



# ÉTUDE COMPARATIVE DES MOUVEMENTS SÉDIMENTAIRES DANS QUELQUES ESTUAIRES \*

par **B. BELLISSORT**  
Ingénieur géologue

et **Cl. MIGNIOT**  
Chef du Département de Sédimentologie

Laboratoire Central d'Hydraulique de France

Au cours des dernières années, le Laboratoire Central d'Hydraulique de France (L.C.H.F.) a eu l'occasion d'étudier, en nature et sur modèle réduit, une dizaine d'estuaires à sédimentation vaseuse présentant des dimensions très différentes, allant de plusieurs kilomètres à quelques centaines de mètres de largeur à l'embouchure, et des marnages variables d'un estuaire à l'autre.

Malgré ces divergences géométriques et océanographiques, il est apparu qu'il existait entre eux un certain nombre de points communs qui permettaient de définir, sinon des lois mathématiques précises, du moins des tendances physiques générales.

Les principaux résultats obtenus sur ce problème sont exposés en examinant successivement :

- Rappel de notions générales sur les estuaires.
- Volumes oscillants, débits instantanés : rapport entre ces deux paramètres et la section transversale de l'estuaire.
- Diffusion saline.
- Turbidité et débits solides.
- Exemples d'évolution d'estuaires.

## I. — Rappel de notions générales sur les estuaires

### Définition.

L'estuaire d'un fleuve peut être défini comme la zone où s'exerce la marée dynamique.

La marée dynamique est distincte de la marée saline qui pénètre moins profondément dans l'estuaire.

### Caractéristiques générales.

#### 1. PROGRESSIVITÉ DES LARGEURS DANS UN ESTUAIRE.

La loi de Mengin-Lecreux [8] définissait déjà au siècle dernier la progression de la largeur d'un estuaire de l'amont vers l'aval.

Sous une forme simplifiée, cette loi s'écrit :

$$l_x = l_0 e^{-Kx}$$

$l_0$  = largeur à l'embouchure;

$l_x$  = largeur à  $x$  km en amont;

$K$  = coefficient variant selon les estuaires.

#### Exemples :

- Gironde. . . . .  $K = 0,0265$
- Vilaine. . . . .  $K = 0,163$
- Mahury. . . . .  $K = 0,14$

M. Larras [7] donne comme taux constant d'augmentation relative des largeurs par kilomètre :

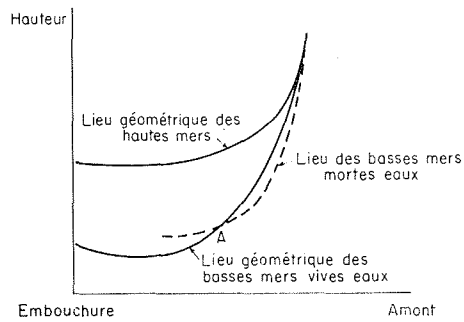
$$\text{taux d'accroissement} = 0,04 (1 + m) A_0/h$$

$m$  = rapport des largeurs moyennes d'écoulement des eaux dans l'estuaire à HM et BM;

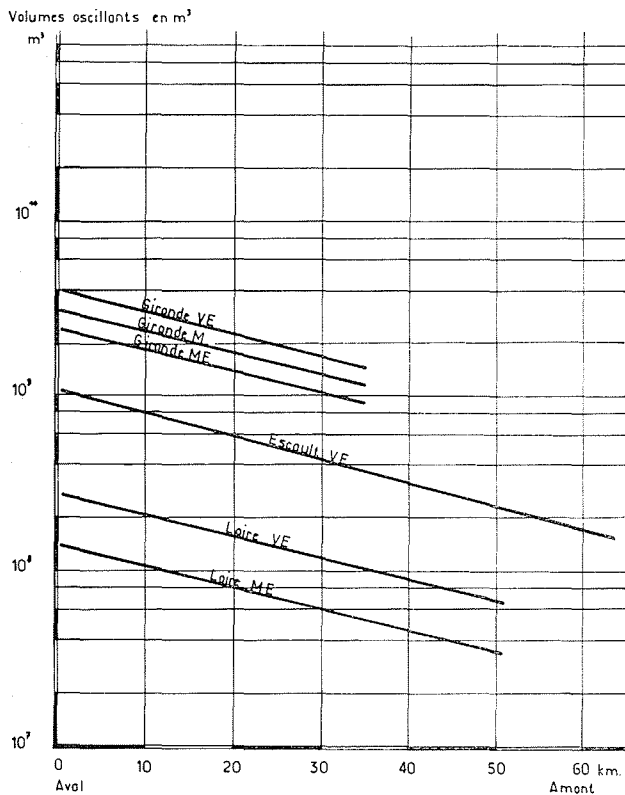
$A_0$  = amplitude de la marée;

$h$  = profondeur moyenne d'écoulement.

(\*) Exposé effectué le 21 novembre 1968 à l'Association des Sédimentologues français.



1/ Lieux géométriques des BM et PM.

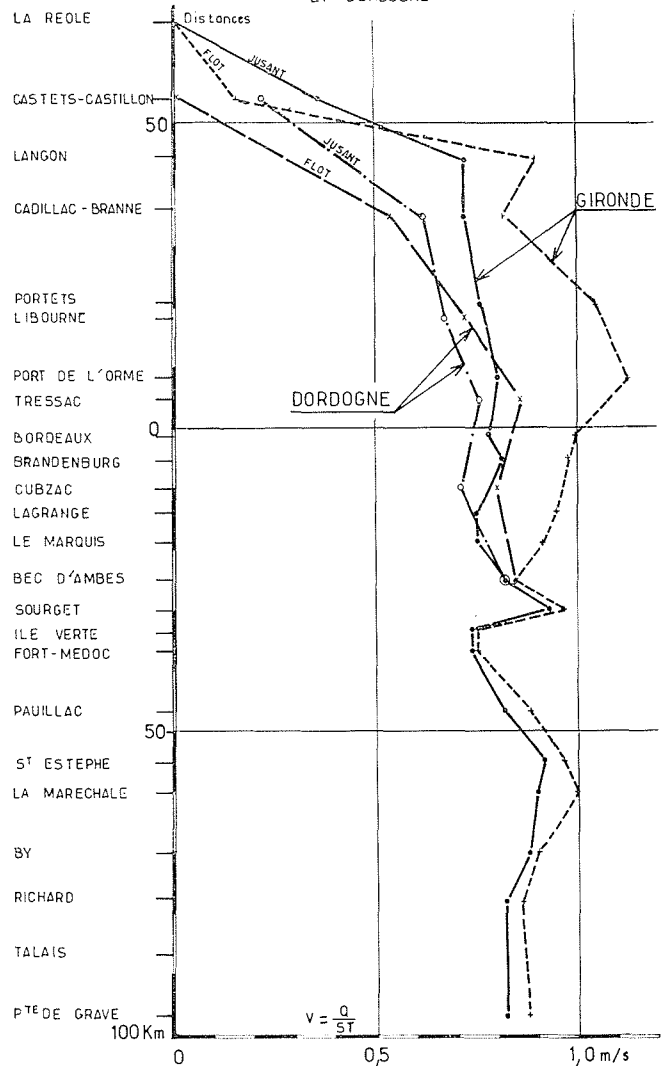


2/ Variations des volumes d'eau oscillants en fonction de la distance à l'embouchure.

L.C.H.F

PORT DE BORDEAUX

VITESSES D'ÉCOULEMENT ( $v = \frac{Q}{ST}$ ) EN GIRONDE - GARONNE ET DORDOGNE



3/ Vitesse d'écoulement en Gironde-Garonne et Dordogne.

Tableau 1

FLEUVES	AMPLITUDE VE (en m)	VOLUME OSCILLANT (m³)	Q <sub>max</sub> (m³)	S (m²)	Q <sub>max</sub> S	
Betsiboka	6	1,2 × 10 <sup>9</sup>	7,6 × 10 <sup>4</sup>	6,85 × 10 <sup>4</sup>	1,15	
Mahury	2,9	4,7 × 10 <sup>7</sup>	3,5 × 10 <sup>3</sup>	3,0 × 10 <sup>3</sup>	1,20	
Cayenne	2,9	5,5 × 10 <sup>7</sup>	3,65 × 10 <sup>3</sup>	3,2 × 10 <sup>3</sup>	1,15	
Vilaine	5,0	2,85 × 10 <sup>7</sup>	2,2 × 10 <sup>3</sup>	1,75 × 10 <sup>3</sup>	1,25	
Sebou	3,2	1,9 × 10 <sup>7</sup>	9,0 × 10 <sup>2</sup>	8,0 × 10 <sup>2</sup>	1,12	
Sèvre	6,2	6,3 × 10 <sup>6</sup>	4,0 × 10 <sup>2</sup>	4,0 × 10 <sup>2</sup>	1,0	
Escaut	— Flessingue. . . . .	3,7	1,1 × 10 <sup>9</sup>	9,53 × 10 <sup>4</sup>	9,5 × 10 <sup>4</sup>	1,05
	— Walsoorden. . . . .	4,3	3,6 × 10 <sup>8</sup>	3,20 × 10 <sup>4</sup>	3,5 × 10 <sup>4</sup>	0,9
	— Anvers. . . . .	4,7	6,2 × 10 <sup>7</sup>	4,5 × 10 <sup>3</sup>	5,0 × 10 <sup>3</sup>	0,9
	— Termonde. . . . .	3,2	4,5 × 10 <sup>6</sup>	4,0 × 10 <sup>2</sup>	4,0 × 10 <sup>2</sup>	1,0

2. CARACTÉRISTIQUES HYDRAULIQUES.

Dans un estuaire évolué :

- La vitesse de propagation de la marée diminue progressivement de l'aval vers l'amont.
- Les lieux géométriques des BM (basses mers) présentent une concavité régulière.
- Dans la partie essentiellement maritime, le lieu géométrique des BM de VE (vive eau) se trouve en-dessous de celui des BM de ME (morte-eau).
- L'inverse se produit en amont d'un certain point A.
- Dans le raccord avec la partie fluviale, le plus ou moins grand éloignement du point A est lié aux facilités de l'écoulement du jusant.
- L'amplitude de la marée se conserve jusqu'à une grande distance de l'embouchure, après avoir commencé par augmenter.

Parmi les estuaires de fleuves français remplissant ces conditions, on peut citer la Gironde.

La Loire [4], par contre, est un estuaire n'ayant pas terminé son évolution (le lieu des BM de VE est convexe).

**II. — Volumes oscillants — Débits instantanés**

**Rapport de ces paramètres avec la section transversale de l'estuaire**

**Variation des volumes oscillants avec la distance à l'embouchure.**

Les volumes oscillants pour un débit fluvial donné varient sensiblement suivant une loi en fonction de leur distance à l'embouchure, telle que :

$$V_x = V_o e^{-Kx}$$

- $V_o$  = volume oscillant à l'embouchure;
- $V_x$  = volume oscillant à la distance  $x$  de l'embouchure;
- $K$  = coefficient variant selon l'estuaire et qui semble d'autant plus faible que l'estuaire est important. Il paraît constant pour un estuaire, quel que soit le coefficient de marée;
- $x$  = distance à l'embouchure.

Exemples :

- Escaut :
- en VE. . . . .  $V_o = 1,1 \cdot 10^9 \text{ m}^3$        $K = 0,031$
- Loire :
- en VE. . . . .  $V_o = 2,8 \cdot 10^8 \text{ m}^3$        $K = 0,065$
  - en ME. . . . .  $V_o = 1,2 \cdot 10^8 \text{ m}^3$        $K = 0,065$
- Sèvre-Niortaise :
- en VE. . . . .  $V_o = 1,2 \cdot 10^7 \text{ m}^3$        $K = 0,202$
  - en MM. . . . .  $V_o = 8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$        $K = 0,202$
  - en ME. . . . .  $V_o = 4,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$        $K = 0,202$
- Gironde (entre Talais et Pauillac) :
- en VE. . . . .  $V_o = 2,3 \cdot 10^9 \text{ m}^3$        $K = 0,031$
  - en ME. . . . .  $V_o = 1,2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$        $K = 0,031$

Ou plus généralement, si l'on appelle  $C$  le coefficient de marée :

$$V_x = (1,55 \cdot 10^7 C + 61 \cdot 10^7) e^{-0,031 x}$$

**Relations entre les débits instantanés et la section mouillée.**

Il semble exister un rapport à peu près constant, dans la partie maritime de l'estuaire, entre le débit maximum en VE et la section mouillée au niveau moyen.

Ce rapport est de l'ordre de 1 à 1,2.

Le tableau 1 donne des exemples pris dans divers estuaires.

La valeur du rapport  $Q_{max}/S$  est sensiblement constante dans la partie à caractère maritime de l'estuaire et décroît dans la partie soumise à l'action du débit fluvial. Les tableaux suivants donnent les valeurs de  $Q_{max}/S$  pour divers points d'un estuaire.

a) LA LOIRE :

	COEFFICIENT DE MARÉE	
	108	34
Saint-Nazaire. . . . . 0 km	1,08	0,61
Paimbœuf. . . . . 14 km	0,90	0,55
La Martinière. . . . . 37 km	1,04	0,60
Nantes. . . . . 51 km	0,43	0,20

b) LA SÈVRE NIORTAISE :

	COEFFICIENT DE MARÉE	
	108	40
0 km. . . . .	1	0,5
4,5 km. . . . .	1	0,5
8 km. . . . .	1	0,5

c) LA GIRONDE :

Il a été établi en Gironde pour des coefficients de 113-111 et pour vingt-neuf profils (onze entre Le Verdon et le Bec d'Ambès, dix entre le Bec d'Ambès et La Réole, six en Dordogne), les rapports entre le volume oscillant  $V$  par la section d'écoulement  $S$  et la durée de la marée  $T$ . On obtient alors la vitesse moyenne  $\bar{U}$  :

$$\bar{U} = V/S.T$$

Entre la pointe de Grave et Libourne (130 km), le rapport est sensiblement constant, de l'ordre de 0,8.

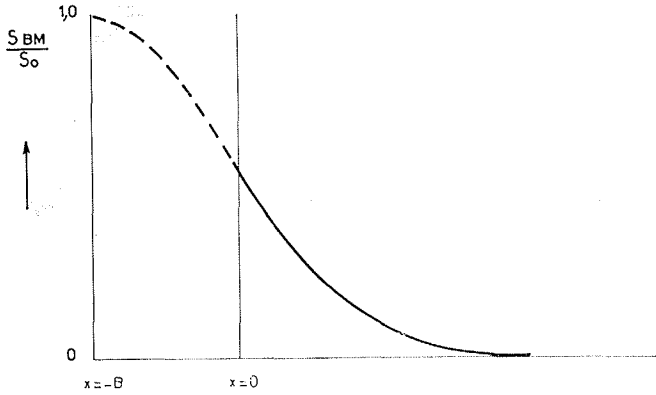
En amont de Libourne, le rapport décroît progressivement, il est nul à La Réole (180 km).

**III. — Diffusion saline**

**Diffusion longitudinale.**

La salinité dans un estuaire apparaît fonction de deux facteurs essentiels : le coefficient de marée et le débit fluvial.

La salinité en un point de l'estuaire est fonction de la distance de ce point à l'embouchure.



4/ Courbe de distribution de la salinité à basse mer.

D'après des études faites par Ippen et Harleman [5 et 6], la salinité à BM en un point  $x$  est fournie par la relation (seule a été considérée une diffusion horizontale)

$$S_{BM}/S_0 = \exp\left[-\frac{V_f}{2D_0 B}(x+B)^2\right]$$

- $S_{BM}$  = salinité au point  $x$  de l'estuaire à la BM;
- $S_0$  = salinité de l'océan;
- $V_f$  = vitesse du courant du fleuve;
- $B$  = distance à l'embouchure pour laquelle la salinité devient égale à celle de l'océan (à l'embouchure, la salinité n'est pas celle de l'océan, mais a une valeur inférieure);
- $D_0$  = coefficient de diffusion saline à l'embouchure.

En un point  $x$  :  $D_x = D_0 B/(x+B)$ .

$D_x$  décroît lorsque  $x$  croît (de l'aval vers l'amont).

Une formule du même type [3] a été proposée pour l'estuaire de Chao Phya en Thaïlande (formule pour un débit d'étiage du fleuve) :

$$S_x/S_0 = e^{-KQx^2}$$

avec :

- $Q$  = débit de la rivière;
- $S_x$  = salinité au point  $x$ ;
- $S_0$  = salinité à l'embouchure.

**Nombre de stratification.**

On peut caractériser l'introduction de la salinité dans un estuaire par le nombre de stratification  $NS = G/J$  défini par :

- $NS = G/J$  = Rapport de l'énergie dissipée par unité de masse du fluide au gain d'énergie potentielle par unité de masse du fluide;
- $J$  = traduit le gain d'énergie potentielle dû à l'accroissement du poids spécifique de l'eau, lorsqu'elle devient plus salée;
- $G$  = se déduit de l'amortissement de la marée dans l'estuaire.

Lorsque  $NS$  est supérieur à 100, les conditions de mélange sont bonnes.

Lorsque  $NS$  est inférieur à 100, il y a tendance à la stratification.

Le nombre de stratification est difficile à calculer. Aussi, a-t-on cherché à le relier à un autre paramètre : le nombre de l'estuaire  $NE$ .

**Nombre d'estuaire.**

Le nombre d'estuaire  $NE$  est :

$$V_e F_0^2 / Q_f T$$

Il existe une relation entre le nombre de stratification et le nombre de l'estuaire.

Par exemple, pour  $G/J = 100$ , on a  $V_e F_0^2 / Q_f T = 0,15$  environ.

- $V_e$  = volume entrant dans l'estuaire en flot;
- $F_0$  = nombre de Froude =  $U_0/\sqrt{gh}$ ,  
 $U_0$  = vitesse maximum du flot à  $x = 0$ ,  
 $h$  = profondeur d'eau moyenne à  $x = 0$ ;
- $Q_f$  = débit de la rivière;
- $T$  = période de la marée.

Le nombre d'estuaire paraît aussi lié au groupe :

$$2\pi B / U_0 T$$

Si le nombre d'estuaire croît, le mélange croît.

On voit, de suite, dans ce nombre, l'importance du coefficient de marée (qui influe sur le volume oscillant) et celle, encore plus grande, du débit fluvial qui, bien souvent, varie dans de beaucoup plus larges proportions que le volume oscillant.

*Exemples :*

a) MAHURY :

- en étiage ( $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) :  
 et  $VE \dots NE = 0,49$  pas de stratification;  
 et  $ME \dots NE = 0,093$  stratification nette;
- en fort débit ( $250 \text{ m}^3/\text{s}$ ) :  
 et  $VE \dots NE = 0,1$  stratification nette;  
 et  $ME \dots NE = 0,05$  stratification très marquée.

Les tendances à la stratification, dans cet estuaire, peuvent être montrées par les variations des valeurs maximales du rapport  $R$  entre les salinités de fond et de surface en un même instant. (Les variations de ce rapport ne sont significatives qu'à hauteur d'eau égale.)

La hauteur d'eau moyenne à l'embouchure étant d'environ 3 m, on a pour :

- $NE = 0,49$   $R$  peu différent de 1. pas de stratification
- $NE = 0,20$   $R = 1,3$  . . . . . pas de stratification
- $NE = 0,05$   $R = 4,0$  . . . . . stratification très marquée

Plus à l'amont, pour une hauteur d'eau de 8 m, on a pour :

- $NE = 0,14$   $R = 2,5$  . . . . . peu de stratification
- $NE = 0,09$   $R = 8$  . . . . . stratification

Dans l'estuaire de Mahury, comme l'on pouvait s'y attendre d'après les valeurs du nombre d'estuaire, on a pu constater que :

- Les salinités varient surtout selon la période de l'année considérée, et donc les débits fluviaux, plutôt que selon

les coefficients de marée. En période de moyen à fort débit, les salinités sont beaucoup plus faibles qu'en période d'étiage. Elles varient, dans l'ensemble, d'autant plus en un même point que le débit fluvial est fort (dans la partie maritime).

- Au cours d'une même marée, l'amplitude des variations de salinité est de plus en plus grande et les salinités sont de plus en plus faibles de l'aval vers l'amont.

Exemples. — En vives-eaux :

EMPLACEMENT	DÉBIT FLUVIAL	SALINITÉ DE SURFACE (%)	SALINITÉ DE FOND (%)
Embouchure	Moyen à faible débit	20 à 6	24 à 3
	Etiage	33 à 22	33 à 22
A 5 km en amont	Moyen à faible débit	10 à 0,06	13 à 0,3
	Etiage	30 à 10	30 à 10

#### b) VILAINE :

Pour un débit de 25 m<sup>3</sup>/s, on a :

- En VE. . . . NE = 0,3 . . . pas de stratification;
- En MM. . . . NE = 0,16. . . légère tendance à la stratification;
- En ME. . . . NE = 0,11. . . stratification.

En conclusion, il apparaît que le nombre d'estuaire indique bien s'il y a ou non stratification dans un estuaire (ou encore s'il y a ou non un coin salé).

#### Influence sur la sédimentation des variations de salinité.

Les variations de salinité influent sur la sédimentation des éléments en suspension, car les phénomènes de floculation dépendent de la salinité. Par ailleurs, les phénomènes de stratification influent sur la répartition des vitesses dans une même verticale et donc sur la force tractrice s'exerçant sur le fond.

Nous avons déjà exposé ces phénomènes, aussi rappellerons-nous seulement que les variations de vitesses de chute sont surtout importantes entre 0 et 1‰ de salinité. Par exemple, pour une concentration en sédiments de 10 g/l, la vitesse de chute moyenne est, à 1‰, plus de cinquante fois celle de la vitesse de chute en eau distillée et plus de cinquante fois celle du matériau défloculé.

#### Conclusions.

En conclusion, il faut souligner l'influence prédominante du débit fluvial, et à un moindre degré du coefficient de marée, sur la dynamique estuarienne. Ces deux facteurs conditionnent les phénomènes de l'introduction de la salinité dans l'estuaire, et donc l'existence et le déplacement du coin salé.

Le nombre d'estuaire paraît bien traduire ces phénomènes et l'on retiendra que, lorsqu'il est inférieur à une valeur de l'ordre de 0,10 à 0,15, il y a stratification dans l'estuaire.

## IV. — Turbidité et débits solides

Les turbidités varient avec le coefficient de marée. Elles varient, de plus, entre le fond et la surface, avec le coefficient de marée et la hauteur d'eau.

#### Vitesse de reprise des sédiments.

Le principal facteur, régissant la turbidité dans un estuaire où les apports sont essentiellement marins, est la vitesse du courant, en particulier près du fond.

La force tractrice qui s'exerce sur le fond est :

$$\tau_0 = \rho U_*^2$$

La vitesse critique de reprise  $U_*$ , si l'on admet une répartition logarithmique de la vitesse dans une tranche d'eau au-dessus du fond d'épaisseur  $0,16d$ , est donnée par la relation (en admettant une valeur de la constante de Von Karman (\*) de 0,4) par :

$$U = U_* 5,75 \log \frac{y}{0,108 \nu / U_* + 0,0033 K_s}$$

Nous avons effectué une courbe de la turbidité à 50 cm du fond, en fonction de la vitesse à cette profondeur, pour le Mahury et la Sèvre Niortaise.

Les valeurs moyennes sont :

#### MAHURY

VITESSE DU COURANT à 50 cm du fond (m/s)	TURBIDITÉ à 50 cm du fond (g/l)
0,3	0,2
0,5	0,9
0,8	2,7

#### SÈVRE NIORTAISE

VITESSE DU COURANT à 50 cm du fond (m/s)	TURBIDITÉ à 50 cm du fond (g/l)
0,3	0,2
0,5	0,55
0,8	1,6

Le fait important est qu'il existe une vitesse d'environ 0,3 m/s, correspondant à une valeur  $\tau_0$  d'environ :

$$1,15 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m}^2,$$

au-dessous de laquelle il y a peu d'érosion des fonds et au-dessus de laquelle la turbidité croît très rapidement avec la vitesse.

(\*) En fait, des études plus récentes montrent qu'il est possible de définir  $U_*$  avec plus de précision, en tenant compte des variations de salinité sur la hauteur et de la pente de la ligne d'eau.

## B. BELLESSERT et Cl. MIGNIOT

Cette vitesse critique, déduite des études en nature, correspond bien aux résultats des études générales menées par le L.C.H.F. et portant sur l'étude des propriétés physico-chimiques des vases. Pour des concentrations en sédiments, semblables à celles de la nature et correspondant aux dépôts pendant les étales, les études en canal ont montré que la vitesse critique d'érosion était aussi d'environ 0,3 m/s.

### Turbidité et coefficient de marée.

L'importance de la vitesse sur la reprise des vases explique l'importance des coefficients de marée sur la turbidité « Tu » des eaux. Les valeurs des rapports des turbidités moyennes en vive eau (VE) aux turbidités moyennes en marée moyenne (MM) et morte eau (ME), illustrent ces faits :

— En Sèvre Niortaise :

$$\frac{Tu_{VE}}{Tu_{MM}} = 3,2$$

— En Vilaine :

$$\frac{Tu_{VE}}{Tu_{MM}} = 3,5$$

$$\frac{Tu_{VE}}{Tu_{ME}} = 70$$

— Dans le Mahury :

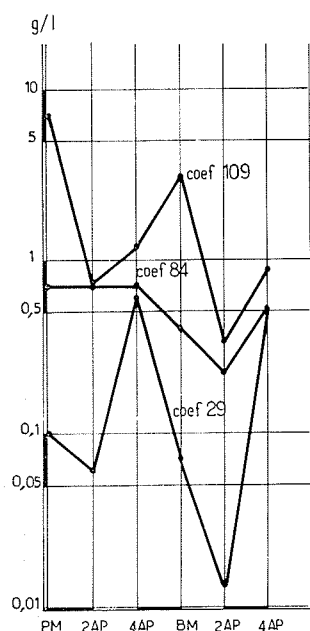
$$\frac{Tu_{VE}}{Tu_{MM}} = 2,5$$

$$\frac{Tu_{VE}}{Tu_{ME}} = 30$$

— Dans le Kourou :

$$\frac{Tu_{VE}}{Tu_{MM}} = 2,5$$

$$\frac{Tu_{VE}}{Tu_{coef. 50}} = 6,2$$



5/ Variation de turbidité dans l'estuaire du Mahury (Roche Maripa).

Les rapports entre la turbidité de surface et de fond varient avec le coefficient de marée et la hauteur d'eau.

Par exemple, dans le Mahury, pour une profondeur de 2 m :

$$\frac{Tu_F}{Tu_S} = 1,3 \text{ par VE} \quad \frac{Tu_F}{Tu_S} = 3 \text{ par ME}$$

Pour une hauteur d'eau de 8 m environ :

$$\frac{Tu_F}{Tu_S} = 2,8 \text{ en VE} \quad \frac{Tu_F}{Tu_S} = 7,5 \text{ en ME}$$

### Transports solides.

#### 1. TRANSPORT EN SUSPENSION.

La combinaison des variations de volume oscillant en fonction du coefficient de la marée (et du débit fluvial) et des turbidités, toujours en fonction de ce même coefficient de marée, amène d'importantes variations de débits solides selon les coefficients de marée.

FLEUVES	COEFFICIENTS DE MARÉE			VE MM	VE ME
	VE	MM	ME		
Sèvre : Niortaise	6 200 t	1 200 t	—	5	—
Vilaine	66 000 t	15 000 t	400 t	5	160
Mahury	15 000 t	2 500 t	200 t	6	90

Dans la Gironde on a, selon les marées et l'emplacement, les rapports suivants (en période d'étiage) :

LIEUX. . . . .	TALAI (PK 82)	SAINT-CHRISTOLY (PK 71)	PAULLAC (PK 54)	
Débits solides	$\frac{VE}{MM}$	4	2	2
	$\frac{VE}{ME}$	7	10	5

Selon les lieux, en prenant les chiffres de Talais comme base unitaire, on obtient (en période d'étiage) :

LIEUX. . . . .	TALAI	SAINT-CHRISTOLY	PAULLAC	
Débits solides	VE	1	1,65	1,46
	MM	1	3,62	2,94
	ME	1	1,10	2,38

Les turbidités en Gironde sont aussi influencées par le débit fluvial. Les rapports des débits solides (à partir de données intéressant uniquement le chenal) sont :

LIEUX. . . . .	TALAI	SAINT-CHRISTOLY	PAULLAC	
Débits solides	$\frac{VE \text{ crue}}{VE \text{ étiage}}$	0,66	3,35	2,5

#### 2. TRANSPORT EN MASSE.

##### a) Stock de vase « disponible » dans un estuaire.

Il existe dans un estuaire un stock de vase disponible qui se localise à une certaine distance de l'embouchure, en fonction des paramètres dynamiques, et qui se déplace entre l'amont et l'aval, en fonction du débit fluvial.



## V. — Exemples d'évolution d'estuaires

Ce stock disponible se caractérise, pour certains coefficients de la marée (en général, inférieurs à 70), par la présence d'« une crème de vase » sur les fonds et par une zone sous-jacente de plus forte turbidité des eaux. Ce stock disponible peut se répartir sur des distances de 2 à 20 km, suivant les estuaires rencontrés, et se remettre en suspension pour les forts coefficients de marée.

L'épaisseur de la crème de vase sur les fonds peut varier de 0,5 à 2 m et sa densité atteint 1,10 à 1,25, correspondant à des concentrations de 100 à 300 g/l.

Il semblerait, par ailleurs, que cette crème de vase ne soit pas horizontale, mais puisse présenter une pente positive ou négative, suivant la direction du courant. Par exemple, dans l'estuaire de la Chao Phya, la pente peut atteindre 0,1 à 1 pour 1 000; il semble que des phénomènes analogues aient été observés en Gironde par le Port Autonome de Bordeaux.

En France, cette crème vaseuse a été mise en évidence, dans la Gironde, la Loire, la Vilaine, la Sèvre-Niortaise.

Le mécanisme de déplacement est encore très mal connu et il faut dire que le « matériel » ne se prête pas aisément à une étude. Il est, sans aucun doute, en relation avec la dynamique estuarienne, c'est-à-dire avec les coefficients de marée et le débit fluvial qui régissent les phénomènes dynamiques. L'on sait aussi que les phénomènes sédimentologiques sont déphasés (en retard) sur les phénomènes hydrauliques. Il apparaît, qu'en période d'étiage, le bouchon vaseux remonte dans l'estuaire et, qu'en période de crue, il est rejeté au contraire vers l'océan. Par exemple, dans la Vilaine, on a une sédimentation vaseuse très importante en aval de Redon en étiage et vers Trehiguier en crue. En Loire, la crème vaseuse est remontée jusqu'à Nantes, lorsqu'il y a eu un étiage exceptionnel correspondant à un débit fluvial inférieur à 250 m<sup>3</sup>/s. Dans la Gironde, en fin d'étiage, elle se trouve à Bordeaux, et à Saint-Christoly en fin de crue. Le même phénomène se retrouve, mais en beaucoup plus accentué, dans la Sèvre Niortaise.

### b) Propagation de la vase sous l'action de la houle.

Les études effectuées, en canal et en cuve à houle, au L.C.H.F. ont permis de mettre en évidence l'action de la houle sur les vases :

- les mouvements orbitaires de la houle se propagent dans la vase lorsque cette dernière n'a pas une trop grande cohésion;
- l'influence de la viscosité des vases, dans la propagation de mouvements progressifs cylindriques périodiques, se traduit par un mouvement moyen d'entraînement des particules dans le sens de propagation de la houle. Ceci a pour conséquence de provoquer, vers la côte, une remontée des matériaux jusqu'aux zones de turbulence élevée qui assurent la remise en suspension du matériau.

Les observations en laboratoire ont pu être confirmées en nature, lors de la Mission du L.C.H.F. au Mahury, en 1965. Celle-ci a, en effet, relevé et suivi le déplacement d'un front de vase sous l'action des houles dominantes du nord-est.

### c) Déplacements massifs de bancs vaseux le long des côtes. Déplacements de la vase en masse sous la houle sans remise en suspension.

Il peut exister, à une très grande échelle, des déplacements de bancs vaseux le long des côtes.

Nous citerons l'exemple des bancs vaseux se déplaçant entre l'Amazone et la Guyane Britannique.

Des bancs de vase, longs d'environ 40 km (et distants d'autant), se déplacent depuis l'Amazone vers le nord-ouest, à une vitesse d'environ 1,5 km par an.

### Sèvre Niortaise.

L'absence de débit fluvial pendant neuf mois est le fait essentiel. Il n'y a aucune chasse, hors de celle provoquée par le jusant.

Or, l'action de chasse du jusant est insuffisante pour compenser les apports en flot. La remontée des matériaux vers l'amont par le flot n'est pas un phénomène réversible, en raison du caractère spécial que prend le courant de flot à mesure qu'il pénètre plus en amont.

En effet, le début de flot est très brutal, très turbulent et, par suite, très chargé. Le jusant, dans la partie la plus amont du bief où pénètre la marée, est faible et sa capacité de reprise réduite. Ainsi, s'explique l'envasement du bief supérieur de la Sèvre Niortaise.

Entre deux séries de bacages (\*), en été, l'épaisseur des dépôts devant les Enfremaux (à 15 km environ de l'embouchure) a atteint 1,50 m.

En l'absence de bacages pour évacuer les vases, on peut estimer que cet estuaire serait rapidement colmaté.

Un tel phénomène s'était d'ailleurs produit à la fin du siècle dernier où, à la suite d'un arrêt des chasses, la partie amont de l'estuaire s'est trouvée envasée, jusqu'à la côte des pleines-mers, sur plus de un kilomètre.

### Evolution de l'estuaire du Mahury.

Les comparaisons des fonds de l'estuaire du Mahury et devant celui-ci, mettent en évidence une évolution cyclique des fonds, en relation avec le déplacement des bancs vaseux qui progressent, du sud vers le nord, de l'Amazone jusqu'en Guyane Britannique.

Lorsque les fonds au large s'engraissent, le chenal de l'estuaire s'érode. Les dépôts vaseux au sud du chenal limitent, en effet, l'épanouissement de la rivière et le chenal s'approfondit donc. Les rives par contre engraisent.

Inversement, lorsque les fonds au large diminuent, le chenal s'engraisse et les rives s'érodent.

Ce type d'évolution, que l'on constate pour l'estuaire du Mahury, est aussi celui des autres estuaires guyanais (ex. rivière de Cayenne, rivière de Kourou).

Ces phénomènes mettent en évidence, dans ce cas, les relations existant entre la sédimentation du large et la sédimentation côtière et, ce, sur une très grande étendue.

## Conclusions

Nous n'avons pas voulu prétendre, dans cet exposé, donner des lois générales pour tous les estuaires.

Il apparaît, cependant, qu'il existe un certain nombre de caractères semblables dans les estuaires que nous avons étudiés :

- Constance du rapport  $Q_{max}$  de VE/S, dans la partie maritime des estuaires.
- Décroissance exponentielle du volume oscillant avec la distance à l'embouchure.

(\*) Les bacages consistent à refouler et remettre en suspension la vase, à l'aide de bateaux de très large section soumis à une chasse hydraulique.

## B. BELLESSORT et Cl. MIGNIOT

- Présence d'une stratification dans un estuaire pour des valeurs de  $NE = V_e F_o^2 / Q_f T$  inférieures à environ 0,10.
- Absence de stratification pour des valeurs de NE supérieures à 0,20.
- Influence dominante du débit fluvial sur la salinité des eaux.
- Vitesse critique de reprise des sédiments déposés aux étales de l'ordre de 0,3 m/s (à 50 cm du fond). La force tractrice correspondante est d'environ  $1,1 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m}^2$ .
- Variation importante des débits solides en suspension avec le coefficient de marée.
- Existence de déplacement en masse dans les estuaires vaseux.

### Bibliographie

- [1] ABRAHAM (G.), VAN DER BURGH (P.), DE VOS (P.). — Means to reduce salt intrusion through new and existing locks (août 1965). Delft Hydraulics Laboratory, publication n° 38.
- [2] AKIKUSA, SATO, KIKKAWA, KISHI, TOMINAGA. — On the density currents in a estuary (1959). 8<sup>e</sup> Congrès de l'A.I.R.H., Montréal, 1959.
- [3] ALLERMAE, HOEKSTRA (A.J.), BIJKER (E.W.). — Transport patterns in the Chao Phya estuary (mars 1967). Delft Hydraulics Laboratory, publication n° 47.
- [4] GIBERT (M.). — La Loire maritime (1940). *Annales des Ponts et Chaussées*.
- [5] HARLEMAN (D.R.F.), ABRAHAM (G.). — One dimensional analysis of salinity intrusion in the Rotterdam Waterway (octobre 1966). Delft Hydraulics Laboratory, publication n° 44.
- [6] IPPEN (F.A.), HARLEMAN (D.R.F.). — One dimensional analysis of salinity intrusions in estuaries (juin 1961). Corps of Engineers, U.S. Army Technical Bulletin n° 5.
- [7] LARRAS (J.). — Embouchures, estuaires, lagunes et deltas (1964). Collection du Centre de Recherches et d'Essais de Chatou.
- [8] MENGIN (D.H.). — Travaux d'amélioration des fleuves à marée. Congrès International de Navigation Intérieure, Manchester, 1890.
- [9] MIGNIOT (Cl.). — Etude des propriétés physiques de différents sédiments très fins et de leur comportement sous des actions hydrodynamiques. *La Houille Blanche*, n° 7/1968.
- [10] STIGTER (O.), SIEMONS (J.). — Calculation of longitudinal salt-distribution in estuaries as fonction of times (octobre 1967). Delft Hydraulics Laboratory, publication n° 57.
- [11] SCHULTZ (E.A.), SIMMONS (H.B.). — Fresh water, salt water density currents, major cause of siltation in estuaries (avril 1957). Corps of Engineers U.S. Army Technical Bulletin n° 2.

