

## PRINCIPES DE GESTION ZONALE DES ESTUAIRES FRANCAIS

par

G.P. ALLEN (\*), J.F. GUILLAUD (\*), A. BERQUIN (\*\*), P. POUPINET (\*\*)

*Centre Océanologique de Bretagne-B.P. 337-29273 BREST Cédex  
Mission d'Aménagement de Basse-Normandie-25 rue Varignon-14000 CAEN*

### RESUME

Dans de nombreux pays, les estuaires sont le siège d'implantations urbaines et industrielles importantes. Ces activités provoquent de nombreux rejets ainsi que des modifications de la géométrie des chenaux et berges (dragages de chenaux, remblais) qui ont entraîné d'importantes perturbations de la qualité du milieu naturel. Ces impacts peuvent être néfastes à certaines activités (pêche, tourisme balnéaire, loisirs, maréculture, etc...), voire à la santé et au bien-être des populations environnantes. Dans certains cas, les aménagements peuvent largement modifier les mécanismes naturels, au détriment direct d'autres activités économiques. Tel est le cas, souvent constaté (Loire, Chesapeake, Rapahannock, etc...), de la plus grande pénétration vers l'amont des eaux salées due à l'approfondissement des chenaux estuariens. L'implantation croissante d'activités dans les estuaires français rend de plus en plus nécessaire la mise en place d'une véritable méthode de gestion afin d'harmoniser au maximum les aptitudes du milieu naturel et de son exploitation. A l'heure actuelle, les études d'impact rendues obligatoires avant tout nouvel aménagement d'envergure, sont certes bénéfiques et nécessaires pour prévoir et minimiser les incidences défavorables sur le milieu et les autres activités, mais sont à elles seules trop localisées et au coup par coup pour assurer une gestion globale de l'ensemble de l'estuaire.

De récentes études menées sur les estuaires de la façade atlantique française (Seine, Rade de Brest, Loire, Gironde), ainsi qu'à l'étranger (Escaut, Tamise, Chesapeake, Baie de San Francisco, etc...), ont montré que les estuaires étaient à la fois un lieu de concentration d'éléments particuliers et chimiques, provenant généralement du fleuve, et une zone de forte productivité biologique, et de ce fait, un facteur d'enrichissement pour les eaux côtières. Les mécanismes et processus qui assurent ces phénomènes se répartissent selon des zones distinctes, et du fait de ce "zonage" des principaux phénomènes naturels (marées, intrusion saline, bouchon vaseux, production biologique, etc...), l'impact et la susceptibilité du milieu vis-à-vis d'un aménagement sera fonction de cette zonation. Généralement, ces zones s'échelonnent le long de l'estuaire et sont en grande partie liées au gradient longitudinal de salinité et à la propagation de l'onde de marée. Dans les estuaires suffisamment larges (Gironde), des variations latérales des principaux mécanismes (courants, salinité, sédiments) engendrent en plus une "zonale" des estuaires de la façade atlantique, portant sur la répartition spatiale (longitudinale ou transversale vis-à-vis de l'estuaire) des activités et sur la définition de normes de rejets et d'aménagements spécifiques pour chaque zone. Une telle méthodologie peut contribuer à l'élaboration des Schémas d'Aptitude et d'Utilisation de la Mer, en cours sur plusieurs zones estuariennes de la façade atlantique.

## ABSTRACT

In numerous countries, estuaries are the site of important urban and industrial implantations. These activities provoke numerous effluents, as well as modifications of the channels and geometry (by dredging, filling, etc...) which have entrained important perturbations in environmental quality. The impacts can be detrimental to other activities (fishing, tourism, mariculture, etc...), as well as to the health and well being of the local populations. In certain cases, these impacts can modify natural processes to the point of being detrimental to other economic activities ; such is the case, often observed (Loire, Chesapeake, Rapahannock, etc...) of the upstream migration of the salt intrusion as a consequence of channel deepening.

The increasing implantation of economic activities on French estuaries makes it necessary to set up an environmental management system in order to harmonise environmental assets, and their exploitation. At the present time, the impact studies, obligatory prior to any large scale development, are beneficial and necessary to predict and minimise unfavorable impacts on the environment and other activities. However, by themselves, they are too localised and fragmented in time to insure a global management of the entire estuarine system.

Recent studies on the estuaries of the French Atlantic Coast (Seine, Bay of Brest, Loire, Gironde), and in other countries (e.g. Scheldt, Thames, Chesapeake, San Francisco Bay, etc...) have shown that these estuaries are characterised by high concentration of particular and chemical elements, usually of fluvial origin, and high biological productivity : both of which act to enrich and fertilize coastal waters.

The mechanisms and processes which engender these phenomena are distributed in distinct zones. This zoning of the major natural processes (tides, salt intrusion, turbidity maximum, biological productivity, etc...) induces different environmental responses and susceptibility with regard to coastal developments in the different zones. Generally, these zones of varying susceptibility are distributed longitudinally in the estuaries, generally in relation to the longitudinal salinity gradient, and the tide wave propagation. In the large estuaries of the French Atlantic Coast (e.g. Gironde), marked lateral variations and movements engender a lateral environmental zoning.

This environmental zoning can serve as a framework to zonal management schemes for the French Atlantic estuaries, involving the longitudinal and lateral distribution of activities, and the definition of environmental quality and effluent standards distinct for each zone. Such a management method appears to be well suited for use in the Marine Aptitude and Utilisation Schemes, allready underway in several estuarine zones of the French Atlantic Coast.

MOTS - CLES : Gestion du littoral - zonage - estuaires - Seine.

KEY - WORDS : Coastal zone management - zoning - estuaries - Seine.

## INTRODUCTION

Les caractéristiques propres des milieux littoraux, et plus particulièrement des estuaires, sont d'être d'une part, des lieux d'échanges et de transferts d'énergie et de matières très intenses entre les domaines terrestre et marin, et d'autre part, des zones où se concentrent, sur un espace réduit, un grand nombre d'activités humaines (urbanisation, industrie, pêche, tourisme...). Ceci explique qu'une perturbation d'un des éléments du système estuarien, provoqué par le développement incontrôlé d'une activité, puisse entraîner par le biais des interactions existantes des répercussions sur d'autres éléments du milieu qui dépassent largement le cadre de la perturbation initiale. Une activité qui prend place dans un estuaire peut ainsi, non seulement consommer des matières premières ou de l'espace, mais aussi altérer les aptitudes du milieu à supporter d'autres activités ; cette première activité, bien que réalisant un certain profit, peut donc contribuer à faire baisser le rendement économique de l'ensemble du système.

Par ailleurs, et au-delà de la stricte rentabilité économique de l'exploitation des estuaires, il s'avère de plus en plus nécessaire de les préserver de dégradations diverses, parfois irréversibles, car ces zones, limitées dans l'espace, sont indispensables au maintien d'un niveau suffisant de qualité de l'environnement, capable de répondre aux aspirations des populations. Un effort d'optimisation entre les aptitudes du milieu et l'exploitation qui en est faite rend nécessaire une véritable gestion du milieu naturel considéré comme matière première et espace à préserver.

### 1. QUELQUES GRANDS PROBLEMES D'AMENAGEMENTS

Les estuaires fortement urbanisés ou industrialisés dans le monde posent souvent les mêmes types de problèmes qui résultent d'un manque de vision globale des incidences des aménagements sur le milieu et des réactions de celui-ci. Ces problèmes proviennent le plus fréquemment de :

- modifications de la géométrie de l'estuaire (approfondissement, calibrage, comblement),
- modifications de la qualité du milieu (rejets urbains ou industriels).

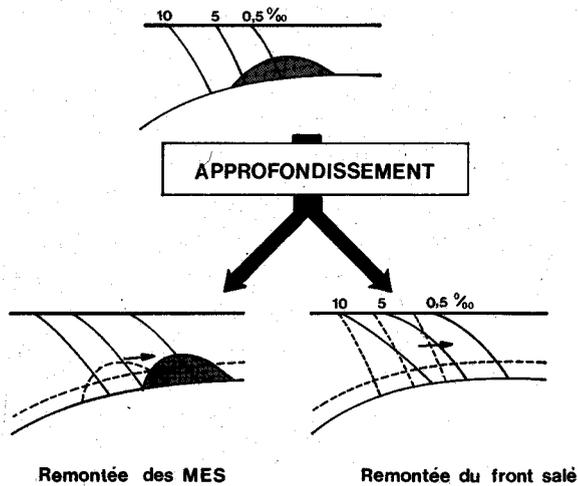
#### 1.1. Modification de la géométrie de l'estuaire

##### 1.1.1. Approfondissement

L'amélioration des conditions de navigation dans la plupart des estuaires industrialisés a souvent nécessité la réalisation de chenaux profonds entretenus par dragage. Ces approfondissements des chenaux favorisent la pénétration de la marée dans l'estuaire et concourent souvent, par augmentation des courants de jusant, à l'entretien des chenaux. Cet accroissement de la profondeur des chenaux s'accompagne aussi d'une remontée du front de salinité notamment en période d'étiage et de vives-eaux. Ce phénomène a été clairement mis en évidence en Loire (Le Douarec - 1978) où le front de salinité est remonté d'une quinzaine de kilomètres depuis 1959 (fig. 1). Ce phénomène s'est accompagné de conséquences plus ou moins néfastes telles que :

FIG. 1

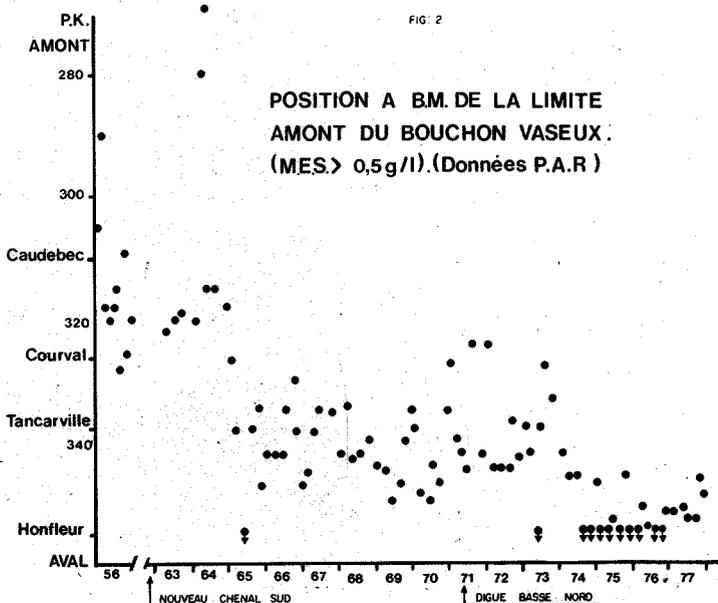
### EFFETS DE L'APPROFONDISSEMENT D'UN ESTUAIRE



- la remontée concomitante du bouchon vaseux aux niveau du Port de Nantes (envasement),
- l'incapacité pour certaines stations d'alimentation en eau de pomper de l'eau douce en période d'étiage et à peine mer,
- la pénétration d'eau salée dans les systèmes d'irrigation agricole,
- une modification de la faune et de la flore.

#### 1.1.2. Calibrage

Le rétrécissement et le calibrage des chenaux, tels qu'ils ont été pratiqués dans l'estuaire de la Seine, ont permis la mise en place d'un chenal préférentiel de jusant (chenal de navigation) ; ces aménagements semblent avoir entraîné une migration vers l'aval de la position du bouchon vaseux (fig. 2) ; les données recueillies par le Port Autonome de Rouen depuis 1956 montrent en effet une progression vers l'aval, à basse-mer, des concentration en M.E.S. supérieures à 500 mg/l.



Ce phénomène peut avoir des conséquences sur la qualité des eaux et les phénomènes de sédimentation dans l'embouchure.

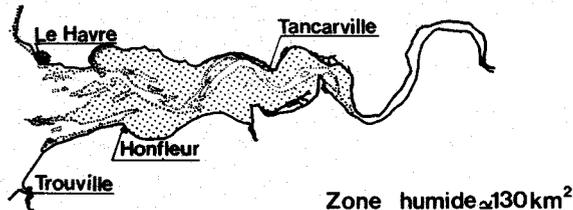
En outre, les matériaux dragués dans les estuaires doivent être déposés dans des lieux judicieusement choisis, car sinon ils risquent de revenir dans les chenaux (cas de la Tamise Nichols 1979) ; l'approfondissement des chenaux peut aussi provoquer une augmentation de la sédimentation du fait de l'accroissement des courants résiduels de fond dirigés vers l'amont (cas du Savannah - Nichols 1979).

### 1.1.3. Comblement

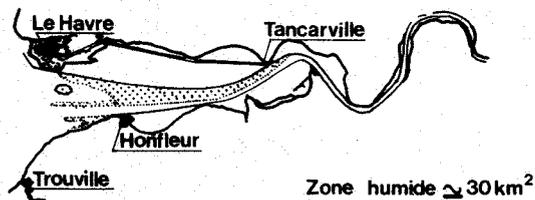
FIG. 3  
**EVOLUTION DES ZONES HUMIDES  
DANS L'ESTUAIRE DE LA SEINE.**

(D'après T. KERISEL 1974)

ESTUAIRE DE LA SEINE EN 1834.



SITUATION ACTUELLE.



Au cours du développement industriel et urbain, de nombreux estuaires sont passés d'un état "sauvage" à un état plus ou moins endigué avec comblement des zones humides adjacentes. C'est ainsi que dans l'estuaire de la Seine, la surface des zones intertidales qui était d'environ 130km<sup>2</sup> au début du XIX<sup>ème</sup> siècle, n'est plus aujourd'hui que d'une trentaine de km<sup>2</sup> (fig. 3). La suppression par endiguage et comblement de ces espaces a permis dans un premier temps de stabiliser le cours du fleuve et par la suite d'offrir des terrains nécessaires aux implantations industrielles.

Cependant, il apparaît aujourd'hui que ces zones de vasières et de marais ont un rôle important dans le système estuarien et le milieu littoral adjacent. Ce sont en effet des espaces où la production primaire par le microphytobenthos et les végétaux halophiles est des plus fortes. Cette production de matière organique à partir des sels nutritifs apportés par le fleuve contribue le plus souvent par le biais d'un échelon secondaire (zooplancton et zoobenthos) à l'alimentation d'espèces

commerciales telles que les poissons plats, l'anguille, le bar, le mullet ou les crevettes qui, au cours de leur cycle, pénètrent dans les eaux estuariennes. La disparition des zones humides dans les estuaires peut donc avoir un rôle néfaste sur les pêches effectuées dans le milieu littoral adjacent. Par ailleurs, les marais et les vasières peuvent être des "zones de stockage" pour certains polluants transitant dans l'estuaire tels que les métaux ou les pesticides ; elles peuvent aussi assimiler une partie du flux de sels nutritifs apportés par le fleuve et produire de l'oxygène durant les jours d'été (période au cours de laquelle la concentration en oxygène dissous dans l'estuaire est la plus faible).

## 1.2. Modifications de la qualité du milieu

### 1.2.1. Rejets urbains

Ces rejets se caractérisent le plus souvent par une forte demande en oxygène vis-à-vis du milieu et par une importante contamination bactérienne.

Les estuaires étant naturellement des zones appauvries en oxygène, du fait des fortes concentrations en matières en suspension (minérales et organiques) et des vitesses résiduelles réduites en estuaire, la présence de rejets urbains plus ou moins épurés vient aggraver ce déficit qui peut avoir durant l'été des conséquences néfastes (présence de sulfure, mortalité de poissons...). Ce phénomène a été bien étudié dans de nombreux estuaires et les travaux réalisés par exemple sur la Tamise (fig.4) ont permis de mettre en évidence une dégradation des concentrations en oxygène dissous depuis le début du siècle, suivie, à partir des années 60, d'une amélioration due à la réalisation et au meilleur fonctionnement des stations d'épuration (Barrett M.J. 1972).

FIG. 4

CONCENTRATION MOYENNE EN  
OXYGENE DISSOUS, DANS LA TAMISE

d'après "WATER POLLUTION RESEARCH LABORATORY" 1964

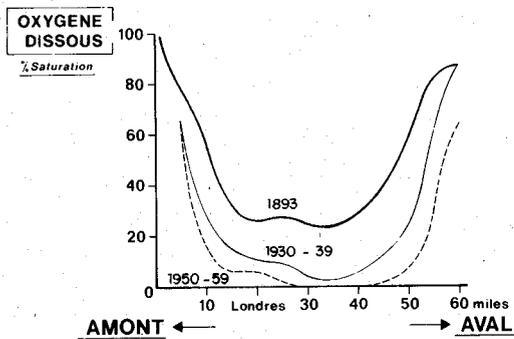
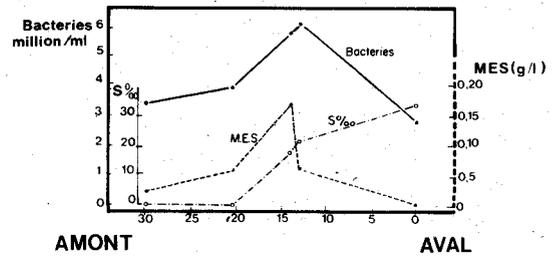


FIG. 5

DISTRIBUTION DES BACTERIES DANS  
L'ESTUAIRE DE LA RIVIERE DE NEWPORT.

(D'après R.L. FERGUSON et al. 1977.)



Par ailleurs, les rejets urbains en estuaire vont contribuer à enrichir le milieu en bactéries ; il existe en effet une relation étroite entre le bouchon vaseux et les concentrations en bactéries (Frenel 1978, Ferguson et al. 1977) (fig. 5). De plus, l'expulsion des matières en suspension hors de l'estuaire en période de crue va favoriser la pollution bactérienne des littoraux de l'embouchure où se trouvent souvent des plages et des zones d'élevage conchylicole ; celle-ci sont du reste fréquemment classées comme zones insalubres (embouchure de la Loire, de la Seine).

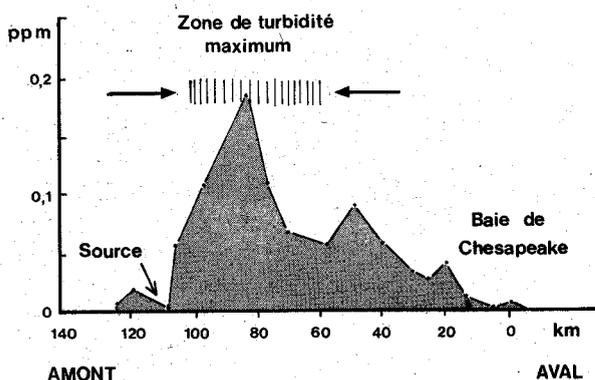
### 1.2.2. Rejet industriel

Les rejets industriels comportent de nombreux micropolluants métalliques ou organiques qui vont se trouver en grande majorité liés aux matières en suspension dans l'estuaire ; celles-ci représentent ainsi le principal vecteur des éléments métalliques dans l'eau et le comportement sédimentologique du milieu sera en grande partie responsable de la répartition des métaux dans l'estuaire (J.M. Martin et al. 1976). D'autres polluants tels que les hydrocarbures halogénés (pesticides, PCB...) seront eux aussi associés aux matières en suspension, notamment organiques.

FIG. 6

CONCENTRATION EN KEPONE DANS  
LES SEDIMENTS SUPERFICIELS. JAMES RIVER.

(D'après R.J. HUGGETT et al. 1977.)



Si ces éléments polluants sont rejetés dans l'estuaire, ils risquent donc d'être piégés au niveau des fortes concentrations en matières en suspension et vont pouvoir s'accumuler dans les zones de dépôts des sédiments. Il a ainsi été montré, dans l'estuaire de la James River (R.J. Huggett et al. 1978) que des rejets de Képone (hydrocarbure halogéné) par une fabrique d'insecticides, contaminaient non seulement le milieu vivant, mais aussi que ce polluant était adsorbé et stocké par les sédiments et les matières organiques en suspension, et qu'il suivait leur dynamique (concentration au niveau des zones de sédimentation). (fig. 6).

Dans la zone côtière des Pays-Bas, qui comportent les estuaires du Rhin, de la Meuse et de l'Escaut, les travaux importants du plan Delta, la fermeture de l'ancien Zuderzee et la construction du port de Rotterdam ont contribué, en augmentant le taux de sédimentation, à enrichir les fonds en métaux qui auparavant étaient évacués plus rapidement en mer avec les matières en suspension (A.J. de Groot; W. Salomons 1977).

## 2. LES CARACTERISTIQUES DU MILIEU NATUREL ESTUARIEN

L'étude des phénomènes naturels estuariens, qu'ils soient d'ordre physique, hydrobiologique, sédimentaire ou biologique, permet de distinguer, dans un estuaire, plusieurs zones qui présenteront des "sensibilités" différentes vis-à-vis des aménagements.

### 2.1. Les phénomènes physiques

Alors que la partie amont d'un estuaire n'est soumise qu'à l'action du débit fluvial, la partie aval va subir l'influence de la marée. Celle-ci va provoquer un mouvement alternatif de la masse d'eau qui va en s'accroissant de l'amont vers l'aval ; par contre, la vitesse résiduelle aval d'une particule d'eau ira en diminuant de l'amont vers l'aval et le nombre de passages de cette même particule devant un point donné croît de l'amont vers l'aval (fig. 7).

### 2.2. Les phénomènes hydrologiques

La pénétration d'eau salée dans un estuaire va avoir comme conséquences :

- une dilution, des eaux fluviales dans l'eau de mer, qui s'accroît de l'amont vers l'aval,

- une circulation résiduelle stratifiée dans les estuaires partiellement mélangés (circulation

vers l'amont au fond et vers l'aval en surface) ; dans les estuaires de grande largeur, la force de Coriolis peut entraîner une circulation résiduelle dirigée vers l'amont sur la rive gauche et vers l'aval sur la rive droite (hémisphère Nord).

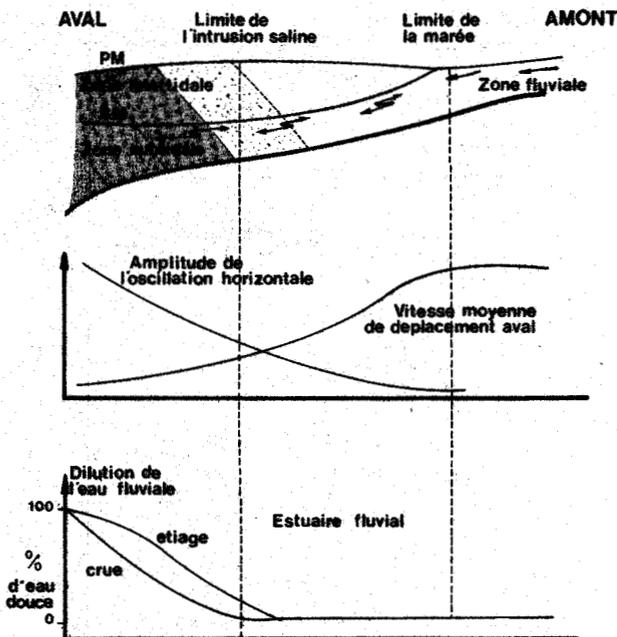
### 2.3. Les phénomènes sédimentaires

Le mélange des eaux douces et salées va provoquer une floculation des sédiments argileux et ceci est une des raisons pour lesquelles l'estuaire est une zone de sédimentation importante.

Par ailleurs, la mise en évidence dans de nombreux estuaires, d'une zone très chargée en matière en suspensions, dont l'ampleur et la position varient avec le débit fluvial, a plusieurs conséquences :

FIG. 7

#### MOUVEMENTS DE L'EAU ET DILUTION DANS UN ESTUAIRE.



- déficit en oxygène maximum au niveau du bouchon vaseux (fig. 8).
- concentration élevée en polluants, tels que les métaux dans l'eau brute au niveau du bouchon vaseux, du fait de l'adsorption sur les matières en suspension (fig. 9).
- concentration élevée de bactéries qui sont associées au M.E.S.
- production primaire faible dans la masse d'eau du fait de la turbidité.

FIG. 8

S.A.U.M. ESTUAIRE DE LA SEINE  
REPARTITION DE L'OXYGENE ET DES M.E.S.

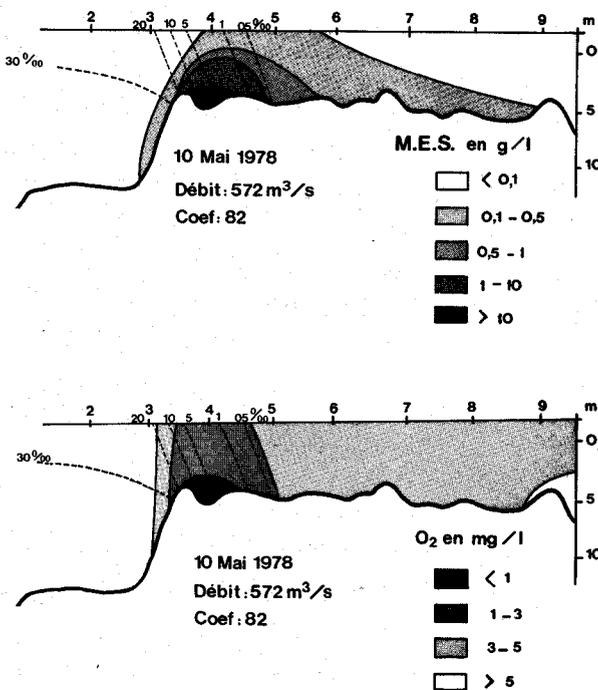
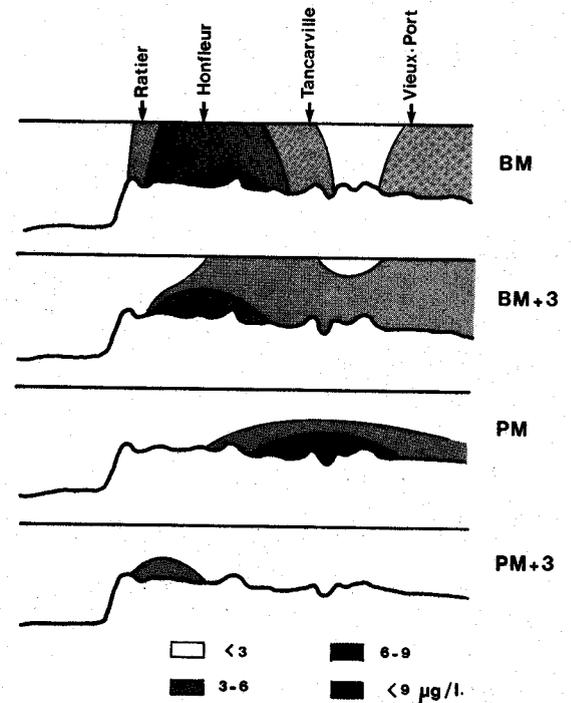


FIG. 9

S.A.U.M. SEINE 18.20 Sept 78.VE  
CONCENTRATION EN CADMIUM  
DANS L'EAU BRUTE (µg/l).



#### 2.4. Les phénomènes biologiques

- dans les estuaires, on assiste généralement au développement d'un nombre plus réduit d'espèces qui sont adaptées aux conditions très variables du milieu (salinité, température, ...). De plus, les zones marginales des estuaires, telles que les marais maritimes, sont caractérisées par une forte production primaire (microphytobenthos et plantes halophiles) et peuvent jouer un rôle tampon vis-à-vis des fortes concentrations en polluants ou en sels nutritifs transitant dans l'estuaire ; enfin, ces zones ont souvent une fonction de nurseries pour de nombreuses espèces animales d'intérêt commercial.

#### 2.5. Le zonage des phénomènes estuariens

L'analyse des différents phénomènes naturels estuariens met en évidence :

- une zone fluviale amont, où le transit vers l'aval des matières dissoutes ou en suspension est assez rapide mais où le temps d'évacuation en mer de ces matières est le plus long.

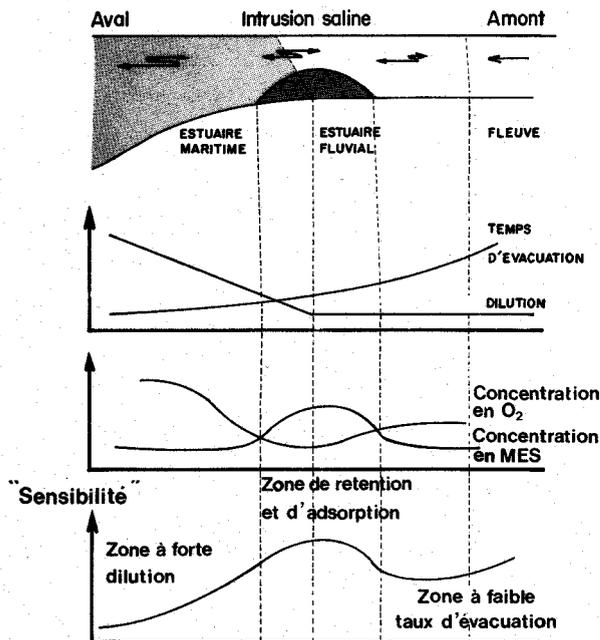
- une zone centrale, à la limite de l'intrusion saline, où la concentration en matières en suspension et le déficit en oxygène sont maximum ; c'est la zone d'adsorption et de piégeage de nombreux polluants.

- une zone aval, caractérisée par une forte dilution.

Du fait de ces caractéristiques, la zone centrale représente la zone la plus sensible de l'estuaire (fig. 10).

FIG. 10

**"SENSIBILITE" DES DIFFERENTES ZONES D'UN ESTUAIRE.**



### 3. LES PRINCIPES DE GESTION

#### 3.1. Les objectifs de la gestion

La gestion du milieu estuarien doit permettre de définir la répartition et le taux de développement des activités afin d'harmoniser l'exploitation du milieu naturel avec le maintien de ses aptitudes, d'assurer une compatibilité entre les diverses activités dont le développement est jugé indispensable, et de maintenir un niveau de qualité suffisant à l'environnement.

Concrètement, cette gestion, qui doit tenir compte des aptitudes du milieu et des contraintes socio-économiques régionales ou nationales, peut se traduire par :

##### a) la détermination de la répartition et du niveau de développement des activités

Cette planification débouche sur :

- la compréhension des conflits actuels et prévisibles,
- la définition des conditions de compatibilité des activités,
- le "zonage relatif" des activités,
- la modulation de l'ampleur du développement des activités.

##### b) le contrôle des incidences des activités sur le milieu naturel.

Ce contrôle se matérialise par :

- la détermination des meilleures modalités de rejets (dans le temps et dans l'espace),
- la définition et l'application de normes de qualité du milieu,
- la détermination d'actions ponctuelles ou globales visant à réduire les incidences sur le milieu,
- le contrôle des modifications physiques du milieu.

#### 3.2. Méthode de zonage

L'étude du milieu naturel a permis de montrer qu'un estuaire n'était pas un ensemble homogène mais que les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du milieu étaient variables dans les trois dimensions de l'espace. La méthode de gestion "zonale" se propose de prendre en compte ces caractéristiques spatiales pour établir des principes d'aménagements (Shubel J.R. 1975).

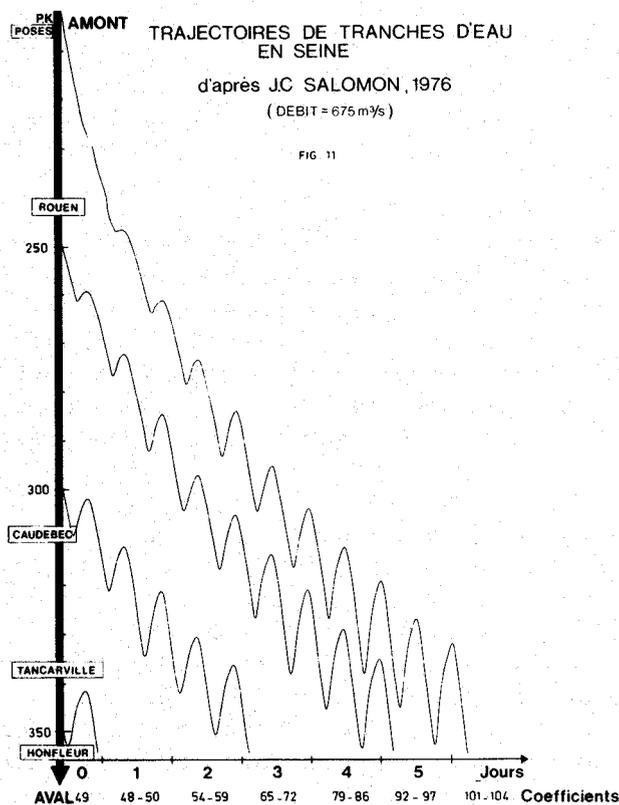
En première approche, on peut ainsi distinguer dans un estuaire :

- la zone amont soumise à l'influence de la marée (estuaire fluvial).
- la zone aval soumise à l'influence de l'eau salée (estuaire maritime).
- la limite amont de l'intrusion saline.
- les zones marginales de l'estuaire.

Il est sûr qu'une étude fine de l'environnement d'un estuaire particulier permettrait de définir un nombre de zones beaucoup plus important, mais il demeure intéressant de montrer dans le cas général comment la connaissance des grandes zones typiques de la majorité des estuaires peut guider les aménagements.

##### 3.2.1. La zone amont soumise à l'influence de la marée

Au fur et à mesure que l'on remonte dans un estuaire, on observe une atténuation des courants de flot par rapport au courant de jusant pour parvenir à un point où il n'y a plus qu'un courant fluvial dirigé vers l'aval. Une particule lâchée en amont de l'estuaire va donc avoir tout d'abord un mouvement dirigé uniquement vers l'aval puis va connaître au cours de la descente vers la mer un mouvement alternatif de plus en plus important dû aux courants de marée. Le nombre de passages d'une particule devant un point particulier augmente de l'amont



vers l'aval alors que la composante résiduelle de la vitesse dirigée vers l'aval diminue, malgré la violence des courants (J.C. Salomon, 1976) (fig. 11).

Ces données sont à prendre en compte dans la mise en place d'émissaires et elles permettent aussi de montrer qu'une substance rejetée en début de jusant sortira beaucoup plus vite de l'estuaire, par rapport à un rejet effectué en début de flot. Par ailleurs, cette zone amont étant, en été, un lieu actif d'oxydation de certains rejets (ammoniacque), il convient de dimensionner ces mêmes rejets en fonction des disponibilités en oxygène du milieu.

### 3.2.2. La zone aval soumise à l'influence de l'eau salée.

La pénétration de l'eau de mer, plus dense, provoque dans les estuaires partiellement mélangés un gradient de densité de la surface vers le fond et on assiste, en aval de l'intrusion saline, à une circulation résiduelle vers l'aval en surface et vers l'amont au fond. Ceci implique que des rejets effectués au fond auront un

cheminement résultant dirigé vers l'amont alors que des rejets faits en surface seront transportés vers l'aval ; les mélanges verticaux qui se superposent à ces deux schémas font qu'au bout d'un certain temps, les teneurs en polluant sont maximales près du fond, en amont du point de rejet, et en surface, en aval de celui-ci (J.M. Martin et al. 1976).

Dans les estuaires bien mélangés verticalement, la composante verticale du gradient de salinité est négligeable mais l'on peut observer des eaux plus salées sur la rive gauche que sur la rive droite (dans l'hémisphère Nord) du fait de la force de Coriolis ; la circulation résiduelle sera alors dirigée vers l'aval sur la rive droite (chenal de jusant) et vers l'amont sur la rive gauche (chenal de flot). Dans ce cas, la mise en place de rejets doit se faire de façon différente sur les deux rives de l'estuaire et les aménagements des deux côtés de l'embouchure ne devront pas être conçus de la même manière.

En fait, un estuaire peut passer du type stratifié au type bien mélangé en fonction des conditions de débit (crue-étiage) et de marée (V.E.-M.E.) ; il conviendrait alors de faire varier les procédures de rejets suivant ces mêmes cycles.

Par ailleurs, les aménagements de chenaux dans les estuaires (calibrages, approfondissement) peuvent changer le type de circulation des eaux et donc modifier la dispersion des rejets.

Enfin, il serait souhaitable de concevoir des normes de rejets variables en fonction de la localisation de ceux-ci :

- rejet en amont de l'intrusion saline,
- rejet dans la masse d'eau plus salée et à circulation résiduelle amont,
- rejet dans la masse d'eau plus douce et à circulation résiduelle aval.

### 3.2.3. La limite amont de l'intrusion saline

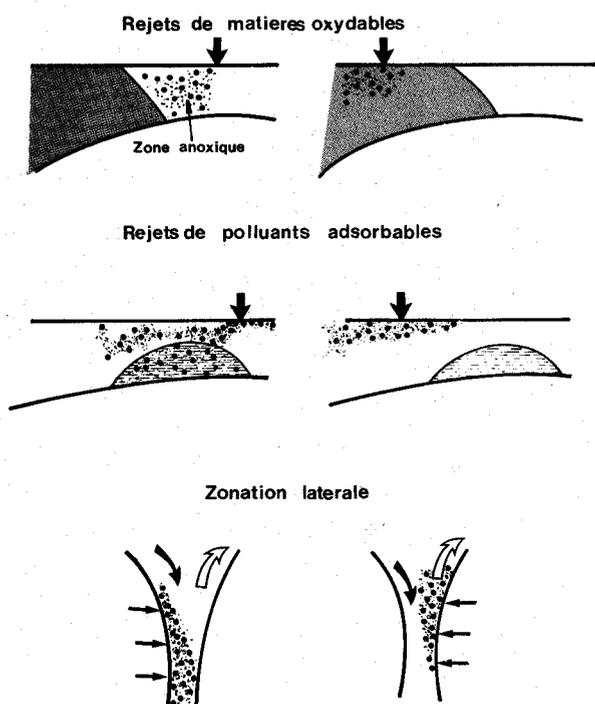
Cette zone est caractérisée par la présence du bouchon vaseux et la connaissance de la dynamique des matières en suspension peut guider la répartition spatiale de certains aménagements.

C'est ainsi que l'installation d'une prise d'eau ne doit pas être faite au niveau du maximum de turbidité sous peine de pomper des eaux très chargées en matières en suspension. Les rejets de micropolluants, métalliques ou organiques, ne devraient pas être réalisés dans le bouchon vaseux car ces éléments risquent d'être piégés au niveau des fortes concentrations en matières en suspension et venir contaminer les secteurs de sédimentation telles que les zones humides marginales. Enfin, l'installation de bassins portuaires dans cette même zone présente des risques d'envasement importants.

Par ailleurs, les rejets riches en matières oxydables sont à éviter dans cette même zone qui présente, notamment en été, un déficit important en oxygène dissous. L'introduction de certains éléments polluants dans cette zone pauvre en oxygène peut aussi en augmenter la nocivité (cas du zinc dont la toxicité est accrue de 50% lorsque l'oxygène dissous passe de 6-7 mg/l à 2 mg/l (J.M. Martin et al. 1976). Enfin, il serait nécessaire de ne pas augmenter la turbidité du milieu (par exemple par des dragages mal conduits ou des dépôts de dragage) dans ce secteur afin de favoriser la pénétration de la lumière et donc la production primaire qui libère de l'oxygène dans le milieu (fig. 12).

FIG. 12

#### PRINCIPES DE GESTION DES REJETS.



Cette zone de l'estuaire, qui est un lieu de stockage et de piégeage des éléments particulaires et des polluants adsorbables venus de l'amont, est d'une part souvent la plus polluée de l'estuaire et d'autre part la plus sensible vis-à-vis des modifications physiques ou chimiques du milieu.

### 3.2.4. Les zones marginales de l'estuaire.

Les zones humides marginales de l'estuaire sont à préserver de tout aménagement lourd ; ces espaces doivent pouvoir conserver leurs caractéristiques physiques et les échanges d'eau entre le fleuve et eux doivent être maintenus, faute de quoi leur rôle dans la production biologique et l'épuration de l'estuaire serait largement compromis.

Afin de préserver ces zones, il est possible de proposer, comme le suggère F. OTTMANN (1979) :

- un principe d'alternance des zones industrialisées et des zones naturelles entre les deux rives de l'estuaire,
- un principe de compensation visant à remplacer chaque surface remblayée par une surface équivalente ayant la même fonction biologique (par exemple création de zones humides sur des dépôts de dragages - E.D. Seneca 1975).

### CONCLUSION

La connaissance des caractéristiques et de la dynamique du milieu estuarien permet de fournir des principes d'aménagement et ces principes seront d'autant plus précis que l'étude du milieu naturel aura été conduite avec des objectifs de gestion de ce même milieu.

Il faut rappeler à ce niveau que la modélisation de certains mécanismes hydrologiques (courants, salinité, matières en suspension) ou physico-chimiques (oxygène dissous, sels nutritifs...) peut contribuer à la gestion zonale de l'estuaire car elle permet :

- de mieux cerner les particularités de chaque secteur de l'estuaire et leur variation en fonction par exemple des débits du fleuve ou de la marée,

- de prévoir l'influence des activités elles-mêmes sur les mécanismes régissant l'estuaire et donc les modifications apportées aux différentes zones de l'estuaire et à la qualité du milieu (fig. 13).

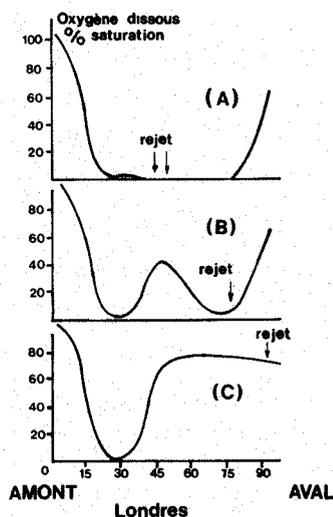
La méthode zonale de gestion d'un espace estuarien devrait ainsi conduire à une meilleure répartition géographique des activités et à l'élaboration de normes de rejets variables, en fonction des caractéristiques de chaque zone.

Cette méthode zonale pourrait aussi être complétée par une gestion "temporelle", qui fournirait des principes précisant par exemple les modalités de certaines activités (dragages, rejets etc...) en fonction des débits, de l'heure de la marée ou des coefficients de marée, afin d'en limiter les impacts.

FIG. 13

#### DISTRIBUTION THEORIQUE DE L'OXYGENE DISSOUS DANS L'ESTUAIRE DE LA TAMISE.

(In J.M. MARTIN et al.1976.  
D'après B.A.SOUTHGATE 1958.)



## BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN G.P., GUILLAUD J.F., AVOINE J. -1977- Bilan des connaissances sur le milieu marin. SAUM estuaire de la Seine. MEBS-MABN-CNEXO. Dossier n°1.
- BARRETT M.J. -1972- The effects of pollution on the Thames Estuary - in the Estuarine Environment. Ed. by R.S.K. Barnes and J. Green - Applied Science publishers LTD. London.
- DEPARTMENT OF SCIENTIFIC and INDUSTRIAL RESEARCH -1964- Effects of polluting discharges on the Thames Estuary - Water Pollution Research - Technical paper n° 11.
- FERGUSON R.L., PALUMBO A.V., RUBLEE P.A. -1977- Source and signifiante of suspended bacteria in the coastal zone. Annual report to the energy research and development administration. Beaufort Laboratory.
- FRENEL P. -1978- Relation entre l'hydrologie et les bactéries témoins de contamination fécale dans l'estuaire externe de la Loire. Thèse 3ème cycle. Nantes.
- DE GROOT A.J., SALOMONS W. -1977- Influence of civil engineering projects on water quality in deltaic regions. Reprint from : paper presented at the IAHS-UNESCO Symposium. "Effects of urbanization and industrialization on the hydrological regime and on water quality" Amsterdam. Oct. 1977.
- HUGGETT R.J., NICHOLS M., BENDER M.E. -1978- Kepone contamination of the James River. Virginia Institute of Marine Science.
- LE DOUAREC P. -1978- L'intrusion saline dans l'estuaire interne de la Loire. Etude du front de salinité et de ses variations saisonnières. Thèse 3ème cycle Nantes.
- MARTIN J.M., MEYBECK M., SALVADORI F., THOMAS A., -1976- Pollution chimique des estuaires : état actuel des connaissances. Rapp. Scient. tech. CNEXO n°22.
- NICHOLS M.M. -1979- The problem of Misplaced Sediment- Ocean Dumping and Marine Pollution, H.D. Polmer and M.G. Gross, cds., Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, Pd., 288 p.
- OTTMANN F., -1979- Conséquences des aménagements sur le milieu estuarien. Assemblée Générale UOF, Nantes, mars 1979 (à paraître au J.R.O.).
- SALOMON J.C. -1976- Modèle mathématique de la propagation de la marée en estuaire et des transports sableux associés. Application aux estuaires de la Loire et de la Seine. Thèse Doctorat es Sciences Physique - Brest.
- SAUM de l'Estuaire de la Seine -1977- Projet de programme d'étude du milieu marin CNEXO-COB-Unité Littoral.
- SENECA E.D., WOODHOUSE W.W. and BROOME S.W. -1975- Salt-water marsh creation - In Estuarine Research - Edited by L.E. Cronin - Academic Press, Inc.
- SHUBEL J.R. -1975- Zoning, a rational approach to estuarine rehabilitation and management - Marine Science Research Center - State University of New York. Special report 1. Reference 75-4.