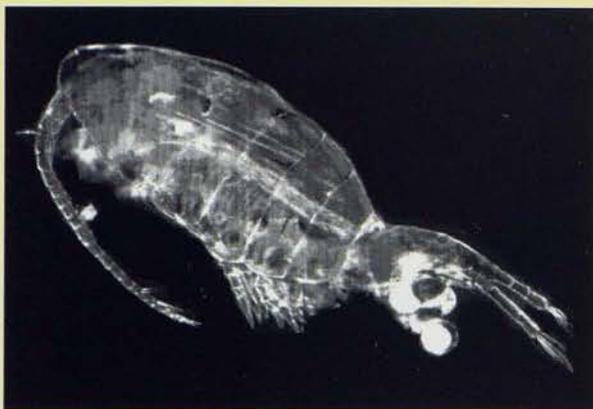


Figure 1 - Photo d'un *Eurytemora affinis* adulte.

L'importante fertilisation de la bande côtière par la Seine et, à un moindre degré, par l'Orne se traduit par une forte concentration en sels nutritifs* dans les eaux superficielles du panache de dilution et par la présence, tant en été qu'au printemps, de fortes biomasses phytoplanctoniques dans toute l'aire de dilution de la Seine. Après un démarrage printanier à grosses diatomées* (notamment l'espèce *Skeletonema costatum*) dans une zone peu stratifiée à une certaine distance de l'embouchure de la Seine, là où la décantation des particules en suspension laisse pénétrer suffisamment de lumière, le maximum de biomasse se rapproche de l'estuaire grâce à une série de floraisons estivales à plus petites cellules de groupes variées, en particulier des dinoflagellés* (*Gymnodinium* spp.). Les dénombrements d'espèces phytoplanctoniques ont mis en évidence la quasi-exclusion mutuelle entre diatomées et dinoflagellés. Les biomasses pourraient atteindre 1 g C.m⁻² près de l'estuaire au moment

(100 à 500 µm) et leurs différences morphologiques augmentent les difficultés d'étudier séparément les six stades nauplius ; les stades copépodes C1 à C5 se différencient par la taille mais aussi par leur ornementation et le nombre des appendices. La modélisation de la dynamique de l'espèce est en cours pour déterminer l'évolution spatio-temporelle de cette espèce majeure de l'écosystème pélagique estuarien située à la base du réseau trophique. Des expérimentations devront être menées pour préciser les conditions de développement, notamment la croissance et la fécondité, en fonction de la température et de la quantité de nourriture. De plus, il conviendra de préciser les comportements de l'espèce, qui arrive à maintenir son pic d'abondance en amont du bouchon de turbidité, à l'aide de modèles hydrodynamiques.

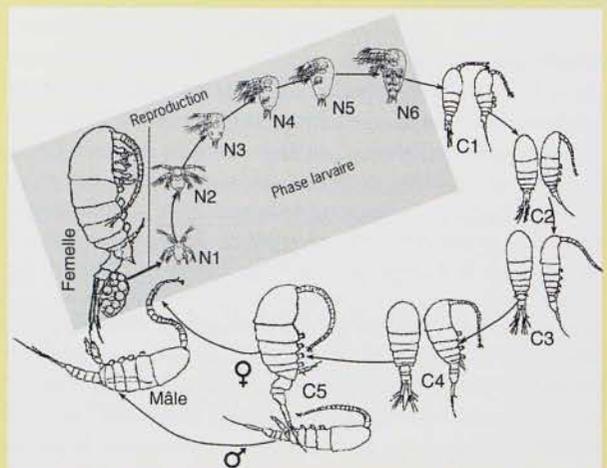


Figure 2 - Schéma du cycle de vie d'*Eurytemora affinis* qui comporte douze stades et trois phases. La première phase du cycle de vie représentant la reproduction et le développement larvaire a été encadrée, elle nécessite une étude plus approfondie (d'après S. Souissi, non publié).

des blooms* printaniers ou estivaux pour une production de l'ordre de 300 g C.m⁻².an⁻¹; le maximum de production se situe vers des salinités de 32-33. Les biomasses phytoplanctoniques et les productions chutent drastiquement lorsque l'on pénètre dans l'estuaire, elles ne sont plus que de quelques dizaines de milligrammes de carbone par mètre carré et inférieures à 50 g C.m⁻².an⁻¹ pour une salinité de 27. Le mésozooplancton de l'estuaire salé est caractérisé par une communauté paucispécifique dominée par le copépode *Eurytemora affinis* (voir p. 12) à laquelle viennent s'ajouter, dans la partie amont, des cladocères fluviaux (*Bosmina* spp. et *Daphnia* spp.) et, dans la partie aval, des copépodes (*Acartia* sp.) et d'autres espèces planctoniques d'affinité marine (fig. 9). La communauté euryhaline de la baie de Seine est dominée par les copépodes *Acartia* spp., *Temora longicornis* et *Centropages hamatus*, le cladocère *Evadne nordmanni* et l'appendiculaire *Oikopleura dioica* (Dauvin *et al.*, 1998; Mouny, 1998; Wang, 2000).

La zone polyhaline, caractérisant la partie marine de l'estuaire où les salinités sont supérieures à 18, est dominée en termes de plancton par les copépodes marins (*Temora longicornis* et autres calanoïdes) et par les copépodes côtiers *Acartia* spp. (fig. 9). La zone mésohaline, où les salinités de surface sont comprises entre 18 et 5, est moins diversifiée et est principalement dominée par le copépode *Eurytemora affinis* pour le mésozooplancton (fig. 9). La zone oligohaline, située dans la partie amont de l'estuaire où les salinités sont inférieures à 5, est paucispécifique avec une très forte dominance d'*E. affinis* qui présente, dans cette zone, ses densités les plus fortes (fig. 9). La figure 10 montre d'ailleurs que cette forte abon-

dance du copépode *Eurytemora affinis* est une caractéristique de l'estuaire de la Seine par rapport aux autres systèmes estuariens européens comme la Gironde, l'Escaut ou l'Ems.

Contrairement aux autres estuaires européens, on observe une forte pénétration des copépodes du genre *Acartia* en estuaire de Seine ainsi que celle de certaines espèces marines comme les copépodes *Temora longicornis* et *Centropages* spp. (fig. 11). De plus, il est également observé une intrusion importante des cladocères d'eau douce dans la partie amont de l'estuaire. Ces intrusions dans les parties aval et amont de ces différentes espèces sont dues notamment à la chenalisation qui a provoqué une augmentation des courants vers l'aval et une marinisation de l'estuaire avec pénétration d'espèces marines plus en amont.

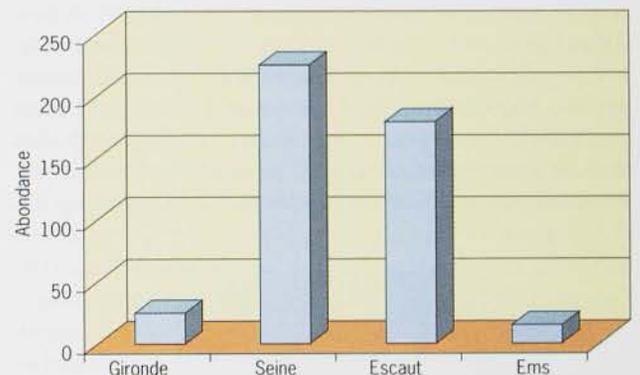


Figure 10 - Abondance maximale printanière (nombre d'individus par 100 m³) du copépode *Eurytemora affinis* dans la zone oligohaline de quatre grands estuaires européens.

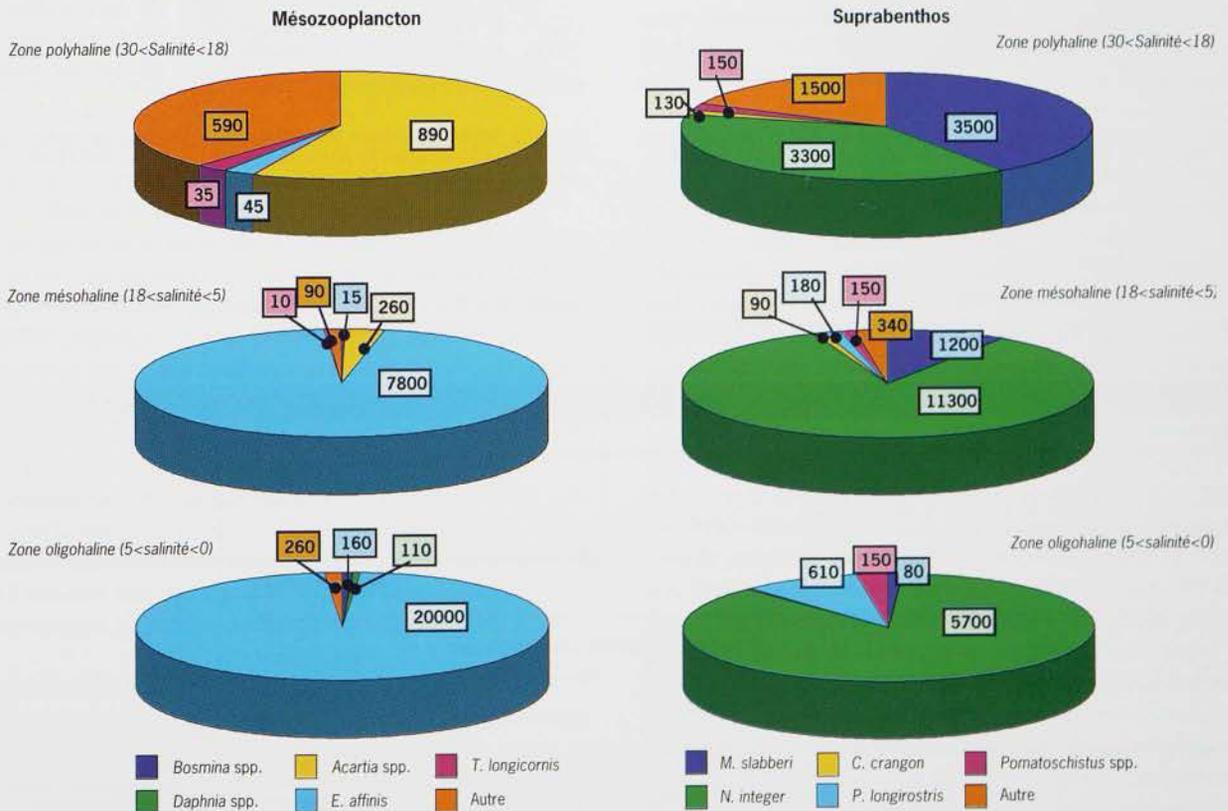


Figure 9 - Abondance moyenne annuelle et dominance des principales espèces du mésozooplancton (nombre d'individus par mètre cube) et des principales espèces du suprabenthos (nombre d'individus par 100 m³) pour les zones polyhaline, mésohaline et oligohaline de l'estuaire salé.

Le macrozooplancton est dominé par le cténaire *Pleurobrachia pileus* qui n'est présent qu'au printemps (mai- juin), les larves de poissons, notamment des clupéidés (hareng et sprat) et des gobiidés, et des chaetognathes *Sagitta* spp. Ces espèces sont toutes des prédateurs* efficaces du mésozooplancton (Wang, 2000).

Caractéristiques du compartiment suprabenthique

La communauté suprabenthique estuarienne est peu diversifiée; elle est dominée par les mysidacés* *Neomysis integer* (voir p. 25), *Mesopodopsis slabberi*, les décapodes *Palaemon longirostris* (voir p. 23; bouquetin) et *Crangon crangon* (crevette grise; voir p. 16) et les gobiidés *Pomatoschistus minutus* et *P. microps* (voir p. 24; fig. 9, 11). La crevette blanche ou bouquetin présente en Seine des abondances beaucoup plus élevées que dans les autres grands estuaires européens (fig. 12).

Dans la baie de Seine, la communauté est plus diversifiée, elle s'enrichit en mysidacés *Gastrosaccus* spp. et *Schistomysis* spp., en amphipodes *Megaluropus agilis*, *Pariambus typicus* et *Perioculodes longimanus* et en cumacés *Diastylis* spp. Les espèces estuariennes n'étendent pas leur distribution vers les eaux salées; en revanche, il existe une intrusion des

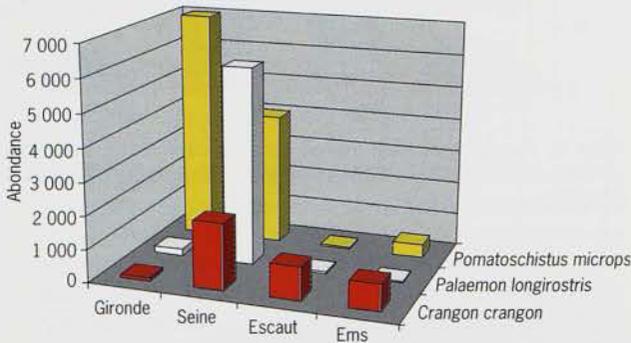


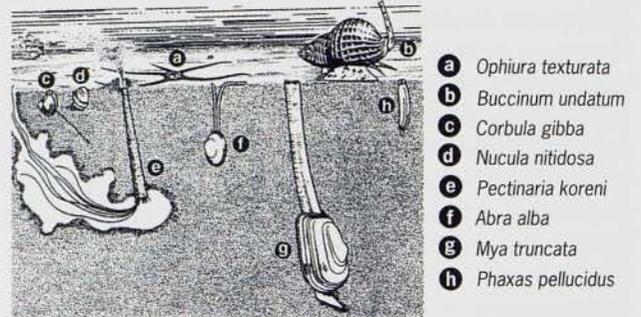
Figure 12 - Abondance maximale (nombre d'individus par 100 m²) des trois principales espèces du suprabenthos estuarien de quatre grands estuaires européens.

espèces de la communauté marine dans l'estuaire en période printanière et estivale.

Caractéristiques du compartiment benthique

Deux peuplements macrozoobenthiques occupent la partie orientale de la baie de Seine et l'estuaire, aussi bien en zone subtidale* qu'en zone intertidale (fig. 13). Bien qu'il existe une certaine imbrication des deux unités dans la zone peu profonde (0 à 5 m) au débouché en mer de la Seine, le peuplement des sables fins envasés à *Abra alba* et *Pectinaria koreni* (voir p. 26) occupe plutôt la partie subtidale et le peuplement à *Macoma balthica* (voir p. 25) la partie intertidale (fig. 14).

La communauté à *Abra alba* - *Pectinaria koreni*



La communauté à *Macoma balthica*

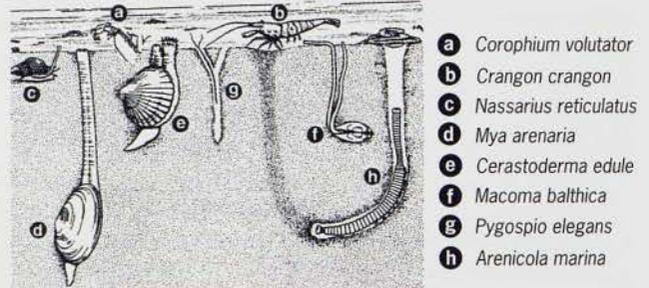


Figure 13 - Schéma synthétique présentant la répartition verticale des principales espèces macrobenthiques du peuplement à *Abra alba* - *Pectinaria koreni* et du peuplement à *Macoma balthica* de l'estuaire de la Seine.

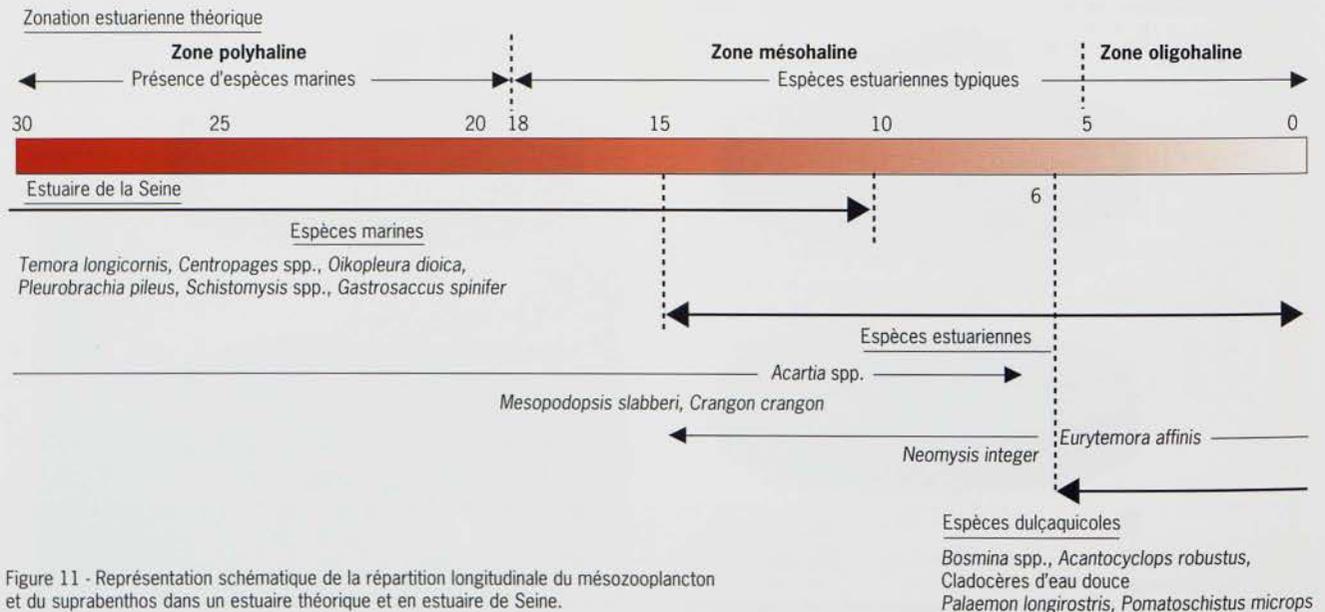


Figure 11 - Représentation schématique de la répartition longitudinale du mésozooplancton et du suprabenthos dans un estuaire théorique et en estuaire de Seine.

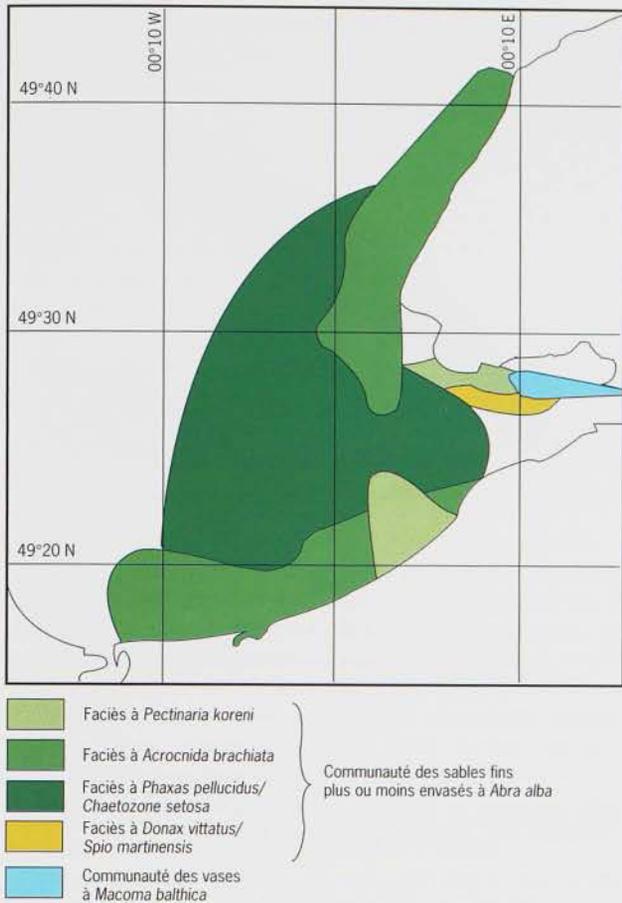


Figure 14 - Cartographie récente de la répartition des peuplements macrobenthiques subtidiaux de l'estuaire salé et marin de la Seine.

On observe pour chacun d'eux l'existence :

- de faciès* plus ou moins riches en fonction du degré d'envasement des sites (fig. 14),
- d'un gradient d'appauvrissement lié à leur pénétration dans l'estuaire (Proniewski & Elkaim, 1980 ; Desprez, 1981 ; Mouny *et al.*, 1998).

Le peuplement à *Abra alba* et *Pectinaria koreni* est le plus riche (> 100 espèces) : il est caractérisé par les annélides polychètes *Owenia fusiformis* (voir p. 26), *Pectinaria koreni*, *Nephtys hombergii*, *Magelona mirabilis*, *Lanice conchilega* et *Chaetozone setosa*, les bivalves *Abra alba*, *Mysella bidentata*, *Cultellus pellucidus*, *Fabulina fabula* et les échinodermes tels l'oursin de sable *Echinocardium cordatum*, les ophiures *Ophiura albida*, *Acrocnida brachiata*, et *Thyone fusus*.

Le peuplement à *Macoma balthica* est peu diversifié (< 20 espèces); outre cette espèce, il est dominé par le bivalve, *Cerastoderma edule*, dans le faciès sableux de la partie externe de l'estuaire salé (voir p. 25), le polychète *Hediste (Nereis) diversicolor* et l'amphipode *Corophium volutator* (voir p. 26).

Caractéristiques quantitatives

Pour ces trois compartiments, l'estuaire de la Seine montre l'existence de contrastes très marqués entre des zones de richesse biologique extrême en termes d'abondance et de biomasse, qui sont les plus riches au niveau des grands estuaires européens, et des zones pratiquement sans faune,

dans un contexte estuarien caractéristique des estuaires nord-européens (faible nombre d'espèces). Il n'existe pas en estuaire de Seine d'espèces endémiques*; de même, il n'a pas été mis en évidence d'absence notable d'espèces d'invertébrés notées ailleurs dans des estuaires français, comme la Loire et la Gironde, ou nord-européens, comme l'Escaut et l'Ems.

Les principaux points à souligner pour l'estuaire salé sont les suivants :

Mésozooplancton : richesse du chenal de navigation, notamment entre Honfleur et le pont de Tancarville; le copépode *Eurytemora affinis*, dans la partie oligohaline, présente une abondance voisine d'un million d'individus par mètre cube au printemps (pics en avril et juin), 10 fois plus importante que dans d'autres estuaires;

Macrozooplancton : richesse du chenal de navigation en aval de Honfleur avec le cténaire *Pleurobrachia pileus* dans la partie polyhaline de l'estuaire (jusqu'à 800 individus par mètre cube au printemps, en mai-juin, la plus forte valeur rencontrée en Manche-mer du Nord); les larves de poissons sont également abondantes dans cette partie de l'estuaire;

Suprabenthos : richesse du chenal de navigation avec le décapode *Palaemon longirostris* dans la partie oligohaline de l'estuaire (> 2 500 individus pour 100 m³ en automne), le mysidacé *Neomysis integer* dans la partie mésohaline de l'estuaire (jusqu'à 200 000 individus pour 100 m³ au printemps), les cumacés *Diastylis* spp. dans la partie orientale de la baie de Seine (> 50 000 individus pour 100 m³; Zouhiri, 1999); la biomasse du suprabenthos peut dépasser 200 g pour 100 m³ en certaines occasions, ce qui représente 2 000 fois la biomasse rencontrée généralement en Manche dans des stations infralittorales ou circalittorales (de 10 à 75 m de profondeur; Dauvin *et al.*, 2000);

Macrobenthos intertidal : fortes abondances sur la vase Nord, du polychète *Hediste diversicolor* et de l'amphipode *Corophium volutator* (> 10 000 individus par mètre carré et > 20 g poids sec par mètre carré en été, valeurs comparables à celles rencontrées ailleurs dans des estuaires nord-européens; Desprez, 1981); pauvreté des peuplements de sables aussi bien dans la fosse Nord que la fosse Sud;

Macrobenthos subtidal : richesse du peuplement des sables fins envasés à *Abra alba* - *Pectinaria koreni* avec une structuration en trois noyaux d'abondance et de biomasse : le premier juste au débouché en mer de la Seine, le second le long des côtes du pays d'Auge, entre Deauville et Cabourg ainsi que dans la fosse sud, enfin, le troisième le long des côtes du pays de Caux, entre la Hève et le port d'Antifer (Thiébaud *et al.*, 1997). La fosse Nord et le chenal s'individualisent par leur pauvreté en macrobenthos, liée pour la première à un substrat peu stable et pour le second aux forts courants ainsi qu'à l'action chronique des dragages. Sur ces deux sites, les conditions sont peu favorables à la colonisation des larves et au maintien de la faune. On rencontre les polychètes *Pectinaria koreni* et *Owenia fusiformis* (> 20 000 individus par mètre carré au printemps, biomasse > 200 g poids sec par mètre carré en certaines stations, maxima 10 fois plus élevés que sur des peuplements semblables de la Manche ou de la mer du Nord; tab. 2).

La crevette grise - *Crangon crangon* (L., 1758)

La crevette grise (fig. 1), crustacé décapode de la famille des crangonidés, fréquente les eaux saumâtres et marines de faible profondeur (< 50 m) de la mer du Nord à la mer Méditerranée. Cette espèce est inféodée aux fonds meubles, sableux et vaseux, des baies et estuaires européens. Sa taille maximale dépasse 60 mm pour les mâles et 90 mm pour les femelles, ces dernières ayant un taux de croissance supérieur à celui des mâles. En Manche, sa maturité sexuelle est atteinte en quelques mois ou un an selon que les individus appartiennent à la génération de printemps (recrutement en avril-juin) ou à la génération d'automne (recrutement en septembre-octobre). En estuaire de Seine, les juvéniles de la génération de printemps fréquentent d'abord les côtes du Calvados avant de pénétrer dans l'estuaire; du fait d'une croissance rapide, cette génération alimente la pêche professionnelle d'automne qui a lieu dans l'estuaire (fig. 2; Laniésse, 1982). Les juvéniles de la génération d'automne se concentrent d'abord dans l'estuaire avant de migrer vers le large et le littoral du Calvados à l'approche de l'hiver; cette génération alimente la pêche de printemps se déroulant sur le littoral du Calvados.

La pêcherie crevettière de la baie de Seine orientale est d'importance nationale; sa flottille représente jusqu'à plus de 35 bateaux lors de la pleine saison (d'août à novembre), dont une dizaine pratique cette activité toute l'année. La pêche à la crevette grise est réalisée à bord de petits chalutiers au moyen



Figure 1 - Photo d'une crevette, *Crangon crangon* (L., 1758).

d'un chalut de fond de petit maillage. Elle cible essentiellement les femelles, majoritaires dans la structure en taille du stock commercialisable (taille marchande d'environ 50 mm). Outre le critère économique, il faut souligner son importance écologique en tant qu'espèce de transfert au sein des chaînes trophiques, du fait de sa forte abondance, en tant que prédateur de petits crustacés (copépodes, amphipodes, mysidacés), d'annélides et de bivalves principalement, et en tant que proie de certaines espèces de poissons fréquentant l'estuaire (bar, motelle, merlan, tacaud...).

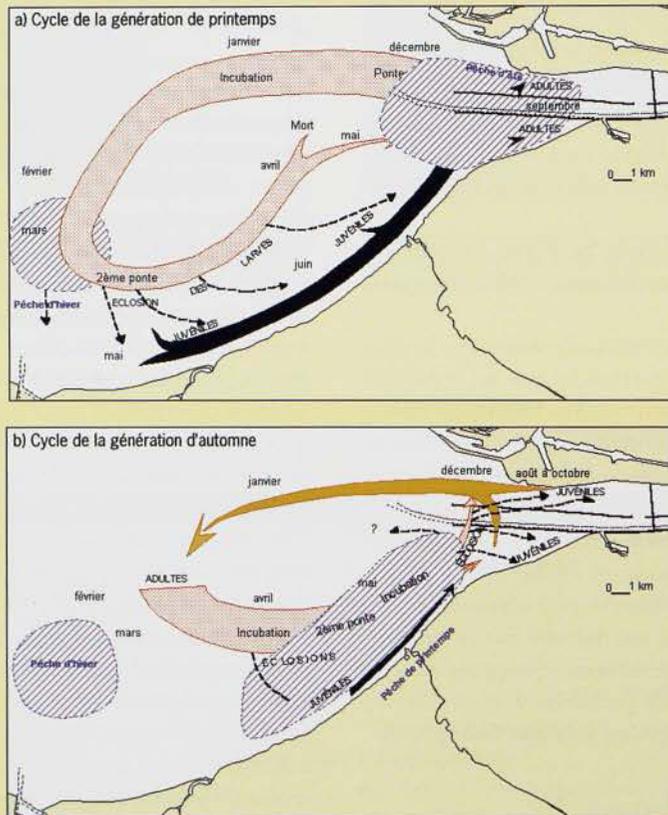


Figure 2 - Schéma du cycle de vie de *Crangon crangon* dans l'estuaire de la Seine pour la génération de printemps (a) et la génération d'automne (b).

Tableau 2 - Données de biomasses pour différents peuplements subtidiaux à *Abra alba* des mers européennes.

Région	Biomasse
Mer Baltique, baie de Kiel	10
Mer du Nord, German Bight	0,5 à 19
Mer du Nord, Southern Bight	1,2 à 1,5
Mer du Nord, Gravelines	0,5 à 250
Mer d'Irlande, baie de Swansea	11
Manche orientale, région de Penly	25 à 56
Manche occidentale, Rance	15 à 18
Manche occidentale, baie de St-Brieuc	3
Manche occidentale, baie de Morlaix, Pierre Noire	2 à 16
Manche occidentale, baie de Morlaix, rivière de Morlaix	2 à 33
Bassin d'Arcachon	0,5 à 11,5
Baie de La Corogne	0,5 à 17
Manche, estuaire de la Seine	22 à 130
Manche, baie de Seine 1986	1 à 120
Manche, baie de Seine 1987	0,2 à 108
Manche, baie de Seine 1988	0,4 à 193
Manche, baie de Seine 1991	0,1 à 97

Les données sont exprimées en gramme de matière sèche par mètre carré. Tableau réalisé d'après les revues de Dauvin (1984), Thiébaud (1994) et Thiébaud et al. (1997).

Évolution temporelle

Les peuplements présentent des variations temporelles dont plusieurs échelles ont pu être mises en évidence :

- alternances flot*-pleine mer - jusant*-basse mer (cycle tidal*) et jour-nuit (cycle nyctéméral*) prépondérants pour le mésozooplancton et le suprabenthos ;
- alternances vive-eau - morte-eau (cycle semi-lunaire*) importantes pour le mésozooplancton et le suprabenthos, et sans doute fondamentales dans la production primaire (turbidité plus élevée en vive-eau), mais dont le rôle reste à préciser ;
- variations saisonnières : concentration des périodes de recrutement (arrivée de juvéniles) au printemps pour le mésozooplancton et le macrobenthos et en été ou au début de l'automne (septembre-octobre) pour le suprabenthos (fig. 15). *Eurytemora affinis*, comme la majorité des espèces zooplanctoniques estuariennes, est très abondant durant la période printanière de mars à juin. Au cours de ces quatre mois, ce copépode présente une succession de quatre générations distinctes, traduisant sa rapidité de développement. Les densités d'*E. affinis* s'effondrent ensuite à partir de la période estivale sous l'effet de l'augmentation de la température de l'eau (qui devient moins propice au développement des copépodes) et de l'apparition de nombreux prédateurs. Le mysidacé *Neomysis integer* est observé en abondance, dans l'estuaire de la Seine, à partir du mois de mars jusqu'en automne (octobre). Trois générations sont enregistrées, une printanière début mars, une en fin de printemps en mai-juin et une dernière génération en fin d'été (septembre ; fig. 15). Les abondances de *N. integer* sont ensuite relativement faibles en hiver, du fait notamment de la chute des températures de l'eau.

Enfin, la crevette blanche *Palaemon longirostris* et le gobiidé *Pomatoschistus microps* ne présentent qu'une seule génération

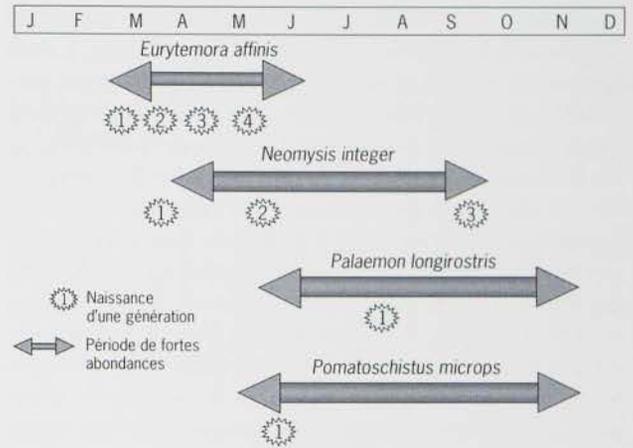


Figure 15 - Représentation synthétique du cycle annuel des principales espèces estuariennes de la Seine.

au cours de l'année, traduisant de fortes abondances uniquement en périodes estivale et automnale (fig. 15).

Au niveau du macrobenthos, il existe un paradoxe entre l'extrême abondance et les fortes biomasses du peuplement à *Abra alba* et le fait que celui-ci soit situé dans une zone où les apports en contaminants sont très élevés. En fait, dans cette zone sans anoxie (contrairement à ce qui est observé en mer du Nord au débouché des grands fleuves comme le Rhin ou l'Elbe), il existe un décalage entre la période de décharge maximale dans la baie de contaminants, en automne et en hiver (crues du fleuve, remise en suspension des sédiments lors des tempêtes), et la période de recrutement de la plupart des espèces au printemps.

L'évolution temporelle de septembre 1979 à septembre 1983 du nombre d'espèces et de l'abondance totale de la macrofaune, toutes espèces confondues, pour un mètre carré d'une station du peuplement des sables fins à *Abra alba* - *Pectinaria koreni* de la baie de Seine (fig. 16) au niveau de la Carosse (données Franck Gentil, Observatoire des sciences de l'univers de Roscoff) présente des cycles annuels avec des minima en hiver de l'ordre de 30 espèces et 3 000 individus par mètre carré et des maxima au début de l'été de plus de 40 espèces qui peuvent exceptionnellement atteindre 60 000 individus par mètre carré.

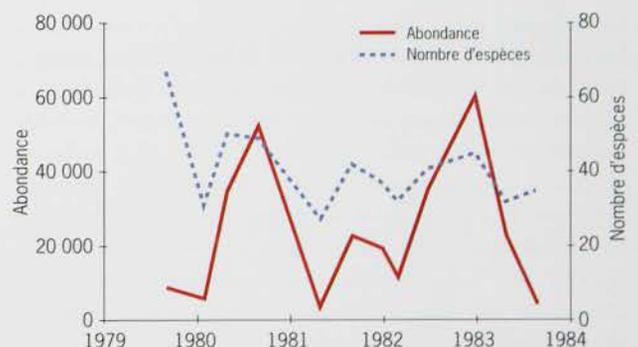


Figure 16 - Évolution temporelle de septembre 1979 à septembre 1983 du nombre d'espèces et de l'abondance totale de la macrofaune pour 1 m² du peuplement des sables fins à *Abra alba* - *Pectinaria koreni* de la baie de Seine au niveau de la Carosse (données Franck Gentil, Observatoire des sciences de l'univers de Roscoff).

Cependant, pour le macrobenthos subtidal, il existe une grande stabilité spatio-temporelle du peuplement à *Abra alba* de cette partie de la baie de Seine, eu égard à celle rencontrée ailleurs en Manche orientale (baie des Veys) ou dans la partie sud de la mer du Nord (région de Gravelines) où les fluctuations sont beaucoup plus marquées. La comparaison par examen du distogramme* de l'évolution temporelle pendant près de 15 ans (1977-1991) de quatre stations de peuplement des sables fins envasés à *Abra alba* en Manche occidentale (baie de Morlaix, deux stations : Pierre Noire et rivière de Morlaix), sud de la mer du Nord (Gravelines) et en baie de Seine révèle que la baie de Seine présente la plus faible hétérogénéité, avec seulement la présence de variations saisonnières, et l'absence de changement à long terme (fig. 17). Aux deux stations de la baie de Morlaix, se surimpose au cycle annuel une tendance croissante qui marque un processus de reconstitution des peuplements après la pollution de cette région en 1978 par les hydrocarbures de l'*Amoco Cadiz*. Gravelines, site soumis à des variations climatiques plus intenses (hivers plus rigoureux, fortes tempêtes), est beaucoup plus hétérogène, sans cycle annuel ni tendance perceptibles. Il existe donc un contraste important entre le peuplement de la baie de Seine soumis à des apports perturbateurs importants et une plus grande stabilité eu égard aux autres sites et, en particulier, Gravelines où seules les variations climatiques sont prépondérantes (Fromentin *et al.*, 1997).

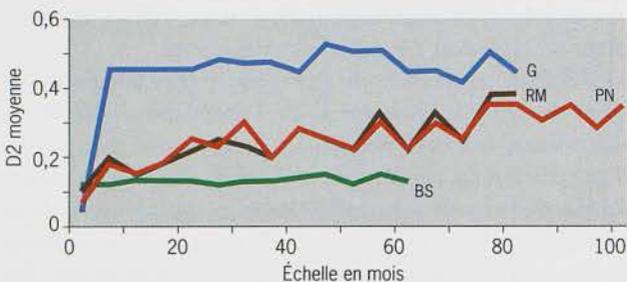


Figure 17 - Évolution de la dissemblance (D2) temporelle des observations séparées de trois à cent mois (fonction de distogramme*) de quatre sites du peuplement à *Abra alba* de la Manche - mer du Nord. G : Gravelines; RM : Rivière de Morlaix; PN : Pierre Noire en baie de Morlaix et BS : station 3, la Carosse en baie de Seine (d'après Fromentin *et al.*, 1997).

L'évolution temporelle (1977-1991) de l'abondance du bivalve *Abra alba* en ces mêmes quatre stations montre l'existence d'un cycle décennal pour les trois stations de la Manche et un cycle de sept ans pour la station de Gravelines (fig. 18) où les conditions climatiques sont plus rudes en hiver, avec une alternance des hivers rigoureux et cléments présentant une périodicité de 7-8 ans (Dauvin *et al.*, 1993). La périodicité de 10-11 ans pour les populations de la Manche, dont la baie de Seine, est à confirmer par des observations sur une plus grande période et à corrélérer éventuellement avec le nombre de taches solaires.

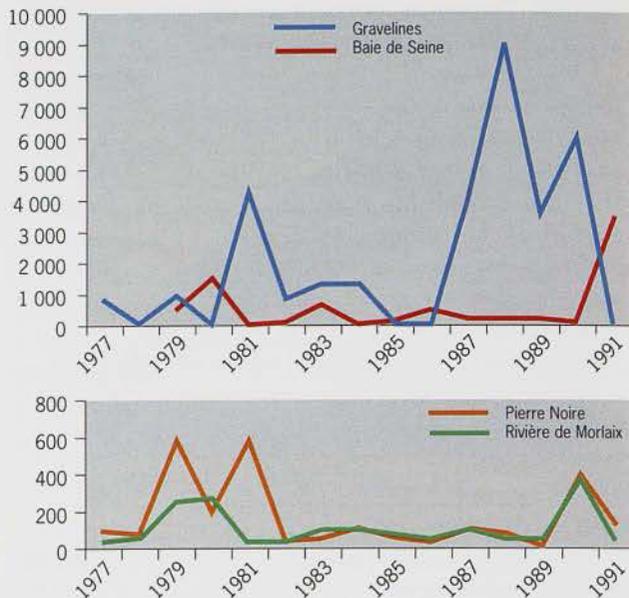


Figure 18 - Évolution temporelle (1977-1991) de l'abondance d'*Abra alba* (nombre d'individus par mètre carré) dans quatre sites du peuplement à *Abra alba* de la Manche - mer du Nord : Gravelines; rivière de Morlaix; Pierre Noire en baie de Morlaix et station 3, la Carosse en baie de Seine (d'après Dauvin *et al.*, 1993).

L'estuaire fluvial

Caractéristiques du compartiment pélagique

Mésozooplancton de la partie fluviale de l'estuaire

Les profils longitudinaux réalisés sur des stations à Poses et La Bouille montrent que la proportion des microcrustacés est maximale à Poses (pk 200) quand le temps de séjour a été suffisamment élevé pour permettre leur développement (Akopian *et al.*, 1998). Ces microcrustacés pourraient également être amenés par les annexes hydrauliques en communication avec la Seine, nombreuses dans ce secteur. Ces microcrustacés régressent plus en aval alors que les larves de dreissenés s'accroissent. Outre l'impact possible des dreissenés adultes sur le zooplancton, l'augmentation des matières en suspension (MES) n'est pas favorable à leur maintien.

Les dénombrements spécifiques des espèces planctoniques révèlent une diminution de leur diversité d'amont en aval. Ils montrent ainsi que le zooplancton saumâtre ne remonte pas au-delà de l'embouchure (Caudebec-Tancarville). Le zooplancton de la partie amont de l'estuaire est donc typiquement un zooplancton d'eau douce, d'un type fluvial où les rotifères dominent et atteignent des densités élevées (4 000 ind./l) au printemps. On notera la présence d'espèces indicatrices d'eaux eutrophes (*Brachionus calyciflorus*).

Les travaux réalisés en 1997 montrent la présence d'une population de dreissènes abondantes dans l'estuaire fluvial (fig. 19) (Akopian *et al.*, 1998). Si les larves de dreissènes contribuent avec les microcrustacés et les rotifères à une filtration importante du phytoplancton, les dreissènes adultes fixées au fond, connues pour être de puissants filtreurs, pourraient véritablement contribuer au déclin abrupt des populations algales ainsi qu'il a été montré à l'amont dans la Marne canalisée et dans la Moselle. Le rôle que pourrait jouer le zooplancton dans l'estuaire a été souligné, il apparaît désormais que la présence des lamellibranches invasifs devra retenir un intérêt tant dans la rivière, donc en amont de Poses, que dans son estuaire en aval de Poses (fig. 20).

Caractéristiques du compartiment benthique

La faune invertébrée peuplant les eaux douces regroupe une variété très importante d'animaux, depuis des organismes peu évolués comme les éponges ou encore les hydres jusqu'aux insectes et aux crustacés.

Les conditions environnementales régnant au niveau des berges et du chenal diffèrent, notamment, par la présence en permanence d'eau dans le chenal (avec une profondeur maximale d'environ 14 m, sous la dépendance de la marée) alors que les berges sont régulièrement découvertes à marée basse (marée dynamique dans l'estuaire fluvial). Il convient donc de considérer séparément ces deux composantes.

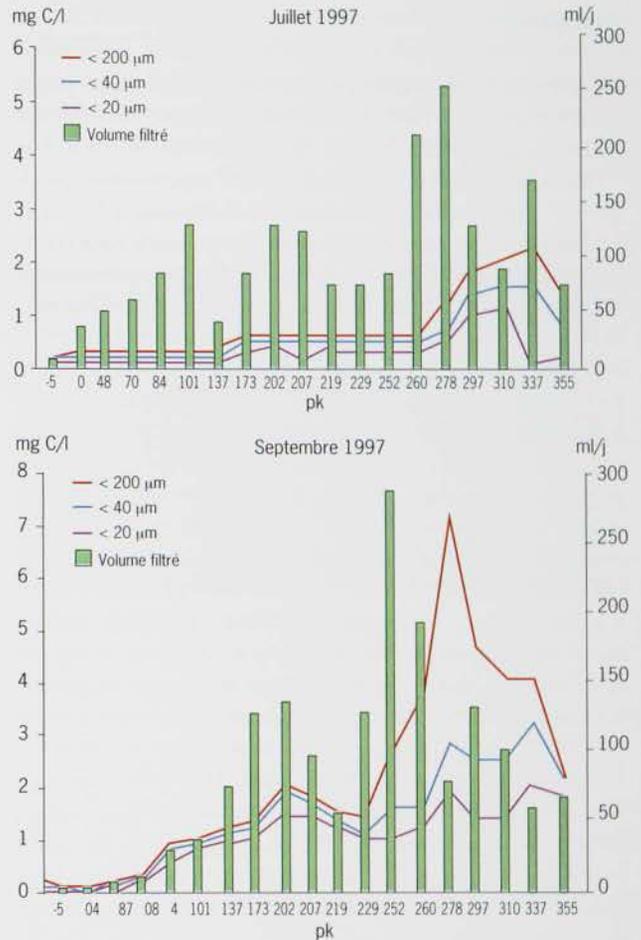


Figure 20 - Variations longitudinales de la filtration globale par la communauté zooplanctonique et de la biomasse algale par classe de taille (d'après Akopian *et al.*, 1998).

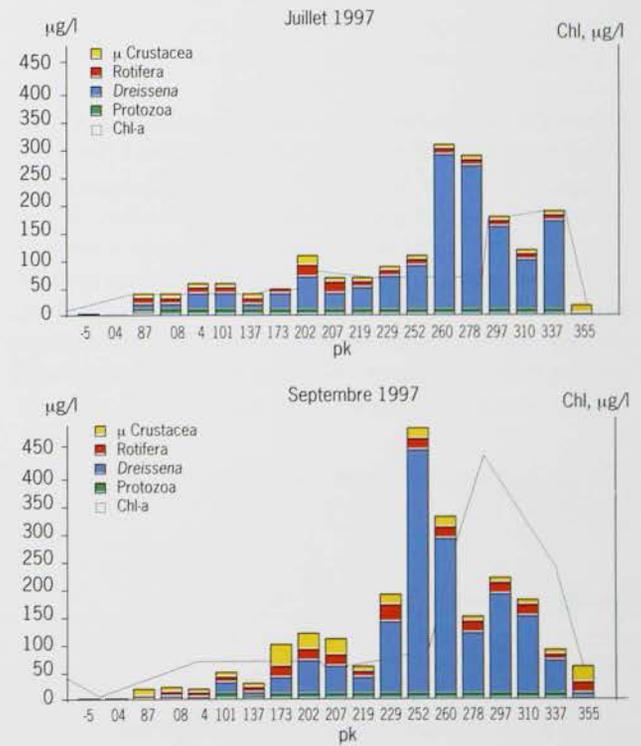
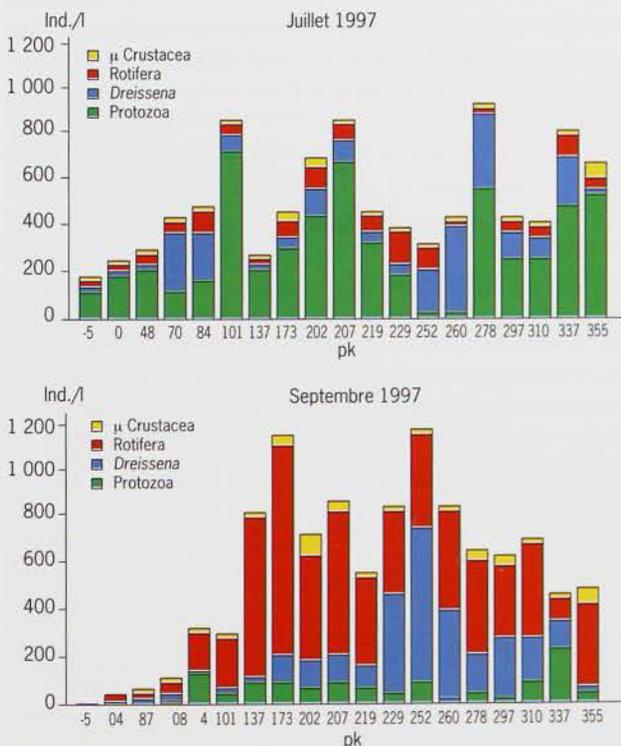


Figure 19 - Variations longitudinales des abondances et des biomasses des principaux groupes zooplanctoniques de la confluence de la Marne à l'estuaire en juillet et septembre 1997 (d'après Akopian *et al.*, 1998).

Zone rivulaire

La zone rivulaire de la Seine présente un cortège de taxons communs à tout l'estuaire fluvial (Ficht, 1991 ; Lasnier, 1998 ; Costil, 1998). Il s'agit de :

- **plathelminthes** : les planaires sont représentées par le genre *Dugesia* et la planaire blanche *Dendrocoelum lacteum* ;
- **annélides** : les vers oligochètes sont présents dans toutes les stations prospectées, sans exception, et ils peuvent être très abondants. Ils appartiennent à différentes familles : Tubificidae dont le genre *Tubifex* (voir p. 25), Naididae, Enchytraeidae, Lumbriculidae et Lumbricidae ; les sangsues ou achètes, avec cinq espèces, sont très communes de Poses à Caudebec-en-Caux ;

- **mollusques** : les bivalves présentent peu d'espèces et une seule est partout présente (la moule zébrée, *Dreissena polymorpha* ; voir p. 21) ; les gastéropodes (escargots aquatiques) sont surtout représentés par deux espèces : un prosobranché (*Bithynia tentaculata*) et un pulmoné (*Lymnaea peregra*) ;

- **arthropodes** : les isopodes (aselles) constituent un élément constant du cortège faunistique du fleuve peuplé par deux espèces, dont *Asellus aquaticus* est la plus fréquente ; les seuls insectes récoltés dans toutes les stations d'étude sont des larves et des nymphes de diptères chironomides.

L'existence de ce cortège faunistique, depuis Poses jusqu'à Caudebec-en-Caux, illustre une certaine continuité au niveau du peuplement invertébré du fleuve. Cette continuité est le fait de taxons ubiquistes qui présentent un large spectre écologique et peuvent donc vivre dans une gamme de milieux variés.

La richesse en invertébrés a tendance à diminuer de l'amont vers l'aval : d'une quarantaine d'espèces ou groupes d'espèces à Poses, en amont du barrage, on en note seulement une quinzaine à Oissel et une dizaine à La Bouille et Caudebec (fig. 21). Aucun phénomène de succession au niveau des taxons n'apparaît clairement le long de l'estuaire fluvial de la Seine.

En outre, le site de Poses, en amont du barrage, se distingue par sa relative richesse tant en espèces qu'en individus. On peut ainsi y récolter un grand nombre de mollusques différents (13 espèces de gastéropodes et 4 de bivalves) et non moins de 7 espèces de sangsues ! C'est également le seul site où l'on peut rencontrer plusieurs espèces d'insectes appartenant aux groupes des demoiselles ou encore des coléoptères. En effet, dans les quatre autres sites plus en aval, les insectes sont représentés essentiellement par des chironomides et, à La Bouille, par des corixes, petites punaises d'eau.

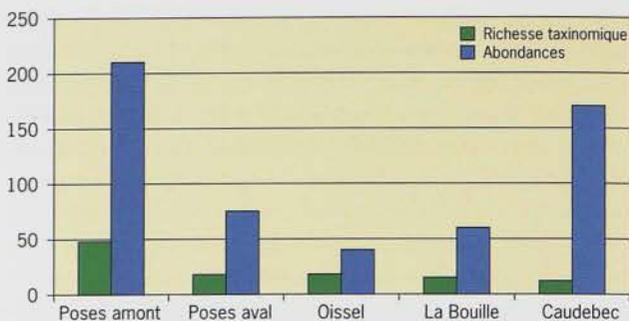


Figure 21- Richesses taxinomiques et abondances, tous taxons considérés, dans cinq sites du fleuve (d'après Costil, 1998).

Contrairement à la richesse taxinomique, il n'existe pas de gradient d'abondance pour les invertébrés benthiques (fig. 21). L'abondance apparaît, en effet, plus liée aux espèces présentes (certains groupes tels que les oligochètes pouvant être très abondants) et au type de substrat. Les plantes supérieures (macrophytes*) sont, par exemple, souvent très riches en invertébrés (450 individus par mètre carré à Poses amont, seul site où les macrophytes sont bien développées). Les abondances ne peuvent donc être comparées entre sites que pour un substrat donné (tab. 3).

Chenal

Le chenal de la Seine présente une richesse taxinomique globalement inférieure à celle de la zone rivulaire : le nombre d'espèces n'y est jamais supérieur à 10 et il est en fait souvent bien moindre ; avec une valeur moyenne proche de quatre espèces par échantillon, les prélèvements effectués au niveau des sédiments hétérogènes sont les plus riches.

Les abondances les plus faibles (<10 ind./L sédiment) sont généralement enregistrées pour les échantillons récoltés dans les sédiments vaseux et fins alors que le litre de sédiments hétérogènes et grossiers contient en moyenne près de 60 individus.

Le macrozoobenthos inféodé au chenal présente une grande hétérogénéité selon les stations (entre Tancarville et le port de Rouen) et en fonction, notamment, du type de substrat. En outre, on note une discontinuité localisée au niveau du secteur correspondant au pk 300 (Vieux-Port) : avec une très grande pauvreté tant au niveau du nombre d'espèces qu'à celui du nombre d'individus, la zone située en aval est quasi azoïque alors que la partie amont abrite généralement une faune peu dense et peu diversifiée.

Tableau 3 - Principales données quantitatives des peuplements invertébrés de l'estuaire fluvial de la Seine, dans cinq sites de l'aval à l'amont (d'après Costil, 1998).

	Caudebec pk 310-312	La Bouille pk 258-259	Oissel pk 228-229	Poses aval pk 202	Poses amont pk 201-202
Richesse taxinomique	12	15	18	18	48
Densité : vase (68 cm ²)	203 ± 137	74 ± 103	12 ± 8,5	-	-
Densité : pierres (10 pierres 10 x 10 cm)	-	66 ± 53	40	-	707 ± 368
Densité : blocs (bloc 50 x 50 cm)	113 ± 78	116 ± 150	214 ± 38	67 ± 23	-

(-) : type de substrat absent dans le site prospecté (Costil, 1998).

Une étude menée depuis le pont de Tancarville jusqu'au port de Rouen a montré que les 17 espèces vivant au niveau du chenal ne sont pas endémiques de cette zone mais qu'ils peuplent également les berges (Costil, 1998). Certaines zones sont dépourvues de tout organisme benthique. Les autres échantillons contiennent tous des annélides oligo-

chètes. Les espèces les plus fréquentes sont ensuite deux mollusques (*Dreissena polymorpha* et *Bithynia tentaculata*) et une sangsue du genre *Erpobdella* (voir p. 25). La présence de ces organismes tant au niveau du chenal que de la zone rivulaire souligne également leur caractère ubiquiste.

La dreissène ou moule zébrée - *Dreissena polymorpha*

Dreissena polymorpha est un mollusque bivalve de la famille des dresseinidés. La coquille est jaune verdâtre ou brunâtre, flammulée de bandes brunes disposées en zigzag, d'où son nom de moule zébrée (fig. 1). Originnaire du sud de la Russie, d'une zone proche de la mer Caspienne, elle s'est largement répandue depuis 200 ans. Elle est maintenant présente dans la plupart des eaux douces européennes ainsi que dans la région des Grands Lacs en Amérique du Nord et en Asie Mineure. En France, elle est apparue au début du XIX^e siècle. Elle colonise les rivières et canaux mais évite les eaux à forts courants. Elle peut causer de graves ennuis aux industries situées le long des cours d'eau, en se fixant dans les canalisations qu'elle obstrue. Elle supporte une salinité de 4,7 ; elle vit fixée à tout type de substrat dur : pierres, piles de pont... Les sexes sont séparés, la reproduction a lieu dès la fin du printemps et durant tout l'été. Les larves (<100 µm) ont une vie pélagique pendant deux semaines avant de se fixer. Les dreissènes sont des organismes filtreurs (Akopian *et al.*, 1998); elles se nourrissent de phytoplancton et pourraient être une des espèces régulant la production primaire dans l'estuaire fluvial de la Seine où elle est présente de Poses à Tancarville (fig. 2). Supportant l'anoxie et de nombreux toxiques, elle est un des organismes tests sélectionnés pour des études environnementales en eau douce. Au même titre que les moules marines du genre *Mytilus*, c'est une espèce indicatrice de la qualité des eaux largement utilisée dans les programmes de suivi de la contamination.

Cycle de vie d'une moule

Le succès écologique (dispersion et occupation de nouveaux habitats) est dû à la physiologie particulière de ce bivalve benthique : une fécondité importante (≈ 1 000 000 œufs par femelle), des stades larvaires planctoniques mobiles, une durée de vie de 2 à 5 ans...

Les larves planctoniques de dreissène étudiées dans le réseau hydrographique de la Seine représentent une part importante du peuplement zooplanctonique lors des périodes de ponte (mai-octobre). Les concentrations en larves sont parfois exceptionnellement élevées, excédant plus de 10 fois les valeurs citées dans la littérature comme, par exemple, dans la Marne (plus de 4 500 larves par litre en juin 1995) ou dans l'estuaire de la Seine (plus de 5 000 larves par litre en juin de 1998 à Rouen) (Akopian *et al.*, 1998).

La prise en compte des moules zébrées benthiques dans le modèle écologique Riverstrahler a montré que ces organismes invasifs peuvent contrôler significativement la biomasse algale dans la Seine (fig. 3).



Figure 1 - Moule zébrée, *Dreissena polymorpha*.

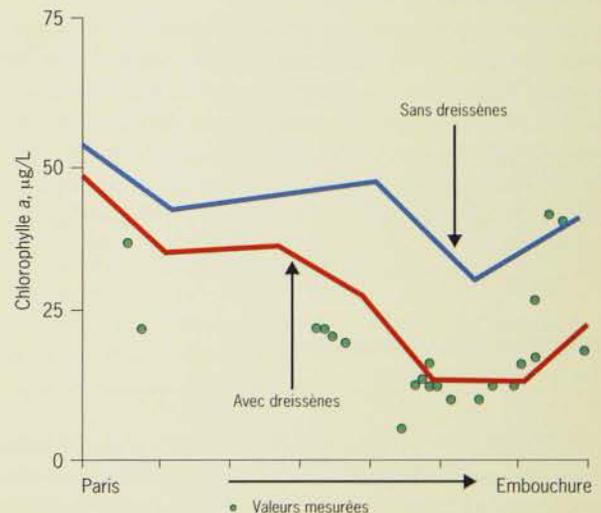


Figure 2 - Concentration en chlorophylle a (µg/L) mesurées dans les eaux fluviales de Paris à l'embouchure et modélisation de cette concentration avec et sans dreissènes montrant le rôle important de la régulation de la biomasse du phytoplancton par le pompage de la moule (d'après Akopian *et al.*, 1998).

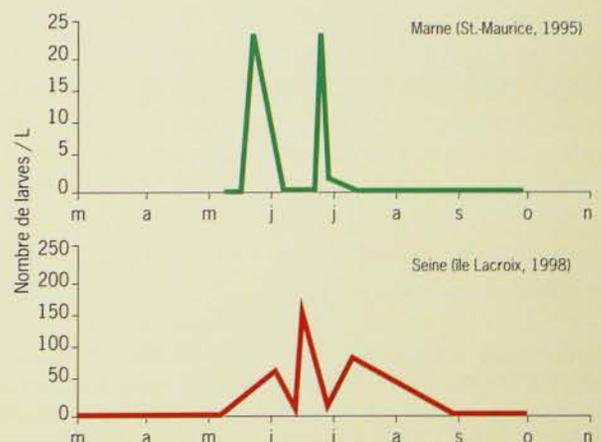


Figure 3 - Évolution temporelle du flux larvaire de dreissènes dans la Marne et dans l'estuaire de la Seine (d'après Akopian *et al.*, 1998).

Comparaison avec d'autres fleuves européens

La comparaison de la faune invertébrée entre divers fleuves est un exercice délicat dans la mesure où les protocoles d'étude et les conditions environnementales, en particulier hydrodynamiques, sont souvent très différentes (Costil, 1998).

L'examen des données sur la distribution et l'écologie des invertébrés prélevés dans la Seine indique qu'il s'agit d'espèces communes, aucun genre ou espèce déterminé n'étant considéré rare. Ainsi, *Lymnaea peregra* et *Bithynia tentaculata* sont les gastéropodes les plus fréquents dans l'ensemble des cours d'eau français. Il apparaît que beaucoup d'espèces présentes dans la Seine peuplent d'autres grands fleuves européens. Le macrozoobenthos de Poses amont apparaît cependant moins riche en espèces comparé aux communautés benthiques du Rhône en amont de Lyon, de la Meuse aux Pays-Bas, du Pô et de la Moselle, en Allemagne. Les différences portent surtout sur les insectes qui sont relativement peu représentés dans la Seine.

Les références concernant les estuaires fluviaux soumis à la marée dynamique sont extrêmement rares. Dans le cas de l'estuaire Rhin-Meuse, le chenal situé dans le secteur soumis à la marée dynamique abrite un cortège faunistique formé de peu d'espèces : des oligochètes Tubificidae, des diptères chironomes et des bivalves (des genres *Sphaerium*, *Pisidium*, *Unio* et *Anodonta*). Il est souligné l'importance de la perturbation que représente la marée dynamique et les forts courants qui l'accompagnent.

Quelle est la qualité écologique de la Seine selon le macrozoobenthos ?

Le peuplement invertébré est la résultante de divers processus qui mettent notamment en jeu le réseau hydrographique et les divers mécanismes de colonisation des organismes, les conditions environnementales du site prospecté et les exigences écologiques (strictes ou larges) des différentes espèces qui doivent être en adéquation pour que les populations s'installent puis perdurent.

Dans la Seine, la faune benthique est caractéristique des grands fleuves de plaine. En outre, elle est essentiellement formée d'espèces peu exigeantes, voire très peu exigeantes

vis-à-vis de la qualité du milieu (qualité chimique et oxygénation de l'eau). En effet, certains groupes, tels que les oligochètes tubificidés, certains chironomides ou sangsues, sont reconnus comme pouvant supporter des milieux très dégradés et pollués.

En outre, les différences de la faune benthique observées entre Poses, à l'amont du barrage où ne s'exerce pas la marée dynamique, et les autres sites peuvent s'expliquer, en partie au moins, par l'existence de cette marée. En effet, les assèchements réguliers des rives, qui sont généralement les plus riches en faune benthique, constituent une perturbation très importante pour les organismes dulçaquicoles. Nous observons enfin que le site de Poses amont est beaucoup moins artificiel que les autres et que, dans un tel environnement, la faune bénéficie d'une gamme plus variée et intéressante d'habitats potentiels. Elle y est donc plus abondante et surtout plus diversifiée. À l'inverse, les aménagements et, en particulier la chenalisation de la Seine, contribuent très certainement à son appauvrissement.

Les perturbations physiques (marée dynamique avec des courants très importants, trafic fluvial avec des vagues déferlantes sur les berges) ont donc probablement une action déterminante sur la faune de la zone rivulaire, ce qui explique le gradient de richesse taxinomique amont-aval observé. Ces perturbations ont aussi un impact marqué sur le macrozoobenthos inféodé au chenal, comme l'atteste le caractère quasi azoïque du secteur situé à l'aval du pk 300 (à proximité de la vasière du Trait).



Pont de Normandie.



Le gardon - *Rutilus rutilus* (L., 1758)

Poisson cypriniforme de la famille des cyprinidés présent dans les eaux douces européennes septentrionales, il vit en bancs dans les rivières, lacs, étangs, gravières et canaux à eaux faiblement courantes sur substrat sableux. Il peut être présent dans les cours inférieurs du fleuve ; le gardon est très résistant à la pollution et s'accommode d'eaux de qualité médiocre. La longueur totale est généralement de 12 à 20 cm pour un poids de 100 à 200 g, quelques spécimens peuvent atteindre 45 cm pour près de 2,5 kilogrammes. La reproduction a lieu d'avril à juin, en eau peu profonde et parmi une végétation dense. Toutes les femelles pondent en même temps. Le gardon est omnivore et se nourrit de crustacés, de mollusques et vers mais il peut se nourrir de plancton, surtout dans les lacs. Les adultes présentent une préférence herbivore.



La perche - *Perca fluviatilis* (L., 1758)

Poisson perciforme de la famille des percidés présent dans toutes les eaux douces courantes ou stagnantes européennes, la perche recherche la présence d'obstacles immergés (branches mortes, piles de pont, enrochements) ou de la végétation. Sa longueur totale est généralement de 20-30 cm pour un poids de 100 à 300 g, quelques spécimens peuvent atteindre 60 cm pour un poids proche de 5 kilogrammes. Les adultes sont plutôt solitaires tandis que les jeunes vivent en groupes parfois très denses. La reproduction a lieu d'avril à juin, en eau peu profonde ; les œufs sont rassemblés en filaments par un mucus accroché aux herbes. La perche est un prédateur féroce ; elle chasse seule ou en groupe parmi la végétation aquatique, alevins et petits poissons ; les jeunes se nourrissent d'insectes aquatiques, de cladocères et d'autres petits crustacés.



L'anguille européenne - *Anguilla anguilla* (L., 1758)

L'anguille est un poisson serpentiforme de la famille des anguillidés, elle vit en eau douce (rivières, ruisseaux, lacs et étangs) et se reproduit à plus de 5 000 km de la Manche, en mer des Sargasses au large de la côte est des États-Unis : c'est un poisson amphihaline catadrome. Les civelles remontent la Seine en hiver puis elles évoluent en anguillettes puis en anguilles. Les mâles vivent en eau douce pendant 6-12 ans alors que les femelles peuvent y séjourner de 9 à 20 ans. Les tailles des mâles varient de 30 à 60 cm ; celles des femelles atteignent 150 cm pour un poids de 2,5 kilogrammes. Son alimentation en eau douce est composée essentiellement d'invertébrés benthiques, surtout des mollusques. Les adultes ne s'alimentent pas durant leur migration en mer. Les larves pélagiques se nourrissent de plancton.



La crevette blanche - *Palaemon longirostris* (Milne Edwards, 1837)

La crevette blanche (crustacé décapode de la famille des palaemonidés) n'est présente que dans la partie amont de l'estuaire, de Honfleur aux eaux fluviales qu'elle rejoint plutôt en été. C'est une espèce présente dans la plupart des estuaires nord-européens, mais c'est en Seine qu'elle présente l'abondance la plus marquée : jusqu'à 80 individus par mètre cube. Sa reproduction est estivale, les femelles sont ovigères en juin-juillet et les juvéniles apparaissent dans la population dès août. La taille maximale approche 50 millimètres. En hiver, le régime alimentaire de la crevette blanche est composé de décapodes (larves et juvéniles de *Crangon*) et de mysidacés (*Neomysis integer*). Dès le printemps, le copépode *Eurytemora affinis* représente une part prépondérante dans son alimentation. Elle présente donc un régime carnivore qu'elle adapte en fonction de l'abondance des proies. La crevette peut être consommée par des poissons, notamment par le bar.



Le flet - *Platichthys flesus* (L., 1758)

Poisson plat de la famille des pleuronectidés très largement répandu en Atlantique Nord-Est et en Méditerranée, sa taille atteint 50 cm pour 2 kg en moyenne chez l'adulte. Poisson démersal vivant sur les fonds sableux, sablo-vaseux et vaseux des eaux marines, il se reproduit en pleine mer de février à mai, en eau assez profonde. C'est une espèce migratrice remontant en été dans les eaux douces ; pour la Seine, cette espèce est présente jusqu'à Poses. Son régime alimentaire est composé essentiellement de proies benthiques (bivalves, polychètes) et suprabenthiques (crevettes, mysidacés). Les jeunes se nourrissent de plancton, notamment de copépodes (*Eurytemora affinis*).



Le gobie tacheté - *Pomatoschistus microps* (Krøyer, 1838)

Poisson perciforme de la famille des gobiidés présent en Atlantique, du Portugal à la Norvège et également en Méditerranée, il affectionne les milieux littoraux et pénètre en eaux saumâtres. En Seine, il est présent dans tout l'estuaire salé, depuis l'aval de Honfleur jusqu'en amont du pont de Tancarville. Son abondance dépasse couramment 5 ind.m⁻³ en automne. Les plus grands individus atteignent 50 millimètres. La reproduction a lieu au printemps avec un recrutement en mai-juin. *P. microps* montre un régime alimentaire peu diversifié en hiver et au printemps : nourriture presque exclusivement à base de copépodes. En automne, son régime se diversifie par la consommation du mysidacé *Neomysis integer* en plus d'*Eurytemora*.



Le bar - *Dicentrarchus labrax* (L., 1758)

Poisson perciforme de la famille des serranidés, il est très répandu en Atlantique Nord-Est, y compris la Méditerranée. En France, le bar est commun dans toutes les zones côtières, les lagunes méditerranéennes, les estuaires et également le cours inférieur des fleuves, dont la Seine. Sa taille atteint 1 m pour 10 kg, la taille commune est de 20 à 50 centimètres. Les adultes sont solitaires et les jeunes vivent en groupe ; la reproduction a lieu de mars à juin. Les juvéniles se nourrissent en été ou au début de l'automne en estuaire. Le bar adulte est un prédateur vorace se nourrissant de poissons, de crustacés et autres invertébrés benthiques. Les jeunes se nourrissent de copépodes marins ou estuariens, dont *Eurytemora affinis*.



La sole commune - *Solea vulgaris* (L., 1758)

Poisson plat de la famille des soléidés, elle est très largement répandue en Atlantique Nord-Est, y compris la Méditerranée. En France, la sole commune est présente sur toutes les côtes. Poisson démersal vivant sur les fonds sableux ou vaseux des eaux littorales entre quelques mètres et 70 m de profondeur, sa taille maximale atteint 70 cm pour 3 kilogrammes. Nocturne, la sole passe la journée enfouie dans le sédiment. La reproduction a lieu au printemps en zone côtière en Manche. Son régime alimentaire est composé essentiellement de proies benthiques (bivalves et polychètes) ; les jeunes se nourrissent de copépodes marins.



La daphnie - *Daphnia* sp.

Le genre *Daphnia* appartient à l'ordre des cladocères de la sous-classe des branchiopodes et à la classe des crustacés. Ce sont des animaux planctoniques des eaux douces de petite taille (1 à 2 mm) protégés par une carapace bivalve ; le corps est souvent transparent ou coloré en rouge (hémoglobine) ou en vert. Les daphnies sont communes dans tous les milieux dulcicoles, mares, lacs, rivières ou cours d'eau de grande importance. Elles sont présentes dans l'estuaire depuis Poses jusqu'à la zone oligohaline en aval du pont de Tancarville. En Seine, les daphnies sont parthénogénétiques (reproduction asexuée assurée par les femelles) ; pendant la belle saison, il n'existe pas de reproduction sexuée qui apparaît seulement à la mauvaise saison. Les daphnies sont des organismes filtreurs qui se nourrissent de phytoplancton.



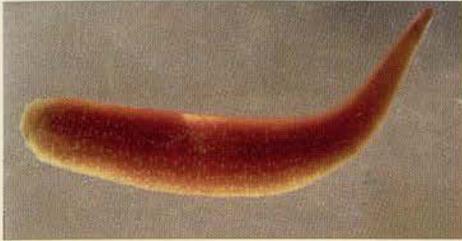
L'escargot - *Bithynia* sp.

Le genre *Bithynia* appartient à la famille des bithyniidés de la classe des gastéropodes prosobranches de l'embranchement des mollusques. La coquille est unicolore, plus haute que large, l'opercule est calcaire. L'animal peut mesurer jusqu'à 12 mm, il vit à l'interface air-eau où l'animal renversé progresse lentement. Il peut aussi s'enfouir à plusieurs centimètres de profondeur. Les *Bithynia* vivent en groupe et sont présents en Seine de Poses à Caudebec-en-Caux. Les sexes sont séparés. Les œufs sont englobés dans une masse gélatineuse et se développent attachés aux plantes aquatiques ou à des pierres. Les *Bithynia* se nourrissent de microalgues et de détritus.



Un oligochète - *Tubifex* sp.

Les oligochètes forment, avec les polychètes et les achètes (sangues), l'embranchement des annélides. Ce sont des petits vers d'environ 25 mm de longueur qui vivent en masse grégaire, notamment sur les vasières des berges, en formant des bandes rougeâtres. Ils sont enfouis dans la vase et laissent dépasser la région supérieure de leur corps qui ondule constamment dans l'eau. En Seine, ils sont présents de Poses à Caudebec-en-Caux. Ils ont deux modes de reproduction : sexuée et asexuée. Ils sont géophages et se nourrissent de la matière organique et de la microflore contenues dans le sédiment.



Un achète ou sangsue - *Erpobdella* sp.

Les achètes forment, avec les oligochètes et les polychètes, l'embranchement des annélides. Ce sont des organismes au corps ventru n'ayant ni trompe ni mâchoire mais possédant deux ventouses et pouvant mesurer jusqu'à 40 millimètres. Le genre *Erpobdella* appartient à la famille des hirudinés. Les sangsues s'attaquent à divers autres invertébrés dulcicoles, mollusques et crustacés, qu'elles avalent ou sucent pour se nourrir. Les sexes sont séparés, le mâle implante ses spermatophores dans le tégument de la femelle ; les femelles déposent ensuite leurs cocons sur des supports immergés. En Seine, elles sont présentes de Poses à Caudebec-en-Caux.



Un crustacé mysidacé - *Neomysis integer* (Leach, 1814)

Ce crustacé mysidacé est très abondant dans tous les estuaires nord-européens ; sa taille maximale dépasse tout juste 20 millimètres. C'est une espèce suprabenthique, euryhaline et eurytherme, pouvant donc supporter des grandes variations de température et de salinité. Elle est cependant plus abondante dans les eaux avec une salinité comprise entre 8 et 25. En Seine, son abondance peut atteindre 2 200 ind.m⁻³, ce qui est un record par rapport aux autres estuaires européens. Sa reproduction a lieu de mars-avril à septembre, période pendant laquelle trois générations annuelles se succèdent. *Neomysis integer* a un régime alimentaire omnivore, il se nourrit de zooplancton (copépode *Eurytemora affinis*) et de détritus. Il sert de proies à de nombreuses espèces suprabenthiques (crevettes *Palaemon longirostris*) et de poissons (jeunes bars, flets, gobies...).



La coque - *Cerastoderma edule* (L., 1758)

La coque *Cerastoderma edule* (bivalve de la famille des cardiidés) est une espèce comestible et exploitée. Sa coquille est jaunâtre avec de grosses côtes. Son aire de répartition s'étend de la mer de Barents aux côtes du Maroc. C'est une espèce vivant typiquement dans la zone intertidale et en zones sableuse et sablo-vaseuse des estuaires. Euryhaline (11-45) et eurytherme, elle est tolérante aux grandes variations de température et de salinité. Les sexes sont séparés, il y a deux périodes de ponte : début de l'été et automne. Les larves séjournent dans le plancton durant deux à trois semaines. La longévité atteint 5-6 ans pour une taille maximale de 35 millimètres. Les gisements d'adultes peuvent atteindre 2 000 à 3 000 individus par mètre carré. La coque est suspensivore ; elle est consommée par de très nombreuses espèces, les crabes, les flets ou les oiseaux, en particulier les huîtres-pies.



Un mollusque bivalve - *Macoma balthica* (L., 1758)

Petit mollusque bivalve blanchâtre de la famille des tellinidés (pouvant être confondu avec *Abra alba* et réciproquement), elle est présente depuis la mer de Kara jusqu'au sud de la péninsule ibérique. Elle vit surtout en zone intertidale et elle est commune dans les eaux dessalées estuariennes (elle est aussi présente en abondance en mer Baltique) ; elle occupe des sédiments variés, depuis les vases molles jusqu'aux graviers envasés. Comme la coque et toutes les autres espèces estuariennes, elle supporte de grandes variations de température et de salinité. Les sexes sont séparés, il y a deux périodes de ponte : fin juillet et septembre-octobre ; les larves séjournent de 2 à 5 semaines dans le plancton. La longévité atteint 6-7 ans pour une taille supérieure à 15 millimètres. *Macoma* est, à marée basse, une déposivore de surface et, à marée haute, une suspensivore. Sa densité dans l'estuaire de la Seine atteint 7 000 ind.m⁻² ; comme la coque, elle est la proie de crabes, poissons plats et oiseaux.



Un mollusque bivalve - *Abra alba* (W. Wood, 1802)

Mollusque bivalve de la famille des scrobicularidés à la coquille blanchâtre, d'où son nom, occupe la plupart de sédiments fins plus ou moins envasés des mers européennes, dans des petits fonds. Il vit deux ans et atteint 25 mm en Manche. Sa reproduction est étalée dans le temps, de mai à novembre, en baie de Seine et se passe en plusieurs phases; les larves planctoniques restent plusieurs semaines dans la colonne d'eau avant de se fixer dans les sédiments. Il y a au moins deux périodes de recrutement en Manche orientale, l'une au printemps en mai-juin, l'autre à l'automne. *Abra alba* se nourrit avec son siphon inhalant qui aspire le sédiment à proximité de son habitat : c'est un déposivore de surface, il se nourrit de détritus et de microphytobenthos. Sa tolérance aux variations des facteurs du milieu et ses grandes capacités reproductrices font de ce mollusque une espèce pionnière ou colonisatrice des milieux pollués.



La pectinaire - *Pectinaria koreni* (Malmgren, 1866)

Pectinaria koreni est une annélide polychète tubicole de la famille des pectinariidés; sa répartition se limite aux sédiments fins des mers nord-européennes et aux milieux à caractère lagunaire en Méditerranée et en mer Noire, de la zone de balancement des marées jusqu'à 500 m de profondeur. L'animal vit dans un tube arénacé conique dont la taille maximale atteint 5 cm; la tête est dirigée vers le bas et son extrémité postérieure dépasse plus ou moins du substrat. La pectinaire est une déposivore de sub-surface qui s'alimente à partir de détritus contenus dans le sédiment, elle participe activement à la bioturbation du sédiment. Elle vit un an en baie de Seine et se reproduit en mai-juin; la larve demeure deux semaines dans le plancton. Son abondance maximale à l'état adulte atteint 3 000 ind.m⁻² mais les juvéniles, au moment du recrutement, peuvent avoir une abondance voisine de 30 000 individus par mètre carré. Les pectinaires sont consommées par des poissons démersaux, notamment les poissons plats.



L'owenia - *Owenia fusiformis* (Delle Chiaj, 1842)

Owenia fusiformis est une annélide tubicole (8-10 cm de longueur totale) de la famille des oweniidés. Elle est une des espèces de polychètes à distribution géographique très étendue : elle est présente des eaux littorales aux zones abyssales. Caractéristique des sédiments sableux et sablo-vaseux, elle est abondante uniquement dans les eaux côtières (0-40 m), dont le peuplement à *Abra alba*-*Pectinaria koreni* de la partie orientale de la baie de Seine où son abondance atteint 5 000 individus par mètre carré. Elle est très peu abondante en zone intertidale en baie de Seine. La reproduction est printanière : mai-juin; le recrutement a lieu un mois après la ponte, après que la larve mitraria ait séjourné près d'un mois dans le plancton. *Owenia fusiformis* est une espèce à la fois suspensivore et déposivore de surface. Elle est largement consommée par les poissons démersaux : flet, sole... Les poissons ne consomment d'ailleurs qu'une partie du corps qui peut se régénérer.



Le ver de vase - *Hediste (Nereis) diversicolor* (Müller, 1776)

Hediste diversicolor est une annélide polychète de la famille des néreidés; c'est une espèce estuarienne très répandue du Maroc, pour sa limite méridionale, aux côtes de la Russie, pour sa limite septentrionale. Elle forme d'importantes populations (plusieurs milliers d'individus par mètre carré) dans les vasières intertidales des zones polyhaline et mésohaline du peuplement à *Macoma balthica*; sa longueur totale maximale peut dépasser 20 centimètres. La reproduction est printanière : février à avril. Le développement larvaire benthique dure un peu plus d'un mois; le recrutement est par conséquent printanier. *Hediste* a un régime omnivore, elle broute le microphytobenthos des vasières, s'attaque aux proies méiobenthiques et peut se nourrir de détritus. Elle est largement consommée par les crustacés, dont la crevette grise *Crangon crangon*, et les poissons comme l'anguille, le flet ou le bar.



Le corophium - *Corophium volutator* (Pallas, 1766)

Ce crustacé amphipode tubicole de la famille des corophiidés est présent dans tout l'hémisphère boréal. Pour l'Atlantique Nord-Est, il est présent dans les vasières intertidales, les lagunes méditerranéennes et tous les milieux à salinité variable. Il est très tolérant aux variations de salinité et de température; il peut même survivre en eau douce. Sa reproduction a lieu du printemps à l'automne, période pendant laquelle plusieurs générations se succèdent (3 à 5 selon les années et la latitude). C'est un déposivore de surface; il se nourrit à la surface du sédiment qu'il balaie avec ses antennes. En Seine, sa densité dans la grande vasière peut atteindre 10 000 ind.m⁻²; il est consommé par les poissons et les oiseaux limicoles*.

Chapitre III

Chaînes alimentaires

Réseau trophique dans l'estuaire salé

L'étude des régimes alimentaires du gobiid *P. microps*, de la crevette blanche *P. longirostris* et du copépode *E. affinis* (Mouny, 1998; Thoumelin *et al.*, 2000) a permis de mettre en place un réseau trophique* de la partie oligohaline de l'estuaire de la Seine (fig. 22). D'une part, du fait de la quasi-absence de benthos dans cette partie de l'estuaire, le réseau trophique est principalement pélagique avec une importance considérable du copépode *E. affinis* qui est la proie principale des poissons et des crevettes en zone amont. Le mysidacé *N. integer* est également important dans ce réseau trophique puisqu'il fait également partie intégrante du régime alimentaire des poissons et crevettes, notamment lors des périodes de faibles abondances en zooplancton (été et hiver). D'autre part, dans des écosystèmes comme l'estuaire de la Seine où les MES sont omniprésentes, il apparaît clair que celles-ci sont non négligeables dans le fonctionnement du réseau trophique. Certaines espèces utiliseraient d'ailleurs ces particules dans leur alimentation, soit afin d'assimiler le film bactérien associé, soit pour une simple utilisation mécanique pour le broyage des proies (crevettes blanches). Enfin, des études biochimiques ont permis de mettre en évidence le régime alimentaire du copépode majoritaire *E. affinis*. Il apparaît que ce copépode se nourrit essentiellement de phytoplancton (notamment des diatomées) dont l'origine serait dulçaquicole. Ce régime alimentaire, principalement basé sur le phytoplancton, suggère une sélectivité du copépode envers les particules et, notamment, un tri entre les particules inertes et le phytoplancton (Thoumelin *et al.*, 2000). Le régime alimentaire du principal poisson de la partie amont de l'estuaire de la Seine, le gobie tacheté *P. microps*, a été étudié et comparé avec une étude similaire réalisée en Écosse. (fig. 22). Dans l'estuaire de la Seine, ce poisson se nourrit toute l'année principalement de copépodes, surtout *E. affinis*. Toutefois, lors des périodes de plus faibles abondances des copépodes, le gobie tacheté se nourrit également du mysidacé *N. integer* et de différents cladocères. En revanche, dans l'estuaire de l'Ythan (Écosse), ce gobiid se nourrit essentiellement d'espèces benthiques (annélides) et suprabenthiques (amphipodes, isopodes). La part du plancton dans son régime alimentaire est très faible. Cette différence d'exigence alimentaire* entre ces deux estuaires est principalement due aux phénomènes anthropiques qui ont transformé l'estuaire de la Seine. Effectivement, l'importance et la constance des dragages dans l'estuaire de la Seine, dans la partie amont, ont induit un appauvrissement en faunes benthique et suprabenthique, ce qui a conduit le poisson à modifier son comportement alimentaire pour se tourner vers des proies pélagiques plus accessibles et plus nombreuses, comme le copépode *E. affinis*, ce qui montre aussi les capacités d'adaptation des poissons pour leur nourriture.

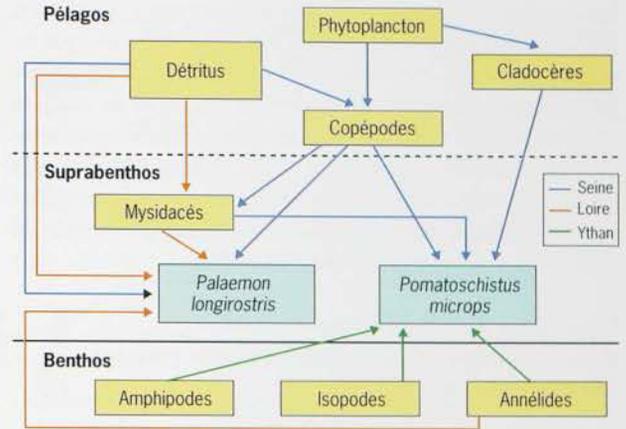


Figure 22 - Schéma du régime alimentaire du gobie tacheté *Pomatoschistus microps* dans l'estuaire de la Seine et l'estuaire de l'Ythan en Écosse (Royaume-Uni) et du bouquetin *Palaemon longirostris* dans les estuaires de la Seine et de la Loire.

Le macrozoobenthos de l'estuaire fluvial de la Seine : quel type de réseau trophique ?

Il apparaît que trois grands types trophiques sont représentés en Seine : les filtreurs (tels que la dreissène), les prédateurs (tels que les planaires et les sangsues) et les broyeurs-racleurs. Ces derniers, largement représentés (notamment par des gastéropodes), sont majoritairement omnivores et jouent un rôle important dans le recyclage de la matière organique (fig. 23). Si le nombre d'espèces prédatrices est loin d'être négligeable, leur importance en termes d'individus est toujours faible. Quant aux oligochètes, largement représentés dans la Seine, ils s'alimentent à partir de la matière organique contenue dans les sédiments fins dans lesquels ils vivent.

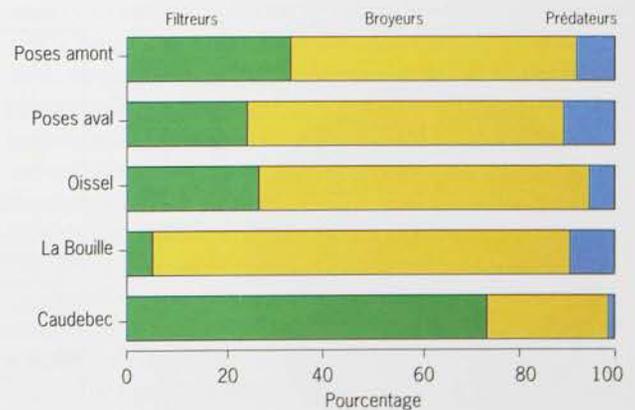


Figure 23 - Régimes alimentaires des organismes benthiques récoltés dans cinq sites prospectés du fleuve (d'après Costil, 1998).

Les invertébrés benthiques exercent, par leur alimentation, un impact sur leur environnement ; ils constituent également une ressource essentielle pour certains vertébrés. Ainsi, différents poissons répertoriés dans la Seine se nourrissent, au moins en partie, à leur dépens : anguille, épi-noche, brème, gardon (Rochard *et al.*, 1997).

Les invertébrés dulçaquicoles de la Seine sont, d'une part, des animaux habitant toute leur vie le milieu aquatique et, d'autre part, des organismes qui n'y passent qu'une partie de leur cycle de vie. Ce dernier cas est celui de certains insectes qui présentent une phase larvaire aquatique (pouvant être longue) et une phase adulte aérienne (parfois très courte). Dans tous les cas, les organismes sont pleinement soumis aux conditions du milieu dans lequel ils vivent et ils se doivent d'y être adaptés pour persister.

Importance de la baie de Seine orientale et de l'estuaire en tant que nourricerie de poissons, rôle particulier de l'intertidal

Les baies et estuaires sont maintenant reconnus comme favorables au séjour prolongé des juvéniles de nombreuses espèces halieutiques*. Ces sites privilégiés et assez rares par leurs caractéristiques constituent autant de nourriceries côtières dont le fonctionnement est un maillon essentiel du renouvellement des stocks exploitables.

La baie de Seine orientale et son estuaire sont à ce titre identifiés depuis longtemps comme propices à abriter de nombreuses ressources halieutiques, en grande part juvéniles, mais le bilan des connaissances disponibles pour mieux évaluer la valeur biologique de ce site s'est avéré très limité, si ce ne sont celles acquises à l'occasion des travaux préparatoires au SAUM en 1981.

Une étude dans le cadre des programmes « Nourriceries de la baie de Seine » et « Seine-Aval » a porté, de 1995 à 1997, sur la description des peuplements halieutiques et la caractérisation d'une nourricerie côtière dans l'estuaire et la baie de Seine orientale. Elle a eu pour objectif principal de

décrire, en deux ans, la composition spécifique et démographique des peuplements marins ainsi que leur distribution spatio-temporelle dans ce site complexe, et d'en évaluer ainsi la fonctionnalité biologique et halieutique. Cette étude comportait aussi une recherche originale sur les exigences alimentaires locales des juvéniles de poissons séjournant dans l'estuaire et, par conséquent, potentiellement dépendants d'éventuelles modifications du milieu et des fonds (fig. 24).

Une étude complémentaire réalisée par le Cemagref au cours d'une campagne en septembre 1995 dans tout le secteur fluvial et estuarien de Rouen à Honfleur a cependant souligné la pauvreté spécifique et numérique du peuplement ichthyologique de la Seine (fig. 25), eu égard à d'autres grands estuaires nord-européens et notamment la Gironde et aussi à l'absence de grands migrateurs (Rochard *et al.*, 1997).

Valeur halieutique et fonctionnalité du site

Les observations acquises permettent dès à présent de considérer que, par rapport à la totalité du site étudié (jusqu'aux fonds supérieurs à 20 m), les fonds de moins de 10 m, entre le pont de Normandie, Le Havre et Ouistreham, apparaissent comme les plus propices au développement des juvéniles de poissons. La proportion de juvéniles de moins d'un an ou de moins de deux ans dans les captures y est élevée et souvent supérieure à 90 %. La période d'extension maximale vers le large a été observée en automne et les chalutages réalisés en eaux plus profondes n'ont pas fait apparaître d'extension hivernale de la nourricerie.

Le rôle global de nourricerie de ce site estuarien est ainsi confirmé, quelques particularités localisées méritant d'être soulignées.

L'ensemble formé par l'estuaire et sa zone d'influence directe est le plus riche des points de vue biologique et halieutique. On y observe en effet un nombre d'espèces ainsi que des densités de poissons, dont bon nombre d'intérêt commercial, plus élevés que sur le reste de la zone d'étude.

Alimentation du bar dans l'estuaire de la Seine

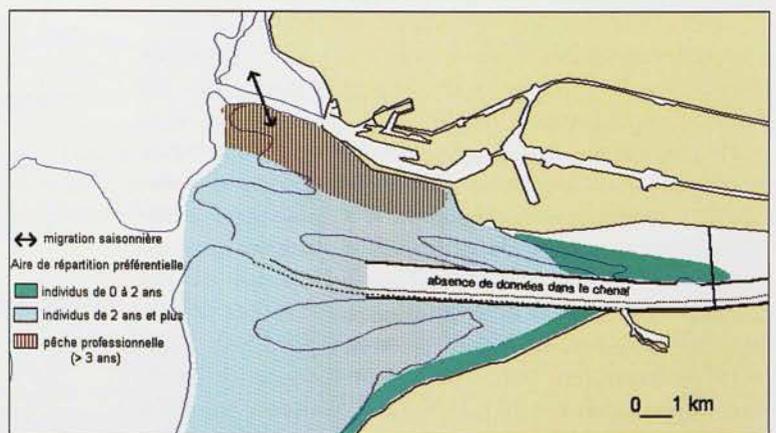
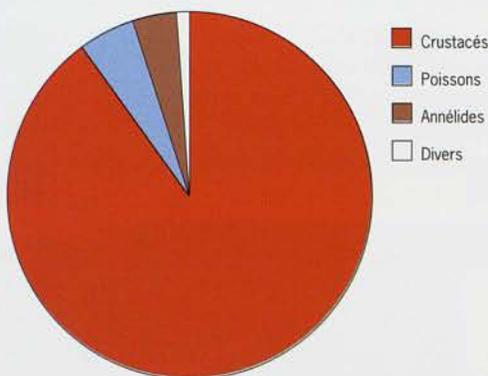


Figure 24 - Exigences alimentaires (à gauche) et migration des juvéniles de bar dans l'estuaire (à droite).

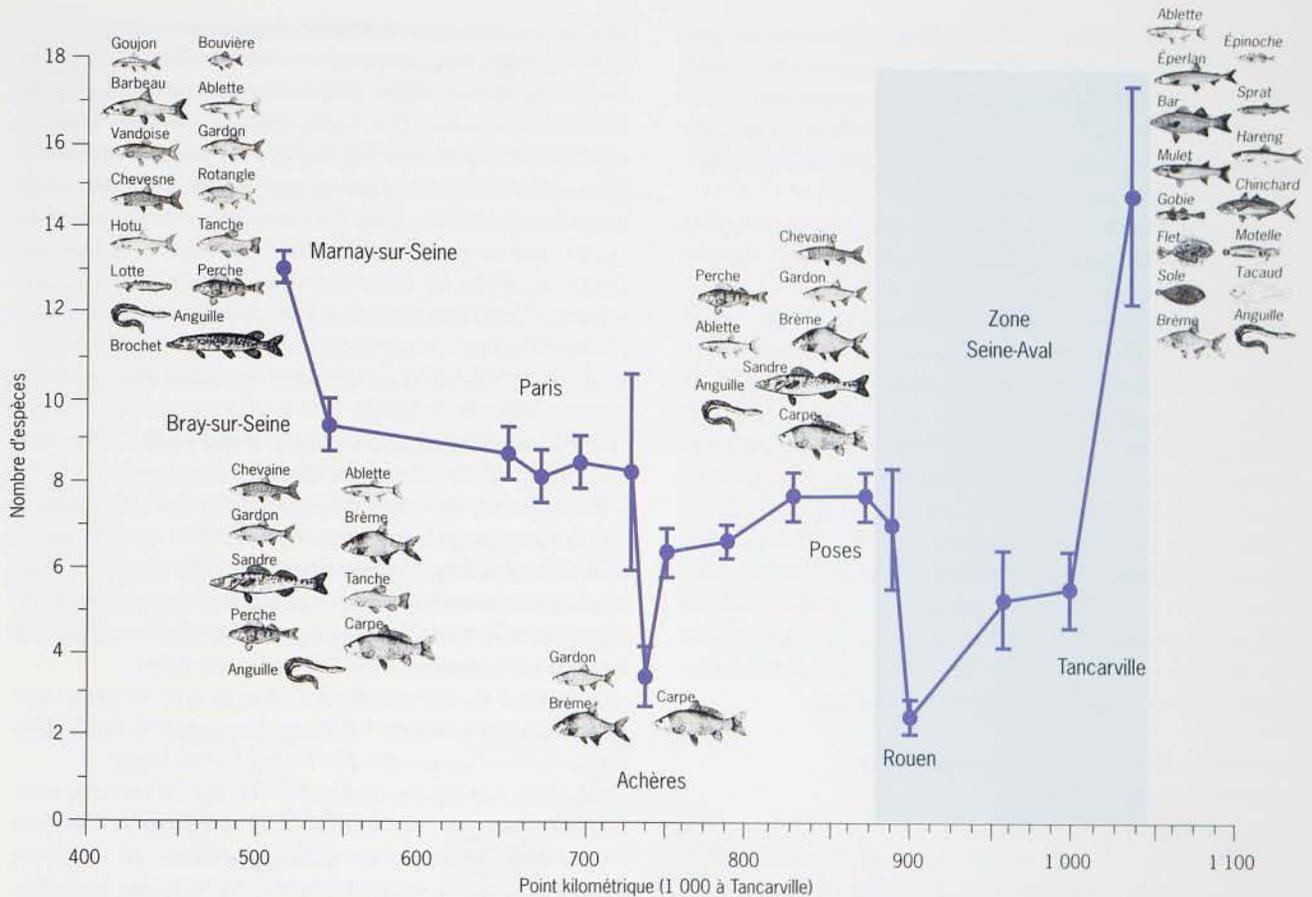


Figure 25 - Évolution amont-aval du nombre moyen des espèces de poissons capturées sur le cours principal de la Seine. Les illustrations représentent les principales espèces rencontrées dans cinq secteurs représentatifs. Une décroissance brutale du nombre d'espèces est observable à Rouen et comparable à celle de la ville d'Achères (d'après E. Rochard, voir fascicule « Des organismes sous stress »).

Les fonds situés juste à la sortie de l'estuaire sont sans conteste les plus riches en diversité et en abondance, sole, gadidés et clupéidés étant particulièrement représentés parmi les juvéniles d'espèces d'intérêt commercial. Ces fonds essentiellement subtidiaux sont directement sensibles à l'évolution des importantes surfaces intertidales qui caractérisent encore la fosse Nord. Les sédiments fins sablo-vaseux semblent particulièrement propices à l'installation et au développement des juvéniles de soles.

La fosse Nord se distingue du reste du secteur d'étude par une certaine spécificité biologique probablement liée à ses caractéristiques physico-chimiques, dont la dessalure, ainsi qu'à son large secteur intertidal vaseux. Ce secteur estuarien semble jouer un rôle particulièrement important pour les juvéniles de bar (*Dicentrarchus labrax*, voir p. 24), de hareng, de sole (*Solea vulgaris*, voir p. 24), de flet (*Platichthys flesus*, voir p. 23) et pour la crevette grise, espèces dominantes dans ce secteur (ce constat n'a été fait qu'à partir de 2000 et ne figure pas dans l'étude « nurricerie », qui n'a pas échantillonné le chenal).

La zone intertidale, pour sa part, se distingue par la présence exclusive d'individus de moins d'un an dont la taille

est inférieure à celle des poissons pêchés plus au large. Ceci confirme le rôle privilégié des vasières intertidales dans l'accueil des plus jeunes individus, l'espace intertidal apparaissant alors comme un maillon essentiel du système composite qu'est une nurricerie.

Au cours des différentes campagnes est apparue une variabilité entre les deux années d'abondance de la plupart des espèces, y compris les formes juvéniles de nombreux poissons tels le bar et la sole. Cette observation a été faite sur d'autres sites, en particulier la baie de Somme, et doit être considérée comme une caractéristique des nurriceries côtières dont les peuplements dépendent directement à la fois de paramètres environnementaux variables et des particularités biologiques de chaque espèce. L'abondance ou la distribution en tailles résultent en effet de phénomènes aussi aléatoires et interactifs que les niveaux de ponte, la dérive larvaire, l'hydroclimat en général et aussi les prélèvements de la pêche.

Malgré cette variabilité, la caractérisation, désormais sans ambiguïté, d'une nurricerie de Seine s'appuie sur le constat des potentialités du site à abriter une large gamme d'espèces dont toutes ne sont pas régulièrement présentes ou, par exemple, distribuées à l'identique chaque année.

Une comparaison des résultats obtenus dans la Seine avec ceux de la nurricerie de la baie de Somme se caractérise par :

- une grande similitude dans les espèces rencontrées ;
- une démographie similaire des peuplements, qu'elle soit géographique (en fonction des fonds) ou en âge (prédominance des juvéniles) ;
- une variabilité d'abondance qui semble pouvoir être, pour certaines espèces, asynchrone entre sites même relativement proches ;
- une différence parmi les espèces dominantes ; les jeunes plies sont abondantes en baie de Somme, particulièrement en zone intertidale, ce qui n'est pas le cas dans l'estuaire de la Seine où les masses d'eau subissent une influence du fleuve très supérieure à celles de la baie de Somme (dont la salinité est rarement inférieure à 20). De fait, la plie est plus fréquente dans la fosse Sud de l'estuaire de la Seine, qui présente plus les caractéristiques d'une baie que celles d'un estuaire. La courantologie générale du système côtier intervient également dans ce constat, et la situation géographique du littoral picard apparaît particulièrement favorable à la réception des larves et juvéniles de plies. Sur ce plan, la « capacité d'accueil » de l'estuaire de la Seine semble moindre.

Exigences alimentaires des peuplements et relations trophiques

Les six espèces étudiées dans l'estuaire et l'embouchure présentent des régimes alimentaires bien distincts, le bar s'alimentant de crustacés (fig. 26), la sole d'annélides, le flet et la plie de bivalves et d'annélides (fig. 27), le tacaud et le merlan de poissons et de crustacés.

Des comportements différents apparaissent également à l'intérieur de chaque espèce, suivant la taille des poissons, chaque groupe de taille s'alimentant sur une typologie particulière de proies. Des variations saisonnières dans les régimes alimentaires ont également été mises en évidence. Elles traduisent probablement une disponibilité des proies variable suivant la saison. La crevette grise, par exemple, proie importante pour le bar, voit ses effectifs diminuer fortement en hiver, et donc dans les estomacs de bar à cette même période. Peu de différences apparaissent entre la partie nord et la partie sud de l'estuaire, où les différents prédateurs et les différents groupes de taille conservent la même typologie de proies.

Il ressort de cette relative complexité que plusieurs facteurs limitants d'ordre alimentaire peuvent exister :

- d'un point de vue qualitatif, chaque espèce et, à l'intérieur de chaque espèce, chaque classe de taille doit trouver dans le milieu un type de proie répondant à certaines caractéristiques de taille (par exemple, petits crustacés inférieurs à 5 mm), de comportement (par exemple, espèces suprabenthiques) et de localisation (intertidal-subtidal) en chaque saison ;
- d'un point de vue quantitatif, chaque type de proie doit être trouvé en quantité suffisante pour couvrir les besoins alimentaires d'un groupe particulier de prédateur.

Cependant, ces aspects qualitatifs et quantitatifs sont complémentaires : si, par exemple, la quantité de bivalves consommée par le flet est plus importante que celle des annélides errantes, celles-ci semblent néanmoins indispensables aux plus jeunes individus de l'espèce (fig. 27).

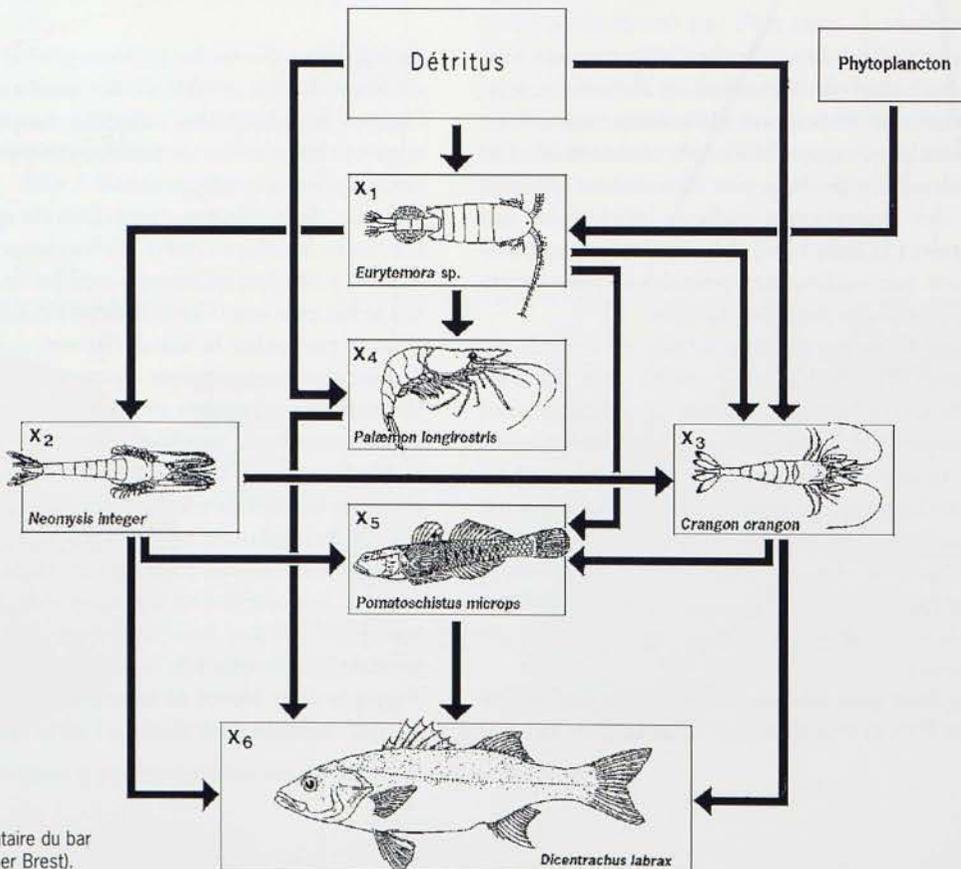


Figure 26 - Chaîne alimentaire du bar (d'après V. Loizeau, Ifremer Brest).

Il semble que des proies de substitution puissent exister (le bar consomme des annélides benthiques en hiver, lorsque les crevettes disparaissent) bien qu'elles soient quantitativement moins utilisées que les proies préférentielles. Ceci rejoint les observations effectuées ailleurs, sur l'opportunité des poissons prédateurs qui sont capables de modifier leurs proies en fonction de leurs disponibilités (fig. 22). En estuaire de Seine, un petit groupe de proies a une importance particulière par sa fréquence d'apparition dans les régimes alimentaires et par les quantités globalement utilisées. Il s'agit de crustacés, d'un groupe d'annélides sédentaires et d'un bivalve, *Abra alba*. En fait, les proies benthiques sont particulièrement abondantes au niveau de l'intertidal sur la Grande Vasière Nord, au niveau du subtidal dans la zone face au débouché en mer de la Seine et dans la fosse Sud sur le peuplement à *Abra alba*-*Pectinaria koreni* qui est, en baie de Seine orientale, exceptionnellement riche en abondance. Les proies planctoniques et suprabenthiques sont quant à elles très abondantes dans le chenal de la Seine jusqu'au pont de Tancarville, bien que

l'on observe une réduction du nombre des proies dans les parages de la zone de dessalure maximale (salinité < 0,5). Ces différentes proies appartiennent à des domaines, ou types de milieu, différents :

- les proies du domaine intertidal vaseux sont utilisées par les très jeunes bars, flets et plies. Les annélides sont utilisées par les jeunes soles et, en hiver, par les flets et les bars moyens et grands qui viennent s'alimenter sur les vasières ;
- les mysidacés et la crevette grise, plutôt cantonnés aux fosses et aux chenaux, sont consommés par le bar (fig. 26) et le tacaud ;

- les *Abra* sont consommées par le flet, les pectinaires par les soles (moyennes et grandes) et le flet (fig. 27).

Chacun de ces milieux est utilisé par les différents prédateurs à des stades successifs de leur cycle biologique. Les nourriceries de bar, de sole, de flet, de plie, de tacaud et de merlan sont ainsi tributaires de ces trois milieux complémentaires qui leur sont indispensables en termes de disponibilité alimentaire globale.

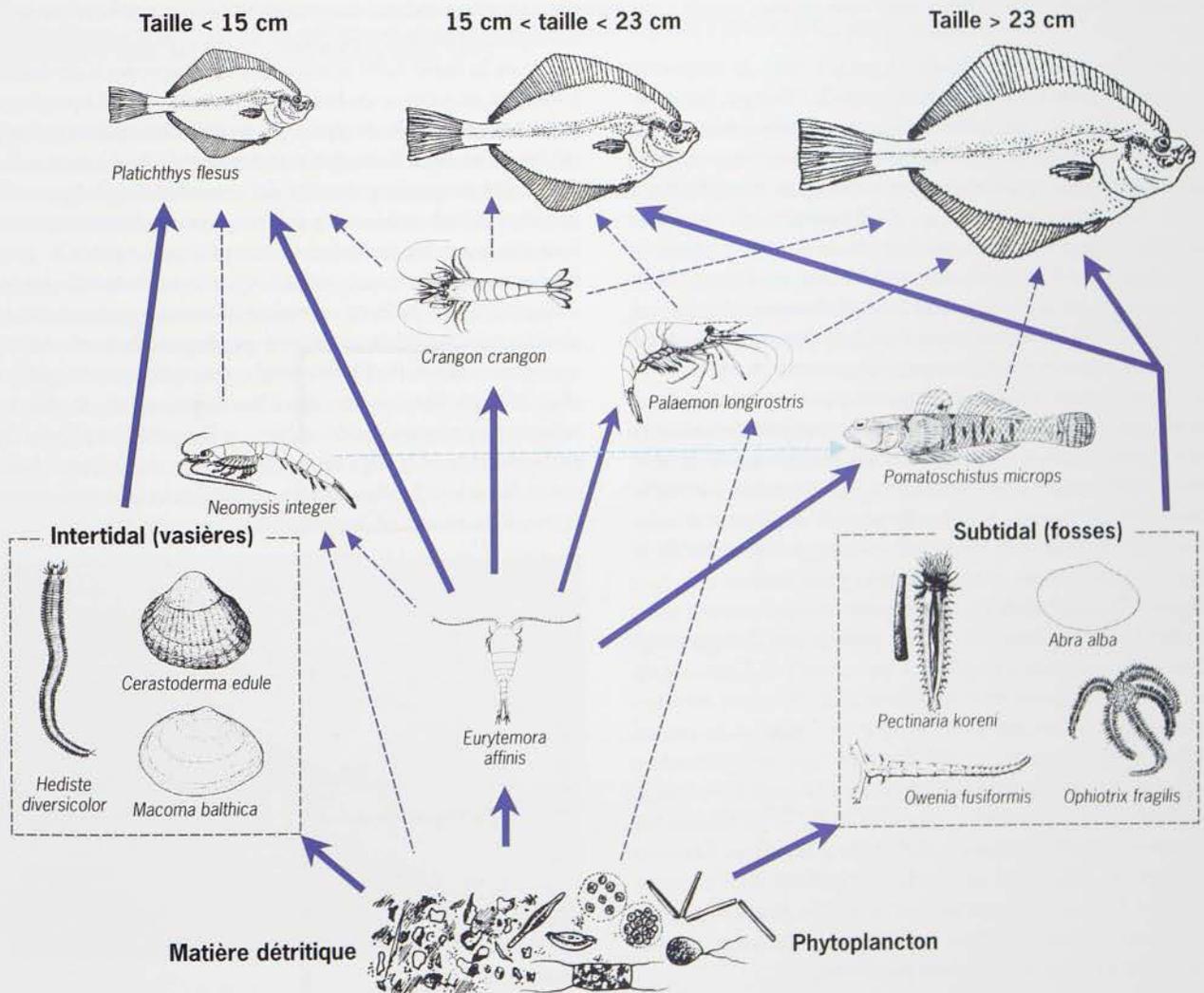


Figure 27 - Chaîne alimentaire du flet (d'après V. Loizeau, Ifremer Brest).

Dès lors que cette disponibilité globale est assurée, les exigences biologiques des jeunes poissons se précisent en fonction de leur croissance, en relation directe avec leur comportement (larves pélagiques, juvéniles suprabenthiques ou benthiques...), leur capacité de nage et de chasse, la taille et le comportement des proies recherchées et, de fait, avec leurs préférences pour des sédiments sableux (plie) ou vaseux (jeunes flets et bars). La condition nécessaire pour qu'une zone géographique accueille des nourriceries est qu'elle présente une diversité de milieux juxtaposés et suffisamment productifs, qui permettent aux jeunes poissons de satisfaire l'ensemble de leurs besoins dans un temps et un espace géographique limités.

La fonctionnalité d'une nourricerie repose sur la coexistence de ces différents milieux aux fonctions complémentaires : les chenaux et fosses de flot où se localisent des chaînes trophiques pélagique et suprabenthique, les vasières intertidales et leur benthos très abondant, les bancs de sable envahis de l'embouchure de l'estuaire et leurs peuplements à pectinaires et *Abra alba*.

Importance des zones intertidales de l'estuaire de la Seine pour l'avifaune

Vaste zone humide située sur la grande voie de migration côtière reliant le nord-est au sud-ouest de l'Europe, l'embouchure de la Seine accueille et nourrit en toutes saisons une avifaune* abondante et très diversifiée. Les organisations nationales et internationales d'ornithologues considèrent, à partir de critères d'abondance, de diversité et de rareté des espèces présentes, que l'estuaire de la Seine est, après la Camargue, la deuxième zone importante en France. C'est essentiellement dans la partie nord de l'estuaire, là où sont localisées les plus importantes étendues de vasières, de prairies humides et de roselières que se rencontrent les plus fortes concentrations d'oiseaux. Cependant, c'est surtout leur valeur de zone d'hivernage pour diverses espèces de limicoles et d'anatidés (canards), de zone refuge lors de vagues de froid sur le nord-est de l'Europe et d'étape migratoire essentielle dans les trajets pré- et post-nuptiaux de nombreux oiseaux d'eau qui confère aux zones intertidales de l'estuaire de la Seine leur importance nationale et internationale.

Dans la mesure où, pratiquement chaque année, elles accueillent de décembre à février plus de 1 % de la population européenne de ces espèces, les vasières de l'estuaire de la Seine constituent un site d'hivernage de valeur internationale pour l'avocette, le tadorne de Belon et le canard pilet. Pour le courlis cendré, l'huîtrier-pie et le bécasseau variable, l'espace intertidal représente une zone d'hivernage d'intérêt national puisque plus de 1 % de la population de ces trois espèces hivernant en France y séjourne. D'autres espèces de limicoles utilisent les vasières de l'estuaire durant l'hiver mais avec des effectifs beaucoup plus modestes (pluvier argenté, grand gravelot, barge rousse, chevalier gambette, bécasseau maubèche...).

La mer ou les vasières, selon les coefficients et les horaires de marées, servent de lieu de repos diurne sécurisant pour certaines espèces d'anatidés se nourrissant la nuit dans les prairies humides des environs. C'est surtout le cas du canard colvert et, dans une moindre mesure, du canard souchet et de la sarcelle d'hiver.

Les laridés sont eux aussi extrêmement abondants l'hiver dans l'estuaire de la Seine. On compte ainsi des groupes importants de goélands argentés et marins et de mouettes rieuses (regroupements nocturnes).

Au début du printemps et en fin d'été, l'estuaire de la Seine assure la fonction primordiale d'étape migratoire essentielle dans les trajets pré- et post-nuptiaux de très nombreuses espèces. C'est notamment le cas pour les limicoles qui utilisent de façon complémentaire les vasières et les prairies inondées pour se nourrir. Toutes les espèces européennes de petits échassiers peuvent être observées en migration dans l'estuaire, dont certaines avec des effectifs de plusieurs milliers (barge rousse, chevalier gambette, courlis corlieu...) ou plusieurs centaines d'individus (chevalier combattant, bécasseau maubèche, barge à queue noire...).

Ce sont surtout les étendues de vase fluide de la zone intertidale, les plus productives, qui sont utilisées par la plupart de ces espèces d'oiseaux d'eau, dont les trois pour lesquelles l'estuaire de la Seine revêt une importance capitale, c'est-à-dire l'avocette, le tadorne de Belon et le canard pilet. Cependant, la forte régression de ce type d'estran qu'a connue la rive nord de l'estuaire de la Seine peut remettre en cause à terme cet intérêt, alors que la poursuite du comblement de l'estuaire par des éléments sableux ou sablo-vaseux tend au contraire à favoriser, au moins temporairement, d'autres espèces.

En fonction de la forme, de la longueur et de la robustesse de leur bec, les différentes espèces d'oiseaux se nourrissent sur la zone intertidale exploitent préférentiellement une ou quelques catégories d'invertébrés, endogés* ou de surface (fig. 28), se développant dans les divers types de dépôts sédimentaires (vase fluide, sable...). De plus, les classes de taille consommées dépendent du gabarit de l'oiseau et du mode de recherche alimentaire, associé pour certains prédateurs à l'existence de dispositifs buccaux de filtration.



Pluvier argenté.

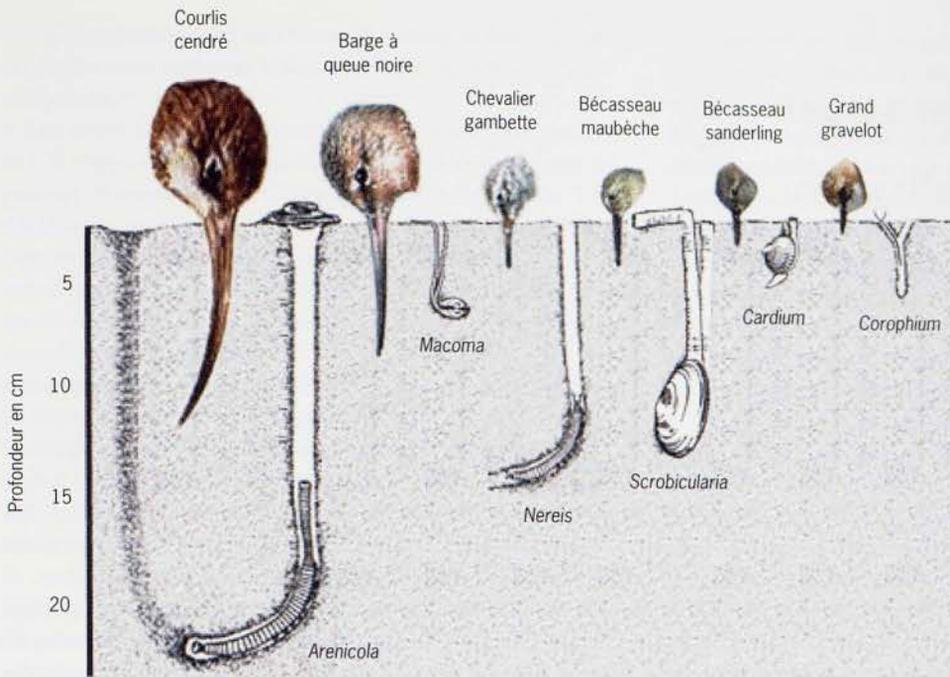


Figure 28 - Répartition verticale de la macrofaune des vasières intertidales du peuplement à *Macoma balthica* à marée basse et longueurs des becs des différentes espèces d'oiseaux se nourrissant sur les vasières montrant leur capacité de se nourrir seulement à partir des proies qu'ils peuvent atteindre (d'après Prater A.J., 1981. Estuary Birds of Britain and Ireland. T. & A.D. Poyser, Calton, 440 p.).

En fait, toutes les espèces d'invertébrés des différents faciès sédimentaires de la zone intertidale sont exploitées par les divers groupes d'oiseaux limicoles hivernant ou effectuant des stationnements migratoires en estuaire de Seine. En ce sens, il existe dans l'espace de balancement des marées un recouvrement important des régimes alimentaires des oiseaux et des poissons, bien que les phases d'exploitation des proies par ces deux groupes d'animaux soient décalées dans le temps, les premiers intervenant essentiellement à marée descendante et à basse mer tandis que les seconds n'investissent la zone intertidale qu'avec le flot et à marée haute.

C'est ainsi que la synthèse, réalisée récemment par le Groupe ornithologique normand dans le cadre du programme satellite du programme Seine-Aval intitulé « Zones humides de l'estuaire et des marais de Seine », et portant sur les dénombrements d'oiseaux effectués par ses observateurs au cours des vingt-cinq dernières années, montre clairement une diminution progressive des stationnements hivernaux d'avocette et, à l'inverse, un fort accroissement de la population d'huîtrier-pie.

Ces données illustrent parfaitement les conséquences de l'évolution récente des conditions hydrosédimentaires de l'embouchure de la Seine sur les populations d'oiseaux et indiquent, de façon claire, que le maintien de l'intérêt international de l'estuaire de la Seine pour les espèces inféodées aux étendues de vasières intertidales, telle l'avocette, passe par la conservation, voire la recréation, de ces espaces. Un autre élément à prendre en compte est la nécessité pour les oiseaux hivernants de disposer de reposoirs de marée haute où les animaux puissent se rassembler par groupes spécifiques en toute sécurité. Ces zones de regroupement lors du flot et à l'étape de marée haute correspondent à des secteurs sableux des hauts niveaux. Or, ce type d'espace est aussi en très forte régression ces derniers temps, en raison des récents aménagements de la zone portuaire, alors même que ces sites sont complémentaires des zones de nourrissage et sont, de ce fait, tout aussi indispensables pour la biologie des oiseaux hivernants.

Chapitre IV

Le fonctionnement actuel de l'estuaire : la compartimentalisation des édifices biologiques, les dangers et les évolutions probables

La compartimentalisation de l'écosystème estuarien

L'évolution séculaire de l'estuaire de la Seine tendant naturellement au comblement a été largement accélérée par les aménagements entrepris par les ports autonomes qui, de plus, ont réussi, à travers la construction de digues, à modifier, à morceler et à isoler relativement entre elles un certain nombre d'entités écologiques. On peut synthétiser l'état actuel géomorphologique et biologique de l'estuaire en le découpant en sept entités distinctes ou compartiments, d'où le constat d'une forte compartimentalisation de l'édifice biologique de l'estuaire de la Seine d'amont vers l'aval (fig. 29).

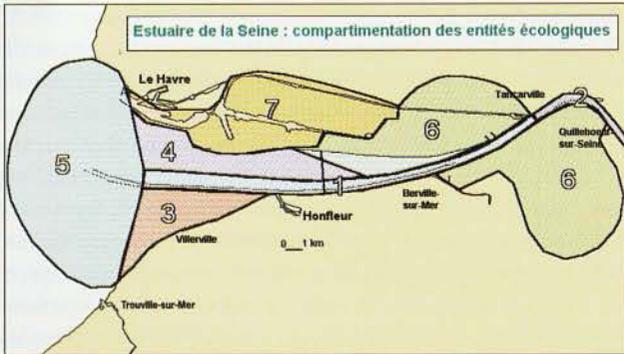


Figure 29 - Cartographie des principaux compartiments de l'édifice biologique de l'estuaire moyen de la Seine.

- La zone située en amont du pont de Tancarville (2), soumise à la marée jusqu'au barrage de Poses (120 km), est constituée d'eau douce et entièrement chenalisée jusqu'à Rouen. Le benthos est très pauvre du fait de l'hydrodynamisme instauré par l'homme au système. Dans la zone de Caudebec-en-Caux, on constate de très fortes hypoxies*, voire anoxies, en période estivale dues essentiellement aux apports ammoniacaux issus de la station d'épuration d'Achères (agglomération parisienne).
- Le chenal principal, en aval de Tancarville (1) et jusqu'à la zone de l'engainement (débouché en mer de la partie endiguée de l'estuaire), est complètement déconnecté du reste de l'estuaire sur une bonne partie du cycle de marée en raison des digues adjacentes. Ce milieu où l'on trouve l'essentiel du bouchon vaseux présente un contraste biologique majeur : le pélagos (plancton et suprabenthos) est très riche par rapport aux autres estuaires européens ; le benthos, localisé essentiellement dans la zone comprise entre le chenal de

navigation et la digue basse nord, est très pauvre, voire inexistant. La preuve en est par ailleurs apportée par le contenu stomacal des organismes vivant dans la zone, composé essentiellement de proies pélagiques. Outre le fort hydrodynamisme local, on soupçonne fortement les dragages d'entretien et les rejets des boues sur cette zone d'être à l'origine de cet appauvrissement.

- La fosse Sud, triangle très ensablé (3), avec des zones légèrement envasées, est soumise dans sa totalité aux houles du large. Elle accueille dans sa zone intertidale surtout des peuplements à bivalves (moules, coques...), crevettes ainsi que certaines espèces d'oiseaux. Dans sa partie subtidale, le peuplement à *Abra alba - Pectinaria koreni* est très riche et présente un intérêt biologique important pour les juvéniles de poissons. L'importance de cette fosse Sud dans le fonctionnement de l'estuaire est encore mal évaluée.

- La fosse Nord présente des caractéristiques sédimentaires et biologiques qui rendent ce système essentiel pour la sauvegarde des principales fonctionnalités de l'estuaire de la Seine (4). Malheureusement aussi, il sera le plus touché par le projet d'extension du port du Havre. Par ailleurs, cette zone, essentiellement intertidale, est entièrement dépendante du bon fonctionnement hydraulique, lui-même fortement lié à l'existence de la brèche située en aval du pont de Normandie et qui permet l'établissement d'un chenal secondaire entre la mer et le chenal principal. C'est autour de ce chenal que s'organisent (surtout au nord) des zones intertidales riches en vases où se développent encore, d'une façon intégrée, une productivité benthique exceptionnelle, et s'établit une nourricerie active pour les différentes espèces de poissons commerciaux et la présence d'oiseaux à intérêt international qui trouvent là nourriture et aire de repos. Ce système est en connexion proche, en amont, d'une zone d'herbus et de roselières qui constitue l'essentiel de la réserve naturelle de l'estuaire de la Seine.

- L'embouchure de l'estuaire est constituée d'un croissant subtidal sablo-vaseux qui prend naissance à l'aval des fosses Sud et Nord et qui est partiellement interrompu par le banc du Kannik (5), cône sableux résultant des clapages quasi journaliers de sédiments dragués par le port de Rouen dans le chenal principal. Cette zone, en liaison avec ce dernier et la fosse Nord, est le siège d'un cycle annuel de déplacement de vase, avec dépôts transitoires en périodes de crue. Ce croissant d'un rayon d'une dizaine de kilomètres présente une importante richesse benthique exploitée par les juvéniles de certains poissons benthiques comme la sole.

Dans le contexte actuel de l'estuaire, ce sont les fonctionnalités de ces deux dernières zones qui sont à préserver préférentiellement.

- Les zones humides comprennent des milieux diversifiés (6). Il s'agit d'abord d'une vaste roselière qui colonise les prairies humides et les schorres* à partir de la cote 7,50 CMH (cote marine au Havre). La roselière, en vieillissant, permet l'installation de plantes nitrophiles, puis de bois de sureaux et de saules. L'exploitation (300 ha par an) de la roselière par les chaumiers ou le pâturage par les chevaux retardent cette évolution.

Il s'agit ensuite des prairies humides et zones inondables de la Demi-Lune, du marais du Hode, du marais Vernier et de la basse vallée de la Risle. Leur fonctionnement hydraulique, lié à la Seine et aux apports des nappes phréatiques *via* les rivières adjacentes, est complexe et régulé par des canaux et des vannes. La circulation nord-sud des eaux dans le marais du Hode est perturbée par les aménagements linéaires est-ouest. La continuité des milieux humides de la basse vallée de la Seine en fait un maillon essentiel pour la circulation des espèces.

- Il s'ajoute à ces six entités, des zones périphériques transformées dont la zone industrialo-portuaire qui comporte de vastes espaces en friche (7). Les usines classées Sévésco comportent quant à elles des espaces non utilisés pour des raisons de sécurité. La gestion de ces espaces, en prenant en compte la faune et la flore de l'estuaire, conforterait la conservation du patrimoine naturel de l'estuaire. Toutefois, les dispositions retenues dépendent de l'exercice normal et de l'évolution des activités industrielles et portuaires et doivent s'adapter en fonction de leur développement et de leur modernisation.

Il apparaît, par conséquent, une forte compartimentalisation de l'estuaire de la Seine. Bien que certaines espèces mobiles de prédateurs (poissons, oiseaux) soient *a priori* capables de circuler d'un compartiment à l'autre, au fil de la marée, des alternances des crues et des étiages, et des saisons, nous ne disposons pas pour le moment d'éléments probants montrant les interactions entre ces différents compartiments dont les fonctionnements peuvent apparaître, ou sont effectivement, relativement indépendants les uns des autres. Quoiqu'il en soit, la fonctionnalité de l'estuaire réside dans cette compartimentation. Aucun élément ne permet de statuer si cette spatialisation a été acquise au fil du temps, selon les aménagements successifs de l'estuaire, et si, à terme, l'estuaire connaîtra une parcellisation encore plus extrême si les aménagements continuent de l'affecter, comme la construction du Port 2000.

Un compartiment difficile à gérer : les zones humides

Les zones humides ont longtemps été considérées comme des milieux à détruire ou à assécher. En vingt ans, en France, la moitié des zones humides a disparu. Cette tendance à la régression est forte et rapide; elle concerne à la fois la surface de ces zones et leur qualité. La situation est

telle que même des changements radicaux et drastiques de perception, la résolution de problèmes, accompagnés par la mise en place d'une politique de préservation de ces zones ne pourront permettre qu'un ralentissement de ce processus de dégradation, avant plusieurs années (Amezal, 1997).

Les causes de dégradation de ces zones humides qui tendent vers une banalisation, une uniformisation des espaces de plus en plus artificiels, accompagnées d'une réduction des surfaces de contact et d'échanges, sont nombreuses:

- drainage, populiculture (boisement de peupliers) et boisement de résineux, pompages excessifs des eaux souterraines ou de surface (baisse du niveau des nappes souterraines);
- aménagements portuaires : creusement des bassins portuaires et remblaiement des rives, aménagement des voies navigables (creusement, chenalisation), assèchement des zones riveraines par abaissement de la nappe phréatique ;
- aménagements hydroélectriques : modification des zones humides en aval (assèchement) ou en amont (ennoyage), régulation des crues (favorable pour la reproduction du brochet par exemple) et empêchement des migrations des poissons migrateurs ;
- activités industrielles et urbaines : remblaiement des zones humides à des fins d'activités diverses (parkings, terrains à vocations industrielles et commerciales...);
- extraction de granulats ou de tourbes : disparition des milieux naturels, perturbation du fonctionnement de la nappe phréatique.

Les protections existent depuis longtemps mais leur efficacité est relative. Les cadres juridiques et administratifs des mesures de conservation des zones humides ont été fournis dès 1970 (loi sur la protection de la nature en 1976 et création de réserves naturelles dont de nombreuses zones humides). Les années quatre-vingt voient un renforcement des protections avec la directive Oiseaux (1979) et la convention Ramsar ratifiée par la France en 1986. Parallèlement, les acquisitions foncières augmentent considérablement, notamment par le Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres, les conseils généraux et la Fondation nationale pour la protection des habitats de la faune sauvage. La prise en compte financière par la Communauté européenne des actions de protection, avec l'action communautaire pour l'environnement, renforce les actions de préservation des zones humides remarquables. Le problème de préservation des zones humides résulte d'une absence de politique sectorielle de ces espaces naturels au carrefour de nombreuses politiques souvent contradictoires.

Il faudra attendre les années quatre-vingt-dix, pour que des mesures importantes émergent. La loi sur l'Eau de janvier 1992 reconnaît que les zones humides sont d'intérêt général. La mise en place du réseau Natura 2000, comprenant les sites répertoriés par la directive Oiseaux (désignés zones de protection spéciales) et par la directive Habitat (dénommés zones spéciales de conservation), devrait à terme constituer un outil puissant de protection des zones humides tant aux niveaux réglementaire que financier (création de nouveaux fonds d'accompagnement par l'Union européenne, type LIFE).

En 1994, l'évaluation des politiques publiques a conclu à la nécessité pour la France de se doter d'une politique cohérente, structurée et affichée pour la sauvegarde des zones humides. Aussi, en 1995, un plan d'action gouvernemental en faveur des zones humides a été adopté en Conseil des ministres; il prévoit 40 actions. Les ministères concernés (Environnement, Agriculture, Équipement, Recherche, DOM-TOM...) sont donc engagés depuis peu dans la mise en œuvre d'une stratégie volontaire comportant à la fois un changement de cap et d'échelle dans le domaine de la gestion et de l'aménagement des zones humides.

Quatre initiatives majeures peuvent être soulignées :

- la création d'un observatoire national pour étudier l'évolution des 87 zones humides d'importance majeure en France;
- un programme national de recherche sur trois ans sur les zones humides;
- des campagnes de sensibilisation qui feront redécouvrir l'intérêt de ces milieux aux usagers des zones humides et à leurs élus;
- la publication de documents tels que les fiches techniques « Agir pour les zones humides » et le guide technique « Protéger et gérer les zones humides, données écologiques et juridiques ».

Depuis 1996, le Schéma directeur d'aménagement et de gestion de l'eau (Sdage) joue un rôle moteur. Il recommande :

- la pérennisation des mesures agri-environnementales;
- une réorientation des subventions relatives à l'assainissement agricole, au drainage, à certains boisements, à l'irrigation ou à certaines pratiques agricoles intensives lorsqu'elles ont une influence sur la destruction des zones humides;
- un développement plus ciblé des politiques de protection en faveur des zones humides relevant des politiques du fonds de gestion de l'espace rural et de la taxe départementale des espaces naturels sensibles, et cela sur l'ensemble des départements du bassin Seine-Normandie.

Au niveau de l'estuaire de la Seine, le Sdage préconise :

- de privilégier la préservation de ces sites lorsqu'un projet d'aménagement susceptible de provoquer des dégradations est envisagé sur une commune (extraction de granulats, aménagement agricole, équipement);
- la réalisation d'une étude économique, hydraulique et écologique approfondie pour tout projet d'aménagement relevant des procédures d'autorisation et de déclaration (article 10 de la loi sur l'Eau), sur des sites à fort intérêt écologique (zones d'importance majeure, zones de protection spéciales, zones spéciales de conservation...);
- le développement de la maîtrise foncière par contractualisation de la gestion en définissant, pour les zones menacées ou intéressantes à plusieurs titres (ressource en eau, patrimoine), des règles de gestion adaptées et en assurant leur mise en œuvre durablement.

Par ailleurs, il est à noter que tout programme ou décision administrative dans le domaine de l'eau devra prendre en compte les dispositions du Sdage en matière de protection de zones humides. Il s'agit :

- de conserver et de restaurer les champs d'inondation, de dissuader le développement urbain en zone inondable;
- de limiter strictement les travaux de protection contre les débordements;
- de favoriser dans les travaux l'intégration réelle de la diversité des milieux aquatiques et de privilégier des techniques végétales, notamment pour les protections de berges.

Les années quatre-vingt-dix ont sans aucun doute permis un changement de mentalité et un certain essor des actions de protection en faveur des zones humides. Mais l'essentiel reste à faire pour préserver durablement des zones d'intérêt écologique (voir ci-dessous).

En effet, les ouvrages de contrôle des crues ou d'approvisionnement en eau potable réduisent l'amplitude et la durée des inondations en année moyenne. L'aménagement agricole des bassins versants augmente la vitesse de transit

Importance des zones humides dans l'estuaire de la Seine et la réserve naturelle de l'estuaire de Seine

Zones de transition entre la mer, la terre et le fleuve, les estuaires abritent des zones humides remarquables tant sur le plan patrimonial que fonctionnel.

Malgré une forte anthropisation, la plaine alluviale de l'estuaire de la Seine présente encore des milieux humides exceptionnels par leur richesse biologique, leur diversité, leur complémentarité et l'ampleur de leur surface. Le potentiel naturel, les différents endiguements et les pratiques culturelles sont à l'origine de trois principaux types de zones humides :

- les vasières au sein desquelles s'est installé un double gradient de salinité et d'humidité qui détermine l'implantation d'une succession végétale caractéristique, de la vasière nue ou halophyte* à la roselière à base de spartines, asters,



Roselière rive droite à marée basse.

scirpes... (slikke et schorre). Ces espèces végétales sont exceptionnelles pour la région et l'importance de la productivité biologique de ces milieux (notamment en benthos) en fait des sites privilégiés de nourrissage pour les juvéniles de poissons et crustacés à marée haute et pour les oiseaux à marée basse. Elles sont à l'origine de la valeur internationale de l'estuaire de Seine en tant que halte migratoire pour les oiseaux d'eau;

- les roselières colonisent les niveaux supérieurs du schorre et les secteurs inondés en permanence par les eaux douces ou saumâtres. Dépassant plus de mille hectares, elles constituent une des plus grandes roselières du nord de l'Europe et sont le site de nidification de plusieurs espèces pour lesquelles l'estuaire de la Seine possède une valeur nationale ou internationale : butor étoilé, mésange à moustaches, busard des roseaux, rousserole effarvate. Elles abritent également une entomofaune rare avec plusieurs espèces exceptionnelles (noctuelle oblongue, noctuelle obsolète, noctuelle des roselières, nonagrie des marais...) et quelques espèces végétales remarquables comme la grande angélique ou l'oenanthe safranée;

- les prairies humides, plus ou moins subhalophiles et gérées à des fins agricoles et cynégétiques (mares à gabion), occupent une grande partie de la plaine alluviale (plusieurs milliers d'hectares). Elles abritent des espèces végétales remarquables, notamment lorsqu'elles possèdent un caractère subhalophile (triglochin maritime, jonc de Gérard, glaux maritime, vulpin bulbeux...) et une petite faune batrachologique (pélodyte ponctué, triton crêté, crapaud calamite) et entomologique (sympetrum méridional, leste sauvage, criquet marginé, hydrocampe neigeuse...) particulièrement intéressante. Elles sont surtout le site de reproduction et/ou de gagnage de milliers d'oiseaux migrateurs (spatule blanche, barge à queue noire, courlis cendré et corlieu, échasse, râle des genêts, cigogne blanche, sarcelle d'hiver, sarcelle d'été...).

À côté de ces principaux milieux, d'autres habitats humides remarquables, plus marginaux, se développent dans l'estuaire comme les milieux sableux - dunes et pannes arrière-dunaires (artificielles ou néoformées suite aux endiguements) - et les bois alluviaux où se développent une flore et une faune exceptionnelles (liparis de Loesel, helléborine des marais, orchis à fleurs lâches, pyrole à feuilles rondes, héron bihoreau, noctuelle du littoral, noctuelle de l'oyat).

Le comblement progressif des zones latérales et la colonisation par les herbues de ces vasières se traduisent par une augmentation des surfaces de roselières. Cette « continentalisation » des zones humides est par ailleurs favorisée par certains modes de gestion tels le drainage et la régulation des niveaux d'eau et s'accompagne d'une réutilisation de l'espace par de nombreux acteurs. Ainsi, on observe la présence des chasseurs qui ont aménagé de nombreux « gabions », des agriculteurs qui utilisent les prairies et des coupeurs de roseaux qui exploitent plus de 300 hectares de roselières.

La potentialité biologique de ces milieux humides exceptionnels ne peut s'exprimer pleinement du fait d'une gestion mal adaptée (gestion trop intensive des mares par la chasse et des prairies par l'agriculture).

Pour protéger et mieux gérer ces espaces, la « réserve naturelle de l'estuaire de Seine » a été créée le 31 décembre 1997 et concerne 3 800 hectares (carte). Elle protège l'essentiel

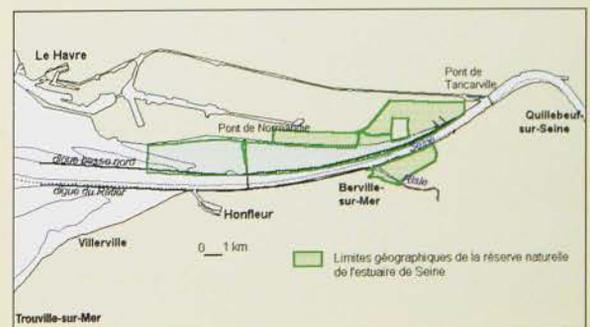
des vasières, de la roselière et une partie significative des prairies du Hode. La gestion de cette réserve est alors confiée à l'association « La maison de l'estuaire ». Cette mesure de protection s'ajoute à de nombreuses autres protections réglementaires ou mesures incitatives dont les périmètres se recouvrent, se chevauchent ou se complètent : réserve de chasse créée le 23 septembre 1991, Zico (Zones importantes pour la conservation des oiseaux en 1992), ZSC (Zones spéciales de conservation), ZPS (Zone de protection spéciale), Znieff (Zones naturelles d'intérêt écologique, floristique et faunistique de types 1 et 2), acquisition foncière du Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres, mesures européennes agri-environnementales pour la sauvegarde des prairies et de l'avifaune nicheuse ou, plus à l'est, le parc naturel régional de Brotonne.

Les ZPS et les ZSC sont des sites d'intérêt communautaire désignés respectivement par les directives européennes « conservation des oiseaux » et « conservations des habitats naturels » qui sont applicables à l'estuaire de Seine et qui constituent la base pour la mise en place future du réseau Natura 2000. L'une des difficultés réside dans la prise en compte des espaces artificialisés qui hébergent des espèces protégées visées par ces listes.

Ces directives ont d'ailleurs été énoncées et appliquées avec fermeté par la Commission européenne dans le cadre du projet d'extension du port du Havre (Port 2000). En effet, les projets d'emprise sur les zones humides par Port 2000 ont déclenché une prise de conscience, à travers le débat qui s'est instauré au niveau régional, de l'état déplorable de ces zones humides et, plus généralement, de l'estuaire et de la nécessité d'agir, ce qui a conduit le Gouvernement français à mettre en place un plan de gestion globale de l'estuaire et les instances *ad hoc*.

L'une des conséquences directes de la régression des surfaces d'importance écologique est en effet l'évolution des populations d'oiseaux fréquentant ces sites : une diminution de la fréquentation hivernale d'avocette et, à l'inverse, un fort accroissement de la population d'huîtrier-pie ont été observés de manière indiscutable depuis au moins vingt-cinq ans. Le maintien de l'équilibre de ces populations d'oiseaux implique une nécessaire conservation de ces espaces, voire leur récréation.

Fruit de cette prise de conscience collective et de cette volonté nouvelle d'infléchir l'évolution du système estuariens et de ses zones humides vers un « meilleur état », il a été décidé en particulier, au titre des mesures compensatoires du projet Port 2000, une action de réhabilitation de la vasière Nord de l'estuaire, en lui redonnant un peu plus d'espace, et la récréation d'un reposoir de haute mer.



Carte de l'emprise de la réserve (source : Maison de l'estuaire).

de l'eau dans les paysages et, par conséquent, l'amplitude des crues. *A contrario*, la durée des périodes d'inondation est réduite en pénalisant le succès reproducteur des poissons dont les pontes sont mises à sec trop précocement. Dans de nombreux cours d'eau, des programmes de restauration des frayères dégradées sont envisagés mais sont souvent contrecarrés par d'autres projets de lutte contre les crues pour protéger les zones urbaines sensibles (Amezal, 1997).

Des effets attendus d'un projet d'aménagement majeur...

L'État a décidé, en septembre 1998, de prendre en considération le projet d'extension du port du Havre, dénommé Port 2000. Dans le décret, il est souligné l'importance de la recherche d'un équilibre entre les objectifs de développement économique liés au projet Port 2000 et la protection des milieux aquatiques et naturels par une gestion exemplaire de l'estuaire.

Les nouvelles installations portuaires au sud des limites actuelles du port se caractérisent par des aménagements en mer et à terre. Un chenal creusé à la cote marine de -16 m sur une largeur de 350 m et une longueur de 2 800 m se raccordera au chenal d'accès actuel du port. Le patrimoine biologique de cette zone se caractérise par le zoobenthos de la fosse Nord comportant un secteur intertidal, occupé par la communauté à *Macoma balthica*, et un secteur subtidal occupé par la communauté à *Abra alba* et *Pectinaria koreni*. Le macrozooplancton et le suprabenthos sont caractérisés par des espèces marines (communautés polyhaline et mésohaline). Ce secteur se caractérise aussi par une richesse spécifique et des densités importantes en jeunes poissons et c'est une zone de pêche à la crevette grise. L'emprise du bassin et de la digue de protection fera disparaître la faune benthique de cette zone. Elle se localisera sur l'emplacement actuel du chenal de la fosse Nord, très pauvre en benthos du fait de la vitesse des courants. Sans aménagement en amont, il y aurait probablement un envasement de la fosse par réduction du volume d'eau oscillant. Enfin, l'hiver, l'estuaire de Seine est un site important pour les oiseaux dont le plongeon catmarin, le fuligule milouinan, la macreuse noire, la macreuse brune et le grèbe huppé. De plus, en période de migration, l'estuaire et ses abords sont aussi fréquentés par des sternes et la guiffette noire.

L'emprise terrestre de Port 2000 concerne des remblais situés entre la route de l'estuaire et la digue en crochet. Cet espace est découpé en quatre chambres de dépôt. Ces terrains remaniés à plusieurs occasions, notamment lors de la construction du pont de Normandie, ont favorisé l'installation de plantes pionnières. Les points d'eau sont importants pour les batraciens.

Parmi les 225 espèces floristiques identifiées sur le site, certaines sont très rares et protégées en France telles que le chou marin, la liparis de Loesel et l'élyme des sables. Un total de 119 espèces de papillons a été recensé dans le secteur, 27 d'entre elles sont très rares et une est protégée par la directive Habitats (*Callimorpha quadripunctaria*). Parmi les batraciens, il faut noter la présence du crapaud calamite et du pélodyte ponctué. Ces espèces sont protégées en

France et le crapaud calamite est inscrit en annexe IV de la directive Habitats. Les trois reptiles signalés sur le site sont protégés en France : couleuvre à collier, lézard des murailles et lézard vivipare. Le lézard des murailles est inscrit en annexe IV de la directive Habitats.

Le secteur d'emprise terrestre de Port 2000 est aussi un site accueillant pour les oiseaux y trouvant différents milieux non chassés et tranquilles pour satisfaire leur développement. Les remblais sont utilisés par certaines espèces de limicoles, d'anatidés et de passereaux pour nidifier. De plus, l'ensemble des limicoles et certains anatidés utilisent actuellement cet espace comme reposoir à marée haute. Parmi ces oiseaux, certains atteignent, en fonction des saisons, des effectifs d'importance nationale ou internationale, comme le tadorne de Belon, le canard pilet, l'avocette...

... aux travaux de réhabilitation de différents habitats

L'implantation de Port 2000 aura donc des conséquences sur la flore et la faune aussi bien en mer qu'à terre. Un des impacts les plus néfastes sera certainement la disparition du reposoir de la CIM (Compagnie industrielle maritime). Pour préserver l'avifaune de l'estuaire, il est donc nécessaire de reconstituer un site pouvant remplir les mêmes fonctions. Des mesures comme celle de créer une vasière artificielle prise lors de la construction du pont de Normandie doivent être entreprises (voir p. 39).

Début février 1999 a été constitué, sous la présidence du préfet de la région de Haute-Normandie, un comité de neuf experts scientifiques autour du projet Port 2000 qui s'est réuni régulièrement au cours de l'année 1999. Le groupe d'experts a produit un rapport faisant état de l'historique des aménagements et de la géomorphologie, définit les fonctionnalités de l'estuaire, réfléchi sur différents scénarios d'évolution de la fosse Nord suite à l'implantation de Port 2000 et émis des recommandations pour une gestion globale de l'estuaire. Outre les aménagements compensatoires décrits ci-dessous, la demande de ce comité d'experts de gérer globalement l'estuaire a abouti au printemps 2001 à la définition des modalités de mise en œuvre du plan global de l'estuaire, avec la constitution d'un conseil scientifique et technique composé de quinze experts.

Les ouvrages d'accompagnement destinés à minimiser l'impact hydrosédimentaire et assurer le fonctionnement biologique optimal de l'estuaire ont été choisis après modélisation afin de préserver durablement les vasières, notamment, la grande vasière intertidale nord (Hamm *et al.*, 2001). Ils consistent dans les aménagements suivants (fig. 30) :

- l'ouverture d'une nouvelle brèche amont (rive droite en amont du pont de Normandie) et l'aménagement d'un chenal amont pour relier cette nouvelle brèche à la fosse Nord ;
- le rehaussement de la brèche actuelle à la cote de + 3,5 m CMH pour forcer le flot à emprunter le nouveau méandre et limiter le fonctionnement inverse ;
- la construction d'un épi plongeant et un rehaussement local de la digue basse nord pour maintenir le banc de la Passe, et une prolongation de la digue basse nord vers le large ;

- le dragage de plus de 5 millions de tonnes en accompagnement des différents aménagements. Une nouvelle organisation du dragage est envisagée à cette occasion, tout comme le déplacement éventuel de la zone actuelle de déversement des dragages du port de Rouen sur le Kannik;

- la construction, dans la zone sud, d'îlots repositoirs pour les oiseaux.

Les travaux d'aménagement devront se faire pendant les périodes les moins dérangeantes pour l'avifaune. Des suivis

de l'évolution de la colonisation par la faune des nouvelles zones intertidales ou subtidales ainsi créées en aval et en amont du pont de Normandie, devront également être menés pour mesurer leur rôle dans la production biologique de l'estuaire. Le suivi hydrosédimentaire et biologique des vasières de l'ensemble de la fosse Nord devra aussi être assuré. Enfin, il conviendra de mesurer l'efficacité des îlots artificiels comme repositoir.

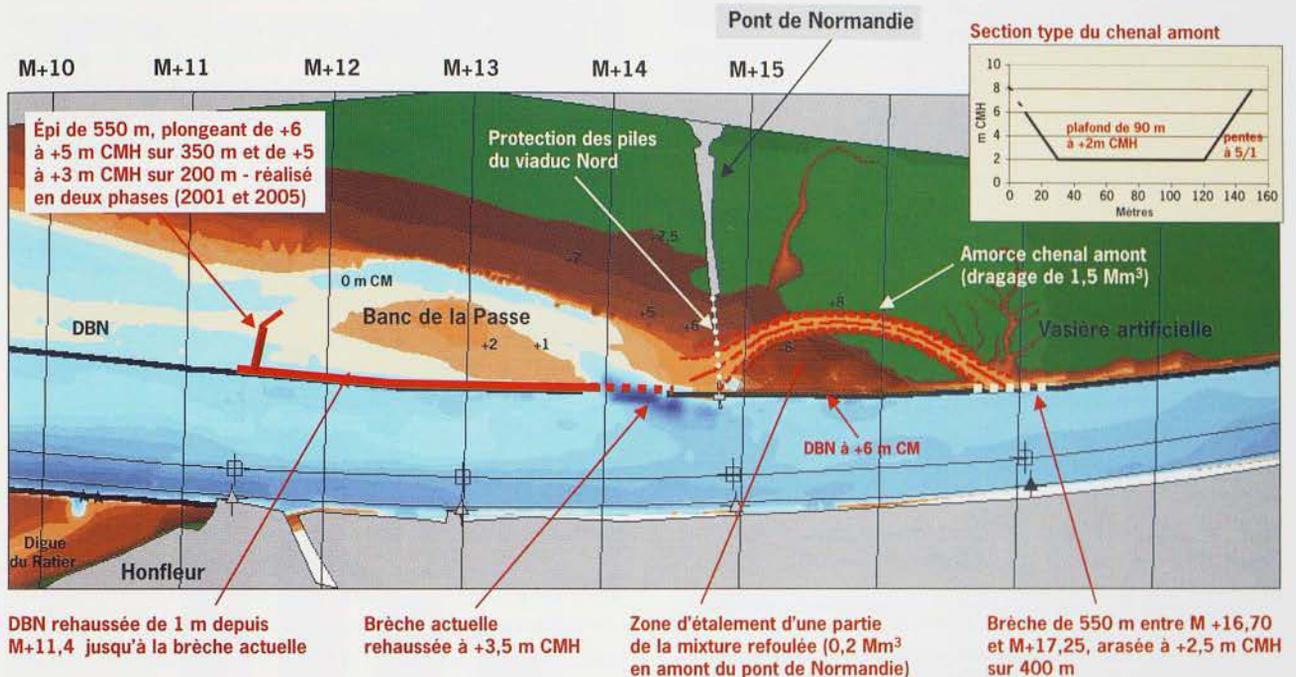


Figure 30 - Carte présentant la localisation des principaux aménagements prévus lors de la construction de Port 2000 pour assurer le maintien de la fonctionnalité de l'estuaire (d'après Sogreah, 2001, avec leur autorisation et Hamm et al., 2001).

La création de vasières artificielles dans l'estuaire de la Seine

À l'occasion de la construction du pont de Normandie, des mesures compensatoires ont été négociées par le ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement et différentes associations de protection et de défense de la nature pour aménager des vasières artificielles en amont du pont de Normandie, sur la rive droite de la Seine. L'objectif était de créer des vasières pouvant assurer des fonctions d'accueil et de nourrissage des oiseaux et des poissons fréquentant l'estuaire. Parmi les contraintes biologiques figuraient le fait que les vasières aménagées devaient être accessibles à la marée et colonisées par les espèces caractéristiques du peuplement des vasières intertidales à *Macoma balthica*, donc le ver *Hediste diversicolor* et le crustacé *Corophium volutator*, en abondance suffisante pour permettre l'alimentation des oiseaux limicoles et des juvéniles de poissons fréquentant cette zone estuarienne. Les niveaux bathymétriques correspondant à ce



Chenal de la vasière Nord à marée basse.

peuplement se situent entre + 5 m et + 7 m de la cote marine du Havre et dans une gamme de salinité de 5 à 20. De plus, ces vasières devaient avoir une surface suffisamment grande pour que le milieu soit ouvert et attractif pour les oiseaux limicoles. Les contraintes hydrodynamiques devaient prévenir un ensablement trop rapide de la vasière qui ne devait pas non plus, elle-même, entraîner un surcroît de sédimentation dans le chenal de navigation. La solution finale retenue, dont le coût est voisin de 6,20 MF (coût de l'aménagement en 1990 et du suivi scientifique jusqu'en 1995), a été d'agrandir un réseau de chenaux qui se maintenaient naturellement et d'aménager un seuil le faisant communiquer avec la Seine sur une surface de 3-4 hectares (fig. 1).

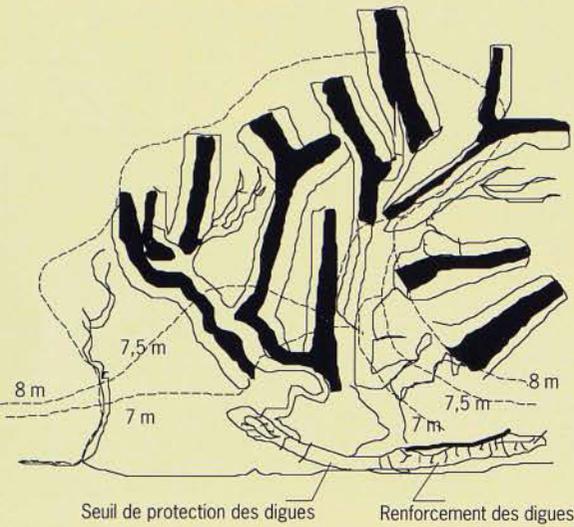


Figure 1 - Plan de masse de l'aménagement (Chambre de commerce et d'industrie du Havre, Mission du pont de Normandie). Surface draguée : 12 hectares. Volume dragué : 180 000 m³. Surface réhabilitée compte tenu des vasières naturelles : 24 ha (d'après Bessineton, 1998).

Le suivi scientifique permet d'apporter des renseignements dans quatre domaines (Bessineton, 1998).

- Le suivi hydrosédimentaire a montré que les chenaux ont tendance à se combler malgré les cycles saisonniers et pluriannuels de sédimentation et d'érosion selon le rythme des crues, tempêtes et étiages.
- Le suivi de la végétation a montré que celle du schorre a progressé de 2 à 4 m sur les parties latérales des chenaux. Dans certains secteurs, la végétation a suffisamment comblé les sédiments pour empêcher leur érosion, ce qui mène à une accélération du colmatage et à une fermeture du milieu.
- Le suivi du zoobenthos a montré que la colonisation était extrêmement rapide. Six mois après les dragages, un peuplement pionnier à *Corophium* s'est installé sur l'ensemble des vasières, puis le peuplement s'est diversifié par colonisation des espèces caractéristiques du peuplement à *Macoma balthica*. Quatre ans après les travaux, les biomasses étaient quatre fois supérieures à celles de la situation du départ et de l'ordre de grandeur de celles des vasières naturelles situées en aval de l'aménagement (fig. 2, 3).

- Le suivi ornithologique n'a été entrepris que pendant l'année 1994-1995 et a montré que la vasière était utilisée par 23 à 31 espèces d'oiseaux, avec des effectifs variables, suivant les mêmes modalités que les vasières adjacentes. La plupart des limicoles, laridés et anatidés sont observés dans la partie aval, la plus ouverte de l'aménagement, et fréquentent moins les bancs les plus fermés qui attirent quant à eux plutôt des passereaux.

En conclusion, l'aménagement montre que la vasière artificielle est un milieu instable, très productif, mais dont la pérennité n'est pas garantie, car elle a tendance à se combler de façon irréversible.

Les enseignements qui peuvent être tirés de cette restauration sont les suivants :

- il est possible de créer des vasières artificielles ;
- l'échelle de récréation est limitée eu égard au problème plus général de disparition des vasières de l'estuaire de la Seine ;
- il ne peut pas y avoir de restauration sans moyens pour maintenir le caractère fonctionnel des vasières qui ont été très rapidement colonisées par le schorre.

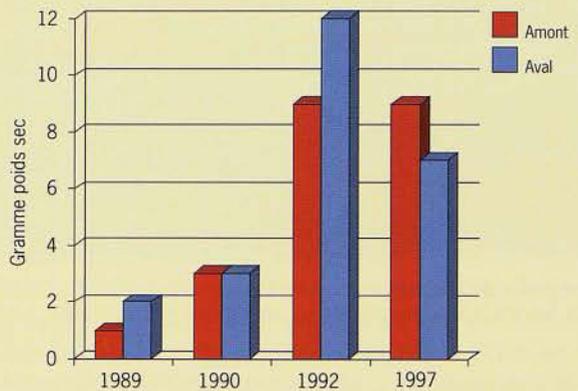


Figure 2 - Évolution de la biomasse par mètre carré de 1989 à 1997 (vasières artificielles) (d'après Bessineton, 1998).

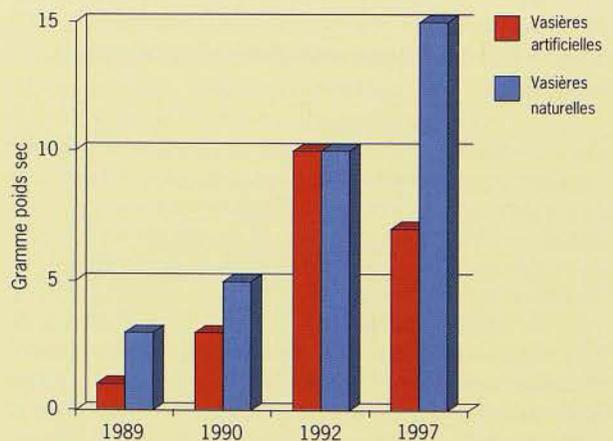


Figure 3 - Évolution comparée des biomasses dans les vasières naturelles et artificielles (d'après Bessineton, 1998).

Conclusion et perspectives

L'estuaire de la Seine est un milieu vivant fortement compartimentalisé où l'ichtyofaune et l'avifaune trouvent des proies en abondance. Le patrimoine biologique est diversifié en habitats depuis l'amont vers l'aval et du chenal vers les rives. Il est relativement pauvre en espèces comme tous les milieux estuariens nord-européens ou nord-américains. Il n'y a pas d'espèce endémique connue et, dans un contexte où le recul temporel sur certaines données est parfois totalement absent (fleuve), aucune disparition notoire n'est attestée. À côté de zones pratiquement dépourvues de macrofaune ou de poissons, se trouvent des zones où l'abondance des espèces est extrême ; ce contraste est une des particularités de la Seine, tout comme les abondances de bon nombre d'espèces qui trouvent dans cet estuaire un milieu extrêmement favorable à leur développement. Il existe par conséquent un paradoxe entre l'extrême abondance et biomasse des premiers maillons des chaînes trophiques et le fait que ceux-ci soient soumis à des apports très élevés en contaminants (voir fascicules 8, 10, 12, 13 et 14 du programme scientifique Seine-Aval). De même, il existe un autre paradoxe entre l'abondance des proies disponibles et la pauvreté de l'ichtyofaune à l'échelle de l'ensemble de l'estuaire bien que le rôle de nourricerie des juvéniles de poissons soit attesté. Dans certains secteurs, la biomasse des proies disponibles pourrait supporter une prédation beaucoup plus forte que celle existant.

Les causes de ces constats sont sans doute multiples. Pour les poissons migrateurs, il s'agit des aménagements successifs comprenant la destruction d'habitats et de connexion entre ces habitats, conjuguée à la création d'obstacles (barrages) sur les voies de migration. La dégradation de la qualité des eaux n'est pas à exclure tout comme la pression de pêche qui a sans doute été trop importante à un moment où les populations de reproducteurs étaient en danger. Pour la partie aval, la réduction des vasières, la chenalisation de la Seine, les dragages et la pêche sont aussi des causes qui peuvent être évoquées. Il ne fait pas de doute que ces causes aient joué parallèlement et en synergie. Il est difficile, dans l'état actuel des connaissances, de faire la part de l'une et de l'autre dans l'évolution de l'estuaire ; toutefois, on ne peut exclure le fait que les perturbations des habitats aient déjà atteint un seuil au-delà duquel le dysfonctionnement est irréversible. Il existe, tout comme dans tous les autres écosystèmes littoraux et côtiers, des conflits d'intérêt entre les développements économique et touristique, la préservation et la gestion durable des fonctionnalités des milieux anthropisés. L'écosystème Seine est un bon exemple de ces intérêts parfois divergents : la construction du Port 2000 est une illustration de ce dilemme.

Le maintien de la surface actuelle de la vasière Nord, voire son agrandissement, est fondamental dans le fonctionnement de l'estuaire salé de la Seine. De plus, il convient de souligner deux autres principales menaces qui sont susceptibles d'altérer le fonctionnement actuel de l'écosystème ; elles sont toutes les deux liées au déplacement vers l'aval du système.

La première serait un déplacement, voire une expulsion en baie de Seine, de la zone de concentration maximale du copépode *Eurytemora affinis*, dont l'abondance se trouverait alors diluée dans un environnement peu favorable à son maintien du fait d'une trop forte salinité.

La deuxième (plus réelle, les premiers symptômes ayant déjà été observés) serait un envasement exacerbé du peuplement des sables fins envasés à *Abra alba* à la fois au débouché en mer de la Seine et dans sa partie sud. Ces zones subtidales deviendraient alors, comme la fosse Nord, des zones de décantation de particules fines peu favorables au macrobenthos alors que ces zones sont, pour le moment, les plus riches pour ces espèces au niveau des mers nord-européennes.

Parallèlement, la qualité des eaux en amont s'améliore de façon indéniable et les crises d'anoxie en aval de Rouen sont sans doute appelées à disparaître. Ces améliorations ne seront pas suffisantes pour assurer la reconstitution des populations des grands poissons migrateurs et de celle d'autres espèces de poissons d'eau douce. Des indicateurs biologiques* permettraient de mesurer la restauration des habitats (voir p. 42). D'autres mesures doivent être prises en accompagnement : passes à poissons efficaces, restauration des frayères, connexion entre fleuve et plaines inondables. Ce sont autant de défis de restauration faisant appel au génie écologique, discipline peu représentée en France, tout comme l'écologie des paysages, où au morcellement des rives actuelles avec des usages multiples aboutissant à un paysage en mosaïque, devrait idéalement suivre un réaménagement autour de grandes unités paysagères. La notion de gestion globale de l'estuaire et la mise en place du comité scientifique et technique de la Seine devraient être les garants de la prise en compte d'une véritable gestion globale de l'estuaire et des lieux de proposition assurant la fonctionnalité et la restauration de ce milieu d'intérêt majeur.

Les indicateurs biologiques

L'une des questions régulièrement posée aux biologistes, dans le cadre d'études sur les milieux perturbés, est d'identifier des bioindicateurs* ou indicateurs biologiques, espèces cibles ou modifications morphologiques ou biologiques du compartiment vivant permettant de statuer sur l'état de santé du milieu. Ils permettent aussi de suivre ultérieurement la restauration de l'écosystème dans le cas de prise de mesures ayant pour but une meilleure qualité des eaux. De nombreuses études ont porté sur les capacités d'intégration des perturbations et de concentrations de polluants par les organismes benthiques, et notamment les bivalves. Utiliser des organismes comme bioindicateurs nécessite de connaître les mécanismes de stockage, de désactivation et de régulation des différents contaminants. Certains invertébrés peuvent ne pas résister à des concentrations alors que, pour d'autres, cette exposition va stimuler leurs capacités de survivre malgré une forte contamination. Seuls les premiers seront utiles en tant qu'espèces indicatrices. Les polychètes des genres *Hediste* et *Nephtys* sont de bons indicateurs pour le cuivre alors qu'ils régulent le zinc. Les bivalves *Mytilus edulis* (moule) ou *Cerastoderma edule* (coque) sont de bons accumulateurs mais ils régulent certains métaux.

Bien qu'il soit difficile de déterminer une espèce d'invertébré cible estuarienne capable de servir d'indicateur en raison de sa robustesse ou de sa résistance à de fortes perturbations (ces espèces vivant dans ces milieux extrêmes sont adaptées aux conditions fluctuantes de l'écosystème estua-

rien), des voies d'investigation sont proposées : l'étude d'indices comme le taux de fécondité ou des modifications de la morphologie du copépode *Eurytemora affinis* ou du mysidacé *Neomysis integer*. De tels indices peuvent apporter des réponses sur la qualité des eaux. De plus, l'étude du comportement des espèces de poissons marins qui présentent ou présenteraient (poissons migrateurs) une écophase estuarienne peut renseigner sur les modifications favorables ou néfastes du milieu. Des modifications sur la pénétration de ces espèces en Seine comme, par exemple, un retour de certaines espèces de poissons comme l'éperlan signifieraient indéniablement une amélioration de la qualité des eaux. Concrètement, en estuaire de Seine, plusieurs espèces comme *E. affinis* et *N. integer* (dont les cycles biologiques rapides permettent de visualiser des modifications à court terme) sont de bons candidats pour mesurer leurs potentialités en tant que bioindicateurs.

Ainsi, des mesures biométriques sont réalisées afin d'identifier des modifications de leurs caractères morphologiques. Une comparaison est également réalisée avec d'autres régions comme la Gironde. Enfin, ces analyses seront complétées par des expérimentations afin de mettre en évidence les causes de ces éventuelles modifications morphologiques ou biologiques chez les espèces étudiées ; le rapport mâle/femelle (sex-ratio) et/ou la fécondité des femelles pourraient aussi servir d'indicateurs de bon fonctionnement ou de dysfonctionnement de l'écosystème estuarien.



Vue générale du port du Havre.

Références bibliographiques

- Akopian M., Garnier J., Pourriot R., Philippon X., Ficht A., 1998. Dynamique du zooplancton dans l'estuaire. Impact sur le phytoplancton et conséquences dans le bilan d'oxygénation. Programme scientifique Seine-Aval, 1997. Rapport final. Édif. Biol., vol. I, 18-29.
- Amezal A., 1997. Texte intégral de la plaquette zones humides. Agence de l'Eau Seine-Normandie, 1-15.
- Bessineton C., 1998. La création de vasières artificielles dans l'estuaire de la Seine. *In*: Les estuaires français. Évolution naturelle et artificielle. Auger C. & Verrel J.-L. (coord.). Éd. Ifremer, Actes Colloq., 22, 111-121.
- Bessineton C., Morin J., Duval P.R., Fiant L., 1995. Synthèse des connaissances sur l'estuaire de la Seine. Partie 5 : pêche. Rapport du Port autonome du Havre. Ifremer, 157 p. + annexes.
- Costil K., 1998. Étude du macrozoobenthos de la Seine fluviale dans la région rouennaise. Programme scientifique Seine-Aval, 1997. Rapport final. Édif. Biol., vol. I, 48-88.
- Dauvin J.-C., 1984. Dynamique d'écosystèmes macrobenthiques des fonds sédimentaires de la baie de Morlaix et leur perturbation par les hydrocarbures de l'*Amoco Cadiz*. Thèse de doctorat d'État ès sciences naturelles, université Paris VI, 468 p. + annexes 194 p.
- Dauvin J.-C., Dewarumez J.-M., Elkaim B., Bernardo D., Fromentin J.-M., Ibanez F., 1993. Cinétique de *Abra alba* (Mollusque-Bivalve) de 1977 à 1991 en Manche-Mer du Nord. Relation avec les facteurs climatiques. *Oceanol. Acta*, 16, 413-422.
- Dauvin J.-C., Thiébaud E., Wang Z., 1998. Short-term changes of macrozooplanktonic community in the Seine ROFI (Region of freshwater influence) (Western English Channel). *J. Plankton. Res.*, 20, 1145-1167.
- Dauvin J.-C., Vallet C., Zouhiri S., Mouny P., 2000. Main characteristics of the boundary layer macrofauna in the English Channel. *Hydrobiologia*, 426, 528-536.
- Desprez M., 1981. Étude du macrozoobenthos intertidal de l'estuaire de la Seine. Thèse 3^e cycle, université de Rouen, 177 p.
- Ficht A., 1991. Étude de la faune benthique entre Poses et la mer. Rapport de la cellule de lutte antipollution de l'agence de l'Eau et du ministère de l'Environnement.
- Fromentin J.-M., Ibanez F., Dauvin J.-C., Dewarumez J.-M., Elkaim B., 1997. Long-term variability of macrobenthic communities of the North-West French coast. *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, 77, 287-310.
- Hamm L., Romaña L.-A., Lerat F., 2001. Maintien des fonctionnalités biologiques de la vasière Nord de l'estuaire de la Seine. *In*: Restauration des écosystèmes côtiers. Brest, 8-9 novembre 2000. Drévès L. & Chaussepied M. (coord.). Éd. Ifremer, Actes Colloq., 29, 157-167.
- Laniesz F., 1982. Étude des relations entre la pollution, la pêche et la biologie de la crevette grise *Crangon crangon* dans l'estuaire et en baie de Seine. Groupement régional des pêches et cultures marines, 217 p.
- Lasnier S., 1998. Répartition longitudinale des macroinvertébrés dulcicoles en Seine-Aval. DESS Environnement, sols, eaux continentales et marines, université de Rouen, 96 p.
- Morel B., 1984. Pêche et navigation de la basse Seine (1850-1950). Tome 2 : La pêche. Parc naturel régional de Brotonne. Rapport d'étude pour la Mission du patrimoine ethnologique.
- Mouny P., Dauvin J.-C., Bessineton C., Elkaim B., Simon S., 1998. Spatio-temporal patterns of the 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, Muséum national d'histoire naturelle, 256 p. + annexes.
- PNRB/SER, 1994. La Seine. Mémoire d'un fleuve, 300 p.
- Pronier O., Rochard E., 1998. Fonctionnement d'une population d'éperlan (*Osmerus eperlanus*, Osmeriformes, Osmeridae) située en limite méridionale de son aire de répartition, influence de la température. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 350/351, 479-497.
- Proniewski F., Elkaim B., 1980. Benthos subtidal de l'estuaire de la Seine. Résultats préliminaires. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 291D, 545-547.
- Rochard E., Boet P., Castelnau G., Gauthier F., Bigot J.-F., Ballion B., 1997. Premier inventaire ichtyologique de la partie basse de la Seine. Programme scientifique Seine-Aval, 1996. Rapport final. Édif. Biol., 8-31.
- Thiébaud E., 1994. Dynamique du recrutement et dispersion larvaire de deux annélides polychètes *Owenia fusiformis* et *Pectinaria koreni* en régime mégatidal (baie de Seine orientale, Manche). Thèse de doctorat, université Paris VI, 145 p. + annexes.
- Thiébaud E., Cabioch L., Dauvin J.-C., Retière C., Gentil F., 1997. Spatio-temporal stability of the *Abra alba* - *Pectinaria koreni* muddy fine sand community from the eastern part of the bay of Seine (English Channel). *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, 77, 1165-1185.
- Thoumelin G., Beghin V., Bodineau L., Wartel M., Dauvin J.-C., 2000. Study of the diet of two organisms, the copepod *Eurytemora affinis* and the white shrimp *Palaeomon longirostris* in the Seine estuary: the use of fatty acid and sterol biomarkers. *In*: Marine lipids. Baudimant G., Guézennec J., Roy P., Samain J.-F. (coord.). Éd. Ifremer, Actes Colloq., 27, 78-86.

- Wang Z., 2000. Variations à court terme de la faune planctonique et suprabenthique en baie de Seine dans la zone sous influence d'apports d'eau douce en conditions printanières. Thèse de l'université des sciences et technologies de Lille 1, 193 p. + annexes.
- Zouhiri S., 1999. Composition qualitative de la faune démersale et structure trophique du suprabenthos en trois sites de l'Atlantique Nord-Est (Manche, golfe de Gascogne et seamounts du sud des Açores). Thèse de doctorat, Muséum national d'histoire naturelle, 109 p. + annexes.

Glossaire

Abiotique : se dit d'un facteur lié au milieu physique et chimique.

Amphihaline : qualifie une espèce dont une partie du cycle biologique s'effectue en mer et une autre en rivière. Parmi elles, se distinguent les espèces anadromes qui vivent en mer et se reproduisent en rivière, comme le saumon, et espèces catadromes qui vivent en rivière et se reproduisent en mer, comme l'anguille.

Anoxie : absence d'oxygène dissous dans l'eau.

Annélide : groupe zoologique renfermant les vers annelés. Dans cette étude, les annélides rencontrées sont des polychètes, des oligochètes et des hirudinés (sangues).

Anthropique : relatif à l'homme, causé par l'homme, aménagements, pollutions...

Avifaune : faune des oiseaux.

Azoïque : qualifie un milieu sans organismes ; en fait, qualifie souvent un milieu dans lequel on ne trouve plus de macrofaune mais un milieu très appauvri dans lequel ne subsistent que de la méiofaune et/ou des bactéries.

Benthique : on dit d'une espèce qu'elle est benthique lorsqu'elle est inféodée au fond. Organismes vivants fixés au fond (faune sessile ou épifaune sessile) ou évoluant à proximité (faune vagile ou épifaune vagile).

Benthos : ensemble des organismes vivant en relation étroite avec les fonds subaquatiques, comprend notamment le phytobenthos (végétaux) et le zoobenthos (animaux) (s'oppose à pélagos).

Biodiversité : concept en émergence, variété du vivant à tous les niveaux, s'appliquant à l'ensemble constitué par la diversité génétique, la diversité des espèces et la diversité écologique ainsi qu'à leurs interactions.

Bioindicateur : indicateur biologique (espèce végétale ou animale, molécule d'origine biologique...) lié à des conditions écologiques très précises.

Biomasse : masse totale de matière vivante exprimée en milligramme de matière sèche par unité de surface ou de volume.

Biotique : se dit d'un facteur lié aux êtres vivants présents dans la biocénose.

Blooms (ou efflorescences ou floraison) : développement très important de phytoplancton.

Chaîne trophique : suite de compartiments ou maillons reliés par des liens trophiques*, dans laquelle la (ou les) population(s) constituant un maillon consomme(nt) le maillon précédent et sert (servent) de nourriture au maillon suivant.

Cycle nyctéméral : cycle de 24 heures, alternance jour/nuit

Cycle semi-lunaire : cycle de 14 jours.

Cycle tidal : cycle de 12 heures 25, cycle de marée.

Diatomées : classe de microalgues ayant une frustule siliceuse, abondantes dans le plancton printanier et dans le microphytobenthos.

Dinoflagellés : classe de microalgues possédant deux flagelles aux caractéristiques morphologiques et pigmentaires déterminées.

Distogramme : fonction indiquant le degré de changement d'assemblages faunistiques : plus la composition de la faune est différente, plus la dissemblance entre les points d'observation est importante ; inversement, des points proches seront les indicateurs d'une faible modification de la faune.

Dulçaquicole (ou dulcicole) : se dit des milieux et organismes des eaux douces.

Écosystème : système d'interactions entre les populations des différentes espèces vivant dans un même site et entre ces populations et le milieu physique.

Endémique : se dit d'une espèce dont la répartition géographique est limitée à une région géographique particulière.

Endogée : se dit d'une faune vivant dans le sédiment.

Estran : zone de balancement des marées ou zone intertidale*, partie du littoral alternativement couverte et découverte par la mer.

Euryhalin : qui supporte une grande variation de salinité.

Eurytherme : qui supporte une grande variation de température.

Estuaire : zone de transfert entre le milieu fluvial et l'océan, soumise à l'influence plus ou moins importante de la marée. C'est une zone de mélange entre les eaux douces et les eaux marines dont les caractéristiques physico-chimiques (salinité, pH, éléments majeurs et traces, concentration en particules) sont très différentes. Ce mélange va induire un gradient très important des propriétés physico-chimiques des eaux, variable dans l'espace et dans le temps.

Exigences alimentaires : besoins alimentaires en espèces et quantité de biomasse.

Facès : aspect présenté par une biocénose lorsque la prédominance locale de certains facteurs entraîne l'exubérance d'une ou d'un très petit nombre d'espèces.

Flot : marée montante.

Frayère : site favorable à la reproduction, non nécessairement côtier.

Habitat : espace occupé par une espèce dans une biocénose.

Halientique : se dit d'une ressource ou espèce marine exploitable par la pêche.

Halin(e), salin(e) : qui est relatif au milieu salé marin.

Halophyte : végétal tolérant ou exigeant une forte concentration en sel (plantes vivant sur le schorre ou pré salé).

Hydrodynamisme : ce qui a trait aux mouvements de l'eau en général, dû aux mouvements des vagues et houles, de la marée et des courants dus au vent.

Hyoxie : forte réduction de l'oxygène dissous dans l'eau.

Indicateur biologique : espèce ou modification morphologique ou biologique des organismes vivants permettant de statuer de l'état de santé d'un milieu.

Intertidal : zone de balancement des marées ou estran* (découverte à basse mer, couverte par la marée à pleine mer).

Jusant : marée descendante.

Juvenile : individu immature et généralement de moins de 2 ans, s'adresse généralement aux poissons.

Larve : forme différente de l'adulte que présentent certaines espèces au cours de la première phase de leur développement.

Limicoles : espèces d'oiseaux sédentaires ou migrateurs inféodées aux biotopes vaseux littoraux sur lesquels ils se nourrissent.

Macrobenthos, macrozoobenthos : organismes benthiques dont la taille est supérieure à un millimètre.

Macrophytes : végétaux aquatiques de grande taille.

Macrozooplancton : organismes planctoniques dont la taille est supérieure à un millimètre.

Marnage : hauteur d'eau entre les niveaux des basses mers et des hautes mers.

Mégatidal : se dit d'une zone où la marée présente de très fortes amplitudes (> 7 mètres).

Méiobenthos (méiofaune) : organismes benthiques dont la taille est comprise entre 40 µm et un millimètre.

Mésozooplancton : organismes planctoniques dont la taille est comprise entre 200 µm et un millimètre.

Microphytobenthos (microphytes, microalgues) : benthos végétal de petite taille essentiellement constitué d'algues unicellulaires, notamment des diatomées.

Mysidacé : petit crustacé pélagique (taille inférieure à 1 cm).

Nourricerie : zone du rivage et peu profonde, souvent en zone côtière ou estuarienne où les très jeunes poissons se nourrissent et se développent avant de s'éloigner vers le large.

Paucispécifique : se dit d'un milieu naturellement pauvre en espèces.

Pélagos (espèces pélagiques) : par opposition au benthos, ensemble des organismes aquatiques vivant en pleine eau sans lien étroit avec le fond.

Phytobenthos : benthos végétal composé de microphytobenthos et des macrophytes*.

Pollution : on définit une pollution comme l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans un environnement ayant pour conséquence des effets néfastes tels que nuisances pour les ressources vivantes, risques pour la santé humaine, entraves aux activités humaines, altération de la qualité de l'eau et réduction des agréments.

Prédateurs (ou carnivores) : organismes situés au sommet des chaînes trophiques* se nourrissant de proies.

Production primaire : quantité de matière organique produite à partir de matière inorganique, grâce à une source d'énergie extérieure (exemple : production végétale par photosynthèse).

Réseau trophique : relations trophiques* dans une biocénose ou un écosystème, relations prédateur-proie entre les espèces.

Sels nutritifs : éléments chimiques indispensables à la synthèse autotrophe de matière organique, ce sont principalement les différentes formes de l'azote, du phosphate et des silicates.

Schorre : zone des prés salés ou des herbues des estuaires et des petits havres côtiers.

Slikke : zone vaseuse de la zone intertidale estuarienne où se développe le peuplement à *Macoma balthica* et *Hediste diversicolor*.

Subtidal : zone située en dessous de la zone de balancement des marées et ne découvrant donc pas à marée basse.

Suprabenthos : ensemble des animaux de petite taille, en particulier des crustacés, possédant de bonnes capacités nata-toires et pouvant occuper, pendant des périodes et à des distances variables, la couche d'eau adjacente au fond.

Trophique : qui concerne la nutrition des organismes, relations trophiques.

Turbidité (turbide) : trouble lié à la présence de particules fines en suspension dans l'eau.

Vasière : étendue couverte de vase.

Zone fluviale : zone d'eau douce de l'estuaire.

Zone intertidale : zone marine qui découvre à marée basse, zone de balancement des marées ou estran*.

Zone mésohaline : zone où la salinité est comprise entre 5 et 18.

Zone oligohaline : zone où la salinité est comprise entre 0 (zone fluviale) et 5.

Zone polyhaline : zone estuarienne dont la salinité est comprise entre 18 et 30.

Zooplancton : plancton animal composé d'holoplancton et de méroplancton.

Réalisation, mise en page : XLC (02 98 30 50 07)

Achévé d'imprimer sur les presses de Cloître Imprimeurs

ISBN 2-84433-028-2 Programme Seine-Aval.

ISBN 2-84433-076-2 / Dépôt légal n°1200 - 1^{er} trimestre 2002

© 2002, Ifremer. Tous droits de reproduction, même partielle,
par quelque procédé que ce soit, sont réservés pour tous pays.

Crédits photos : Cellule du suivi du littoral haut-normand (CSLHN) : couverture : p. 10; fig. 1 p. 11; fig. 1 p. 16;
flet et crevette blanche p. 23; bar et sole p. 24; *Abra alba* et pectinaire p. 26.
Conseil supérieur de la Pêche (CSP) : p. 23, S. Dernier : perche; H. Carmié : anguille.
SMW (Station marine de Wimereux) : fig. 1 p. 12; gobie p. 24;
mysidacé, coque et *Macoma balthica* p. 25; *Owenia fusiformis*, *Hediste diversicolor* et *Corophium volutator* p. 26.
D. Avril : fig. 1 p. 21 (cf. fascicule 14). A. Guerrier : p. 22, 39, 42.
A. Ficht : gardon p. 23; daphnie et escargot p. 24; oligochète et achète p. 25.
P. Sabine p. 32. R. Goujon p. 36.



Laboratoires participants au programme Seine-Aval

Cellule antipollution

- **Service de la navigation de la Seine**
Île Lacroix
71, avenue Chastellain
76100 Rouen

Cellule de suivi du littoral haut normand

- 16, quai Casimir Delavigne
76600 Le Havre Cedex

Cemagref

- **Division qualité des eaux**
14, avenue de Saint-Mandé
75012 Paris

Cergrene

- **École nationale
des ponts et chaussées**
6-8, avenue Blaise Pascal
Cité Descartes Champs/Marne
77455 Marne-la-Vallée Cedex 2

CHU Rouen

- **Laboratoire de virologie**
1, rue de Germont
76031 Rouen Cedex

CIG - École des Mines de Paris

- **Centre d'informatique géologique**
35, rue Saint-Honoré
77305 Fontainebleau

Ifremer

- Direction de l'environnement
et de l'aménagement littoral
- **Département Del/EC**
BP 70
29280 Plouzané
 - **Département Del/PC**
BP 21105
44311 Nantes Cedex 3
 - **Département Del/PC**
BP 330
83507 La Seyne/Mer Cedex

IPSN

- **Laboratoire d'études
radio-écologiques
de la façade atlantique**
Rue Max-Pol Fouchet - BP 10
50130 Octeville

Muséum national d'histoire naturelle

- **Laboratoire de biologie
des invertébrés marins
et malacologie**
57, rue Cuvier
75231 Paris Cedex 05

Parc naturel régional de Brotonne

- **Mission patrimoine naturel**
Maison du Parc
76940 Notre-Dame-de-Bliquetuit

Université de Caen

- **Laboratoire de morphodynamique
continentale et côtière -
UPRES - A 6143 CNRS**
- **Groupe ornithologique normand
(GONm)**
- **Laboratoire de biologie
et biotechnologies marines**
Esplanade de la Paix
14032 Caen Cedex

Université du Havre

- **Laboratoire d'écotoxicologie**
25 rue Philippe Lebon,
BP 540
76600 Le Havre Cedex
- **Laboratoire de mécanique**
Centre havrais d'études
et de recherche
Quai Frissard - BP 265
76055 Le Havre Cedex
- **Cirtai**
BP 1123
76063 Le Havre Cedex

Université de La Rochelle

- **Laboratoire de biologie
et biochimie**
Pôle sciences et technologie
Avenue Marillac
17042 La Rochelle Cedex 1

Université libre de Bruxelles

- **Groupe de microbiologie
des milieux aquatiques**
Campus de la Plaine
CP 221
B 1050 Bruxelles

Université de Lille

- **Laboratoire de chimie
analytique et marine
UPRES - A 8013 ELICO**
Bâtiment C 8
59655 Villeneuve d'Ascq Cedex
- **Station marine de Wimereux
UPRES - A 8013 ELICO**
28, avenue Foch
BP 80
62930 Wimereux

Université Pierre et Marie Curie

- **Laboratoire d'hydrobiologie**
12, rue Cuvier
75005 Paris
- **Laboratoire CNRS -
UMR Sisyphe 7619**
4, place Jussieu, tour 26, 5^e étage
75005 Paris
- **Institut d'hydrologie
et de climatologie**
Laboratoire de chimie analytique
4, place Jussieu, boîte courrier 122
75252 Paris Cedex 5

Université de Rennes 1

- Laboratoire de zoologie
et d'écophysiologie**
UA INRA et UMR 1853 du CNRS
Campus Beaulieu
Avenue du Général Leclerc
35042 Rennes Cedex

Université de Rouen

- **Laboratoire de morphodynamique
continentale et côtière -
UPRES - A 6143 CNRS**
- **Laboratoire de microbiologie
du froid**
- **Laboratoire de biologie végétale
et écologie**
76821 Mont-Saint-Aignan Cedex



7 ► Patrimoine biologique et chaînes alimentaires

L'estuaire de la Seine a été fortement aménagé aboutissant à une réduction de la zone intertidale à moins de 30 km², à une chenalisation du fleuve de Poses à la mer et à une forte compartimentalisation de l'édifice biologique qui est diversifié en habitats mais pauvre en espèces. Il existe des contrastes entre des zones où la faune est très abondante (vasière intertidale nord; plancton de la partie salée de l'estuaire) et des zones presque azoïques (benthos de l'estuaire fluvial). Il existe, d'une part, des paradoxes entre l'extrême abondance des premiers maillons de la chaîne trophique et le fait que ceux-ci soient soumis à des apports en contaminants et, d'autre part, entre l'abondance des proies disponibles et la pauvreté de l'ichtyofaune. L'estuaire aval reste un lieu de nourrissage important pour les juvéniles de poissons marins et les oiseaux, notamment les limicoles. La gestion globale de l'estuaire impose des mesures permettant le maintien de la fonctionnalité actuelle de cet estuaire d'intérêt européen pour les oiseaux et assurant la restauration des grands poissons migrateurs.

In the Seine estuary, intertidal mudflats have been greatly reduced (< 30 km²) following channel management of the Seine river from Poses, in the upper part, to the sea. There are great differences between the biological compartments, ranging from areas with very high abundance of organisms (benthos on the muddy intertidal zone and, zooplankton in the lower part of the estuary) to areas with very low abundance (macro-benthos in the Seine river). There is also a contrast between the high abundance at the first levels of the trophic chain in a contaminated environment and the low abundance of fish. However, on the European scale, abundance in the Seine estuary remains high for young fish and birds, especially waders. In the future, global management of the estuary will be required to ensure the biological compartments current level of functioning and to propose measures for rehabilitation of migrating fish.

Cette collection présente l'ensemble des résultats du programme Seine-Aval. Chaque fascicule de cette collection a été élaboré de manière à pouvoir être lu indépendamment des autres.

Chaque année, l'essentiel de l'information scientifique produite est consigné dans des rapports thématiques et de synthèse pouvant être consultés auprès de la cellule de coordination du programme :

Programme Seine-Aval

Université de Rouen (Régis Hocdé)
Laboratoire de morphodynamique continentale et côtière
76821 Mont-Saint-Aignan Cedex
e-mail : regis.hocde@univ-rouen.fr
tél. 33 (0)2 35 14 65 27 - fax 33 (0)2 35 14 70 22



programme scientifique
Seine-Aval

- 1 - Seine-Aval : un estuaire et ses problèmes
- 2 - Courants, vagues et marées : les mouvements de l'eau
- 3 - Sables, chenaux, vasières : dynamique des sédiments et évolution morphologique
- 4 - Matériaux fins : le cheminement des particules en suspension
- 5 - L'oxygène : un témoin du fonctionnement microbologique
- 6 - Contaminations bactérienne et virale
- 7 - Patrimoine biologique et chaînes alimentaires**
- 8 - La contamination métallique
- 9 - Fer et manganèse : réactivités et recyclages
- 10 - Le cadmium : comportement d'un contaminant métallique en estuaire
- 11 - La dynamique du mercure
- 12 - Les contaminants organiques qui laissent des traces : sources, transport et devenir
- 13 - Les contaminants organiques : quels risques pour le monde vivant ?
- 14 - Des organismes sous stress
- 15 - Zones humides de la basse vallée de la Seine
- 16 - Les modèles : outils de connaissance et de gestion
- 17 - La résistible dégradation d'un estuaire

Région Haute-Normandie
25, boulevard Gambetta, BP 1129,
76174 Rouen Cedex, France
tél. 02 35 52 23 31 - fax 02 35 52 22 38

Agence de l'Eau Seine-Normandie
51, rue Salvador-Allende
92027 Nanterre Cedex
tél. 01 41 20 16 00 - fax 01 41 20 16 89

Éditions Ifremer
BP 70, 29280 Plouzané, France
tél. 02 98 22 40 13 - fax 02 98 22 45 86
e-mail : editions@ifremer.fr

Diffusion : ALT Brest
Service Logistique
3, rue Édouard Belin
BP 23 29801 Brest Cedex 9
tél. 02 98 02 42 34 - fax 02 98 02 05 84

ISBN 2-84433-028-2 Programme Seine-Aval
ISBN 2-84433-076-2

6,86 €



9 782844 330765