MINISTERIE VAN DE VLAAMSE GEMEENSCHAP
DEPARTEMENT LEEFMILIEU EN INFRASTRUCTUUR
ADMINISTRATIE WATERWEGEN EN ZEEWEZEN
AFDELING MARITIEME SCHELDE

STUDIE VAN DE LANGDURIGE MEETREEKSEN IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE

Frederic Francken & Stanislas Wartel

Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen
Beheer van het Mariene Ecosysteem
Sedimentologie
Vautierstraat 29, 1000 Brussel
augustus 2001

MINISTERIE VAN DE VLAAMSE GEMEENSCHAP
DEPARTEMENT LEEFMILIEU EN INFRASTRUCTUUR
ADMINISTRATIE WATERWEGEN EN ZEEWEZEN
AFDELING MARITIEME SCHELDE

STUDIE VAN DE LANGDURIGE MEETREEKSEN IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE

Frederic Francken & Stanislas Wartel

Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen
Beheer van het Mariene Ecosysteem
Sedimentologie
Vautierstraat 29, 1000 Brussel
augustus 2001

DANKWOORD

De auteurs bedanken de **Afdeling Maritieme Schelde** van het **Ministerie van het Vlaams Gewest, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie van Waterwegen en Zeewezen** voor het ter beschikking stellen van de meetgegevens ter hoogte van de registrerende peilschalen van Oosterweel en Zandvliet.

Speciale dank gaat uit naar de **Beheerseenheid Mathematisch Model Noordzee** voor het ter beschikking stellen van het onderzoeksschip "**BELGICA**", alsook naar de commandant en de bemanning van het onderzoeksschip "**BELGICA**".

Verder werkten aan deze studie mee:

Patrick SCHOTTE

Margaret CHEN

Cristina SALINAS

Paula TAGLE-SAAD

Luc CORNAND

Jan TAVERNIER

Alfons DRUYTS

Annick LAUS

STUDIE VAN DE LANGDURIGE MEETREEKSEN IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE

1. Het gebied

In de Beneden-Zeeschelde wordt door de afdeling Maritieme Schelde, ter hoogte van de registrerende peilschalen van Oosterweel en Zandvliet (Prosperpolder), de troebelheid continu gemeten. Dit rapport vergelijkt deze continue metingen met simultaan uitgevoerde metingen aan boord van een meetschip.

In een eerste deel wordt een gedetailleerde bespreking gegeven van de stroom- en sedimentmetingen afkomstig van 3 meetgebieden in de Beneden-Zeeschelde. De meest stroomopwaarts gelegen meetpunten bevinden zich ter hoogte van Oosterweel, de meest stroomafwaartse ter hoogte van Zandvliet. Tussenin bevinden zich de meetpunten ter hoogte van Fort De Parel. Een overzicht van de ligging van deze meetpunten en de registrerende peilschalen wordt gegeven in figuur 1.

Het tweede deel handelt over de vergelijking tussen de continue metingen en de metingen aan boord van het meetschip zelf en gaat enkele factoren na die de variatie in de concentratie aan zwevende stof kunnen beïnvloeden.

2. Het tijdskader

De metingen werden uitgevoerd tijdens 6 campagnes verspreid over de periode 1995-1998. De campagnes concentreerden zich in het voorjaar in de periode maart tot mei en in het najaar tijdens de maanden oktober en november. Elk meetpunt werd in principe gedurende 12 uur bemonsterd, zoals is weergegeven in de overzichtstabel, tabel 1. Hierin staan de volgnummers, de stationnummers, de locaties, de datums en tijdstippen van de aanvang van de metingen en ernaast de datums en tijdstippen van het beëindigen van de metingen.

3. Methodologie

3.1 Bemonstering

De metingen werden uitgevoerd aan boord van het oceanografisch meetschip "BELGICA" en werden zo georganiseerd dat elk meetpunt gedurende 12 uren werd bemonsterd te beginnen vanaf kentering laagwater of kentering hoogwater. Tijdens deze 12-uursmetingen bleef het meetschip zo stationair mogelijk liggen op een positie die zich links of rechts van de hoofdgeul bevond. Na 12 uur één bepaald punt bemonsterd te hebben werd er in hoofdregel een positie aan de overkant van de vaargeul bemonsterd. Zo kon in 24 uur een overzicht van een dwarssectie met een meetpunt aan beide oevers verkregen worden.

Nr.	Station	Locatie	Datum Start		Datum Stop	
1	95B15	Oosterweel R	21/11/1995	10:10	21/11/1995	20:20
2	95B14	Oosterweel L	21/11/1995	22:30	23/11/1995	8:15
3	95B12	Zandvliet R	22/11/1995	11:00	22/11/1995	23:00
4	95B13	Zandvliet L	23/11/1995	0:00	23/11/1995	11:00
5	96B07	Oosterweel R	28/05/1996	***20:30***	29/05/1996	***7:45***
6	96B08	Oosterweel L	29/05/1996	***8:30***	29/05/1996	***20:20***
7	96B09	De Parel R	29/05/1996	***21:30***	30/05/1996	***8:45***
8	96B10	De Parel L	30/05/1996	***9:30***	30/05/1996	***20:00***
9	96B12	Zandvliet L	30/05/1996	***21:30***	31/05/1996	***8:00***
10	96B42	Zandvliet L	29/10/1996	18:20	30/10/1996	5:45
11	96B41	Zandvliet R	30/10/1996	7:00	30/10/1996	16:30
12	97B04	Oosterweel R	5/03/1997	0:45	5/03/1997	12:15
13	97B05	Oosterweel L	5/03/1997	13:30	6/03/1997	0:45
14	97B07	De Parel R	6/03/1997	2:00	6/03/1997	14:00
15	97B06	De Parel L	6/03/1997	14:30	7/03/1997	2:30
16	97B50	Zandvliet L	17/11/1997	18:10	18/03/1997	5:00
17	97B51	Zandvliet R	18/11/1997	6:30	18/11/1997	18:00
18	97B52	De Parel R	18/11/1997	19:30	19/11/1997	6:30
19	97B53	De Parel L	19/11/1997	7:30	19/11/1997	18:30
20	97B54	Oosterweel L	19/11/1997	20:00	20/11/1997	7:30
21	97B55	Oosterweel R	20/11/1997	8:30	20/11/1997	19:30
22	98B29	Oosterweel L	31/03/1998	***20:00***	1/04/1998	***7:30***
23	98B30	De Parel R	1/04/1998	***8:30***	1/04/1998	***19:00***
24	98B31	Zandvliet L	1/04/1998	***20:30***	2/04/1998	***6:00***

Tabel 1: overzicht van de meetpunten. Stationnummer, locatie (L=linkerkant vaargeul, R=rechterkant vaargeul), datum en tijdstip van aanvang der bemonstering en datum en tijdstip van beëindiging van de meting zijn weergegeven (tijden zijn GMT+1). Vetjes gedrukte tijden op grijze achtergrond duiden zomertijden aan (GMT+2).

3.2 Troebelheid- en saliniteitmetingen

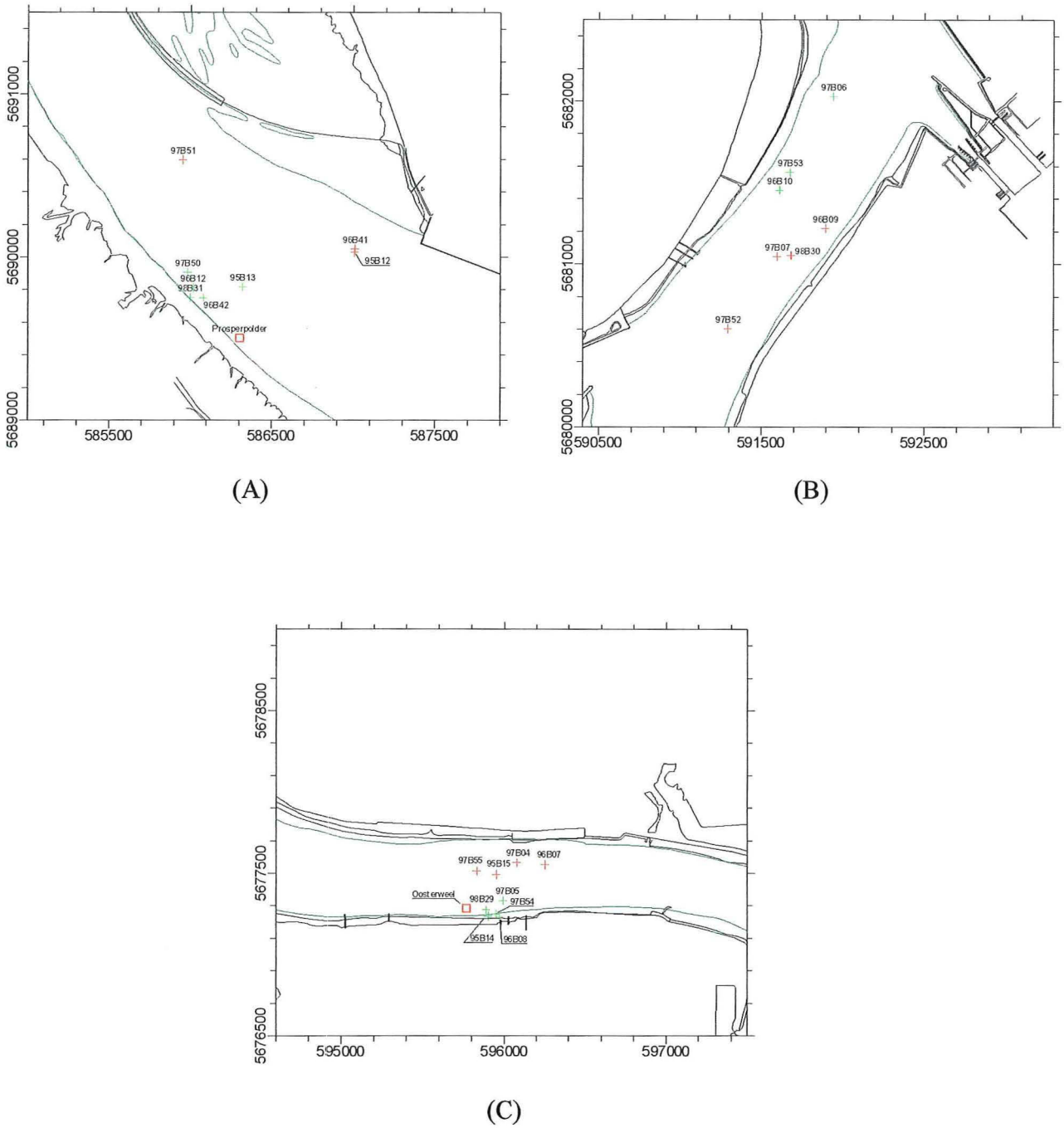
De metingen werden uitgevoerd met een Sea-Bird Electronics SEACAT 19 CTD profiler, een toestel dat, met een frequentie van 2 Hz, de conductiviteit, temperatuur en troebelheid rechtstreeks doorstuurde naar het Sea-Bird SeaSave acquisitie programma aan boord van het meetschip.

3.2.1 Troebelheid

De troebelheid werd gemeten met een D&A OBS-3 "optical backscatterence sensor". De bepaling berust op het meten van infrarood licht dat verstrooid werd onder hoeken van 140° tot 165° door deeltjes in het water. Infrarood licht wordt verkozen omdat het sterk geattenueerd wordt door water. De infrarode straling van een backscatterence sensor wordt reeds voor 98% geattenueerd door een waterlaag van 20 cm. Een gevolg is dat de invloed van zonlicht volledig uitgeschakeld wordt van zodra het toestel meer dan 20 cm onder het wateroppervlak hangt. Het bijkomend voordeel van een "backscatterence" sensor boven alle andere toestellen is dat voor deze sensor de respons op veranderingen in suspensieconcentratie lineair is. Het kalibreren van zulke toestellen gaat dan ook vrij eenvoudig.

De korrelgrootte van het materiaal in suspensie beïnvloedt echter wel de hoeveelheid licht dat teruggekaatst wordt. De oppervlakte van een massa sferische deeltjes is namelijk groter dan een gelijke massa aan grotere sferische deeltjes. Dit heeft als gevolg dat de concentratie aan gesuspendeerd sediment nodig om een bepaald signaal te verwekken voor zand tot een factor 100 groter kan zijn dan voor klei (URL: http://www.d-a-instruments.com).

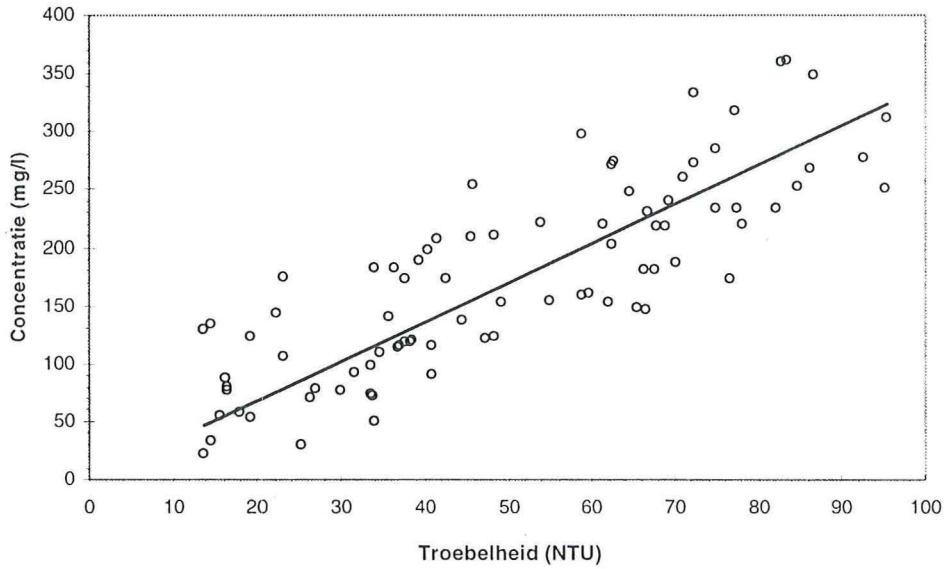
Het kalibreren van de troebelheidsmeter in de CTD profiler werd uitgevoerd door gelijktijdig met de CTD-profielmetingen waterstalen te nemen. Deze stalen werden gefilterd op 0.45 µm nitrocellulose filters (Millipore), waarvan na droging het nettogewicht werd bepaald. Voor het opstellen van de kalibratiecurve van de sensor werden in totaal 85 stalen weerhouden.



Figuur 1: positie van de meetstations: (A) Zandvliet - □: registrerende peilschaal Prosperpolder (coördinaten: 140884.57 - 226519.01), (B): Fort De Parel, (C): Oosterweel - □: registrerende peilschaal Oosterweel (coördinaten: 150123.83 - 214120.89). Groene symbolen duiden meetstations aan de linkerkant van de vaargeul, rode symbolen aan de rechterkant van de vaargeul aan.

De vergelijking wordt dan:

Concentratie (mg/l) = 3.3843 x Troebelheid (NTU) (r=0.82)



Figuur 2: *in situ* kalibratie van de D&A OBS-3 "optical backscatterence sensor" aan de hand van 85 suspensiestalen.

3.2.2 Saliniteit

De gemeten conductiviteit werd door de Sea-Bird SeaSave-software omgerekend naar "practical salinity units" (PSU). De Practical Salinity Scale (PSS-78), onderverdeeld in PSU, is gebaseerd op de verhouding van de *in situ* conductiviteit en de conductiviteit van een referentiestaal KCl, bij 15 °C en atmosferische druk (K_{15}), en is tegelijk een functie van de temperatuur. Het referentiestaal bevat een hoeveelheid van 32.4356 g KCl per massa van 1 kg oplosmiddel (Unesco 1981). De weergegeven saliniteitswaarden kunnen terug naar conductiviteit omgerekend worden (Unesco 1983).

De CTD-profiler werd om de 30 minuten van aan het oppervlak tot tegen de bodem gevierd tegen een snelheid van circa 10-20 cm/s, behalve tijdens de metingen van november 1995, waarbij de metingen om het uur werden uitgevoerd. De gegevens

van deze "downcast" werden achteraf door het ODAS verwerkt tot één gemiddelde waarde per 0.2 m over de diepte van het profiel.

3.3 Stroomsnelheid

De stroomsnelheid werd opgemeten met behulp van een NBA stroomsnelheidsmeter type DNC 3. Deze meter werd gebruikt bij alle meetcampagnes, behalve die van november 1995. De data werd met een frequentie van 0.167 Hz naar het On-line Data Acquisition System (ODAS) doorgestuurd aan boord van het meetschip. De stroomsnelheidprofielen werden om de 30 minuten opgemeten, vlak nadat een CTD-profiel werd beëindigd. Er bestaat dan ook een tijdsverschil van ongeveer 5 minuten tussen de troebelheid- en saliniteitmeting enerzijds en de stroomsnelheidmeting anderzijds.

4. Resultaten

De grafieken in bijlage 1 geven de sedimentconcentratie in mg/l, de stroomsnelheid in cm/s en de saliniteit in PSU weer. Een kleurenschaal is bijgevoegd. In de linkerhoek boven aan het blad staat de datum van de meting vermeld, in het midden de stationsnaam en rechts het stationsnummer.

4.1 Gelaagde suspensie – uniforme suspensie

In de waterkolom kan onderscheid gemaakt worden tussen enerzijds een uniforme suspensie of troebelheid en anderzijds een gelaagde suspensie.

De *uniforme suspensie* is gekenmerkt door homogeniteit en stabiliteit en komt voor in de bovenste waterlagen. Variaties in concentratie zijn vooral te wijten aan veranderingen in de rivierlading en zijn als dusdanig afhankelijk van verschillen in het bovendebiet en van veranderingen in de lading van het vloedwater. Deze laatste wordt op zijn beurt weer bepaald door het tijverschil en ook nog door de golfwerking tijdens stormperiodes op zee en in de monding van de rivier.

De *gelaagde suspensie* komt voor in de onderste waterlagen en wordt gekenmerkt door een aanzienlijke toename in sedimentconcentratie en korrelgrootte in functie van de diepte. Ze wordt in belangrijke mate bepaald door de morfologie en de samenstelling (korrelgrootte, dichtheid) van de bodem en is sterk afhankelijk van de stroomsnelheid (en dus van het tijverschil) en de turbulentie van het water. De gradiënten van concentratie en korrelverdeling evolueren in functie van het tij en kunnen ook verschillen vertonen tussen eb en vloed.

Bij kentering tussen eb en vloed (of omgekeerd) neemt de stroomsnelheid in de rivier af, zodat het zwevend materiaal in de waterkolom kan sedimenteren. Hierbij wordt een dun laagje slib op de bodem gevormd, dat bij vloed (of eb), eventueel samen met ander bodemmateriaal, door de toenemende stroomsnelheid weer opgewerveld zal worden en zich over de waterkolom zal verspreiden. Door de zwaartekracht ontstaat

een concentratiegradiënt aan geresuspendeerd materiaal met hoge waarden nabij de bodem en lagere waarden boven aan de waterkolom, waar het overgaat in de uniforme suspensie.

Volgens Wartel en van Eck (2000) varieert de concentratie aan zwevende stoffen in de Westerschelde tussen 15 en 90 mg/l, afhankelijk van het seizoen, en kan deze waarde in de Beneden-Zeeschelde iets hoger zijn. Lage concentraties (< 100 mg/l) van fijne partikels beïnvloeden de densiteit en viscositeit van het water weinig of niet en flocculatie is beperkt tot een minimum (Allersma 1982). Op basis van deze gegevens werd in de huidige studie de grens tussen uniforme en gelaagde suspensie arbitrair vastgelegd op 100 mg/l.

In tabellen 4, 6 en 8 worden enkele kenmerkende parameters per meetstation opgesomd. De aanwezigheid van een gelaagde suspensie wordt in dit rapport uitgedrukt als een percentage van het totale oppervlak dat gevormd wordt door de diepte van de waterkolom en de tijd van de meting (circa 12 uur). De gegevens zijn gegroepeerd per meetsectie (in stroomafwaartse zin: Oosterweel, Fort De Parel en Zandvliet) en omvatten de maximale concentratie aan ge(re)suspendeerd sediment [mg/l], het aandeel gelaagde suspensie ten opzichte van het totaal sedimentransport (percentage diepte x tijd, zie voorbeeld in bijlage 2), het tij dat door de sterkste gelaagdheid wordt gekenmerkt [eb/vloed], het bovendebiet te Schelle [m^3/s], het tijverschil [m] en het type getij [doodtij, gemiddeld getij, springtij]. Deze laatste parameter, het onderscheid tussen doodtij, gemiddeld getij en springtij, is gebaseerd op de gemiddelde waarden voor de periode 1981-1990 (Claessens & Meyvis, 1994) en berekend volgens Fettweis *et al.* (1998). Het bovendebiet te Schelle werd afgeleid uit de tiendaagse gemiddelde waarden van de afvoer te Schelle (Taverniers, 1996, 1997, 1998, 1999).

4.2 Resuspensie

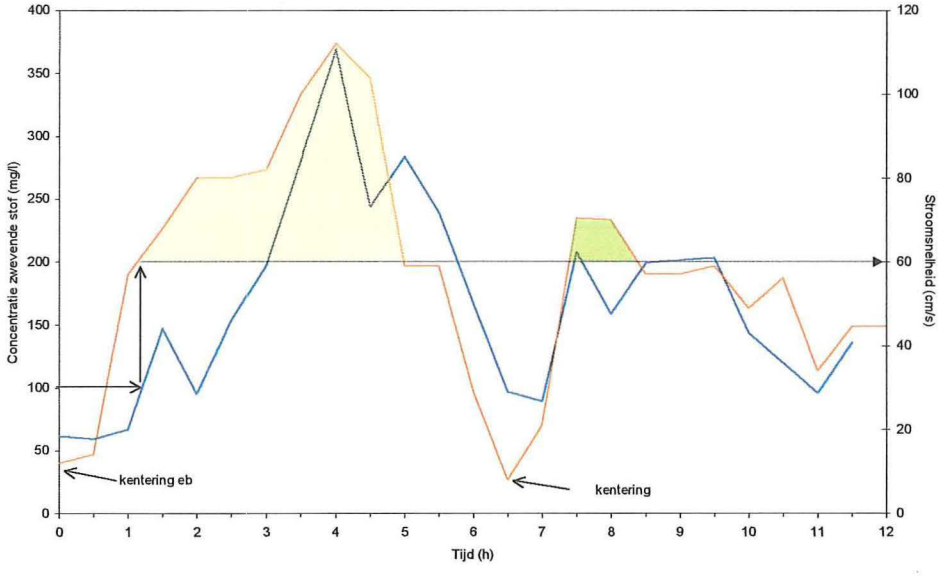
Wanneer water over een bodem met erodeerbare sedimenten stroomt zullen, op het moment dat de stroomsnelheid een kritische waarde τ_c overschrijdt, bodempartikels opgepikt en meegevoerd worden. Deze kritische waarde is onder andere afhankelijk van de eigenschappen van het sediment. Door gelijktijdig stroomsnelheidmetingen uit te voeren en de concentratie aan zwevende stof te bepalen kan deze kritische stroomsnelheid bepaald worden. Allersma (1982) stelde experimenteel vast dat de kritische stroomsnelheid voor vloeibaar slib van de grootteorde van 50 cm/s is en afhankelijk is van de densiteit van het slib. Voor sedimenten in de Seine werd een minimale erosiesnelheid ongeveer 60 cm/s gevonden, terwijl de maximale erosie zich slechts voordoet bij stroomsnelheden hoger dan 1 m/s (Avoine 1982).

Voor het studiegebied werd de dieptegemiddelde stroomsnelheid en de stroomsnelheid op 1 meter boven de bodem bepaald op het moment dat de dieptegemiddelde concentratie aan zwevende stof de grens van 100 mg/l overschreed, met andere woorden wanneer de gelaagde suspensie ontstaat (tabel 2).

Station	Positie	Kritische snelheid			
		gemiddeld		1 m boven bodem	
		Eb	Vloed	Eb	Vloed
96B07	Oosterweel R	30	50	50	40
96B08	Oosterweel L	70	60	70	70
97B04	Oosterweel R	-	50	-	50
97B05	Oosterweel L	50	70	40	80
97B55	Oosterweel R	-	60	-	50
98B29	Oosterweel L	-	106	-	90
96B09	De Parel R	65	60	30	65
96B10	De Parel L	110	60	80	50
97B06	De Parel L	75	-	70	-
97B07	De Parel R	65	50	40	50
97B52	De Parel R	50	30	50	45
97B53	De Parel L	90	-	80	-
98B30	De Parel R	70	75	60	70
96B12	Zandvliet L	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
96B41	Zandvliet R	-	50	-	50
96B42	Zandvliet L	65	50	40	50
97B50	Zandvliet L	70	40	30	40
97B51	Zandvliet R	110	35	110	45
98B31	Zandvliet L	55	40	50	55
Gemiddelde		**70**	**55**	**57**	**56**

Tabel 2: kritische stroomsnelheid (gemiddeld en op 1 m boven de bodem) in cm/s, bij eb en bij vloed voor de 3 secties. N.A.: geen resuspensie aanwezig, - : geen meting beschikbaar.

Ons onderzoek toont aan dat de gemiddeld minimale erosiesnelheid op 1 meter boven het bodemoppervlak in dit gebied nagenoeg 60 cm/s is, wat in overeenstemming is met de eerder vernoemde waarde voor de Seine. Figuur 3 geeft als voorbeeld de erosie van bodemsedimenten weer ter hoogte van Oosterweel (station 96B08 – links) in functie van de stroomsnelheid op 1 meter van het bodemoppervlak.

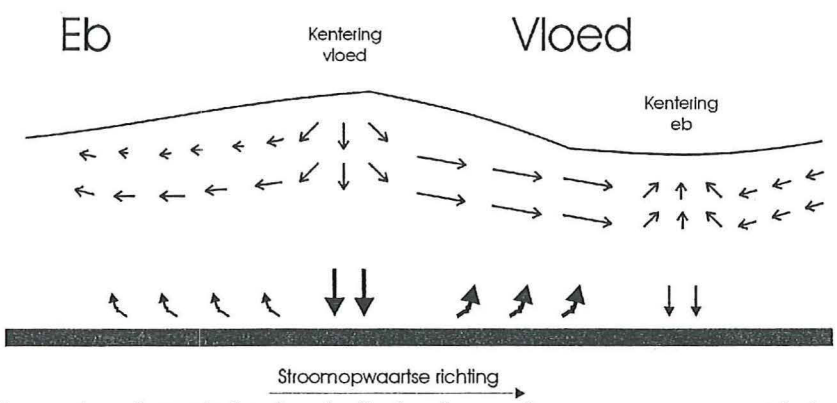


Figuur 3: erosie van bodemmateriaal tijdens een tijcyclus. — Stroomsnelheid 1 m boven bodemoppervlak (cm/s). —Dieptegemiddelde concentratie zwevende stof (mg/l). ☐ Erosie tijdens vloed - ■ erosie tijdens eb. Tijdens vloed overschrijdt de suspensie de 100 mg/l grens tussen 1h en 1h30 (→) bij een snelheid van ongeveer 60 cm/s (↑). In werkelijkheid werd de overschrijding pas op 1h30 vastgesteld (bij 70 cm/s), voor eb bij 7h30 (eveneens bij 70 cm/s) – zie tabel 2.

Uit figuur 3 kan men afleiden dat voor dit meetpunt tijdens vloed de stroomsnelheid gedurende 4 uur hoog genoeg is om erosie van bodemmateriaal te veroorzaken. Tijdens eb is dit beperkt tot ongeveer 1.5 uur. Toch betekent dit niet dat gedurende deze tijdspanne er effectief constant erosie optreedt. Algemeen genomen neemt de densiteit van bodemsedimenten toe met de diepte, al dan niet stapsgewijs. Dit heeft als gevolg dat de erosie stopt wanneer een laag bereikt wordt die genoeg weerstand kan bieden aan de maximale stroomsnelheid. Ook kan, wanneer de stroomsnelheid onder de minimale erosiesnelheid zakt, de concentratie aan zwevend materiaal toch nog hoog zijn, daar de stroomsnelheid nog voldoende is om het sediment zwevend te houden.

4.3 Sedimentatie

Sedimentatie van fijn zwevend materiaal kan slechts gebeuren wanneer de stroomsnelheid nabij de bodem onder een kritische waarde zakt. Tijdens kentering zakt de stroomsnelheid naar nul zodat aan die voorwaarde voldaan wordt. Het materiaal dat niet uitzakt zorgt voor de troebelheid (of uniforme suspensie) die altijd waarneembaar blijft in de waterkolom. Een lage sedimentatiesnelheid laat een snelle consolidatie van het materiaal op de bodem (een dunne, hardere laag) toe, terwijl snelle sedimentatiesnelheden tot de vorming van vloeibare sliblagen kunnen leiden. Allen *et al.* (1982) formuleerden aan de hand van een numeriek model voor enkele Franse rivieren (o.a. Gironde, Loire en Seine) een mechanisme dat ervoor zou zorgen dat tijdens kentering vloed minder materiaal in suspensie blijft dan bij kentering eb. Deze auteurs baseren zich op het effect van de voortplanting van een asymmetrisch getij in een estuarium. Behalve een longitudinale beweging van de watermassa, creëert de getijdegolf een verticale beweging tijdens zijn passage door het estuarium. Tijdens kentering is de longitudinale beweging verwaarloosbaar en komt de verticale component tot uiting. Bovendien zou, tijdens kentering eb, deze verticale beweging opwaarts gericht zijn - door de beginnende vloedstroom die tegen de overblijvende ebstroom botst - en zo het zwevend materiaal in suspensie houden. Bij kentering vloed is de verticale snelheidscomponent naar de bodem gericht en blijft er minder zwevend materiaal over in de waterkolom (fig. 4).



Figuur 4: schematische longitudinale doorsnede van een asymmetrische getijdegolf in een estuarium. De grotere stroomsnelheden tijdens vloed brengen meer sediment in suspensie dan bij eb, terwijl de verticale waterbeweging bij kentering sedimentatie bevoordeelt tijdens kentering vloed, in tegenstelling tot bij kentering eb. (naar Allen *et al.* 1982)

Om deze hypothese te toetsen werd in deze studie voor elk meetpunt de concentratie aan zwevende stof tijdens kentering eb en kentering vloed bepaald. Als gemiddelde voor alle meetpunten in het studiegebied geldt dat de dieptegemiddelde concentratie tijdens kentering vloed (185 mg/l) hoger is dan tijdens kentering eb (125 mg/l), waarmee de hypothese van Allen *et al.* niet bevestigd kan worden. Toch moet men rekening houden dat deze waarden gemiddelden zijn van de drie secties samen en dat afwijkingen op deze regel mogelijk zijn, zoals wordt duidelijk gemaakt in de bespreking van de drie secties afzonderlijk. In het overzicht per sectie wordt een globaal beeld van een getij weergegeven, opgesplitst in 4 delen en in deze volgorde: kentering eb, vloed, kentering vloed en eb.

4.4 Sectie Oosterweel

Inleiding

De maximum concentratie aan zwevende stof bereikt in Oosterweel hogere waarden aan de rechterkant van de geul dan aan de linkerkant. De verticale zoutgradiënt is aan de rechterkant eveneens groter dan aan de linkerkant. Aan de linkerkant bereikt de saliniteit echter iets hogere waarden (maximaal 1 PSU verschil) en blijft de maximale saliniteit bij kentering vloed langer behouden. Het zwaardere vloedwater zal dus preferentieel langs de diepere linkerkant stromen, zodat daar tijdens vloed hogere stroomsnelheden behaald worden.

Kentering eb

Bij kentering eb schommelt de dieptegemiddelde sedimentconcentratie rond 70 mg/l voor een gemiddeld getij (tabel 3). Op dit moment kan men verwachten dat de uniforme suspensie over de gehele waterkolom is waar te nemen. De metingen van station 98B29, in tegenstelling tot de andere metingen van deze sectie tijdens springtij uitgevoerd, vertonen een concentratie die hoger ligt dan die van de uniforme suspensie. Tijdens kentering eb is de gemiddelde concentratie 140 mg/l, wat doet vermoeden dat in dit gebied de grens tussen uniforme en gelaagde suspensie voor

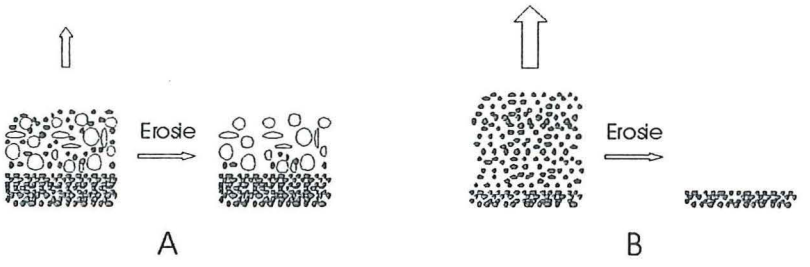
springtij hoger is dan 100 mg/l. Daar we voor deze sectie echter over slechts één getijmeting bij springtij beschikken kan hierover geen uitsluitsel gegeven worden. Tijdens kentering eb bereikt de saliniteit een minimum waarde (minima tussen 0 en 1 PSU).

Station	Kentering eb	Kentering vloed
96B08 – links	60 mg/l	100 mg/l
97B05 – links	70 mg/l	180 mg/l
98B29 – links	140 mg/l	500 mg/l
96B07 – rechts	90 mg/l	110 mg/l
97B04 – rechts	70 mg/l	-
97B55 – rechts	80 mg/l	-

Tabel 3: dieptegemiddelde concentratie aan gesuspendeerd materiaal (mg/l) tijdens kentering ter hoogte van Oosterweel.

Vloed

Na de kentering brengt de vloedstroom het tijdens kentering bezonken materiaal terug in suspensie. Aan de linkerkant van de geul gaat dit moeilijker dan aan de rechterkant, namelijk vanaf 80 cm/s ten opzichte van 50 cm/s rechts (dieptegemiddelde stroomsnelheid). De bodemsamenstelling speelt hierin waarschijnlijk een belangrijke rol. De bodemkaart (Wartel *et al.* 2000) toont voor de meetsectie aan de linkerkant een harde bodem, samengesteld uit grof materiaal zoals grind, grof zand en schelpfragmenten. Dit materiaal heeft een hoge porositeit. Het sediment dat zich in de poriën bevindt kan maar moeilijk geresuspendeerd worden en vereist hogere stroomsnelheden (fig. 5). De rechterkant vertoont slibhoudend zand en zandhoudend slib, materiaal dat gemakkelijker opgewerveld wordt, zoals bevestigd wordt door de lagere stroomsnelheid nodig voor resuspensie. Rechts wordt tijdens vloed de maximale suspensie opgemeten (variatie tussen 0.5 en 2.5 g/l). Aan de linkerkant van de geul wordt tijdens dit gedeelte van het getij de sterkste stroming waargenomen (maxima 1.3 m/s bij ene gemiddeld getij, 1.9 m/s bij springtij).



Figuur 5: resuspensie van bodemsedimenten. (A) Bodem met grof materiaal en hoge porositeit en (B) slibrijke bodem. Voor een gelijke stroomsnelheid zal bij (B) meer materiaal in suspensie komen (grotere opwaartse pijl) en zal een dikkere laag geërodeerd worden.

Kentering vloed

Tijdens kentering vloed zakt het gesuspendeerd materiaal minder goed uit dan bij kentering eb. Getuige hiervan zijn de dieptegemiddelde concentraties in tabel 2. Gemiddeld is de concentratie hier hoger dan de bovengrens van de uniforme suspensie. Doordat niet alle materiaal kan bezinken, blijft tijdens kentering een restant gelaagde suspensie aanwezig. Ook bij kentering vloed op station 98B29 stijgt de gemiddelde concentratie (500 mg/l) ver boven de grens van de uniforme suspensie uit, vermoedelijk weer een effect van het springtij. Tijdens dit moment van het getij bereikt de saliniteit ook zijn maximale waarde (maxima van 4 tot 12 PSU).

Eb

Tijdens eb brengt de stroomsnelheid het weinige bij kentering vloed bezonken materiaal terug in suspensie. Aan de linkerkant leidt dit in drie van de vijf gevallen tot het ontstaan van de grootste resuspensie tijdens dit gedeelte van het getij. In de twee andere gevallen werd de grootste resuspensie waargenomen tijdens vloed, zoals aan de rechterkant. De stroomsnelheid waarbij de resuspensie start is gemiddeld 60 cm/s aan de linkerkant, voor de rechterkant zijn er niet genoeg gegevens. In vergelijking met vloed is dit een lagere drempelwaarde wat doet vermoeden dat het een fijne sliblaag is die boven op grof materiaal voorkomt en terug in suspensie wordt gebracht, ofwel dat er een verrijking is met fijn suspensiemateriaal dat van stroomopwaarts wordt aangevoerd. Aan de rechterkant van de geul wordt tijdens eb

de maximale stroomsnelheid waargenomen (maxima tussen 1.2 en 1.7 cm/s voor een gemiddeld getij).

Jaar	Kenmerk	Links	Rechts
1995	Suspensie maximum (mg/l)	425	500
	Gelaagde suspensie (% tijd en diepte)	87	88
	Maximale gelaagde suspensie	vloed	vloed
	Bovendebiet te Schelle (m^3/s)	57	57
	Tijverschil (m)	5.09	5.37
	Getij (dood-gemiddeld-spring)	gemiddeld	gemiddeld
1996	Suspensie maximum (mg/l)	550	940
	Gelaagde suspensie (% tijd en diepte)	76	66
	Maximale gelaagde suspensie	vloed	vloed
	Maximale stroomsnelheid (m/s)	1.3	1.2
	Maximale stroom getij	vloed	eb
	Bovendebiet te Schelle (m^3/s)	68	68
	Tijverschil (m)	5.22	4.5
	Getij (dood-gemiddeld-spring)	gemiddeld	gemiddeld
1997	Suspensie maximum (mg/l)	740	820
	Gelaagde suspensie (% tijd en diepte)	83	83
	Maximale gelaagde suspensie	eb	vloed
	Maximale stroomsnelheid (m/s)	1.3	1.3
	Maximale stroom getij	vloed	eb
	Bovendebiet te Schelle (m^3/s)	121	121
	Tijverschil (m)	4.78	4.56
	Getij (dood-gemiddeld-spring)	gemiddeld	gemiddeld
1997	Suspensie maximum (mg/l)	2300	2350
	Gelaagde suspensie (% tijd en diepte)	94	96.5
	Maximale gelaagde suspensie	eb	vloed
	Maximale stroomsnelheid (m/s)	NB	1.7
	Maximale stroom getij	NB	eb
	Bovendebiet te Schelle (m^3/s)	108	108
	Tijverschil (m)	4.96	5.24
	Getij (dood-gemiddeld-spring)	gemiddeld	gemiddeld
1998	Suspensie maximum (mg/l)	1500	NB
	Gelaagde suspensie (% tijd en diepte)	94	NB
	Maximale gelaagde suspensie	eb	NB
	Maximale stroomsnelheid (m/s)	1.9	NB
	Maximale stroom getij	vloed	NB
	Bovendebiet te Schelle (m^3/s)	84	NB
	Tijverschil (m)	6.17	NB
	Getij (dood-gemiddeld-spring)	spring	NB

Tabel 4: overzicht van de metingen ter hoogte van Oosterweel (1995-1998).

4.5 Sectie Fort De Parel

Inleiding

Op de sectie Fort De Parel is de suspensiepiek aan de linkerkant hoger dan aan de rechterkant, behalve voor de sectie 97B52-97B53. Het meetpunt aan de rechterkant (97B53) lag in dit geval op de Plaat van de Parel, een eind stroomopwaarts van de andere stations die aan deze kant op een dieper gelegen uitloper van de plaat gesitueerd waren (zie figuur 1). De saliniteit bereikt links gemiddeld iets hogere waarden dan rechts (maximaal 0.5 PSU verschil) en ook de saliniteitsgradiënt is links maximaal 1 PSU groter dan rechts.

Kentering eb

Tijdens kentering eb schommelt de dieptegemiddelde concentratie aan zwevende stof tussen 100 mg/l en 260 mg/l (tabel 5). Deze waarden duiden aan dat een deel van de gelaagde suspensie blijft bestaan. De minima in saliniteit tijdens kentering variëren tussen 1 en 6 PSU.

Station	Kentering eb	Kentering vloed
96B10 – links	100 mg/l	75 mg/l
97B06 – links	260 mg/l	430 mg/l
97B53 – links	230 mg/l	200 mg/l
96B09 – rechts	-	90 mg/l
97B07 – rechts	100 mg/l	90 mg/l
97B52 – rechts	110 mg/l	-
98B30 – rechts	190 mg/l	490 mg/l

Tabel 5: dieptegemiddelde concentratie aan gesuspendeerd materiaal (mg/l) tijdens kentering ter hoogte van Fort De Parel.

Vloed

Ondanks de verschillende bodemsamenstelling ter hoogte van de sectie Fort De Parel – harde en zandige bodem aan de rechterkant, slibrijkere bodem aan de linkerkant – is de dieptegemiddelde stroomsnelheid, nodig voor resuspensie, vergelijkbaar aan beide kanten van de geul (links 60 cm/s, rechts 54 cm/s). In dit gebied wordt, in tegenstelling met de sectie in Oosterweel, geen grind in de zandige bodem

waargenomen, wat een mogelijke aanleiding is voor de vergelijkbare kritische stroomsnelheden. Verder merken we op dat voor de linkerkant de weergegeven waarde op slechts één getijmeting berust. De vloed zorgt voor de grootste resuspensie (groter dan bij eb) aan de linkerkant. De maximale concentraties variëren van 1.0 g/l tot 1.6 g/l. Rechts wordt ondanks de lagere concentraties tijdens dit gedeelte van het getij de hoogste stroomsnelheid genoteerd (maxima tussen 1 en 1.5 m/s voor een gemiddeld getij, 1.6 m/s voor springtij).

Kentering vloed

De dieptegemiddelde concentratie aan zwevende stof varieert tussen 75 mg/l en 200 mg/l met uitschieters tot 430 mg/l en 490 mg/l voor de stations 97B06 (links) en 98B30 (rechts) respectievelijk (tabel 5). Bij deze twee laatst vermelde stations was het 10-daags gemiddeld bovendebiet te Schelle hoger (121 m^3/s en 149 m^3/s respectievelijk) dan bij de overige metingen op deze sectie (circa 70 m^3/s). Ook hier kan het effect van springtij niet gecontroleerd worden vermits er voor de sectie slechts één meting bij springtij werd uitgevoerd (98B30). De saliniteit bereikt een maximum dat varieert van 5 tot 14 PSU.

Eb

In tegenstelling tot de vloed is de gemiddelde drempelwaarde voor resuspensie bij eb groter aan de linkerkant van de geul dan aan de rechterkant, namelijk 92 cm/s links en 63 cm/s rechts. De lagere dieptegemiddelde stroomsnelheid waarbij resuspensie optreedt zorgt ervoor dat voor de rechterkant tijdens eb de maximale resuspensie wordt waargenomen. De maxima schommelen tussen 0.5 g/l en 2.6 g/l. Aan de linkerkant van de geul worden tijdens dit gedeelte van het getij de hoogste stroomsnelheden waargenomen, tot 1.4 m/s.

Jaar	Kenmerk	Links	Rechts
1996	Suspensie maximum (mg/l)	1180	530
	Gelaagde suspensie (% tijd en diepte)	61	75
	Maximale gelaagde suspensie	vloed	eb
	Maximale stroomsnelheid (m/s)	1.4	1
	Maximale stroom getij	eb	eb/vloed
	Bovendebiet te Schelle (m^3/s)	68	68
	Tijverschil (m)	5.16	5.12
	Getij (dood-gemiddeld-spring)	gemiddeld	gemiddeld
1997	Suspensie maximum (mg/l)	1000	720
	Gelaagde suspensie (% tijd en diepte)	88	86
	Maximale gelaagde suspensie	vloed	eb
	Maximale stroomsnelheid (m/s)	1.4	1.1
	Maximale stroom getij	eb	vloed
	Bovendebiet te Schelle (m^3/s)	121	121
	Tijverschil (m)	5.01	4.76
	Getij (dood-gemiddeld-spring)	gemiddeld	gemiddeld
1997	Suspensie maximum (mg/l)	1600	2600
	Gelaagde suspensie (% tijd en diepte)	97	98
	Maximale gelaagde suspensie	vloed	eb
	Maximale stroomsnelheid (m/s)	1.4	1.5
	Maximale stroom getij	eb	vloed
	Bovendebiet te Schelle (m^3/s)	67	67
	Tijverschil (m)	5.52	5.39
	Getij (dood-gemiddeld-spring)	spring	gemiddeld
1998	Suspensie maximum (mg/l)	NB	2000
	Gelaagde suspensie (% tijd en diepte)	NB	98
	Maximale gelaagde suspensie	NB	eb
	Maximale stroomsnelheid (m/s)	NB	1.6
	Maximale stroom getij	NB	vloed
	Bovendebiet te Schelle (m^3/s)	NB	149
	Tijverschil (m)	NB	5.51
	Getij (dood-gemiddeld-spring)	NB	spring

Tabel 6: overzicht van de metingen ter hoogte van Fort De Parel (1995-1998).

4.6 Sectie Zandvliet

Inleiding

Ter hoogte van Zandvliet is het suspensiemaximum niet aan één kant van de geul gebonden. Drie van de vijf metingen in Zandvliet zijn aan beide kanten van de geul uitgevoerd. Van die drie vertonen twee een grootste suspensiepiek aan de rechterkant. De saliniteit is wel het grootste aan de linkerkant, waar de geul iets dieper is. Het vloedwater stroomt dus gemakkelijker langs dit diepere deel stroomopwaarts. De zoutgradiënt echter, is rechts overwegend groter dan links.

Kentering eb

De dieptegemiddelde concentratie aan gesuspendeerd materiaal varieert tussen 90 mg/l en 200 mg/l, met vergelijkbare waarden voor links en rechts (tabel 7). Uit de tabel valt verder af te leiden dat de gemiddelde concentratie in de meeste gevallen schommelt rond de vooropgestelde grens tussen uniforme en gelaagde suspensie en slechts in enkele gevallen, 96B41 en 98B31, hoger is. Wel dient opgemerkt te worden dat het station 98B31, met dieptegemiddelde concentratie van 200 mg/l, opgemeten is bij springtij.

Station	Kentering eb	Kentering vloed
96B42 – links	90 mg/l	100 mg/l
97B50 – links	100 mg/l	100 mg/l
98B31 – links	200 mg/l	140 mg/l
96B12 – rechts	100 mg/l	70 mg/l
96B41 – rechts	160 mg/l	90 mg/l
97B51 – rechts	110 mg/l	110 mg/l

Tabel 7: dieptegemiddelde concentratie aan gesuspendeerd materiaal (mg/l) tijdens kentering ter hoogte van Zandvliet.

Vloed

De vloedstroming zorgt voor de resuspensie van het bodemmateriaal vanaf 43 cm/s voor beide kanten van de geul. Dit doet vermoeden dat de bodemsamenstelling aan beide kanten vergelijkbaar is. Toch toont de bodemkaart van 1999 (Wartel *et al.* 2000) een bodem die bestaat uit grind, grof zand en schelpfragmenten voor de

linkerkant en een zand- en slibhoudende zandbodem voor de rechterkant. Op deze sectie is er geen vast patroon te vinden in tijdens welk gedeelte van het getij, eb of vloed, zich de grootste resuspensie voordoet. Zowel aan de linker- als aan de rechterkant van de geul doet dit fenomeen zich voor bij eb als bij vloed. De maximale concentraties tijdens vloed schommelen tussen 0.2 g/l en 1.2 g/l. Aan de linkerkant van de geul bereikt de stroomsnelheid de hoogste waarde tijdens vloed, namelijk van 1.2 m/s tot 1.6 m/s.

Kentering vloed

Bij kentering vloed varieert de dieptegemiddelde concentratie van 70 mg/l tot 140 mg/l, zodat in de meeste gevallen de uniforme suspensie bijna over de totale waterkolom waar te nemen is. De hoogste waarde, 140 mg/l, is deze opgemeten tijdens springtij, wat mogelijk een invloed heeft op deze waarde. De maximale saliniteit komt voor bij kentering vloed en varieert tussen 12 en 19 PSU.

Eb

Tijdens eb ligt de minimale stroomsnelheid nodig voor resuspensie iets hoger dan bij vloed, namelijk 63 cm/s voor de linkerkant van de geul. Voor de rechterkant zijn er te weinig gegevens om een eensluidend resultaat te verkrijgen. In de twee gevallen waarbij aan de rechterkant de stroomsnelheid werd gemeten, werd de maximale stroomsnelheid tijdens eb vastgesteld (1.3 m/s en 1.6 m/s). In enkele gevallen werd ook tijdens eb de grootste resuspensie van het getij waargenomen, met waarden die variëren tussen 0.5 g/l en 0.8 g/l.

Jaar	Kenmerk	Links	Rechts
1995	Suspensie maximum (mg/l)	700	600
	Gelaagde suspensie (% tijd en diepte)	93	81
	Maximale gelaagde suspensie	eb	vloed
	Maximale stroomsnelheid (m/s)	NB	NB
	Maximale stroom getij	NB	NB
	Bovendebiet te Schelle (m^3/s)	57	57
	Tijverschil (m)	5.81	5.58
	Getij (dood-gemiddeld-spring)	spring	spring
1996	Suspensie maximum (mg/l)	175	NB
	Gelaagde suspensie (% tijd en diepte)	38	NB
	Maximale gelaagde suspensie	vloed	NB
	Maximale stroomsnelheid (m/s)	1.4	NB
	Maximale stroom getij	vloed	NB
	Bovendebiet te Schelle (m^3/s)	68	NB
	Tijverschil (m)	4.88	NB
	Getij (dood-gemiddeld-spring)	gemiddeld	NB
1996	Suspensie maximum (mg/l)	475	1060
	Gelaagde suspensie (% tijd en diepte)	73	75
	Maximale gelaagde suspensie	eb	vloed
	Maximale stroomsnelheid (m/s)	1.5	1.3
	Maximale stroom getij	vloed	eb
	Bovendebiet te Schelle (m^3/s)	66	66
	Tijverschil (m)	5.06	4.56
	Getij (dood-gemiddeld-spring)	gemiddeld	gemiddeld
1997	Suspensie maximum (mg/l)	530	840
	Gelaagde suspensie (% tijd en diepte)	74	90
	Maximale gelaagde suspensie	?	eb
	Maximale stroomsnelheid (m/s)	1.6	1.6
	Maximale stroom getij	vloed	eb
	Bovendebiet te Schelle (m^3/s)	67	67
	Tijverschil (m)	5.04	5.35
	Getij (dood-gemiddeld-spring)	gemiddeld	spring
1998	Suspensie maximum (mg/l)	1240	NB
	Gelaagde suspensie (% tijd en diepte)	-	NB
	Maximale gelaagde suspensie	vloed	NB
	Maximale stroomsnelheid (m/s)	1.2	NB
	Maximale stroom getij	vloed	NB
	Bovendebiet te Schelle (m^3/s)	149	NB
	Tijverschil (m)	5.29	NB
	Getij (dood-gemiddeld-spring)	spring	NB

Tabel 8: overzicht van de metingen ter hoogte van Zandvliet (1995-1998).

4.7 Samenvatting

In het studiegebied ontstaat een gelaagde suspensie, of anders gezegd treedt er resuspensie van bodemmateriaal op, van zodra de stroomsnelheid de kritische waarde van 60 cm/s overschrijdt. Deze kritische resuspensiesnelheid varieert van 30 cm/s tot 110 cm/s en is afhankelijk van de positie op een sectie enerzijds en van sectie tot sectie anderzijds (zie tabel 2). Zo is de kritische stroomsnelheid in Oosterweel en Fort De Parel het grootst aan de linkerkant van de geul (respectievelijk gemiddeld 68 cm/s en 63 cm/s), in Zandvliet rechts (gemiddeld 48 cm/s), deze laatste echter met een klein verschil. Ook zijn er verschillen tussen eb en vloed waarneembaar, toch blijven deze verschillen kleiner dan 10 cm/s. Voor Oosterweel en Zandvliet geldt dat de kritische waarde hoger ligt bij vloed dan bij eb. Een verklaring hiervoor kan zijn dat tijdens kentering vloed er in het studiegebied meer materiaal zwevend in de waterkolom blijft en er dus op de bodem moeilijk erodeerbare lagen overblijven. Tijdens kentering eb bezinkt er meer materiaal naar de bodem, dat gemakkelijker zal geresuspendeerd worden.

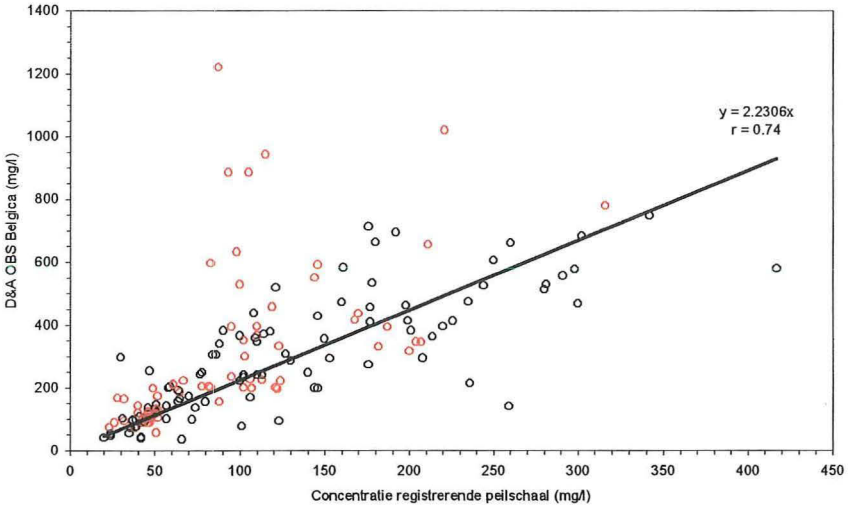
Voor elke sectie is er aan één bepaalde kant zowel voor wat de suspensieconcentratie betreft als voor de saliniteit een hogere waarde te noteren. De saliniteit blijkt het hoogst in de diepere geul, de suspensie in de ondiepere zijkanten (een saliniteitsgradiënt die oploopt tot 6 PSU kan hiertoe bijdragen). Voor Oosterweel en Zandvliet is dit qua suspensie aan de rechterkant, voor Fort De Parel is dit links. Wat de saliniteit betreft bereikt deze te Oosterweel en Zandvliet iets hogere waarden aan de linkerkant, waardoor laterale densiteitsstromingen kunnen ontstaan. Toch kunnen op deze algemeenheden in enkele gevallen uitzonderingen optreden.

5. Continue meting van de concentratie aan zwevende stof

In de Beneden-Zeeschelde wordt op enkele plaatsen de concentratie aan zwevend materiaal continu geregistreerd. Dit gebeurt onder meer ter hoogte van de registrerende peilschalen van Oosterweel en Zandvliet (Prosperpolder). Hier wordt op een diepte van –4 m TAW en –8 m TAW de concentratie opgemeten, in bepaalde gevallen ook aangevuld met een meting aan het wateroppervlak.

In een poging aan de continue meting van het gehalte aan zwevende stof een meerwaarde toe te kennen werd getracht deze data te vergelijken met wat er zich gelijktijdig afspeelde in de waterkolom ter hoogte van de meetstations die werden bemonsterd in deze reeks van 12-uursmetingen. Vermits de posities van de meetstations ter hoogte van Oosterweel het best gelegen waren ten opzichte van de registrerende peilschaal aldaar (figuur 6) werd de aandacht op deze locatie gevestigd.

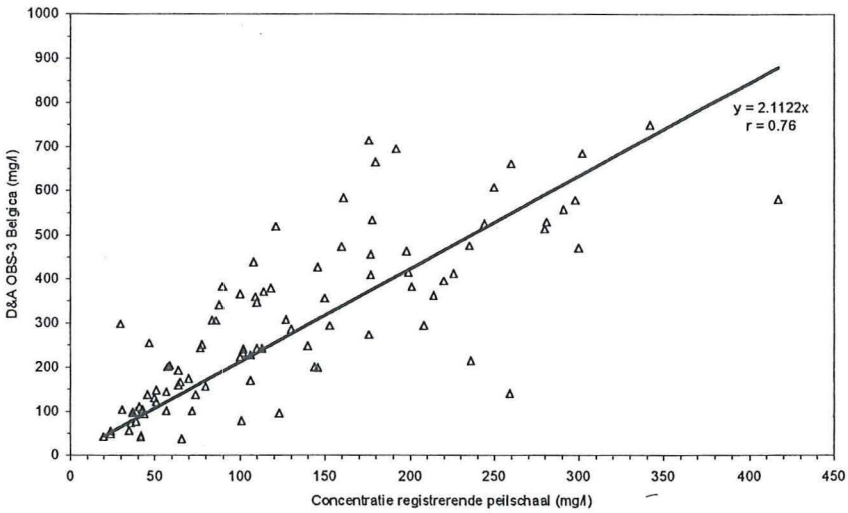
4.2 Concentratie op -4 m TAW



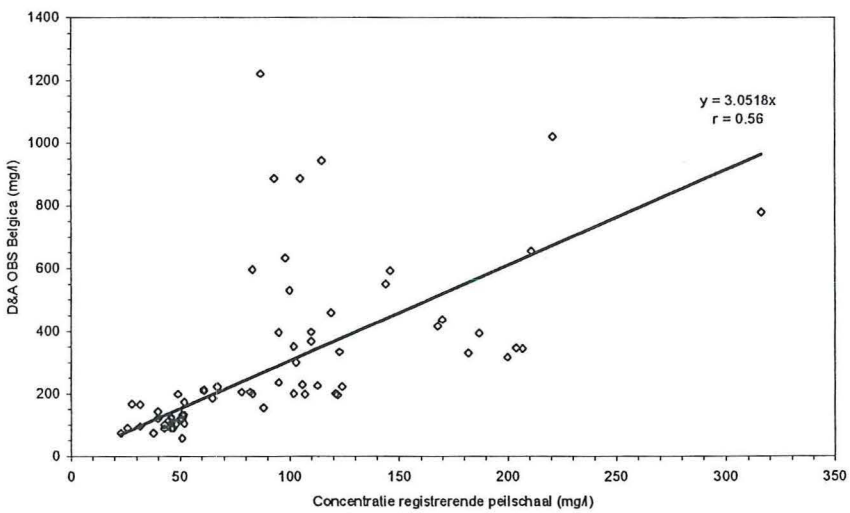
Figuur 6: overeenstemming van alle simultaan uitgevoerde metingen ter hoogte van Oosterweel op –4 m TAW. o – metingen rechterkant geul, o – metingen linkerkant geul.

De continue metingen op –4 m TAW aan de registrerende peilschaal werden vergeleken met de simultaan uitgevoerd metingen met de D&A OBS-3 optical backscatter sensor aan boord van het meetschip. In eerste instantie werd de

overeenstemming tussen alle metingen gecontroleerd, daarna tussen de metingen aan één kant van de geul en de registrerende peilschaal (linkerkant-peilschaal, rechterkant-peilschaal). De resultaten hiervan zijn te zien in de figuren 6 tot 8.



Figuur 7: overeenstemming tussen de simultane metingen van de registrerende peilschaal en de metingen aan linkerkant van de geul met het meetschip ter hoogte van Oosterweel op –4 m TAW.

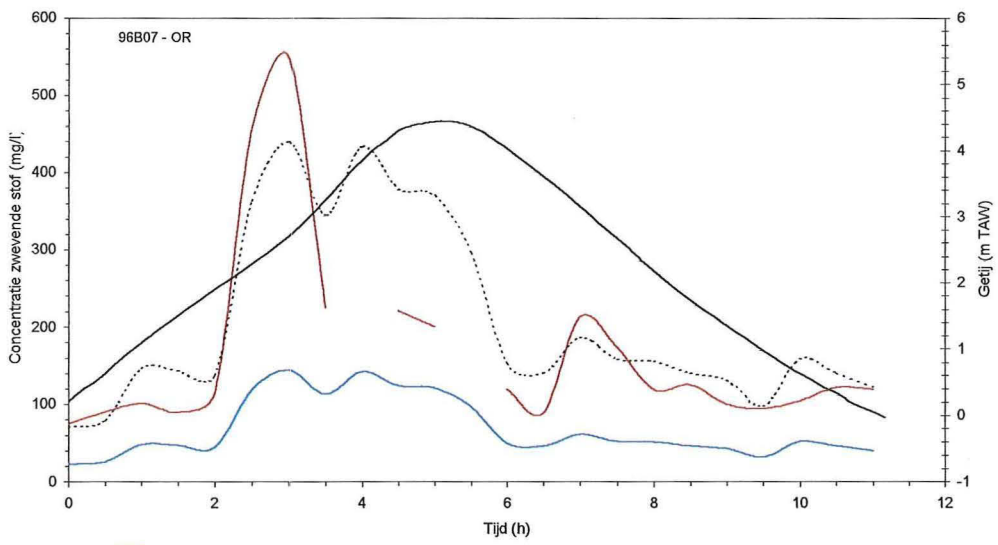


Figuur 8: overeenstemming tussen de simultane metingen van de registrerende peilschaal en de metingen aan rechterkant van de geul met het meetschip ter hoogte van Oosterweel op –4 m TAW.

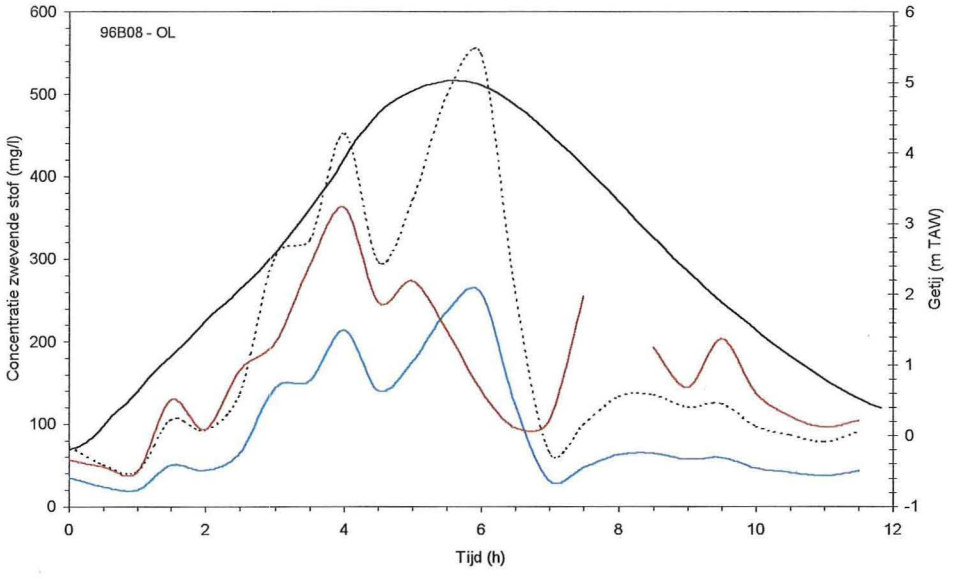
In het geval van de vergelijking van de continue metingen met de metingen uitgevoerd aan beide kanten te Oosterweel bedraagt de correlatie 0.74, waarbij geen rekening gehouden werd met enkele "outliers" afkomstig van metingen aan de

rechterkant van de geul. Als de gegevens opgesplitst worden per meetstation, dan komen we een goede correlatie uit voor de linkerkant (de kant langs welke de peilschaal staat, r=0.76) en een minder goede correlatie aan de overkant (r=0.56). De afstand tussen de registrerende peilschaal en de rechterkant van de geul, de densiteitsgradiënt (asymmetriche sedimentverdeling tussen beide kanten), de verschillen in bodemsamenstelling, de verschillen in bathymetrie en de mede daaruit vloeiende hydrodynamische verschillen kunnen elk op zich een aanleiding geven tot deze lagere correlatie tussen beide metingen. Het type sediment (links van de geul bevindt er zich zand en grof materiaal, rechts slibhoudend zand en zandhoudend slib) geeft daarenboven een verschillend signaal bij de sensoren (zie inleiding).

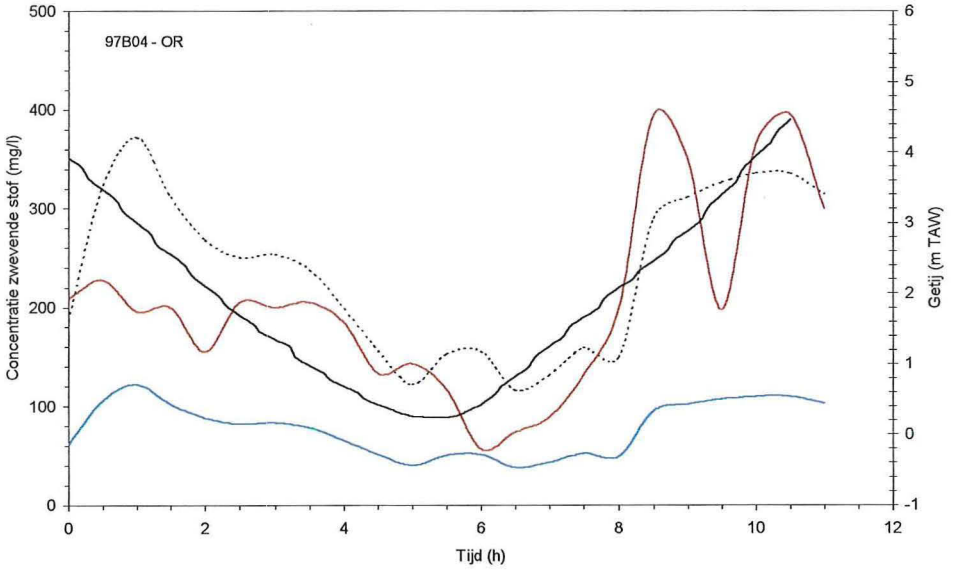
Met deze vergelijking werd een eerste voorspelling gemaakt van de concentratie aan gesuspendeerd sediment aan de hand van de continue metingen (figuren 9 t.e.m. 15). Op de volgende reeks figuren is de concentratie aan zwevende stof ter hoogte van de registrerende peilschaal (mg/l), de daaruit voorspelde concentratie ter hoogte van het meetschip door middel van de vergelijking (mg/l), de werkelijk gemeten concentratie aan boord van het meetschip (mg/l) en tenslotte ook het getij (m TAW) weergegeven.



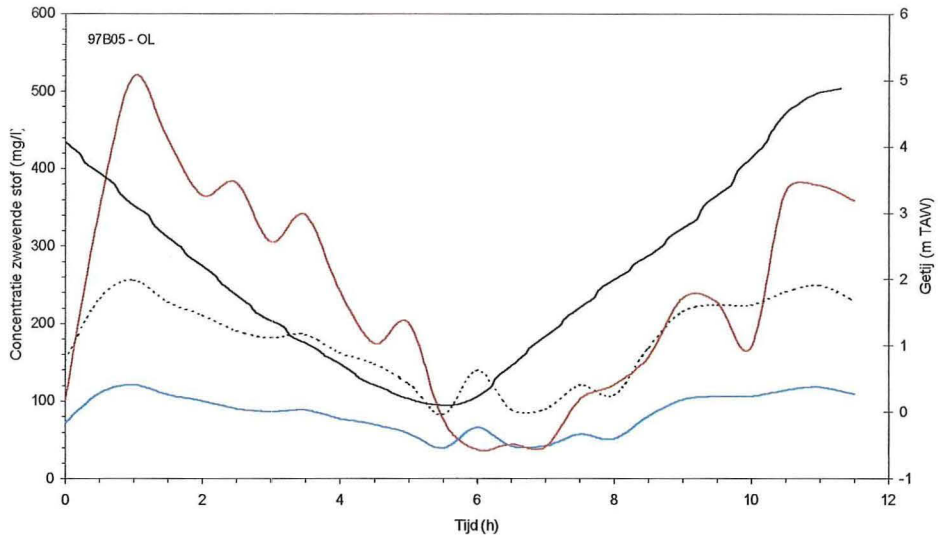
Figuur 9: de hoeveelheid zwevende stof ter hoogte van de registrerende peilschaal (mg/l), de voorspelde en de werkelijk gemeten hoeveelheid zwevende stof (mg/l) ter hoogte van station 96B07 (Oosterweel Rechts) op –4 m TAW. Getijhoogte (m T.A.W.).



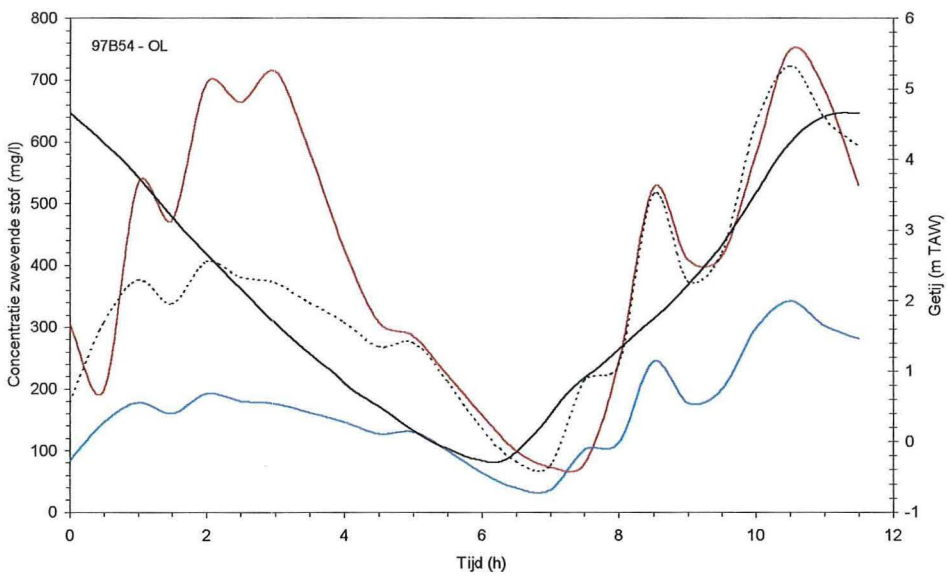
Figuur 10: de hoeveelheid zwevende stof ter hoogte van de registrerende peilschaal (mg/l), de voorspelde en de werkelijk gemeten hoeveelheid zwevende stof (mg/l) ter hoogte van station 96B08 (Oosterweel Links) –4 m TAW. Legende zie figuur 9.



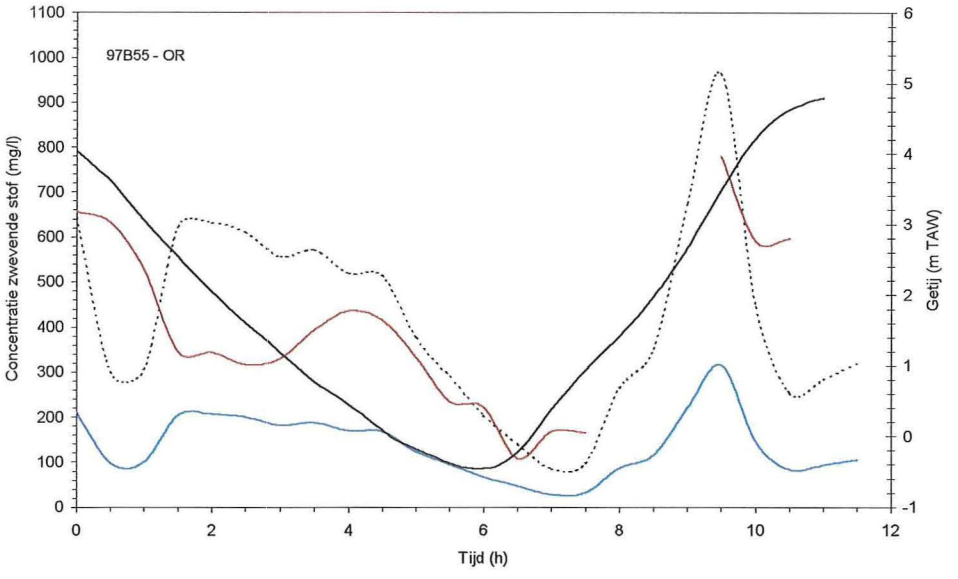
Figuur 11: de hoeveelheid zwevende stof ter hoogte van de registrerende peilschaal (mg/l), de voorspelde en de werkelijk gemeten hoeveelheid zwevende stof (mg/l) ter hoogte van station 97B04 (Oosterweel Rechts) op –4 m TAW. Legende zie figuur 9.



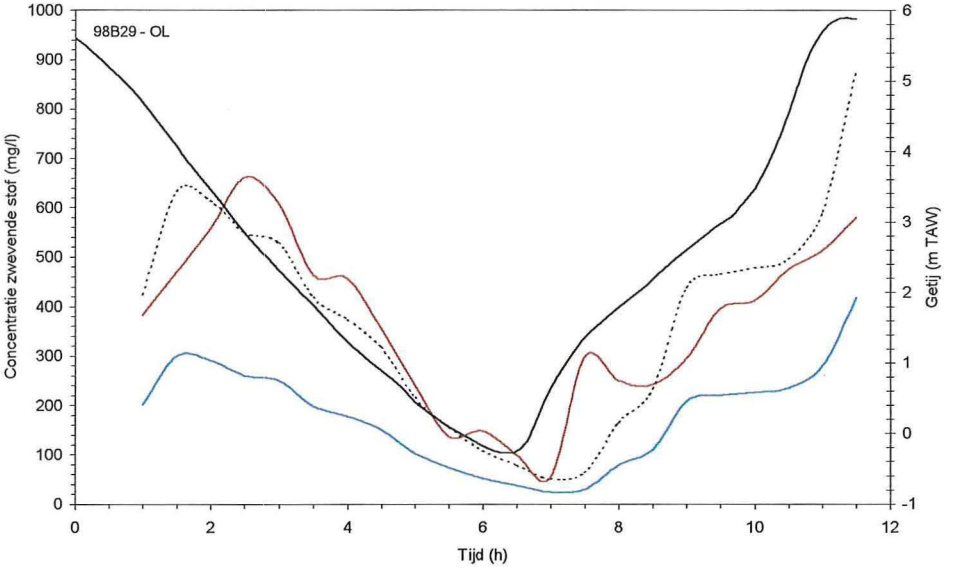
Figuur 12: de hoeveelheid zwevende stof ter hoogte van de registrerende peilschaal (mg/l), de voorspelde en de werkelijk gemeten hoeveelheid zwevende stof (mg/l) ter hoogte van station 97B05 (Oosterweel Links) op –4 m TAW. Legende zie figuur 9.



Figuur 13: de hoeveelheid zwevende stof ter hoogte van de registrerende peilschaal (mg/l), de voorspelde en de werkelijk gemeten hoeveelheid zwevende stof (mg/l) ter hoogte van station 97B54 (Oosterweel Links) op –4 m TAW. Legende zie figuur 9.



Figuur 14: de hoeveelheid zwevende stof ter hoogte van de registrerende peilschaal (mg/l), de voorspelde en de werkelijk gemeten hoeveelheid zwevende stof (mg/l) ter hoogte van station 97B55 (Oosterweel Rechts) op –4 m TAW. Legende zie figuur 9.



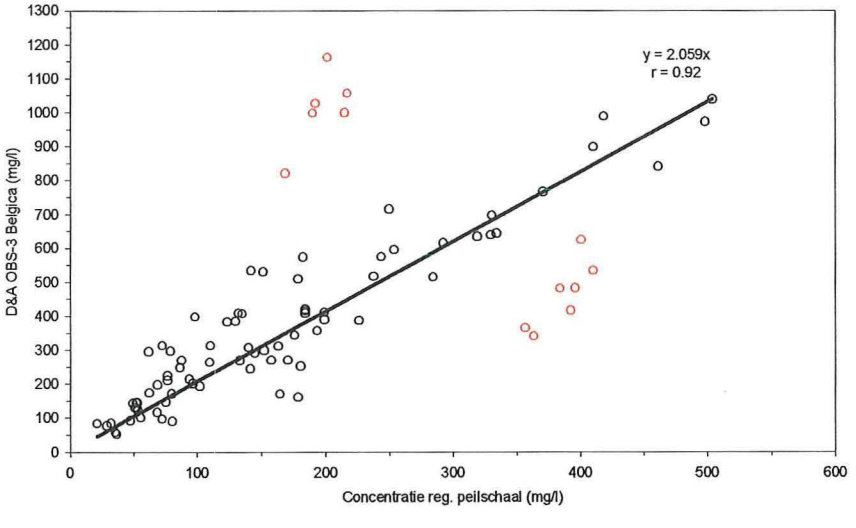
Figuur 15: de hoeveelheid zwevende stof ter hoogte van de registrerende peilschaal (mg/l), de voorspelde en de werkelijk gemeten hoeveelheid zwevende stof (mg/l) ter hoogte van station 98B29 (Oosterweel Links) op –4 m TAW. Legende zie figuur 9.

Uit het bovenstaande overzicht valt af te leiden dat de voorspelde concentratie op -4 m TAW voor wat betreft de trend, maar ook dikwijls als waarde, overeenstemt met de werkelijke meting uitgevoerd aan boord van het meetschip. Op enkele tijdstippen ligt de voorspelde waarde ver onder de gemeten hoeveelheid (b.v. stations 97B05 bij eb en 97B54 bij eb). Dit zijn momenten waarop er een sterke resuspensie optreedt.

Dit wordt bevestigd in het overzicht van de desbetreffende meetstations (pagina's 38 en verder). Turbulenties in de waterkolom die bij eb dichter bij de bodem komen dan bij vloed en gemakkelijker materiaal kunnen opwervelen kunnen een mogelijke oorzaak zijn. Omgekeerd wordt op bepaalde momenten een lagere concentratie aan zwevende stof gemeten dan voorspeld werd uit de meting ter hoogte van de registrerende peilschaal (b.v. stations 96B08 bij hoog water en 97B04 bij eb). Factoren die de mate waarin resuspensie van bodemsedimenten beïnvloeden zijn o.a. de bodemsamenstelling, het tijverschil, de spingtij-doodtij cyclus, het bovendebiet en het vast debiet. Verder onderzoek naar deze oorzaken valt echter buiten het kader van deze studie.

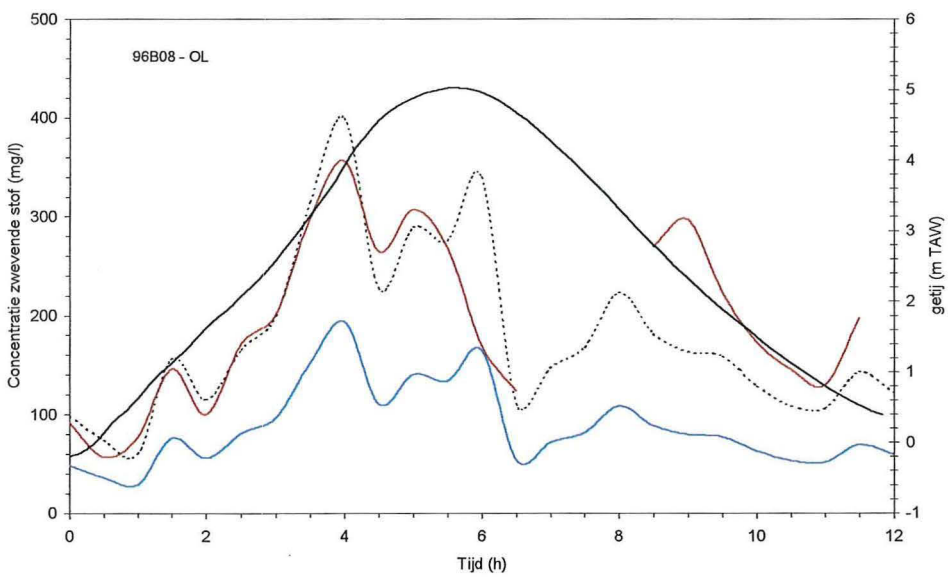
4.2 Correlatie op -8 m TAW

Enkel de meetstations aan de linkerkant van de geul in Oosterweel lieten toe een vergelijking met de metingen op –8 m TAW ter hoogte van de registrerende peilschaal door te voeren. Aan de rechterkant bereikten de meetprofielen zelden –8 m TAW, zodat een vergelijking aan deze kant praktisch onmogelijk werd.

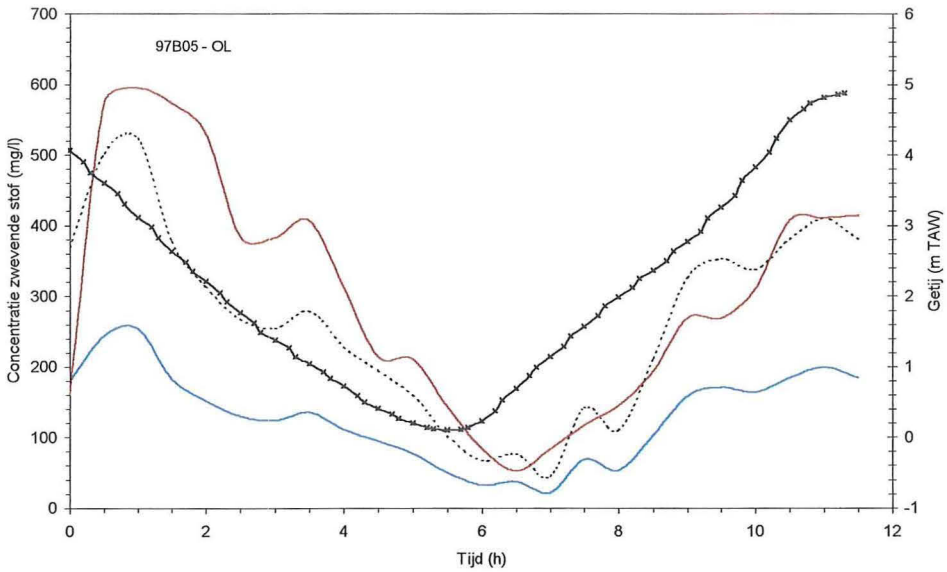


Figuur 16: overeenstemming tussen de simultane metingen van de registrerende peilschaal en de metingen aan linkeroever met het meetschip ter hoogte van Oosterweel op –8 m TAW. "Outliers" (7 % van het totaal aantal meetpunten) werden in rood aangeduid.

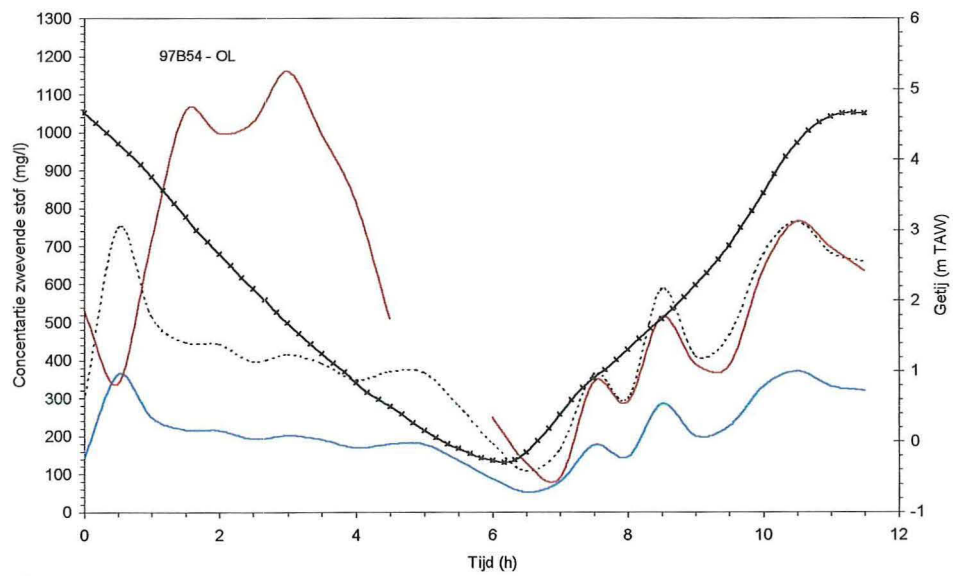
De metingen die gelijktijdig aan boord van het meetschip en ter hoogte van de registrerende peilschaal op –8 m TAW werden uitgevoerd vertonen een regressie coëfficiënt van 0.93. Dit is echter zonder de "outliers" gerekend. Deze reeks punten kunnen volledig toegeschreven worden aan de stations 97B05 voor de waarden boven de regressierechte en 97B54 voor de waarden onder de regressierechte. De volgende vier grafieken (figuren 17 t.e.m. 20) tonen de voorspelde concentraties en de werkelijk gemeten hoeveelheid zwevende stof op –8 m TAW. Zoals bij de metingen op –4 m TAW stemt ook hier het verloop en de waarde van voorspeling en werkelijke meting goed overeen. Enkel station 97B54 (bij eb – meting hogere waarde dan de schatting) en station 98B29 (bij vloed – schatting grotere waarde dan meting) wijken hierop licht af. Vermits de resultaten hier besproken slechts betrekking hebben op één kant van de geul zijn bodemeffecten op de verschillen in suspensieconcentratie tussen beide metingen uit te sluiten. In dit geval zal lokale en sterke resuspensie zijn oorsprong eerder vinden in lokale turbulenties waar mogelijk passerende schepen aanleiding toe kunnen geven.



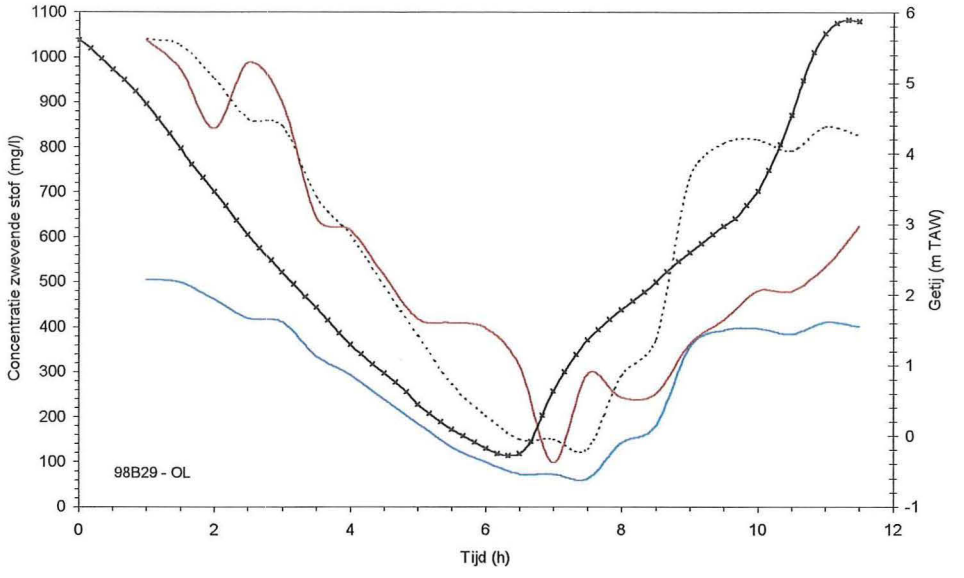
Figuur 17: de hoeveelheid zwevende stof ter hoogte van de registrerende peilschaal (mg/l), de voorspelde en de werkelijk gemeten hoeveelheid zwevende stof (mg/l) ter hoogte van station 96B08 (Oosterweel Links) op –8 m TAW. Legende zie figuur 9.



Figuur 18: de hoeveelheid zwevende stof ter hoogte van de registrerende peilschaal (mg/l), de voorspelde en de werkelijk gemeten hoeveelheid zwevende stof (mg/l) ter hoogte van station 97B05 (Oosterweel Links) op –8 m TAW. Legende zie figuur 9.



Figuur 19: de hoeveelheid zwevende stof ter hoogte van de registrerende peilschaal (mg/l), de voorspelde en de werkelijk gemeten hoeveelheid zwevende stof (mg/l) ter hoogte van station 97B54 (Oosterweel Links) op –8 m TAW. Legende zie figuur 9.



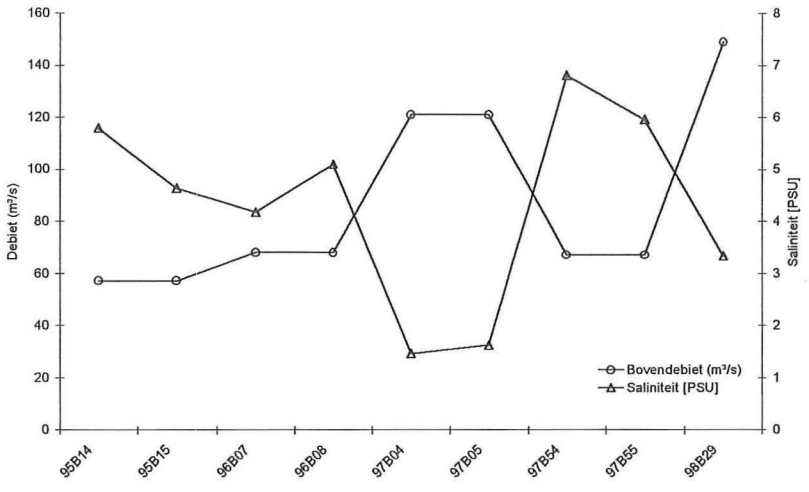
Figuur 20: de hoeveelheid zwevende stof ter hoogte van de registrerende peilschaal (mg/l), de voorspelde en de werkelijk gemeten hoeveelheid zwevende stof (mg/l) ter hoogte van station 98B29 (Oosterweel Links) op –8 m TAW.

Zowel op –4 m als op –8 m T.AW. kan de concentratie in de geul geschat worden aan de hand van de continue metingen ter hoogte van de registrerende peilschalen. Voor de metingen op –8 m T.A.W. is de schatting van het gehalte aan zwevende stof beperkt tot de linkerkant van de geul, vermits gegevens ontbraken om de rechterkant te valideren. Op beide dieptes kunnen afwijking, zowel naar boven als naar onder, voorkomen (met meer dan 100%), die te wijten zijn aan lokale resuspensie. Om de regelmaat in de afwijking te kunnen schatten zijn er op dit moment nog niet genoeg gegevens.

4.2 Variatie in saliniteit en de concentratie aan zwevende stof

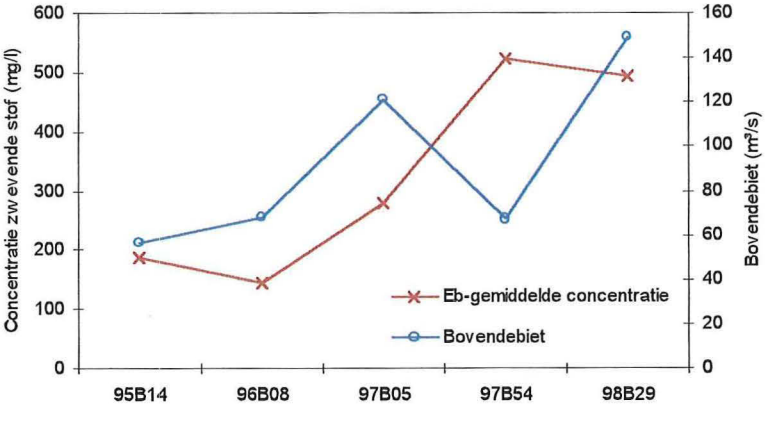
Zoals eerder vermeld kan het optreden van lokale resuspensie een afwijking van de geschatte concentratie veroorzaken. Parameters als het bovendebiet, het tijverschil en de springtij-doodtij cyclus kunnen globaal de concentratie aan zwevende stof beïnvloeden en meer specifiek de resuspensie van bodemmateriaal.

Saliniteit heeft een invloed op het troebelheidsmaximum en de biologische activiteit die zich in de waterkolom afspeelt. Het geeft aan in hoeverre het zeewater doordringt en is omgekeerd evenredig met het bovendebiet (Codde 1958, Fettweis *et al* 1998, zie ook figuur 21).

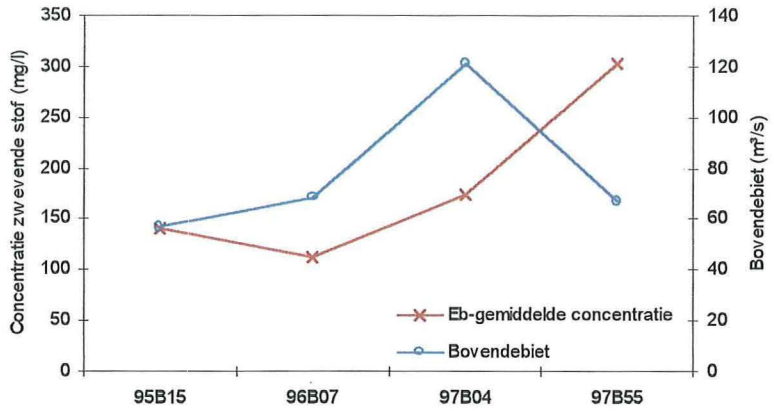


Figuur 21: tijgemiddelde saliniteit en bovendebiet te Schelle voor de meetstations te Oosterweel.

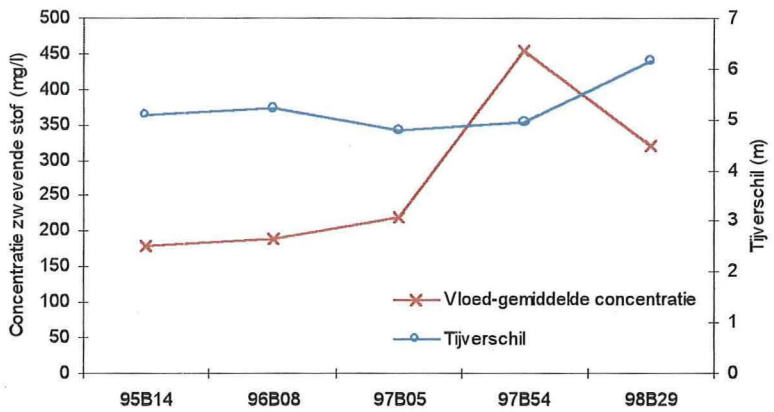
Volgens Fettweis *et al.* (1994) bereikt ter hoogte van de drempel van Zandvliet tijdens eb de stroomsnelheid een maximum in de diepere hoofdgeul, terwijl tijdens vloed de hoogste stroomsnelheden in de ondiepere vloedgeulen en langs de rivieroevers worden gevonden. In deze laatstgenoemde gebieden zal het suspensiemateriaal bij doodtij sedimenteren en weer in suspensie gebracht worden bij springtij. Fettweis *et al.* (1998) toonden aan dat voor de metingen ter hoogte van de registrerende peilschaal te Prosperpolder het optreden van resuspensie en het concentratiemaximum tijdens eb afhankelijk zijn van het bovendebiet, tijdens vloed van het tijverschil. Figuren 22 en 23 tonen de invloed van deze parameters aan voor de metingen te Oosterweel.



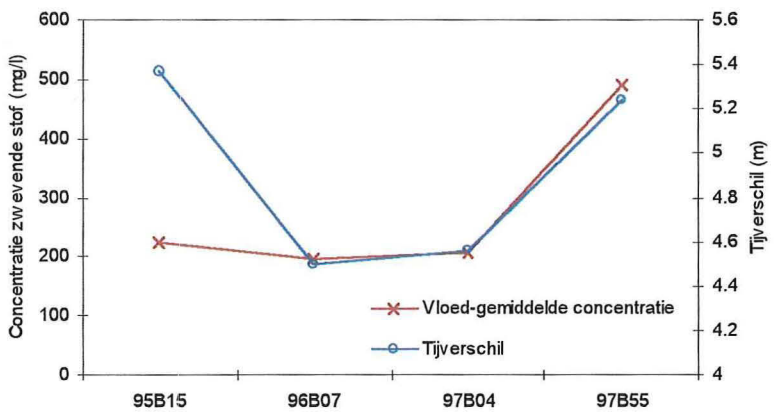
Figuur 22(a): eb-gemiddelde concentratie zwevende stof (mg/l) in Oosterweel Links en bovendebiet te Schelle (m³/s).



Figuur 22(b): eb-gemiddelde concentratie zwevende stof (mg/l) in Oosterweel Rechts en bovendebiet te Schelle (m³/s).



Figuur 23(a): vloedgemiddelde concentratie zwevende stof (mg/l) in Oosterweel Links en tijverschil (m).



Figuur 23(b): vloedgemiddelde concentratie zwevende stof (mg/l) in Oosterweel Rechts en tijverschil (m).

Omdat de metingen op langere tijdschaal fragmentarisch zijn, kunnen uit deze figuren geen vaststaande conclusies getrokken worden, toch toont figuur 22 aan dat het

bovendebiet een invloed heeft op de eb-gemiddelde concentratie. De punten 97B54 en 97B55 wijken daar van af. Hierbij dient rekening gehouden te worden dat het debiet een 10-daags gemiddelde is. Drie dagen voor de metingen was namelijk een verhoogd debiet te Melle waarneembaar, terwijl op het moment van de metingen het debiet terug zakte en er ongeveer 7 l/m² neerslag viel te Ukkel. De voortplanting van het effect van het verhoogd debiet te Melle tot aan Oosterweel neemt echter een bepaalde tijd in beslag. Daarbij dient men nog rekening te houden dat door de vertraging men voor een zelfde bovendebiet mogelijk verschillende suspensieconcentraties krijgen, naargelang men vóór de metingen een periode met hoger of lager bovendebiet had. Voor de invloed van het tijverschil op de vloed-gemiddelde concentratie aan zwevende stof is figuur 23(a) (Oosterweel Links) niet helemaal duidelijk. Mogelijk speelt hierbij de springtij-doodtij cyclus een rol, namelijk voor een zelfde tijverschil kan de gemiddelde concentratie aan zwevende stof verschillen naarmate men naar een springtij of naar een doodtij evolueert. Station 97B54 is namelijk bemonsterd tijdens een getij dat zich situeert in de periode van springtij naar doodtij (van een toestand van hogere energie naar lagere), de andere stations in de periode van (vlak na) doodtij naar springtij (van energetisch lagere toestand naar een hogere waarde). Fettweis *et al.* (1998) concluderen dat het maximale tij-gemiddelde concentratie aan zwevende stof één getij later komt dan het maximale tijverschil, zodat in de huidige studie mogelijk ook een vertragingseffect aanwezig is. Metingen die de zwevende stof en het tijverschil gedurende enkele dagen opvolgen kunnen dit aan het licht brengen.

Voor de sectie te Oosterweel kan men bijgevolg voorzichtig concluderen dat de resuspensie van bodemmateriaal en meer specifiek de tij-gemiddelde concentratie aan zwevende stof afhankelijk is van het bovendebiet (eb-gemiddelde concentratie) en van het tijverschil (vloed-gemiddelde concentratie).

Deze en andere factoren (o.a. bodemsamenstelling en evolutie ervan in de tijd, positie van het turbiditeitsmaximum) dienen in eerste instantie naderbij bekeken te worden om een beter inzicht te krijgen in (lokale) resuspensieprocessen en de vorming van de gelaagde suspensie. Getijdemetingen van temperatuur, conductiviteit, stroomsnelheid en turbiditeit, gedurende 12 uur of langer, dienen regelmatig en verspreid over de verschillende seizoenen worden uitgevoerd om onderlinge verbanden tussen de verschillende parameters duidelijk te maken. Continue meting van het gehalte aan zwevende stof dient onverminderd voortgezet te worden en verder uitgewerkt te worden, eventueel aangevuld met stroomsnelheid en –richting. Op deze manier kan mogelijk een beter inzicht verkregen worden in de processen die zich over een dwarssectie van de rivier afspelen.

5 Besluiten

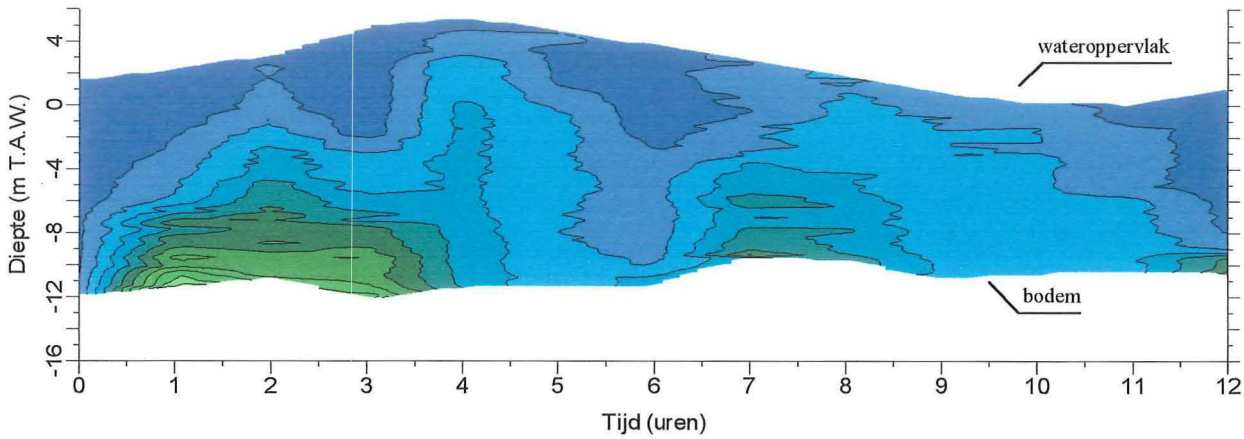
De meetraaien te Oosterweel, Fort De Parel en Zandvliet tonen aan dat het gehalte aan zwevende stof en de saliniteit zowel transversale als longitudinale verschillen vertonen. De saliniteit blijkt het hoogst in de diepere geul, de suspensie bereikt zijn maximum langs de ondiepere zijkanten. Deze asymmetrische sedimentdistributie wordt waarschijnlijk mede in stand gehouden door de densiteitsverschillen die ontstaan door de laterale saliniteitsverschillen (die tot enkele PSU kunnen oplopen) en de verticale saliniteitsgradiënt die tot 6 PSU kan oplopen.

Resuspensie van bodemmateriaal, het ontstaan van de gelaagde suspensie, treedt op van zodra de stroomsnelheid de kritische waarde van 60 cm/s overschrijdt. Deze kritische resuspensiesnelheid varieert van 30 cm/s tot 110 cm/s en is afhankelijk van de laterale en longitudinale positie in het meetgebied. Voor Oosterweel en Zandvliet ligt deze kritische waarde hoger bij eb dan bij vloed. Bij kentering vloed bezinkt er namelijk minder materiaal uit naar de bodem, zodat bij eb moeilijk erodeerbare bodems over blijven.

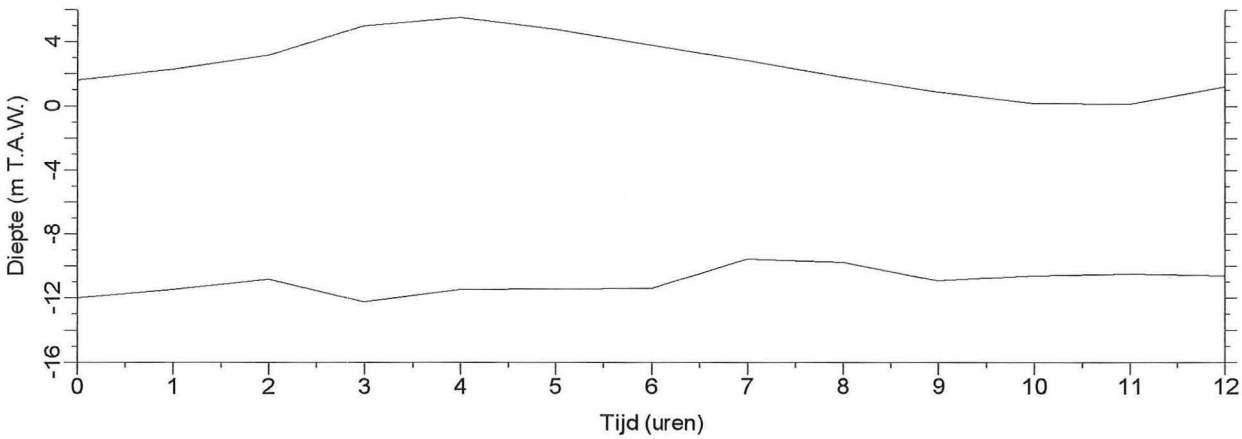
Zowel op –4 m als op –8 m T.AW. kan in Oosterweel de concentratie in de geul geschat worden aan de hand van de continue metingen ter hoogte van de registrerende peilschaal. Op beide dieptes kunnen afwijkingen, zowel naar boven als naar onder, voorkomen (met meer dan 100%), die te wijten zijn aan lokale resuspensie. Deze resuspensie van bodemmateriaal en meer specifiek de tij-gemiddelde concentratie aan zwevende stof is, voor Oosterweel, afhankelijk van het bovendebiet (eb-gemiddelde concentratie) en van het tijverschil (vloed-gemiddelde concentratie).

BIJLAGE 1:

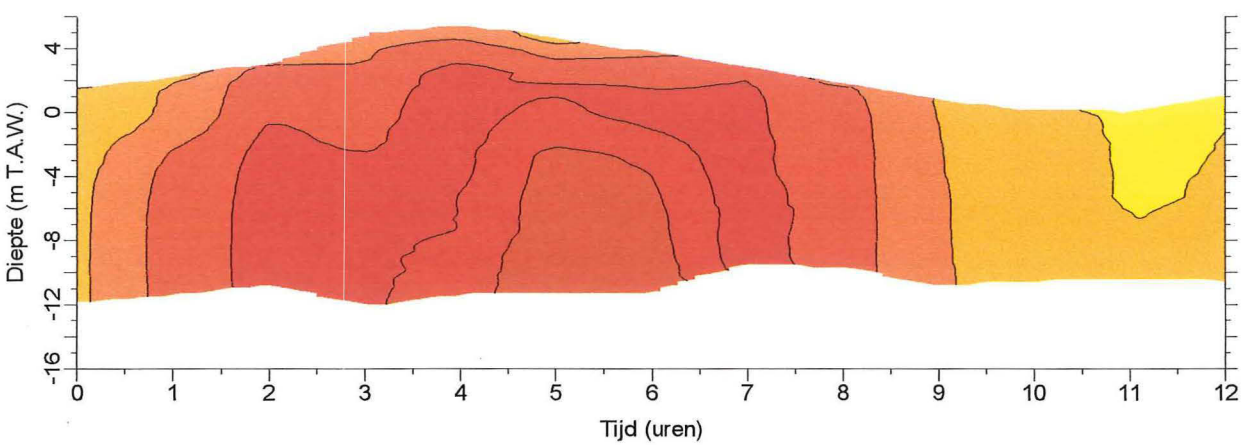
OVERZICHT VAN DE TROEBELHEID-, STROOMSNELHEID- EN SALINTEITSMETINGEN



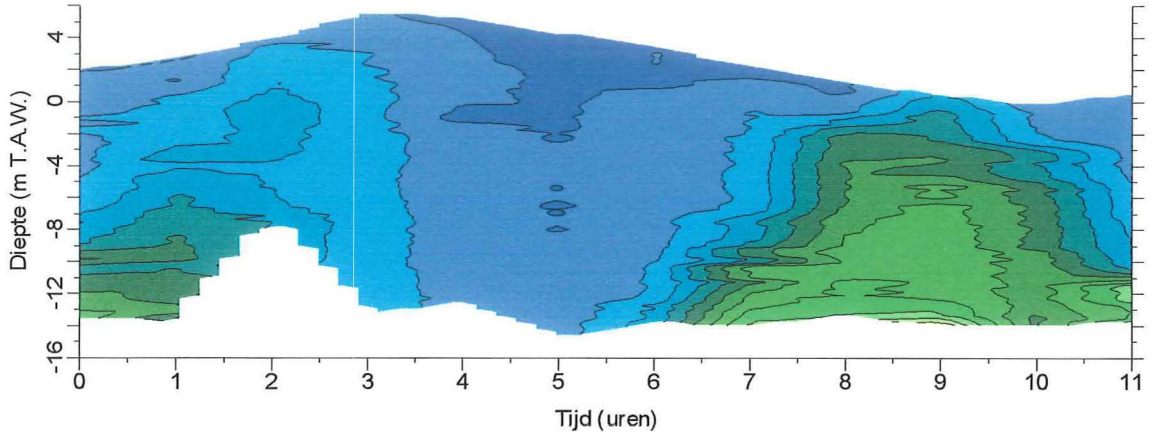
Sedimentconcentratie (mg/l)



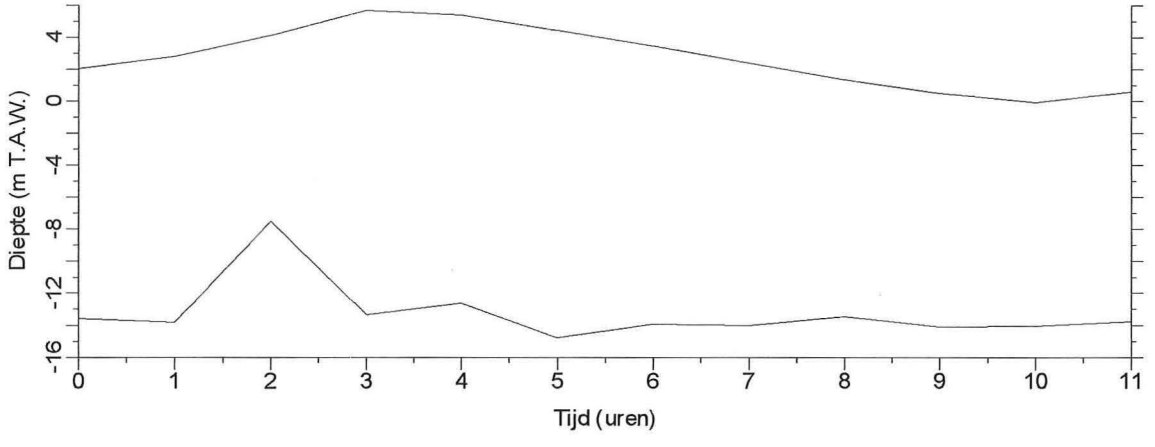
Stroomsnelheid (cm/s)



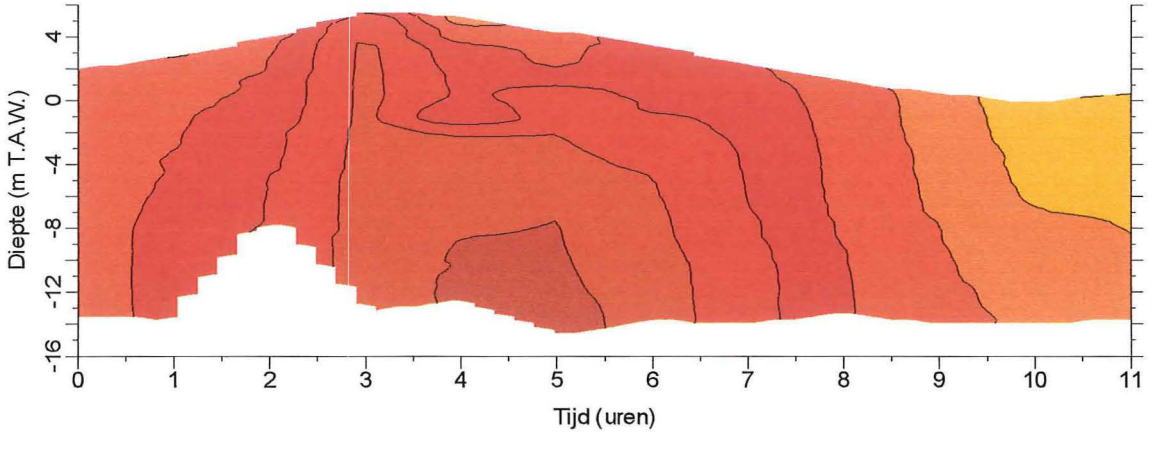
Saliniteit (PSU)



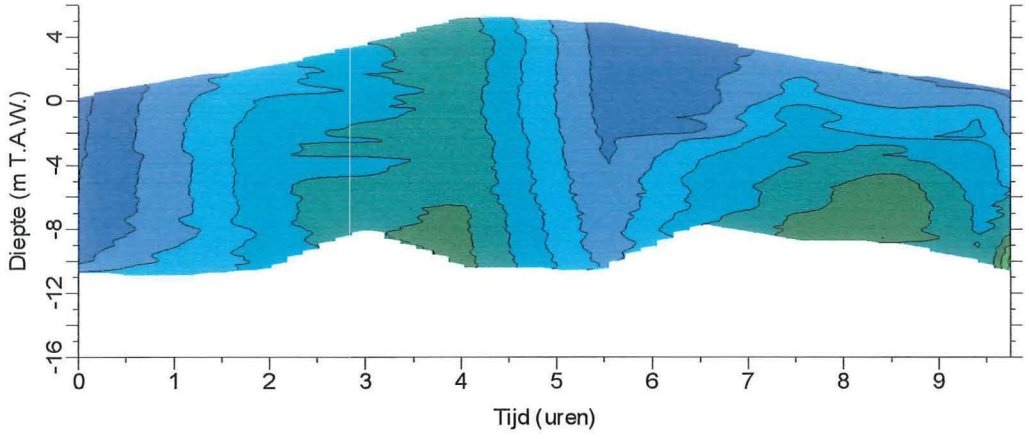
Sedimentconcentratie (mg/l)



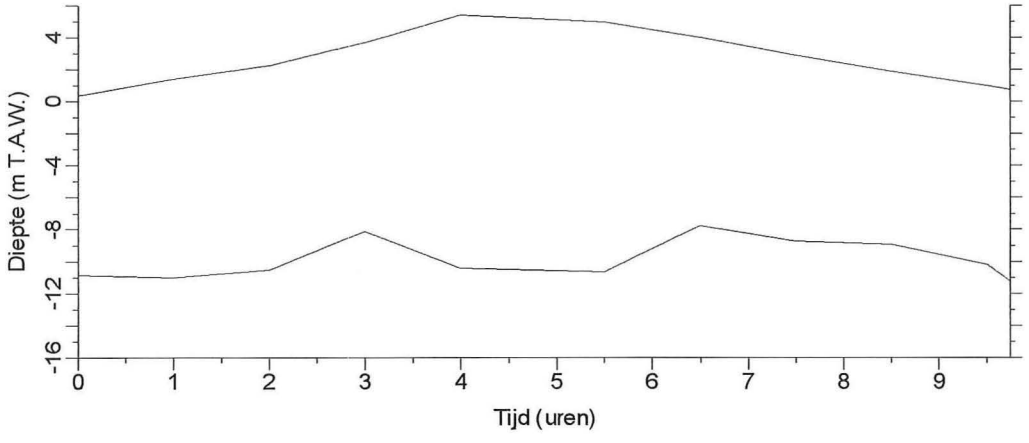
Stroomsnelheid (cm/s)



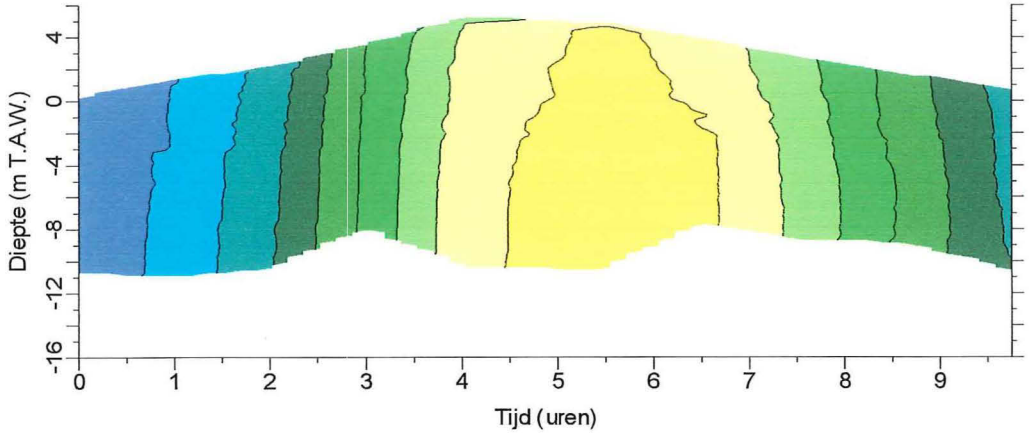
Saliniteit (PSU)



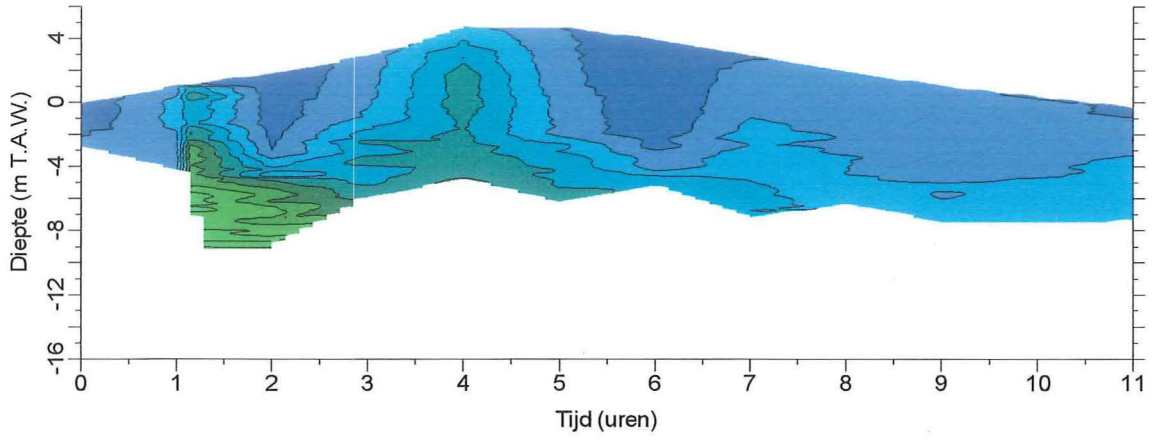
Sedimentconcentratie (mg/l)



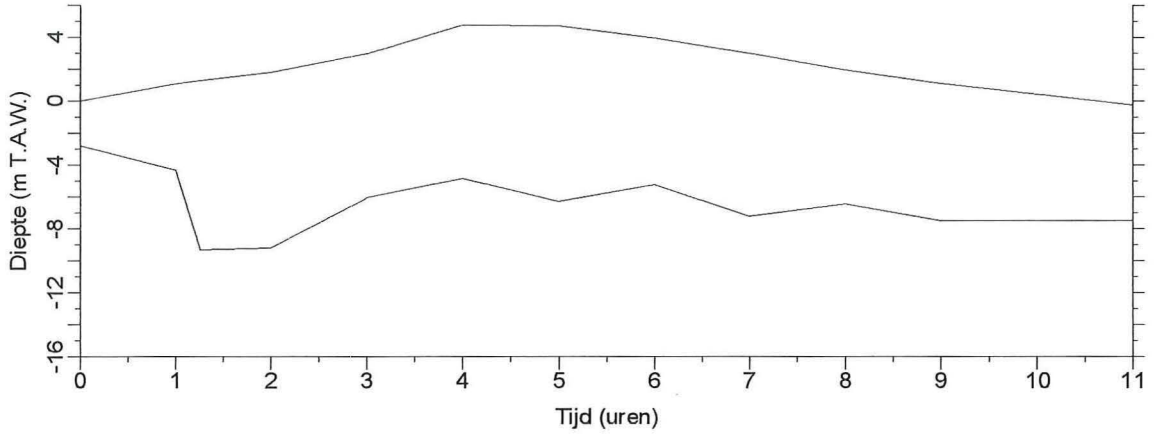
Stroomsnelheid (cm/s)



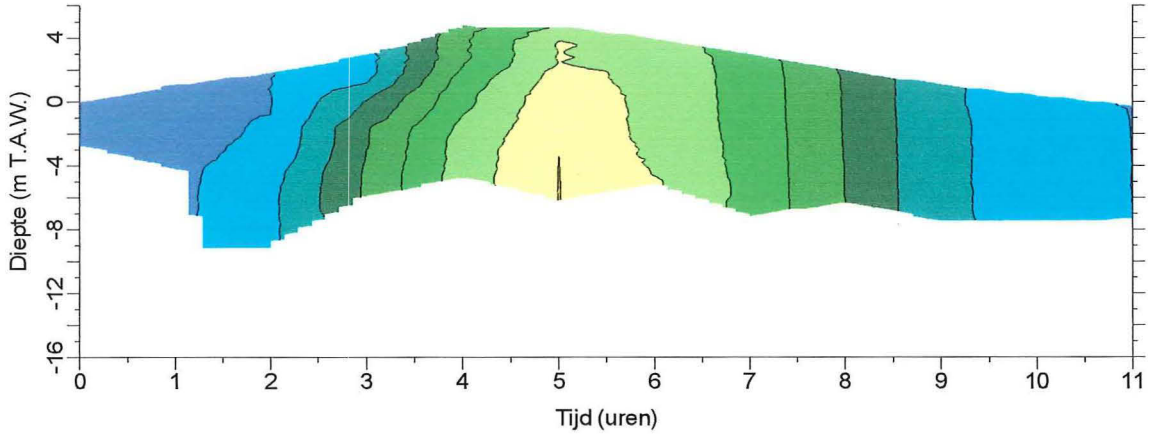
Saliniteit (PSU)



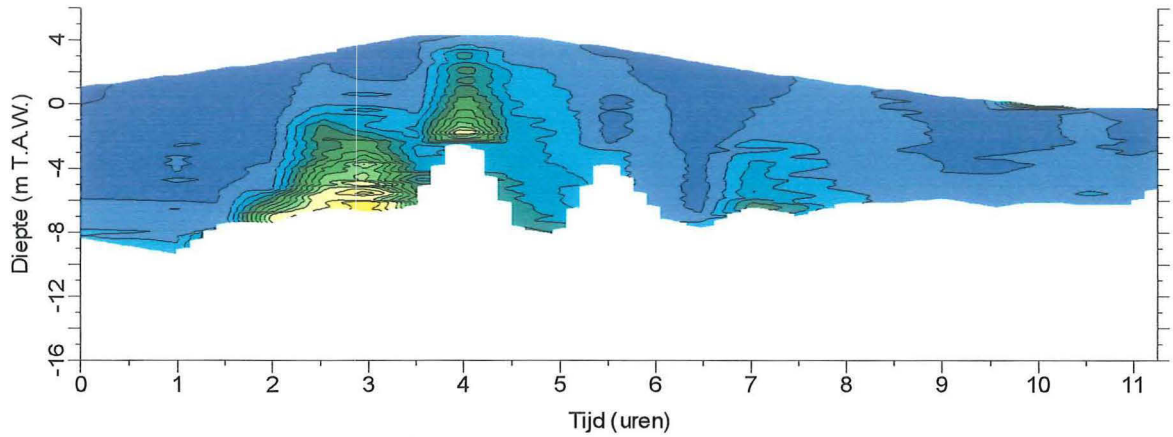
Sedimentconcentratie (mg/l)



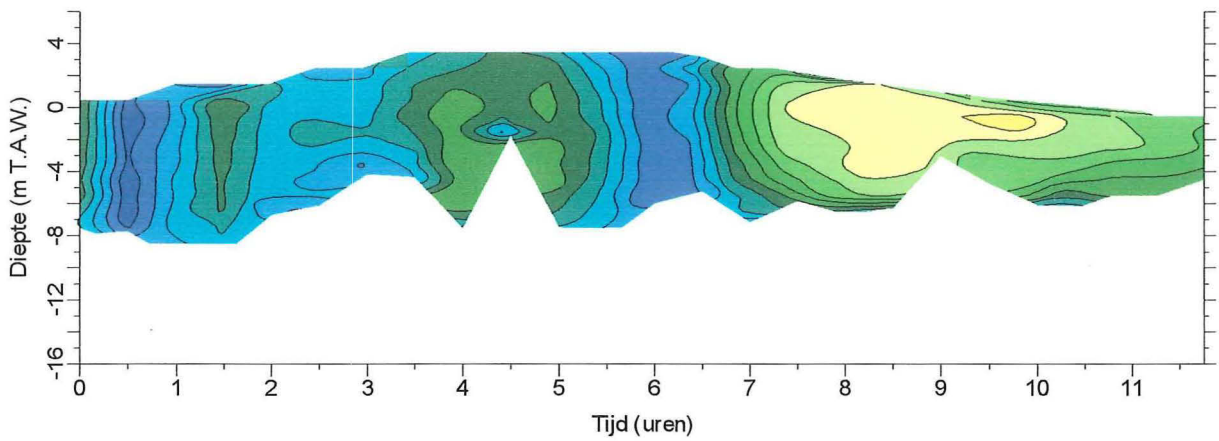
Stroomsnelheid (cm/s)



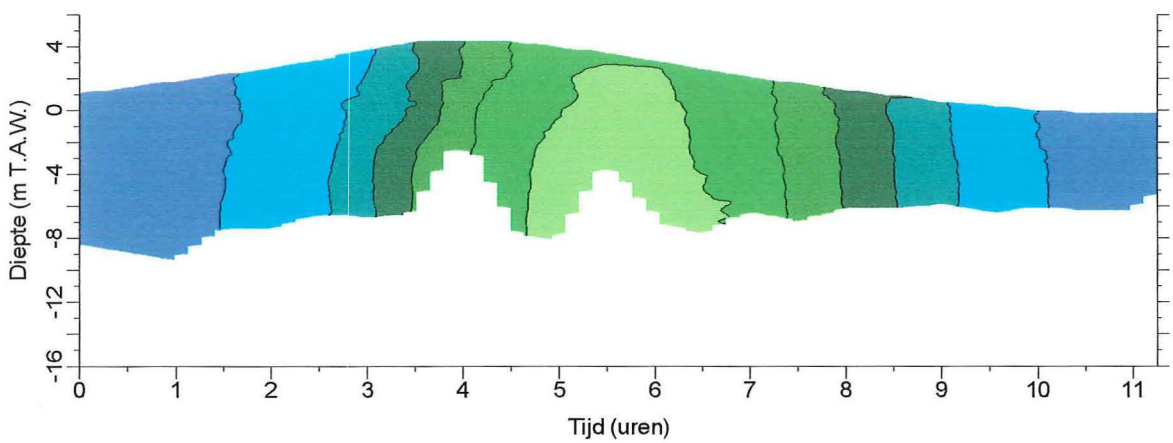
Saliniteit (PSU)



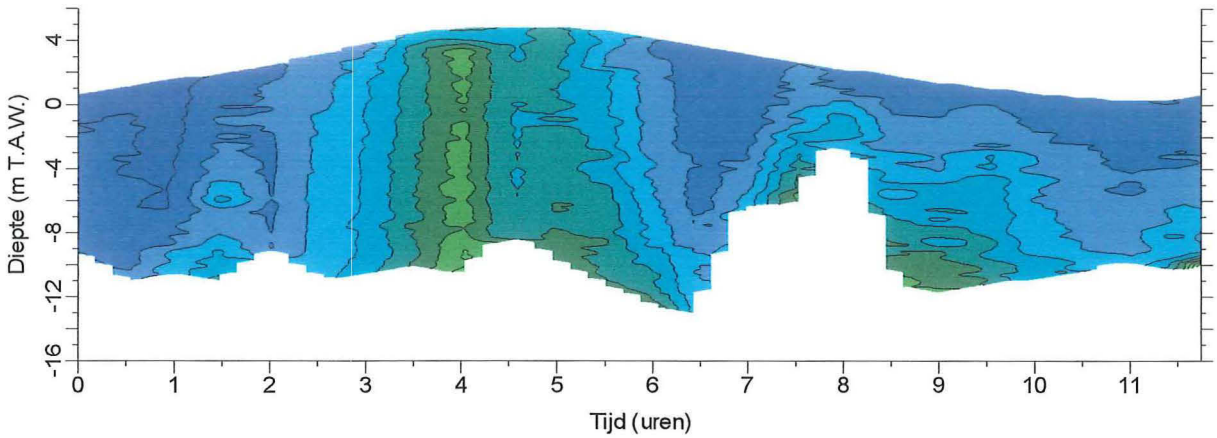
Sedimentconcentratie (mg/l)



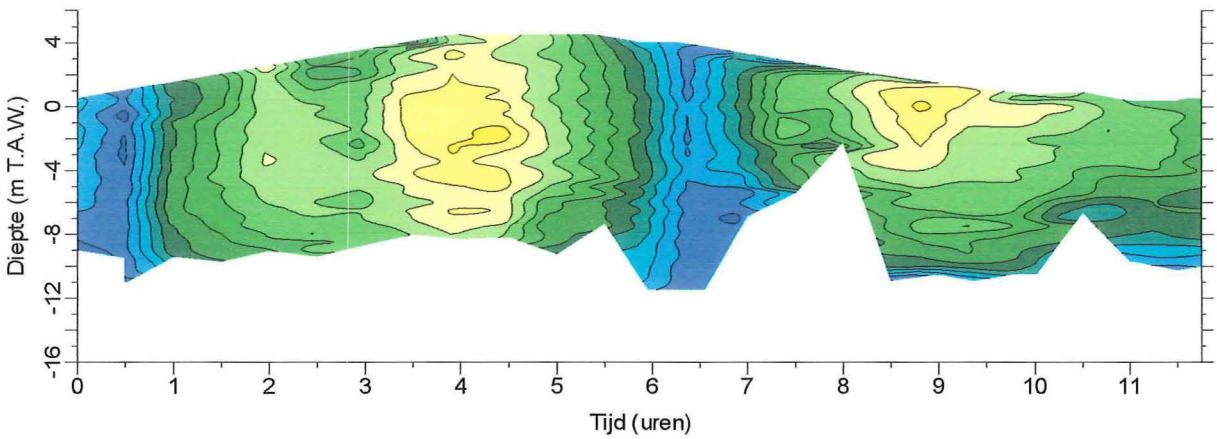
Stroomsnelheid (cm/s)



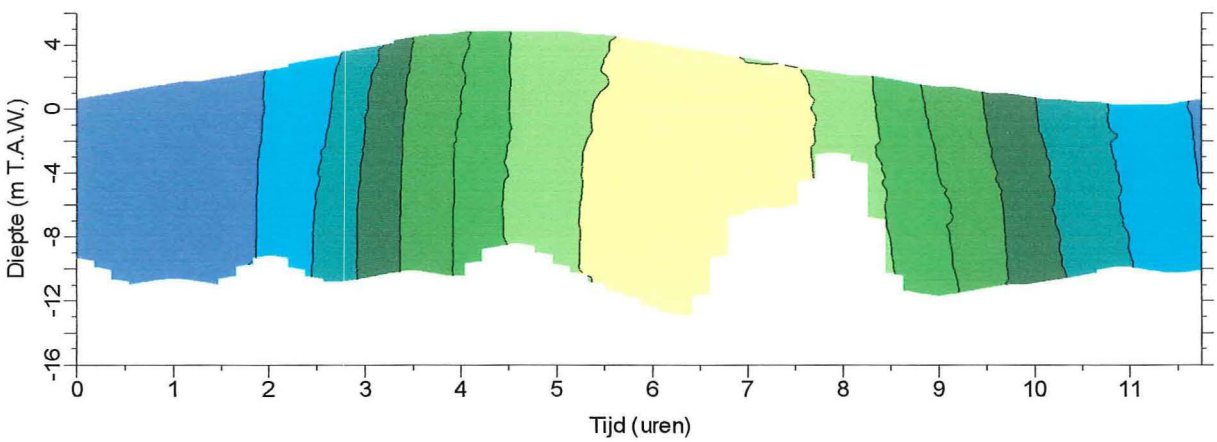
Saliniteit (PSU)



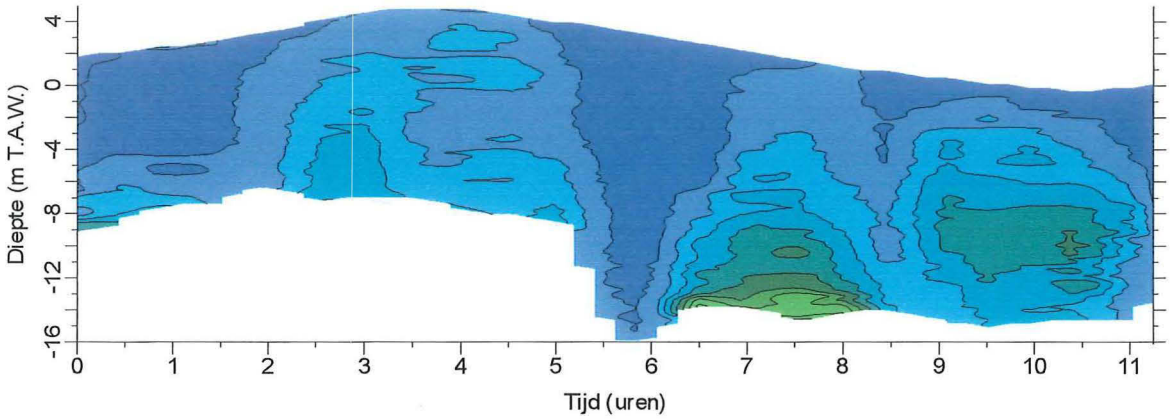
Sedimentconcentratie (mg/l)



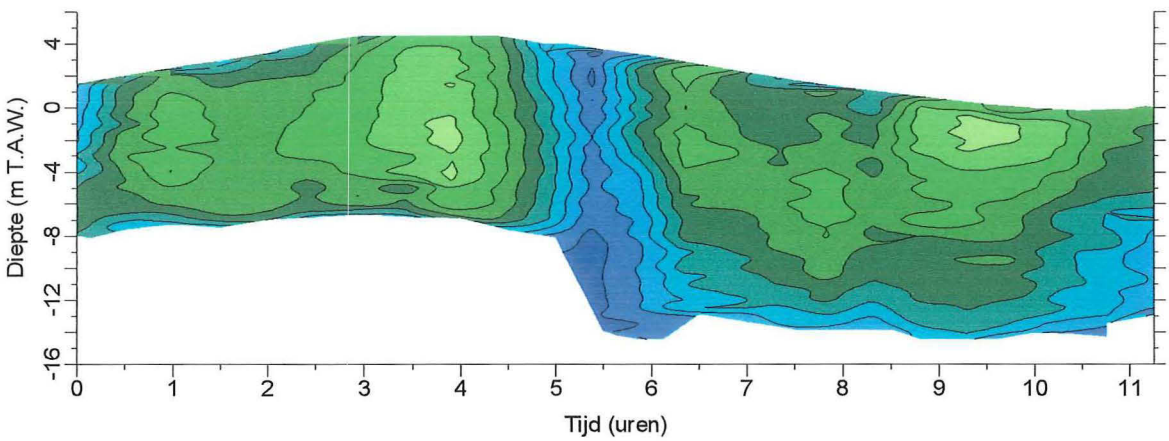
Stroomsnelheid (cm/s)



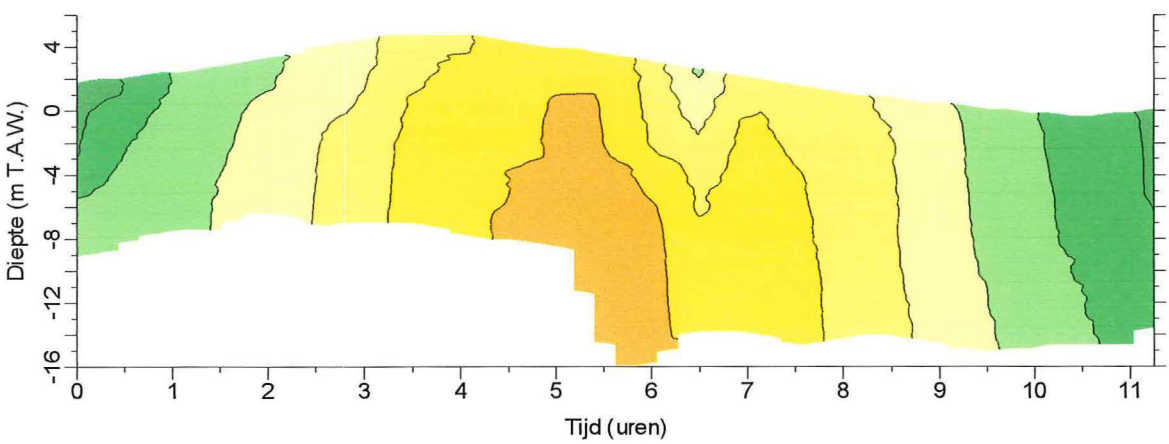
Saliniteit (PSU)



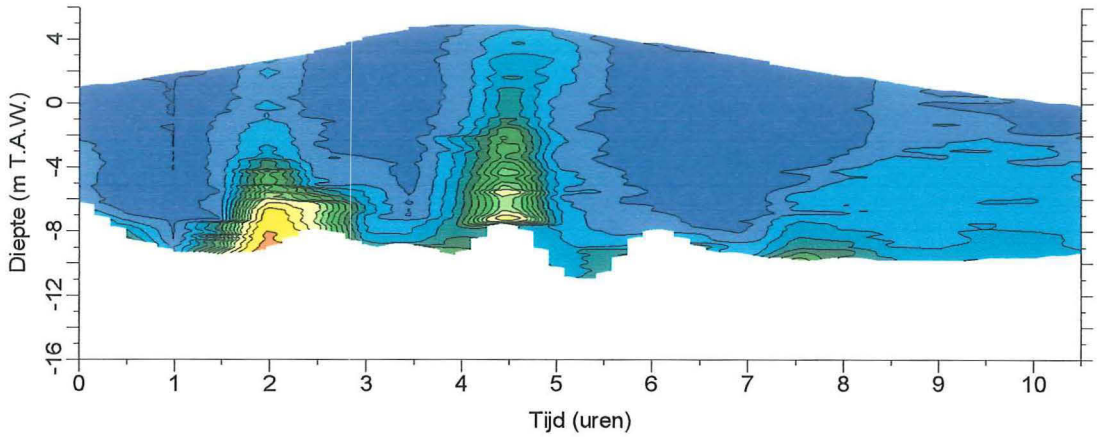
Sedimentconcentratie (mg/l)



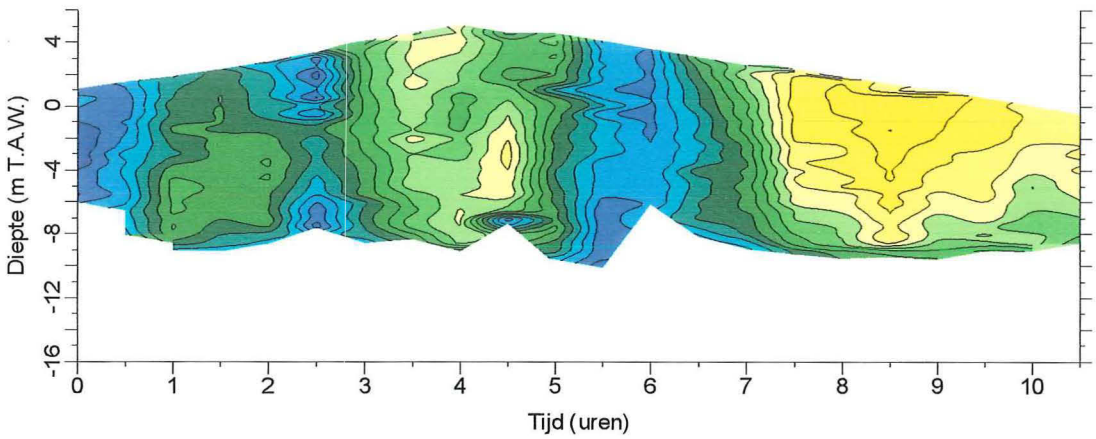
Stroomsnelheid (cm/s)



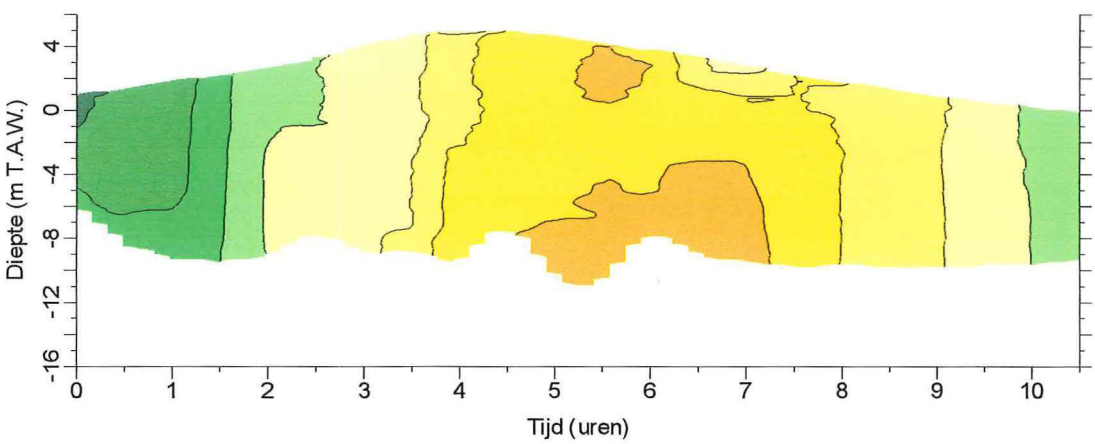
Saliniteit (PSU)



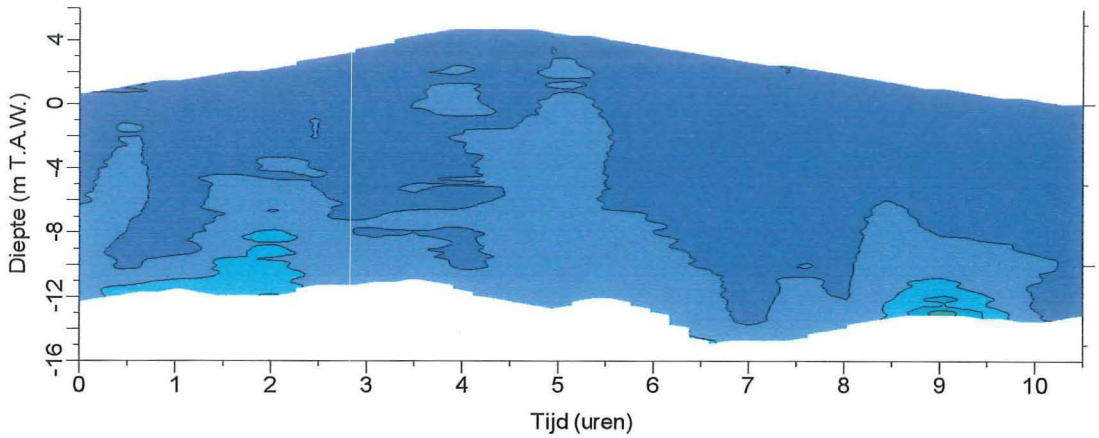
Sedimentconcentratie (mg/l)



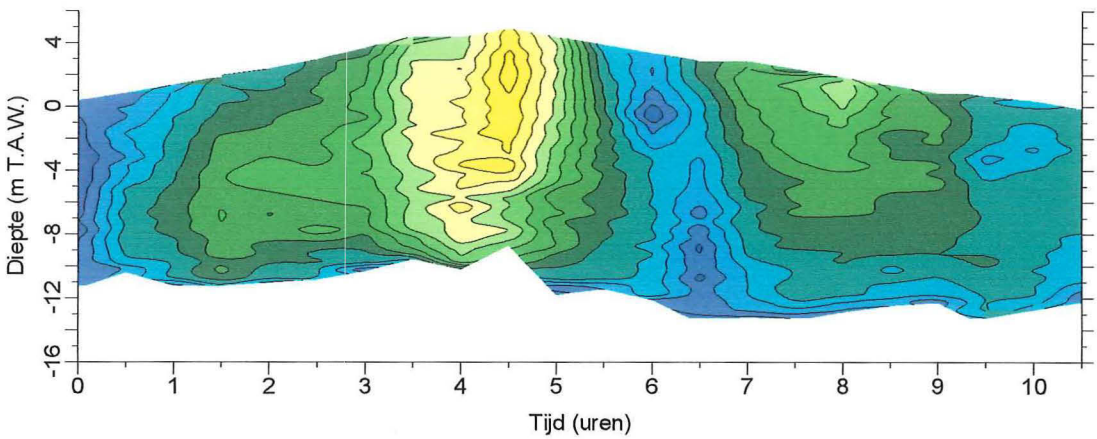
Stroomsnelheid (cm/s)



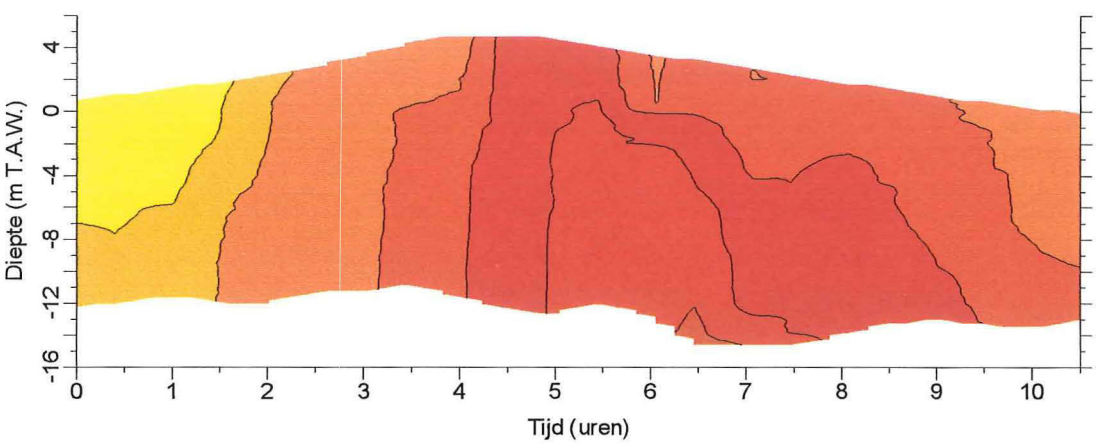
Saliniteit (PSU)



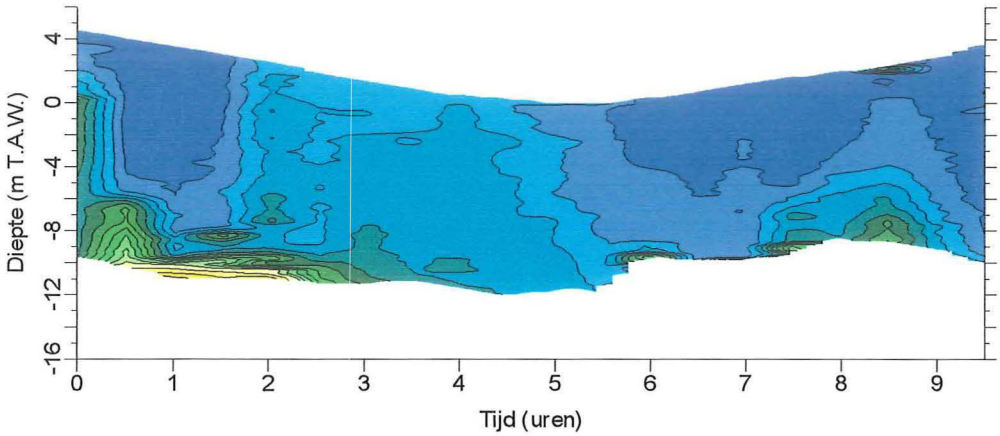
Sedimentconcentratie (mg/l)



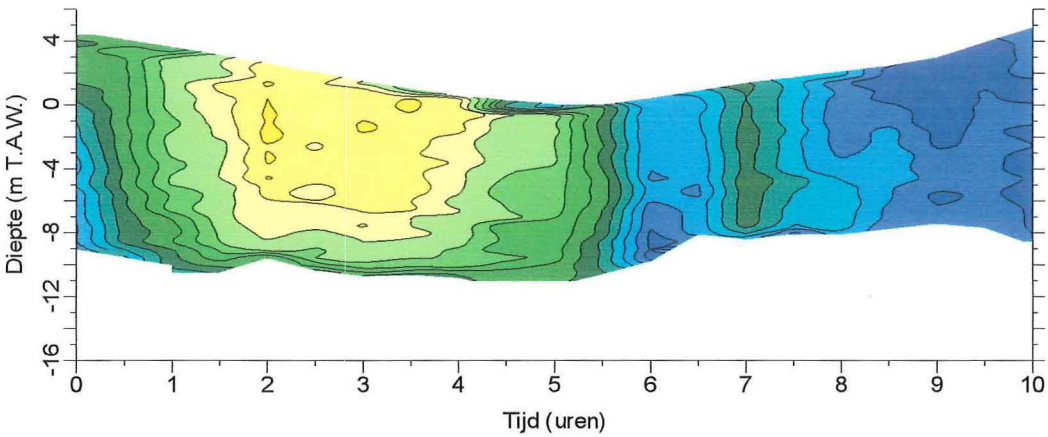
Stroomsnelheid (cm/s)



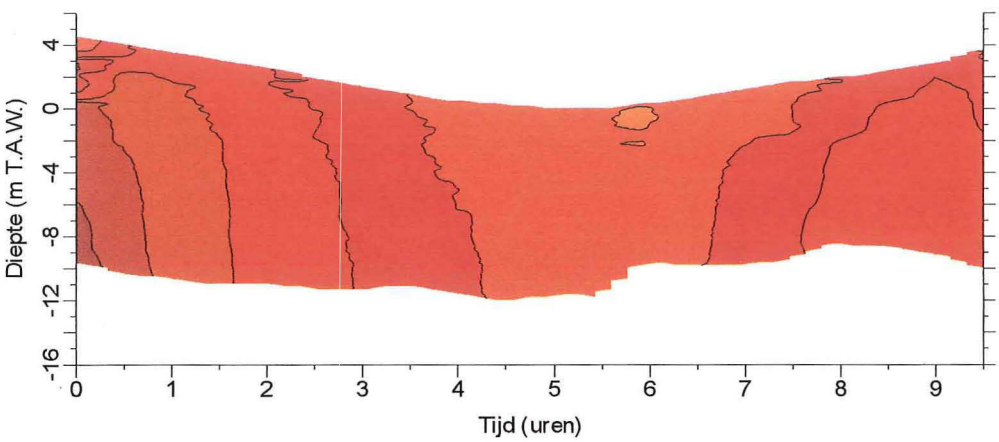
Saliniteit (PSU)



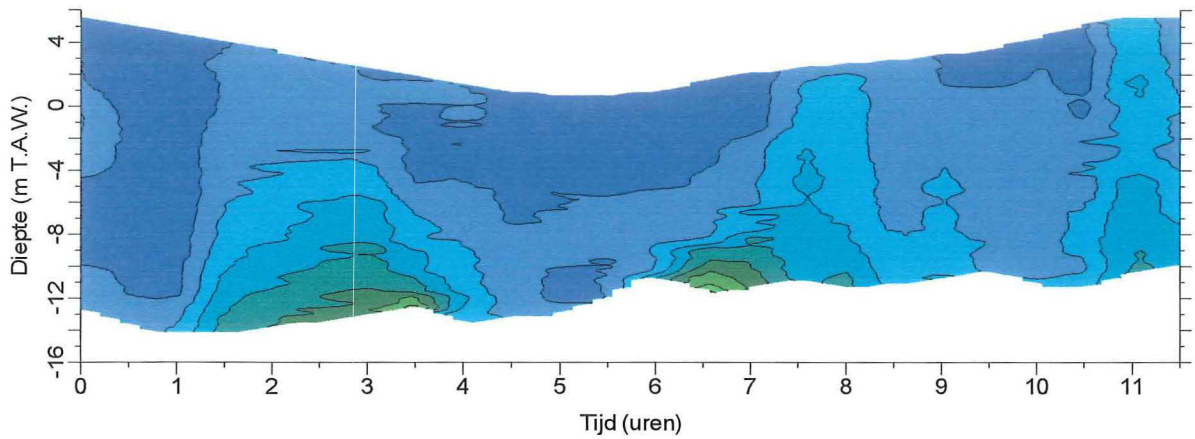
Sedimentconcentratie (mg/l)



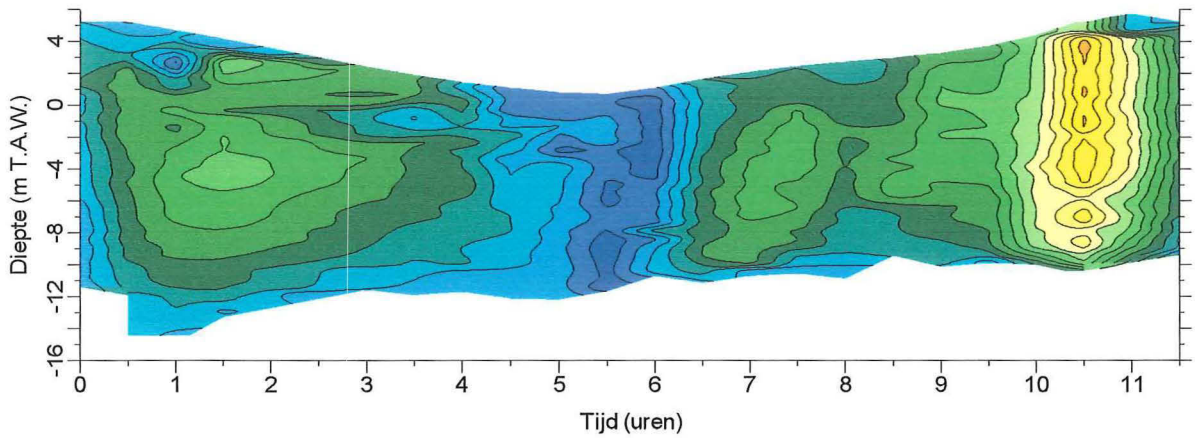
Stroomsnelheid (cm/s)



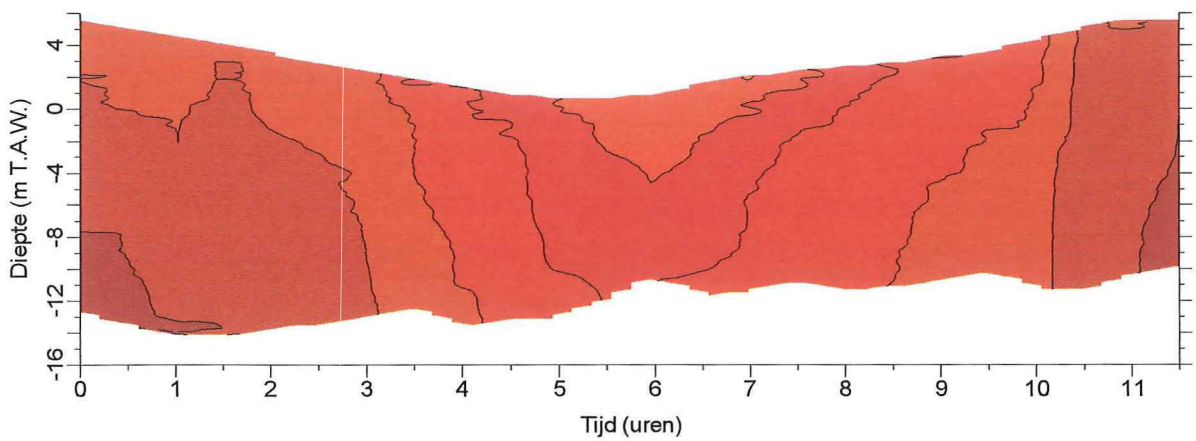
Saliniteit (PSU)



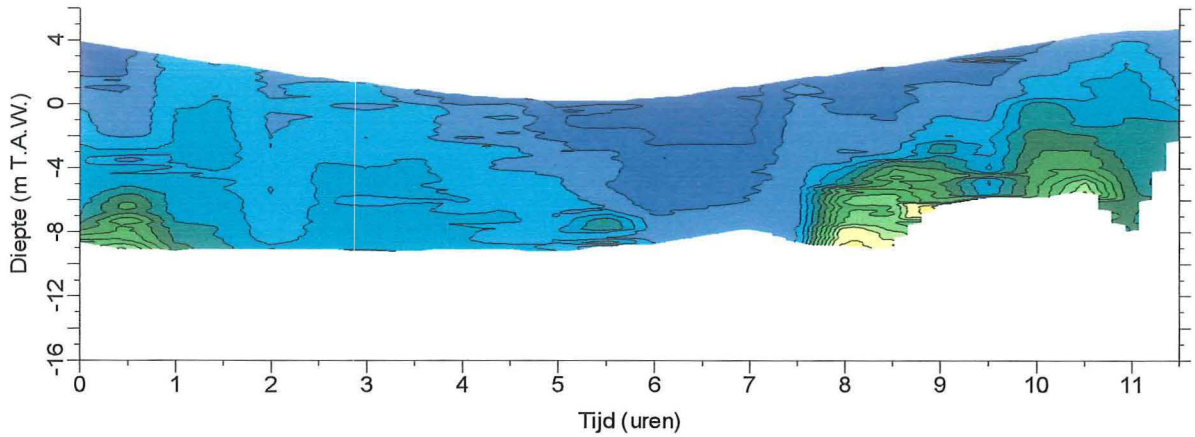
Sedimentconcentratie (mg/l)



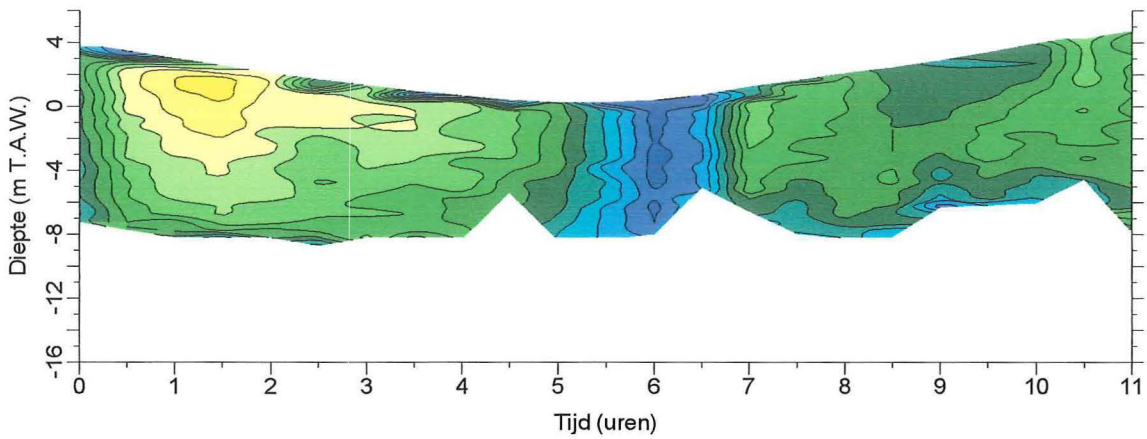
Stroomsnelheid (cm/s)



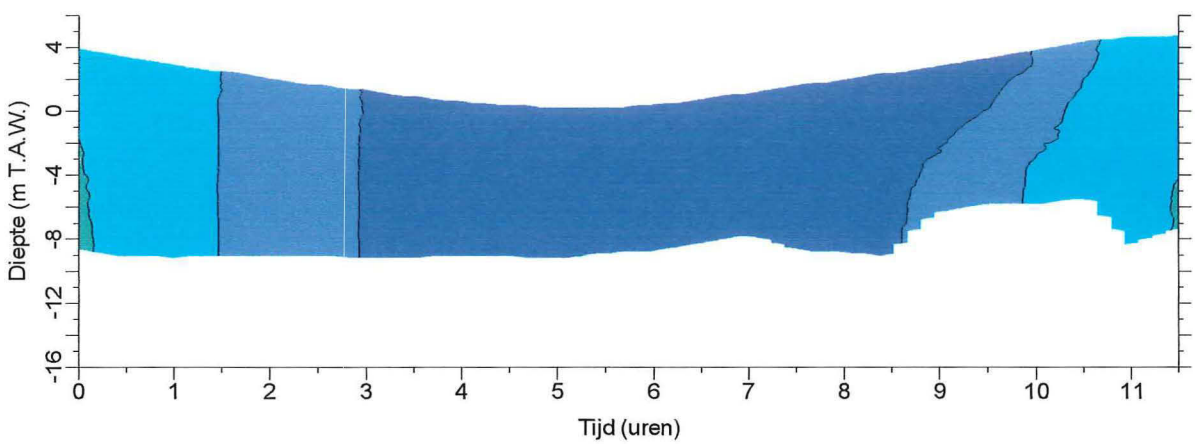
Saliniteit (PSU)



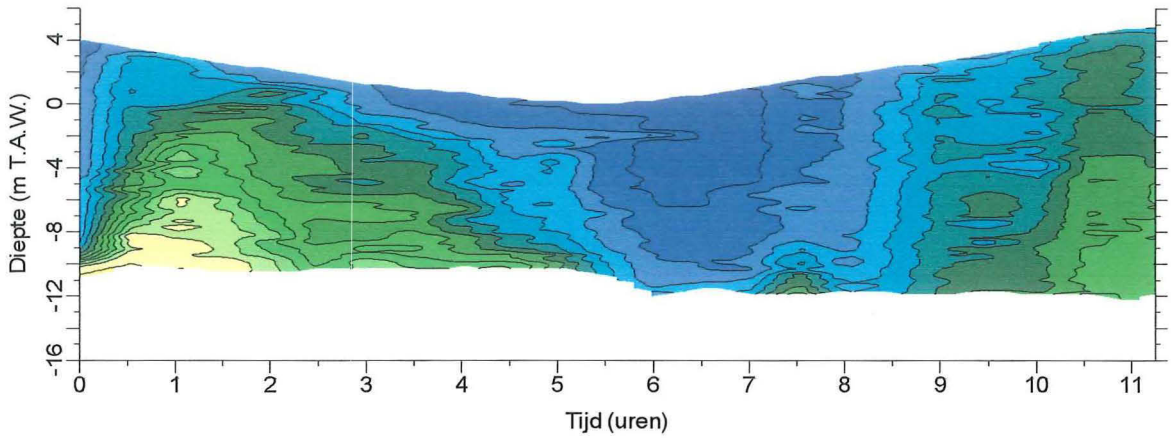
Sedimentconcentratie (mg/l)



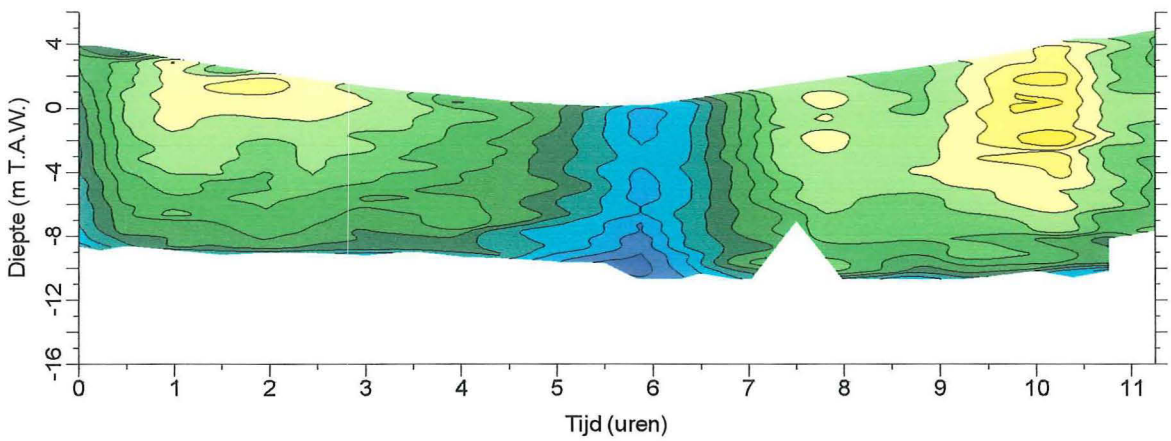
Stroomsnelheid (cm/s)



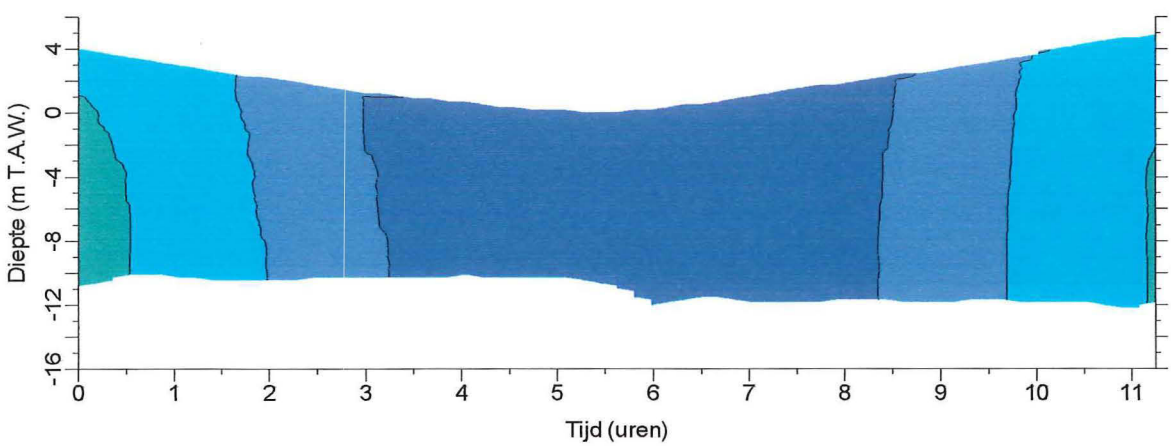
Saliniteit (PSU)



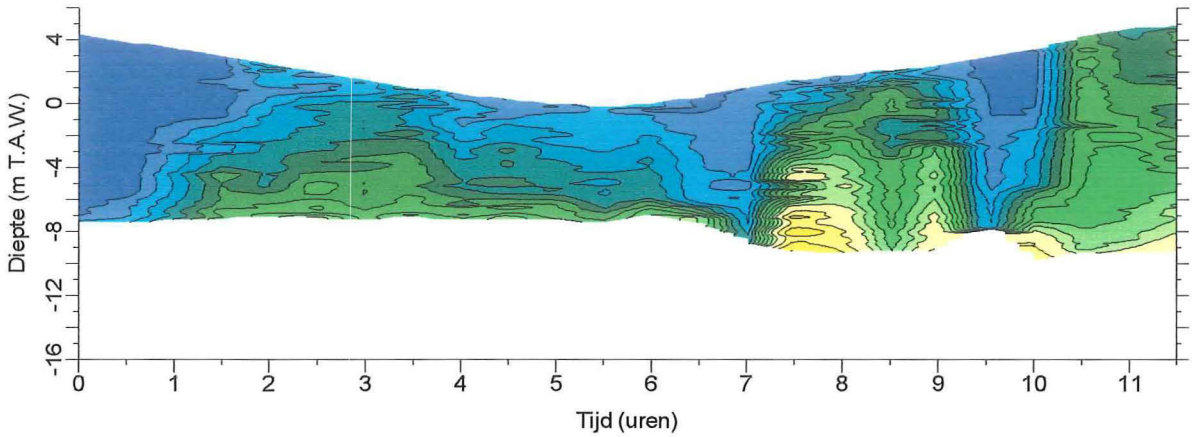
Sedimentconcentratie (mg/l)



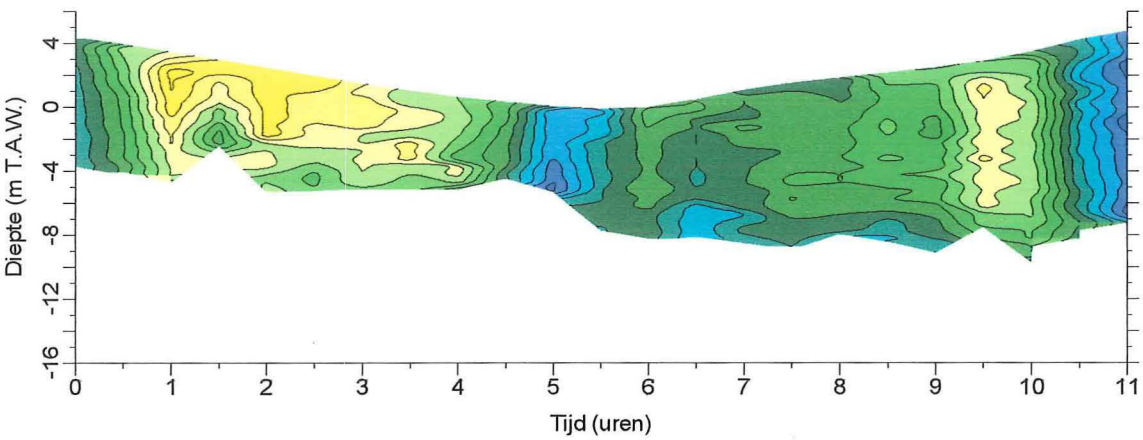
Stroomsnelheid (cm/s)



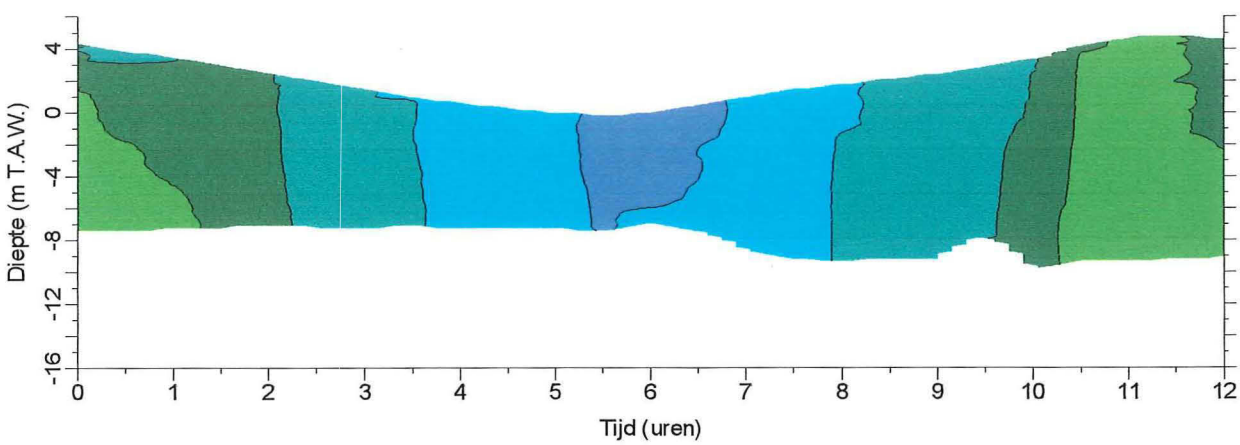
Saliniteit (PSU)



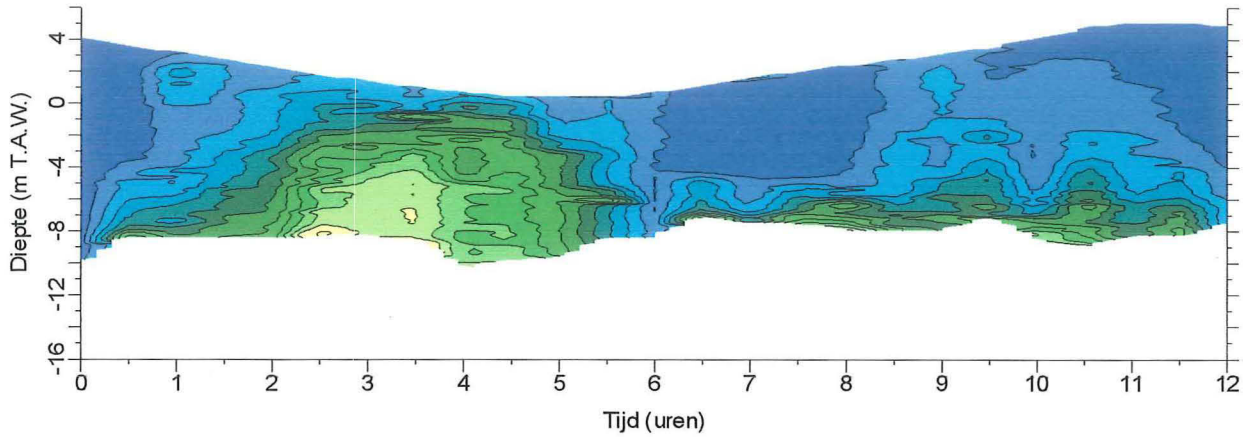
Sedimentconcentratie (mg/l)



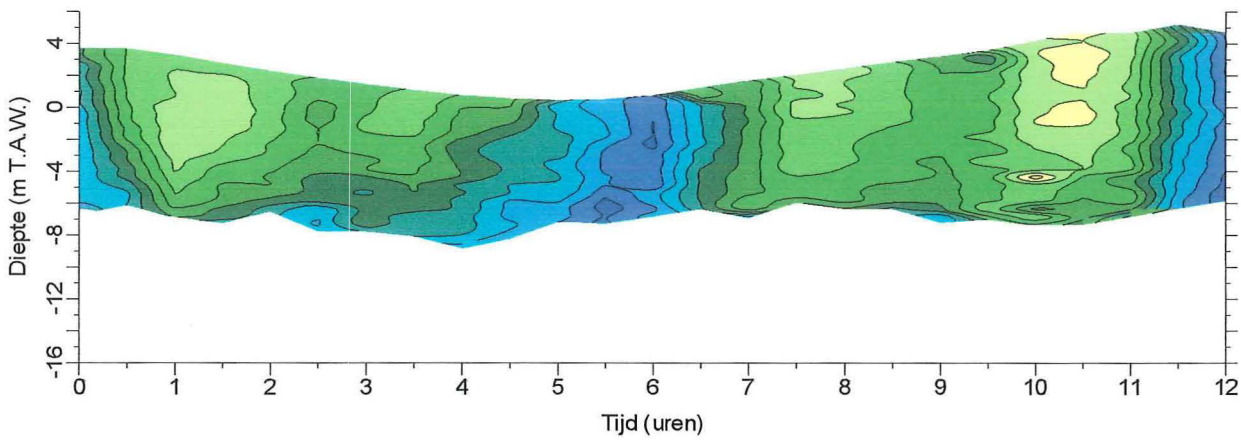
Stroomsnelheid (cm/s)



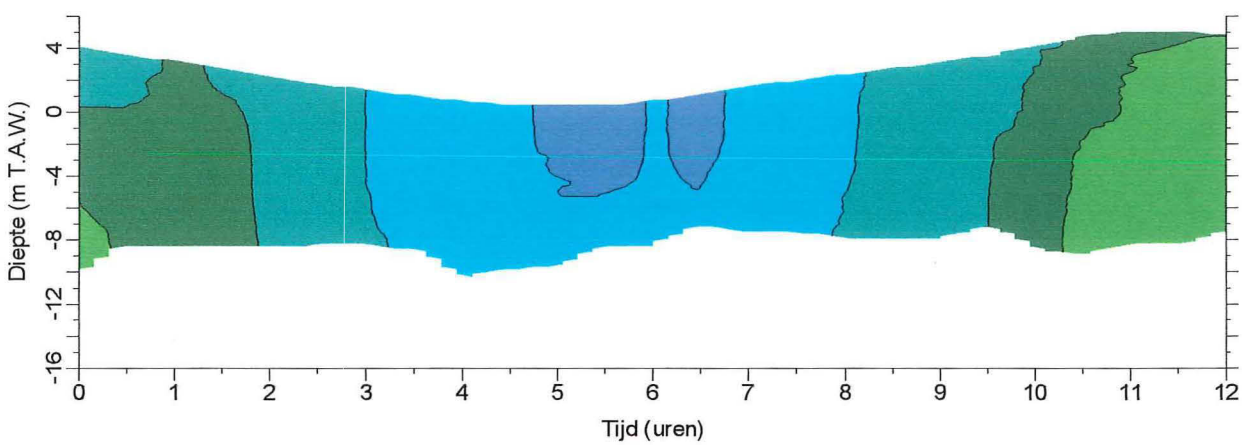
Saliniteit (PSU)



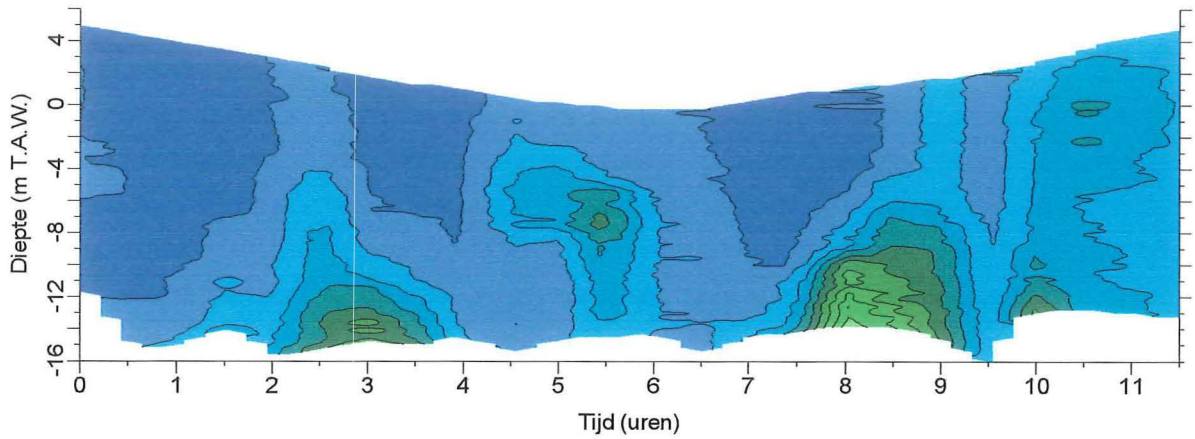
Sedimentconcentratie (mg/l)



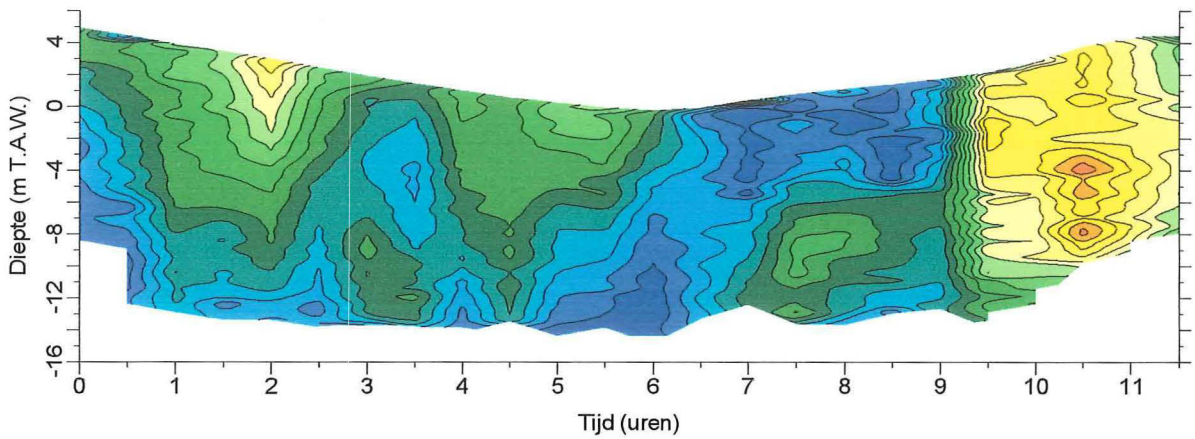
Stroomsnelheid (cm/s)



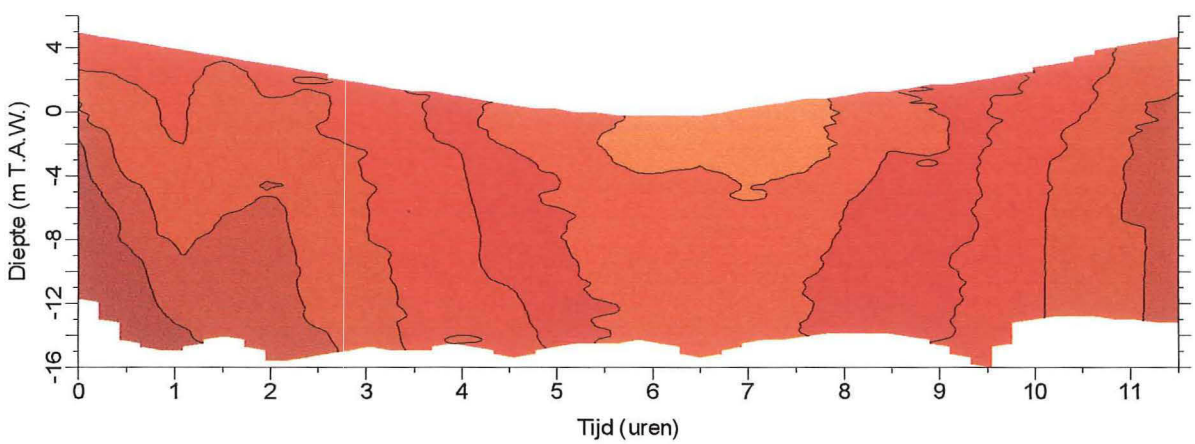
Saliniteit (PSU)



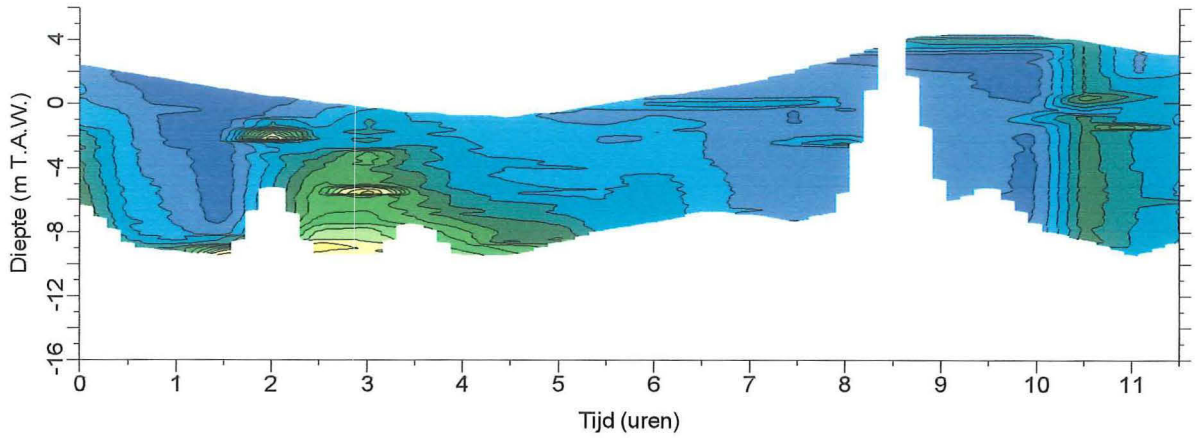
Sedimentconcentratie (mg/l)



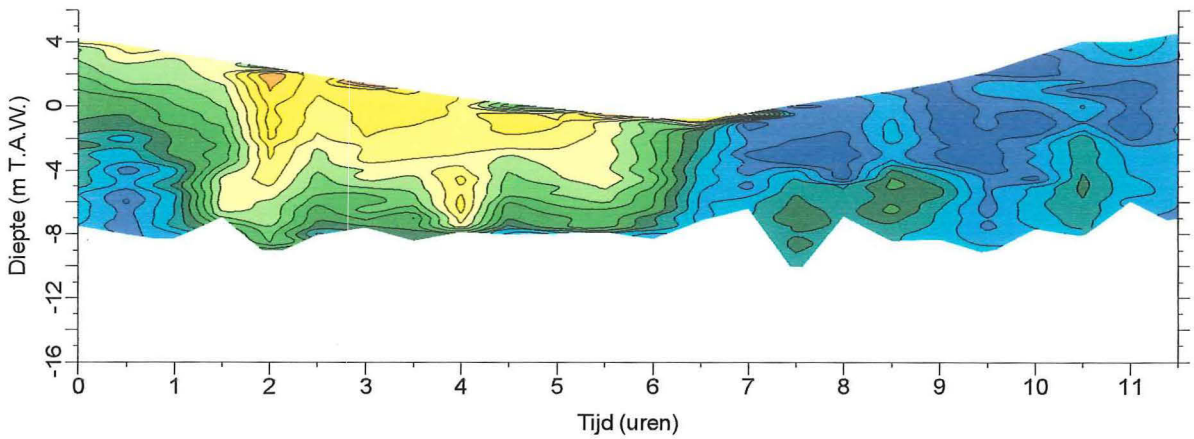
Stroomsnelheid (cm/s)



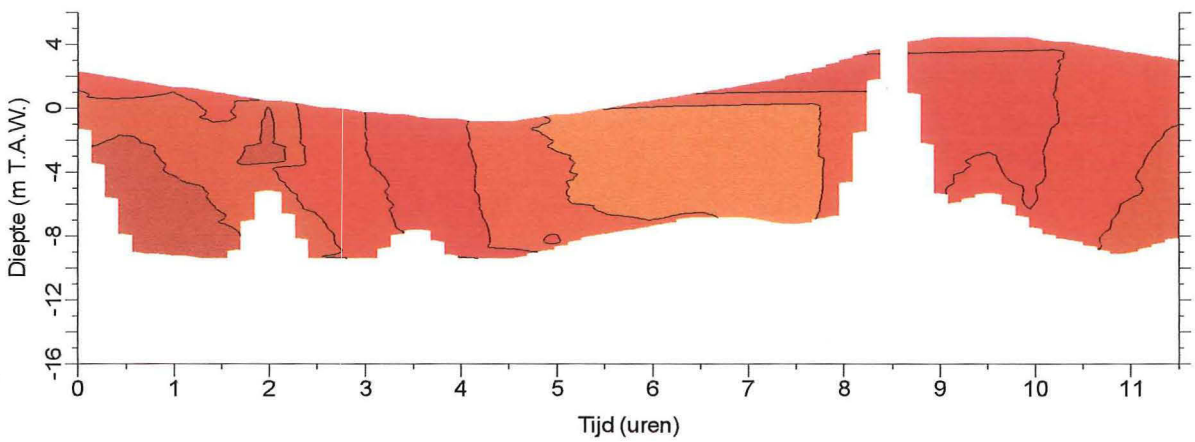
Saliniteit (PSU)



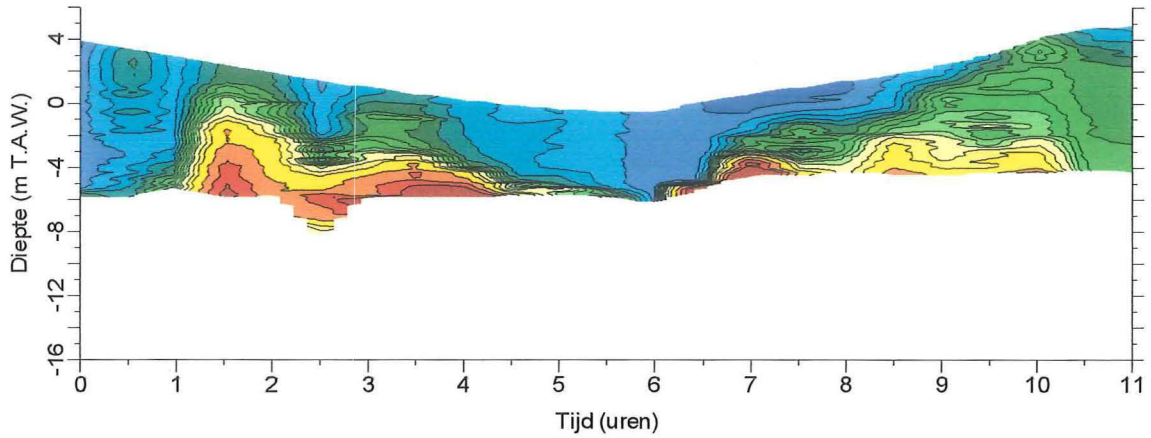
Sedimentconcentratie (mg/l)



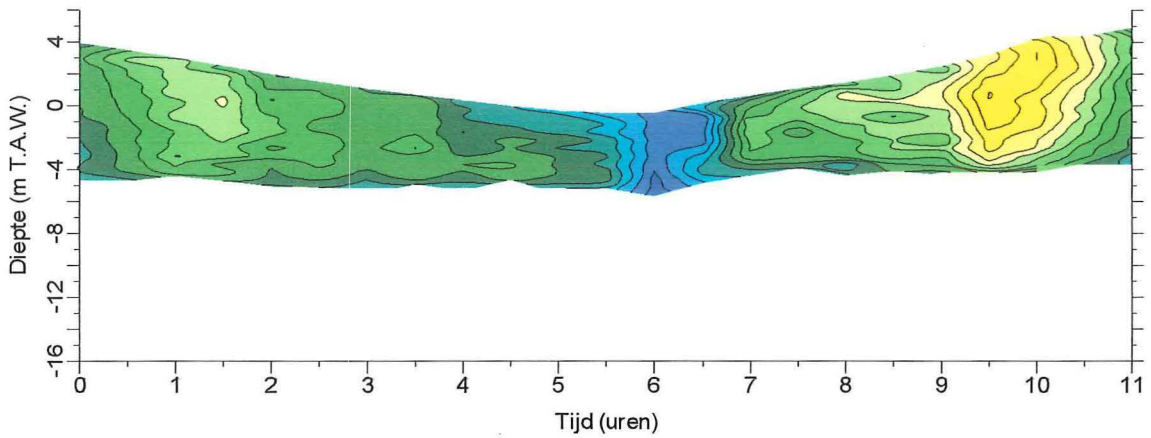
Stroomsnelheid (cm/s)



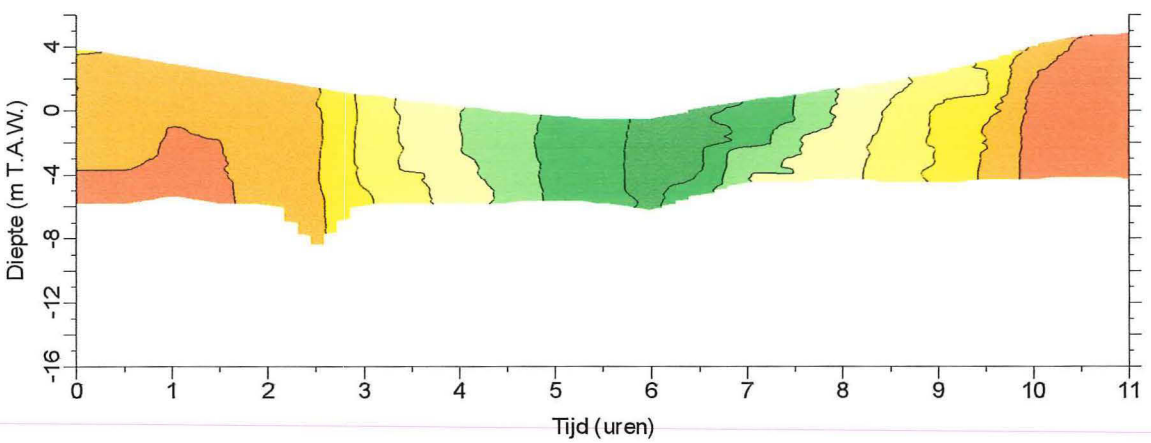
Saliniteit (PSU)



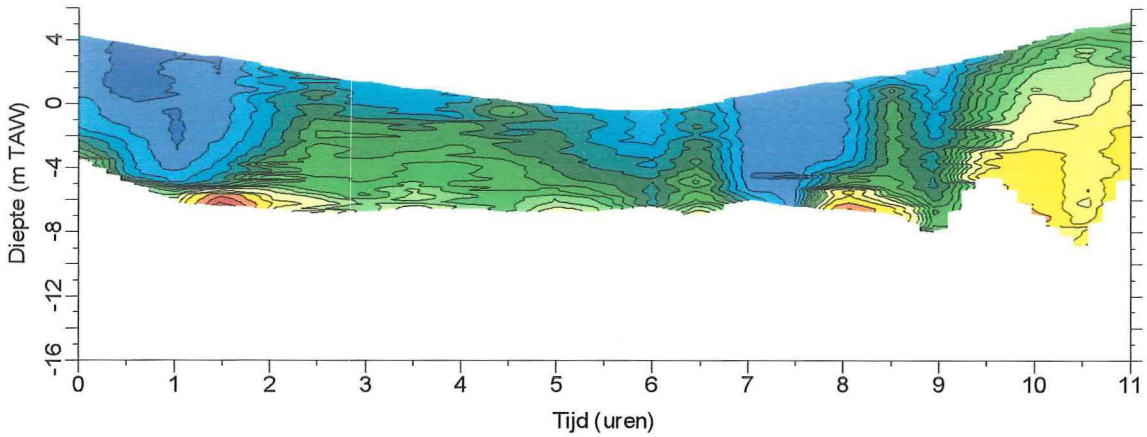
Sedimentconcentratie (mg/l)



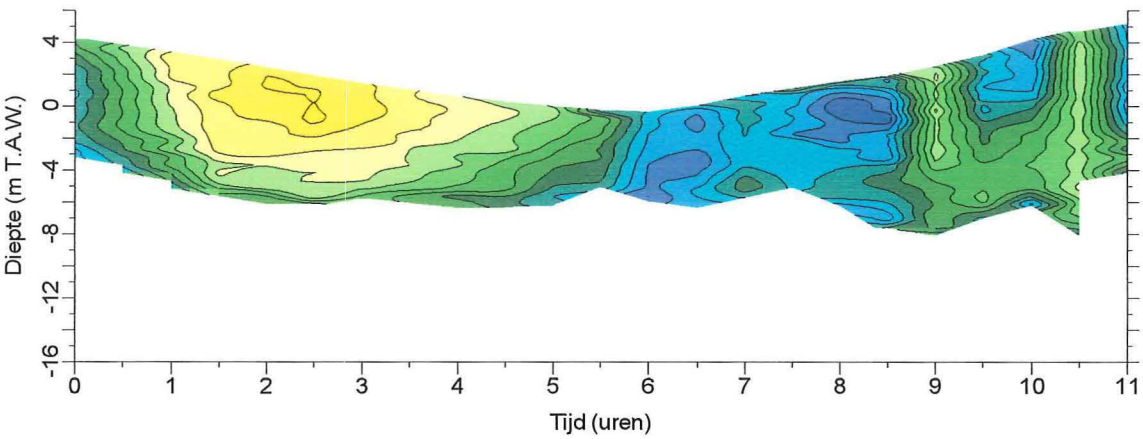
Stroomsnelheid (cm/s)



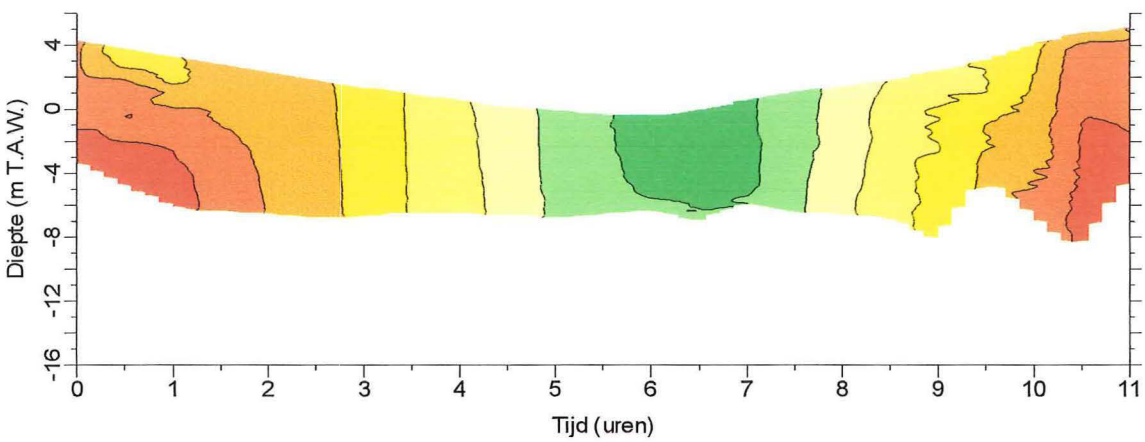
Saliniteit (PSU)



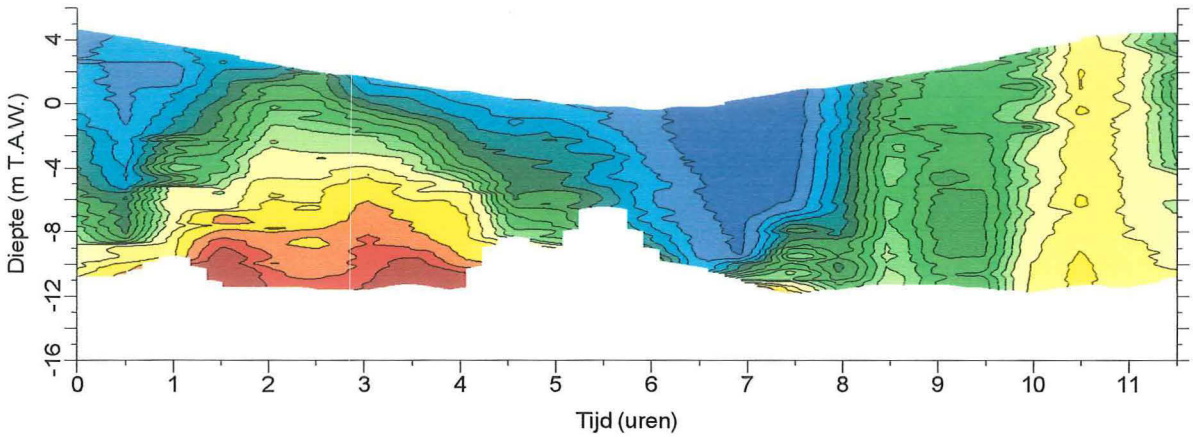
Sedimentconcentratie (mg/l)



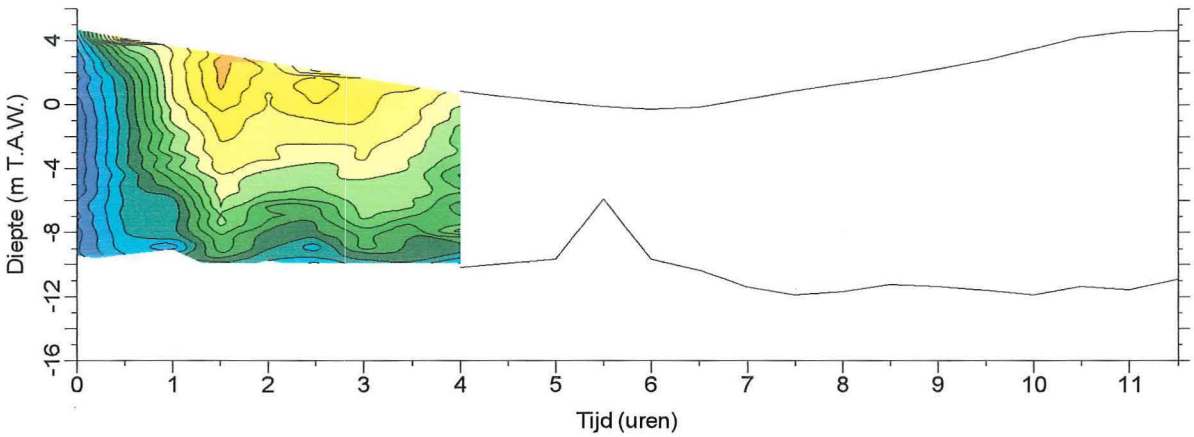
Stroomsnelheid (cm/s)



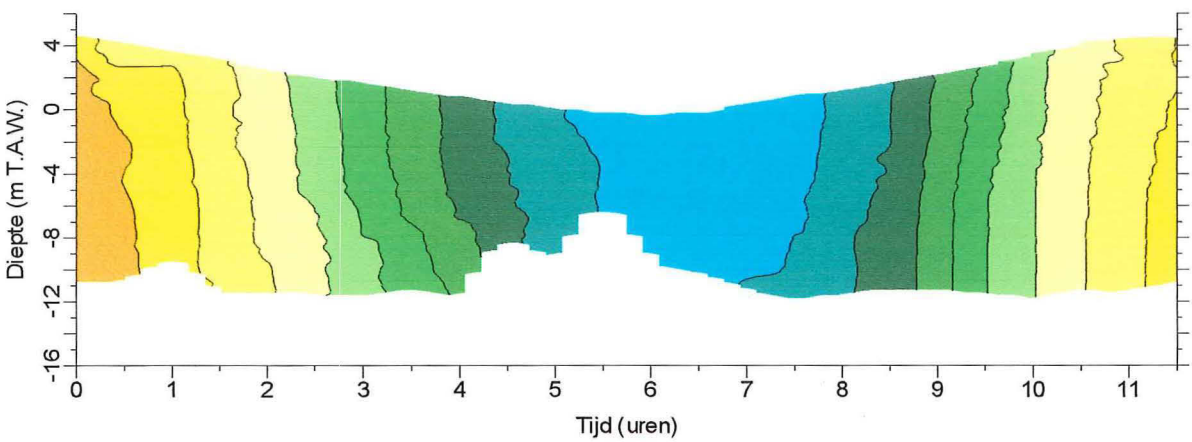
Saliniteit (PSU)



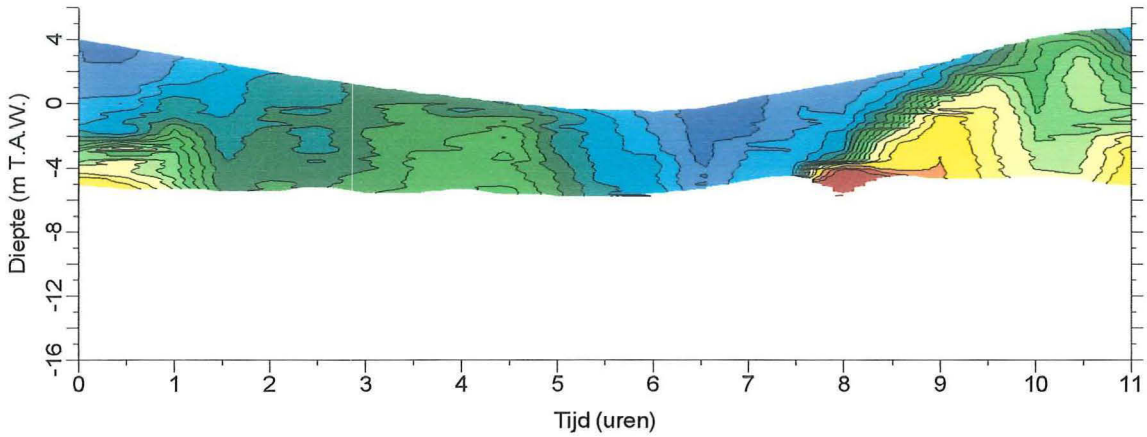
Sedimentconcentratie (mg/l)



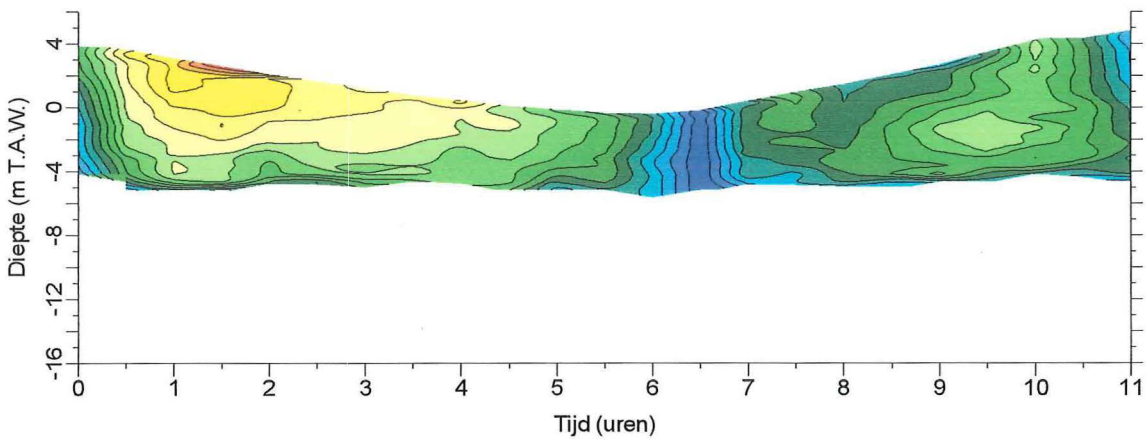
Stroomsnelheid (cm/s)



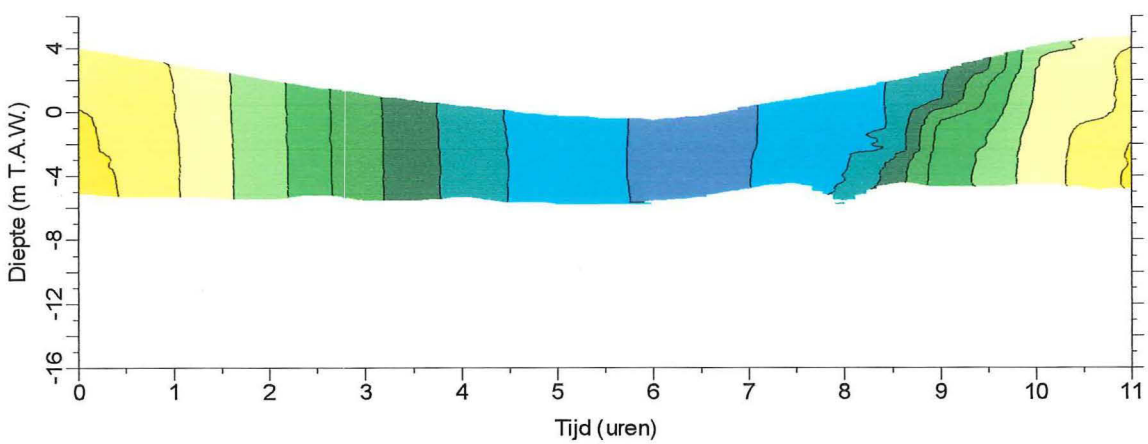
Saliniteit (PSU)



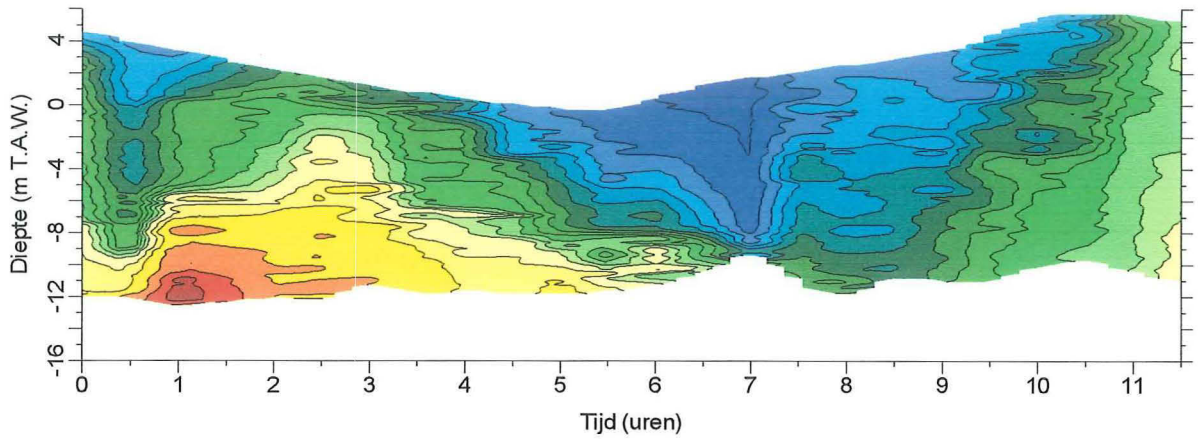
Sedimentconcentratie (mg/l)



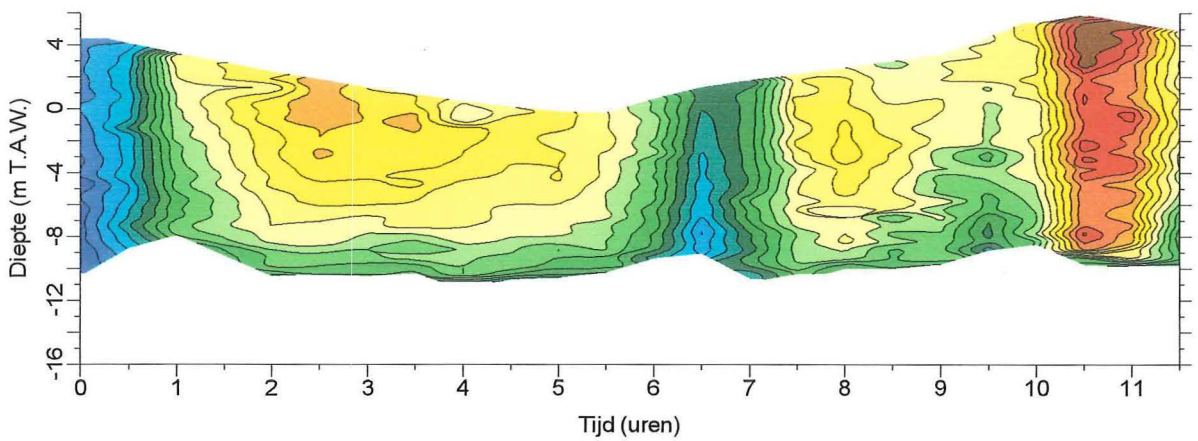
Stroomsnelheid (cm/s)



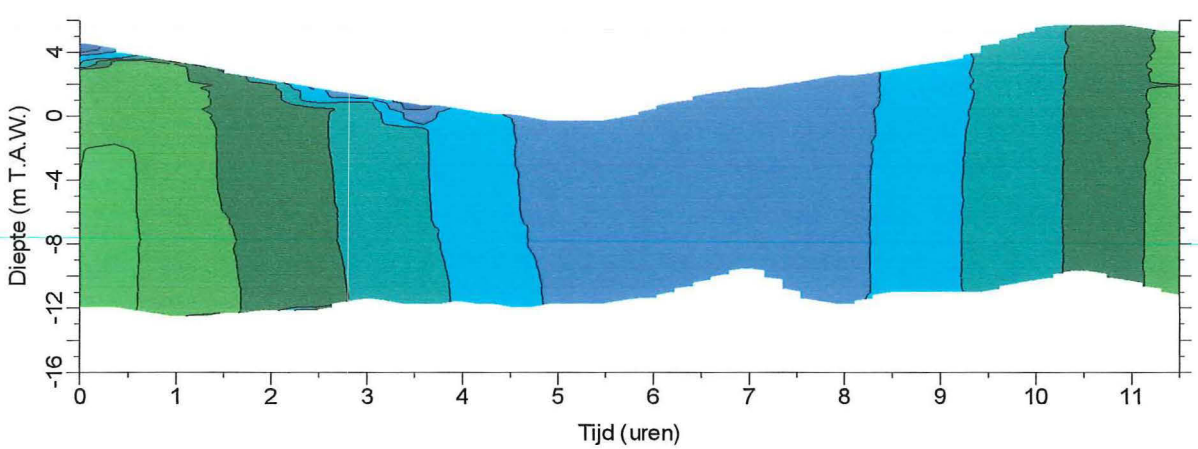
Saliniteit (PSU)



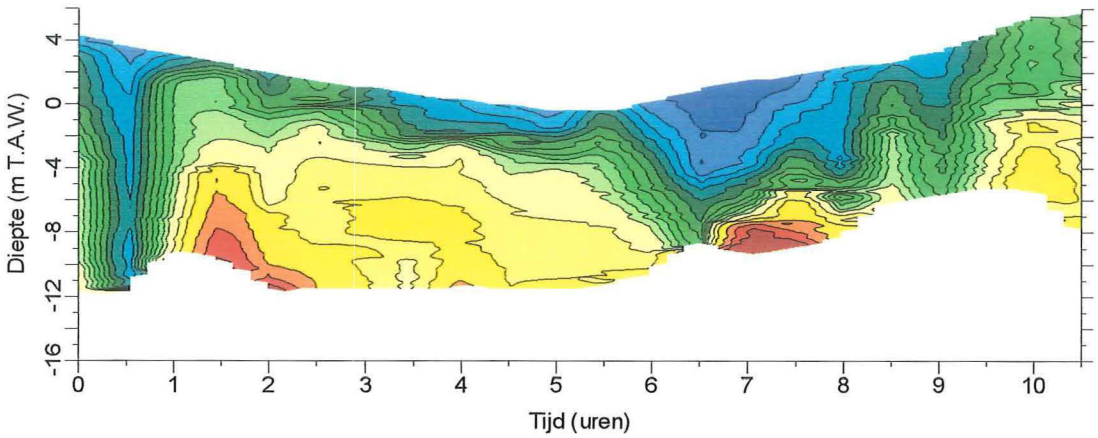
Sedimentconcentratie (mg/l)



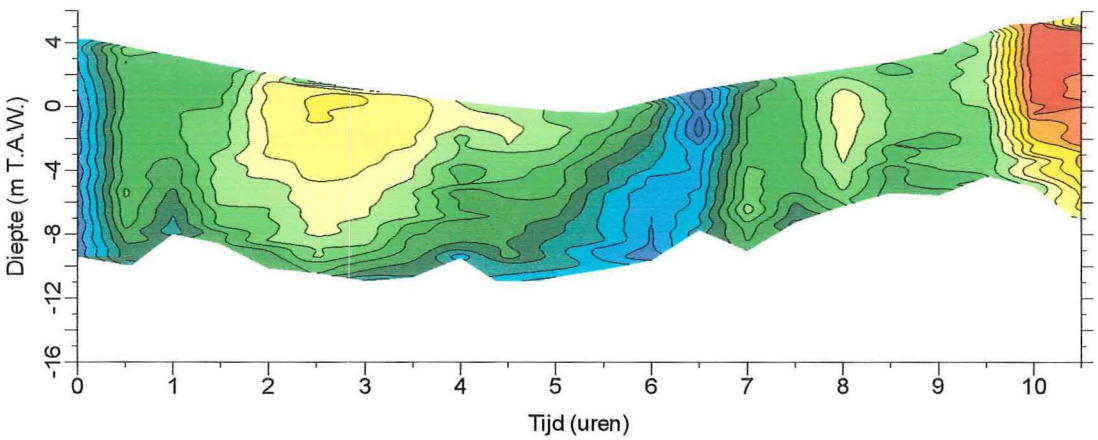
Stroomsnelheid (cm/s)



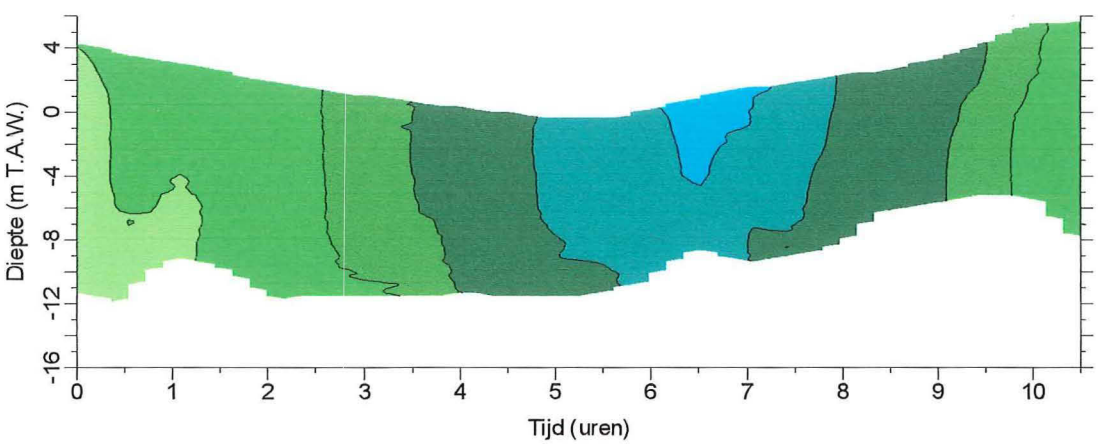
Saliniteit (PSU)



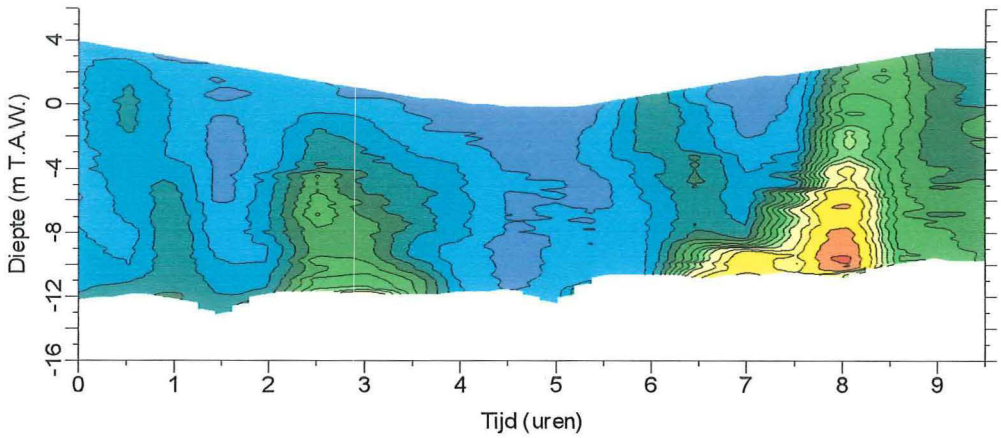
Sedimentconcentratie (mg/l)



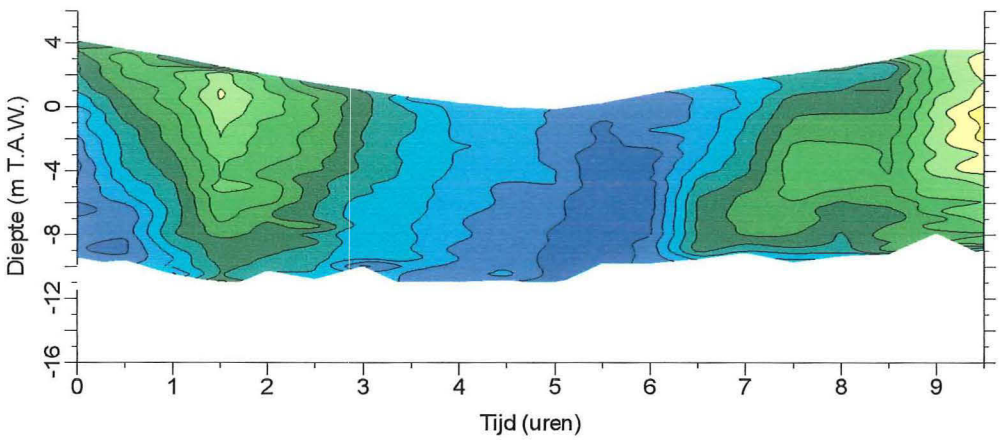
Stroomsnelheid (cm/s)



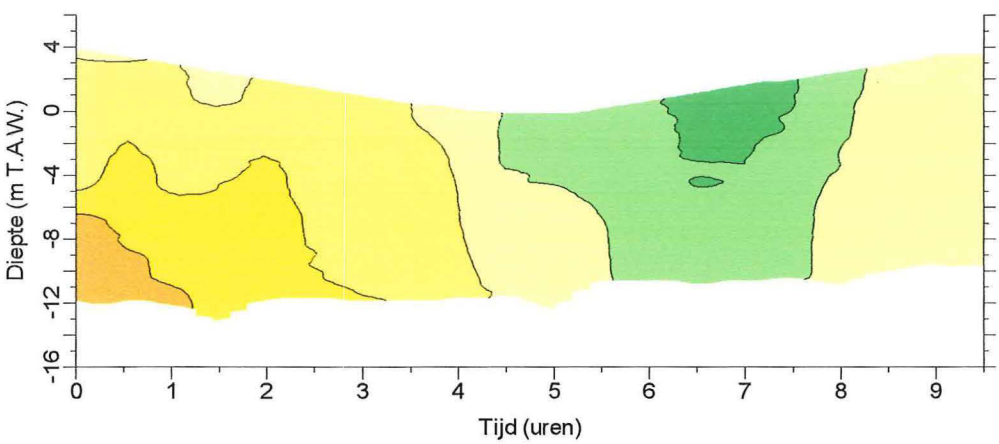
Saliniteit (PSU)



Sedimentconcentratie (mg/l)



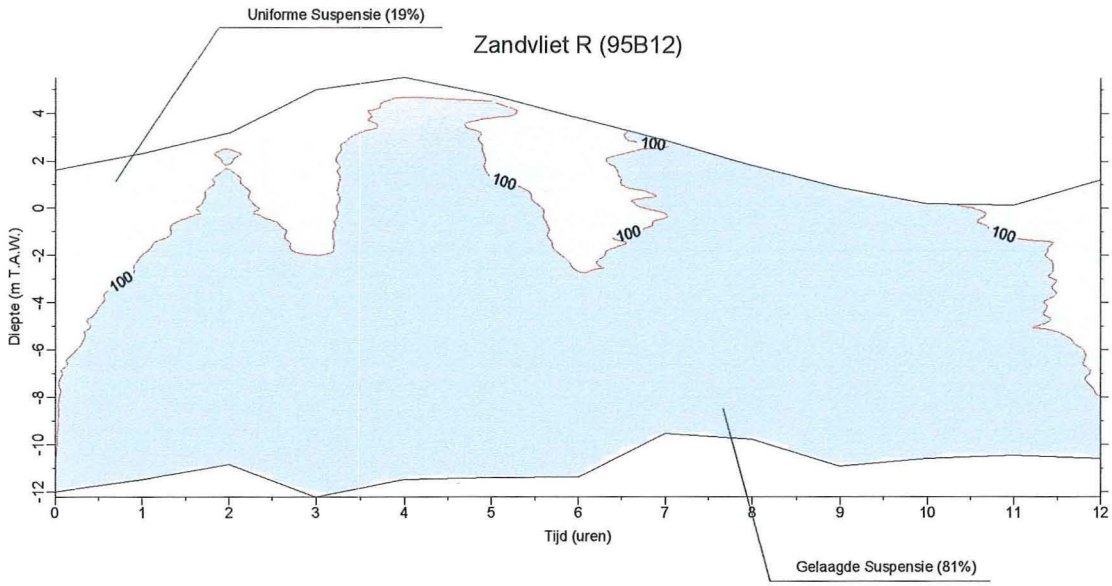
Stroomsnelheid (cm/s)



Saliniteit (PSU)

BIJLAGE 2:

BEREKENING VAN HET AANDEEL GELAAGDE SUSPENSIE IN DE TOTALE SUSPENSIE



Figuur: Bepaling van het percentage gelaagde suspensie. Het aandeel van de gelaagde suspensie in de totale suspensie werd verkregen door het oppervlak te bepalen (diepte x tijd) die de suspensie inneemt voor een concentratie aan zwevende stof die boven de arbitrair vastgestelde grens van 100 mg/l uit komt. In dit voorbeeld, meetstation 95B12 – Zandvliet Rechts, bedraagt de gelaagde suspensie 81% van de totale suspensie.

6 Referenties

Allen, G. P., Castaign, P. & Salomon, J.-C. (1982) Effets de la marée sur les mouvements de l'eau et des sédiments dans les estuaires. *Mém. Soc. géol. Fr., NS.*, **144**, 5-16.

Allersma, E. (1982) Mud in estuaries and along coasts. Delft Hydraulics Laboratory.

Avoine, J. (1982) Mécanismes contrôlant la dynamique des sédiments en suspension dans l'estuaire de la Seine. *Mém. Soc. géol. Fr., NS.*, **144**, 17-25.

Claessens, J. & Meyvis, L. (1994) Overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken gedurende het decennium 1981-1990, pp. 108. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Antwerpse Zeehavendienst, Antwerpen.

Codde, R. (1958) Het verloop van het zoutgehalte in de Zeeschelde. *Revue C . Tijdsch. Min. Openb. Werk. België*, **6**, 1-6.

Fettweis, M., Sas, M. & Meyvis, L. (1994) Analyse van stroom- en sedimentmetingen ter hoogte van de drempel van Zandvliet (Schelde). *Water*, **76**(mei/juni), 88-99.

Fettweis, M., Sas, M. & Monbaliu, J. (1998) Seasonal, Neap-spring and Tidal Variation of Cohesive Sediment Concentration in the Scheldt Estuary, Belgium. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **47**, 21-36.

Taverniers. (1998) Zeescheldebekken: de afvoer van de Schelde in 1997, pp. 7 + bijlagen. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Maritieme Schelde, Antwerpen.

Taverniers, E. (1996) Zeescheldebekken: de afvoer van de Schelde in 1995, pp. 6 + bijlagen. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Maritieme Schelde, Anwterpen.

Taverniers, E. (1997) Zeescheldebekken: de afvoer van de Schelde in 1996, pp. 7 + bijlagen. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Maritieme Schelde, Antwerpen.

Taverniers, E. (1999) Zeescheldebekken : De afvoer van de Schelde in 1998, pp. 50. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Maritieme Schelde, Antwerpen.

UNESCO. (1981) Background papers and supporting data on the Practical Salinity Scale, 1978. UNESCO Technical Papers in Marine Science, 37.

UNESCO. (1983) Algorithms for computation of fundamental properties of seawater, by Fofonoff, N. P. and Millard, R. C. UNESCO Technical Papers in Marine Science, 44.

Wartel, S., Parker, R. & Francken, F. (2000) Bepaling van de sedimenttypes en opstelling van een lithologische kaart van de Beneden-Zeeschelde. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Maritieme Schelde, Antwerpen.

Wartel, S. & van Eck, G. T. M. (2000) Slibhuishouding van het Schelde estuarium, pp. 66. Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Brussel.