

B.- TRANSPORTS DE SEDIMENTS DANS L'ESTUAIRE DE L'ESCAUT

par

J.J. PETERS

1.- Introduction : les types d'estuaires

Avant de décrire les mesures hydrauliques et leur signification, il faut définir un estuaire. Empruntons la définition de D. W. Pritchard (1967) : *An estuary is a semi-enclosed coastal body of water which has a free connection with the open sea and within which sea water is measurably diluted with fresh water derived from land drainage.*

Les trois idées de base reprises dans cette définition sont :

- *a semi-enclosed coastal body of water* signifie que les parois latérales (le lit du fleuve) contrôlent les mouvements de l'eau, les guident et les freinent;

- *a free connection with open sea* signifie que la pénétration de l'onde de marée, et donc de l'eau salée, est libre en permanence;

- *measurably diluted with fresh water derived from land drainage.* La dilution de l'eau douce dans l'eau salée provoque des différences de densité qui sont à l'origine des circulations d'eau particulières des estuaires.

Sur base de cette définition, on peut définir quatre types d'estuaires.

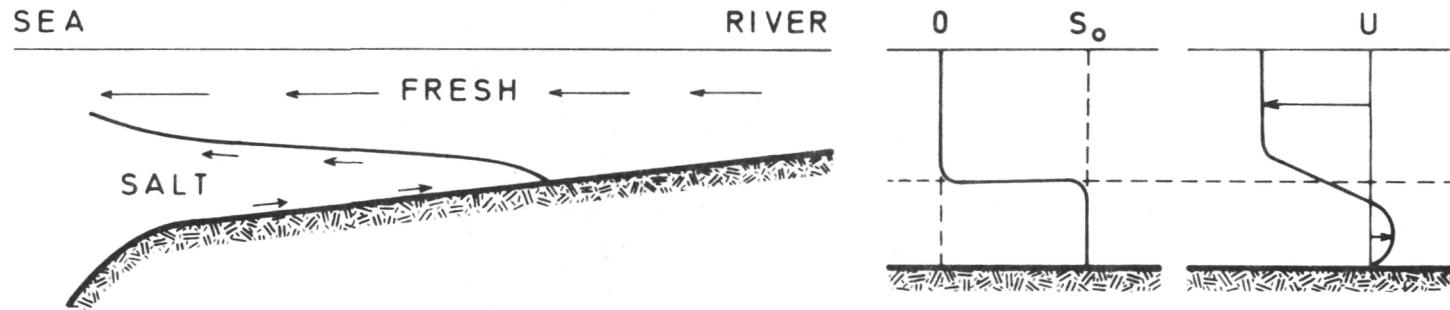
1.- Estuaire à coin salé (fig. 1.a)

Dans ce cas, le mélange de l'eau douce avec l'eau salée est négligeable, le débit d'amont ayant un effet plus important que la marée.

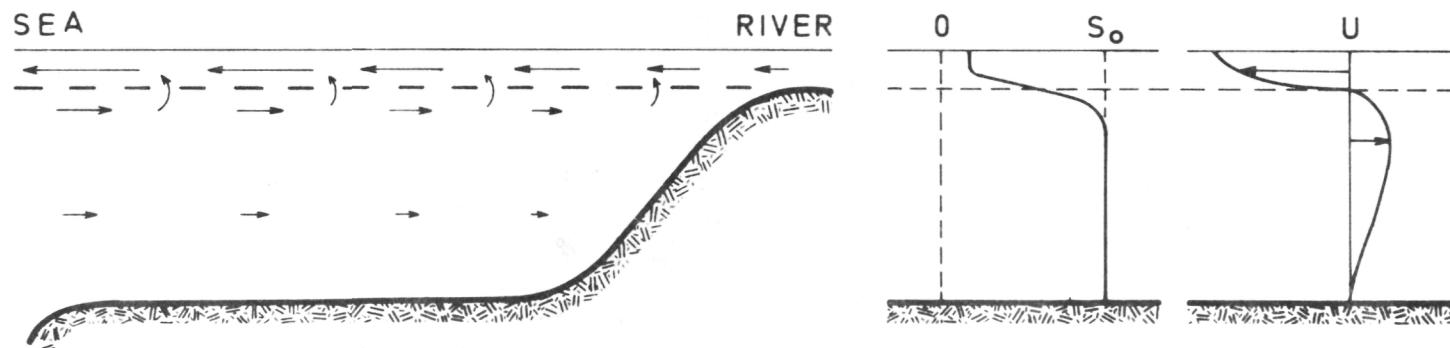
2.- Estuaire stratifié à deux couches avec entraînement d'eau salée  
(fig. 1.b)

Lorsque la vitesse d'écoulement de l'eau douce dépasse une certaine valeur, des ondes internes se forment à l'interface. Ces ondes peuvent devenir brisantes et l'eau salée de la crête est alors reprise par l'eau douce et entraînée vers l'aval. Cet entraînement est compensé par un mouvement de l'eau salée vers l'amont.

# SALT WEDGE

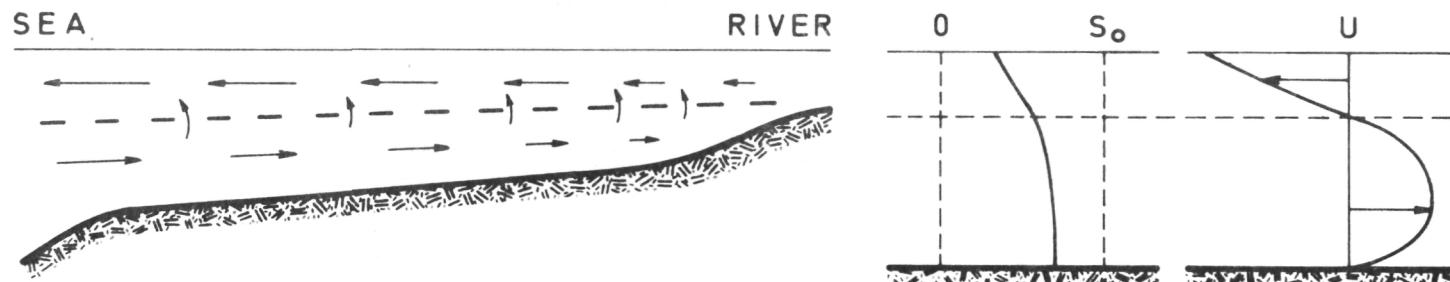


# TWO-LAYER FLOW WITH ENTRAINMENT



- 266 -

# TWO-LAYER FLOW WITH VERTICAL MIXING



### 3.- Estuaire stratifié avec mélange vertical dû aux mouvements de marée (fig. 1.c)

Lorsque l'énergie de marée provoque un mélange turbulent de l'eau douce avec l'eau salée, l'interface disparaît mais la salinité varie progressivement de la surface au fond.

Le débit amont, mélangé progressivement avec l'eau de mer, va en entraîner une importante quantité vers la mer. Le débit résultant des couches supérieures en direction de la mer peut de ce fait dépasser fortement le débit d'amont.

### 4.- Estuaire homogène

Ce cas, à notre avis fort théorique, se rencontre lorsque l'énergie du mélange dû à la marée est si intense que le gradient de salinité vertical disparaît. Seul un gradient de salinité horizontal subsiste. Le mouvement de remontée du sel dans l'estuaire est dû à la diffusion turbulente horizontale.

## 2.- Les transports des matières solides dans un estuaire

Le problème des transports de matières solides dans les estuaires étant fort complexe, nous aborderons le problème par étapes en partant d'un cas imaginaire d'un estuaire à salinité constante dans toute son étendue pour en arriver à l'estuaire à stratification de salinité qui est le cas de l'Escaut.

### 2.1.- Estuaire homogène verticalement et horizontalement

De par sa définition, cet estuaire est purement imaginaire. Il est cependant utilisé fréquemment pour l'étude des mouvements généraux de l'eau sur modèle physique (modèles réduits) ou mathématique. Certaines parties d'estuaires ont une salinité constante (par exemple l'Escaut et ses affluents en amont de l'embouchure du Rupel) et les phénomènes que nous allons décrire peuvent s'y produire.

#### a) Les mouvements de l'eau

Les mouvements de l'eau sont déterminés par la marée et le débit

d'amont.

- Marée

La marée en mer va créer une onde de marée se propageant dans l'estuaire tout en se déformant à cause de la géométrie de celui-ci et du débit d'amont. Comme le niveau d'eau en chaque point de l'estuaire varie suivant une courbe de marée (marée verticale), l'*emmagasinement* varie continuellement dans le temps et suivant l'endroit, provoquant des mouvements horizontaux des masses d'eau (marée horizontale). Celles-ci vont donc osciller. Le déplacement horizontal dans l'Escaut varie entre quelques kilomètres et vingt kilomètres.

Au cours du mouvement de l'eau vers la mer (jusant) ou vers l'intérieur des terres (flot), elle peut atteindre des vitesses importantes (plus d'un mètre par seconde pour l'Escaut). Les périodes de flot et de jusant sont séparées par des étales où le courant est nul. Les durées du flot et du jusant à l'embouchure (kilomètre 0) sont respectivement de six heures et six heures trente minutes (environ). Du fait de la déformation de l'onde de marée, décrite plus haut, ces durées deviennent à 10 km de Gentbrugge (extrémité amont au kilomètre 160) respectivement trois heures et neuf heures trente minutes (environ).

- Débit amont

Le débit amont de l'Escaut, provenant de ses différents affluents oscille à Anvers entre  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  et pratiquement  $0 \text{ m}^3/\text{s}$ . La valeur moyenne est environ  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ . A Anvers, le débit maximum atteint au cours du flot vaut 50 fois ce débit d'amont moyen. Cette année, le débit amont à Anvers varie jusqu'à présent autour de  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  soit le centième du débit maximum de flot. Nous verrons cependant que ces faibles débits d'amont peuvent avoir une grande influence sur la salinité et les mécanismes de transport solide.

Le déplacement résultant global des masses d'eau, au cours d'une marée, se fait en direction de la mer à cause du débit d'amont. Considérant une vitesse résultante fictive correspondant à ce déplacement, celle-ci varie, pour un débit d'amont moyen, de  $0,30 \text{ m/s}$  à Gentbrugge à  $0,02 \text{ m/s}$  à l'embouchure. Le déplacement résultant au cours d'une marée dans la région d'Anvers est d'environ 10 % du déplacement constaté lors du flot ou du jusant.

b) Les mécanismes de transport de sédiments

Dans les estuaires se retrouvent des sédiments aussi différents que les sables, limons, argiles et vases.

Les conditions hydrauliques au cours d'une marée varient continuellement, soumettant les sédiments successivement à l'érosion, au transport et à la sédimentation.

- Erosion, transport et dépôt

En première approximation, on peut définir une vitesse critique à partir de laquelle le sédiment est érodé et une autre vitesse à partir de laquelle les particules solides sédimentent. Postma (1967) donne un diagramme des vitesses critiques d'érosion et de dépôt pour différents types de sédiments et selon leur degré de consolidation (fig. 2).

En fait, l'érosion, le transport et le dépôt dépendent d'autres facteurs tels que la tension de cisaillement, la turbulence, la configuration et la rugosité du fond, etc.

Pour les matériaux pulvérulents, tels que les sables, Bagnold (1966) propose une méthode de calcul des capacités de transports solides, basée sur des lois physiques. Cette théorie fait intervenir les forces dynamiques agissant sur les particules. Les résultats de calculs de capacités de transports solides, comparés aux mesures de débit solide dans l'estuaire du Zaïre, sont excellents et montrent que la méthode de Bagnold est valable pour des sables fins, que l'on rencontre dans de grandes zones de l'Escaut.

Pour les sédiments vaseux ou argileux, le problème apparaît comme plus difficile à résoudre, surtout à cause de la cohésion et de la consolidation variable des sédiments de l'Escaut.

- Transport par effets de retard

Après érosion, les sédiments peuvent être transportés sur le fond (charriage) ou en suspension. Les plus grosses particules solides (plus d'un millimètre) restent au fond. Les plus fines, dont la vitesse de sédimentation est insuffisante pour permettre le dépôt pendant les courtes périodes d'étalement, restent en suspension. Les particules solides moyennes sont érodées, mises en suspension et transportées jusqu'à l'étalement suivante.

Van Straaten et Kuenen (1958) ont décrit des mécanismes (*settling lag* et *scour lag*) qui permettent d'expliquer que des sédiments peuvent remonter un estuaire. Il est intéressant de décrire rapidement ces

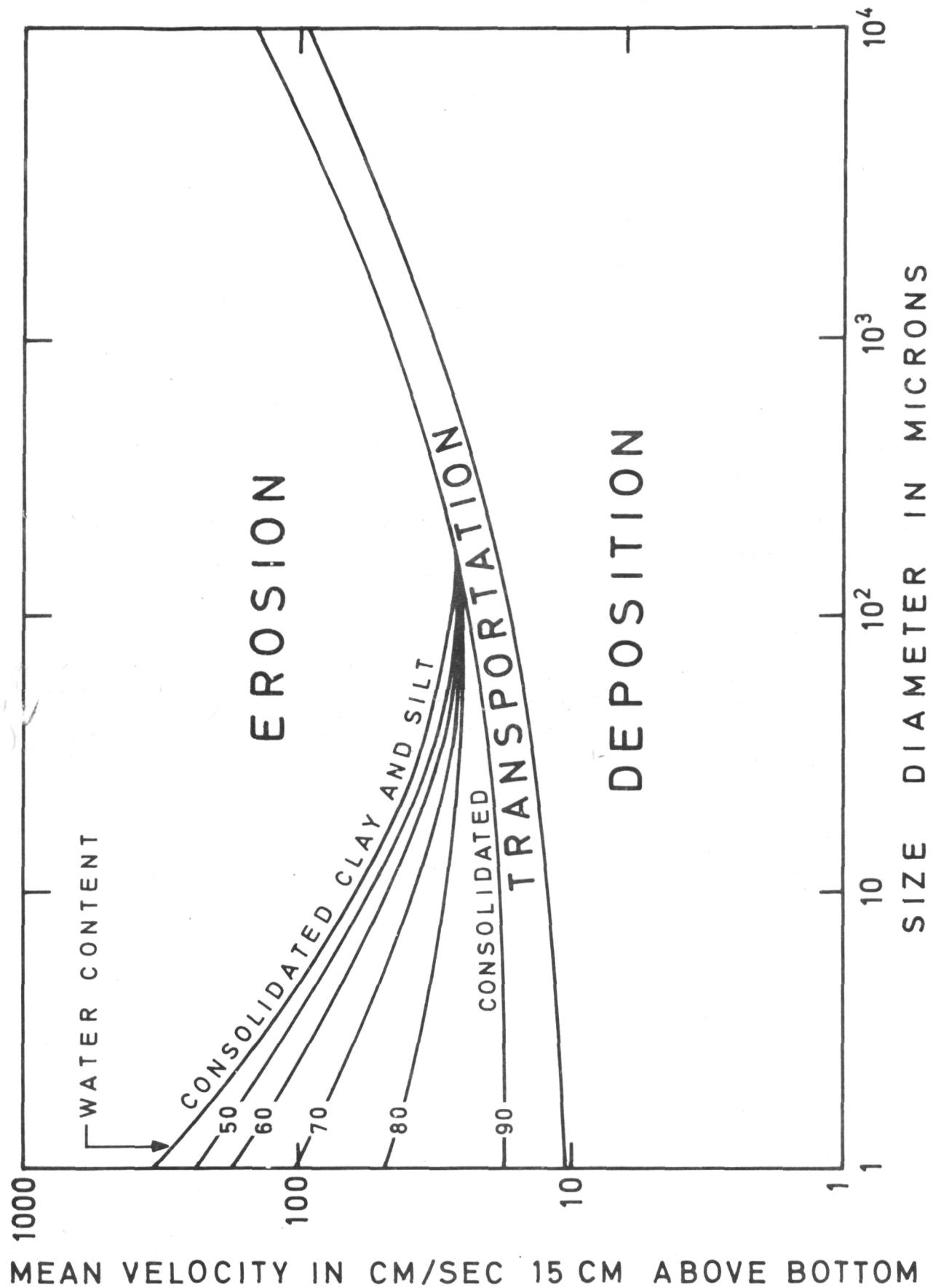


fig. 2.

mécanismes. Les hypothèses de départ sont :

- 1) la vitesse du courant est la même dans tous les points de la section transversale,
- 2) la courbe de marée est une courbe sinusoïdale symétrique en chaque point,
- 3) les marées hautes et basses sont simultanées en chaque point,
- 4) la vitesse moyenne au cours de la marée décroît linéairement de la mer vers l'amont,
- 5) l'amplitude de marée est constante.

Dans ces hypothèses, les courbes représentées à la figure 3 montrent la relation entre la vitesse et la distance en différents endroits de l'estuaire.

Van Straaten et Kuenen considèrent deux effets de retard :

- retard de sédimentation : après avoir atteint les conditions de dépôt, la particule solide sédimente pendant un certain temps avant de s'immobiliser sur le fond (*settling lag*),
- retard de l'érosion : il est dû à la différence entre la vitesse d'érosion et la vitesse de dépôt.

Nous n'expliquerons ici que le retard de sédimentation (*settling lag*) en considérant que le retard à l'érosion est nul. Le mécanisme de celui-ci est d'ailleurs semblable au premier. Supposons la vitesse d'érosion et le dépôt égal à  $V_1$ . Une masse d'eau à l'étale de marée basse en A (fig. 3) se met en mouvement vers l'amont. En 1 elle atteint la vitesse  $V_1$  et érode une particule solide qu'elle transporte jusqu'en 3, où la vitesse descend en dessous de  $V_1$ . La particule sédimente en continuant vers l'amont et s'immobilise en 5. La masse d'eau continue jusqu'en A' (étale de marée haute). Au jusant, l'eau atteint le point 5 avec une vitesse inférieure à  $V_1$ , trop faible pour éroder. La particule solide qui s'y trouve doit attendre que l'eau venant de B' (en amont de A') l'atteigne avec une vitesse  $V_1$  pour être à nouveau érodée et transportée vers le point 7. A cause du retard de sédimentation, la particule s'immobilise en 9, et ainsi de suite. Nous voyons donc que la particule remonte l'estuaire jusqu'au point X. En amont de ce point, la vitesse de l'eau est toujours inférieure à la vitesse d'érosion. Le transport n'y est donc plus possible.

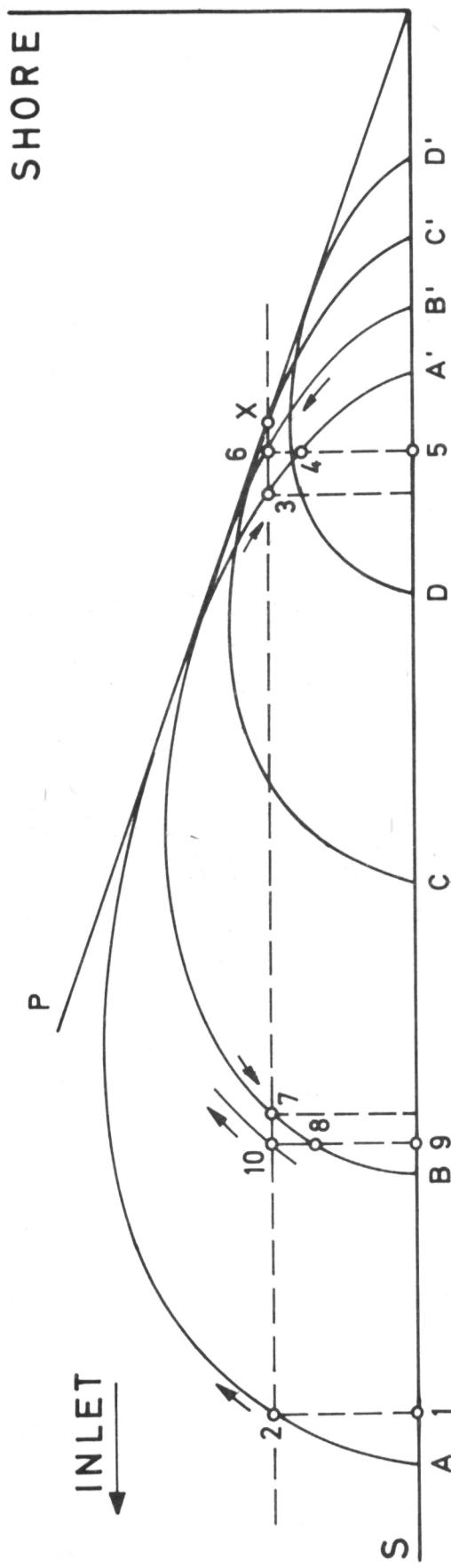


fig. 3.

Un tel mécanisme de transport solide est possible dans l'Escaut et ses affluents en amont d'Anvers, bien que les conditions hydrauliques s'éloignent de certaines hypothèses de départ.

- Transport en suspension

Les particules solides les plus fines qui restent en suspension accompagnent l'eau et sont évacuées avec une vitesse théoriquement égale à la vitesse résultante décrite plus haut (2.1.a, débit d'amont).

2.2.- Estuaire homogène verticalement

La seule différence avec le cas que nous venons de décrire est la présence d'un gradient de salinité horizontal. Il est important dans ce cas de connaître la nature et l'origine des sédiments et des suspensions. L'origine peut être multiple : érosion du sédiment du lit du fleuve, apport par érosion des terres, apport à partir de la mer, apports industriels ou domestiques, néoformation.

Le gradient horizontal de salinité peut provoquer, soit la flocculation des sédiments venant d'une source d'amont (par exemple : érosion des terres, apports domestiques), soit la déflocculation des sédiments venant d'aval (par exemple : sédiments d'origine marine). Le phénomène de flocculation modifie le comportement hydraulique de certains sédiments tels que les vases.

a) Les mouvements de l'eau

Les mouvements de l'eau sont ceux décrits plus haut (2.1.a).

b) Mécanismes de transport de sédiments

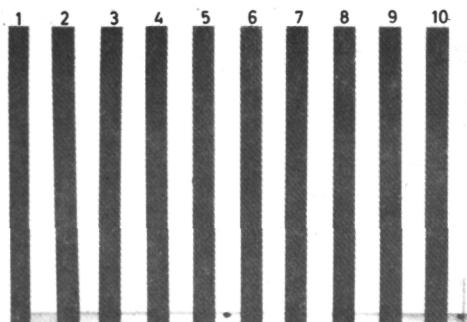
Aux mécanismes décrits au cas 1, il faut ajouter les phénomènes de flocculation et de déflocculation.

Wollast (1967-1968) a démontré que les suspensions de l'Escaut floquaient lorsque la salinité dépassait 1 % (fig. 4). Cette flocculation augmente jusqu'à une salinité de 5 %, valeur pour laquelle elle est totale. Il avait aussi constaté que la vitesse de chute des flocons était fortement augmentée.

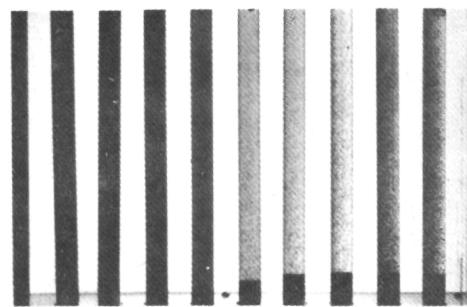
Whitehouse *et al* (1960) ont étudié la flocculation des argiles (fig. 5). Il est remarquable de constater que les trois argiles qui flocculent rapidement (illites, kaolinites et chlorites) se retrouvent dans

Echantillon  
Sample nr.

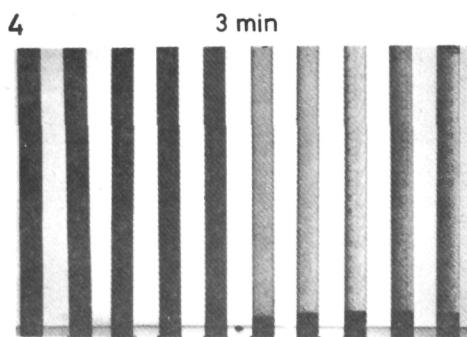
fig. 4.



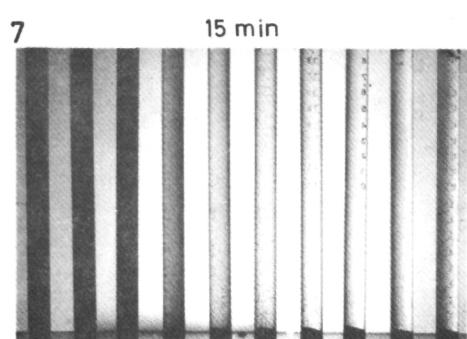
1 15 sec



2 1 min

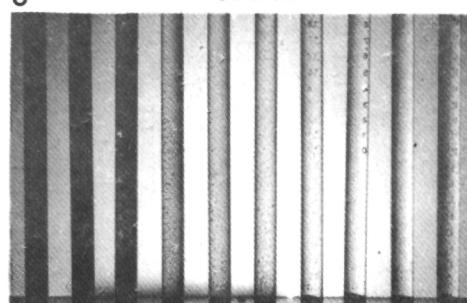


4 3 min



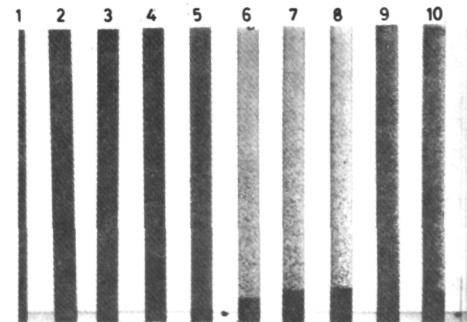
7 15 min

8 30 min

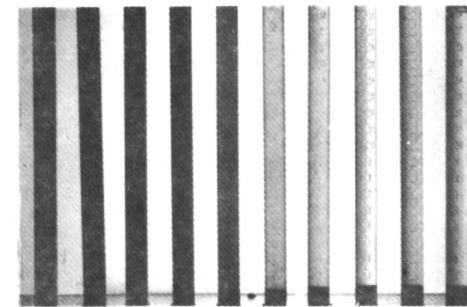


10 1h55

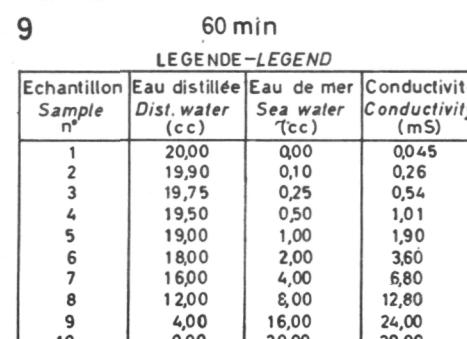
11 16h30



3 2 min



6 9 min



9 60 min

LEGENDE—LEGEND

Echantillon Sample n°	Eau distillée Dist. water (cc)	Eau de mer Sea water (cc)	Conductivité Conductivity (mS)
1	20,00	0,00	0,045
2	19,90	0,10	0,26
3	19,75	0,25	0,54
4	19,50	0,50	1,01
5	19,00	1,00	1,90
6	18,00	2,00	3,60
7	16,00	4,00	6,80
8	12,00	8,00	12,80
9	4,00	16,00	24,00
10	0,00	20,00	29,00

# CHLORINITY %

- 275 -

2 4 6 8 10 12 14 16 18

26° C

pH = 7,2 - 8,8

2g CLAY/LITER

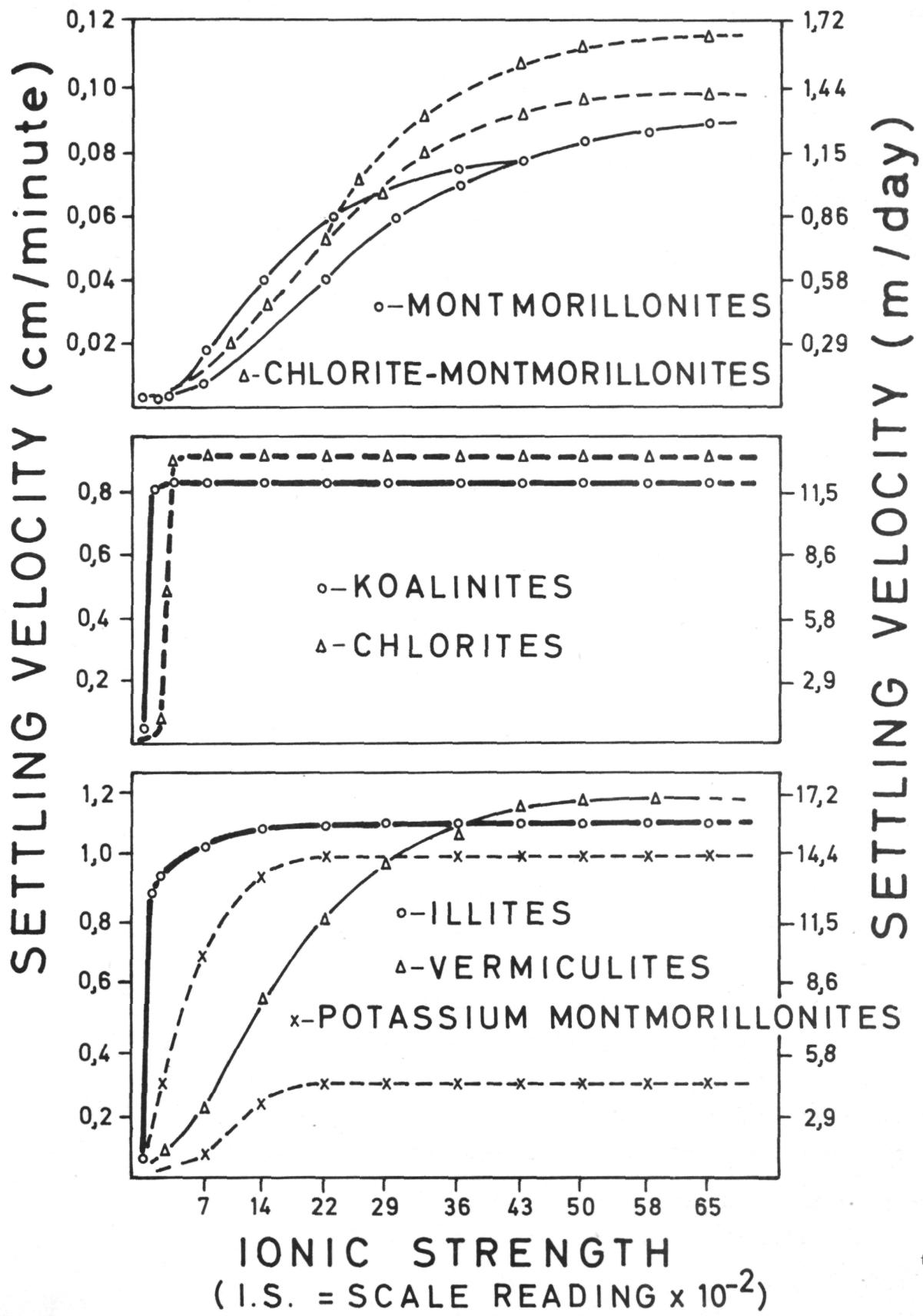


fig. 5.

les suspensions de l'Escaut, ce qui confirme les observations. La matière organique joue également un grand rôle dans la flocculation des suspensions.

Les suspensions fines, qui dans le cas d'un estuaire à salinité homogène verticalement et horizontalement, sont évacuées vers la mer, seront, dans le cas d'un estuaire homogène verticalement mais avec un gradient horizontal, arrêtées partiellement à l'endroit où la salinité passe de 1 % à 5 %. Cette limite se déplace longitudinalement suivant le débit d'amont. Pour l'Escaut, nous l'avons représentée à la figure 6 pour un débit d'amont élevé et un débit d'amont faible.

Ce phénomène de flocculation est en partie responsable de l'apparition dans certains estuaires de vastes étendues de dépôts vaseux.

### 2.3.- Estuaire stratifié avec mélange vertical

Dans cet estuaire, l'eau douce se mélange à l'eau salée par diffusion turbulente. Des gradients de salinité longitudinaux transversaux et verticaux déterminent des circulations très particulières qui influencent fortement les transports solides.

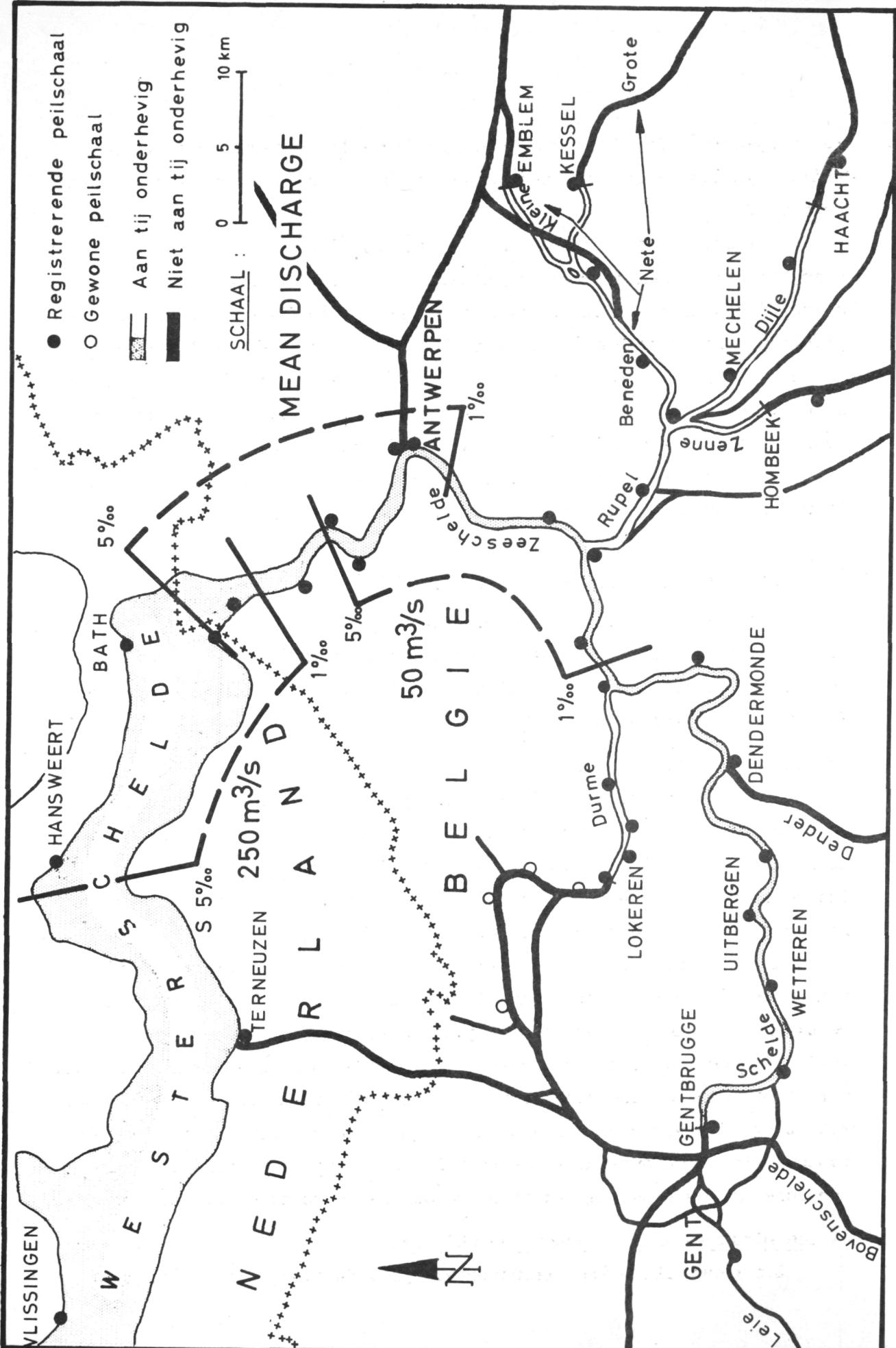
#### a) Les mouvements de l'eau

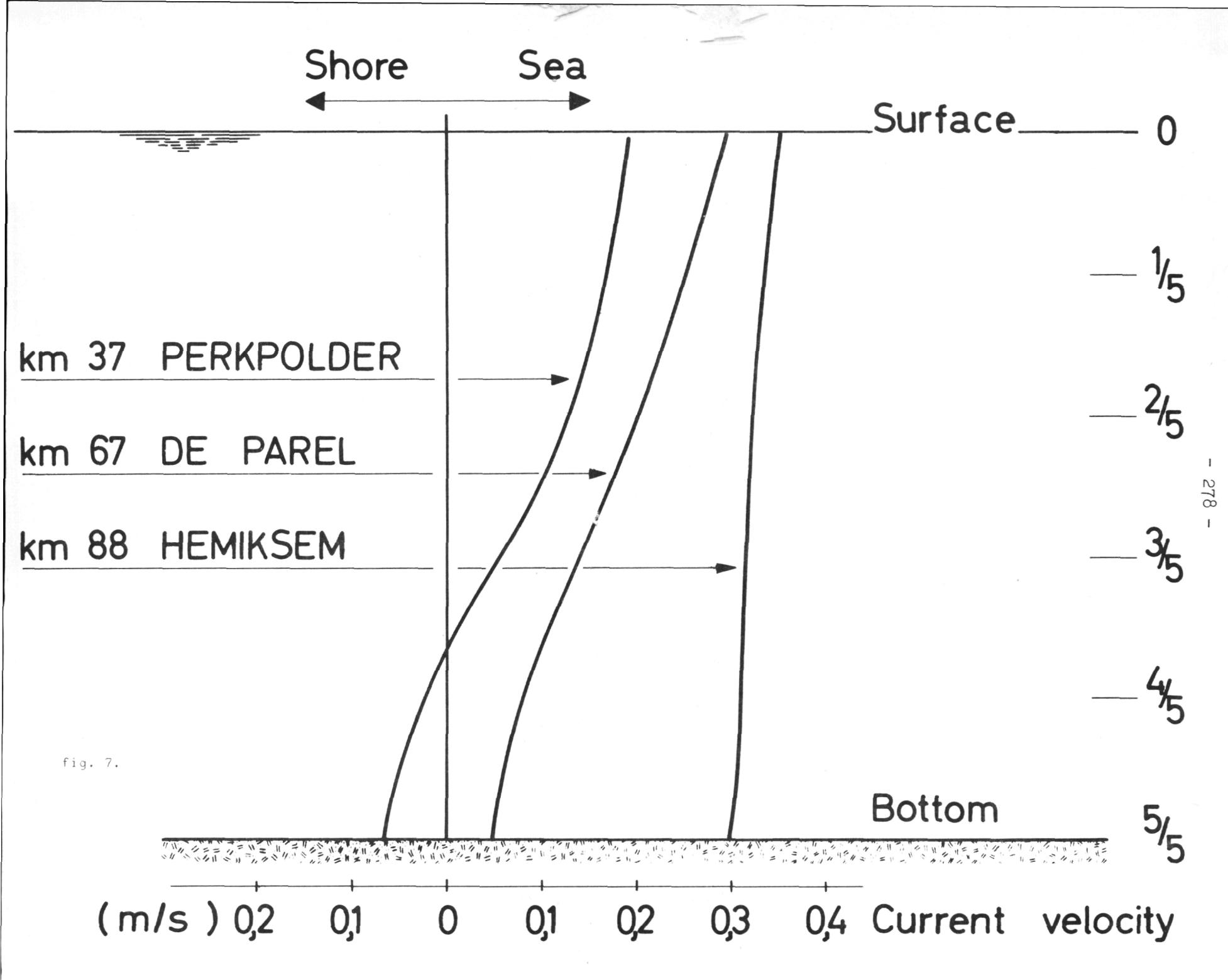
Les courants de densité provoqués par les gradients de salinité verticaux ont surtout comme effet près du fond de freiner les courants de jusant et d'accélérer les courants de flot. En surface, par contre, les courants de jusant sont accélérés et les courants de flot retardés. La figure 7 illustre ce phénomène.

Il en résulte que les vitesses résultantes sur un profil vertical sont affectées par ces gradients de densité. En surface, les vitesses résultantes augmentent et sont toujours dirigées vers la mer. Près du fond, par contre, le contre-courant d'eau salée provoqué par la diffusion turbulente sera marqué dans la partie aval de l'estuaire par une vitesse résultante dirigée vers l'amont, alors qu'à l'amont les vitesses résultantes seront toujours dirigées vers l'aval. Entre les deux, est située une zone de courants résultants nuls dans les couches profondes.

#### b) Les mécanismes de transport de sédiments

Les particules fines transportées près du fond et qui pénètrent





dans la zone à courants de densité y sont retenues et finissent par y sédimenter. Les particules fines, transportées dans les couches supérieures, continuent leur mouvement vers la mer pour autant qu'elles ne sédimentent pas vers les couches inférieures. Une telle sédimentation peut être provoquée par la floculation au contact de l'eau salée.

Schultz et Simons (1957) ont expliqué de cette façon les envasements de plusieurs estuaires. Il est évident que la répartition des vitesses résultantes sur une verticale ne représente pas la distribution des débits, puisqu'il n'est pas tenu compte des surfaces des sections. Cependant, le profil de vitesses résultantes indique la direction et le degré de prédominance du courant de la surface au fond sur la verticale.

### 3.- Les mesures dans l'estuaire de l'Escaut et leur signification

Nous ne discuterons que des mesures de vitesse, de salinité et de turbidité. Les mesures de température sont très intéressantes, mais leur interprétation est plus délicate.

Nous commencerons par démontrer que l'estuaire de l'Escaut est stratifié avec un bon mélange de l'eau douce et de l'eau salée. Ensuite, nous analyserons les transports solides.

#### 3.1.- Stratification dans l'estuaire de l'Escaut

##### a) Salinité

Le profil en long de salinité dans l'Escaut représenté à la figure 8 est typique des estuaires à bon mélange et des estuaires homogènes. Les profils verticaux indiquent, principalement entre Anvers et Hansweert, des gradients de salinité verticaux, typiques des estuaires stratifiés. Les différences de salinité entre les eaux de surface et au fond peuvent dépasser les 5 % à certains endroits et à certains moments de la marée, bien que généralement elles ne dépassent pas 2 % .

Transversalement, les gradients de salinité peuvent également apparaître, principalement en aval de Zandvliet où les sections transversales présentent plusieurs chenaux. Les différences de salinité entre les deux rives y sont malgré tout faibles, dépassant rarement 1 % .

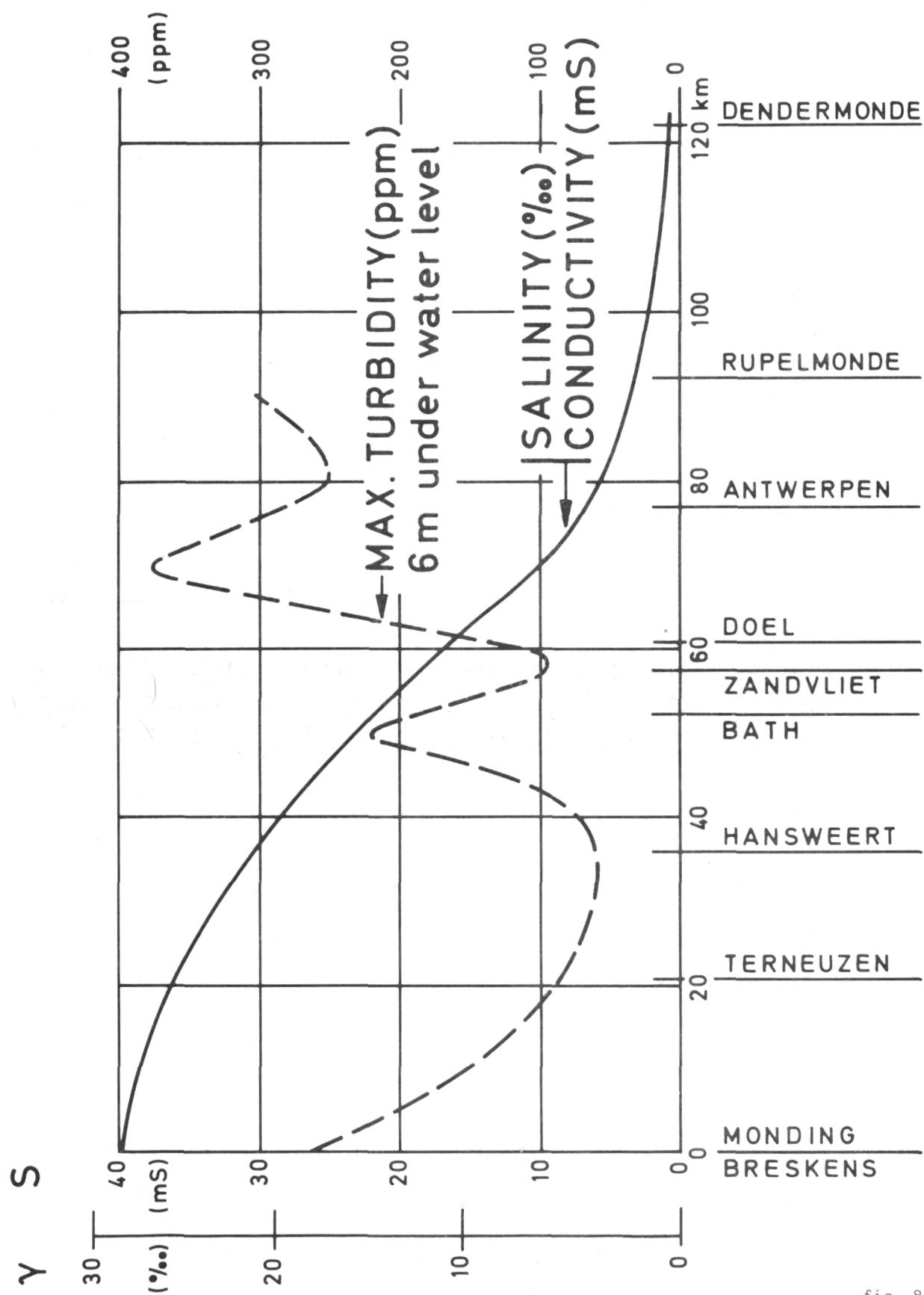


fig. 8.

b) Vitesses

Nous avons calculé pour différents points de mesure les vitesses résultantes sur un profil vertical. La stratification verticale des eaux due aux gradients de salinité s'y marque parfaitement en aval d'Anvers (fig. 7).

Les vitesses résultantes près du fond décroissent rapidement à partir du Rupel et voisinent zéro près du Fort Sainte-Marie, dix kilomètres en aval d'Anvers. A partir de Doel, ces vitesses résultantes changent de sens mais les valeurs restent faibles.

Les mesures de vitesses et de salinité indiquent donc une très nette stratification dans l'estuaire de l'Escaut. Les courants de densité sont bien marqués en aval d'Anvers.

Les mesures de juillet, avec flotteurs de surface, pourront, après dépouillement, nous confirmer l'effet des courants de densité sur les écoulements en surface.

3.2.- Mécanismes de transport solide

a) Mesures sur une verticale

Les figures 9 à 15 représentent les profils de vitesse et de salinité pour différents points de mesure de 1972. Les profils de turbidité et de température n'ont pas été représentés, leur interprétation n'étant pas terminée. La différence entre les profils de vitesse au jusant et au flot en aval d'Anvers est bien visible, les courants au fond étant retardés au jusant et accélérés au flot.

A la figure 16, nous avons utilisé une autre présentation des résultats. Cette mesure a été effectuée en 1970 à Zandvliet par une équipe de notre laboratoire. L'effet des courants de densité se marque sur les isotaches (lignes d'égale vitesse) et sur les isohalines (lignes d'égale salinité), de trois heures avant jusque trois heures après marée haute. Les étales sont également influencées par le courant de densité, principalement l'étale de marée haute, le renversement de courant s'y fait en surface une demi-heure avant le renversement de courant au fond.

Les turbidités varient entre 100 et 500 mg/l avec une exception au flot et une au jusant correspondant à la remise en suspension pour une

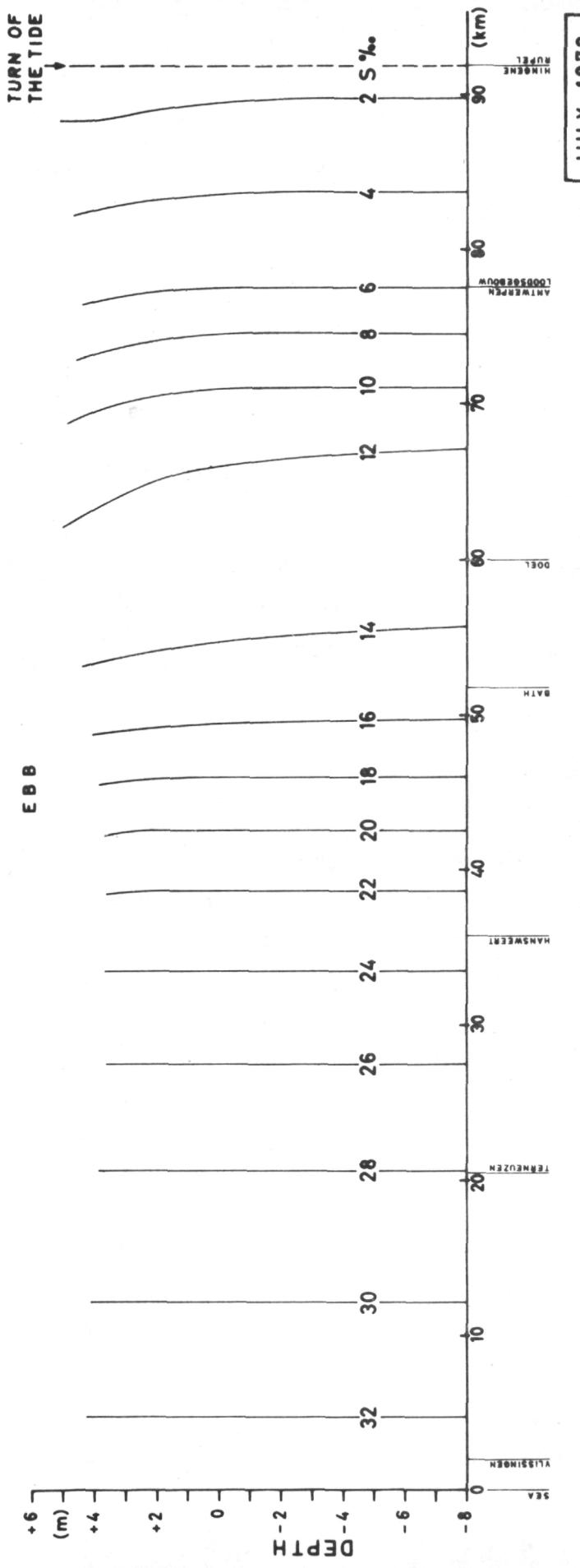


fig. 9.

# RUPELMONDING

25 - 7 - 1972

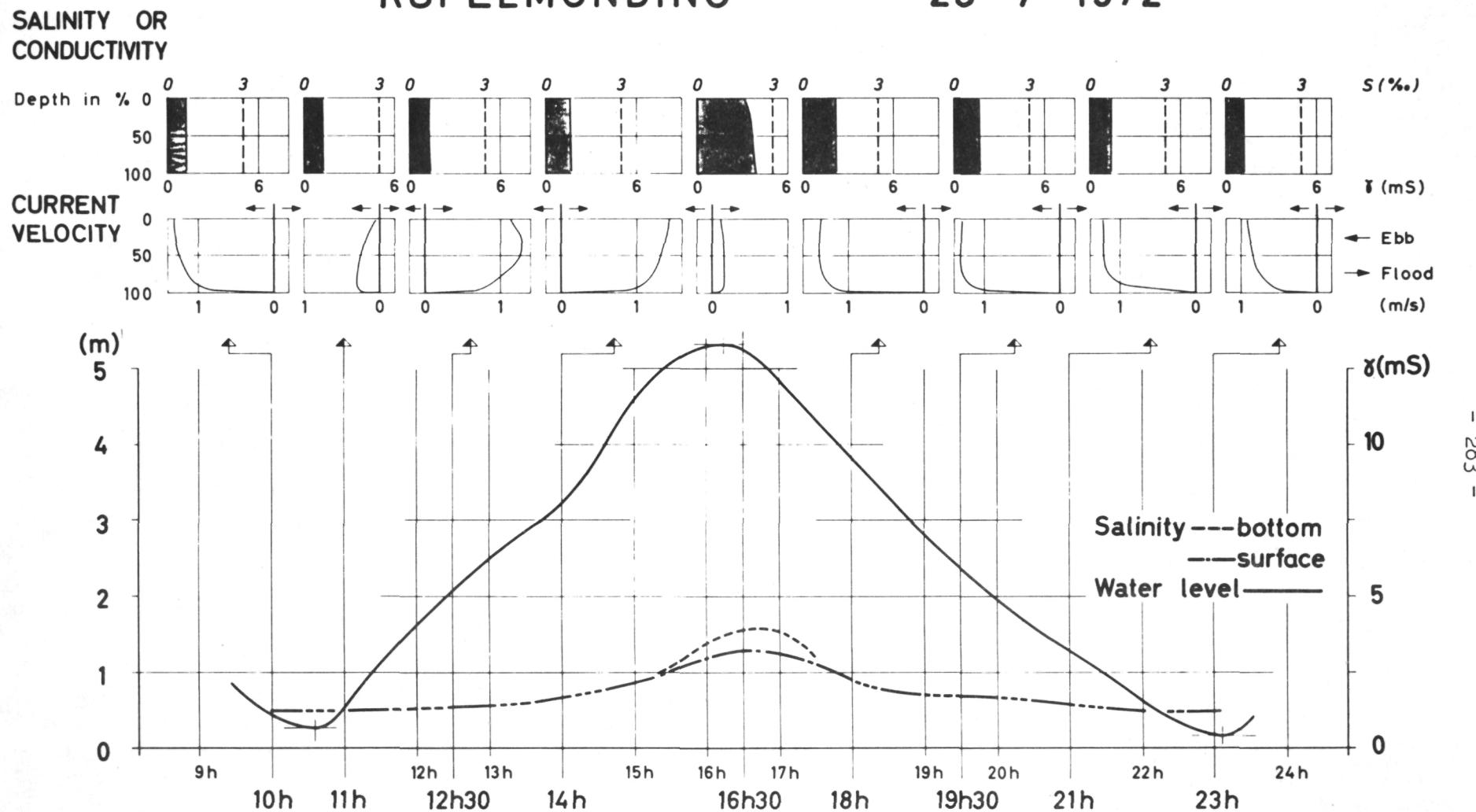


fig. 10.

# ANTWERPEN 24-7-1972

SALINITY OR  
CONDUCTIVITY

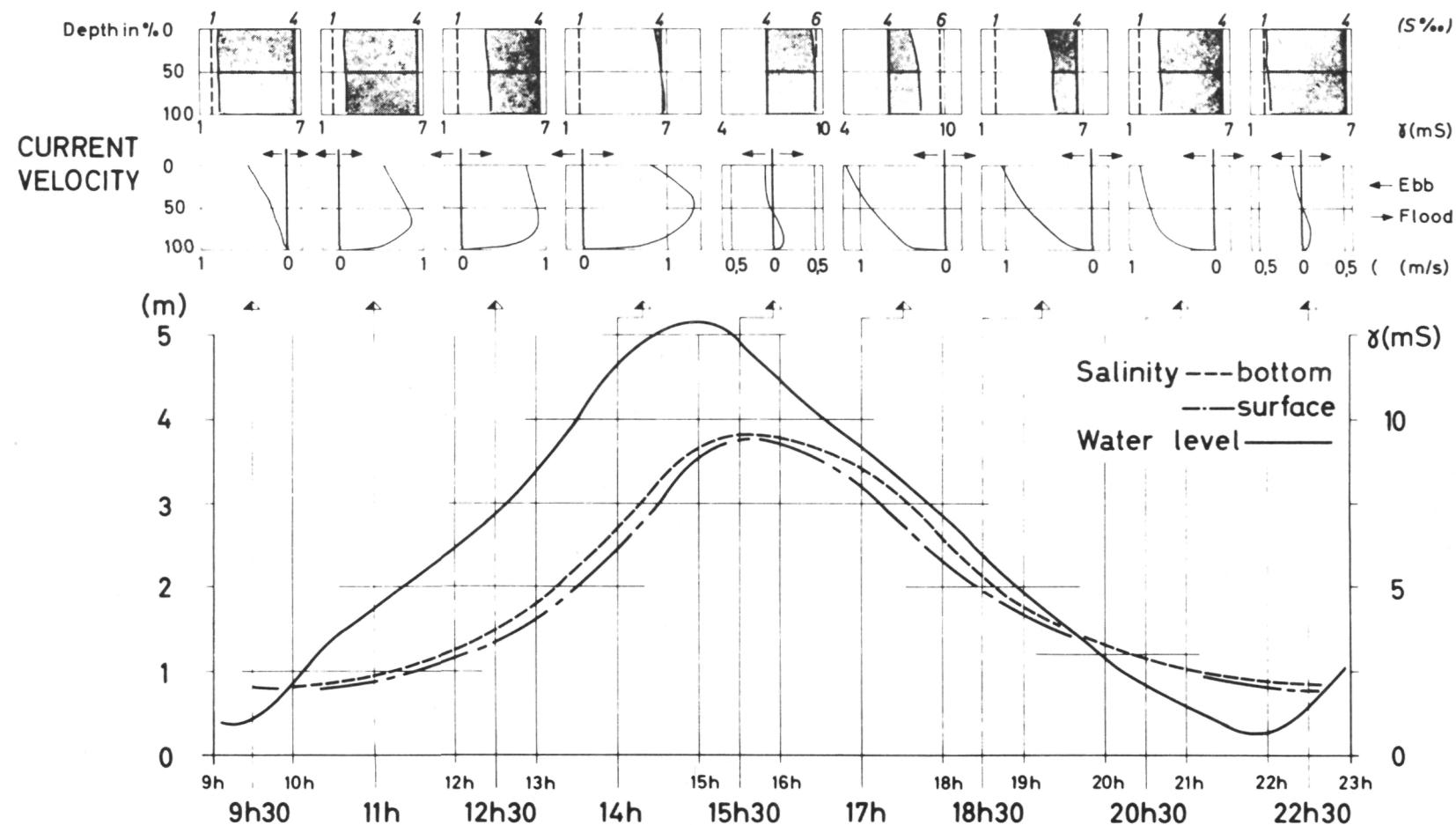


fig. 11.

DE PAREL      BUOY 94      27-7-1972

SALINITY OR  
CONDUCTIVITY

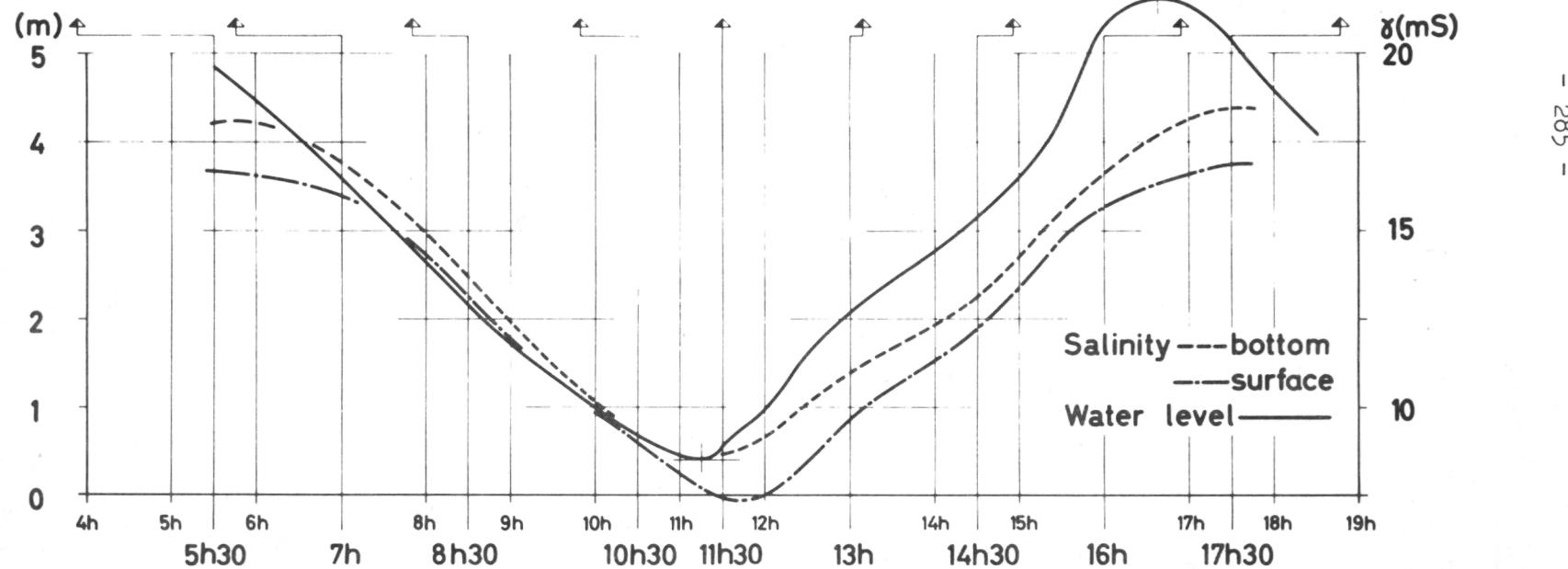
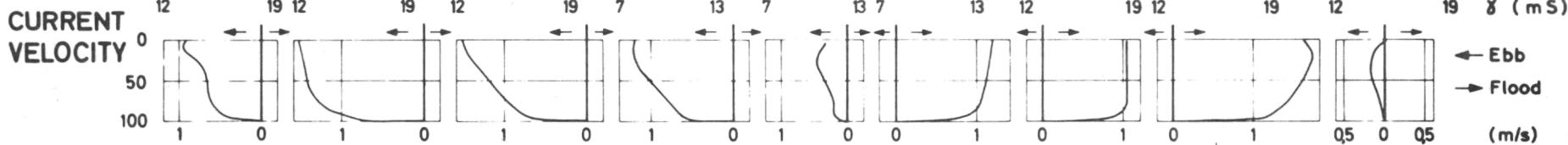
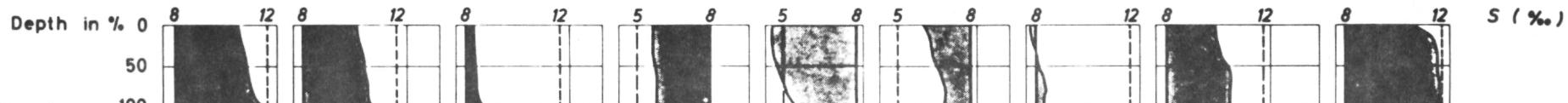


fig. 12.

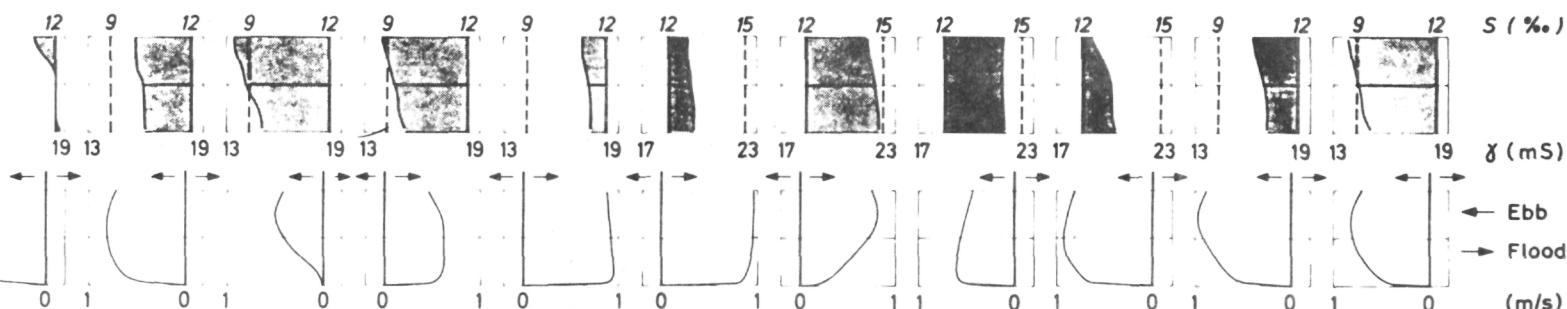
DOEL R.O.

BUOY 84

26-7-1972

SALINITY OR  
CONDUCTIVITY

Depth in % 0 9



CURRENT  
VELOCITY

Depth in % 0 50 100

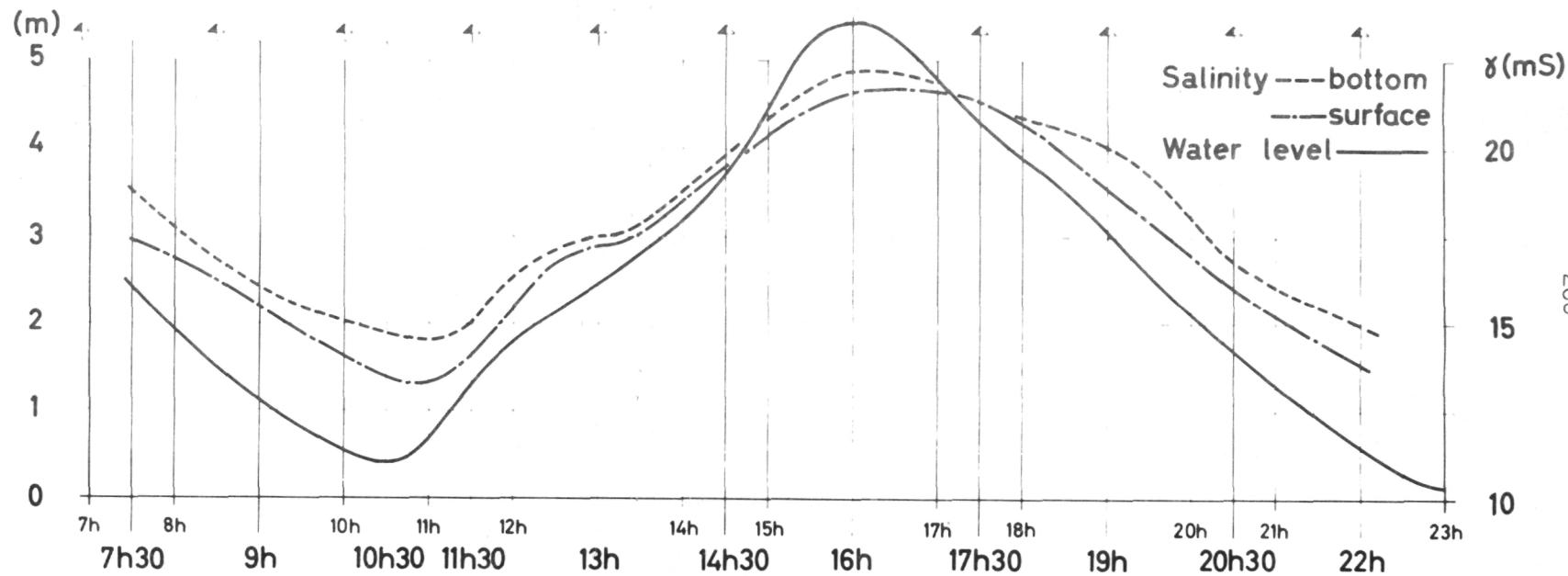
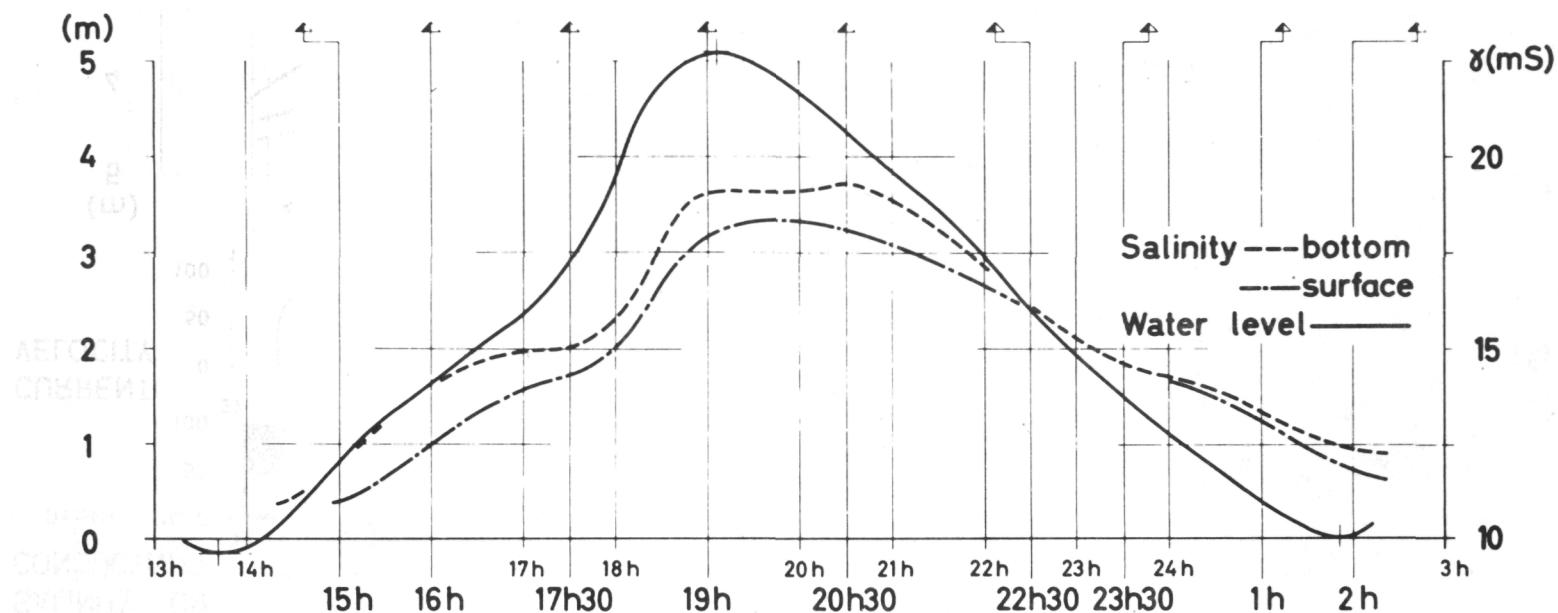
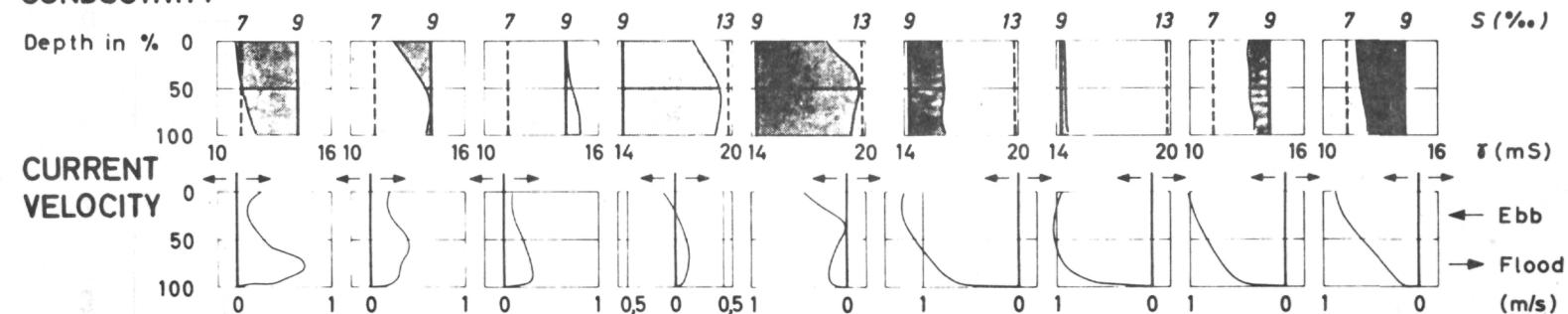


fig. 13.

DOEL L.O.

20/21-3-1972

SALINITY OR  
CONDUCTIVITY



- 287 -

fig. 14.

# PERKPOLDER

23-3-1972

SALINITY OR  
CONDUCTIVITY



CURRENT  
VELOCITY

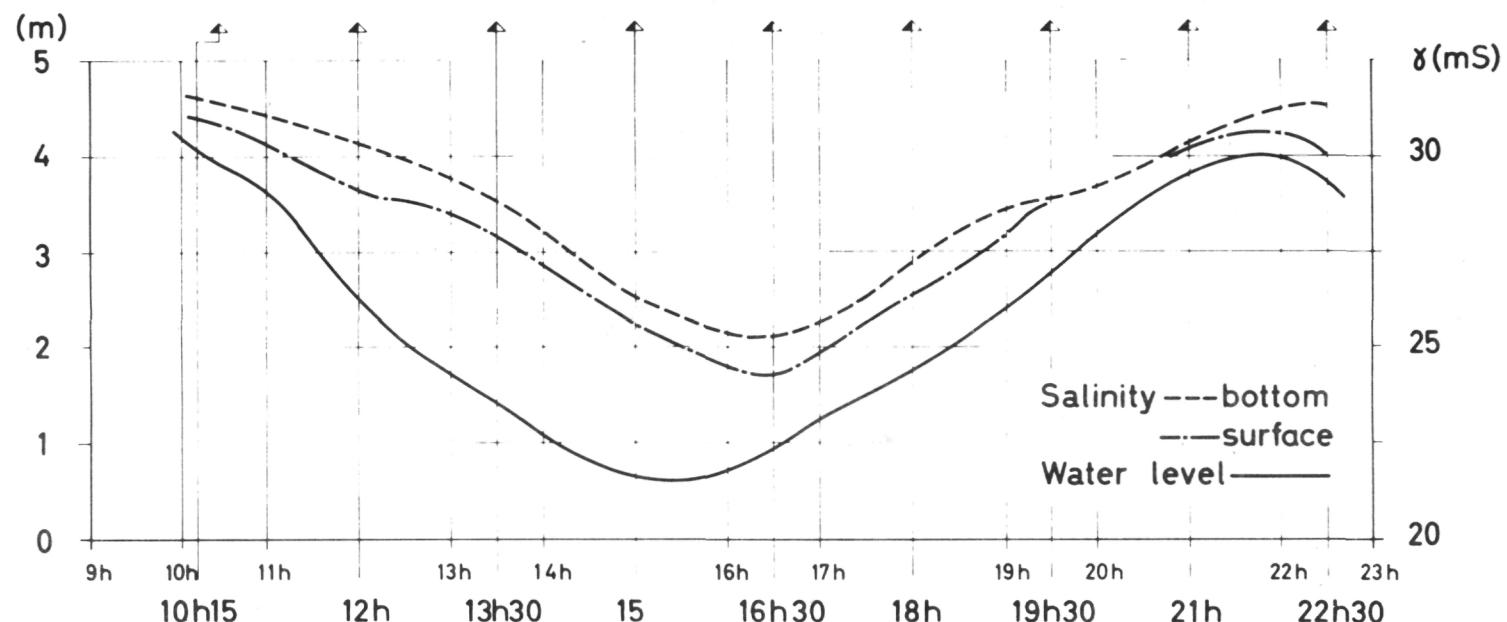
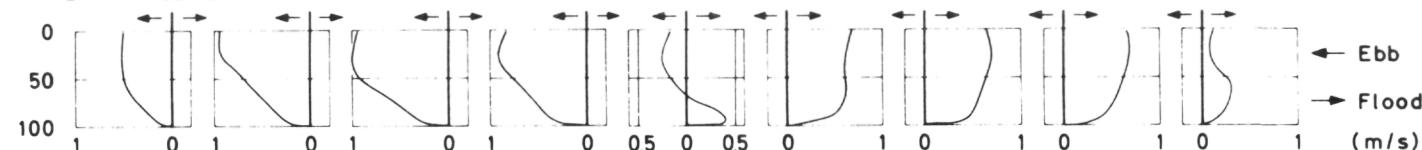
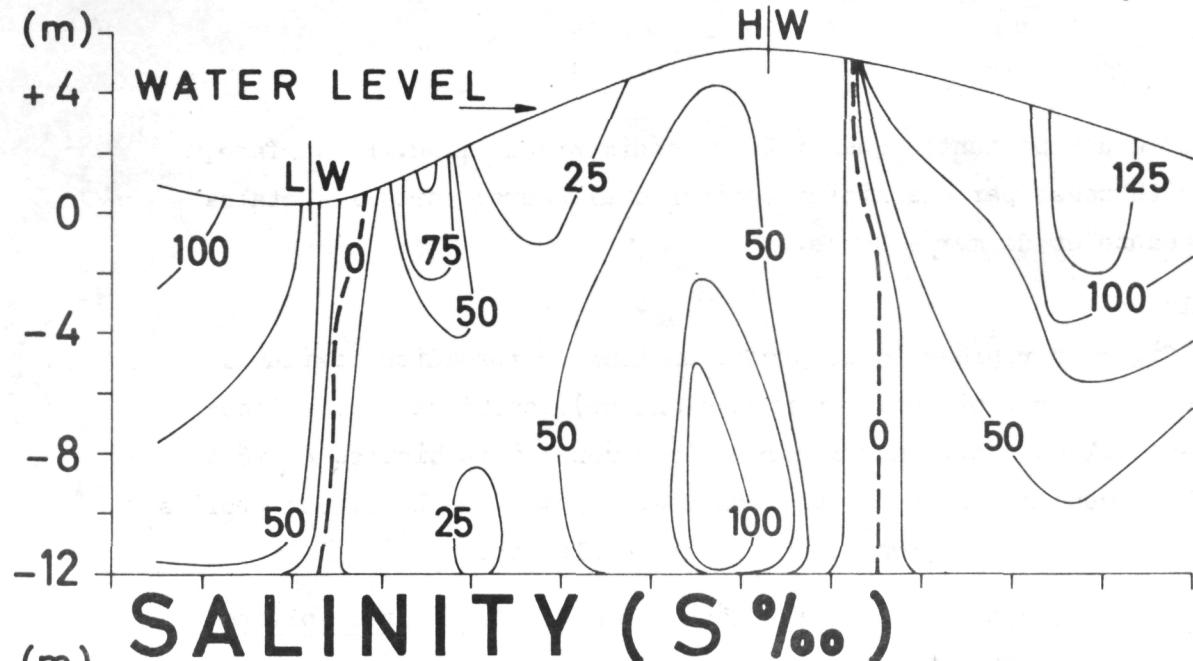
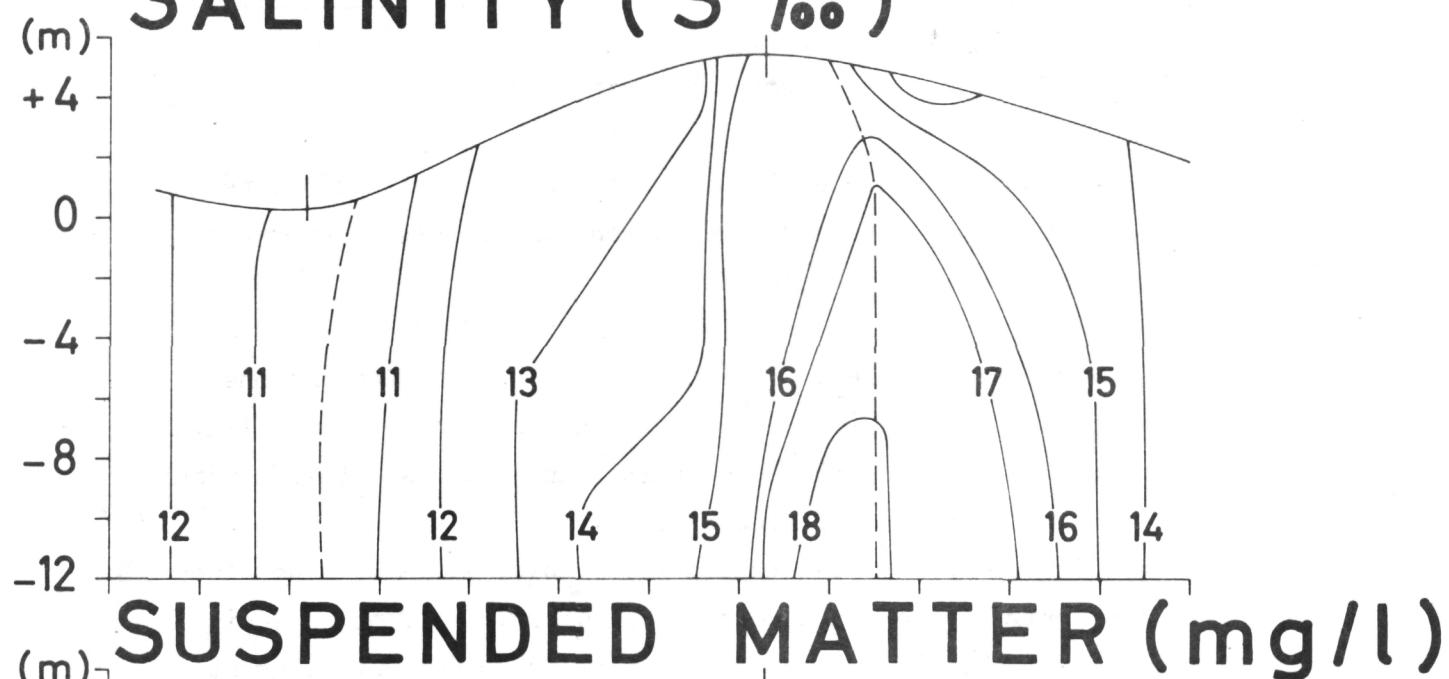


fig. 15.

# CURRENT VELOCITY (cm/s)



SALINITY ( $S\text{‰}$ )



SUSPENDED MATTER (mg/l)

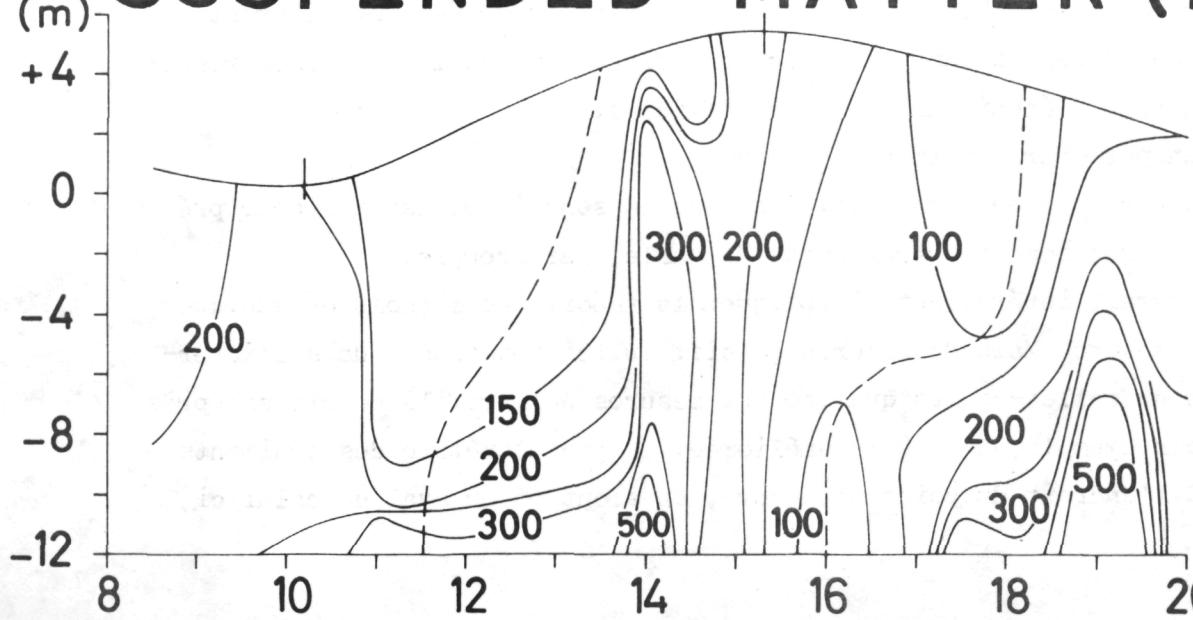


fig. 16.

courte durée d'importantes quantités de sédiments du fond. En surface, la turbidité passe par des minima environ deux heures après les étales de marée haute et de marée basse.

b) Profils en long

La figure 8 représente le profil en long de turbidité maximum à 6 m de profondeur (soit environ mi-profondeur) mesuré par notre laboratoire en juillet 1967. On y remarque deux zones à turbidités élevées, l'une à l'embouchure, l'autre, plus élevée, en amont de Bath. Les profils mesurés en 1971 et 1972 présentent la même évolution.

c) Proposition d'un modèle pour les mécanismes des transports solides dans l'estuaire de l'Escaut

La figure 17 résume les observations principales.

1) Suspensions

Les suspensions venant d'amont arrivent dans des salinités supérieures à 1 % et le processus de flocculation commence et se poursuit jusqu'à ce que la salinité atteigne 5 % .

Pour un débit d'amont faible ( $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) la zone de flocculation se situe entre l'embouchure de la Durme et le port d'Anvers. Les flocons sédimentent vers les couches inférieures et sont transportées vers l'aval où elles sont piégées dans la région du port d'Anvers, les vitesses résul- tantes au fond y étant nulles ou très faibles.

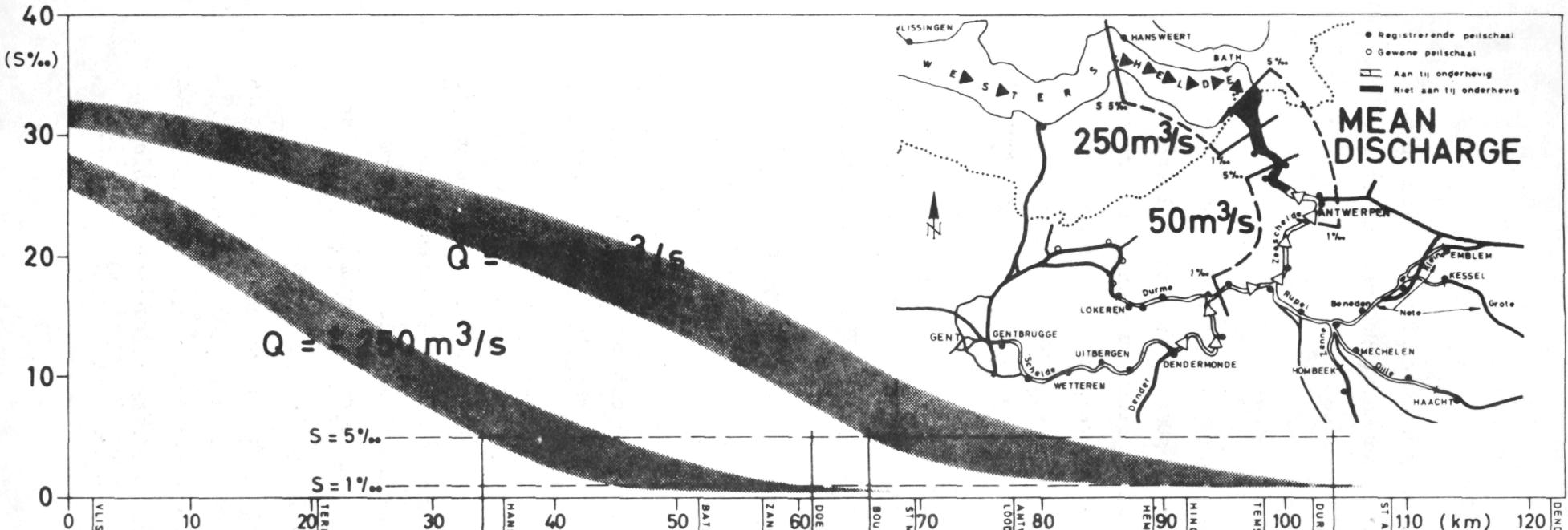
Pour un débit d'amont élevé ( $250 \text{ m}^3/\text{s}$  à Anvers), la zone de flocu- lation se situe entre le port d'Anvers et Hansweert. Les flocons sédi- mentent vers les couches inférieures et sont transportées vers l'amont où elles sont piégées dans la région du port d'Anvers, les vitesses résul- tantes au fond y étant nulles ou très faibles.

2) Transport par charriage

Pour ce type de transport, nos mesures sont insuffisantes pour pré- ciser les directions des transports de sable, par exemple.

Il serait intéressant d'appliquer la théorie de Bagnold en quelques points de mesure. Mais de nombreuses difficultés subsistent dans l'inter- prétation de celles-ci. La qualité des mesures des profils de vitesse près du fond, par exemple, doit être améliorée. La granulométrie des sédiments de fond à l'endroit du point de mesure, en amont et en aval de celui-ci,

# SALINITY



CURRENT VELOCITY  
Averaged during  
one tide

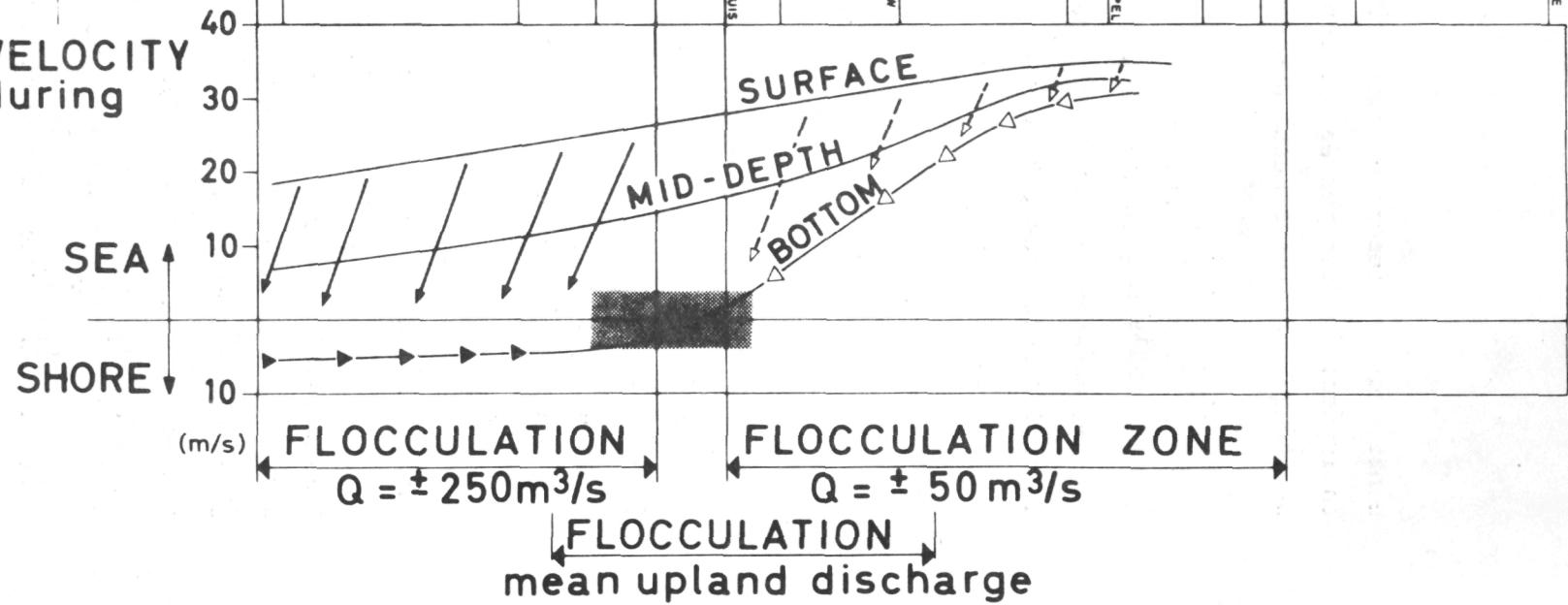


fig. 17.

ainsi que la vitesse de chute des matières en suspension devraient être analysées. Il faut tenter d'approfondir le problème des mesures de turbidité qui sont sans aucun doute les plus délicates.

#### 4.- Conclusions

Les mécanismes de transport solide en suspension sont influencés par les courants de densité. Les suspensions venant d'amont sont presque entièrement arrêtées à hauteur du port d'Anvers pour deux raisons. La première est le processus de flocculation qui se produit dès que la salinité dépasse 1 %. La seconde est que les courants de densité provoquent une zone de courants résultants nuls pour les couches profondes à hauteur du port d'Anvers. Les suspensions les plus fines qui restent dans les couches supérieures sont évacuées vers la mer plus rapidement du fait de la stratification. Tout se passe donc comme s'il y avait un piège à vase entre Bath et Anvers.

Les courants de densité peuvent également être responsables d'un transport de suspensions d'origine marine vers l'amont dans les couches profondes de l'estuaire.

Un transport de sédiments vers l'amont dans le cours supérieur de l'estuaire (en amont de l'embouchure du Rupel) est possible à cause des effets de retard de sédimentation ou d'érosion décrits par Van Straaten et Kuenen.

L'application de la méthode de Bagnold pour le calcul des capacités de transport du fleuve nécessite la connaissance assez précise des profils de vitesse près du fond ainsi que des granulométries et vitesses de chute des sédiments. Ce programme est actuellement réalisable et doit permettre de préciser les mécanismes de transport solide dans l'estuaire de l'Escaut dans des délais raisonnables.

#### Références

BAGNOLD (R.A.), (1966). *An approach to the sediment transport problem from general physics*, Geological Survey, Professional Paper 422-1 US GPO.

- BOWDEN (K.F.), (1967). *Circulation and diffusion*, in *Estuaries*, American Association for the Advancement of Science, Publ. n° 83, Washington D.C.
- CODDE (R.), (1958). Het verloop van het zoutgehalte in de Zeeschelde, *Revue Génie Civil-Construction*, Vol. I, n° 6.
- HANSEN (D.V.), (1967). *Salt balance and circulation in partially mixed estuaries*, in *Estuaries*, American Association for the Advancement of Science, Publ. n° 83, Washington D.C.
- POSTMA (H.), (1967). *Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment*, in *Estuaries*, American Association for the Advancement of Science, Publ. n° 83, Washington D.C.
- PRITCHARD (D.W.), (1967). *Observations of circulation in coastal plain estuaries*, in *Estuaries*, American Association for the Advancement of Science, Publ. n° 83, Washington D.C.
- PETERS (J.J.), (1965 et 1967). *Les sédiments et suspensions de l'Escaut*, Rapports du Laboratoire de Recherches Hydrauliques, Borgerhout.
- PETERS (J.J.), (1971). *La dynamique des transports solides de la région divagante du bief maritime du fleuve Zaïre*, Rapport du Laboratoire de Recherches Hydrauliques, Borgerhout.
- SANTEMA (P.), (1953). Coagulatie van rivierslib bij ontmoeting met zeewater, *De Ingenieur*, n° 16.
- SCHULTZ (E.A.) et SIMONS (H.B.), (1957). *Fresh water-salt water density currents, a major cause of siltation in estuaries*, Communication au XIXe Congrès International de Navigation, Londres.
- VAN STRAATEN (L.) et KUENEN (Ph.), (1958). Tidal action as a cause for clay accumulation, *J. Sediment. Petrol.*, 28.
- VAN STRAATEN (L.) et KUENEN (Ph.), (1957). Accumulation of fine-grained sediments in the Dutch Wadden Sea, *Geol. Mynbouwk*, 19.
- WOLLAST (R.), (1967-1968). Contribution à l'étude de l'envasement de l'Escaut, Rapport interne, Laboratoire de Chimie des Solides, U.L.B.
- WHITEHOUSE (U.) et al., (1960). Differential settling tendencies of clay minerals in saline waters, in *Proc. 7th Natl. Conf. Clays-Clay Minerals*.