

LANGDURIGE METING VAN SLIBCONCENTRATIE, SALINITEIT EN TEMPERATUUR TE PROSPERPOLDER (BENEDEN ZEESCHELDE)

M. FETTWEIS, M. SAS
*Internationaal Marine and Dredging
 Consultants n.v.*
 J. MONBALIU
*International Marine and Dredging
 Consultants n.v.*
 KU Leuven, Laboratorium voor Hydraulica
 E. TAVERNIERS
*Ministerie Vlaamse Gemeenschap
 Afdeling Maritieme Schelde*

LONG TERM MEASUREMENT OF MUD CONCENTRATION, SALINITY AND TEMPERATURE AT PROSPERPOLDER (SCHELDT ESTUARY)

The cohesive sediment transport in tidal rivers and estuaries is essentially determined by the river discharge, the morphology, the salinity-, temperature- and particulate gradients, the deposition and erosion processes, the effective settling velocity of mud particles and by the physico-chemical and biological processes. The combination of these processes makes that mud concentration varies on different time scales ranging from seconds to seasons.

Based on a long term measurement campaign at Prosperpolder (Scheldt estuary), a detailed analysis of mud concentration, salinity and temperature with regard to the various involved time scales is presented.

The measurement at Prosperpolder where carried out between September 1992 and December 1993 in two points situated at

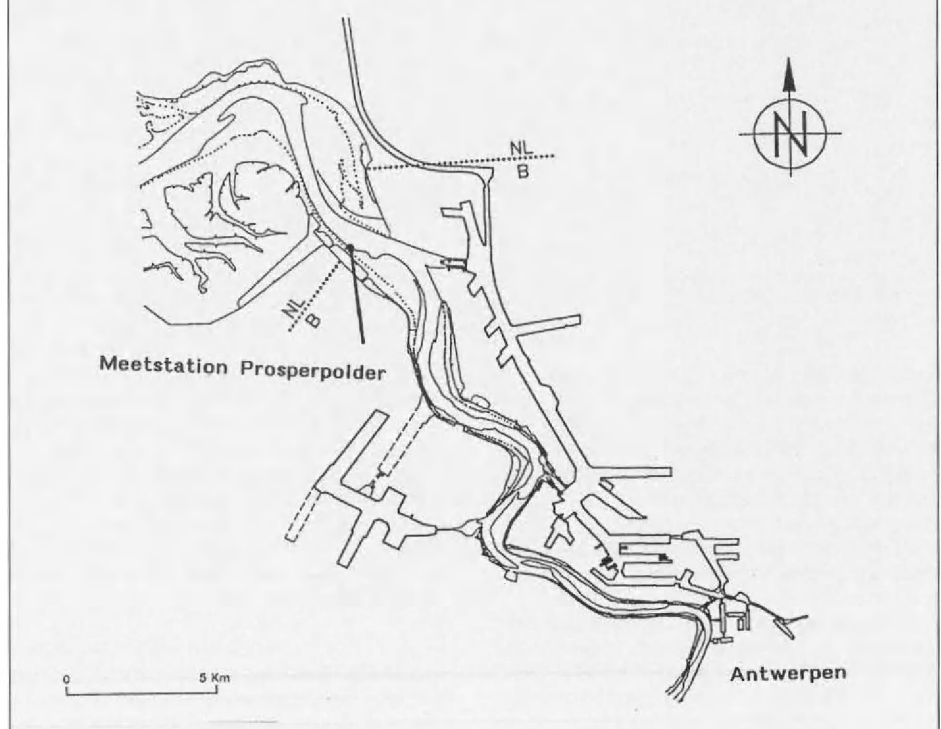
0.5m and 1.5m from the bottom. The data indicate that the mud concentration is correlated with tides, spring-neap cycles and with seasons. The mud concentration in Prosperpolder is on the average higher during flood than during ebb, this can be explained by the flood dominant character of the currents. The tide averaged mud concentration is 1.3 to 1.7 times higher during a spring tide than during a neap tide. During a spring tide the current velocities are higher resulting in a more pronounced erosion of mud and thus in higher concentrations. The ratio between winter and summer concentration is about 2. The seasonal variations are due to the river discharge (transport, shift of the turbidity maximum), temperature (biological activity, climatological factors) and land erosion (terrestrial input of fine sediments).

1. INLEIDING

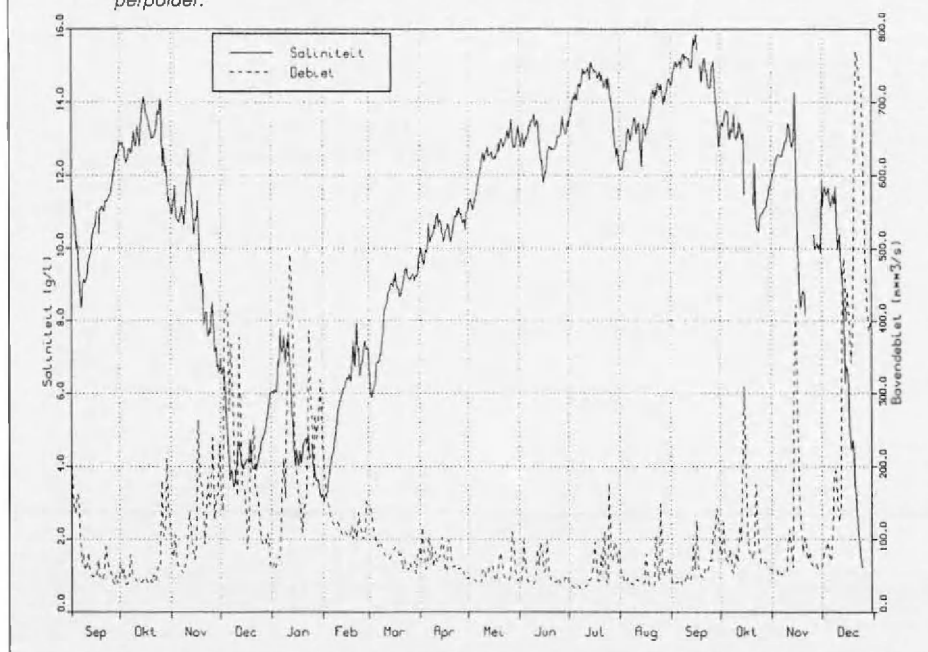
In de laatste jaren wordt de natuurwaarde van het tijgebed van de Schelde meer en meer benadrukt. Het tijgebonden deel van de Schelde omvat de Westerschelde en de Zeeschelde en bestaat uit een estuarium en een tijrivier. Pond en Pickard (1976) definiëren een estuarium als een zeearm waarin zoet- en zoutwater meetbaar met elkaar vermengd worden. Deze definitie is ietwat onduidelijk vermits de grens tussen zoet- en zoutwater voortdurend in beweging is.

De zout-, brak- en zoetwaterslikken, de planten en geulen vormen een unieke omgeving voor diverse leefgemeenschappen. Het bestaan van deze ecosystemen is het gevolg van de complexe interactie tussen verschillende fysische fenomenen zoals de hydrodynamica, de saliniteitsverdeling, het sedimenttransport (troebelheid), het gehalte aan opgeloste nutriënten en het zuurstofgehalte (Meire et al., 1995). Anderzijds heeft de Schelde een belangrijke economische functie als vestigingsplaats van havens en van industriegebieden. Om de toegang tot de haven van Antwerpen te garanderen voor zeeschepen dienen er belangrijke onderhouds- en baggerwerken te gebeuren, aangevuld met grootschalige verruimingswerken

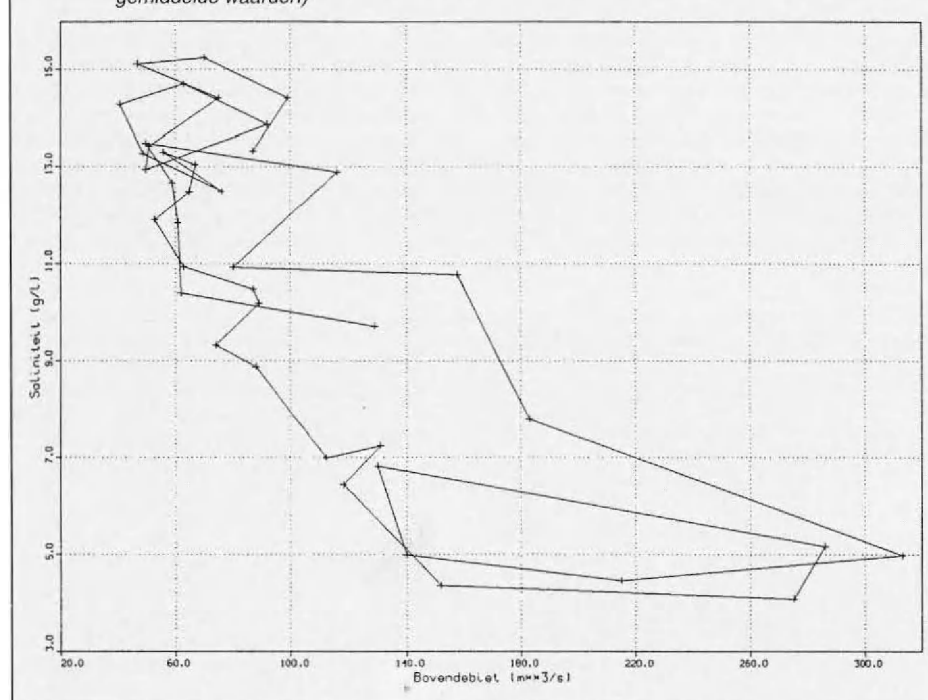
Figuur 1: Kaart van de Beneden Zeeschelde.



Figuur 2: Getijgemiddelde saliniteit en dagelijks bovendebiet, september '92 - december '93, Prosperpolder.



Figuur 3: Hysteresis van de saliniteit t.o.v. het bovendebiet, september '92 - september '93 (decade-gemiddelde waarden)



teneinde de vaargeul voor nog grotere zeeschepen toegankelijk te maken. De antropogene aanvoer van stoffen uit lozingen leidt tot een accumulatie van polluenten in de cohesieve sedimenten. Door deze accumulatie zijn vooral de schorren en slikken en de toegangseu len naar de sluizen getroffen, waar de stroomsnelheden gering zijn en het cohesief sediment bij voorkeur neerslaat.

Om zowel de natuur- als de economische belangen te vrijwaren is het noodzakelijk om het sedimenttransport in detail te kennen. Met behulp van uitgebreide meetcampagnes wordt getracht om een zo volledig

mogelijk beeld van de water- en sedimentbewegingen in de Schelde te bekomen (zie o.a. Fettweis et al. 1994; Fettweis, 1995). Parallel hiermee wordt aan de hand van numerieke modellen getracht om de hydrodynamica en het sedimenttransport te simuleren, zodat de invloed van antropogene ingrepen in de rivier voorspeld kan worden (Sas en Claessens, 1988; Sas, 1989; Fettweis en Sas, 1994; Fettweis, 1995).

In een recent verschenen artikel (Van Damme et al. 1995) wordt een overzicht gegeven van de databronnen voor de belangrijkste waterkwaliteitsparameters. Aanvullend

hierbij wordt in bijlage een overzicht gegeven van de metingen die door de auteurs in het recente verleden werden uitgewerkt ten behoeve van diverse studies in de Beneden Zeeschelde.

De hier besproken metingen werden uitgevoerd in 1992-1993 tijdens een intensieve meetcampagne. Ze vormen een eerste meetreeks in het kader van een groter project, waarin de metingen uitgebreid zullen worden over de langsas van de Scheide teneinde de dynamiek van het cohesief sedimenttransport beter te kunnen karakteriseren. Als dusdanig vormt deze meetreeks een unieke en representatieve dataset over de slib- en zoutbewegingen in de Beneden Zeeschelde.

Het cohesief suspensietransport in getijwateren wordt in essentie bepaald door de bovenafvoer van de rivier, door de morfologie, de zout-, temperatuur- en particulaire gradienten, de erosie- en sedimentatieprocessen, de effectieve valsnelheid van de sedimentpartikels en de fysico-chemische en biologische processen. De combinatie van al deze factoren maakt dat de slibconcentratie variaties vertoont op diverse tijdschalen.

In dit artikel zal aan de hand van een langdurige slibconcentratie-, saliniteit- en temperatuurmeting te Prosperpolder nader ingegaan worden op deze variaties. De metingen werden uitgevoerd door de Afdeling Maritieme Schelde in het kader van het hydraulisch-morfologisch onderzoek naar de noordelijke containerkaai ter hoogte van de Zandvietsluis (IMDC-WLB, 1994).

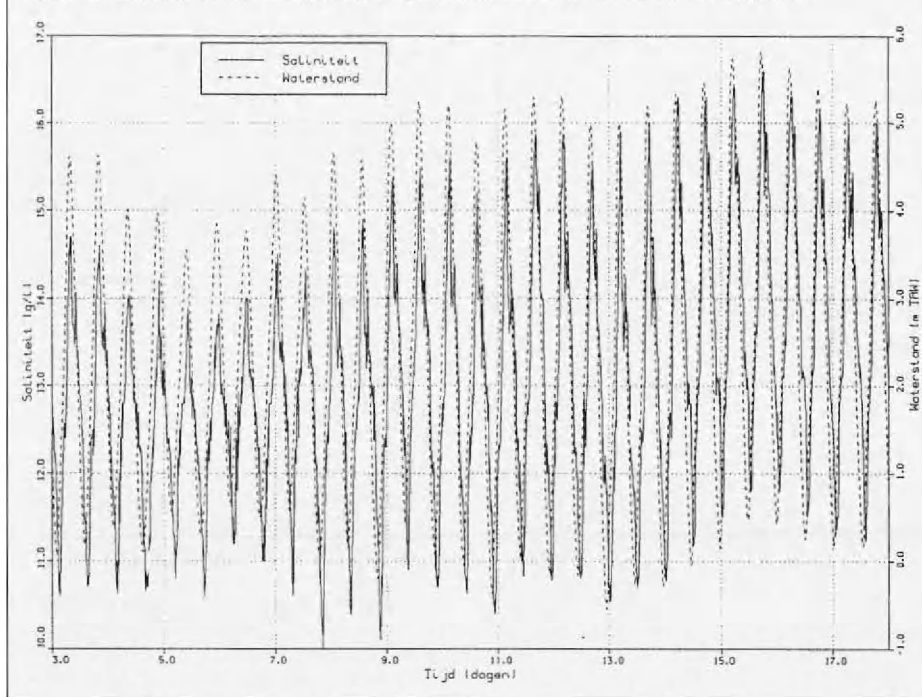
2. BESCHRIJVING VAN DE MEETOPSTELLING

De metingen gebeurden in de periode september 1992 - december 1993 ter hoogte van de tijpost van Prosperpolder (56km van de monding), zie figuur 1.

De slibconcentratie werd gemeten met behulp van twee optische Partech turbiditeitsensoren. De sensoren werden op respectievelijk 0.5m en 1.5m van de bodem geplaatst. Optische turbiditeitsmeters zijn gebaseerd op de verstrooiing en verzwakking van lichtgolven (Thevenot en Krauss, 1993). De verzwakkingscoëfficiënt is een lineaire functie van de concentratie. De Partech turbiditeitsmeter reageert nagenoeg niet op de aanwezigheid van zand (>63mm) in suspensie. Het toestel meet silt en kleipartikels (i.c. slib) en geeft aldus een nauwkeurig beeld van de cohesieve sedimentconcentratie (Shuttler et al., 1993). Afijking van het toestel gebeurde twee keer gedurende de meetperiode. Tevens werd elke week de respons van de sensoren gemeten in een oplossing met gekende concentratie. Een beschrijving van de afijgingsprocedure wordt gegeven in IMDC-WLB (1994).

De informatie gemeten door de sensoren werd gemiddeld over een periode van 10 minuten. De totale dataset bestaat aldus uit 70000 gegevens voor elke gemeten grootte.

Figuur 4: Saliniteit en waterstand (laag bovendebiet), 03/10/92 - 18/10/92, Prosperpolder.



3. VERWERKING VAN DE DATA

Om tot een uitspraak te kunnen komen betreffende de variaties op verschillende tijdschalen is het nodig om een classificatie van de gegevens door te voeren. Het onderscheid tussen dood-, gemiddeld en springtij, zoals gebruikt in de analyse, is gebaseerd op de gemiddelde waarden tijdens de periode 1971-1980 (Claessens en Belmans, 1984) gecorrigeerd met de verhouding van het tijverschil van een gemiddeld getij uit de meetperiode en uit de periode 1971-1980. Deze correctie werd uitgevoerd omdat het gemiddeld tijverschil gedurende de meetperiode 15cm hoger lag dan gedurende 1971-1980. Indien Δh_{dood} staat voor het tijverschil van een gemiddeld doottij, Δh_{spring} voor het tijverschil van een gemiddeld springtij en Δh_{gem} voor het tijverschil van een gemiddeld tij dan wordt een dood-, spring- en gemiddeld getij als volgt gedefinieerd (Δh is het gemeten tijverschil):

- **Doottij:**

$$\Delta h < 0.5 (\Delta h_{\text{dood}} + \Delta h_{\text{gem}})$$
- **Springtij:**

$$\Delta h > 0.5 (\Delta h_{\text{spring}} + \Delta h_{\text{gem}})$$
- **Gemiddeld tij:**

$$0.5 (\Delta h_{\text{dood}} + \Delta h_{\text{gem}}) \leq \Delta h \leq 0.5 (\Delta h_{\text{spring}} + \Delta h_{\text{gem}})$$

Op deze wijze kunnen alle meetgegevens opgedeeld worden in drie, ongeveer even grote groepen. Voor de analyse van de data wordt een getij met een hoogwaterstand groter dan 6.5m TAW te Prosperpolder beschouwd als een extreem getij, verder genoemd stormtij. De exacte definitie van een stormtij is een getij met een hoogwaterstand van minimum 6.6m TAW te Antwerpen.

Saliniteit, temperatuur en slibconcentratie variëren in functie van het getij. De extrema vallen echter niet op hetzelfde ogenblik als de extreme waterstanden. Het faseverschil tussen twee signalen (saliniteit t.o.v. bovenafvoer, slibconcentratie t.o.v. tijverschil, i.e. spring-doottijcyclus) kan berekend worden met behulp van een kruiscorrelatie. De kruiscorrelatie tussen saliniteit en bovenafvoer wordt berekend gebruik makend van de afgeleide daggemiddelde waarden. Debietsmetingen worden uitgevoerd door de Afdeling Maritieme Schelde (AZ, 1993a en 1994) in een aantal meetposten gelegen buiten de invloed van het getij. Het bovendebiet van de Schelde wordt in Schelle gegeven; het gemiddeld debiet te Schelle bedraagt ongeveer $100\text{m}^3/\text{s}$, met extreme waarden gelegen tussen 50 en $600\text{m}^3/\text{s}$.

In het artikel worden de metingen ingedeeld in zomer- en winterdata. Zomer wordt hier gedefinieerd als de periode tussen april en september en winter tussen oktober en maart. Deze indeling weerspiegelt de indeling volgens een periode met een hoge (winter) en deze met een lage slibconcentratie (zomer), zie figuren 9 en 10 en is ten opzichte van de hydrologische jaarindeling vervroegd met één maand.

4. SALINITEIT

Het verloop van de getijgemiddelde salini-

teit en de afgeleide daggemiddelde bovenafvoerwaarden (te Schelle) worden getoond in figuur 2. Uit de figuur komt duidelijk het verband tussen saliniteit en bovendebiet naar voren; tijdens perioden met hoog bovendebiet is de saliniteit laag, terwijl tijdens droge periodes hoge zoutwaarden waargenomen worden. Lage zoutwaarden treden op in december tot februari. Hoge zoutwaarden worden gevonden aan het einde van de zomer (september-oktober). De zoutwaarde gedurende de meetperiode in Prosperpolder varieert tussen 1g/l en 19g/l . Ter vergelijking, de saliniteit aan de Scheldemonding is nagenoeg constant en bedraagt ongeveer 32g/l , met lichtjes hogere waarden tijdens de zomer dan tijdens de winter (Otto et al., 1990).

Ronday (1995) vond, met behulp van een 1D hydrodynamisch-numeriek model van het Scheldebekken, dat het verband tussen het zoutgehalte en het bovendebiet geen eenduidig verloop kent: dezelfde zoutwaarde kan optreden tijdens verschillende debieten afhankelijk van de vorige debietwaarde. De metingen te Prosperpolder bevestigen dit resultaat. De hysteresis van de zoutwaarde in functie van het bovendebiet wordt getoond in figuur 3 waarbij de opeenvolgende decadegemiddelde waarden met elkaar verbonden zijn.

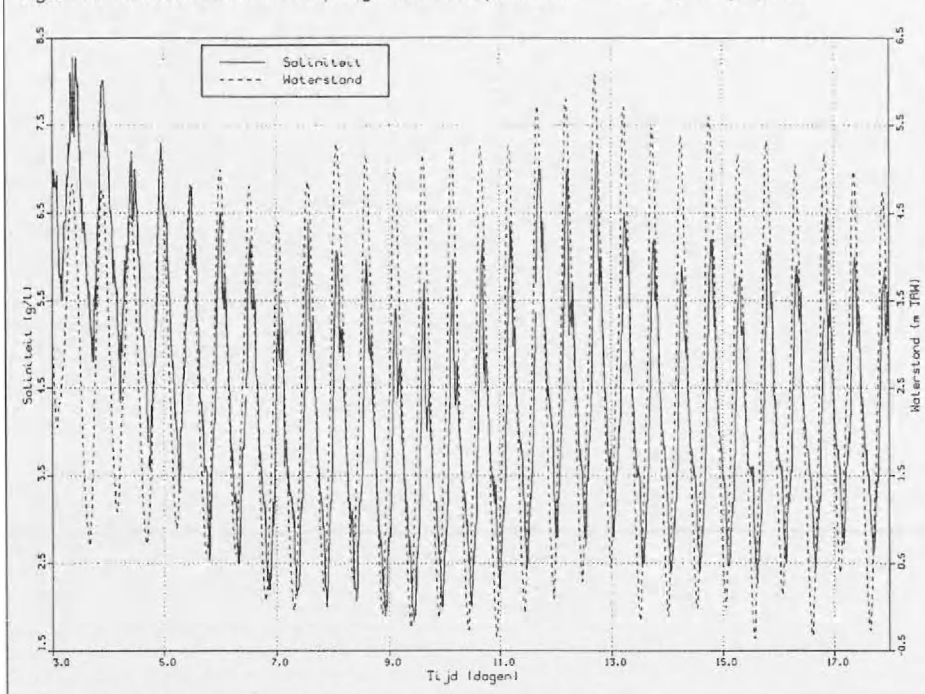
Een kruiscorrelatie tussen de daggemiddelde bovendebieten en saliniteitswaarden toont aan dat een saliniteitsminimum optreedt ongeveer 5 dagen na een maximum in bovendebiet. Deze verschuiving in de tijd tussen de twee extrema is niet constant, maar kan lichtjes verschillen (± 1 dag) in functie van de beschouwde analyseperiode. Beschouwen we omgekeerd de faseverschuiving tussen een maximum in saliniteit en een minimum in bovendebiet dan blijkt dat er geen eenduidig tijdsverschuiving berekend kan worden omdat geen duidelijke minima optreden in de curve (de minima in bovendebiet zijn uitgesmeerd over een lange periode terwijl de maxima duidelijk als pieken optreden). De berekening van de kruiscorrelatie over een langere periode (seizoen) geeft geen zinnig uitsluitsel omtrent een mogelijke faseverschuiving tussen een minimum in debiet en een maximum in saliniteit. Over een kortere periode (maand) met duidelijke minima in de debietscurve kan vastgesteld worden dat een minimum in bovendebiet 5 tot 10 dagen voor een saliniteitsmaximum optreedt.

In tabel 1 worden de gemiddelde waarden van saliniteitsverschillen (maximum - minimum tijdens een getijcyclus) getoond voor de verschillende getijverschillen en over verschillende periodes. De belangrijkste factor die het saliniteitsverschil tijdens een getijcy-

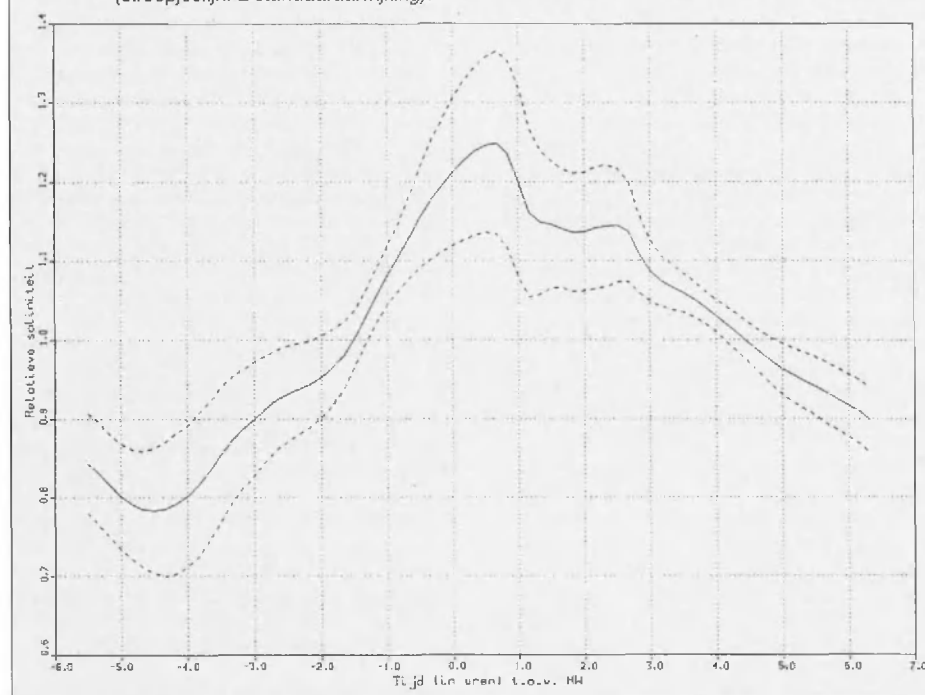
Tabel 1: Gemiddeld saliniteitsverschil te Prosperpolder (max-min tijdens een getij) in g/l (gemiddeld $\pm$ standaardafwijking).

	Doottij	Gemiddeld tij	Springtij	Alle getijden
Jaar	3.7 ± 0.5	4.5 ± 0.6	5.1 ± 0.6	4.5 ± 0.8
Winter	3.6 ± 0.6	4.3 ± 0.7	4.8 ± 0.7	4.3 ± 0.8
Zomer	3.9 ± 0.4	4.7 ± 0.3	5.3 ± 0.3	4.8 ± 0.6

Figuur 5: Saliniteit en waterstand (hoog bovendebiet), 03/12/92 - 18/12/92, Prosperpolder



Figuur 6: Relatieve saliniteit i.f.v. de tijd t.o.v. hoogwater, oktober '92 - september '93, Prosperpolder (streepjeslijn: $\pm$ standaardafwijking).



Tabel 2: Gemiddeld temperatuurverschil te Prosperpolder (max-min gedurende getijcyclus) in $^{\circ}\text{C}$ (gemiddelde $\pm$ standaardafwijking).

	Doodtij	Gemiddeld tij	Springtij	Alle getijen
Jaar	1.6 ± 0.5	1.7 ± 0.5	1.8 ± 0.4	1.7 ± 0.4
Winter	1.8 ± 0.5	1.9 ± 0.4	1.9 ± 0.4	1.9 ± 0.4
Zomer	1.4 ± 0.3	1.5 ± 0.4	1.6 ± 0.3	1.5 ± 0.4

clus bepaalt is het tijverschil. Dit saliniteitsverschil is gedurende een springtij ongeveer 33% hoger dan gedurende een doottij. De seizoenen en het bovendebiet hebben een

veel kleinere invloed op deze waarde. Wel kan worden gesteld dat tijdens de zomer (hoge zoutwaarden) de verschillen gedurende een getij iets groter zijn dan tijdens de winter.

De ogenblikkelijke saliniteitswaarden gedurende een doottij-springtij-doottijcyclus tijdens oktober (laag bovendebiet) en december (hoog bovendebiet) worden voorgesteld in figuren 4 en 5.

Het verloop van de relatieve saliniteit (saliniteit gedeeld door de gemiddelde saliniteitswaarde over een getijcyclus) wordt uitgezet als een functie van de tijd t.o.v. hoogwater (figuur 6). Het maximum van de curve treedt ongeveer 45 minuten na hoogwater op, het minimum treedt ongeveer 4.5 uur voor hoogwater op, hetzij 70 minuten na laagwater.

5. TEMPERATUUR

De watertemperatuur in de nabijheid van de bodem varieert in de beschouwde meetperiode te Prosperpolder tussen ongeveer 3°C tijdens de winter en 23°C tijdens de zomer. De getijgemiddelde temperatuur te Prosperpolder wordt getoond in figuur 7.

Het verschil tussen maximum en minimum temperatuur te Prosperpolder tijdens een getij is weergegeven in tabel 2 voor drie getijtypes en over verschillende periodes. De tabel toont aan dat, in tegenstelling met de zoutverschillen, de belangrijkste factor die de grootte van de temperatuurverschillen bepaalt, de seizoenen zijn. De grootste verschillen worden gevonden tijdens de winter (1.9°C); tijdens de zomer zijn de verschillen kleiner (1.5°C). De invloed van de tijamplitude is van ondergeschikt belang. De gemiddelde temperatuur van het oppervlaktewater aan de monding tijdens februari bedraagt ongeveer 4°C en tijdens augustus ongeveer 18°C (Otto et al., 1990). In tegenstelling met de winterperiode, is er tijdens de zomer een duidelijk langsvverloop van de watertemperatuur, namelijk warmer van de monding naar Prosperpolder toe.

De relatieve temperatuurcurve (temperatuur gedeeld door gemiddelde temperatuur per getij) in functie van de tijd t.o.v. hoogwater is weergegeven in figuur 8. Een maximum in temperatuur is er om 5.5 uur na hoogwater, het minimum is op hetzelfde ogenblik als het saliniteitsmaximum, i.e. 45 minuten na hoogwater, zie ook (AZ, 1993b).

6. SLIBCONCENTRATIE - GEMIDDELDDE WAARDEN

Om de lange termijn variaties van de slibconcentratie te kunnen bepalen, worden de data gemiddeld over een zekere tijdsperiode. Uit de resultaten van de 13-uursmeting te Zandvliet (Fettweis et al., 1994) blijkt dat het slib in suspensie een verschillend gedrag en dus concentratie vertoont tijdens eb en vloed. Dit is het gevolg van verschillen in het snelheidspatroon en in het snelheidsprofiel tijdens eb en vloed. Zowel de gemiddelde als de piekconcentratie zijn over het algemeen groter tijdens vloed dan tijdens eb. De slibconcentraties worden daarom gemiddeld over respectievelijk eb (tussen hoogwaterkentering en laagwaterkentering) en vloed (tussen laagwaterken-

tering en hoogwaterkentering). Omdat er geen stroomsnelheden gemeten werden, zijn de kenteringen vastgesteld op de tijdstippen van de extreme saliniteitswaarden.

De zo bekomen data worden voorgesteld in figuren 9 en 10 (slibconcentratie 0.5m van de bodem) en figuren 11 en 12 (slibconcentratie 1.5m van de bodem). Een eerste kwalitatieve interpretatie van de figuren toont aan dat de (gemiddelde) slibconcentratie meestal hoger is tijdens vloed dan tijdens eb. Dit gedrag werd ook teruggevonden in de resultaten van de langdurige meting te Liefkenshoek (IMDC, 1989). In figuren 13-14 wordt de relatieve slibconcentratie (ogenblikkelijke concentratie gedurende een getij gedeeld door gemiddelde waarde) op respectievelijk 0.5m en 1.5m van de bodem getoond.

De gemiddelde slibconcentraties tijdens winter (oktober '92 - maart '93), tijdens zomer (april '93 - september '93) en tijdens een volledig jaar (oktober '92 - september '93) voor dood-, gemiddeld en springtij zijn weergegeven in tabellen 3 en 4.

De tabellen tonen aan dat de slibconcentratie tijdens vloed meestal groter is dan tijdens eb. Een uitzondering hierop vormen de doottij-concentraties op 0.5m van de bodem. De grotere concentraties tijdens vloed kunnen verklaard worden door het vloeddominant karakter van de stroming (zie Fettweis et al., 1994). De verhouding van de pieksnelheden tijdens eb en vloed is groter tijdens een springtij dan tijdens een doottij. Ook is het snelheidsverloop tijdens vloed kwalitatief verschillend voor een springtij en een doottij. Tijdens een springtij zijn de vloodsnelheden meer asymmetrisch en ze vertonen een uitgesproken dubbele piek. Tijdens een doottij is het vloedverloop van de snelheid veel geleidelijker. Dit betekent dat tijdens een doottij-springtijcyclus de piekvloodsnelheden relatief meer toenemen dan de piekebsnelheden, resulterend dus in een relatief hogere erosie van slib tijdens een springtij-vloed dan tijdens een doottij-vloed. De ongeveer even grote slibconcentraties op 0.5m van de bodem tijdens eb en vloed van een doottij kunnen verklaard worden door de relatief hogere invloed van lokale resuspensie t.o.v. transport van slib. In het meetpunt gelegen op 1.5m van de bodem is de invloed van slibtransport groter dan lokale resuspensie.

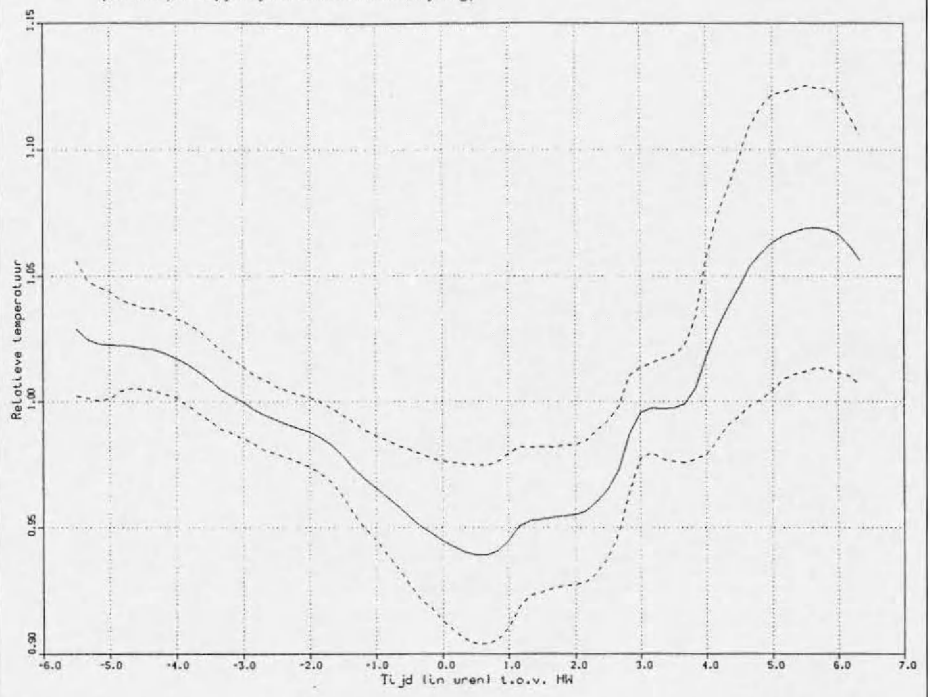
De tijgemiddelde slibconcentratie tijdens een springtij is 1.3 tot 1.7 keer groter dan tijdens een doottij. Dit getal is groter tijdens vloed (1.5 - 2) dan tijdens eb (1.2 - 1.5). Tijdens een springtij zijn de snelheden groter en wordt er meer slib geërodeerd en dus ook meer slib in suspensie getransporteerd.

De verhouding tussen vloed- en ebconcentratie is hoger in het meetpunt gelegen op 1.5m boven de bodem dan in het punt dichtbij de bodem. Deze waarde is niet afhankelijk van de seizoenen maar van het tijverschil. In het meetpunt op 1.5m van de bodem is deze verhouding voor doottij gelijk aan

Figuur 7: Getijgemiddelde temperatuur, september '92 - december '93, Prosperpolder.



Figuur 8: Relatieve temperatuur i.f.v. de tijd t.o.v. hoogwater, oktober '92 - september '93, Prosperpolder (streepjeslijn: $\pm$ standaardafwijking).



1.2, voor een gemiddeld tij 1.4 en voor een springtij 1.7. Voor het meetpunt dicht bij de bodem zijn de waarden respectievelijk 1 (doottij), 1.2 (gemiddeld tij) en 1.5 (springtij). Ter vergelijking wordt aangehaald dat voor de langdurige meting (08/02/89 - 25/05/89) te Liefkenshoek (IMDC, 1989 en 1990) de tijgemiddelde en de eb- en vloedgemiddelde slibconcentratie tijdens een springtij ongeveer 2.5 keer groter is dan tijdens een doottij. De langdurige meting te Oosterveel (AZ, 1987) geeft een verhouding van

de jaarlijks gemiddelde slibconcentratie tussen vloed en eb van 1.9 aan de oppervlakte en 1.2 in de nabijheid van de bodem.

De slibconcentratie op 0.5m boven de bodem is steeds groter dan 1m hoger. De verhouding tussen de slibconcentratie op 0.5m en op 1.5m boven de bodem is groter tijdens eb dan tijdens vloed. Jaargemiddeld is deze verhouding tijdens eb gelijk aan 1.4, in de zomer oplopend tot 1.6 en in de winter afnemend tot 1.3. Tijdens vloed is de

Tabel 3: Slibconcentratie (mg/l) 0.5m boven bodem. Eb-, vloed- en getijgemiddelde data (Gemiddelde $\pm$ standaardafwijking).

	Eb	Vloed	Getij
Doodtij			
Winter	74 $\pm$ 50	71 $\pm$ 35	72 $\pm$ 44
Zomer	46 $\pm$ 26	47 $\pm$ 24	46 $\pm$ 25
Jaar	64 $\pm$ 45	62 $\pm$ 34	63 $\pm$ 41
Gemiddeld tij			
Winter	91 $\pm$ 62	112 $\pm$ 57	99 $\pm$ 61
Zomer	49 $\pm$ 29	56 $\pm$ 28	52 $\pm$ 29
Jaar	73 $\pm$ 55	87 $\pm$ 54	72 $\pm$ 55
Springtij			
Winter	104 $\pm$ 35	151 $\pm$ 80	123 $\pm$ 78
Zomer	54 $\pm$ 31	72 $\pm$ 43	62 $\pm$ 38
Jaar	82 $\pm$ 62	115 $\pm$ 77	96 $\pm$ 70
Stormtij			
Jaar	117 $\pm$ 83	123 $\pm$ 56	120 $\pm$ 73
Alle getijden			
Winter	90 $\pm$ 63	114 $\pm$ 70	100 $\pm$ 67
Zomer	50 $\pm$ 29	60 $\pm$ 35	55 $\pm$ 32
Jaar	74 $\pm$ 56	91 $\pm$ 63	81 $\pm$ 60

Tabel 4: Slibconcentratie (mg/l) 1.5m boven bodem. Eb-, vloed- en getijgemiddelde data (Gemiddelde $\pm$ standaardafwijking).

	Eb	Vloed	Getij
Doodtij			
Winter	57 $\pm$ 24	70 $\pm$ 28	63 $\pm$ 27
Zomer	27 $\pm$ 16	34 $\pm$ 18	30 $\pm$ 17
Jaar	47 $\pm$ 26	57 $\pm$ 30	51 $\pm$ 29
Gemiddeld tij			
Winter	71 $\pm$ 34	104 $\pm$ 46	84 $\pm$ 42
Zomer	32 $\pm$ 19	45 $\pm$ 23	37 $\pm$ 22
Jaar	54 $\pm$ 35	77 $\pm$ 47	63 $\pm$ 42
Springtij			
Winter	76 $\pm$ 35	133 $\pm$ 63	100 $\pm$ 56
Zomer	34 $\pm$ 21	57 $\pm$ 32	44 $\pm$ 29
Jaar	57 $\pm$ 37	97 $\pm$ 63	74 $\pm$ 53
Stormtij			
Jaar	81 $\pm$ 26	122 $\pm$ 42	99 $\pm$ 39
Alle getijden			
Winter	69 $\pm$ 33	104 $\pm$ 55	83 $\pm$ 47
Zomer	31 $\pm$ 19	48 $\pm$ 28	38 $\pm$ 25
Jaar	53 $\pm$ 34	79 $\pm$ 53	64 $\pm$ 45

verhouding jaargemiddeld 1.15, met ook hier een grotere waarde tijdens de zomer (1.25) dan tijdens de winter (1.1). Het verschil tussen eb- en vloedverhouding in de twee meetpunten kan verklaard worden door de verschillen in snelheidsprofiel tijdens eb en vloed. Tijdens eb is het maximum van de snelheid gelegen aan de op-

pervlakte, terwijl tijdens vloed het maximum onder het oppervlak gelegen is (zie Fettweis et al. 1994). Dit resulteert tijdens eb in een sterke snelheidsafname naar de bodem toe, terwijl tijdens vloed deze afname veel geleidelijker is. Op hetzelfde peil t.o.v. de bodem kan dus tijdens vloed (bij gelijke verticaal gemiddelde snelheid) een hogere

stroomsnelheid verwacht worden dan tijdens eb, wat ervoor zorgt dat meer slib in suspensie gehouden kan worden en de bezinking dus geringer is.

Meteorologische factoren (stormvloed) blijken geen significante invloed te hebben op de slibconcentratie. Tijdens de meetperiode traden maar twee stormtijden op, tijdens dewelke de gemiddelde concentraties van dezelfde grootte-orde waren als deze van een winter-springtij. De ogenblikkelijke concentraties kunnen echter hoger liggen.

Uit het voorgaande komt duidelijk naar voren dat de slibconcentratie een functie van het tijverschil is. Om tot een kwantificatie te komen van het faseverschil tussen de concentratie en het tijverschil werd de kruiscorrelatie tussen deze twee signalen berekend. De kruiscorrelatie werd berekend tussen het tijverschil en de getijgemiddelde concentraties (0.5m van de bodem) over een heel jaar, een winter en een zomer. De berekeningen tonen aan dat de maximale getijgemiddelde slibconcentratie één getij naait op het maximum tijverschil. Voor de winterwaarden is de kruiscorrelatiecoëfficiënt hoog (0.8), terwijl voor de zomerwaarden deze coëfficiënt laag is (0.3). De kruiscorrelatiecoëfficiënt voor de jaarlijkse waarden is gelegen tussen de winter- en de zomerwaarde. Een mogelijke verklaring waarom de 'zomercoëfficiënt' lager is dan de 'wintercoëfficiënt' kan gevonden worden in het feit dat tijdens de winter meer slib beschikbaar is voor afzetting en resuspensie (zie verder voor een bespreking van de seizoensgebonden variaties). Tijdens een zomer wordt er minder slib in suspensie gebracht dan potentieel mogelijk zou zijn door de stroomsnelheden, terwijl tijdens een winter de stroomsnelheden een hoeveelheid slib in suspensie brengen die dichter gelegen is bij de potentieel mogelijke hoeveelheid.

7. SLIBCONCENTRATIE - SEIZOENSGEBONDEN VARIATIES

De bovenvernoemde tabellen en figuren 9-12 tonen een duidelijke koppeling van de slibconcentratie met de seizoenen. Hoge concentraties komen tijdens de winter voor en lage concentraties tijdens de zomer. Deze seizoensgebonden invloeden hebben echter geen invloed op de variaties die optreden tijdens een getijcyclus. De verhouding tussen winter- en zomerconcentraties stijgt met stijgend tijverschil en is over het algemeen groter tijdens vloed dan tijdens eb. Deze verhouding is groter in het meetpunt op 1.5m van de bodem gelegen dan in het meetpunt op 0.5m van de bodem. De variaties zijn gelegen tussen 2 en 2.3 (1.5m van de bodem) en tussen 1.5 en 2 (0.5m van de bodem).

De seizoensgebonden variaties kunnen toegeschreven worden aan een groot aantal processen, die dikwijls met elkaar verbonden zijn. Zij kunnen als volgt gegroepeerd worden:

- bovendebiet (verschuiving van het turbiditeitsmaximum, grotere sedimenttoevoer

vanuit het niet-getijgebonden deel van het bekken),

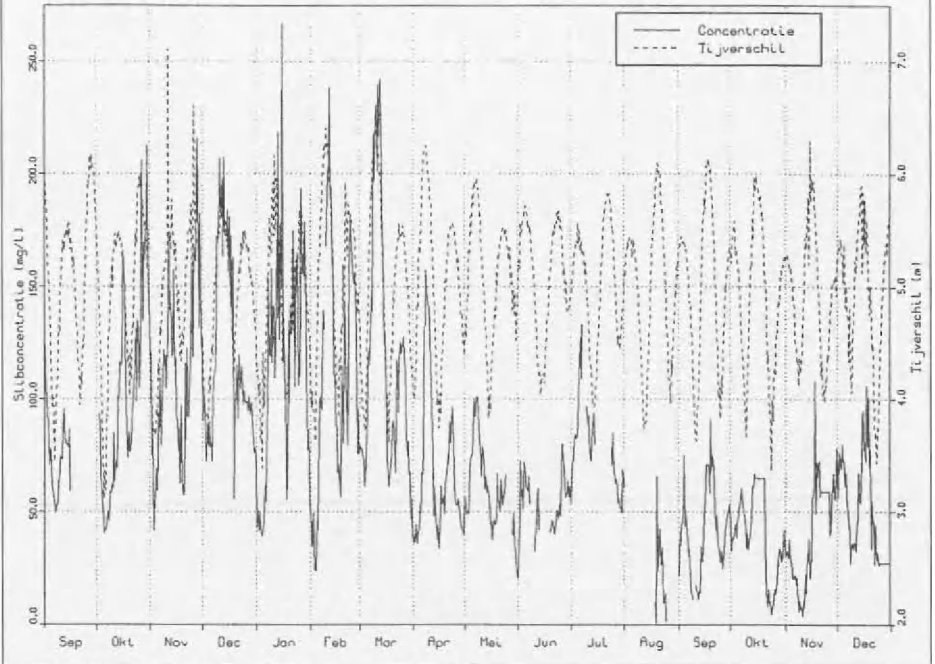
- temperatuur (biologische activiteit, klimatologische factoren),
- stormvloed, en
- landerosie (terrestrische input van fijne sedimenten).

7.1. De ligging van het turbiditeitsmaximum

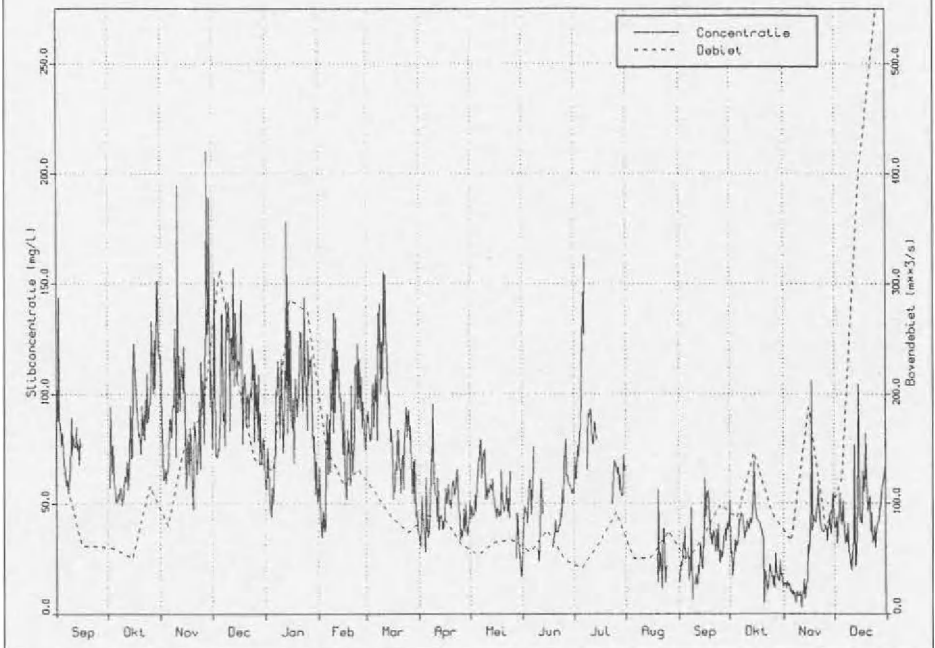
Wollast en Marijns (1981) hebben aangetoond dat het turbiditeitsmaximum gelegen is op ongeveer 110km van de monding gedurende droge periodes en op ongeveer 50km gedurende natte periodes (d.i. ter hoogte van Prosperpolder). Een verschil tussen de twee boven vernoemde langdurige metingen (Liefkenshoek en Oosterweel) en Prosperpolder is dat de gemeten slibconcentratie te Prosperpolder in de nabijheid van de bodem tot een factor 3 lager is dan te Liefkenshoek en te Oosterweel. De lagere concentraties te Prosperpolder kunnen wijzen op het feit dat Prosperpolder gedurende lage en gemiddelde bovendebieten buiten het turbiditeitsmaximumgebied gelegen is. Dit getal wordt ook door Wollast en Marijns (1981) vermeld.

Periodes met hoge bovenafvoer zijn geconcentreerd tijdens de winter. Het verband tussen bovendebiet en slibconcentratie kan in figuren 10 en 12 gezien worden. De slibconcentratiewaarden te Prosperpolder gedurende winter en zomer wijzen op een verschuiving van de positie van het turbiditeitsmaximum. Deze verschuiving geeft deels een verklaring voor de waargenomen seizoensgebonden variaties. Volgens Wollast en Marijns (1981) is de slibconcentratie ter hoogte van het turbiditeitsmaximumgebied 2 tot 3 keer hoger dan aan het opwaartse einde ervan. In figuren 15-18 wordt het verloop van de concentratie in functie van een tiendaagse periode in januari '93 en mei '93 getoond. De figuren tonen dat de piekconcentraties in januari '93 voorkomen tijdens eb terwijl in mei de pieken vallen tijdens vloed. Dit verschijnsel is vooral duidelijk in het meetpunt dat op 1.5m van de bodem gelegen is, zie figuren 17-18. Een verklaring voor de ligging van de piekwaarden tijdens een natte en een droge maand wordt gegeven door de ligging van het turbiditeitsmaximum en de stroomsnelheden. Dyer (1986) merkt op dat de sedimentconcentraties net afwaarts van het turbiditeitsmaximum groter zijn tijdens eb, terwijl aan het opwaartse einde van het turbiditeitsmaximum de hoogste concentraties voorkomen tijdens vloed. In beide gevallen is het immers zo dat de tijdstroming komend vanuit het gebied met een turbiditeitsmaximum, uiteraard meer slib kan meenemen dan het water dat naar het gebied met turbiditeitsmaximum toe stroomt. De tijdstroming van Prosperpolder is ofwel enkele tientallen kilometers afwaarts van het turbiditeitsmaximum gelegen (laag bovendebiet) ofwel juist aan het afwaartse einde ervan (hoog bovendebiet), zie Wollast en Marijns (1981). De hoge piekconcentraties tijdens eb gedurende januari '93 kunnen aldus verklaard worden door de nabijheid van het turbiditeitsmaximum. Gedurende mei '93

Figuur 9: Vloedgemiddelde slibconcentratie (0.5m boven bodem) en tijverschil, september '92 - december '93, Prosperpolder.



Figuur 10: Eb-gemiddelde slibconcentratie (0.5m boven bodem) en bovendebiet, september '92 - december '93, Prosperpolder.



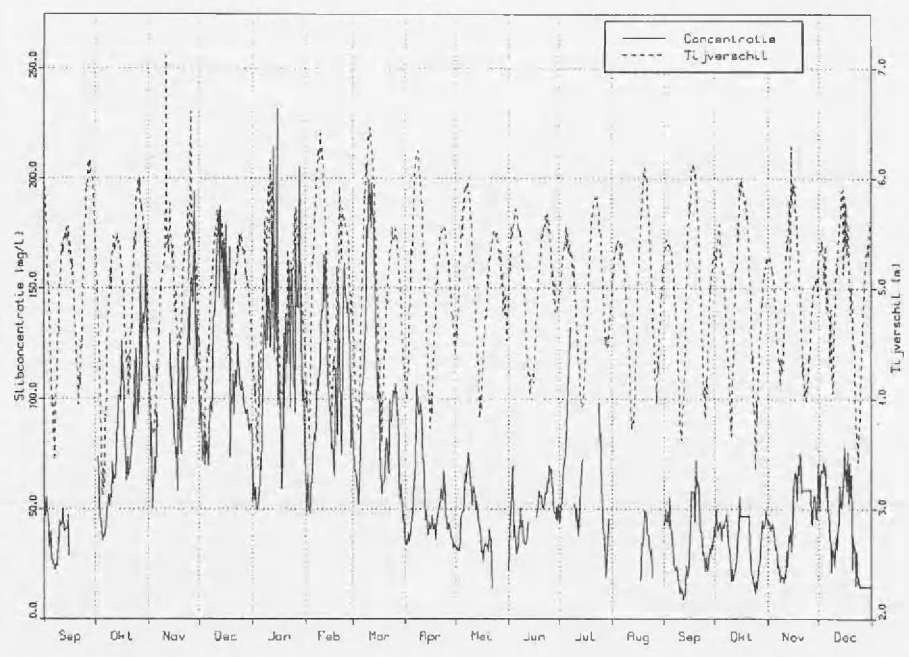
was het turbiditeitsmaximum verder opwaarts gelegen en de belangrijkste invloed op de slibconcentratie wordt gegeven door de gewone getijstroming te Prosperpolder, die groter is tijdens vloed dan tijdens eb, resulterend in hogere piekconcentraties tijdens vloed. De meetresultaten tonen aan dat het bovendebiet een invloed heeft op de slibconcentratie te Prosperpolder. Seizoensgebonden variaties in slibconcentratie worden echter in heel het estuarium gevonden, terwijl de verschuivingen in de positie van het turbiditeitsmaximum veeleer een lokale invloed hebben. Dit suggereert dat ook andere processen betrokken zijn bij

het opzetten van seizoensgebonden variaties. Niettemin kan worden gesteld dat in het turbiditeitsmaximumgebied de variaties in bovendebiet een belangrijke zo niet dominante invloed hebben op het verloop van de slibconcentratie in functie van de seizoenen.

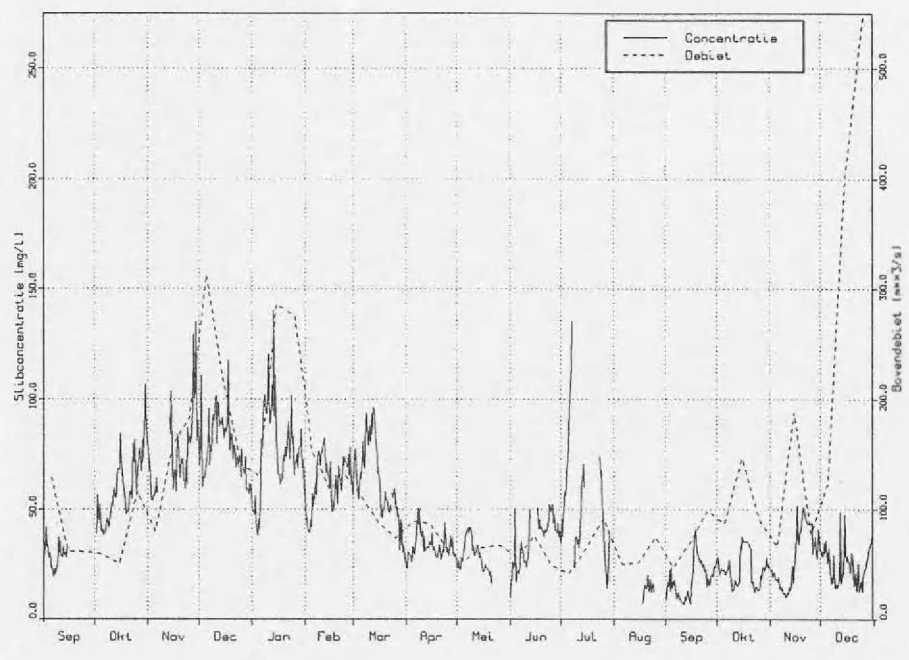
7.2 Biologische factoren

Slibconcentraties zijn verbonden met de temperatuur, omdat de temperatuur klaarblijkelijk afhangt van de seizoenen. De temperatuursvariaties gedurende een jaar hebben een invloed op de biologische activiteit.

Figuur 11: Vloed-gemiddelde slibconcentratie (1.5m boven bodem) en tijverschil, september '92 - december '93, Prosperpolder.



Figuur 12: Eb-gemiddelde slibconcentratie (1.5m boven bodem) en bovendebiet, september '92 - december '93, Prosperpolder.



Deze biologische activiteit kent ook een sterke langse gradiënt, die veroorzaakt wordt door de saliniteitsgradiënt, die op zijn beurt een functie is van het bovendebiet en de verdeling van marien-, brak- en zoetwaterorganismen bepaalt (Ysebaert et al. 1993; van Leussen, 1994). Algen en andere micro-organismen verhogen de erosie-weerstand van het slib op de bodem in de Intertijdegebieden, zodat minder slib in suspensie gebracht kan worden.

Uit een vergelijking van de saliniteits- (figuur 2) en de slibconcentratiecurves (figuren 9

en 10) blijkt dat de hoge slibconcentraties voorkomen tijdens periodes met lage zoutwaarden. De minimale getijgemiddelde saliniteit te Prosperpolder gedurende de winter varieert tussen 2g/l en 6g/l. Deze waarden zijn gesitueerd in het gebied dat in de literatuur beschreven wordt als flocculatiepunt (Drake, 1976; Whitehouse et al., 1960; Einstein en Krone, 1962). Het belang dat in het verleden gegeven werd aan de zoutwaarde als flocculatie-agens wordt in recentere literatuur echter meer en meer in vraag gesteld sinds het belang van andere processen zoals bioflocculatie, organische ag-

gregaten en pellitizatie ontdekt werd. Eisma et al. (1991) hebben uit veldmetingen in het Rijnestuarium geen aanwijzing gevonden voor het voorkomen van zoutflocculatie; de grotere aggregaten waren bijna allemaal samengeklit door organische componenten. Dezelfde auteurs hebben in het Gironde-estuarium gevonden dat de grootte van de slibvlokken afneemt in de richting van de stijgende zoutwaarde. Rekening houdend met deze diverse flocculatieprocessen uit andere estuaria en het gebrek aan gegevens voor het Scheide-estuarium, is het niet mogelijk om de flocculatieprocessen voor de Schelde te identificeren. Indien bioflocculatie belangrijk is, dan is het waarschijnlijk dat de seizoenen een invloed hebben op de vlokvorming en op de flocculatieprocessen. Dit zou betekenen dat tijdens de winter het slib gemakkelijker in suspensie gehouden kan worden omdat flocculatie minder belangrijk is dan tijdens de zomer.

7.3 Stormvloeden

Stormvloeden kunnen de erosie van slib vergroten en dus ook de concentratie. Vaak wordt gezegd dat deze invloed zijn oorsprong heeft deels in de hogere snelheden en deels door de hogere golfslag. Uit de modelberekeningen (IMDC-WLB, 1993) voor de stormtij van 27 en 28/02/90 blijkt dat de pieksnelheden tijdens vloed en eb met minimum 10% toenemen in de Beneden Zeeschelde t.o.v. een tij met een getijcoëfficiënt van 1.06.

Stormvloeden treden vooral op tijdens de winter. Uit de meetresultaten blijkt dat de piekconcentraties van slib veel hoger kunnen zijn gedurende extreme getijomstandigheden. Uit de metingen bleek echter ook dat de gemiddelde waarden over vloed, eb of een getij in dezelfde grootte-orde liggen als deze gedurende een springtij. Gezien de lage frequentie van stormtij (in de meetperiode traden enkel twee stormtij op) kunnen deze vaststellingen niet zomaar veralgemeend worden. Wel kan worden gesteld dat wegens hun geringe frequentie stormvloeden weinig invloed hebben op de gevonden seizoensgebonden variaties.

7.4 Landerosie

Landerosie is groter tijdens de winter, omdat de plantbedekking geringer is en de verdamping kleiner, wat resulteert in een grotere afstroming. De neerslag samen met de afwezigheid van een beschermende plantbedekking zorgt ervoor dat het sediment losgerukt wordt van de bodem. Het transport van de sedimentdeeltjes gebeurt dan door afvoer van het water over grote oppervlakten, in kleine geulen of in grote permanente geulen, beken en rivieren (Morgan, 1979). Het sediment dat door landerosie verplaatst wordt, komt enkel voor een klein deel terecht in de rivieren en kan dan ofwel verder afwaarts getransporteerd worden of lokaal neergezet worden. De sedimentconcentratie in een rivier is een functie van het debiet en kan gedurende een natte periode beduidend groter zijn dan gedurende een droge periode. In IMDC (1993a) wordt een schatting gegeven van de terrestrische aanvoer van fijne sedi-

menten in het Schelde-estuarium: opwaarts van Rupelmonde bedraagt deze $\pm 0.8 \times 10^6$ ton per jaar, waarvan $\pm 80\%$ afkomstig is van landerosie. Dit is een jaarlijks gemiddelde waarde. Uit de meetgegevens waarvan deze waarde afgeleid werd, kon niet achterhaald worden hoe de sedimentaanvoer varieert met de seizoenen. Volgens Sine en Agneessens (1978) is de sedimentaanvoer van de Meuhaigne (Haspengouw) ongeveer 7 keer groter gedurende de natte periode 1973-1975 dan gedurende de droge periode 1975-1977. Van Maldegem et al. (1993) schatten de netto aanvoer van rivierslib aan de Belgisch/Nederlandse grens op 0.4×10^6 ton per jaar en de netto aanvoer van marien slib op 0.1×10^6 ton per jaar. Indien de seizoensgebonden variaties van terrestrische slibaanvoer aantoonbaar zijn, dan is het waarschijnlijk dat deze ook mede de seizoensgebonden slibconcentratie beïnvloeden. Daarenboven zal deze invloed sterk afhankelijk zijn van de locatie en afnemen naar afwaarts toe.

7.5 Conclusies inzake seizoensvariates van slibconcentratie

Er werd aangetoond dat een aantal processen in staat zijn om de seizoensgebonden variaties van de slibconcentratie te veroorzaken. Tevens werd ook de nadruk gelegd op het feit dat het relatieve belang van deze processen afhangt van de locatie in het estuarium. Een sluitend antwoord op de vraag betreffende het relatieve belang van deze processen, kan aan de hand van de beschikbare meetgegevens echter niet gegeven worden. Daartoe zijn gelijktijdig metingen van slibconcentratie en biologische factoren in een aantal punten gelegen volgens de langsas van het estuarium nodig, gekoppeld aan een opvolging van de landerosie in het Scheldebekken.

8. SLIBCONCENTRATIE - GETIJGEBONDEN VARIATES

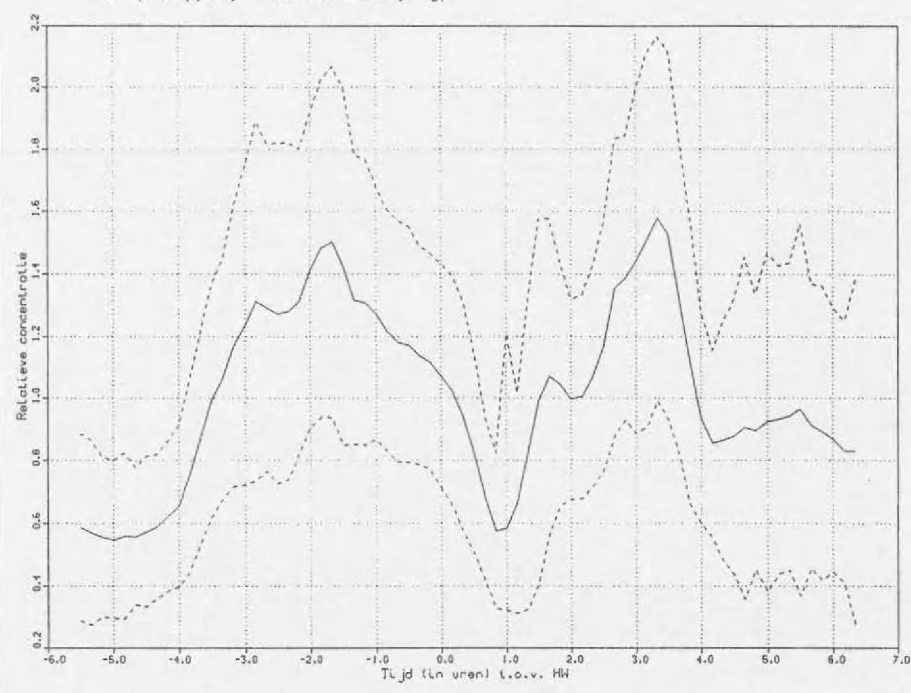
Het verloop van de ogenblikkelijke slibconcentratie in functie van de tijd wordt getoond voor twee tiendaagse periodes in januari en mei in figuren 15-18. De slibconcentratie vertoont duidelijk variaties in functie van de waterstand en het tijverschil. Ook kunnen variaties met een hogere frequentie waargenomen worden. Mogelijke verklaringen hiervoor kunnen gevonden worden in de turbulente variaties in de stroming, in het voorkomen van pieksnelheden (vooral belangrijk tijdens vloed), in de niet homogene verspreiding en samenstelling van het slib op de bodem en in variaties van slibaanvoer door transport.

Hoogfrequente variaties (grootte-orde seconden tot minuten) in stroomsnelheden bovenop de getijgebonden konden waargenomen worden ter hoogte van Doel (± 5 km opwaarts van Prosperpolder), zie IMDC (1993b) en gedurende de langdurige meting te Liefkenshoek (± 8 km opwaarts), zie IMDC (1989). Erosie en afzetting van slib gedurende een getij kan het voorkomen van enkele pieken in de curven verklaren. Tijdens kentering wordt het slib afgezet. Deze sliblaag heeft

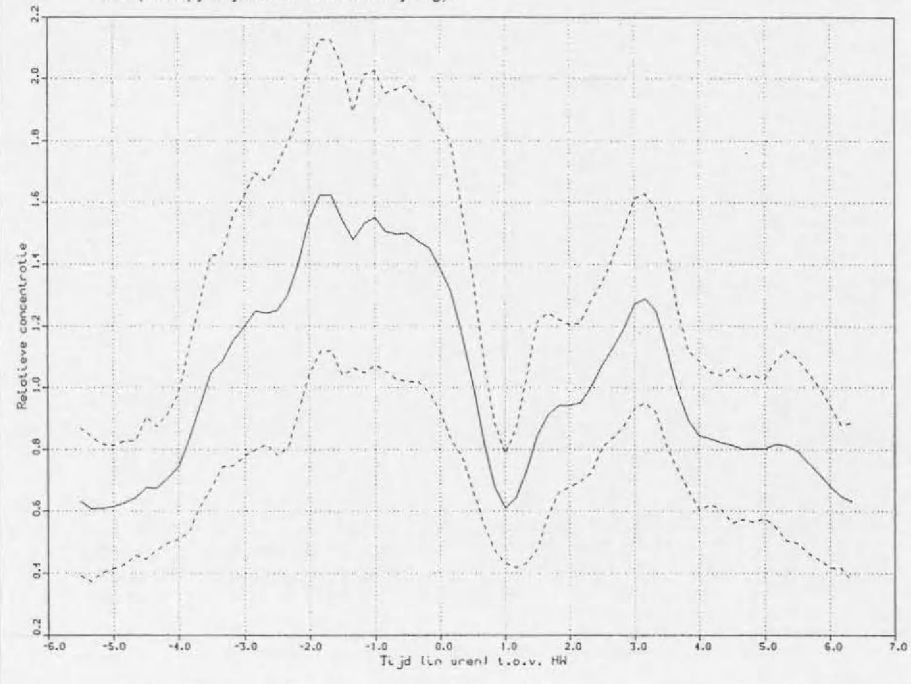
een lage densiteit en wordt gemakkelijk geërodeerd als de stroming terug toeneemt, resulterend in een eerste concentratiepiek. De schuifspanning nodig om de onderliggende sliblagen in suspensie te brengen is groter; erosie treedt enkel op wanneer de stroomsnelheid voldoende groot is, wat een tweede concentratiepiek veroorzaakt. Een derde piek in de concentratie valt samen met een maximum in vloedsnellheid, zie de resultaten van de 13-uursmeting ter hoogte van de Drempel van Zandvliet (Fettweis et al., 1994) en werd ook teruggevonden in de resultaten

van de langdurige meting te Liefkenshoek (IMDC, 1989). Deze piekwaarde is meer uitgesproken tijdens een springtij dan tijdens een doottij. Tijdens eb is het verloop van de snelheid in functie van de tijd uniform en enkel twee pieken in de curve mogen verwacht worden uitgaande van de erosiegevoeligheid van het slib. Deze redenering gaat ervan uit dat tijdens een doottij-springtij cyclus, er een periode is waar de erosie zal overheersen (springtij) en een waar sedimentatie overheerst (doottij) zodat de sliblaag de kans krijgt om te consolideren.

Figuur 13: Relatieve slibconcentratie (0.5m boven bodem), oktober '92 - september '93, Prosperpolder (streepjeslijn: $\pm$ standaardafwijking).



Figuur 14: Relatieve slibconcentratie (1.5m boven bodem), oktober '92 - september '93, Prosperpolder (streepjeslijn: $\pm$ standaardafwijking).



De bovengenoemde figuren tonen een groot verschil tussen maximum en minimum concentratie gedurende een getij. De verhouding tussen maximum en minimum concentratie kan een waarde hebben van 20 gedurende een springtij. Tijdens een doodtij is deze verhouding veel kleiner.

9. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Uit de besproken figuren en tabellen blijkt dat de slibconcentratie varieert binnen een getij, met een doodtij-springtijcyclus en met

de seizoenen. De veranderingen tijdens een getij en een doodtij-springtijcyclus kunnen verklaard worden door de hydrodynamische condities. De seizoensgebonden variatie van de slibconcentratie wordt veroorzaakt door de fysico-chemische en biologische factoren en de opgeloste bestanddelen alsook het bovendebiet en de terrestrische aanvoer van slib.

De verdeling van het opgeloste slib is beïnvloed door een groot aantal, onderling verbonden processen, zoals temperatuur en biologische activiteit, bovendebiet en salini-

teit, hydrodynamica en turbulentie, mineralogische samenstelling, chemische eigenschappen, aggregatie en flocculatie. Het relatieve belang van elk van deze processen is moeilijk te achterhalen, deels wegens een gebrek aan metingen en deels wegens de complexe aard van de processen en hun onderlinge samenhang.

Het is evident dat de metingen te Prosperpolder enkel een beperkt inzicht verschaffen in het gedrag van slib in de Beneden Zeeschelde. Om de kennis betreffende het cohesief sedimenttransport te vergroten is het daarom onontbeerlijk om dergelijke metingen verder te zetten en dit langsheen de lengteas van de Schelde, aangevuld met 13-uursmetingen op verschillende plaatsen en op verschillende tijdstippen. Ook het bestuderen van het flocculatiegedrag van de slibpartikels in het water onder verschillende omstandigheden (zoutgehalte, zomer, winter) dringt zich in het kader van dit monitoringprogramma op. Verder is het nodig om de invloed van baggerwerkzaamheden op de slibconcentratie te kwantificeren. Op termijn zullen deze metingen leiden tot een beter fundamenteel begrip van de slibbewegingen in de Schelde en tot het beter opvolgen van de waterkwaliteit. Uit dit artikel blijkt dat een goede interpretatie van slibconcentratiemetingen enkel kan gebeuren indien parallel met de sedimentmetingen andere grootheden, zoals temperatuur, zoutgehalte, snelheid, bovenafvoer, slibaanvoer vanuit het bekken etc. mee opgenomen worden in het meetprogramma.

M. FETTWEIS, M. SAS, J. MONBALIU
IMDC n.v., Wilrijkstraat 37-45,
2140 Antwerpen
J. MONBALIU
KU Leuven, Laboratorium voor
Hydraulica
de Croylaan 2,
3001 Leuven
E. TAVERNIERS
Min. Vl. Gem.,
Afdeling Maritieme Schelde
Tavernierkaai 3,
2000 Antwerpen

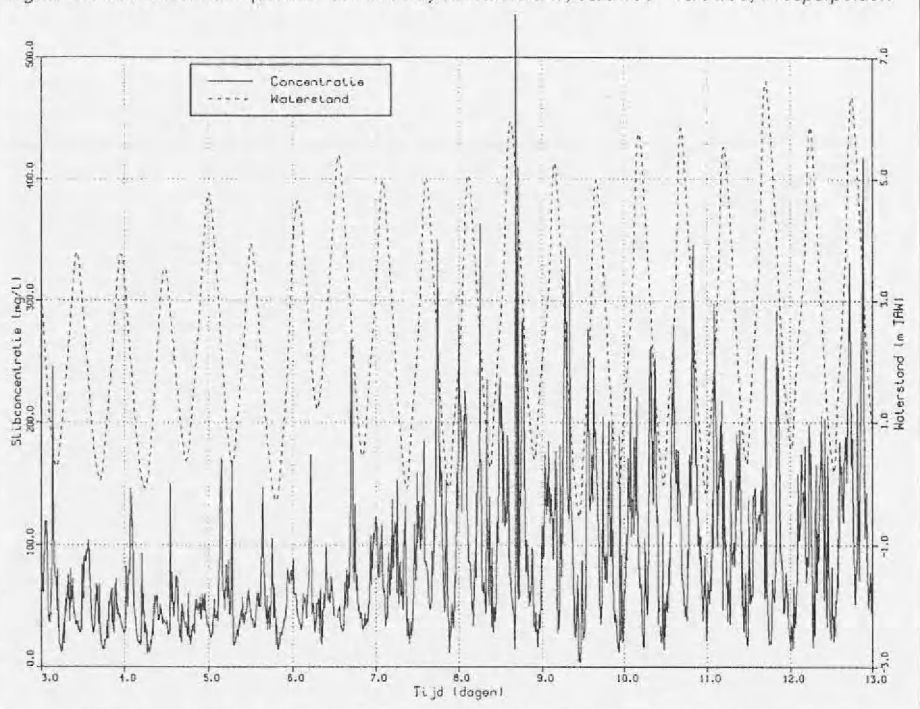
DANKWOORD

De auteurs wensen hun dank te betuigen aan het meet- en vaarpersoneel van de afdeling Maritieme Schelde (de toenmalige Antwerpse Zeehavendienst).

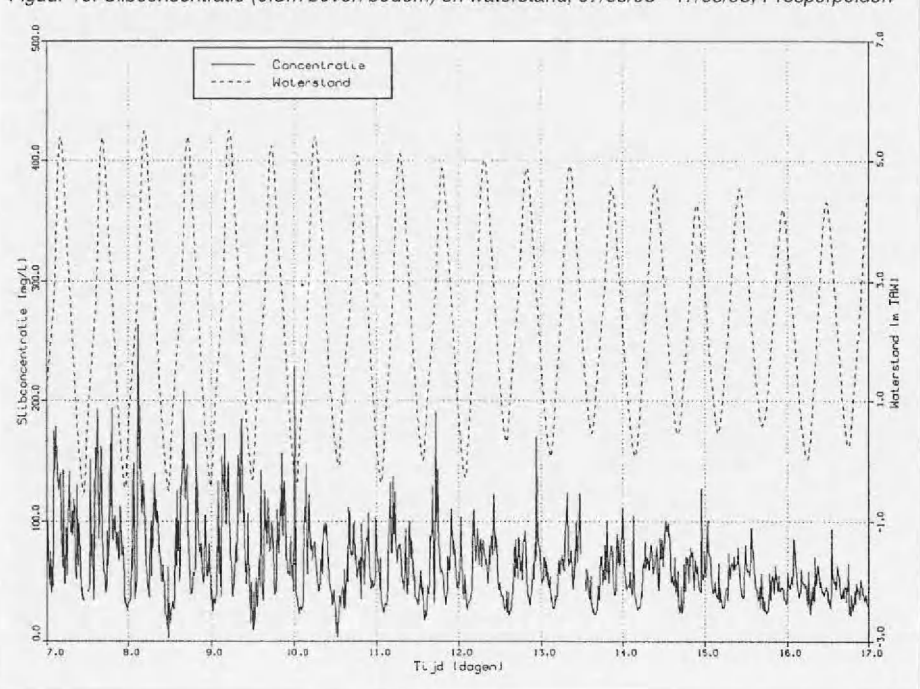
LITERATUURLIJST

- A.Z. (1987). Zeeschelde, Temperatuur en zoutgehalte 1981-1985. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Antwerpse Zeehavendienst, Rapport Nr. AZ. 87/1.
- A.Z. (1993a). De afvoer van de Schelde in 1992. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Antwerpse Zeehavendienst, Rapport Nr. AZ. 93/04.
- A.Z. (1993b). Zeeschelde, Temperatuur en zoutgehalte 1986-1990. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Antwerpse Zeehavendienst, Rapport Nr. AZ. 93/05.
- A.Z. (1994). De afvoer van de Schelde in 1993. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Antwerpse Zeehavendienst, Rapport Nr. AZ. 94/01.

Figuur 15: Slibconcentratie (0.5m boven bodem) en waterstand, 03/01/93 - 13/01/93, Prosperpolder.



Figuur 16: Slibconcentratie (0.5m boven bodem) en waterstand, 07/05/93 - 17/05/93, Prosperpolder.



DRAKE D.E. (1976). Suspended sediment transport and mud deposition on continental shelves. In: Marine Sediment Transport and Environmental Management. (Eds. D.J. Standley en D.J.P. Swift), John Wiley & Sons, New York, London, 127-158.

DYER K.R. (1986). Coastal and Estuarine Sediment Dynamics. Wiley Interscience Publication, J. Wiley & Sons, 342p.

EINSTEIN H.A. en H.B. KRONE (1962). Experiments to determine modes of suspended sediment transport in salt water. J. Geoph. Res., 67, 1451-1464.

EISMA D., K.R. DYER en W. VAN LEUSSEN (1994). The in situ determination of the settling velocities of fine-grained sediment - A review. Proc. 4th Nearshore and Estuarine Cohesive Sediment Transport Conf., (INTERCOH '94, July 1994), Paper 2.

FETTWEIS M., M. SAS en L. MEYVIS (1994). Analyse van stroom- en sedimentmetingen ter hoogte van de Drempel van Zandvliet (Schelde). Water, Nr. 76, 88-99.

FETTWEIS M. en M. SAS (1994). De complexe stroming in de toegangseul van de Zandvliet- en Berendrechtshuis: Inzicht via metingen en modellering. Water, Nr. 77, 109-116.

FETTWEIS M. (1995). Modelling currents and sediment transport phenomena in shelf seas and estuaries. Doctoraats thesis, KULeuven, 253p.

IMDC (1989a). Tunnel Liefkenshoek. Onderzoek betreffende de morfologische factoren. Langdurige stroom- en sedimentmeting. Rapport IMDC Nr. 138-89.11.06.

IMDC (1990). Tunnel Liefkenshoek. Analyse Stroom- en sedimentmetingen. IMDC Rapport.

IMDC (1993a). Gedrag van particulier materiaal in het Schelde-estuarium. Eindrapport in opdracht van de BMM (Ministerie van Volksgezondheid).

IMDC (1993b). Diepte- en stroommeting water- vang kerncentrale Doel, 24-25 november 1993. Rapport IMDC.

IMDC-WLB (1993). Containerkaai Noord - hydraulisch en sedimentologisch onderzoek. Stormtij. Rapport IMDC.

IMDC-WLB (1994). Containerkaai Noord - hydraulisch en sedimentologisch onderzoek. Langdurige turbiditeitsmeting, Augustus 92 - December 93. Rapport IMDC.

MEIRE P., M. Hoffmann en T. Ysebaert (Ed.) (1995). De Schelde, een stroom natuurtalent. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Ministerie voor Verkeer en Waterstaat en Zeeuwse Milieufederatie.

MORGAN R.P.C. (1979). Soil erosion. Topics in Applied Geography, Longman, London & New York, 113p.

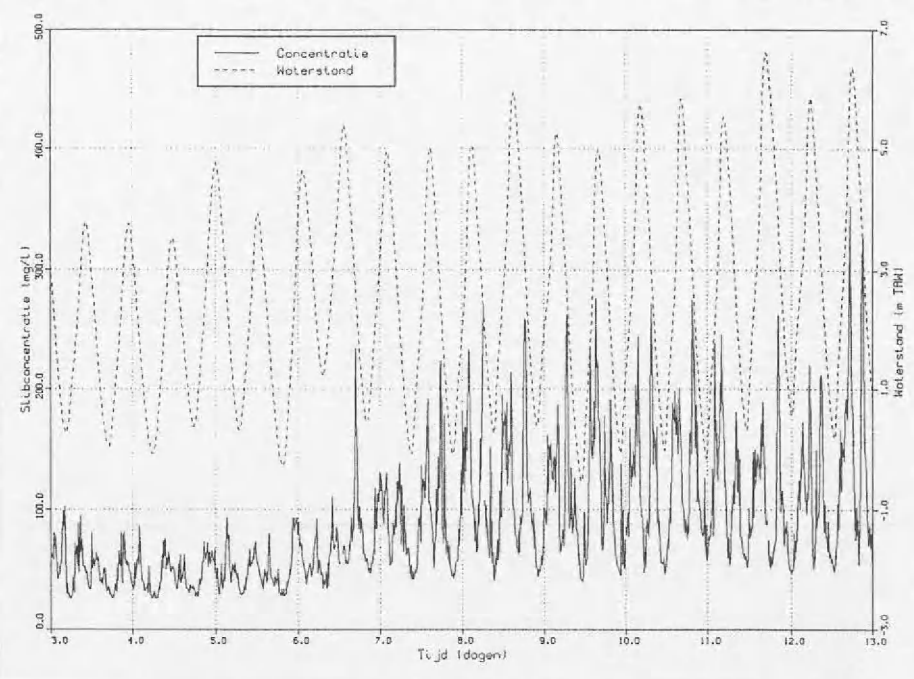
OTTO L., J.T.F. ZIMMERMAN, G.K. FURNES, M. MORK, R. SAETRE en G. BECKER (1990). Review of the physical oceanography of the North Sea. Neth. J. of Sea Research, 26(2-4), 161-238.

POND S. en G.L. PICKARD, (1986). Introductory dynamical oceanography. Pergamon Press, 329p.

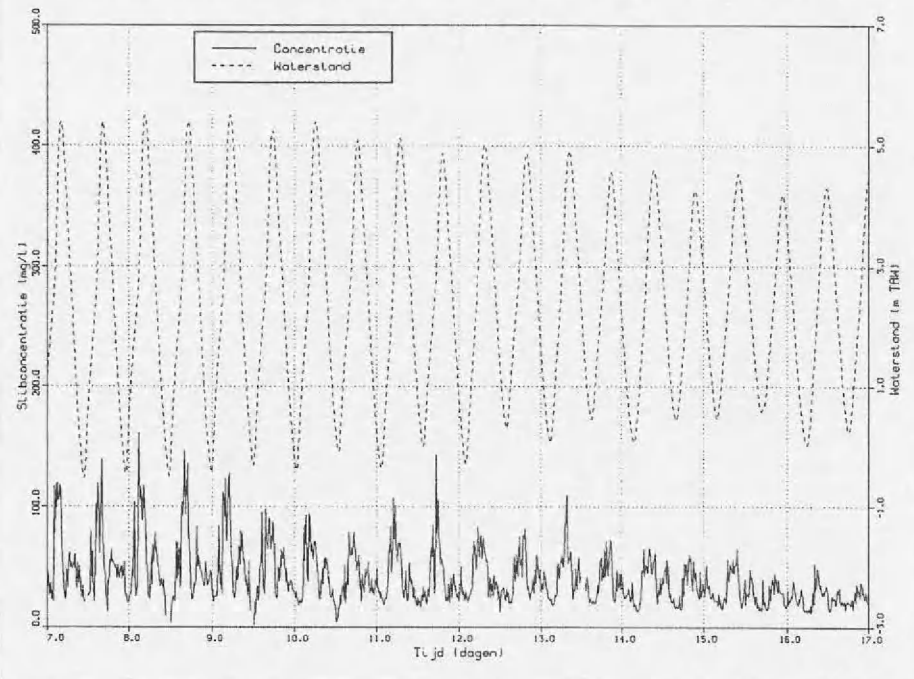
RONDAY F. (1995). Persoonlijke mededeling, Université de Liège.

SAS M. en J. CLAESSENS (1988). The impact of flow pattern and sediment transport on the maintenance dredging in the Kallo access channel. KVV 9th Int. Harbour Congress. 4.111-4.120.

Figuur 17: Slibconcentratie (1.5m boven bodem) en waterstand, 03/01/93 - 13/01/93, Prosperpolder.



Figuur 18: Slibconcentratie (1.5m boven bodem) en waterstand, 07/05/93 - 17/05/93, Prosperpolder.



SAS M. (1989). The recognition and simulation of silt transport in the Kallo access channel. In: Progress in Belgian Oceanographic Research (Ed. G. Pichot). Diensten van de Eerste Minister, Wetenschapsbeleid.

SHUTLER R., D. RYDER en C. JOHNSON (1993). Quality of laboratory calibrations. In: Calibration of Hydrographic Instrumentation, The Hydrographic Society, Special Publication No. 31, 7-12.

SINE L. en J.P. AGNEESSSENS (1978). Etude de débits solides et du phénomène de migration dans une rivière drainant un bassin agricole. Pédologie, XXVIII(2), 183-191.

THEVENOT M.M. en N.C. KRAUSS (1993). Comparison of acoustical and optical measurements of suspended material in the Chesapeake estuary. J. Marine Env. Engg., 1, 65-79.

VAN DAMME S., P. MEIRE, H. MAECKELBERGHE, M. VERDIEVEL, L. BOURGOING, E. TAVERNIERS, T. YSEBAERT en G. WATTEL (1995). De waterkwaliteit van de Zeeschelde: Evolutie in de voorbije dertig jaar. Water, Nr. 85, 244-256.

VAN LEUSSEN W. (1994). Estuarine macroflocs and their role in fine-grained sediment transport. Doctoraats thesis, Universiteit Utrecht, 488p.

VAN MALDEGEM D.C., H.P.J. MULDER en A. LANGERAK (1993). A cohesive sediment balance for the Scheldt estuary. *Neth. J. of Aquatic Ecology*, 27(2-4), 247-256.

WHITEHOUSE U.G., L.M. JEFFREY en J.D. DEBBRECHT (1960). Differential settling tendencies of clay minerals in saline waters. In: *Clays and Clay Minerals*, (Ed. A. Swineford), Pergamon Press, New-York, 1-79.

WOLLAST R. en A. MARIJNS (1981). Evaluation des contributions de différentes sources de matières en suspension à l'envasement de l'Escaut. Final report to the Ministry of Public Health and Environment. 152p.

YSEBAERT T., P. MEIRE, D. MAES en J. BUIJS (1993). The benthic macrofauna along the estuarine gradient of the Schelde estuary. *Neth. J. Aquatic Ecology*, Vol. 27, Nr. 2-4, 327-341.

Bijlage: LIJST VAN METINGEN

De in de tabel vernoemde metingen in de Beneden-Zeeschelde gebeurden voornamelijk in opdracht van en steeds in samenwerking met het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Maritieme Schelde.

Datum	Getij	Plaats	Grootheid	Aantal Meetpunten
13-uursmetingen				
28/08/95	ST	Liefkenshoek	Va, R, T, C, pH, S	3
20/12/94	ST	KCD Doel	V, R, T, C	1
29/04/93	vloed	Toegangsgeul Zandvliet-Berendrecht	Va, R, C	3
19/04/93	eb	Toegangsgeul Zandvliet-Berendrecht	Va, R, C	3
29/09/92	ST	Schelle	Va, R, C, T, S	3
11/07/91	ST	Vaarwater boven Bath	V, R, T, C, S	6
13/06/91	ST	Plaats van Lillo	V, R, T, C, S	4
04/10/90	ST	Toegangsgeul Zandvliet-Berendrecht	C	2
04/10/90	ST	Drempel van Zandvliet	V, R, T, C, S, Z	7
27/09/90	DT	Drempel van Zandvliet	V, R, T, C, S, Z	7
23/11/89	DT	Liefkenshoek	V, R, T, C, S, Z	2
14/10/89	ST	Liefkenshoek	V, R, T, C, S, Z	4
04/04/89	ST	Toegangsgeul Zandvliet-Berendrecht	V, R, T, C, S	4 (3 in toegangsgeul, 1 in Schelde)
25/01/89	ST	Liefkenshoek	V, R, T, C, S, Z	5
30/04/87	ST	Toegangsgeul Kallo	V, R, T, C, S	3 (2 in toegangsgeul, 1 in Schelde)
03/10/86	ST	Toegangsgeul Kallo	V, R, T, C, S	3 (2 in toegangsgeul, 1 in Schelde)
26 + 30/09/86	DT	Toegangsgeul Kallo	V, R, T, C, S	3 (2 in toegangsgeul, 1 in Schelde)
Langdurige metingen				
01/09/92 - 31/12/93	—	Prosperpolder	T, C, S	1
25/09/90 - 18/03/91	—	H.L. Zandvliet	V, R, Z	1
13/10/89 - 09/01/90	—	Liefkenshoek	V, R, C, S, Z	1
08/02/89 - 25/05/89	—	Liefkenshoek	V, R, C, S, Z	1

(ST = springtij, DT = doortij, V = Snelheid, Va = Snelheid-ADCP, R = Richting, T = Temperatuur, C = Conductiviteit, S = Slibconcentratie, Z = Zandconcentratie)