



Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

RIZA Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling

Erosiebepalingen in het Haringvliet tijdens hoge afvoer (december 1993)

Notanr. 94.044

Dit rapport is te bestellen bij Hageman Verpakkers, Postbus 281, 2700 AG Zoetermeer à f 25,- per stuk.
Betaling na levering ; een acceptgiro wordt bijgevoegd.
Het rapport is gratis voor dienstonderdelen van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

This publication can be ordered through Hageman Verpakkers, PO Box 281, 2700 AG Zoetermeer,
The Netherlands at DFL 25,- per copy. Payment on delivery.

riza

vestiging dordrecht
van leeuwenhoekweg 20
3316 av dordrecht
tel. 078-322500, fax. 078-315003
doorkiesnummer 078-322608

**EROSIEBEPALINGEN
IN HET HARINGVLIET
TIJDENS HOGE AFVOER
(DECEMBER 1993)**

NOTA: 94.044

ISBN: 90 3690 3645

auteur(s) Harm Verbeek, Bauke Jansen &
Johan van Zetten

datum juni 1994



Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling RIZA

Aan

geadresseerde

Contactpersoon

drs. H. Verbeek

Datum

13. OKT. 1994

Ons kenmerk

WST/ 9058

Onderwerp

Verzending nota 'Erosiebepalingen in het Haringvliet tijdens hoge afvoer (december 1993)'.

Doorkiesnummer

078-322608

Bijlage(n)

Uw kenmerk

Geachte mevrouw/heer,

In opdracht van de Directie Zuid-Holland heeft het RIZA een onderzoek naar het erosiegedrag van het Haringvliet voorbereid en uitgevoerd. Het doel van dit onderzoek was het bepalen van de kritieke snelheid voor erosie; in modellen werd tot nu toe een geschatte waarde van 0.33 m/s (0.2 à 0.3 N/m²) aangehouden.

Het onderzoek heeft op twee manieren plaatsgevonden. Ten eerste is er door het Waterloopkundig Laboratorium een laboratoriumonderzoek uitgevoerd op in het veld gestoken ongeroerde monsters. Dit leverde een kritieke schuifspanning voor erosie op van 0.5 à 1 N/m². Dit is veel hoger dan de geschatte waarde. Door problemen bij de uitvoering van de proeven is het resultaat slechts gebaseerd op enkele waarnemingen.

Het tweede deel van het onderzoek is een veldmeting naar erosie in het Haringvliet tijdens hoge afvoer. De stroomsnelheden in het Haringvliet liepen daarbij op tot 0.7 m/s. Ook de zwevend stof concentratie tijdens de meting liep op van ongeveer 30 mg/l tot 80 à 100 mg/l. Aangezien deze stijging in concentratie niet verklaard kon worden uit de aanvoer, moet er sprake zijn van lokale erosie. Uit de nadere analyse blijkt dat erosie optreedt bij stroomsnelheden boven 0.5 m/s (≈ 0.5 N/m²).

Postadres postbus 17, 8200 AA Lelystad

Bezoekadres Maerlant 16

Telefoon 03200-70411

Telefax 03200-49218

Telex 40772



In de bijgevoegde nota nr. 94.044 wordt de veldmeting besproken en worden de resultaten bediscussieerd. Er is een vergelijking gemaakt tussen de veldsituatie en de laboratorium-metingen. Hierbij is gebruik gemaakt van simulaties met het slibtransportmodel WAQUA-SINODE. Binnen de marges van de parameters, zoals bepaald in het laboratorium, kan een goede overeenkomst bereikt worden met de veldsituatie.

Vastgesteld kan worden dat de oorspronkelijk aangenomen waarde voor erosie van 0.33 m/s te laag is geweest. Dit is een zeer conservatieve inschatting geweest van het slibtransport. Een kritieke grens voor erosie bij 0.5 m/s is een meer realistische waarde.

Hoogachtend,
DE HOOFDINGENIEUR-DIRECTEUR
l. H.I.D.,

ir. F. Rutgers

| INHOUD | blz |
|---|-----|
| LIJST MET FIGUREN: | 2 |
| LIJST MET TABELLEN: | 2 |
| LIJST MET BIJLAGEN: | 3 |
| 1. INLEIDING | 5 |
| 1.1 Aanleiding | 5 |
| 1.2 Opzet onderzoek | 5 |
| 1.3 Opzet rapportage | 6 |
| 2. OPZET VELDMETINGEN | 7 |
| 2.1 Stroom- en troebelheidsmetingen | 7 |
| 2.2 Bodemdichtheidsmetingen | 8 |
| 3. BODEMBEMONSTERINGEN | 9 |
| 3.1 Boor-beschrijving | 9 |
| 3.2 Nadere analyses | 9 |
| 3.3 Dichtheidsopbouw | 10 |
| 4. STROOM- EN TROEBELHEIDSMETINGEN | 13 |
| 4.1 Uitvoering veldmetingen | 13 |
| 4.2 Stroomsnelheid | 13 |
| 4.3 Zwevend stof | 15 |
| 5. OPZET MODEL-SIMULATIES | 17 |
| 5.1 Inleiding simulatie | 17 |
| 5.2 Randvoorwaarden | 17 |
| 5.3 Verschillende varianten | 19 |
| 6. MODELBEREKENINGEN | 20 |
| 7. RESULTATEN | 24 |
| 7.1 Resultaten laboratoriumonderzoek | 24 |
| 7.2 Vergelijking veldsituatie en modelsimulatie | 25 |
| 8. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN | 28 |
| 8.1 Conclusies | 28 |
| 8.2 Aanbevelingen | 28 |
| 9. LITERATUUR | 29 |

LIJST MET FIGUREN:

- 2.1 Bemonsteringslokaties in het Haringvliet
- 3.1 Korrelgrootteverdeling bepaald met de Malvern in monsters uit de boringen
- 3.2 IJklijn voor de ISAC, bepaald met Haringvlietslib op 19/20 oktober en 27 december 1993
- 3.3 Bodemconcentratieprofielen bepaald met de ISAC
- 3.4 Bodemconcentratieprofielen bepaald met de ISAC vergeleken met de concentratie in de boring
- 4.1 Afvoer van Boven-Rijn bij Lobith en Maas bij Eysden en Lith in december 1993
- 4.2 Zwevend stof concentratie bij Lobith in december 1993
- 4.3 Verticaal gemiddelde stroomsnelheid en -richting, gemeten op 23 december 1993
- 4.4 IJklijnen voor de gebruikte troebelheidsmeters
- 4.5 Verticaal gemiddeld zwevend stof, gemeten op 23 december 1993
- 5.1 Waterstandsverloop bij Hellevoetsluis, uitgerekend met ZWENDL en WAQUA in vergelijking tot de meting
- 5.2 Afvoeren door de Haringvlietsluizen, berekend met ZWENDL en WAQUA
- 6.1 Gesimuleerde en gemeten stroomsnelheid en -richting op 23 december 1993
- 6.2 Gesimuleerde zwevend stof concentratie bij 3 model-instellingen
- 6.3 Gesimuleerde en gemeten zwevend stof concentratie op 23 december 1993
- 6.4 Gemiddeld verschil (berekend - gemeten) voor (a) de stroming en (b) de troebelheid
- 7.1 Zwevend stof concentratie als functie van de stroomsnelheid op 23 december 1993
- 7.2 Vergelijking kritieke schuifspanning in modellen (bij een kritieke snelheid van 0.33 m/s) met resultaten in de carrousel voor vers gesedimenteerd slib
- 7.3 Vergelijking kritieke snelheid in modellen (bij een kritieke schuifspanning van 0.5 Pa) met resultaten van het veldonderzoek in het Haringvliet

LIJST MET TABELLEN:

- 3.1 Boorkernen Haringvliet - fysisch-chemische bepalingen
- 5.1 Instellingen van het slibtransportmodel WAQUA-SINODE
- 7.1 Laboratorium onderzoek bodemmonsters - fysisch-chemische bepalingen
- 7.2 Laboratorium onderzoek bodemmonsters - reologische bepalingen

LIJST MET BIJLAGEN:

1. Overzicht van uitgevoerde metingen en bemonsterde meetpunten
2. Waterbodembemonstering Haringvliet ten behoeve van erosie proef 19 en 20 oktober 1993
3. Erosiemeting Haringvliet op 23 december 1993
gehalte zwevend stof en snelheden op meetplaats A
4. Erosiemeting Haringvliet op 23 december 1993
gehalte zwevend stof en snelheden op meetplaats B
5. Erosiemeting Haringvliet op 23 december 1993
gehalte zwevend stof en snelheden op meetplaats C
6. Erosiemeting Haringvliet op 23 december 1993
gehalte zwevend stof en snelheden op meetplaats D
7. Erosiemeting Haringvliet op 23 december 1993
gehalte zwevend stof en snelheden op meetplaats F
8. Erosiemeting Haringvliet op 23 december 1993
gehalte zwevend stof en snelheden op meetplaats G

SAMENVATTING

Bij de modellering van slibtransport in het Noordelijk Deltabekken voor het beleidsplan Haringvliet, Hollandsch Diep en Biesbosch wordt voor de erosie van slibbodems een vaste waarde voor de kritieke stroomsnelheid gebruikt. Deze waarde, van 0.33 m/s, is een conservatieve schatting voor het begin van erosie. Uit een evaluatie van het modelinstrumentarium is komen vast te staan dat bovengenoemde waarde te laag is voor een reële berekeningen van de cyclus van erosie en sedimentatie.

Vanuit de studie naar een gewijzigd sluisbeheer voor de Haringvlietsluizen komt de vraag naar een precieze markering van het begin van erosie. Bij deze studie wordt er gekeken naar de mogelijkheid om vloed toe te laten in het Haringvliet. Onder deze omstandigheid zal echter de stroomsnelheid toe nemen. Dit kan invloed hebben op het patroon van sedimentatie en erosie. Vooral ten aanzien van het laatste is het van belang om een goede schatting te maken in verband met de aanwezigheid van vervuilde slibbodems.

Er is daarom onderzoek opgestart met als doelstelling:

Vaststelling van erosie van slibbodems bij bepaalde schuifspanningen cq. stroomsnelheden en de snelheid waarmee dit gebeurt, met aandacht voor slibrijke bodems.

Dit onderzoek is zowel in het laboratorium als in de veldsituatie uitgevoerd. In het laboratorium zijn monsters getest op de erosie-gevoeligheid. Dit is gerapporteerd door Kuijper e.a. (1993). In de veldsituatie is tijdens een hoge rivierafvoer een slibtransport meting uitgevoerd in het westelijk Haringvliet.

Bij de laboratoriumproeven is gebruik gemaakt van in-situ monsters, welke onbewerkt in de proefopstelling geplaatst zijn. Door deze werkwijze kunnen enige nuanceringen aangegeven worden ten opzichte van resultaten, welke in het verleden behaald zijn bij kunstmatig gevormde slibbodems. Hierbij speelt vooral mee dat de in-situ monsters een zeer gevarieerde samenstelling hebben.

Tijdens de veldmeting liep de stroomsnelheid op tot maximaal 0.7 m/s. Dit is ruim boven de eerder genoemde grens voor erosie. De zwevend stof concentratie liep ook op van ongeveer 30 mg/l tot 80 - 100 mg/l. Deze stijging kon niet verklaard worden door de aanvoer van zwevend stof, dus is er sprake van lokale erosie. Uit de nadere analyse blijkt dat erosie optreedt bij stroomsnelheden boven 0.5 m/s.

Dit rapport wordt afgesloten met een discussie over de verschillende resultaten. De erosieparameters, welke bepaald zijn in het laboratorium, zijn gebruikt bij enige modelberekeningen met WAQUA-SINODE. Binnen de marges van deze parameters is een goede overeenkomst gevonden met de veldsituatie. De conclusie, dat de kritieke stroomsnelheid voor erosie ligt bij 0.5 m/s, wordt hierdoor onderbouwd.

In de toekomst zal nog gekeken moeten worden naar het effect van de samenstelling van een slibbodem op de erosie-gevoeligheid. De laboratoriumproeven zijn uitgevoerd met monsters met een relatief grote zandfractie. Dit heeft de uitkomst duidelijk beïnvloed. Verder geeft deze studie geen inzicht in het slibtransport bij een sterk gewijzigd beheer van de Haringvlietsluizen. Bij de 'volledig open'-variant zal de ruwheid van het systeem veranderen, zodat de modellen buiten hun geldigheidsdomein komen. Ook zal in die situatie het patroon van erosie en sedimentatie omdraaien ten aanzien van de oeverzones.

1. INLEIDING

1.1 Aanleiding

Voor het Beleidsplan Haringvliet, Hollandsch Diep en Biesbosch is gebruik gemaakt van de huidige waterloopkundige en morfologische modellen. Deze modellen beschrijven waterbeweging en slibtransport in de Zuidrand van het Noordelijk Deltabekken. Voor de slibprocessen zijn vereenvoudigde formuleringen toegepast. Uitgegaan is onder andere van de formulering volgens Partheniades met een kritieke waarde voor erosie bij een profielgemiddelde stroomsnelheid van 0.33 m/s. Verondersteld wordt dat boven deze waarde erosie kan optreden. De schatting van 0.33 m/s is conservatief (te laag) gekozen.

Voor berekeningen in het kader van het Nader Onderzoek van de Nieuwe Merwede met het regionaal model is eveneens gebruik gemaakt van bovengenoemde formuleringen. Naar aanleiding van een evaluatie van de resultaten (Ludikhuize, ?) is voorgesteld een specifieke meting op het gebied van het slibtransport uit te voeren.

Een ander aspect dat speelt ten aanzien van erosie van slib is het voorstel om te komen tot een nieuw sluisbeheer van de Haringvlietsluizen. Hiervoor wordt een MER-rapportage voorbereid. Bij deze voorbereiding komt de mogelijkheid om bij vloed de Haringvlietsluizen (deels) open te stellen ten einde een grotere getijslag toe te laten op het westelijk deel van het Haringvliet sterk naar voren (bijv. variant HV2-min). Hierbij zal er een verhoging van het zoutgehalte optreden ten westen van de monding van het Spui. Voorts neemt de stroomsnelheid in het gebied toe. Een grote vraag hierbij is hoe de slibbodem zal reageren op deze stroomsnelheden. Mogelijk moet er rekening gehouden worden met een erosie van de sliblaag, welke sinds de afsluiting in 1970 gesedimenteerd is. Waar het omslagpunt van geen of niet noemenswaardige erosie naar een erosie van dikke slibpakketten ligt is vooralsnog niet goed aan te geven. Dit omslagpunt kan namelijk niet afgeleid worden uit de huidige modellen, omdat de 'open'-situatie buiten het geldigheidsgebied ligt.

Voor een verbetering van de modellering van het slibtransport en met name de erosie van slibbodem moeten enkele vragen beantwoord worden:

- * Wat is de erosie-gevoeligheid van de slibbodem in het Noordelijk Deltabekken (in het bijzonder in het Haringvliet), in een gebied waar nu hoofdzakelijk sedimentatie van slib plaatsvindt?
- * Bij welke stroomsnelheid zal de toplaag van de slibbodem eroderen en met welke erosiesnelheid gaat dit?

1.2 Opzet onderzoek

De vraag die aan het onderzoek ten grondslag ligt is een kwantificering van de erosie in het Haringvliet ten gevolge van een versterkte getijdebeweging door het (deels) openstellen van de Haringvlietsluizen. Als doelstelling is daarom gekozen voor:

Vaststelling van erosie van slibbodem bij bepaalde schuifspanningen cq. stroomsnelheden en de snelheid waarmee dit gebeurt, met aandacht voor slibrijke bodems.

In de uitwerking hiervan is een driedeling gemaakt ten aanzien van het erosieproces. Er zijn hier namelijk verschillende parameters van invloed (Verbeek, 1993):

- * lokale stroming en zwevend stof transport
- * dichtheidsopbouw van de toplaag van de slibbodem
- * elasticiteit en structuur van de slibbodem

Bovengenoemde drie aandachtsgebieden zijn onderzocht door middel van 3 typen metingen:

- * Stroom- en troebelheidsmetingen voor vaststelling van erosiepaden bij een hoge afvoer ($Q_{br} \geq 4500 \text{ m}^3/\text{s}$). Dit is een stromingssituatie waarbij de stroomsnelheid groter wordt dan de kritieke waarde voor erosie van 0.33 m/s uit het beleidsplan.
- * Dichtheidsopbouw van de slibbodem tot een diepte van 0.25 m (waarin topklaag en geconsolideerde bodem aanwezig zijn) op enige lokaties.
- * Sterkte en elasticiteit van topklaag en geconsolideerde sliblagen van enige geselecteerde lokaties om erosie-gevoeligheid te kunnen bepalen.

De eerste twee punten bestaan uit veldwaarnemingen, welke uitgevoerd zijn door de meetdienst van de directie Zuid-Holland in samenwerking met het RIZA. Het derde punt is laboratoriumonderzoek aan de hand van bodemonsters, dat uitgevoerd is bij het Waterloopkundig Laboratorium (Kuijper e.a., 1993).

1.3 Opzet rapportage

In deze rapportage wordt eerst een overzicht gegeven van de veldmetingen (hfst.2), waarna de resultaten gepresenteerd worden voor de bodembemonstering (hfst.3) en de stroom- en troebelheidsmeting (hfst.4).

Er is een vergelijking gemaakt met simulaties met behulp van WAQUA-SINODE. Eerst wordt de opzet van de modelberekeningen besproken (hfst.5) en daarna volgt de presentatie van de modelberekeningen (hfst.6). Tot slot worden de resultaten van de laboratoriumproeven, het veldonderzoek en de modelsimulaties met elkaar vergeleken (hfst.7). Afgesloten wordt met conclusies en aanbevelingen (hfst.8).

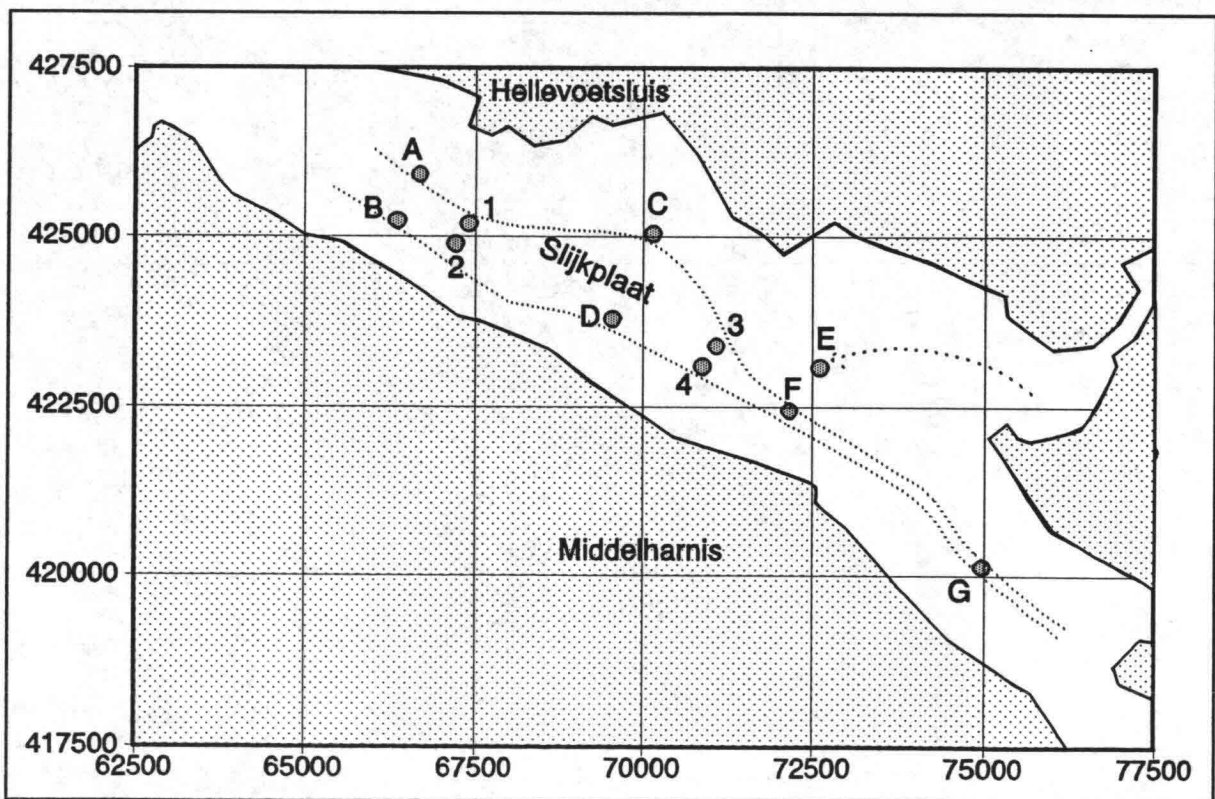
2. OPZET VELDMETINGEN

De opzet van de veldmetingen is beschreven in een meetplan (Verbeek, 1993). Dit meetplan voorziet in een stroom- en troebelheidsmeting aan het begin van een afvoergolf (tijdens de was van de afvoer). Voor en na de afvoergolf moeten verder bodembemonsteringen uitgevoerd worden. Voor een volledig overzicht van de verschillende veldmetingen wordt verwezen naar bijlage 1.

2.1 Stroom- en troebelheidsmetingen

Voor de stroom- en troebelheidsmetingen zijn omstandigheden gekozen, waarbij de stroomsnelheid boven de kritieke waarde van 0.33 m/s uit het beleidsplan ligt. Deze situatie komt voor bij een Rijn-afvoer van meer dan 4500 m³/s. Deze situatie komt normaal gesproken enige dagen voor in het najaar of de winter. Een meting is daarom gepland in de periode november 1993 - januari 1994. In december 1993 is de meting uitgevoerd.

Vooraf zijn enige modelberekeningen uitgevoerd om de monsterpunten te kunnen kiezen. Dit is gedaan met behulp van zowel ZWENDL (ééndimensionaal model) als WAQUA (tweedimensionaal model). Een ééndimensionaal model is eenvoudig in te zetten maar kan alleen profielgemiddelde snelheden berekenen. Een tweedimensionaal model kan moeilijk een langere periode met een afvoergolf berekenen. Om nu op verschillende lokaties de stroomsnelheid te schatten is een vergelijking gemaakt tussen ZWENDL-NDB (profielgemiddelde snelheid) en WAQUA-Zuidrand (dieptegemiddelde snelheid) bij een gemiddelde rivierafvoer. Met behulp van het WAQUA-model kan per lokatie een inschatting gemaakt worden van de stroomsnelheden die optreden in vergelijking tot de profielgemiddelde snelheid uit het ZWENDL-model.



figuur 2.1 Bemonsteringslokaties in het Haringvliet

Uitgangspunt bij de lokatie keuze is dat de monsterpunten op een stroomlijn tijdens de eb fase van het getij liggen. Met behulp van de resultaten uit WAQUA zijn 2 stroomlijnen uitgekozen, waarlangs de metingen plaats hebben gevonden.

In figuur 2.1 zijn deze lijnen met bijbehorende monsterpunten aangegeven. Uit de vergelijking tussen ZWENDL en WAQUA volgt tevens dat de stroomsnelheden volgens WAQUA zo'n 10% groter zijn op de punten in de geul dan de gemiddelde stroomsnelheden in ZWENDL. Rond de platen is de snelheid 10 - 20% lager. Rond het samenvloeiingspunt met het Spui (lokatie E in figuur 2.1) is door de lokale neer de stroomsnelheid aanzienlijk hoger (tot zo'n 70%).

Op de gekozen lokaties (lokaties A-G in figuur 2.1) zijn verticaalmetingen uitgevoerd voor stroomsnelheid en -richting en troebelheid op een half uur basis. Voor de ijking van de troebelheidsmeters zijn er elk half uur watermonsters van 1 l genomen.

2.2 Bodemdichtheidsmetingen

Op een aantal lokaties (lokaties 1-4 in figuur 2.1) is de bodembemonstering uitgevoerd. De bodemdichtheid wordt bepaald door middel van boringen en in-situ concentratiemetingen. De boringen worden uitgevoerd met de vibrocorer tot een diepte van 1 m. De in-situ concentratiemetingen worden uitgevoerd met de ISAC (= in-situ akoestisch concentratiemeter) tot een diepte van 0.4 m. Monsters uit de boringen worden geanalyseerd op structuur en samenstelling, onder andere korrelgrootteverdeling. Tevens worden er monsters voor de ijking van de ISAC genomen.

De bodembemonstering moet uitgevoerd zijn voordat de stroomsnelheids- en troebelheidsmetingen uitgevoerd kunnen worden om de situatie voor een afvoergolf vast te leggen. De dichtheidsmeting moet herhaald worden nadat de afvoergolf voorbij is, om zodoende te kunnen vaststellen of er erosie is opgetreden.

3. BODEMBEMONSTERINGEN

3.1 Boor-beschrijving

Op de 4 lokaties zijn op 19 en 20 oktober 1993 boringen uitgevoerd. In bijlage 2 zijn de volledige boorbeschrijvingen opgenomen. Op de westelijke lokaties 1 en 2 zijn redelijk dikke slibpakketten aangetroffen in de orde van 0.5 - 0.8 m. De bovenste 0.1 m hiervan bestaat uit slap materiaal, de rest is matig geconsolideerd. Op oostelijke lokaties 3 en 4 werd een dunne, weinig geconsolideerde sliblaag (ongeveer 0.1 m) op een zanderige onderlaag aangetroffen.

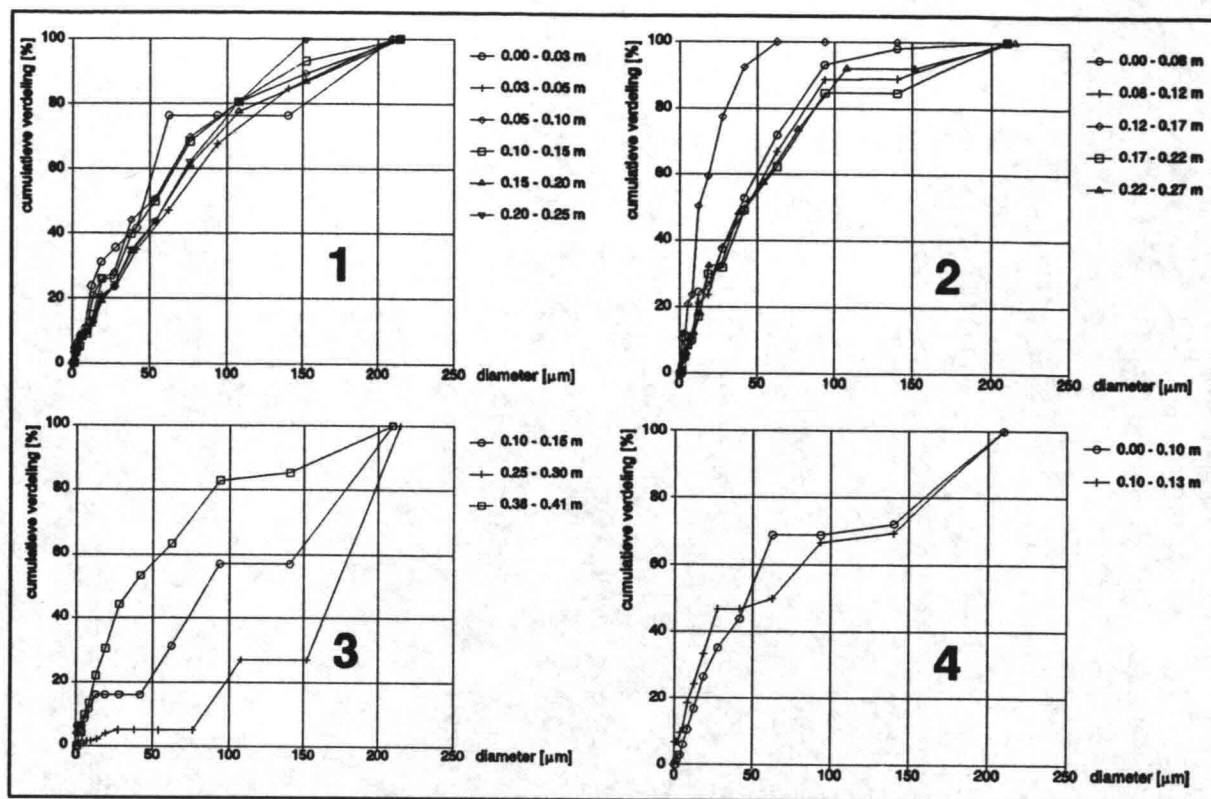
3.2 Nadere analyses

Uit de boorkernen zijn monsters gestoken voor nadere analyses. In de monsters is de concentratie droge stof, het percentage organisch stof en de korrelverdeling bepaald. In tabel 3.1 is hiervan een overzicht gegeven. Er is voor gekozen om alleen uit sliblagen monsters te steken. Hierdoor zijn van lokatie 3 en 4 slechts enkele monsters geanalyseerd.

tabel 3.1 Boorkernen Haringvliet - fysisch-chemische bepalingen

| monster [-] | diepte [m] | droge stof [kg/m ³] | organisch stof [%kg/kg ds] | d ₅₀ [μm] |
|----------------|---------------|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1-1 | 0.00 - 0.03 | 958 | 1.9 | 56.23 |
| 1-2 | 0.03 - 0.05 | 933 | 2.8 | 80.69 |
| 1-3 | 0.05 - 0.10 | 1010 | 3.5 | 61.28 |
| 1-4 | 0.10 - 0.15 | 958 | 4.1 | 63.52 |
| 1-5 | 0.15 - 0.20 | 933 | 3.9 | 72.68 |
| 1-6 | 0.20 - 0.25 | 1037 | 3.2 | 72.20 |
| 2-1 | 0.00 - 0.08 | 464 | 6.5 | 47.30 |
| 2-2 | 0.08 - 0.12 | 664 | 4.6 | 52.19 |
| 2-3 | 0.12 - 0.17 | 814 | 5.4 | 14.92 |
| 2-4 | 0.17 - 0.22 | 726 | 5.8 | 52.01 |
| 2-5 | 0.22 - 0.27 | 705 | 6.2 | 48.27 |
| 3-1 | 0.10 - 0.15 | 1761 | 0.5 | 102.09 |
| 3-2 | 0.25 - 0.30 | 1718 | 0.3 | 201.17 |
| 3-3 | 0.38 - 0.41 | 1092 | 2.3 | 44.10 |
| 4-1 | 0.00 - 0.10 | 1241 | 1.6 | 56.38 |
| 4-2 | 0.10 - 0.13 | 1372 | 0.9 | 75.51 |

De verschillende monsters zijn met behulp van een laser-defraktie methode met een Malvern met verwerking volgens het Fraunhofer-model geanalyseerd op korrelverdeling. Dit is weergegeven in figuur 3.1. Uit deze analyse volgt ook de d₅₀-waarde, welke in tabel 3.1 is aangegeven. Bijna alle monsters hebben een slibpercentage van zo'n 50%. Alleen bij lokatie 2 wordt op 0.12 - 0.17 m diepte een zeer fijne gemiddelde diameter gevonden. De reden hiervoor is onduidelijk. Bij lokatie 3 wordt veel zand gevonden op verschillende diepten. Dit komt overeen met de boorkern.

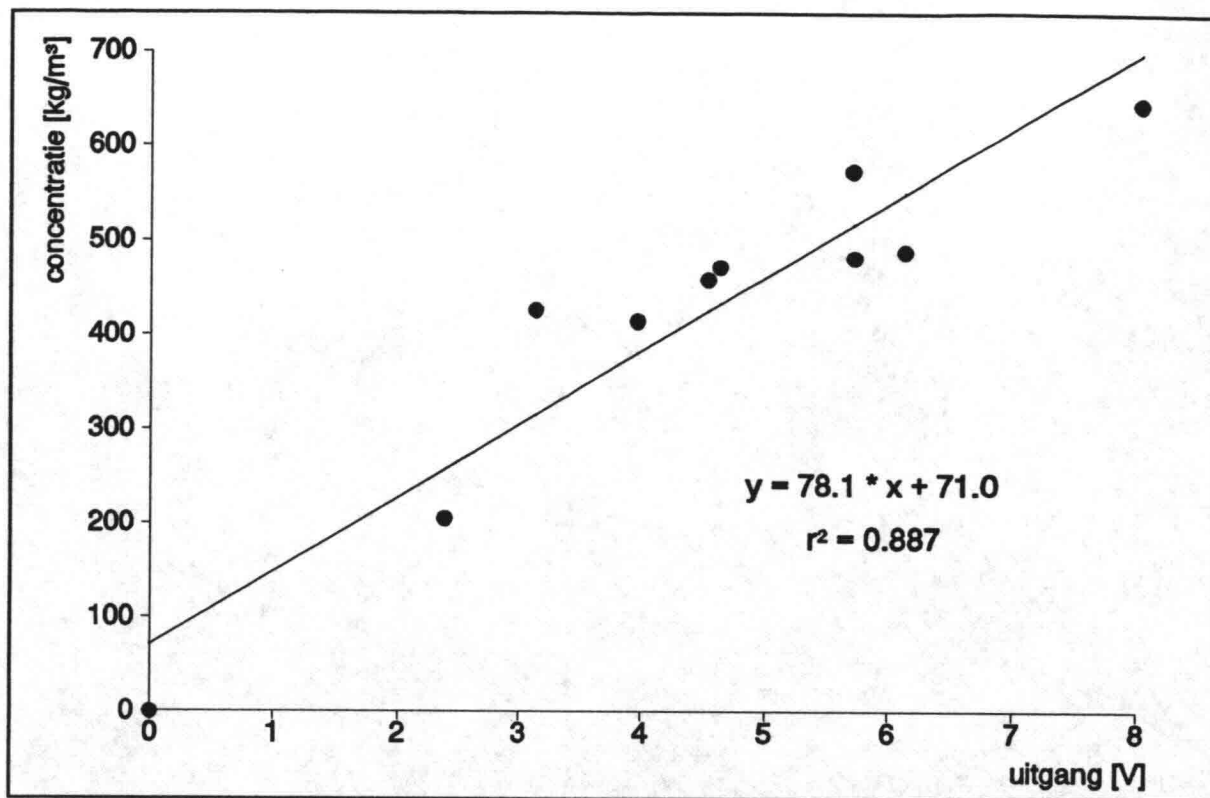


figuur 3.1 Korrelgrootteverdeling bepaald met de Malvern in monsters uit de boringen

3.3 Dichtheidsopbouw

Met behulp van de ISAC zijn metingen uitgevoerd op dezelfde lokaties als waar de boringen uitgevoerd zijn. De ISAC is een akoestisch meetapparaat dat gemonteerd is op een staaf, die de bodem ingedraaid wordt en waarmee de uitdemping van een hoog-frequent akoestisch signaal tussen de zender en de opnamer bepaald wordt (Verbeek & Cornelisse, 1994). De registratie van de ISAC wordt gedigitaliseerd en opgeslagen op hard-disk van een computer. De computer zorgt ook voor de sturing van de motor, die de paal de bodem in draait en voor de on-line presentatie van de metingen.

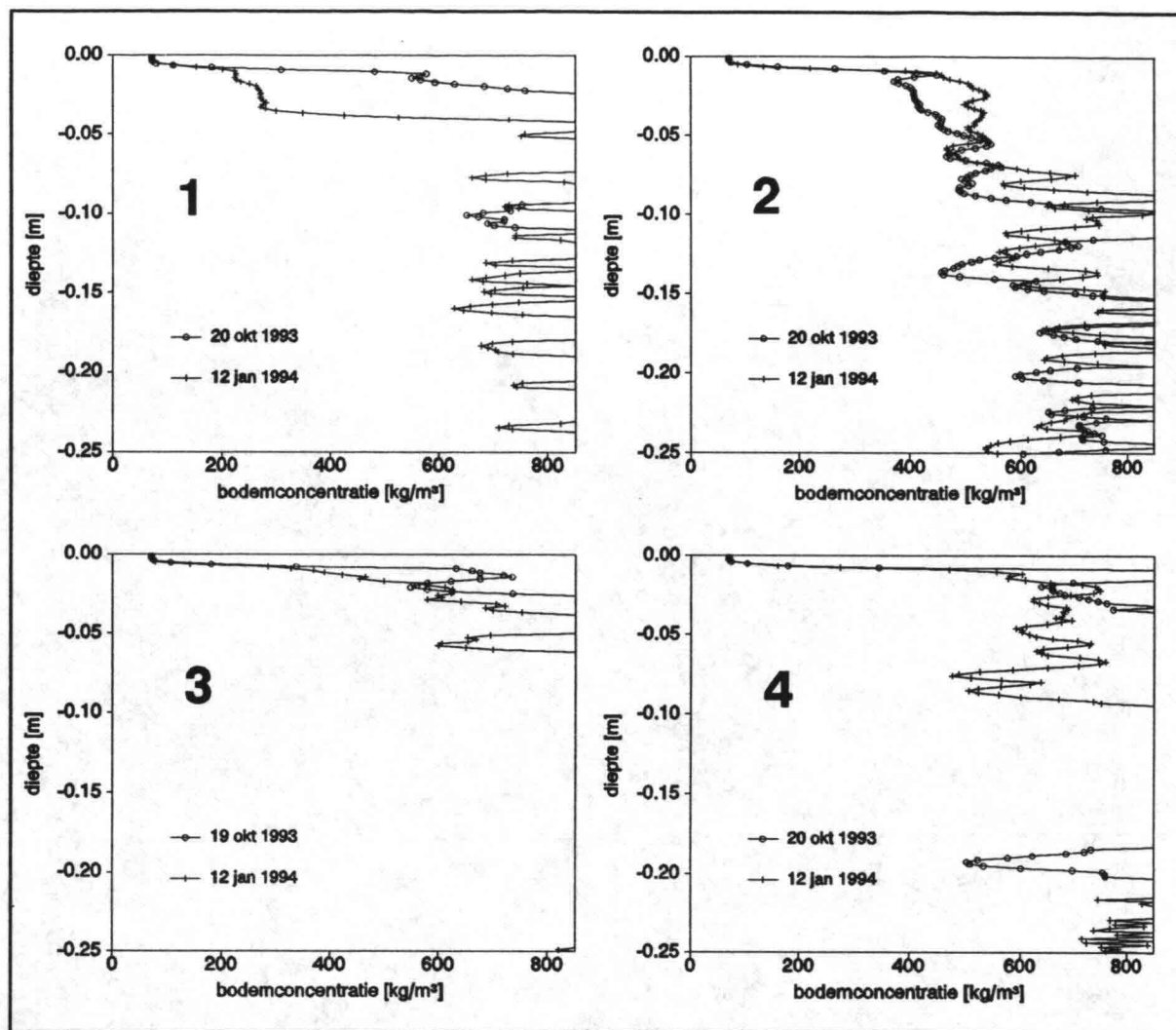
De metingen zijn uitgevoerd op 19 en 20 oktober 1993, 27 december 1993 en 12 januari 1994. Door storingen aan de vertand-inrichting is de meting op 27 december komen te vervallen. Voor de ijking van de ISAC zijn bodem-monsters genomen met behulp van een Van Veen happer. De monsters zijn aan boord gehomogeniseerd en bemeten. Daarna zijn de monsters geanalyseerd op droge stof concentratie. Met deze gegevens is een ijklijn voor het Haringvliet opgesteld. Deze lijn is gepresenteerd in figuur 3.2. Opvallend is dat de lijn niet door het nulpunt gaat, terwijl dit wel verwacht wordt.



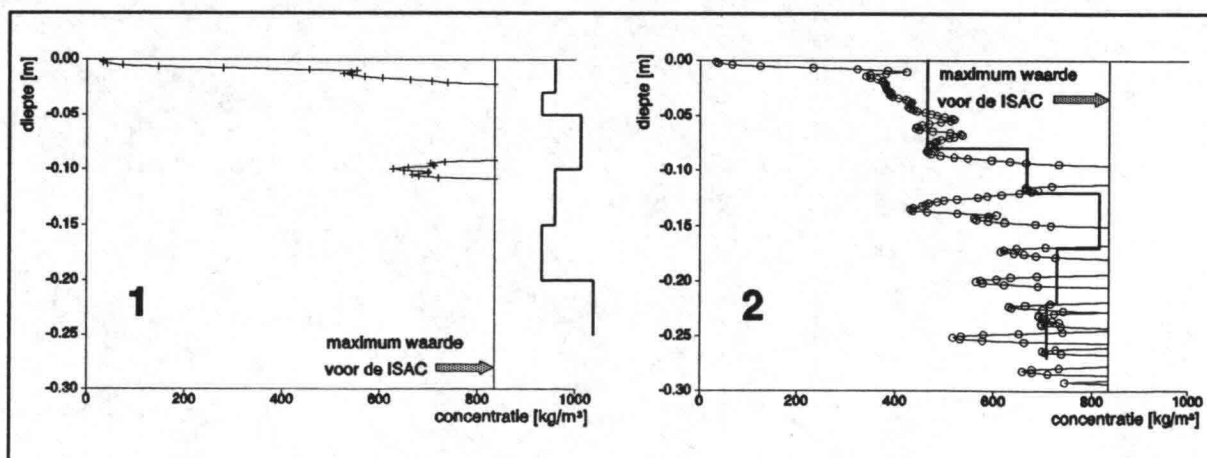
figuur 3.2 IJklijn voor de ISAC, bepaald met Haringvlietslib op 19/20 oktober en 27 december 1993

Op de verschillende lokaties zijn de metingen van het concentratieprofiel van voor en na de afvoergolf met elkaar vergeleken (zie figuur 3.3). Vooral op de lokaties 1 en 2 is een dikke toplaag met een relatieve lage concentratie ($C = 300 - 500 \text{ kg/m}^3$) zichtbaar. Ook zijn de verschillende zand-slib laagjes in de ondergrond zichtbaar gemaakt met deze meting. De verschillende metingen vallen ten aanzien van deze laagjes niet exact over elkaar, doordat de ruimtelijke variabiliteit hierin erg sterk is. Een paar meter verschuiving leidt dan tot verandering van de opeenvolging van zand en slib laagjes.

Voor lokatie 1 en 2 kan verder een vergelijking gemaakt worden tussen de concentratie droge stof in de boring (tabel 3.1) en de meting met de ISAC. Dit is weergegeven in figuur 3.4. Er is een goede correlatie te vinden tussen de metingen op lokatie 2, zeker als bedacht wordt dat de afstand tussen de (overigens gelijktijdig uitgevoerde) metingen enige meters bedroeg. Verder zijn uit de boringen laagjes van zo'n 0.05 m dikte geanalyseerd en geeft de ISAC metingen per 0.001 m, waarbij alles hoger dan het maximum niet geregistreerd wordt. Bij lokatie 1 is de gemiddelde dichtheid echter te hoog voor de detectiegrens van de ISAC. Een goede vergelijking kan hierdoor niet gemaakt worden. De dunne toplaag is bij de boring over het algemeen verloren gegaan. Bij lokatie 3 en 4 kan door de geringe hoeveelheid monsters geen profiel opgebouwd worden.



figuur 3.3 Bodemconcentratieprofielen bepaald met de ISAC



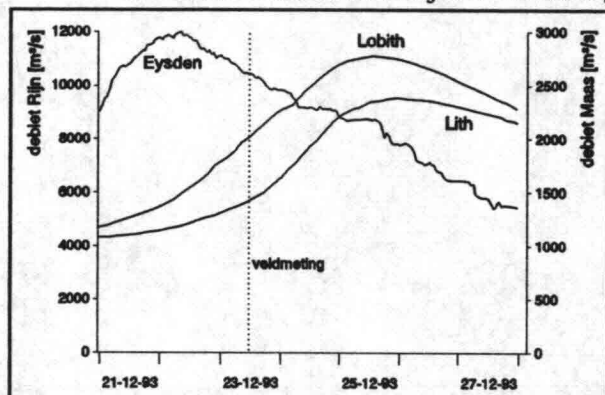
figuur 3.4 Bodemconcentratieprofielen bepaald met de ISAC vergeleken met de concentratie in de boringen

4. STROOM- EN TROEBELHEIDSMETINGEN

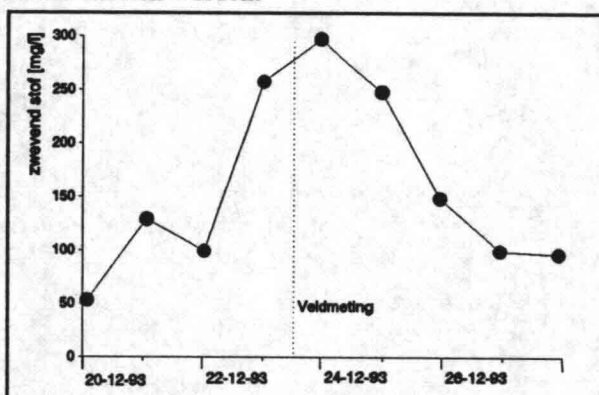
4.1 Uitvoering veldmetingen

Op 23 december is de stroomsnelheids- en zwevend stof bemonstering uitgevoerd. De afvoer van de Rijn bij Lobith was op die dag stijgend van 7000 tot 9000 m³/s (figuur 4.1). Enige dagen later werd een afvoer van 11000 m³/s overschreden. Ook de afvoer van de Maas was ten tijde van de meting hoog. Bij Eysden was de afvoerpiek van maximaal 3000 m³/s reeds gepasseerd, maar bij Lith steeg deze nog tijdens de meting. De afvoer van de Maas in het Noordelijk Deltabekken ten tijde van de meting was zo'n 1500 m³/s.

De afvoer van de Rijn bevatte veel slib. De dagverzamelmonsters bij Lobith zijn gepresenteerd in figuur 4.2. Hieruit valt op te maken dat op 23 december een concentratie van 260 mg/l gemeten werd bij Lobith. Rekening houdend met looptijd zal als randvoorwaarde voor de latere simulaties 100 mg/l aan de bovenrand van het Noordelijk Deltabekken gebruikt moeten worden.



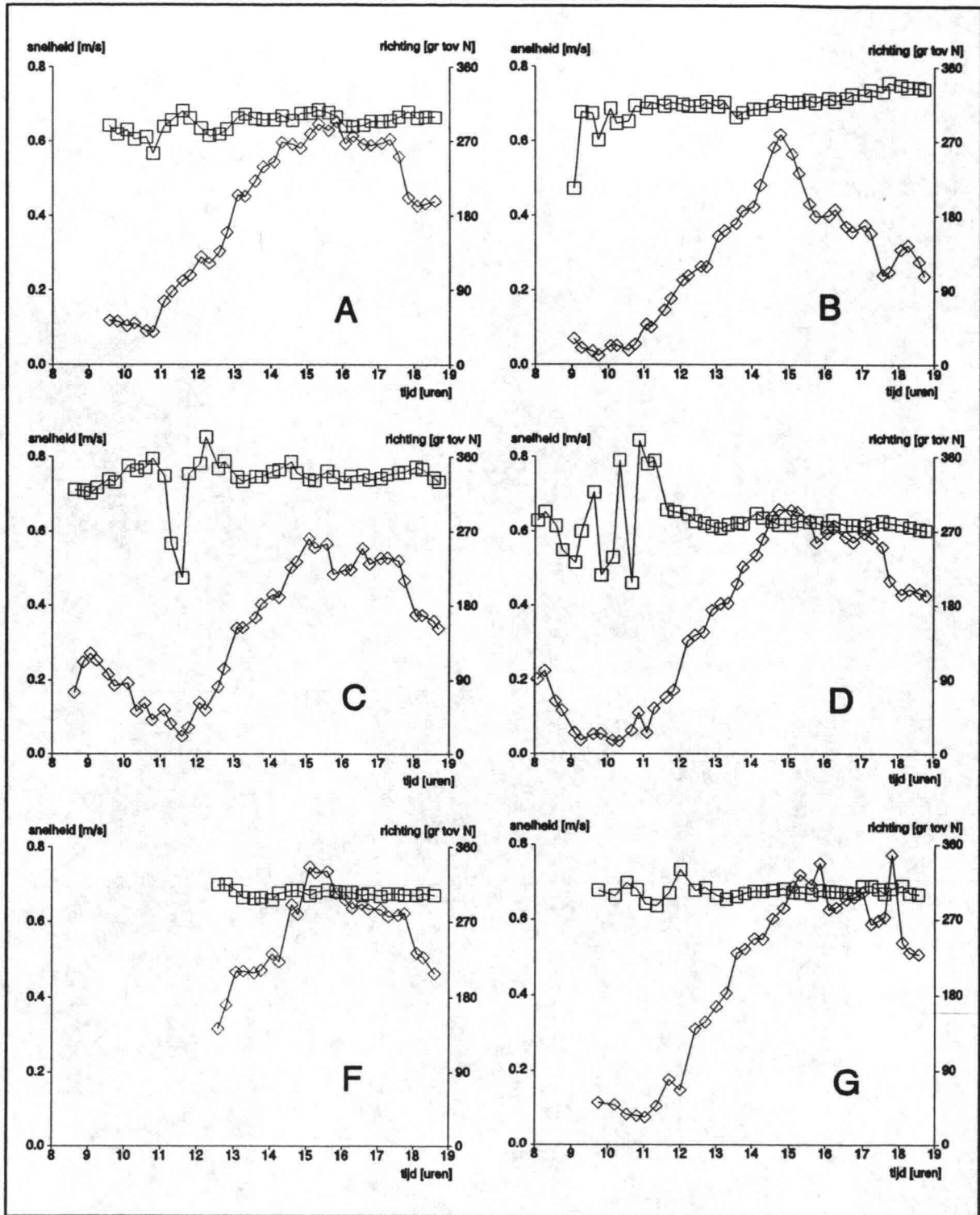
figuur 4.1 Afvoer van Boven-Rijn bij Lobith en Maas bij Eysden en Lith in december 1993



figuur 4.2 Zwevend stof concentratie bij Lobith in december 1993

4.2 Stroomsnelheid

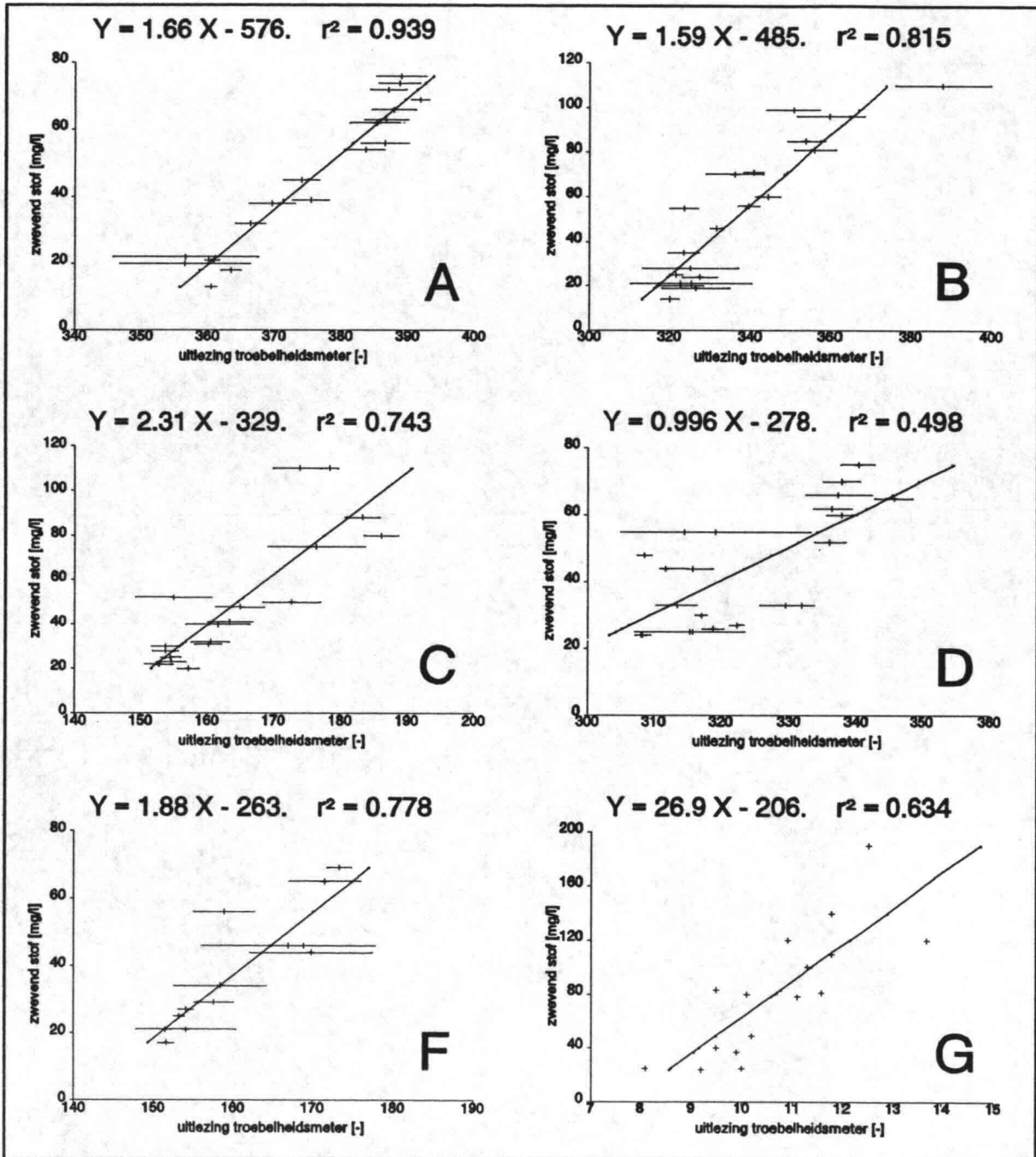
Op 6 lokaties (A-D, F en G in figuur 2.1) zijn per half uur vertikaalmetingen van stroomsnelheid en -richting uitgevoerd met behulp van de Ott-molen. De volledige registraties zijn in de bijlagen 3 t/m 8 weergegeven. De metingen zijn verwerkt tot verticaal gemiddelde waarden voor de stroomsnelheid en -richting. In figuur 4.3 is dit weergegeven. De stroomrichting is gedurende de meting nagenoeg constant west. De stroomsnelheid neemt toe van minder dan 0.1 m/s tot z'n 0.6 - 0.7 m/s, om vervolgens iets af te nemen.



figuur 4.3 Verticaal gemiddelde stroomsnelheid en -richting, gemeten op 23 december 1993

4.3 Zwevend stof

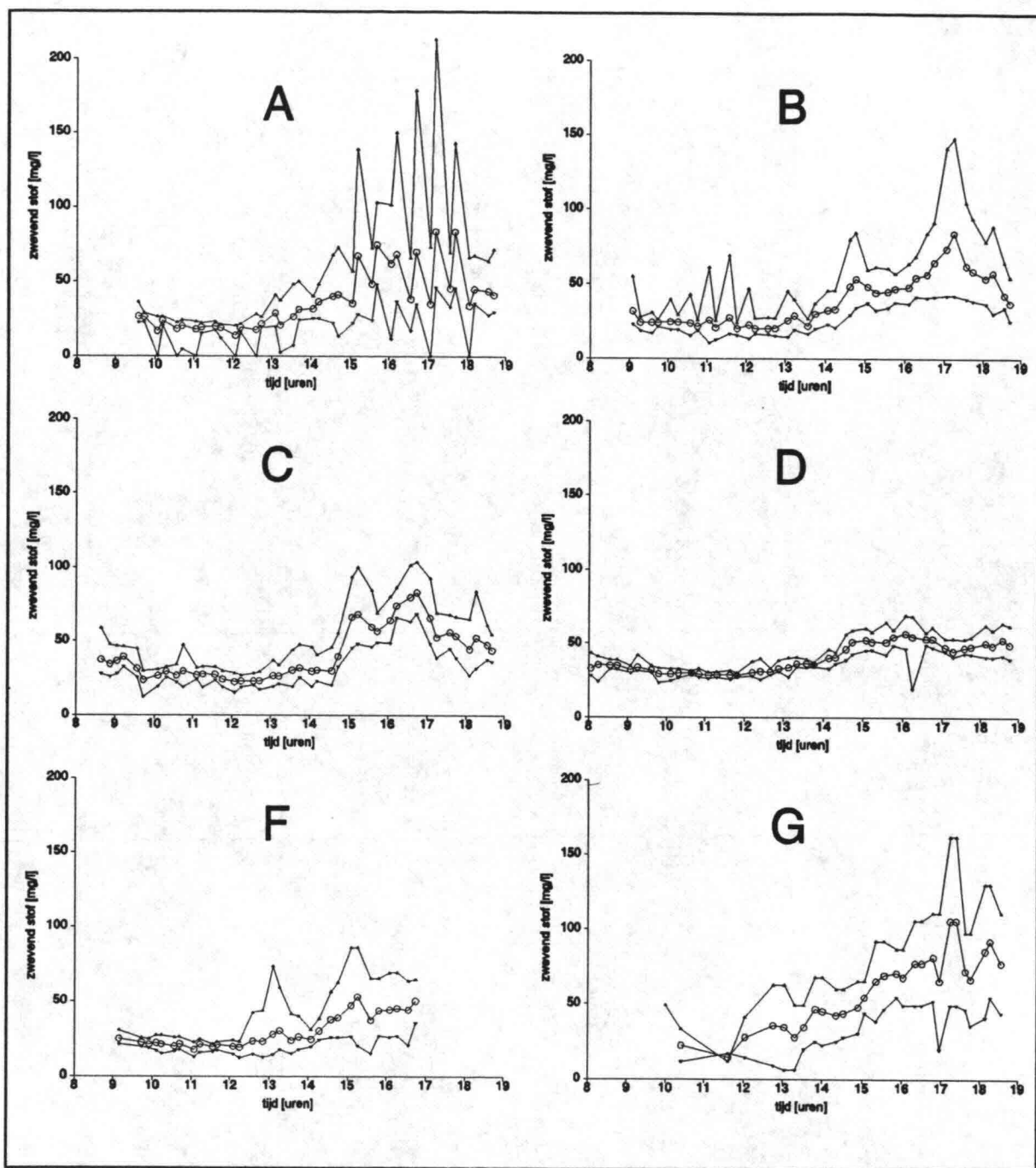
Gelijktijdig met de verticaalmetingen van stroomsnelheid en -richting zijn verticaalmetingen voor troebelheid uitgevoerd met behulp van de MEX-3 troebelheidsmeter. Voor de ijking hiervan zijn watermonsters genomen, die geanalyseerd zijn door TAUW-milieulaboratorium op concentratie zwevend stof. De zwevend stof gegevens zijn verwerkt tot concentratie verticalen. Deze zijn opgenomen in de bijlagen 3 t/m 8.



figuur 4.4 Ijklijnen voor de gebruikte troebelheidsmeters

De ijking van de troebelheidsmeters is niet uniform, maar is per apparaat uitgevoerd. In figuur 4.4 zijn deze lijnen aangegeven. Zoals hieruit blijkt is de correlatie per lokatie nogal verschillend. Dit heeft verschillende oorzaken. Het belangrijkste is het probleem van de monsternamen voor de ijking. Dit gebeurt met behulp van waterhappers. De troebelheidsmeter is aan de waterhapper bevestigd, maar meet niet in het monstervolume.

De monsters zijn altijd op het diepste punt van de verticaal genomen om de hoogste waarden voor de troebelheid te kunnen afdekken. Er kan echter door de inslag van de waterhapper ook plaatselijk opwerveling optreden die uiteindelijk in de monsterflessen terecht kunnen komen.



figuur 4.5 Verticaal gemiddeld zwevend stof, gemeten op 23 december 1993

De meetgegevens verkregen met de troebelheidsmeters zijn verwerkt tot verticaal gemiddelde waarden. Dit is gepresenteerd in figuur 4.5, waarbij maximum, gemiddelde en minimum is aangegeven. Hierin is duidelijk te zien dat in de loop van de middag de concentratie zwevend stof sterk toeneemt. Dit is lokaal geërodeerd materiaal, aangezien de aanvoer dit patroon niet laat zien. Het geërodeerde materiaal bestaat uit materiaal dat tijdens de vloedfase van het getij (wanneer de Haringvlietsluizen gesloten zijn) gesedimenteerd is, maar ook uit oude sliblagen. In hfst. 7 wordt hier verder op ingegaan.

5. OPZET MODEL-SIMULATIES

5.1 Inleiding simulatie

De situatie tijdens de afvoergolf bestaat uit een aantal gelijktijdig optredende processen. Zo is er advectief transport van zwevend materiaal zeewaarts, er is sedimentatie tijdens de vloedfase en er treedt mogelijk erosie op tijdens de eb fase van het getij als de Haringvlietsluizen openstaan. Door de hoge afvoer nemen de stroomsnelheden aanzienlijk toe in het Haringvliet. Om een beter inzicht in het samenspel van deze factoren te krijgen is een simulatie uitgevoerd met het model WAQUA-SINODE, dat een tweedimensionaal, dieptegemiddeld beeld van het slibtransport in het Haringvliet kan opleveren.

WAQUA-SINODE bestaat uit een waterbewegingsdeel: het WAQUA-ZUIDRAND-model en een slibtransportdeel op basis van DELWAQ (Waterloopkundig Laboratorium, 1990). Het waterbewegingsmodel is afgeregeld voor het gebied Hollandsch Diep - Haringvliet (Collard, 1991). Het slibtransportmodel is opgeleverd, maar nog niet gevalideerd (Collard, 1992). Tot op heden wordt het model daarom als relatief model gebruikt. Het doel is overigens om op korte termijn tot oplevering van een geïjkt model te komen. Het WAQUA-SINODE-model werkt op een rechthoekig rooster met een roosterafstand van 100 m en een tijdstap van 1 minuut.

De twee delen, namelijk het waterbewegingsdeel en het slibtransportdeel dienen achter elkaar gedraaid te worden. Voor het waterbewegingsmodel zijn verder randvoorwaarden nodig die geleverd kunnen worden door het model ZWENDL-NDB.

5.2 Randvoorwaarden

ZWENDL-NDB is een één-dimensionaal hydraulisch netwerkmodel. Voor het Noordelijk Deltabekken is een schematisatie beschikbaar, welke gebaseerd is op gegevens uit 1976. (Momenteel wordt er overigens gewerkt aan een nieuwe schematisatie.) Als randvoorwaarden heeft het model de volgende gegevens nodig:

- * waterstanden bij Hoek van Holland en Stellendam
- * afvoeren bij Hagestein, Tiel en Lith
- * opening van de Haringvlietsluizen
- * eventueel windrichting en -snelheid

Voor de getijrandvoorwaarden is gebruik gemaakt van het opgetreden getij in de periode 19 t/m 23 december 1993. De afvoeren en de opening van de Haringvlietsluizen zijn ingevoerd op basis van de dagelijkse gegevens verzameld door de directie Zuid-Holland. De simulatie is zonder windinvloeden uitgevoerd.

De bodemschematisatie van het model WAQUA-ZUIDRAND is gebaseerd op lodingen uit de periode 1986-1987 en terrestrische gegevens uit 1979. Deze gegevens zijn aangevuld en gemodificeerd met meer recente gegevens, zoals het industriegebied Moerdijk. Er is gebruik gemaakt van de UNIX-versie van WAQUA na de integratie met RIVCUR.

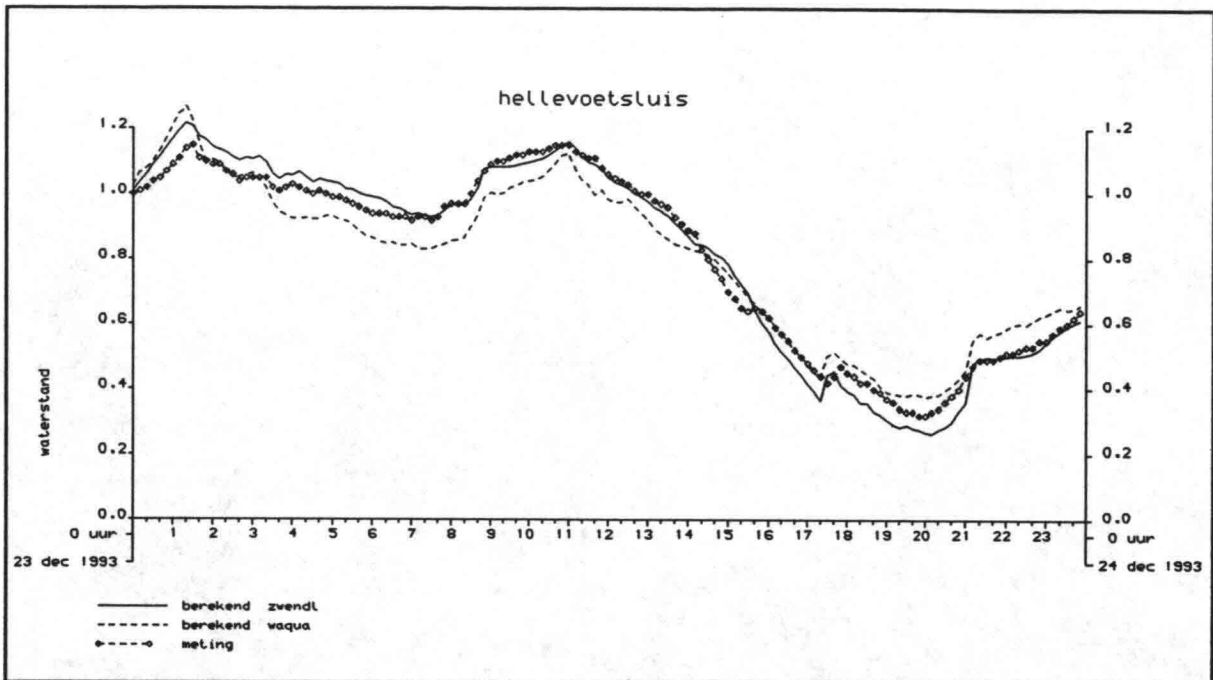
De resultaten van de ZWENDL-berekeningen zijn op 5 randvoorwaardenpunten in WAQUA aangebracht in de vorm van tijdreeksen:

- * afvoeren op de Amer, Nieuwe Merwede en Dordtse Kil
- * waterstanden op het Spui
- * waterstanden op de zeerand

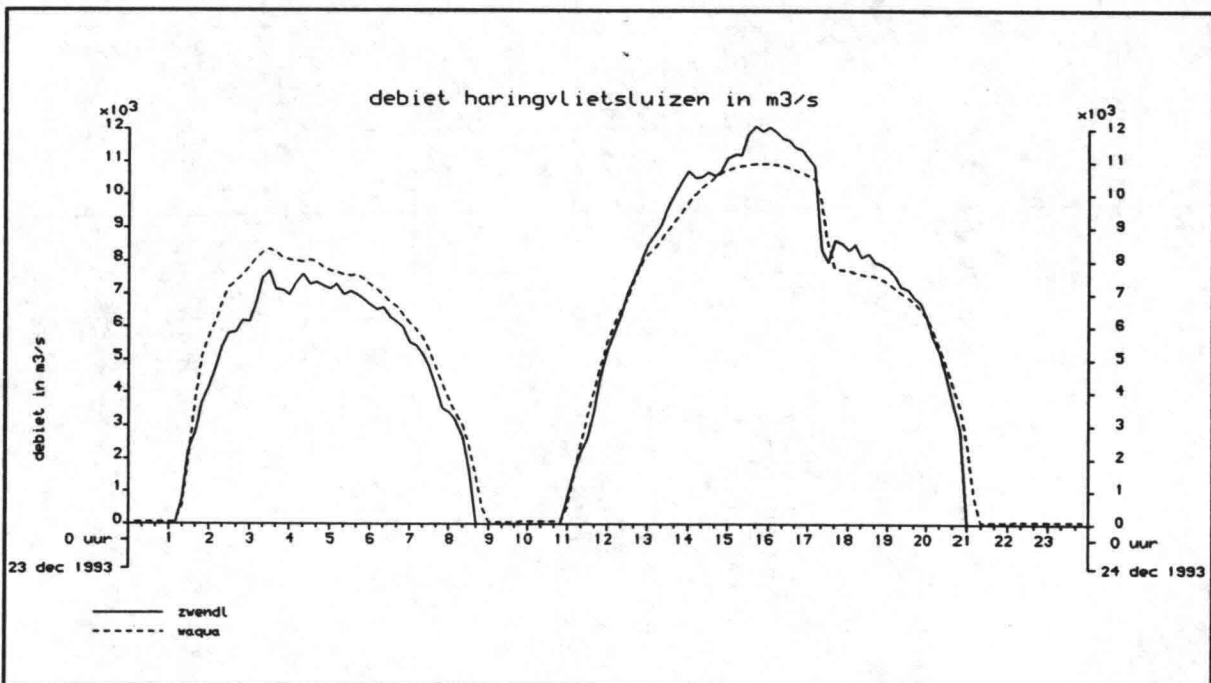
Voorts zijn de openingen voor de Haringvlietsluizen overgenomen uit de ZWENDL-berekening.

Ter controle van de berekening met de verschillende modellen is een vergelijking gemaakt tussen de berekende en gemeten waterstand bij Hellevoetsluis (figuur 5.1). Hieruit blijkt dat de waterstand binnen een nauwkeurigheid van 0.1 m berekend wordt door de beide modellen.

Ook is gekeken naar de afvoeren door de Haringvlietsluizen. Hiervan zijn echter geen meetgegevens beschikbaar, maar een vergelijking tussen de modellen is wel te maken (figuur 5.2). Uit het verschil van maximaal 0.1 m in de waterstand volgt nu een verschil van maximaal 500 m³/s.



figuur 5.1 Waterstandsverloop bij Hellevoetsluis, uitgerekend met ZWENDL en WAQUA in vergelijking tot de meting.



figuur 5.2 Afvoeren door de Haringvlietsluizen, berekend met ZWENDL en WAQUA

Met het koppelingsprogramma WAQUA-DELWAQ (Waterloopkundig Laboratorium, 1990) zijn de berekeningen van het waterbewegingsmodel geconverteerd naar invoergegevens voor het slibtransportdeel. Hierbij worden alleen de actieve WAQUA-cellen meegenomen. Met behulp van het programma DIDO (Waterloopkundig Laboratorium, 1991) is een rooster-aanpassing uitgevoerd om alleen met het Haringvlietdeel van het model te hoeven rekenen.

5.3 Verschillende varianten

In eerste instantie is voor de slibtransportberekeningen uitgegaan van de eerder gekozen parameters voor erosie en sedimentatie (Collard, 1992 en tabel 5.1). Hiermee is de periode 20 t/m 22 december 1993 doorgerekend om het model te laten inspelen. De inspeelsom bestaat uit een driemaal doorgestarte simulatie per 24 uur. Het is wegens beperkte schijfruimte op de computer niet mogelijk de gehele simulatie achter elkaar uit te voeren.

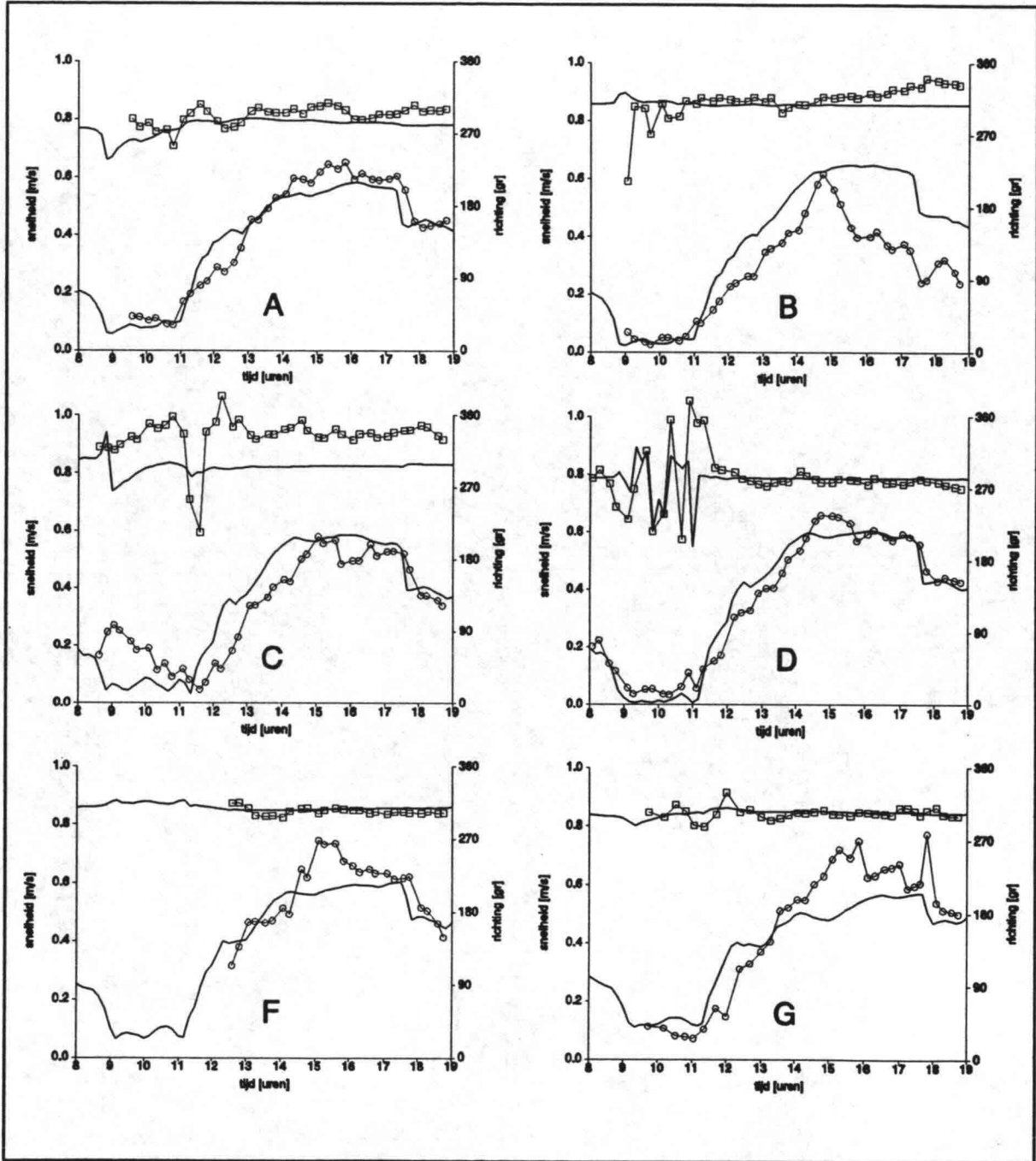
De simulatie van de meting op 23 december 1993 is met 3 parameter-instellingen uitgevoerd op basis van bovengenoemde inspeelsom. In tabel 5.1 is hiervan een overzicht gegeven. De eerste instelling is op basis van de standaard-instellingen. De tweede instelling is de fit bepaald uit het laboratoriumonderzoek in de erosiegoot (Kuijper e.a., 1993). Tot slot is de derde instelling een variatie hierop, welke binnen de marges van het laboratoriumonderzoek ligt.

tabel 5.1 Instelling van het slibtransportmodel WAQUA-SINODE

| parameters | 1 ^e simulatie | 2 ^e simulatie | 3 ^e simulatie |
|-----------------|---|---|--|
| sedimentatie | $w_s = 0.2 \text{ mm/s}$ $\tau_s = 0.3 \text{ Pa}$ | idem | idem |
| erosie | $M_e = 2 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^2/\text{s}$ $\tau_e = 0.5 \text{ Pa}$ | $M_e = 6 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m}^2/\text{s}$ $\tau_e = 0.75 \text{ Pa}$ | $M_e = 6 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m}^2/\text{s}$ $\tau_e = 0.5 \text{ Pa}$ |
| bodem | $C_{\text{top}} = 75 \text{ kg/m}^3$ $C_{\text{onder}} = 300 \text{ kg/m}^3$ $D_{\text{top}} = 0.1 \text{ m}$ $D_{\text{onder}} = 0.9 \text{ m}$ | idem | idem |
| randvoorwaarden | $C_o = 0.025 \text{ kg/m}^3$ $C_{\text{rand}} = 0.025 \text{ kg/m}^3$ | idem | idem |

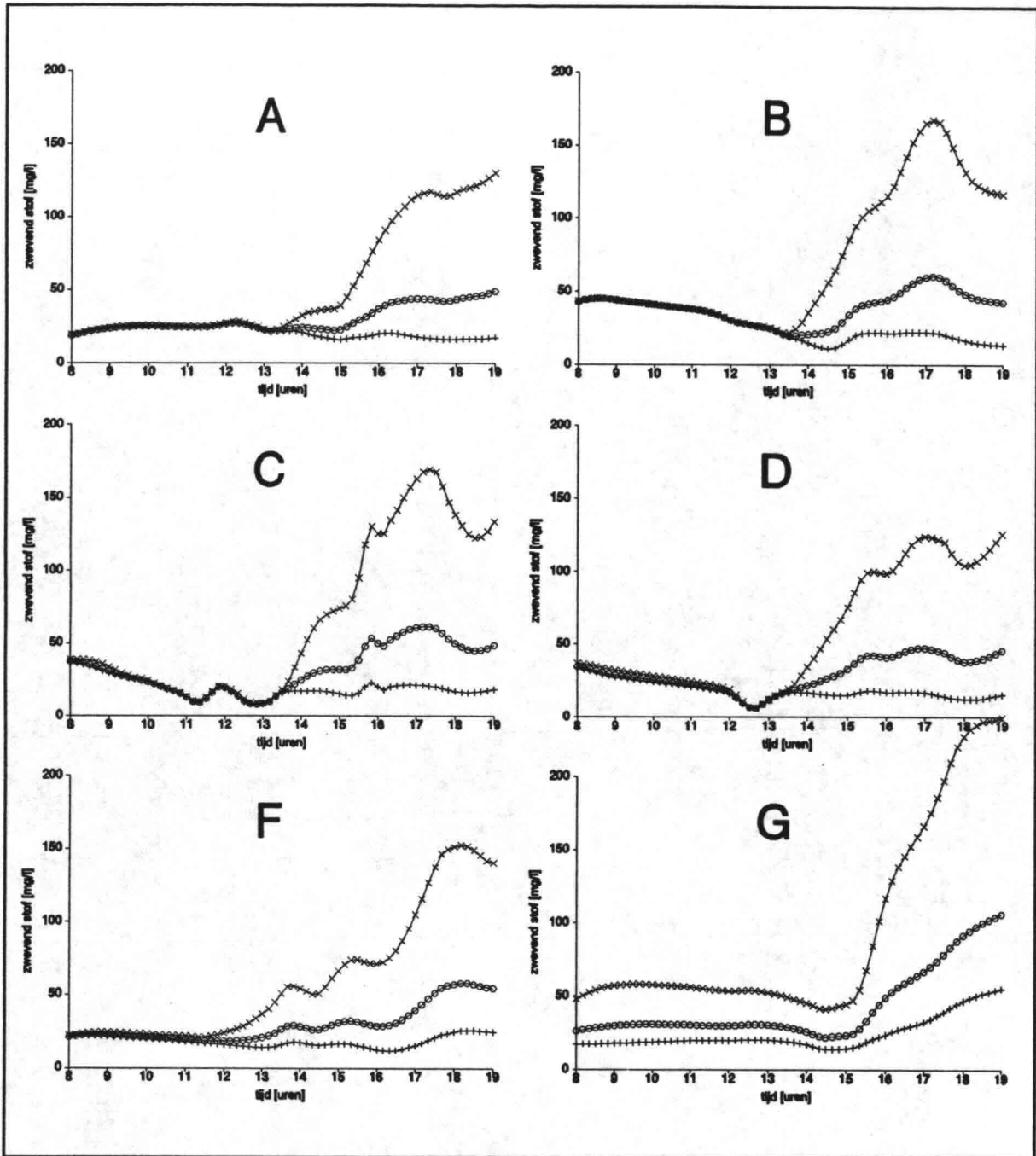
6. MODELBEREKENINGEN

Het resultaat van de modelberekeningen met het model WAQUA-ZUIDRAND is gepresenteerd in figuur 6.1. Hierin is ook de gemeten stroomsnelheid en -richting aangegeven (getrokken lijn). Uit deze presentatie blijkt dat de stroming in WAQUA zeer goed wordt weergegeven voor deze situatie.

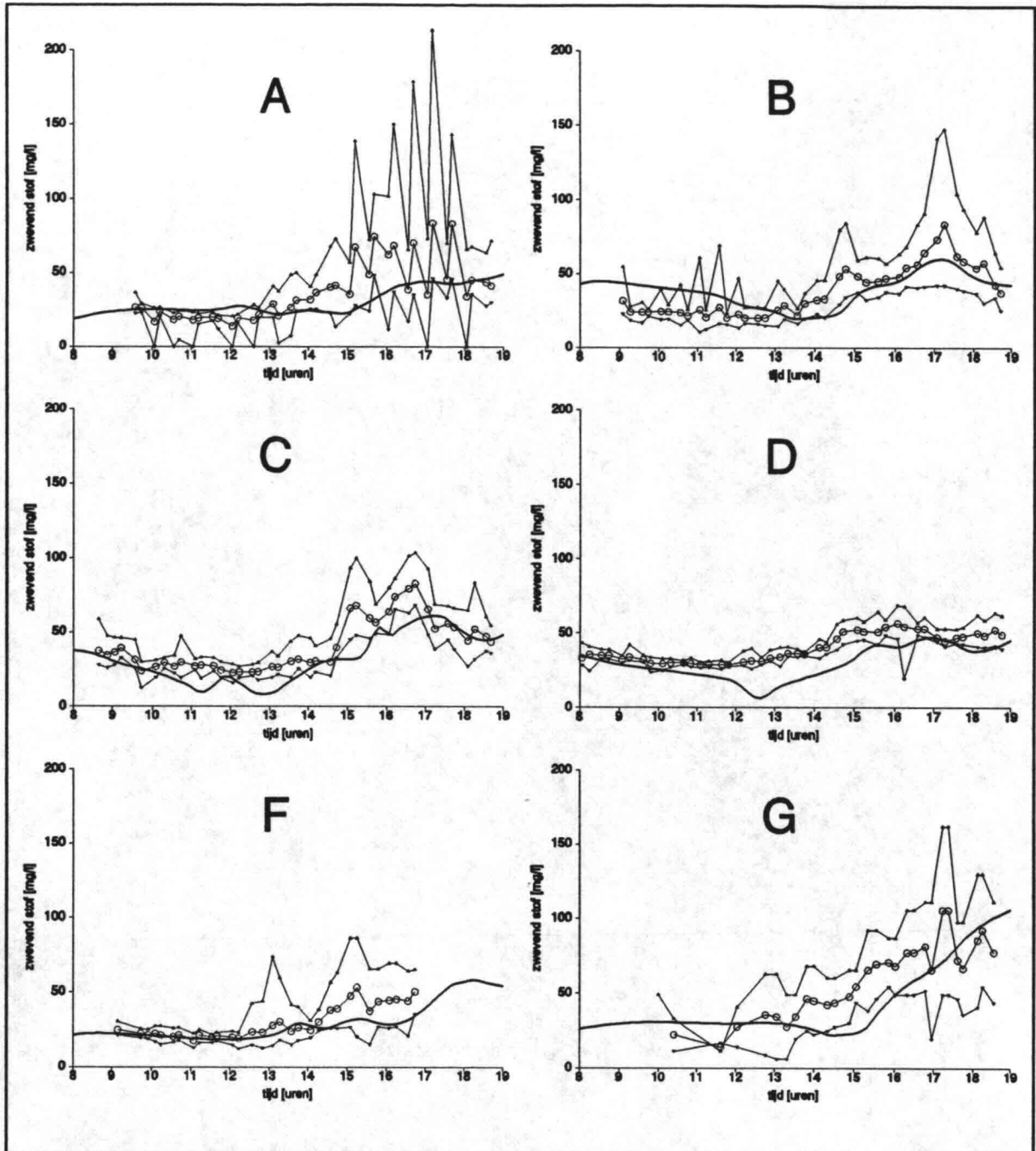


figuur 6.1 Gesimuleerde en gemeten stroomsnelheid en -richting op 23 december 1993

In figuur 6.2 zijn de 3 verschillende simulaties met het model WAQUA-SINODE (zie tabel 6.1) weergegeven. Bij vergelijking met de meetgegevens (figuur 4.5) blijkt de eerste simulatie (de standaard instelling, + in figuur 6.3,) een te hoge erosieflux te geven. Maar het moment van eroderen is wel goed. De tweede simulatie (de fit-instelling op basis van laboratorium onderzoek, x in figuur 6.3) laat haast geen erosie zien. Tenslotte geeft de derde simulatie (een variatie op de fit-instelling, o in figuur 6.3) een goed beeld.

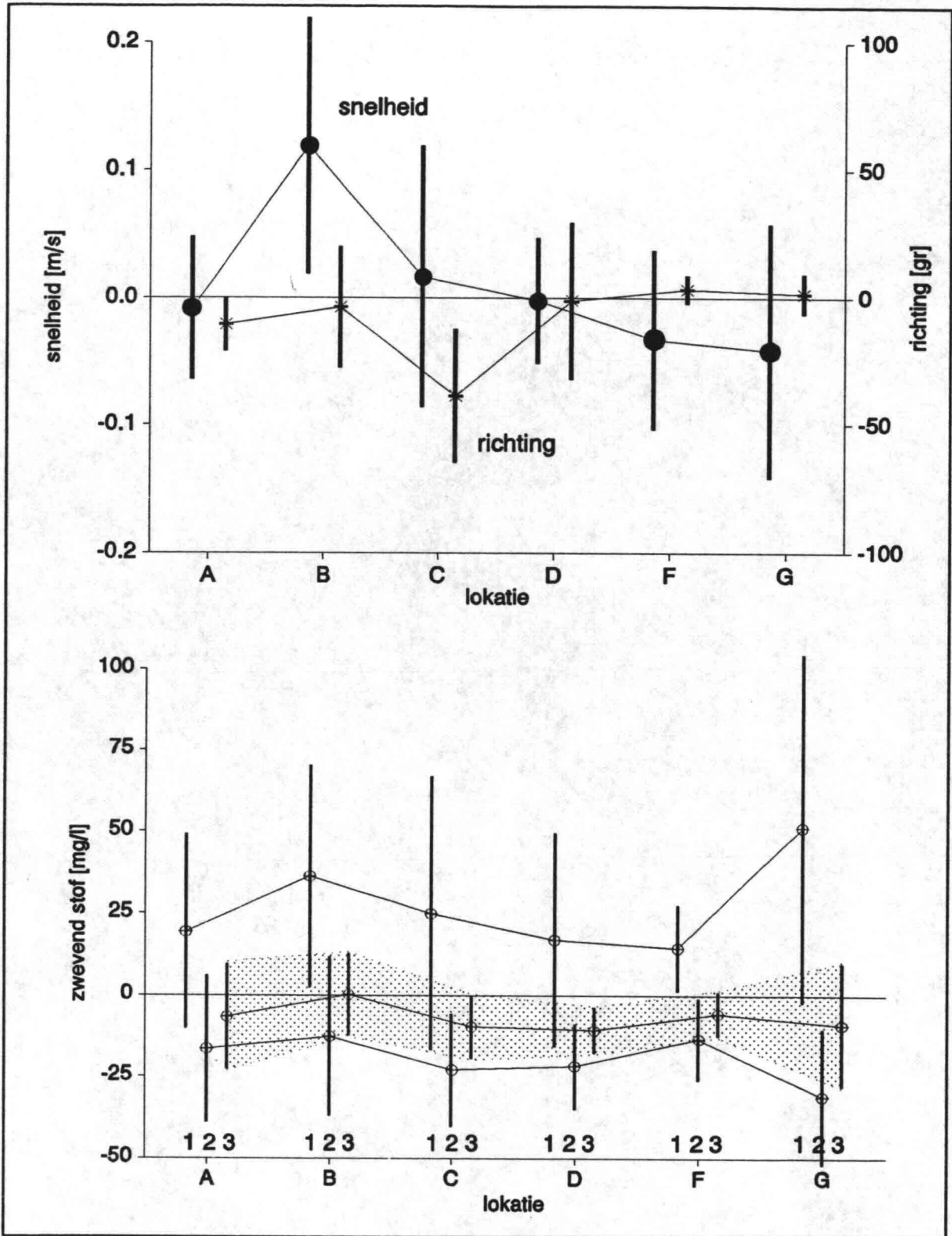


figuur 6.2 Gesimuleerde zwevend stof concentratie bij 3 model-instellingen



figuur 6.3 Gesimuleerde en gemeten zwevend stof op 23 december 1993

Als de verschillende resultaten met elkaar vergeleken worden kan het gemiddelde verschil (berekend - gemeten) van de resultaten per lokatie worden vastgesteld. In figuur 6.4 is het verschil met spreiding weergegeven voor zowel de stroommeting als voor de troebelheidsmeting.



figuur 6.4 Gemiddeld verschil (berekend - gemeten) voor (a) de stroming en (b) de troebelheid

7. RESULTATEN

7.1 Resultaten laboratoriumonderzoek

De sterkte en erosiegevoeligheid van de bodem is onderzocht door middel van laboratorium-onderzoek, uitgevoerd bij het Waterloopkundig Laboratorium (Kuijper e.a., 1993). Doelstelling van deze proeven was:

- * het begin van erosie vaststellen (bepaling kritieke schuifspanning)
- * voor grotere schuifspanningen dan de kritieke waarde de mate van erosie bepalen

Voor dit laboratorium-onderzoek zijn monsters genomen van de 4 lokaties waar ook het overige bodemonderzoek heeft plaats gevonden. Van deze monsters waren er 3 inhomogeen van samenstelling ten aanzien van de verdeling van zand en slib. Het 4^e monster (van de lokatie 1) was homogeen slib. Bij de proeven is naast geleidelijke, over het oppervlakte uniform verdeelde vlokerosie, ook lokaal optredende massa-erosie waargenomen. Dit wordt impliciet in de formulering voor erosie meegenomen. Voorts is er bij lage schuifspanningen (0.25 - 0.50 Pa) erosie van zand, gevolgd door bodemtransport waargenomen.

Met de bodemmonsters zijn proeven uitgevoerd in de erosiegoot. In deze goot kan door instelling van een bepaald debiet een uniforme stroming over een bodemmonster lopen. Door stapsgewijs het debiet te verhogen wordt de schuifspanning op het bodemmonster opgevoerd. Naast deze proeven zijn de monsters ook onderworpen aan fysisch-chemische en reologische bepalingen (tabel 7.1 en 7.2).

tabel 7.1 laboratorium onderzoek bodemmonsters - fysisch-chemische bepalingen

| monster [-] | droge stof bak [kg/m ³] | droge stof opp. [kg/m ³] | organisch stof [%kg/kg ds] | d ₅₀ pijp [μm] | d ₅₀ bak [μm] |
|----------------|--|---|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| HV-1 | 1108 | 911 | 1.9 | 30 | 23 |
| HV-2 | 522 | 479 444 | - 3.9 | 24 | 19 |
| HV-3 | 1139 | 480 | 3.3 | 22 | 18 |
| HV-4 | 1070 | 551 | 3.4 | 24 | 16 |

Deze bepalingen zijn uitgevoerd in het bodemmonster dat voor de proeven is gebruikt (bak) en in een bodemmonster (pijp) die onbewerkt is vervoerd naar het laboratorium en daar opgeslagen is. Het pijpmonster representeert de ongestoorde situatie ter plaatste, waarbij de toplaag niet aangetast is door bewerkingen.

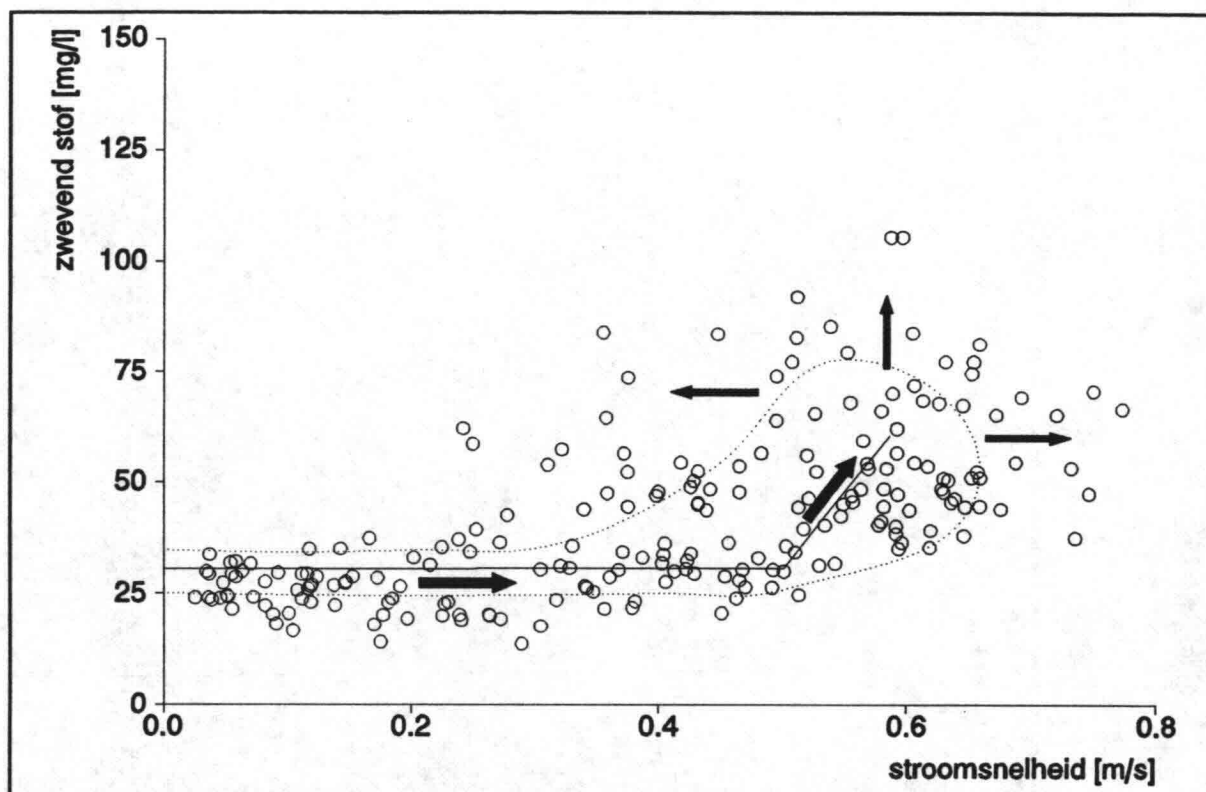
tabel 7.2 laboratorium onderzoek bodemmonsters - reologische bepalingen

| monster [-] | ongeroerde sterkte (bak) [Pa] | geroerde sterkte (bak) [Pa] | ongeroerde sterkte (pijp) [Pa] | geroerde sterkte (pijp) [Pa] |
|----------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| HV-1 | 1930 ± 470 | 390 ± 110 | 2750 ± 280 | 560 ± 80 |
| HV-2 | 910 ± 140 | 60 ± 10 | 550 ± 80 | 170 ± 80 |
| HV-3 | 920 ± 190 | 120 ± 100 | 2460 ± 200 | 230 ± 10 |
| HV-4 | 750 ± 240 | 130 ± 20 | 540 ± 40 | 100 ± 10 |

De ongeroerde sterkte is de schuifspanning waarbij het bodemmateriaal bezwijkt tijdens een langzaam draaiende reometer proef. De geroerde sterkte is de bezwijksterkte bij een snel draaiende proef. De ongeroerde sterkte geeft daarom de sterkte van clusters en aggregaten in de bodem aan terwijl de geroerde sterkte iets zegt over de sterkte van de oorspronkelijke mineralen. Uit de reologische proeven volgt heel duidelijk dat het monster van lokatie 1 veel zand bevat. De sterkte is daardoor een stuk hoger dan de overige monsters. In alle gevallen is de ongeroerde bodem veel sterker dan de geroerde bodem.

7.2 Vergelijking veldsituatie en modelsimulatie

Om voor de veldsituatie het moment van erosie vast te stellen is het verband geanalyseerd tussen de stroomsnelheid en de zwevend stof concentratie. Hierbij moet bedacht worden dat verhogingen van de concentratie veroorzaakt worden door erosie en transport. Dit is dan ook duidelijk te zien in figuur 7.1.



figuur 7.1 zwevend stof concentratie als functie van de stroomsnelheid op 23 december 1993

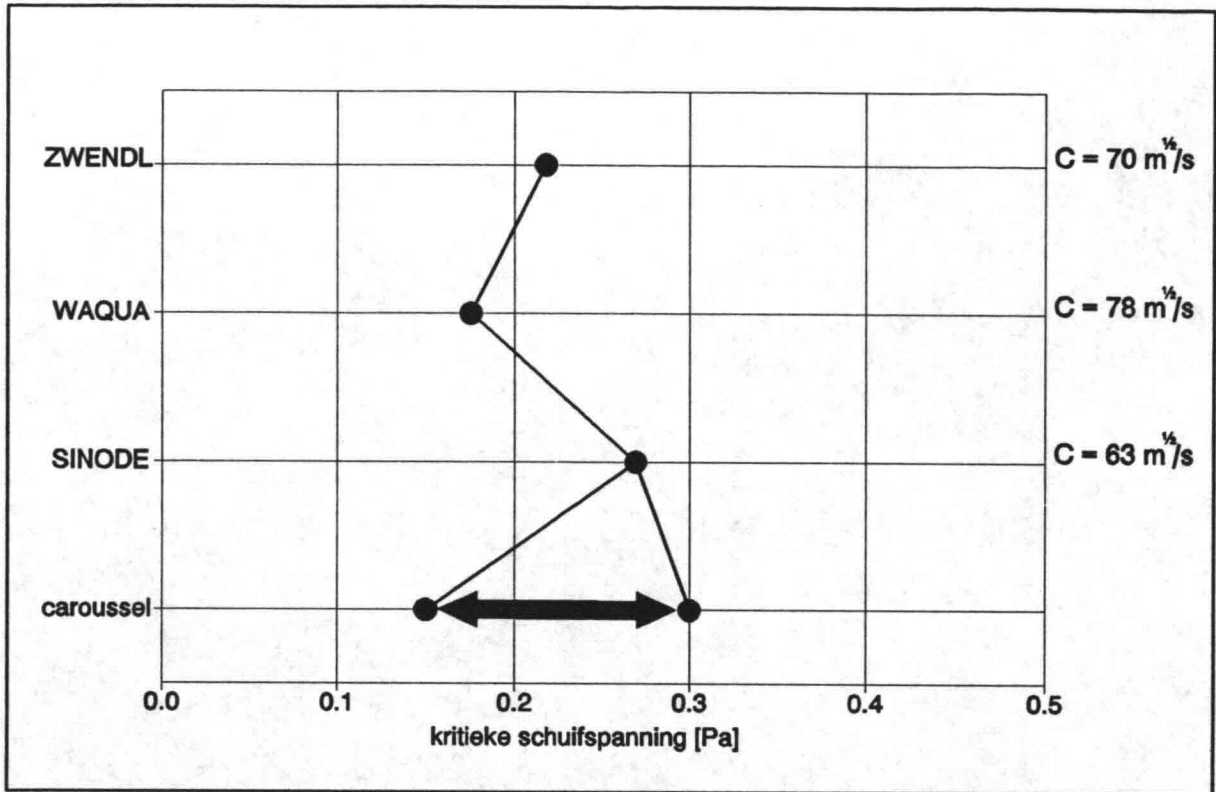
Met pijlen is aangegeven hoe in de loop van de tijd het verband ligt. Bij lage snelheden tot zo'n 0.5 m/s is er geen verhoging van de concentratie te zien. Daarna stijgt de concentratie en afhankelijk van de situatie zijn er 3 mogelijke uitwegen.

- * Door uitputting stijgt de concentratie niet verder bij toenemende stroomsnelheid.
- * Bij gelijkblijvende stroomsnelheid stijgt de concentratie door lokale erosie.
- * Bij afname van de stroomsnelheid blijft de concentratie gelijk door transport.

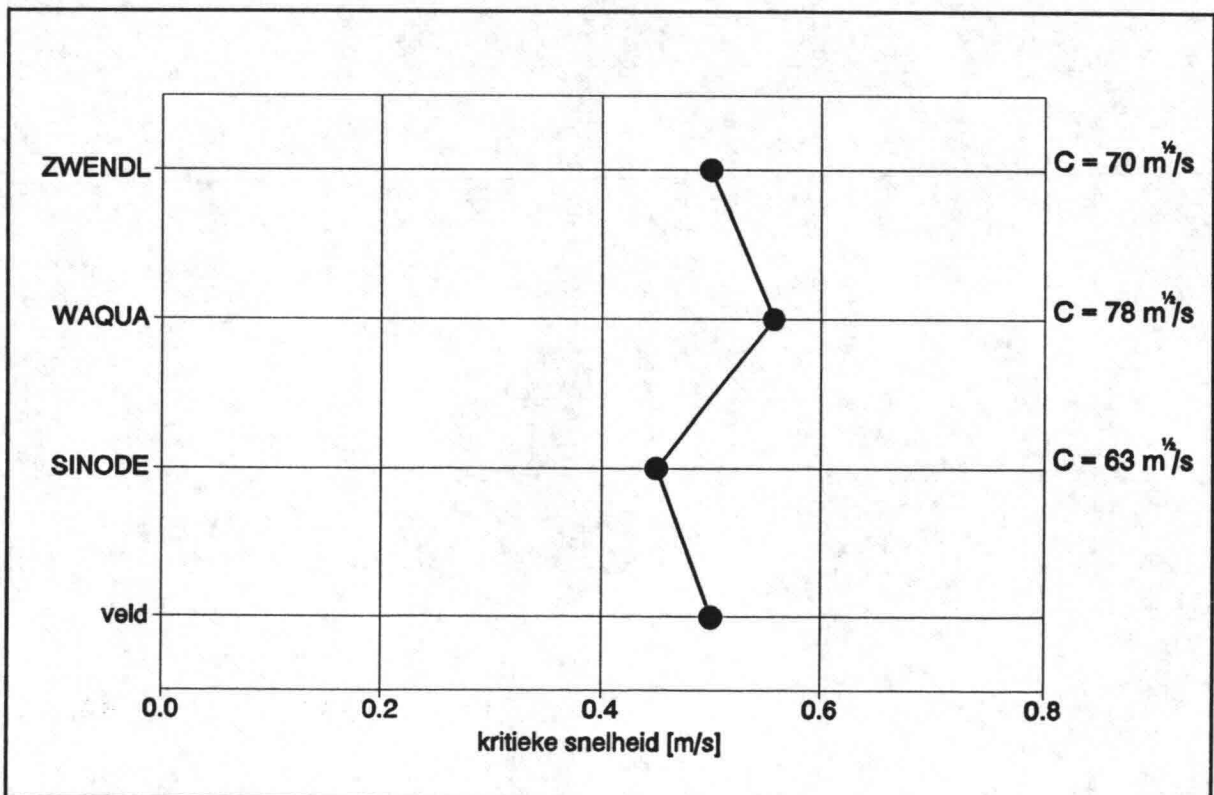
De 3 uitwegen zijn niet onafhankelijk te onderscheiden.

De vraag die nu beantwoord moet worden is die van de kritieke stroomsnelheid voor erosie. Uit bovenstaande beschrijving blijkt deze ongeveer bij 0.5 m/s te liggen. Om dit te onderbouwen is een vergelijking gemaakt tussen de verschillende onderzoeken. Er kan geput worden uit modelervaringen, laboratorium experimenten en de hier beschreven veldmetingen. Dit is gepresenteerd in figuur 7.2 en 7.3.

Aangezien bij de modellering van slibtransport gewerkt wordt met schuifspanningen moet de kritieke snelheid met behulp van de ruwheid omgerekend worden. In figuur 7.2 is aangegeven hoe de kritieke snelheid van 0.33 m/s doorwerkt in de verschillende modellen ten aanzien van de kritieke bodemschuifspanning. Er worden namelijk verschillende ruweden (hier uitgedrukt in de Chezy-waarden) gebruikt. Globaal komt deze benadering overeen met de kritieke bodemschuifspanning zoals afgeleid in laboratorium onderzoek (Kuijper e.a., 1990) in de orde van 0.15 - 0.30 Pa. Het gaat hierbij echter om vers gesedimenteed materiaal met een consolidatietijd van 1-7 dagen. Dit is niet de waarde, die verwacht wordt voor de erosie van oude sliblagen.



figuur 7.2 Vergelijking kritieke schuifspanning in modellen (bij een kritieke snelheid van 0.33 m/s) met resultaten in de carousel voor vers gesedimenteerd slib



figuur 7.3 vergelijking kritieke snelheid in modellen (bij een kritieke schuifspanning van 0.5 Pa) met resultaten van het laboratorium-onderzoek

In figuur 7.3 is aangegeven wat voor kritieke snelheden in de verschillende modellen optreden bij een kritieke bodemschuifspanning van 0.5 Pa. Deze waarde voor de schuifspanning wordt als ondergrens gegeven bij het erosieonderzoek in het laboratorium (Kuijper e.a., 1993). Ook uit de hiervoor gepresenteerde modelberekeningen volgt deze waarde voor de kritieke schuifspanning voor erosie. Uit de figuur blijkt dat de stroomsnelheid dan ligt bij 0.45 - 0.55 m/s. Deze waarde komt overeen met de gemeten stroomsnelheid, waarbij een duidelijke verhoging van de concentratie optreedt.

Tot slot kan een vergelijking gemaakt worden tussen de erosie- en sedimentatieflux tijdens de veldmeting. De erosieflux tijdens de meting is gemiddeld 0.6 kg/m²/dag, als uitgegaan wordt van de parameterinstelling van de derde simulatie. De sedimentatieflux is ongeveer 0.06 kg/m²/dag bij een valsnelheid van 0.1 mm/s, een kritieke schuifspanning van 0.15 Pa en een beginconcentratie van 0.025 kg/m³. Tijdens de meetdag is de erosieflux dus veel groter dan de sedimentatieflux. Uitgaande van de bodemconcentratie van zo'n 300 kg/m³ is de erosie ongeveer 0.002 m/dag. Dit is ver beneden de detectiegrens van de ISAC, zeker gezien de ruimtelijke variatie.

Met de rivierafvoer stijgt ook de gemiddelde zwevend stof concentratie tot een vijfmaal zo hoge waarde, waardoor de sedimentatieflux rechtevenredig toeneemt. Aangezien de kritieke snelheid voor erosie alleen op de top van de rivierafvoer overschreden wordt kan beredeneerd worden dat over de hele afvoerperiode de sedimentatieflux van de orde van de erosieflux is. Tijdens de ebfase zal er dan erosie optreden van oud bodemmateriaal, maar ook van materiaal dat tijdens de vloedfase is gesedimenteerd. En wanneer de kritieke waarde voor erosie niet meer wordt overschreden zal er uiteindelijk een netto sedimentatie optreden in het Haringvliet. De te verwachten erosie van oude sliedlagen zal beperkt blijven.

Bij veldwaarnemingen na afloop van de hoge afvoerperiode is dit ook gevonden. Een mosselbank vlak voor de Haringvlietssluisen is tijdens de afvoergolf overspoeld geraakt met een sedimentlaag. Gezien de staat van afbraak kan verondersteld worden dat het hier ging om een afdekking die een korte tijd ervoor heeft plaatsgevonden.

Bij lagere snelheden kan er beter gesproken worden over resuspensie. Tijdens de afvoergolf blijkt namelijk dat het aangevoerde materiaal 'wandelt' door het bekken. Tijdens de ebfase van het getij wordt het opgepakt en meegevoerd richting zee en tijdens de vloedfase treedt er sedimentatie op. In de modelsimulatie komt dit tot uiting in het eroderen van de bodem in de geulen en de sedimentatie in de oeverzones. Onder de huidige omstandigheden (maar niet tijdens hoge afvoer) treedt het tegenovergestelde patroon op met sedimentatie in de geulen en erosie van platen.

8. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

8.1 Conclusies

Bij vergelijking van de resultaten uit het laboratorium-onderzoek en de veldmetingen blijkt dat erosie van de bodem optreedt als de vertikaal gemiddelde stroomsnelheid ter plaatse groter wordt dan 0.5 m/s. Dit is beduidend hoger dan de tot nu toe gehanteerde grens van 0.33 m/s. Het verschil ligt hoofdzakelijk in de definiëring van erosie. De grens van 0.33 m/s staat in verband met vers gesedimenteerd materiaal, terwijl de grens van 0.5 m/s slaat op erosie van de oude slibbodem.

De combinatie van veld- en laboratorium-experimenten heeft aangetoond zeer nuttig te zijn. Door het gebruik van in-situ monsters bij het laboratoriumonderzoek konden nuanceringen aangebracht worden in de uitkomsten van eerder uitgevoerd laboratoriumonderzoek, zoals de erosie- en sedimentatieproeven in de carroussel (Kuijper e.a., 1990).

8.2 Aanbevelingen

De grote moeilijkheid bij de interpretatie van het laboratorium-onderzoek was de grote zandfractie in de bodemmonsters, waardoor bodemtransport van zand de uitkomsten van het slibtransport onderzoek beïnvloedden. Het voorkomen van grote zandfracties in slibrijke bodems komt voor in het hele Noordelijk Deltabekken. Aanbevolen wordt om de invloed van zand op het erosiegedrag meer procesmatig te onderzoeken. De eerste stappen zijn al gedaan in die richting door het opstarten van een voorstudie naar het 'Gedrag van natuurlijke zand-slib bodems'.

Bij een sterk gewijzigd beheer van de Haringvlietsluizen zal de erosie-gevoeligheid van het Haringvliet verder onderzocht moeten worden. Door het toelaten van getij en zout in het bekken zal de ruwheid van het systeem veranderen. Ook zal de erosie-bestendigheid, zeker in de stormvloedvariant (HV4), beïnvloed worden door de sterker variërende waterstand. Er kan dan over een groter areaal verweking van de slibbodem onder golven optreden. Door de continu variërende waterstand en de veranderde waterbewegingen zal het patroon van erosie van platen en sedimentatie in de geulen omgedraaid worden. Er zal dan sedimentatie in de oeverzone gaan optreden. Deze verandering kan van groot belang zijn op het uiteindelijke resultaat ten aanzien van de waterkwaliteit. Een detailstudie van de sedimentatie van de oeverzone zal daarom nodig zijn. Momenteel wordt hier in het kader van Europees onderzoek (MAST-3) over nagedacht.

9. LITERATUUR

E.A. Collard (1991)

Een rechtlijnig WAQUA-model van het Haringvliet/Hollandsch Diep: modelbouw, afregeling en verificatie, Rijkswaterstaat, RIZA i.s.m. ingenieursbureau Svasek b.v., werkdocument 91.191X, december 1991.

E.A. Collard (1992)

SINODE, een 2DH DELWAQ-model van het Haringvliet/Hollandsch Diep: modelbouw en gevoeligheidsonderzoek, Rijkswaterstaat, RIZA i.s.m. ingenieursbureau Svasek b.v., werkdocument 92.104X, augustus 1992.

C. Kuijper, J.M. Cornelisse & J.C. Winterwerp (1990)

Erosion and deposition characteristics of natural muds, Sediments from Ketelmeer, Rijkswaterstaat & Delft Hydraulics, Cohesive Sediments Report 30, november 1990.

C. Kuijper, J.M. Cornelisse & J.C. Winterwerp (1993)

Erosiegedrag van Haringvlietslib, experimenteel onderzoek in het erosiecircuut, Waterloopkundig Laboratorium, Z705, december 1993.

D. Ludikhuizen (1994)

Evaluatie modelinstrumentarium voor Nader Onderzoek Nieuwe Merwede, Rijkswaterstaat, RIZA, memo, 1994.

H. Verbeek (1993)

Meetplan voor de bepaling van Erosie van slib in het Haringvliet, Rijkswaterstaat, RIZA, werkdocument 93.142X, oktober 1993.

H. Verbeek & J.M. Cornelisse (1994)

Consolidation of dredged sludge, measured by an acoustic densitometer, Proceedings of the Sixth International symposium "The Interactions between Sediments and Water", Santa Barbara, California, USA, December 5-8, 1993, ed. B.T. Hart.

Waterloopkundig Laboratorium (1990)

User manual DELWAQ, version 3.0, Waterloopkundig Laboratorium, Delft, maart 1990.

Waterloopkundig Laboratorium (1991)

DIDO user manual, version 1.0, Waterloopkundig Laboratorium, Delft, juni 1991.

Bodembemonstering:

(1): 19/20 oktober 1993

4 lokaties (1-4)

Boringen tot een diepte van ± 1 meter uitgevoerd.
uit boorkern monsters gestoken en geanalyseerd op:

* droge dichtheid [kg/m^3]

* organisch stof [% kg/kg ds]

* d_{50} [10^{-6} m]

* korrelgrootteverdeling (laser-defraktie)

Bodemconcentratie metingen met ISAC uitgevoerd en 2 ijkmonsters genomen.

Monsters voor laboratoriumonderzoek genomen (zie rapport WL-Z705)

(2): 27 december 1993

4 lokaties (1-4)

Bodemconcentratie metingen met ISAC uitgevoerd en 7 ijkmonsters genomen.

(3): 12 januari 1994

4 lokaties (1-4)

Bodemconcentratie metingen met ISAC uitgevoerd.

Stroomsnelheids- en Troebelheidsmeting:

23 december 1993

6 lokaties (A-D, F-G)

Vertikaalmetingen per half uur voor stroomsnelheid en - richting en troebelheid
ongeveer 20 monsters per lokatie genomen voor zwevend stof calibratie

29 december 1993

7 oppervlakte monsters zwevend stof genomen op lengte raai over Haringvliet en
Hollandsch Diep (H1-H7) (niet gepresenteerd)

Overzicht metingen op het Haringvliet oktober 1993 - januari 1994

Bodembemonstering:

| nr | gekozen | | gerealiseerd | | gerealiseerd | | gerealiseerd | |
|----|---------|--------|---------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| | | | 19/20 oktober | | 27 december | | 12 januari | |
| 1 | 67400 | 425200 | 67402 | 425196 | 67399 | 425192 | 67399 | 425215 |
| 2 | 67200 | 424900 | 67198 | 424896 | 67201 | 424894 | 67204 | 424892 |
| 3 | 71100 | 423400 | 71149 | 423440 | 71119 | 423397 | 71024 | 423429 |
| 4 | 70900 | 423100 | 70905 | 423107 | 70898 | 423095 | 70911 | 423113 |

Stroomsnelheids- en Troebelheidsmeting:

| nr | gekozen | | gerealiseerd | | gerealiseerd | |
|----|---------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|
| | | | 23 december (begin) | | 23 december (einde) | |
| A | 66675 | 425925 | 66700 | 425933 | 66649 | 425928 |
| B | 66350 | 425250 | 66371 | 425266 | 66349 | 425303 |
| C | 70150 | 425050 | - | - | - | - |
| D | 69550 | 423800 | 69557 | 423801 | 69534 | 423791 |
| E | 72600 | 423100 | - | - | - | - |
| F | 72150 | 422450 | 72157 | 422493 | - | - |
| G | 74600 | 420100 | 74782 | 420254 | - | - |

Overzicht metingen op het Haringvliet
oktober 1993 - januari 1994

rijkswaterstaat
riza
hoofdafdeling watersystemen

RIZA nota 94.044

Bijlage 1.2



Waterbodembemonstering

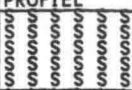
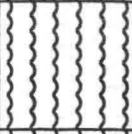

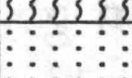

Haringvliet t.b.v. erosie proef.

19 + 20 oktober 1993

Projectnummer: 142.13.10.3
Opdrachtcode MIK: 23100.T3.105

Veldmeetdienst
van Leeuwenhoekweg 20
3316 AV Dordrecht

Telefoon 078-322593
Telefax 078-145927

| DIEPTE T.O.V. NAP, cm | BOOR- PROFIEL | GRONDSOORT | BIJMENGSELEN OPMERKINGEN | CONSI- STENTIE VISUEEL | KLEUR | KORREL GROOTTE | NR. 0 |
|-----------------------------|---|---------------|--|------------------------------|--------|-------------------|-------|
| -550 |  | SLIB | | SLAP | 5Y 3/2 | | |
| -560 |  | SLIB GECONS. | | M/VAST | 5Y 3/2 | | 1T/M6 |
| -575 |  | SLIB GECONS. | AFWISSELEND GELAAGD MET SMALLE EN BREDERE ZANDLAAGJES | VAST | 5Y 3/2 | | 25 |
| -632 |  | ZAND (FIJN) | ENKELE SLIB BROKJES | VAST | 5Y 3/2 | 250-355 | |
| -640 |  | ZAND (M.GROF) | SHELPEEN EN SCHELPENGRUIS | VAST | 5Y 3/2 | 355-500 | |
| -670 | | | | | | | |


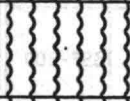


PROJEKT : EROSIË PROEF HARINGVLIET
OPDR.CODE : 23100.T3.105

MEETDIENST NOORDELIJK DELTABEKKEN
VELDMEETDIENST
RIJKSWATERSTAAT DIREKTIE ZUID HOLLAND

GEBIED : HARINGVLIET

BORING : 01
N.A.P WATERBODEM M : -5.50
WAARNEMER : N.A./J.T.
DATUM : 20-10-93

BOORWIJZE : VIBROCORER
X-COORDINAAT : 067402
Y-COORDINAAT : 425196
MONSTERCODE : 142.13.10.3

| Diepte o.v. NAP, cm | BOOR- PROFIEL | GRONDSOORT | BIJMENGSELEN OPMERKINGEN | CONSI- STENTIE VISUEEL | KLEUR | KORREL GROOTTE | NR. 0 |
|---------------------------|--|--------------|-----------------------------|------------------------------|--------|-------------------|-------|
| -570 |  | SLIB | | SLAP | 5Y 3/2 | | |
| -580 |  | SLIB GECONS. | | M/VAST | 5Y 3/2 | | 1T/M5 |
| -592 |  | SLIB GECONS. | MATIG ZANDIG GELAAGD | VAST | 5Y 3/2 | | 27 |
| -617 |  | ZAND (FIJN) | SLIBLAAG OP -620 CM | | | | |
| | | | SLIBLAAGJES | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | ENKELE SLIBLENSJES | VAST | 5Y 3/2 | 250-355 | |
| | | | | | | | |
| | | | ENKELE SLIBLENSJES | | | | |
| -710 | | | | | | | |


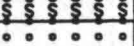



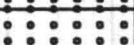
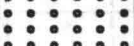






PROJECT : EROSIË PROEF HARINGVLIET
OPDR.CODE : 23100.T3.105

GEBIED : HARINGVLIET

MEETDIENST NOORDELIJK DELTABEKKEN
VELDMEETDIENST
RIJKSWATERSTAAT DIREKTIE ZUID HOLLAND

BORING : 02
N.A.P WATERBODEM M : -5.70
WAARNEMER : N.A./J.T.
DATUM : 20-10-93

BOORWIJZE : VIBROCORER
X-COORDINAAT : 067198
Y-COORDINAAT : 424896
MONSTERCODE : 142.13.10.3

| Diepte T.O.V. N.A.P. cm | BOOR- PROFIEL | GRONDSOORT | BIJMENGSELEN OPMERKINGEN | CONSI- STENTIE VISUEEL | KLEUR | KORREL GROOTTE | NR. |
|-------------------------------|---|---------------|----------------------------------|------------------------------|----------|-------------------|---------|
| -570 |  | SLIB | | SLAP | 7.5Y 3/1 | | |
| -580 |  | | | -580 | | | 10 |
| |  | ZAND (M.GROF) | ENKELE SCHELPEM EN SLIBSPOREN | VAST | 7.5Y 3/1 | 355-500 | 015 |
| |  | | | | | | 25 |
| -600 |  | ZAND (GROF) | SLIBLAAGJE OP -608 CM | -602 | VAST | 7.5Y 4/1 | >750 |
| |  | | | | | | 020 |
| -611 |  | | | -611 | | | 38 |
| |  | ZAND (M.GROF) | ENKELE SCHELPEM EN SCHELPENGRUIS | | | | 033 |
| |  | | | -633 | VAST | 7.5Y 4/1 | 355-500 |
| |  | | LAAGJES SCHELPEM SLIB VEEN ETC | | | | |
| -649 |  | | | -649 | | | |
| |  | ZAND (M.GROF) | AFWISSELEND GROF FIJN ZAND | | VAST | 7.5Y 4/1 | 250-750 |
| -670 |  | | | | | | |

PROJEKT : EROSIË PROEF HARINGVLIET
OPDR.CODE : 23100.T3.105

GEBIED : HARINGVLIET

MEETDIENST NOORDELIJK DELTABEKKEN
VELDMEETDIENST
RIJKSWATERSTAAT DIREKTIE ZUID HOLLAND

BORING : 03
N.A.P WATERBODEM M : -5.70
WAARNEMER : N.A./J.T.
DATUM : 19-10-93

BOORWIJZE : VIBROCORER
X-COORDINAAT : 071149
Y-COORDINAAT : 423440
MONSTERCODE : 142.13.10.3

| Diepte t.o.v. NAP, cm | BOOR- PROFIEL | GRONDSOORT | BIJMENGSELEN OPMERKINGEN | -590 | CONSI- STENTIE VISUEEL | KLEUR | KORREL GROOTTE | NR. 0 | |
|-----------------------------|------------------|------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--------|-------------------|---------|--|
| -590 | | SLIB | STERK ZANDHOUDEND | | SLAP | 5Y 3/2 | | 1+2 | |
| -603 | | | | -603 | | | | 13 | |
| | | | SCHELPENGRUIS EN HOUTSPOREN | | | | | | |
| | | | | | -620 | | | | |
| | | | | ENKELE SLIBLAAGJES | | | | | |
| | | | | | -640 | | | | |
| | | | | VEEL SLIBLAAGJES EN SCHELPENGRUIS | | | | | |
| | | | | | -660 | | | | |
| | | | | | -672 | | | | |
| | | | | ENKELE SLIBLAAGJES | | | | | |
| | | | | | -682 | | | | |
| | | | ZAND (FIJN) | KLEI LAAGJES | | VAST | 7.5Y 5/1 | 250-355 | |
| | | | | -699 | | | | | |
| | | | LAAGJES MET DETRITUSSPOREN | | | | | | |
| | | | | -730 | | | | | |
| | | | ENKELE KLEI LAAGJES MET ORG.MAT. | | | | | | |
| | | | | -740 | | | | | |
| | | | KLEI LAAGJES EN ENKELE DETRITUS | | | | | | |
| | | | | -770 | | | | | |
| | | | ENIGE KLEI LAAGJES EN ORG.MATERIAAL | | | | | | |
| -790 | | | | | | | | | |

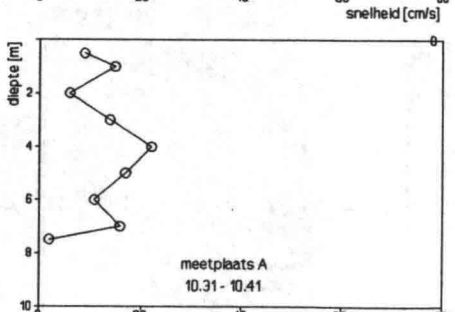
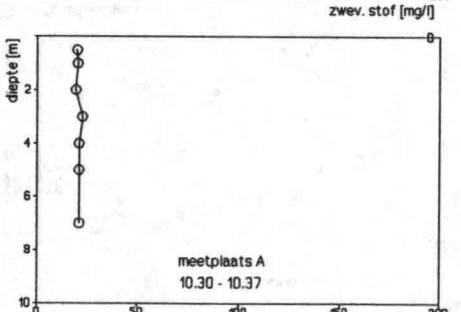
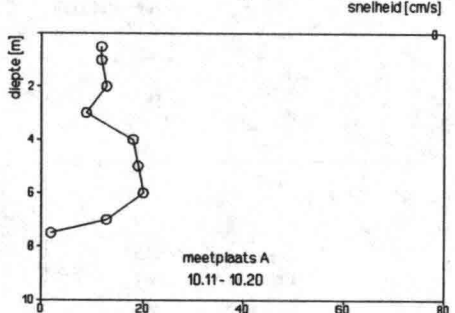
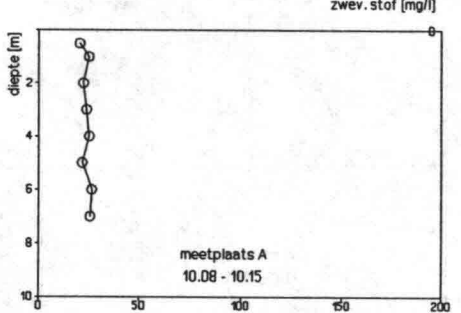
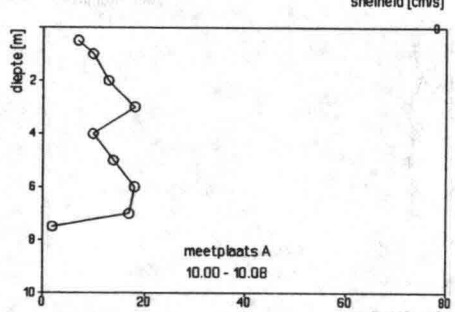
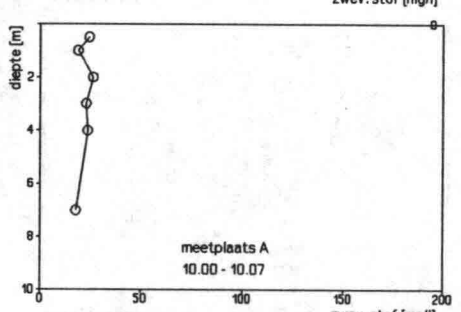
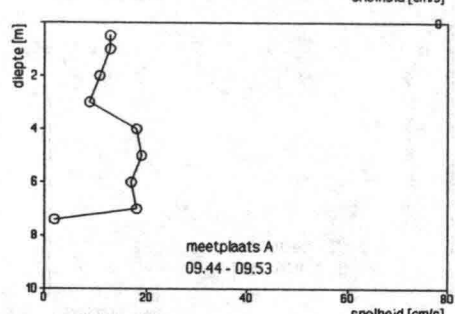
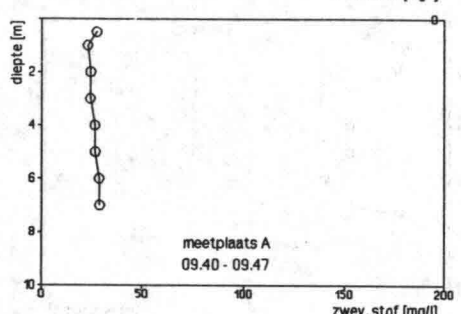
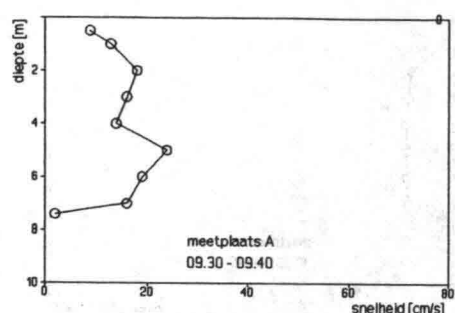
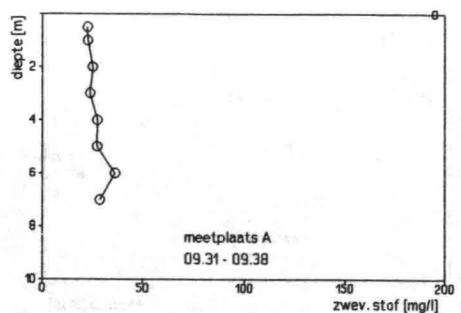
PROJECT : EROSIË PROEF HARINGVLIET
OPDR.CODE : 23100.T3.105

GEBIED : HARINGVLIET

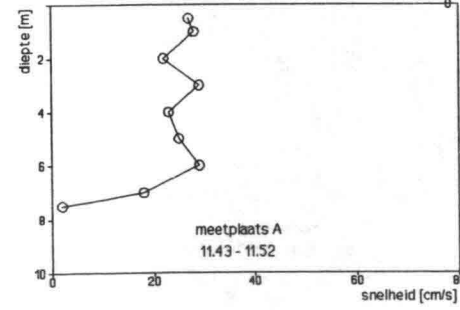
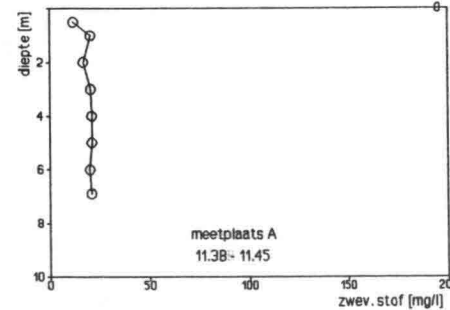
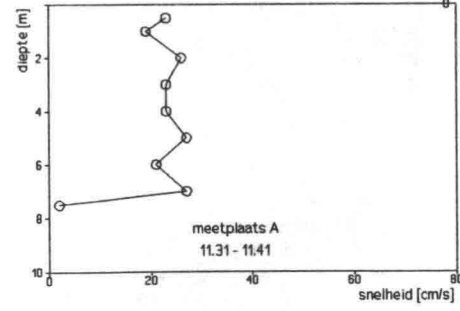
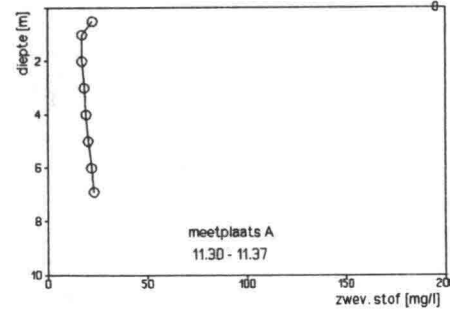
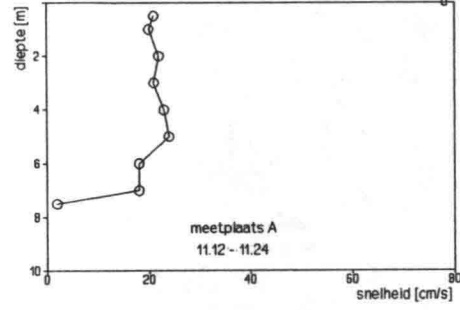
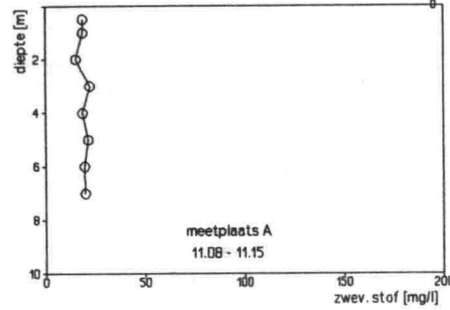
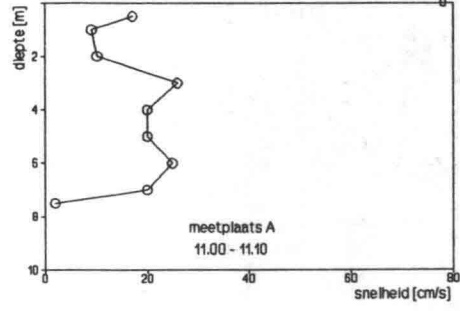
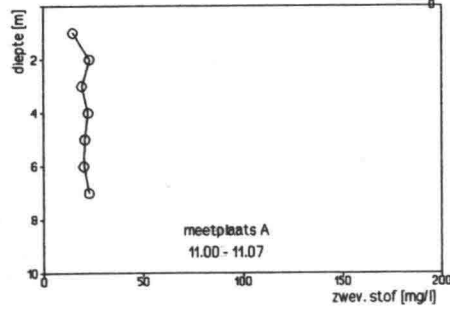
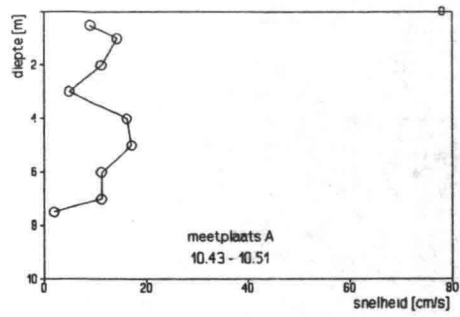
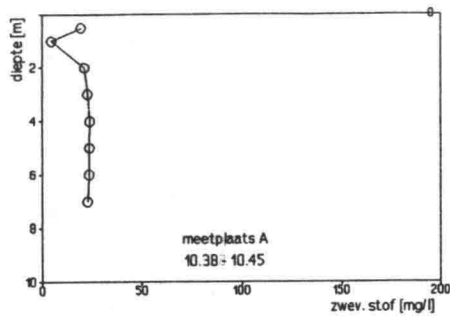
MEETDIENST NOORDELIJK DELTABEKKEN
VELDMEETDIENST
RIJKSWATERSTAAT DIREKTIE ZUID HOLLAND

BORING : 04
N.A.P WATERBODEM M : -5.90
WAARNEMER : N.A./J.T.
DATUM : 20-10-93

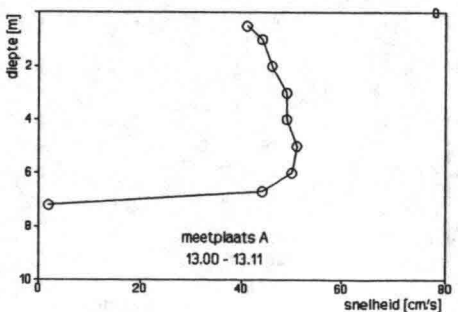
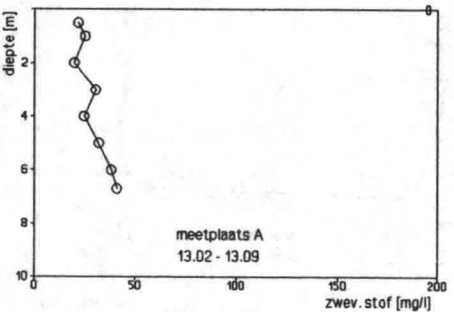
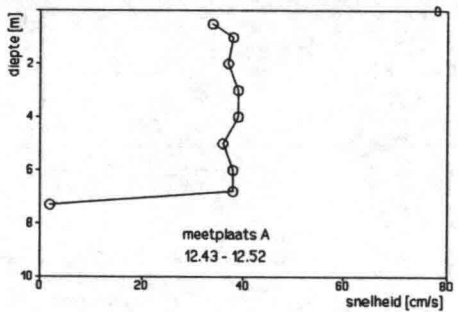
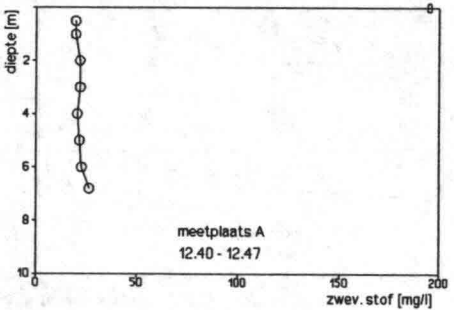
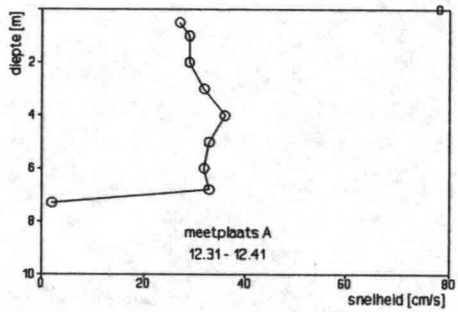
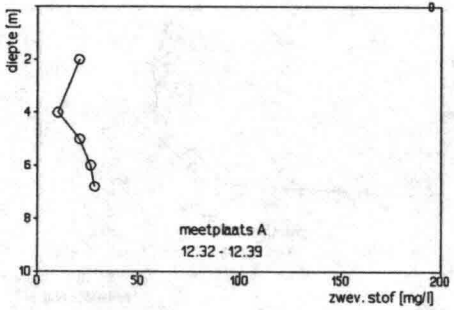
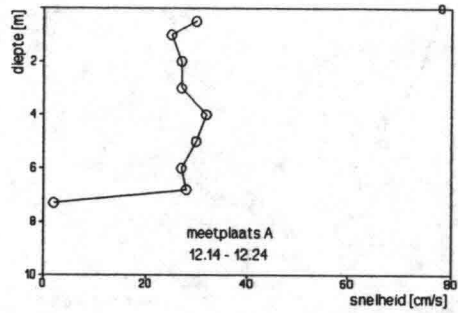
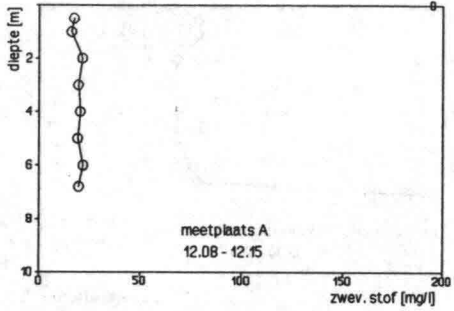
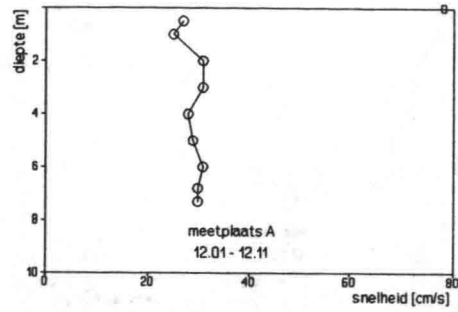
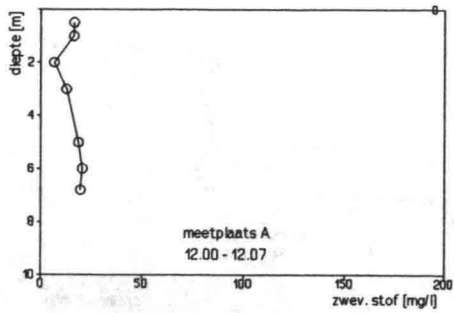
BOORWIJZE : VIBROCORER
X-COORDINAAT : 070905
Y-COORDINAAT : 423107
MONSTERCODE : 142.13.10.3



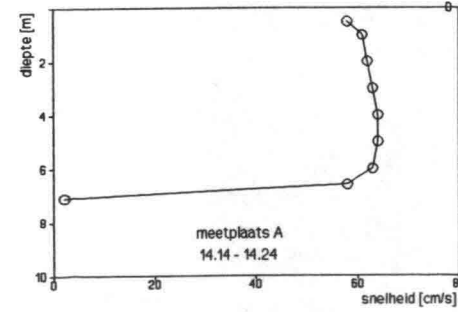
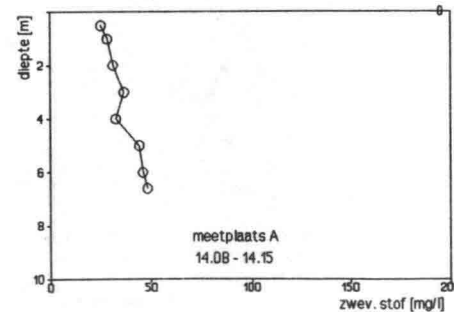
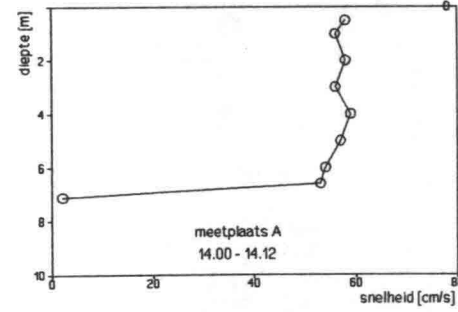
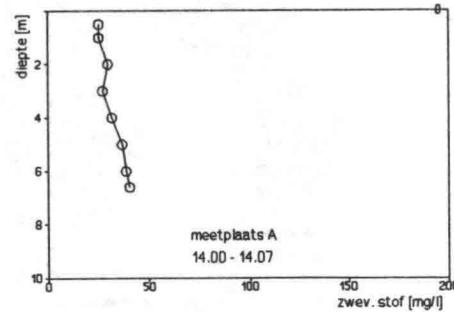
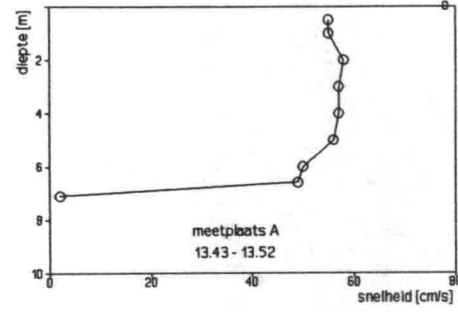
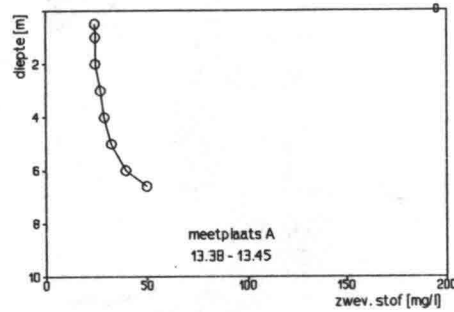
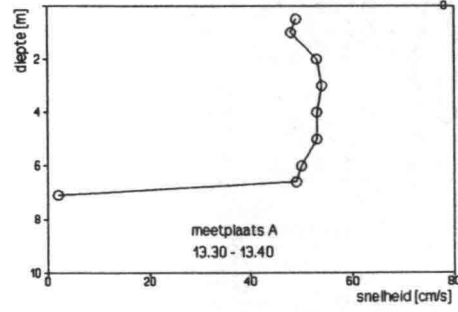
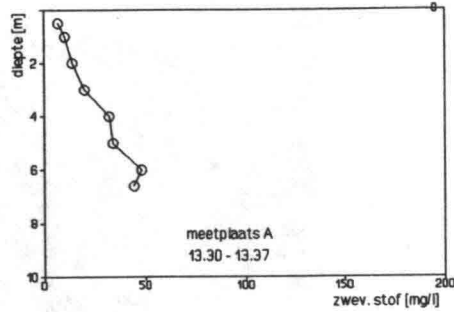
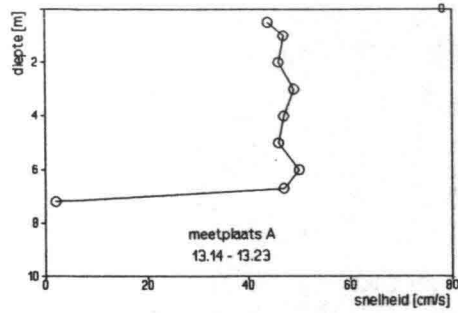
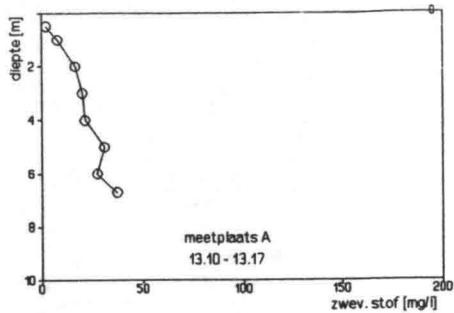
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt A.



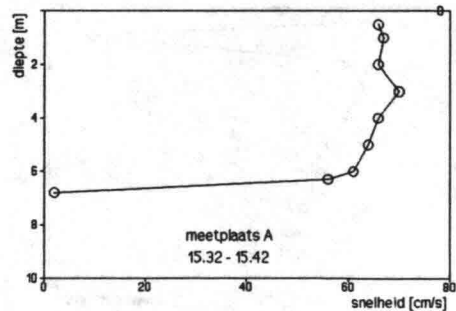
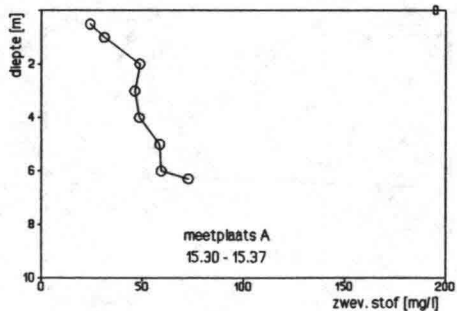
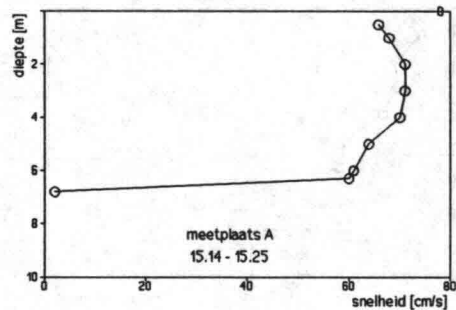
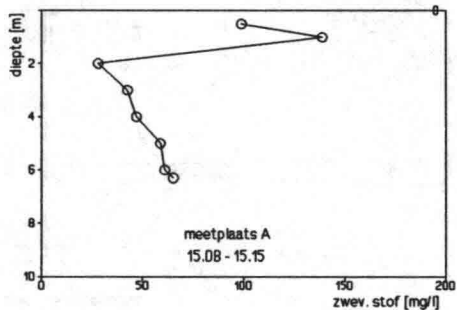
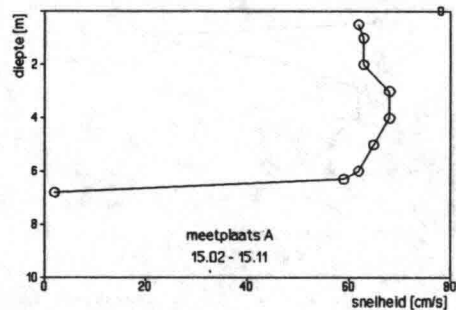
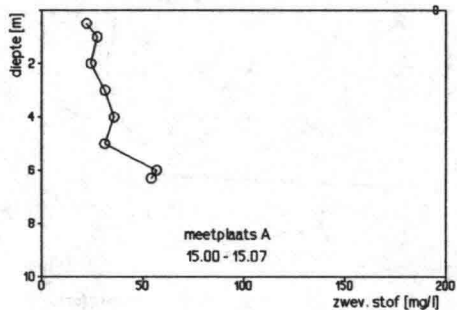
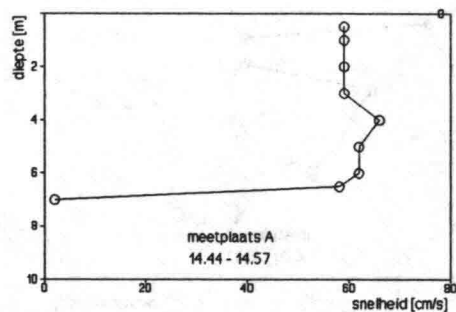
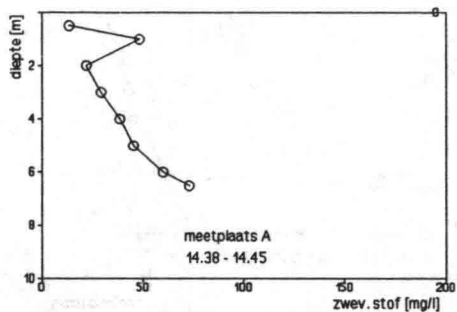
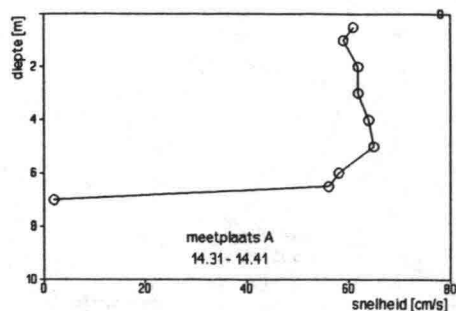
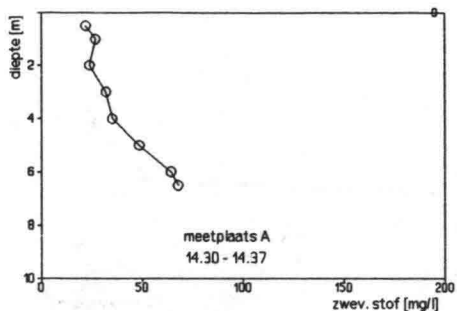
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt A.



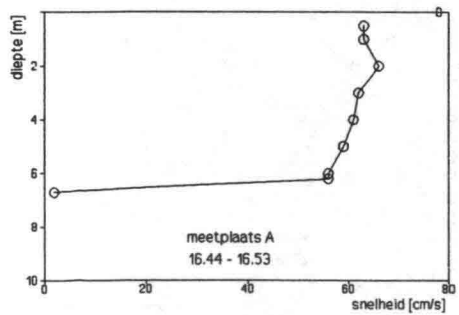
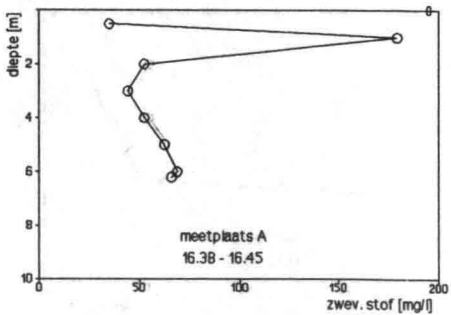
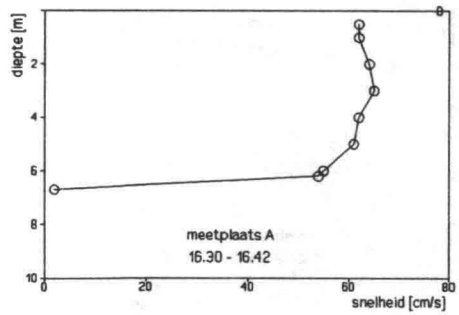
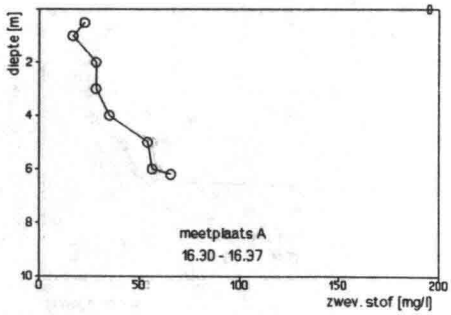
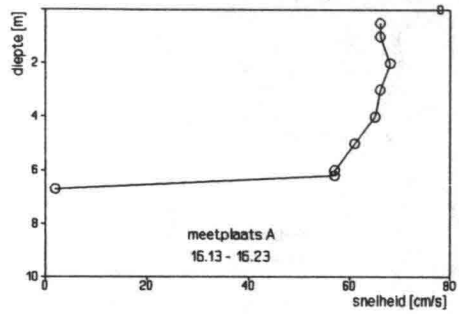
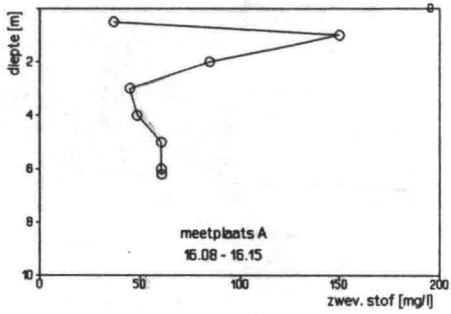
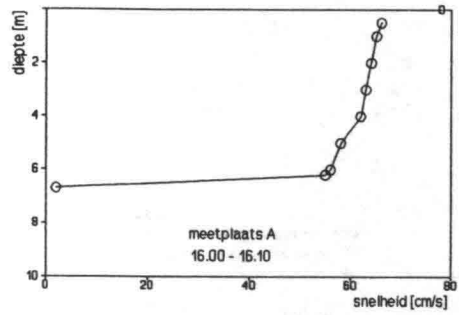
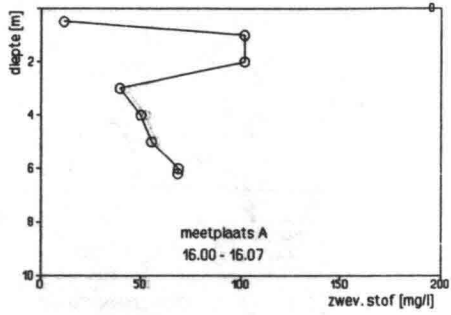
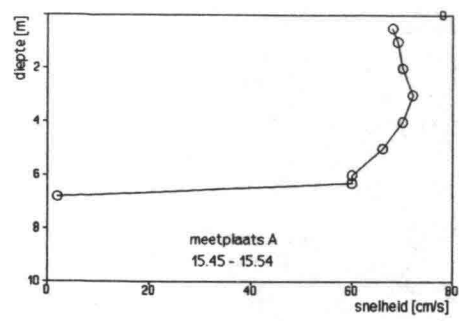
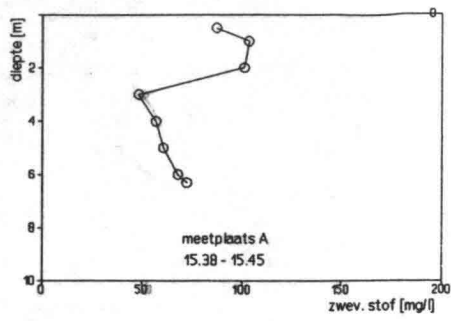
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt A.



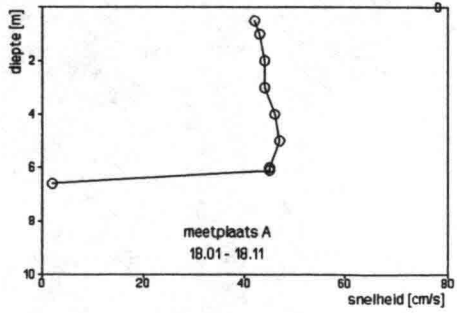
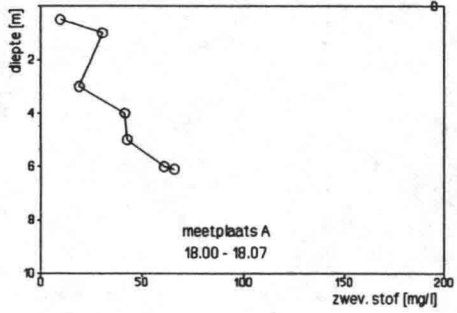
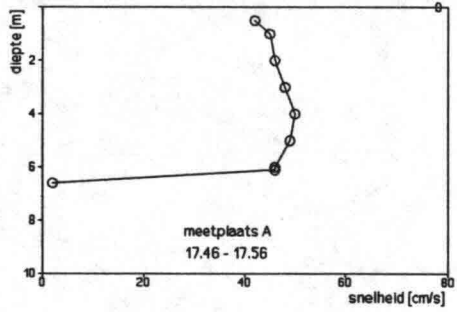
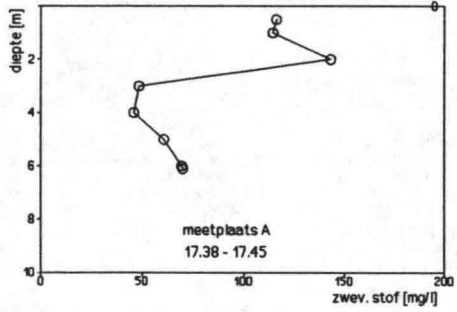
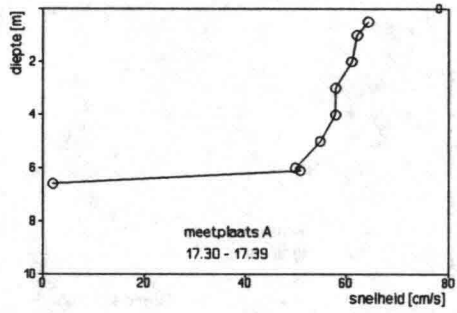
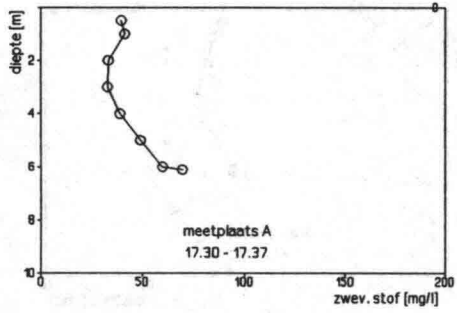
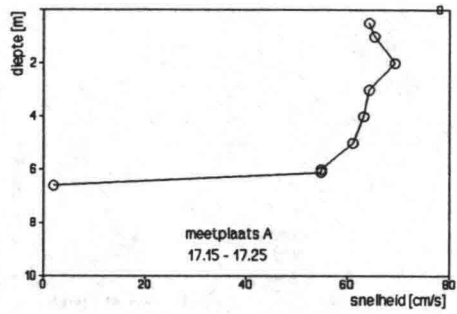
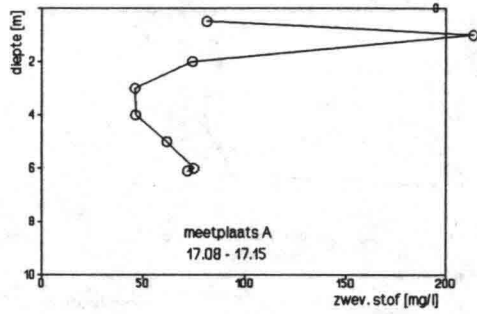
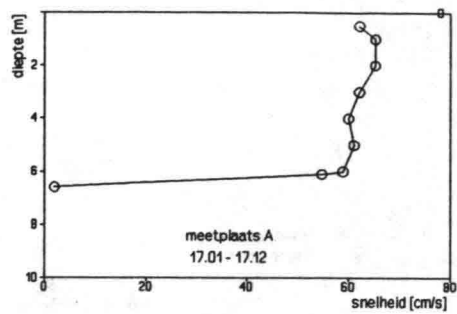
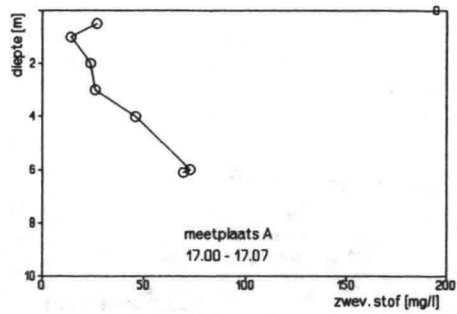
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt A.



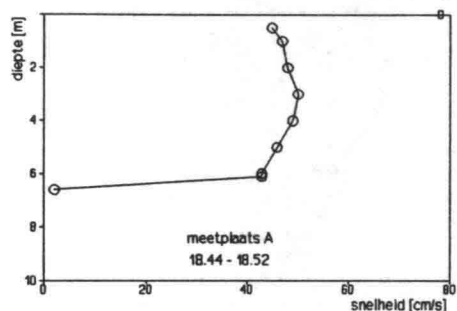
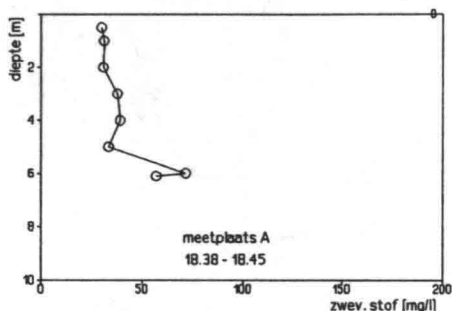
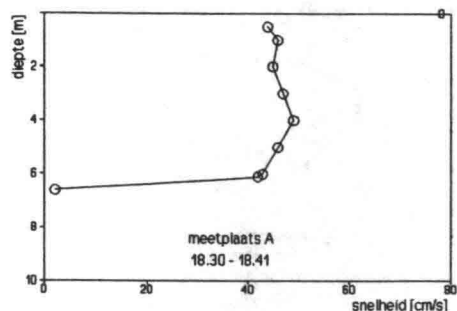
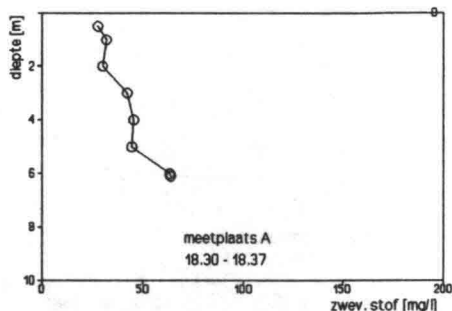
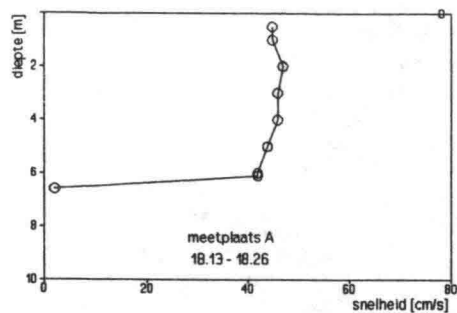
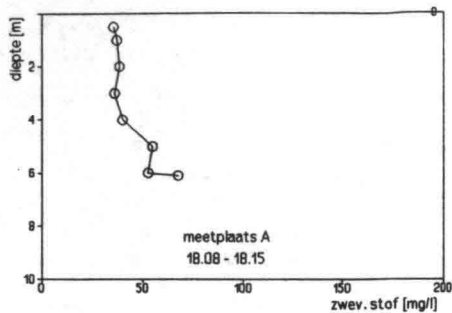
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt A.



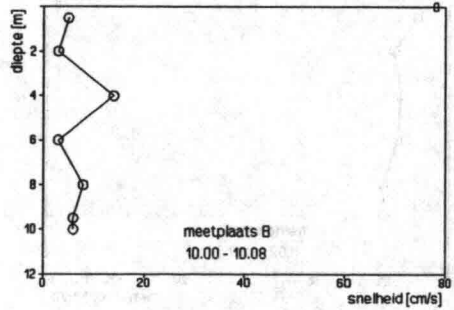
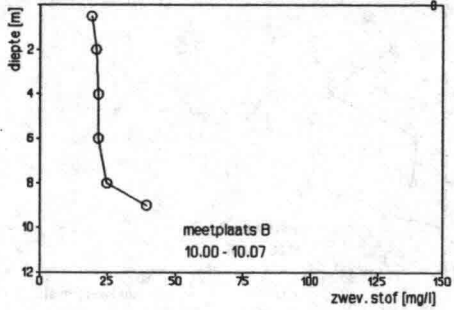
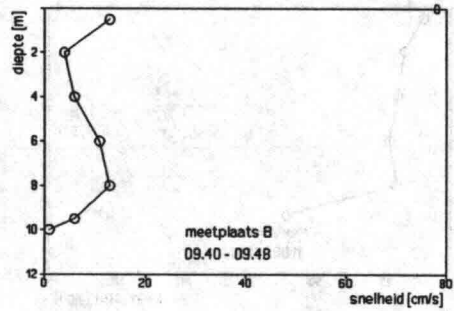
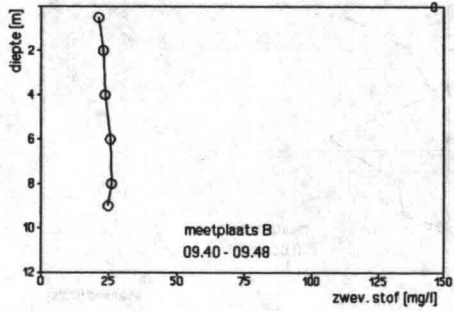
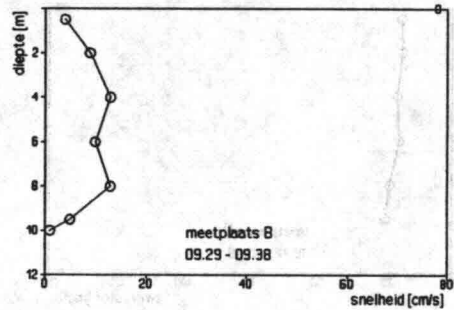
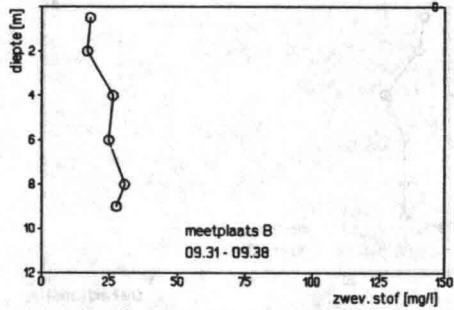
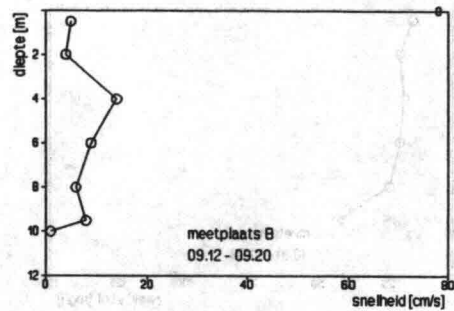
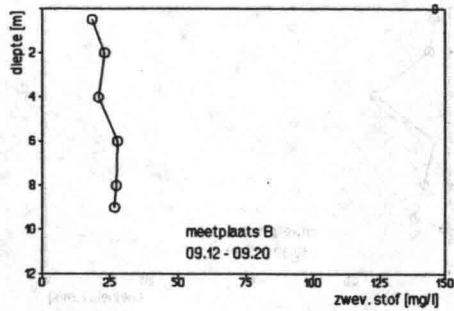
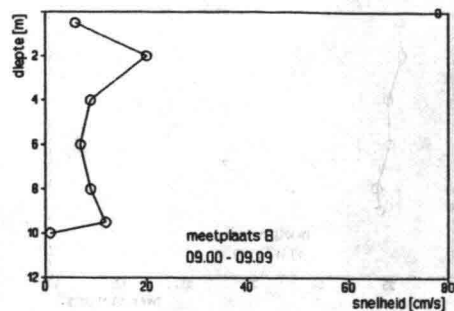
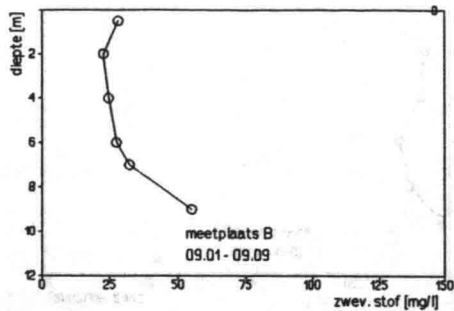
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt A.



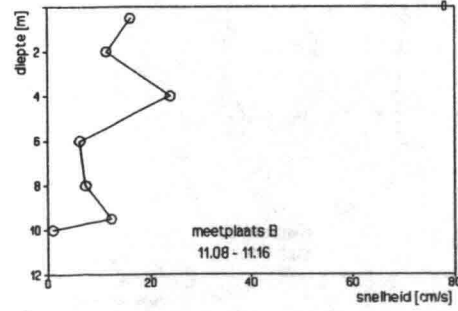
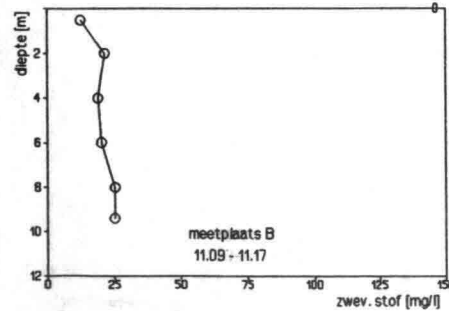
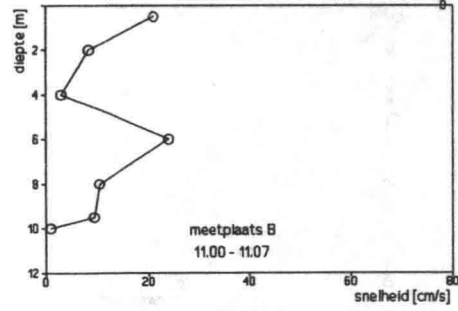
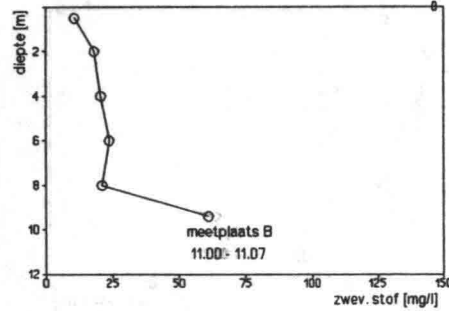
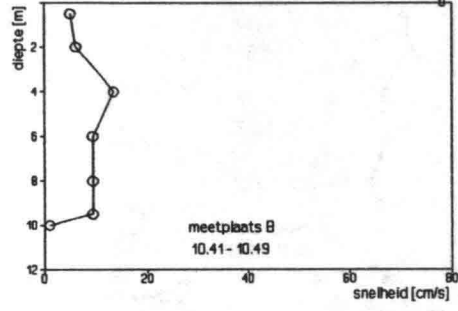
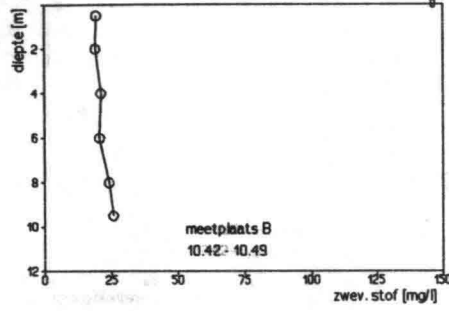
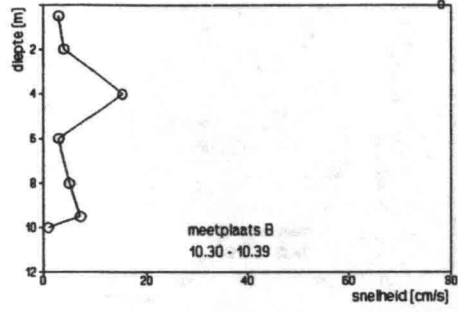
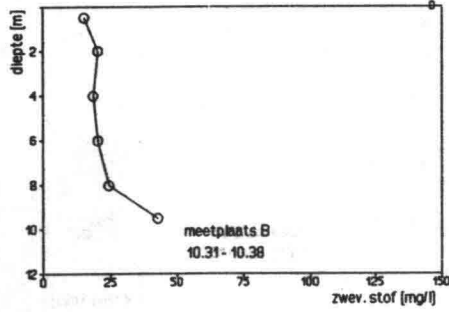
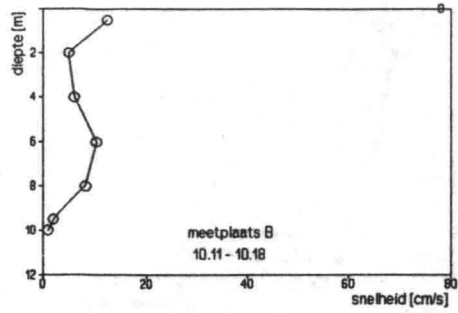
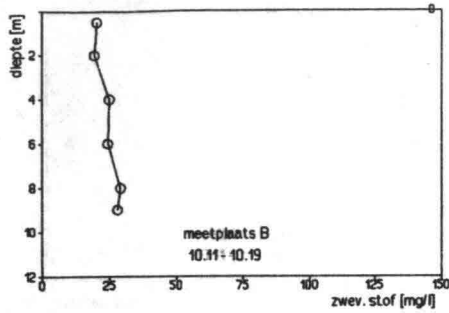
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt A.



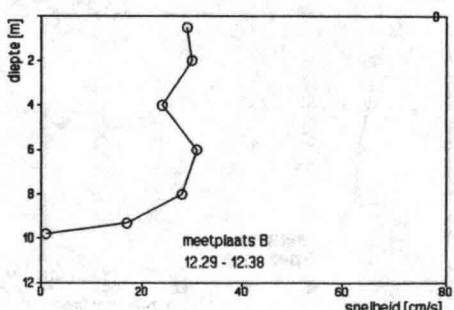
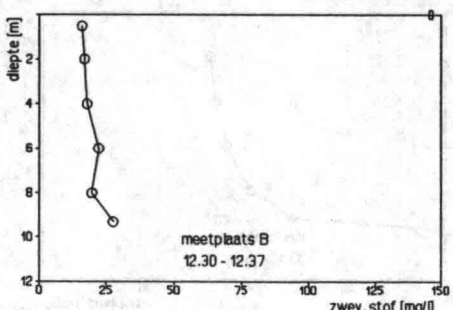
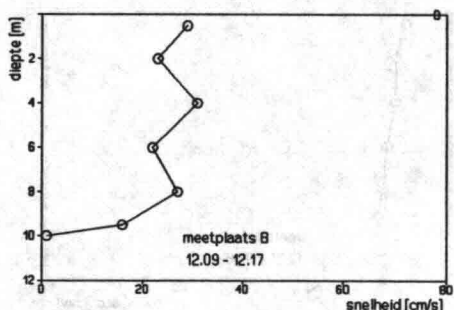
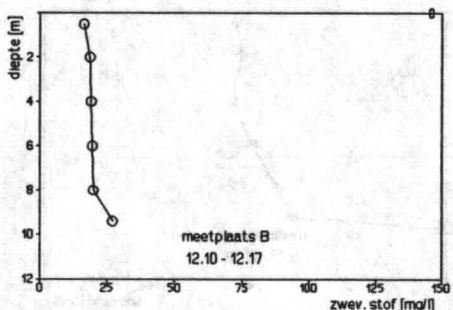
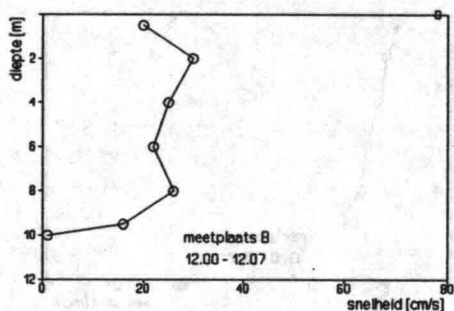
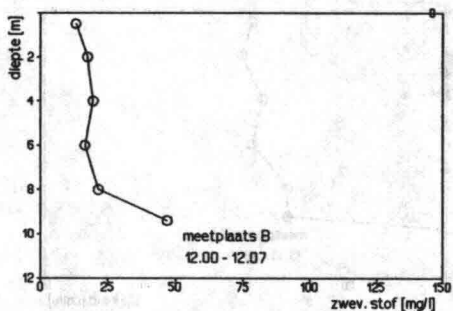
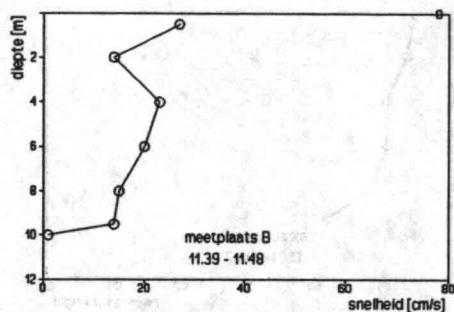
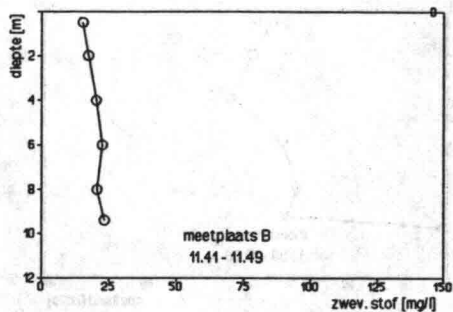
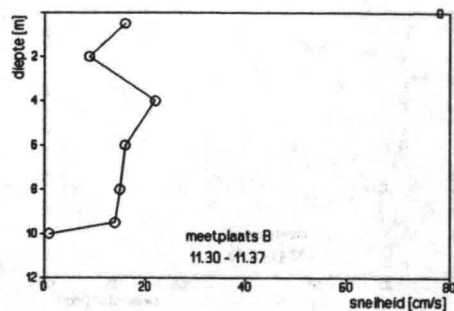
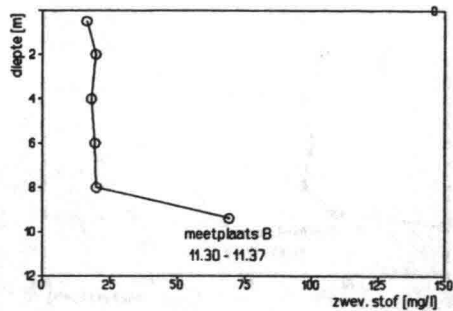
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
 Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt A.



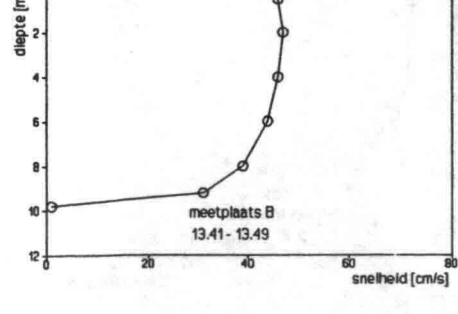
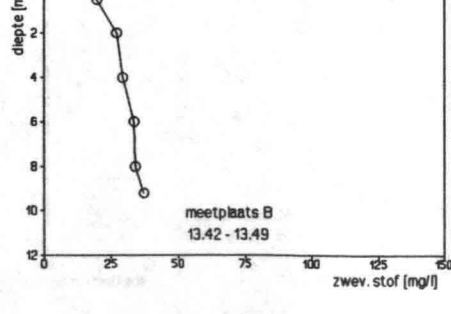
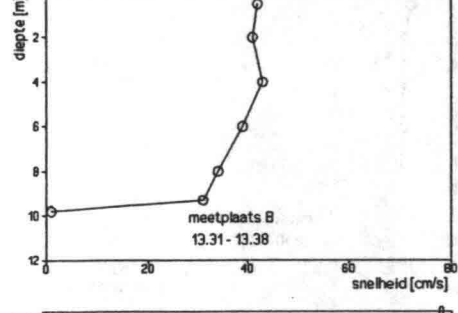
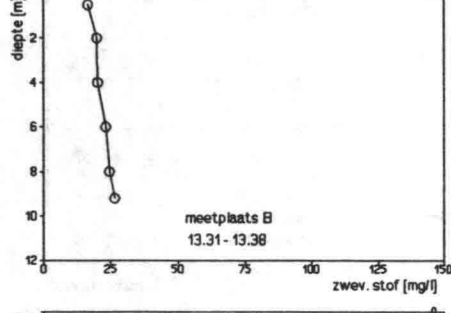
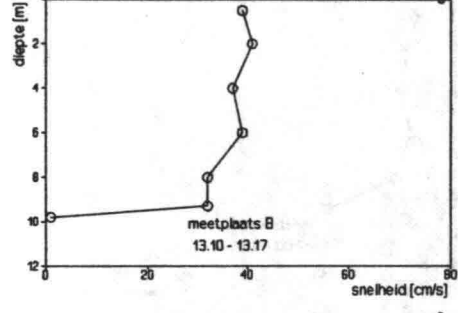
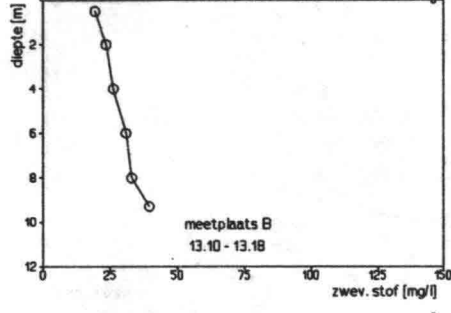
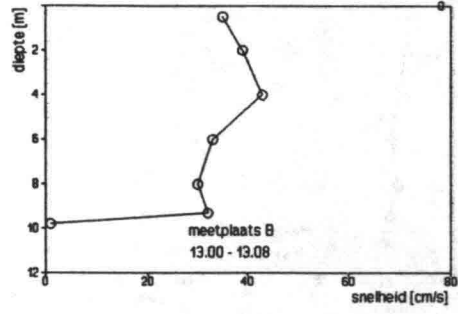
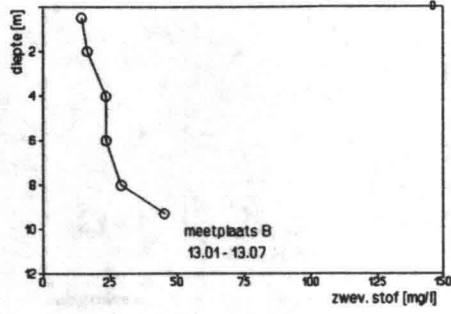
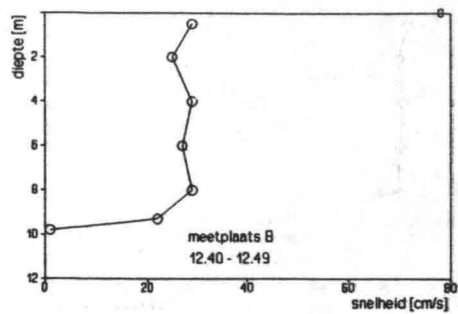
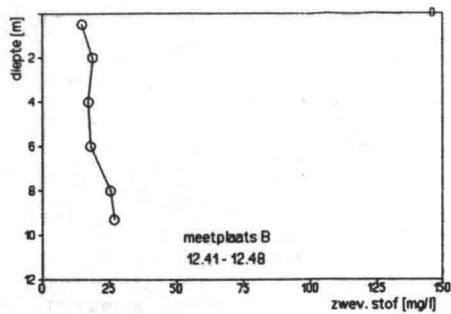
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
 Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt B.



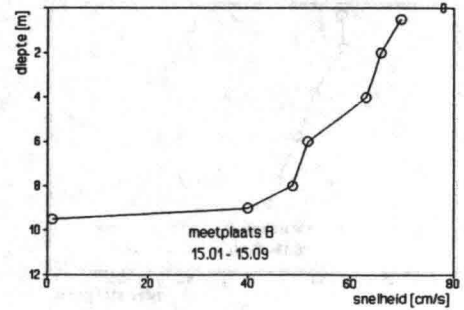
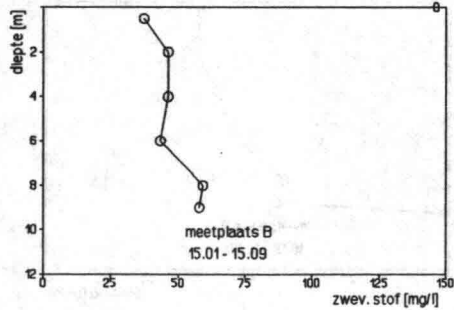
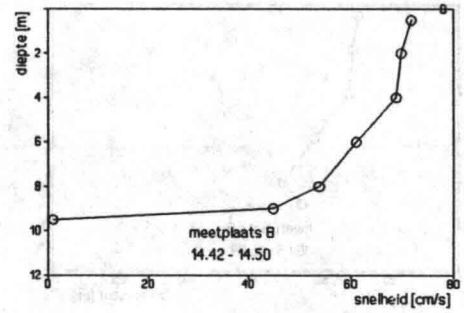
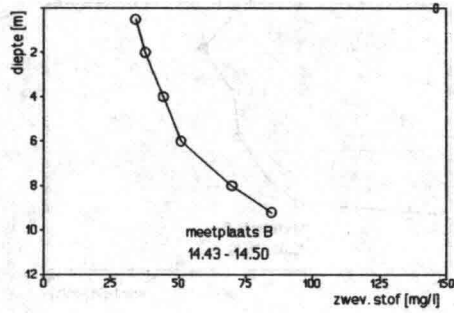
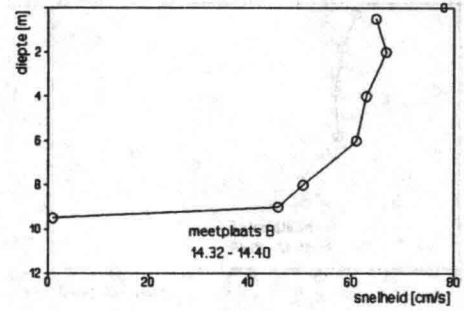
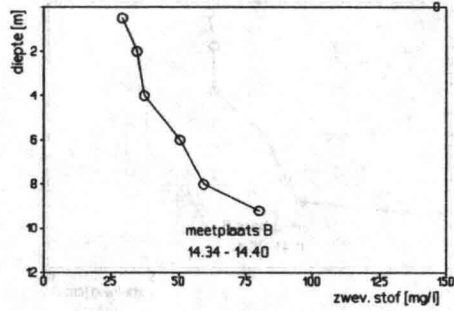
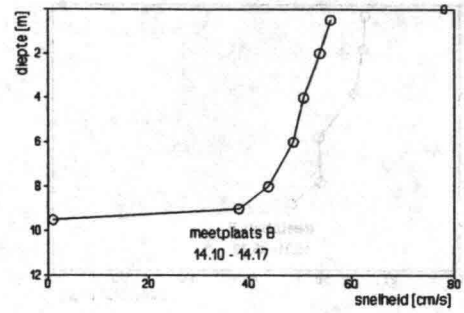
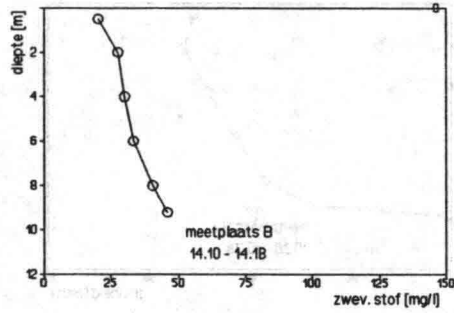
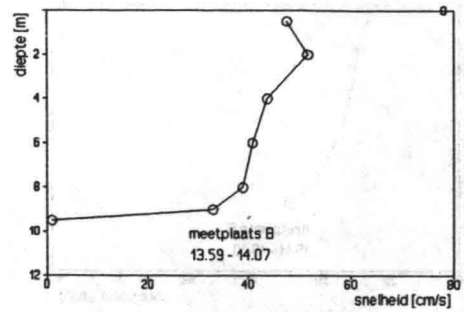
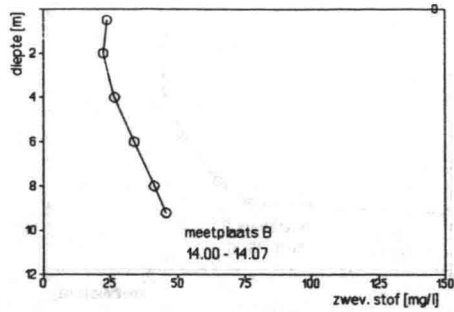
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
 Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt B.



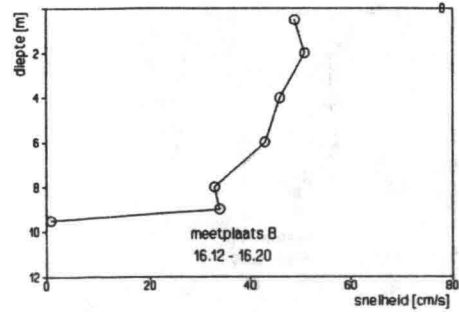
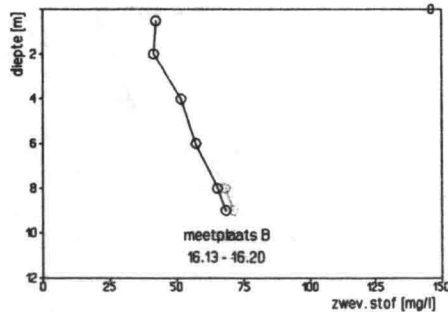
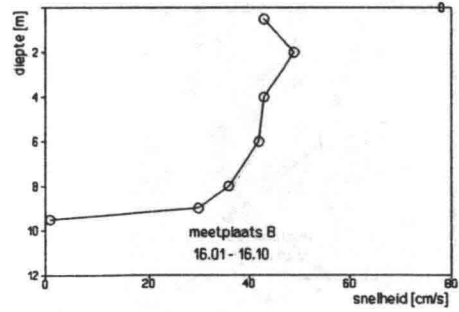
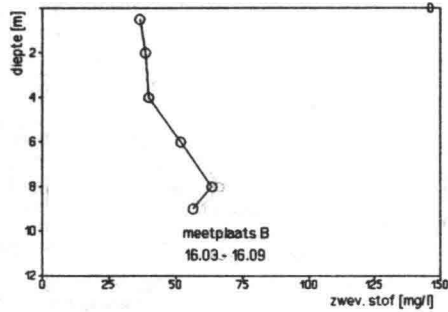
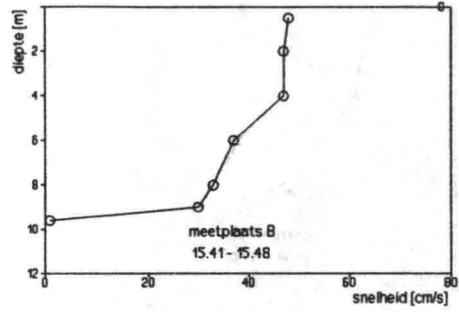
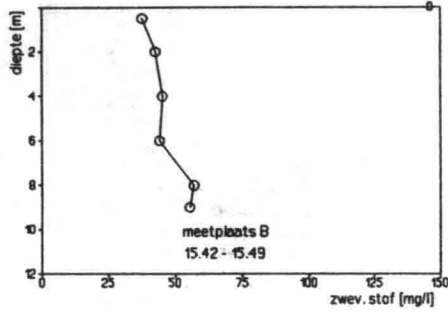
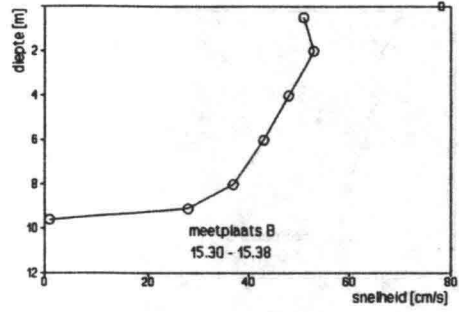
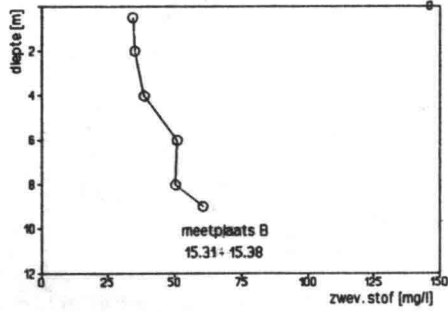
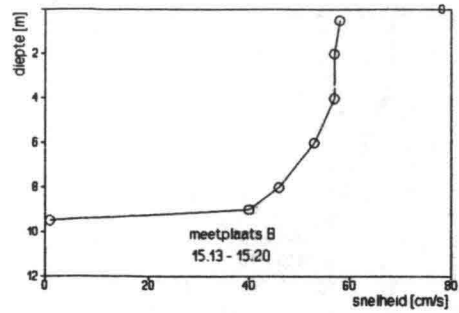
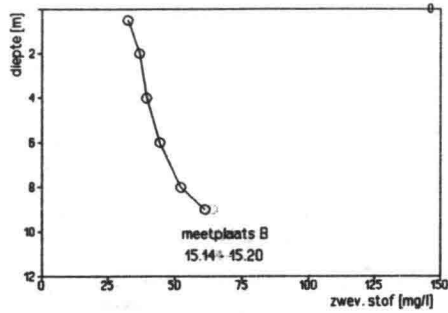
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
 Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt B.



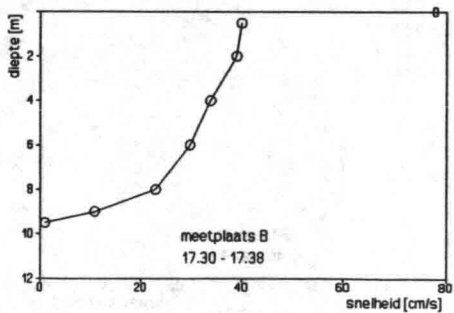
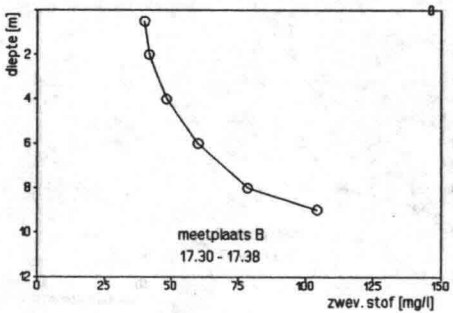
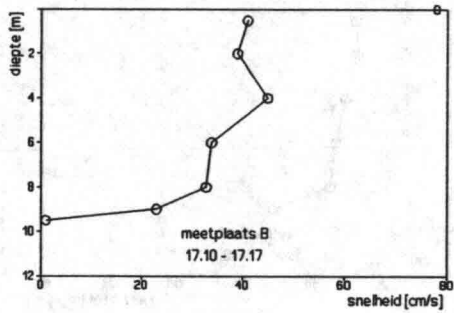
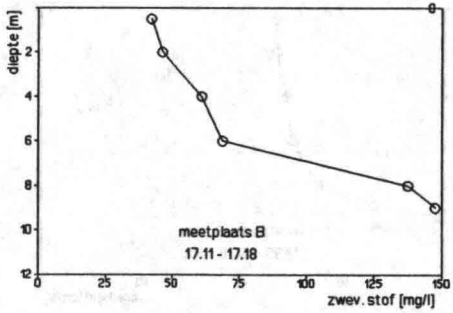
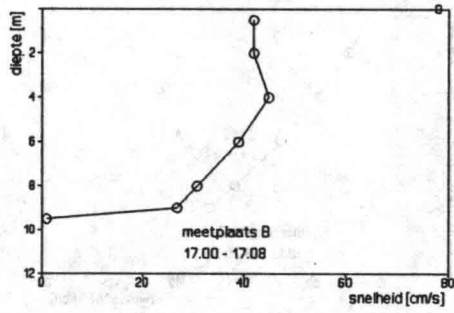
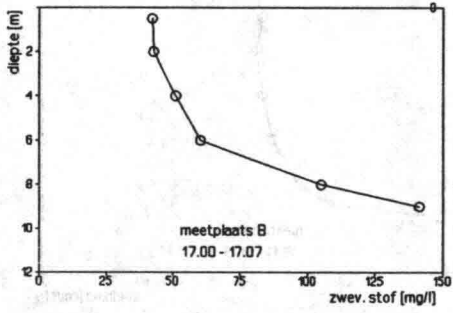
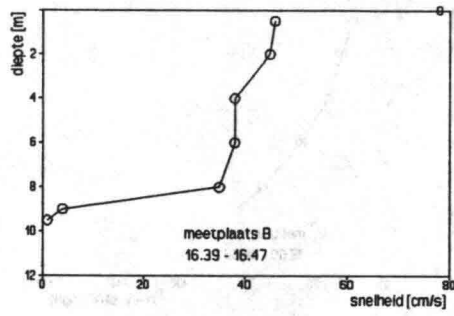
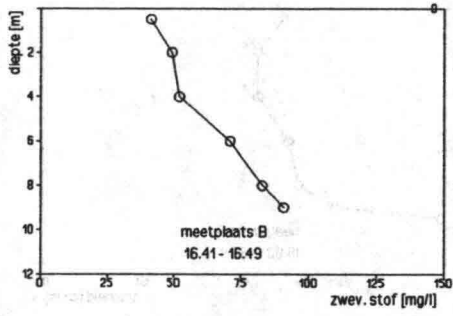
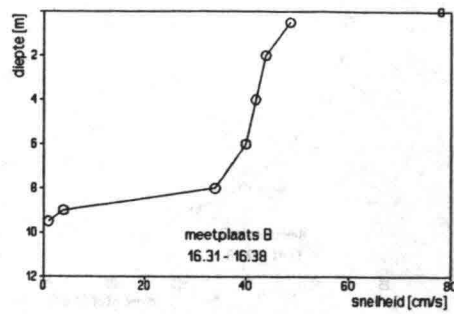
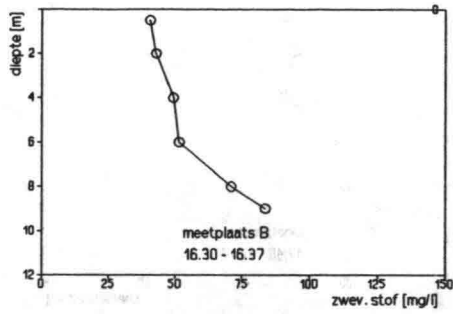
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
 Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt B.



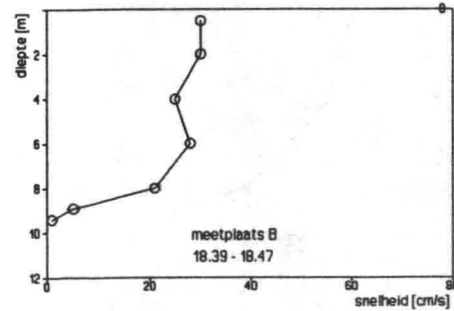
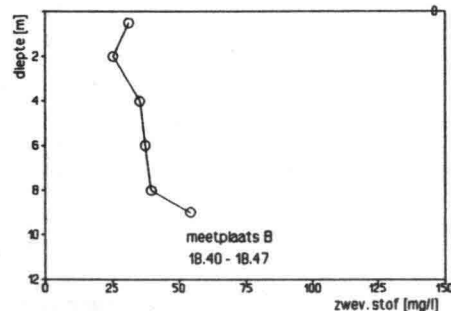
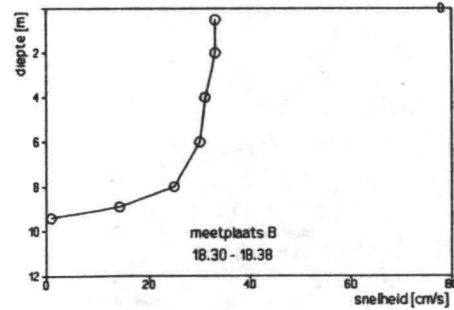
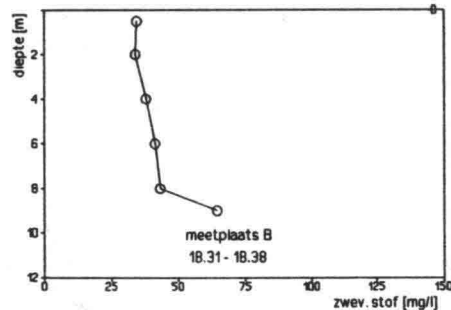
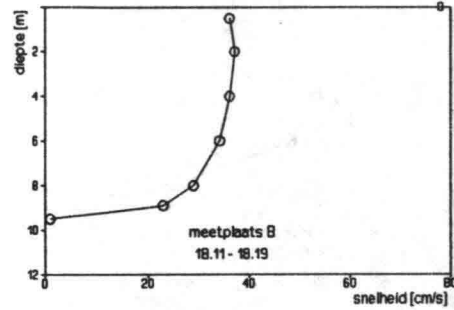
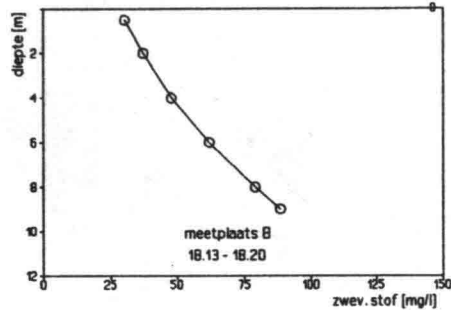
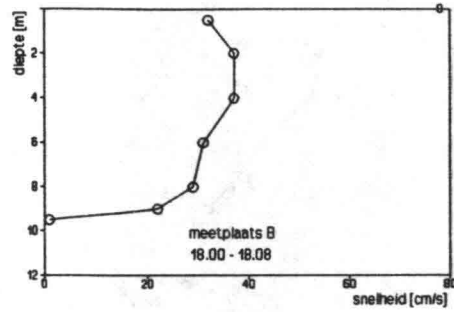
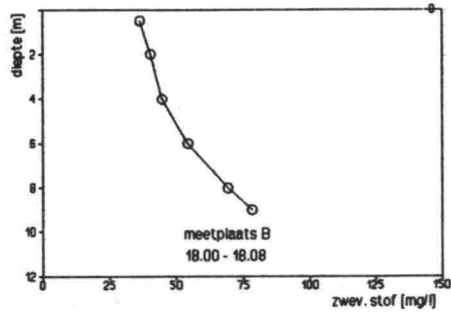
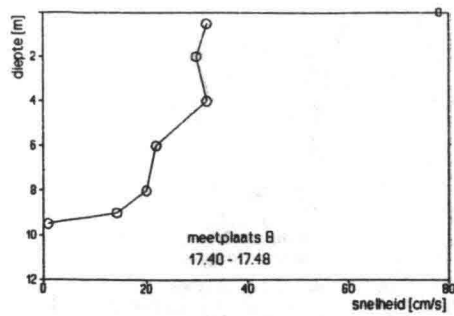
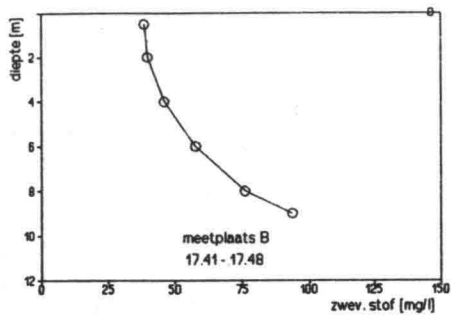
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt B.



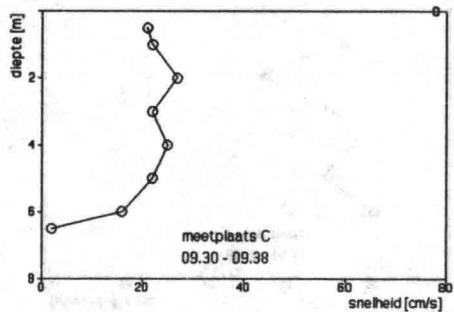
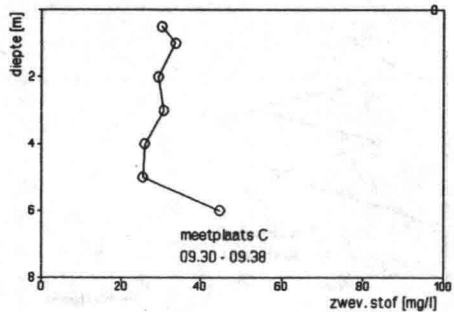
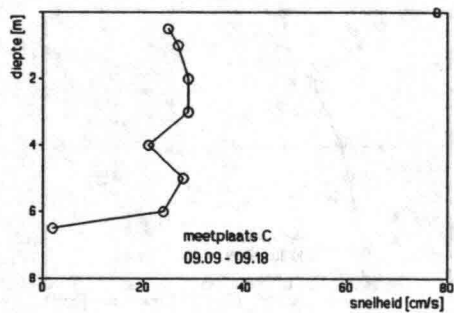
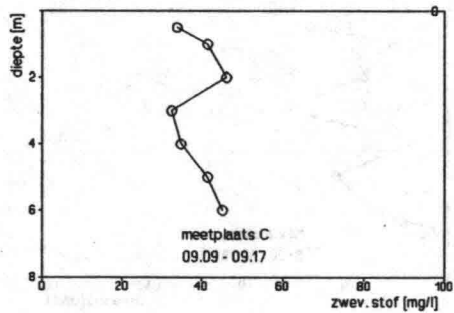
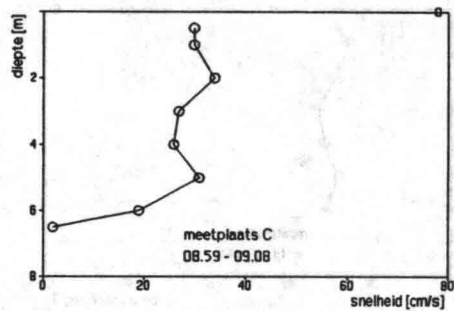
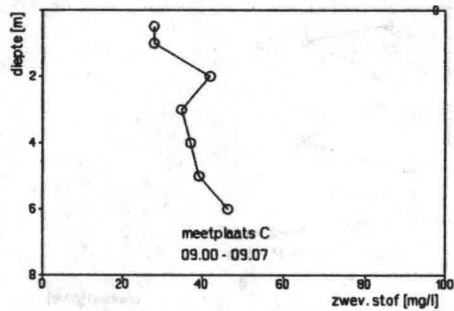
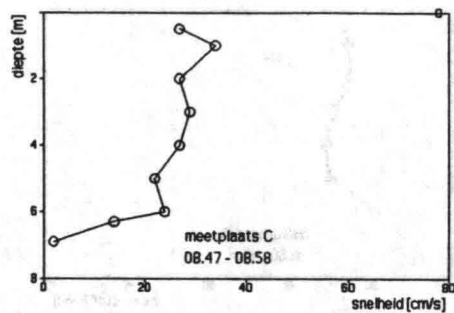
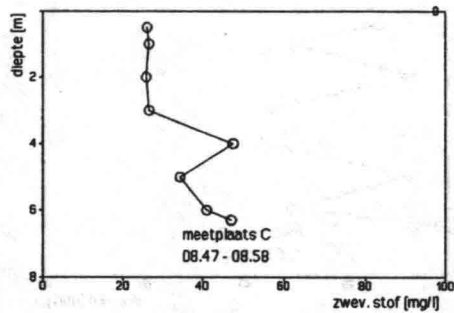
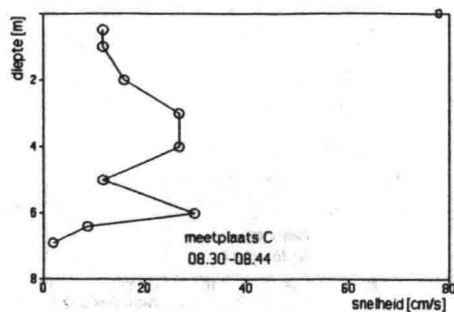
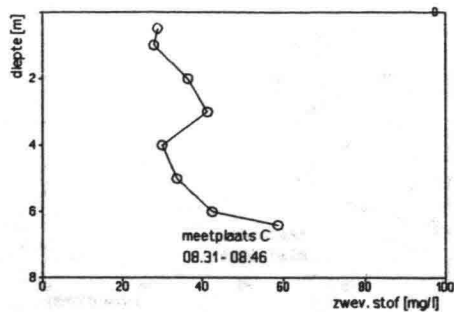
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
 Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt B.



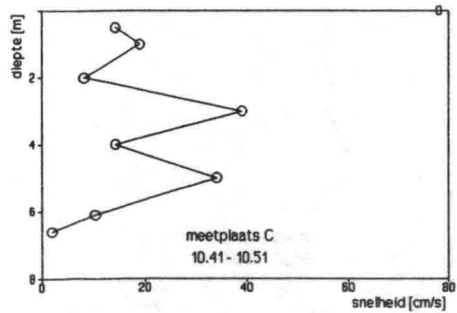
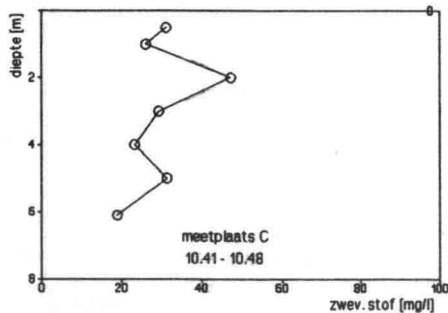
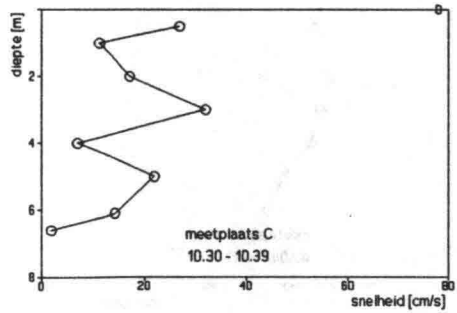
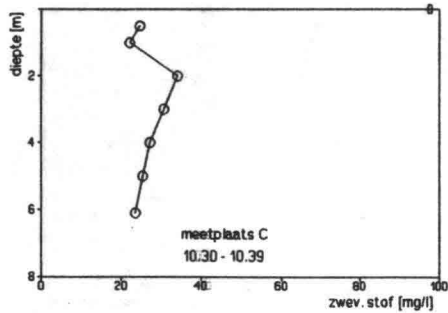
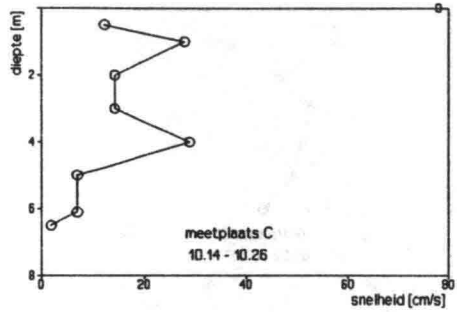
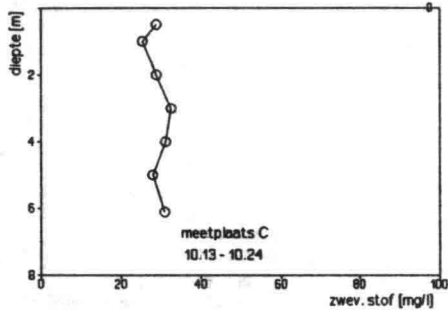
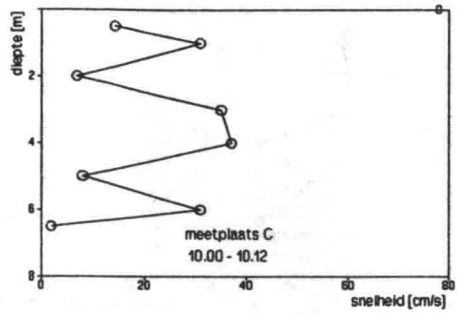
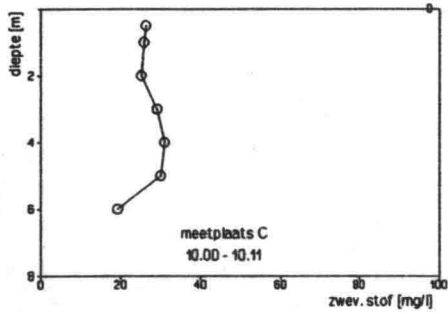
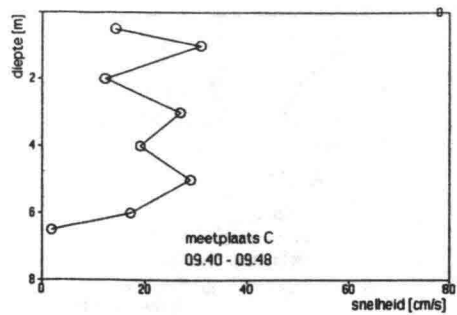
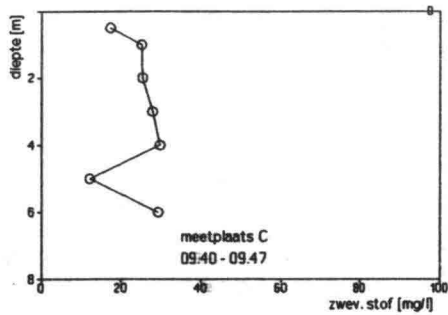
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
 Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt B.



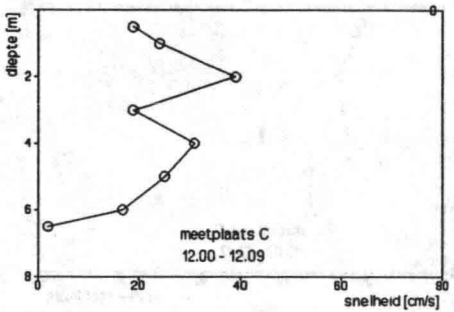
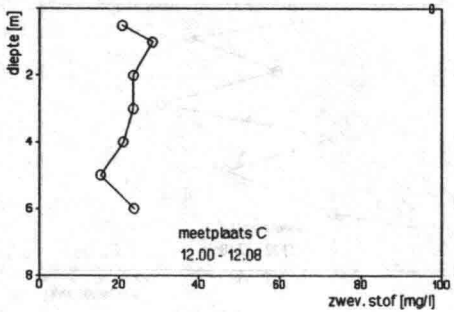
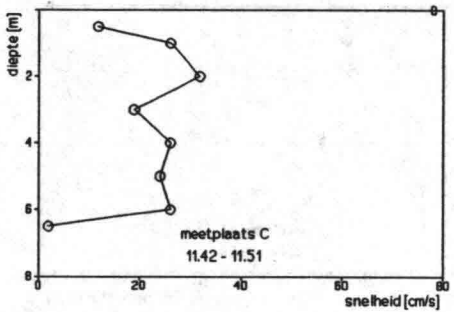
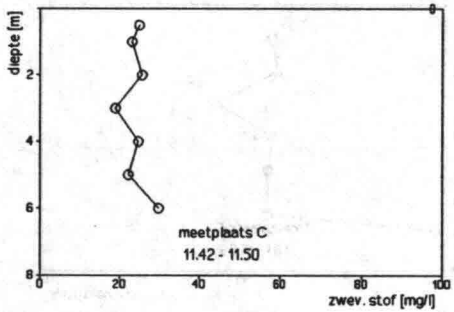
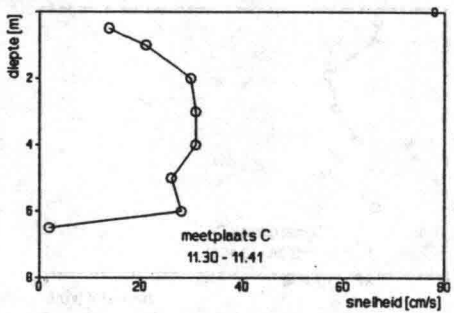
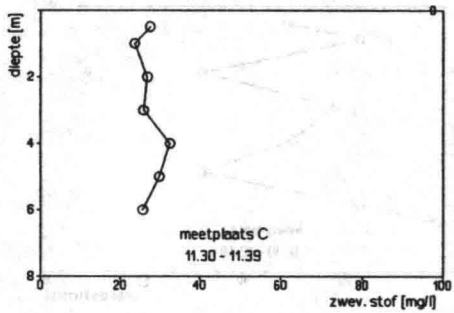
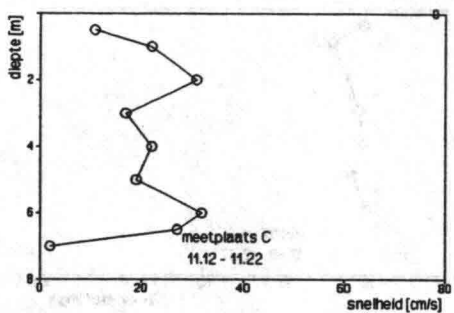
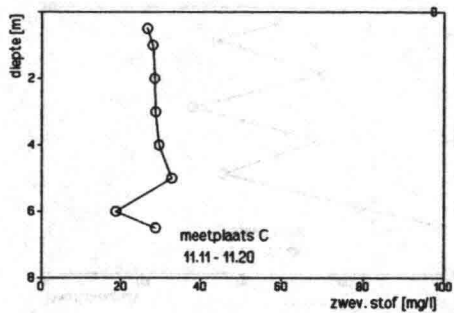
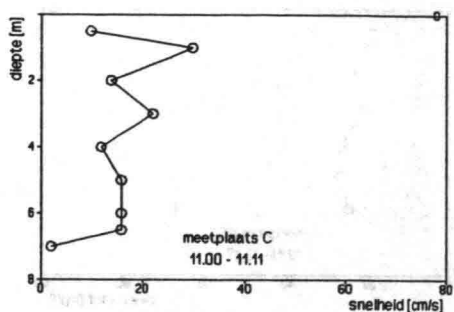
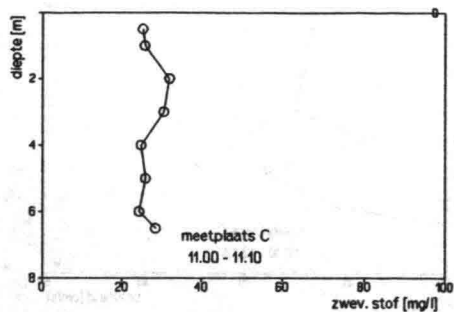
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt B.



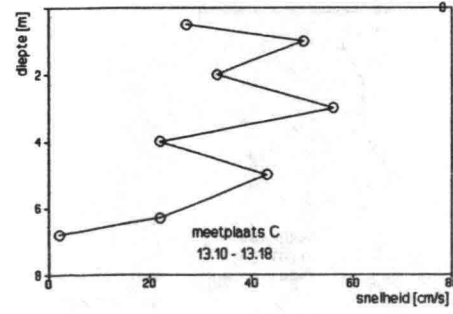
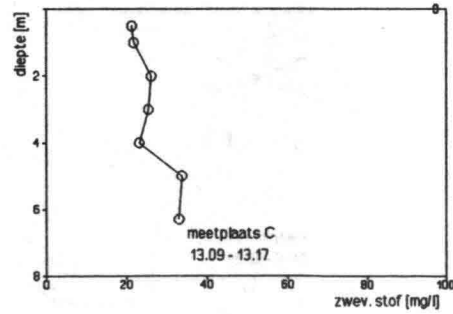
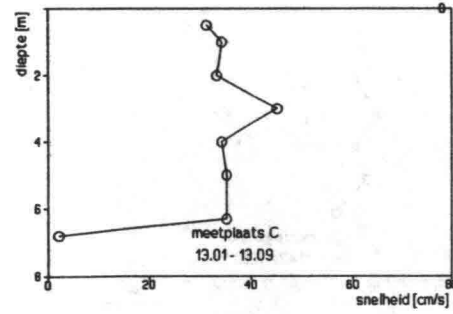
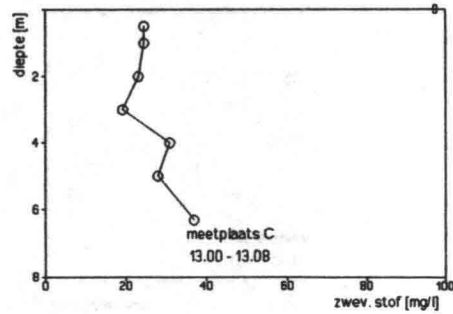
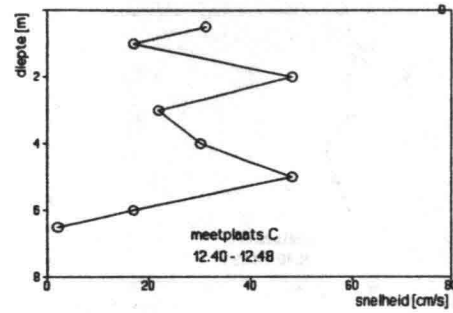
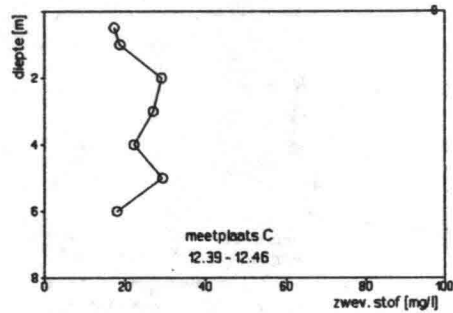
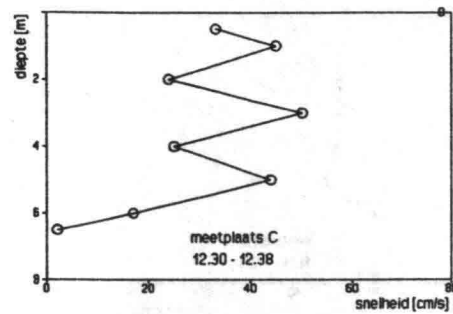
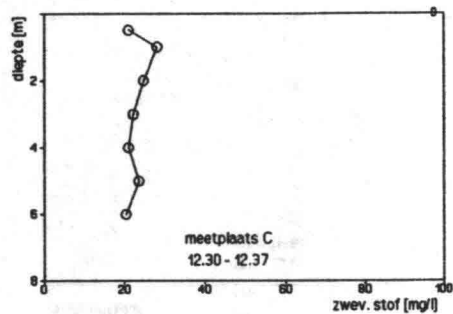
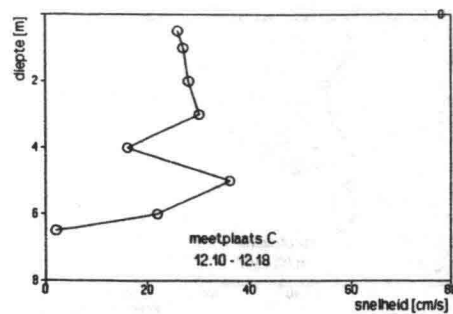
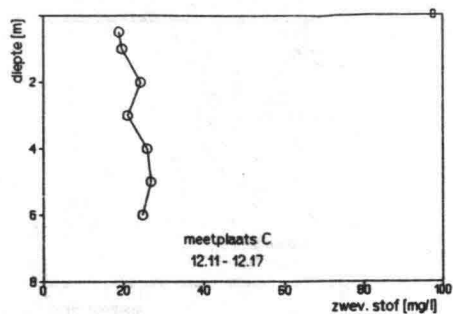
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt C.



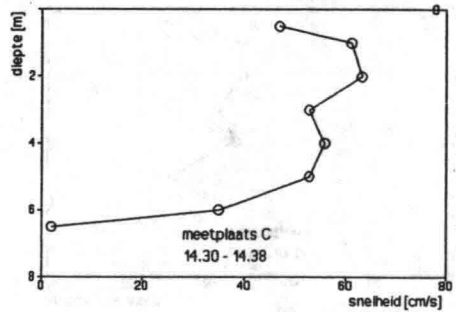
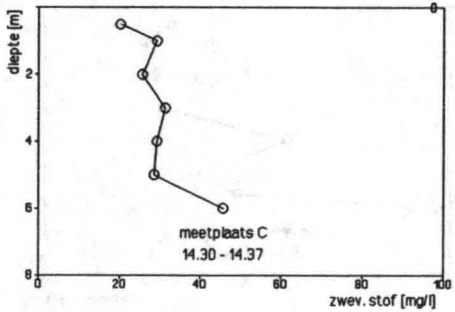
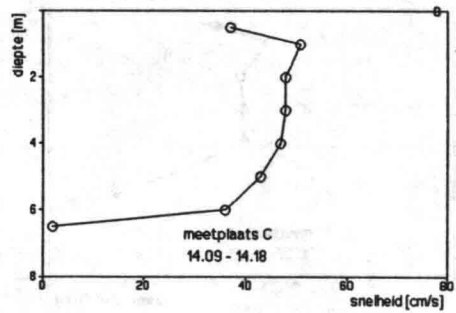
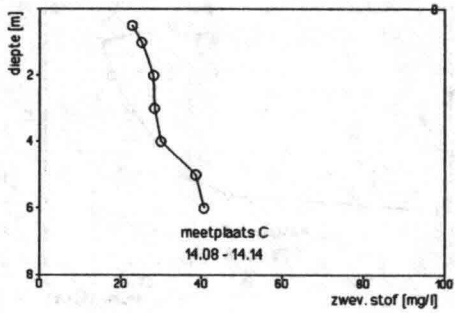
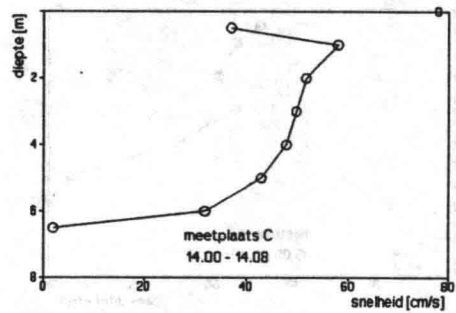
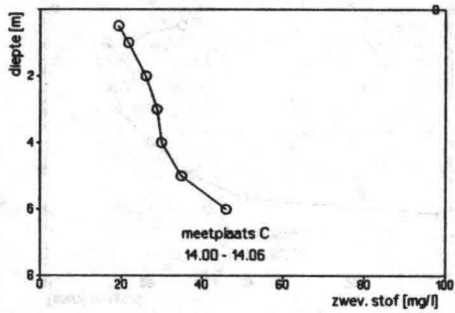
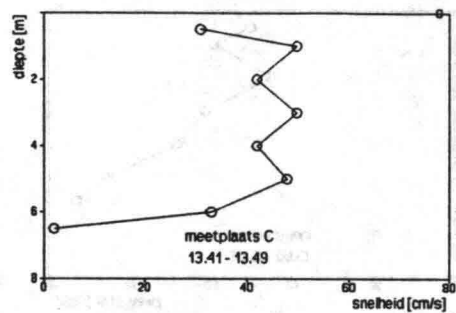
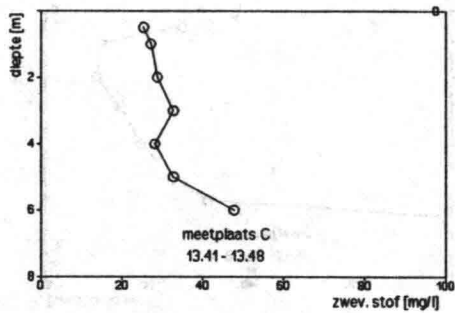
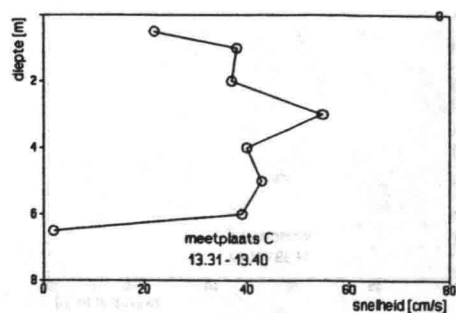
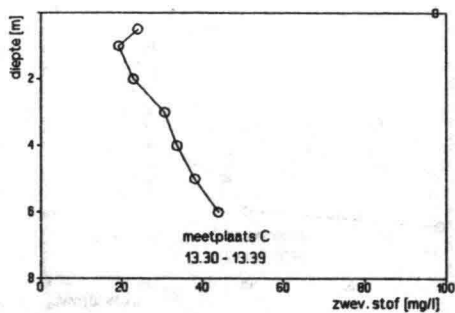
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt C.



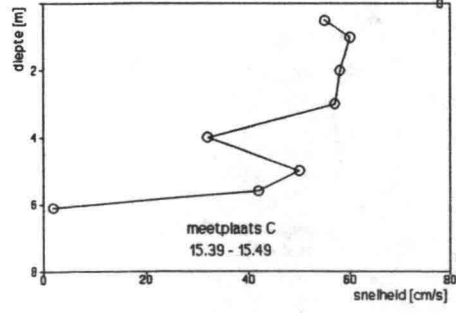
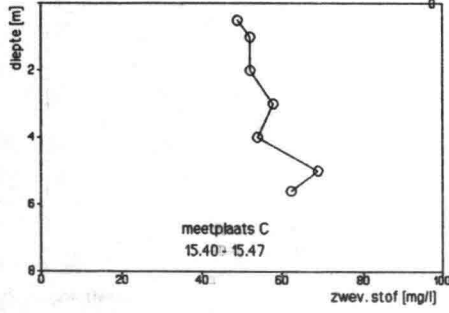
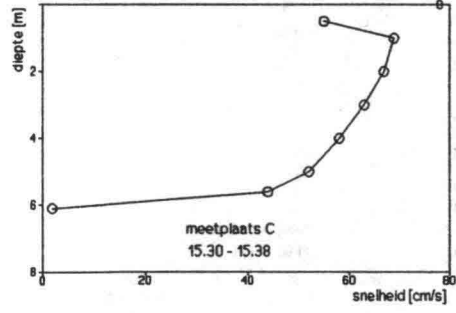
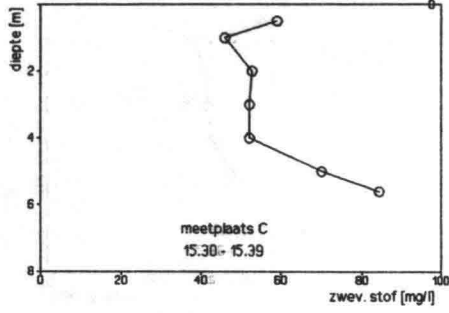
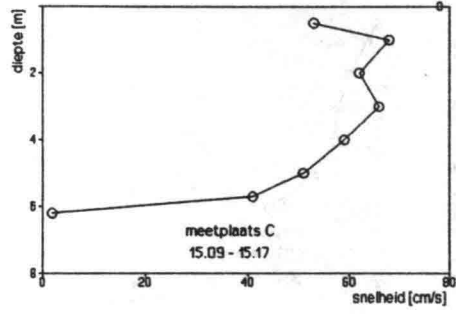
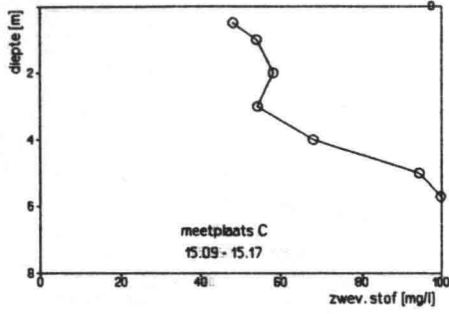
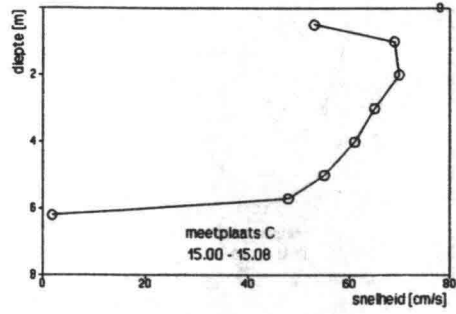
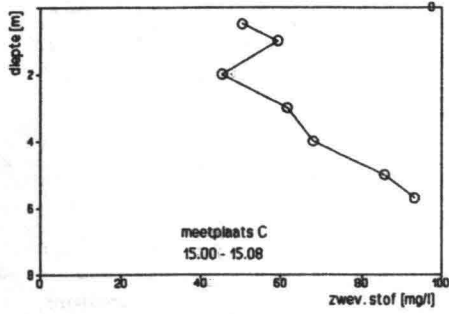
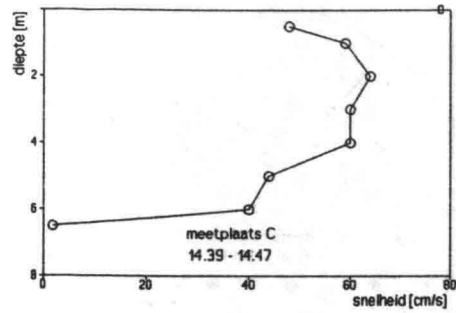
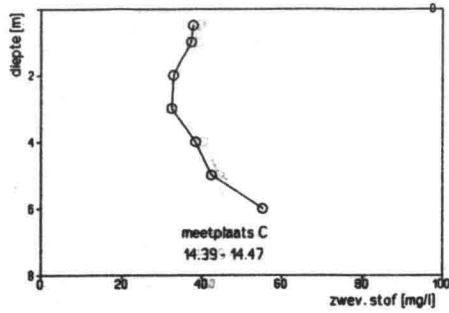
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
 Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt C.



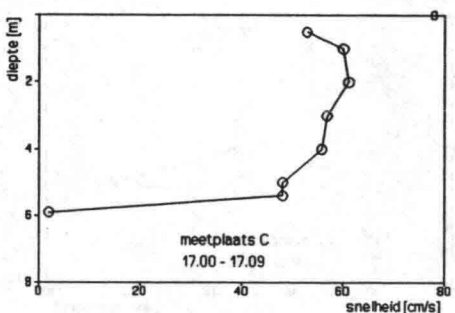
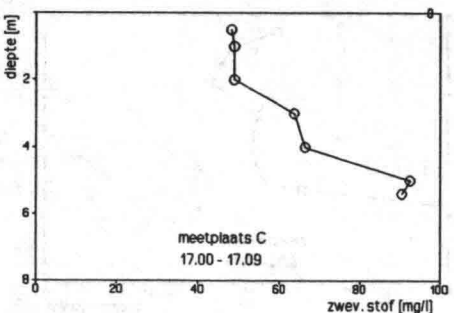
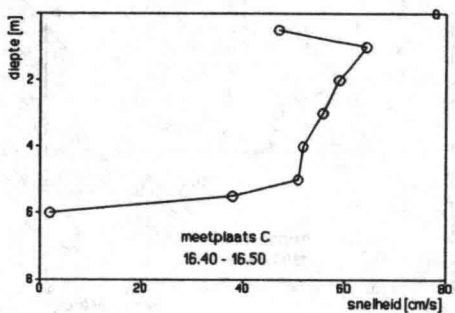
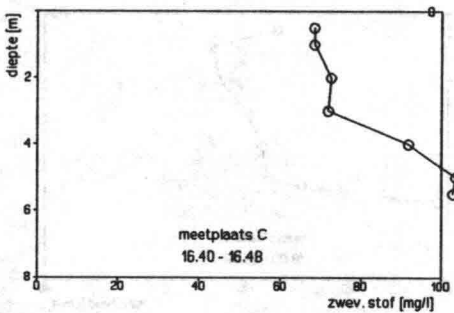
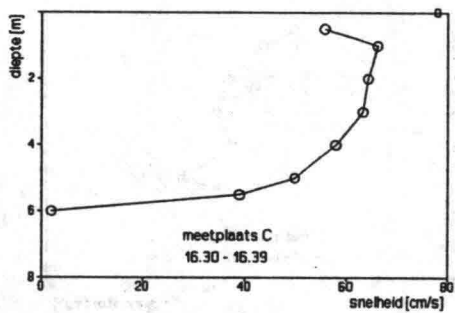
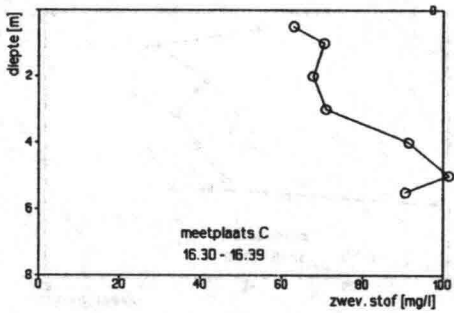
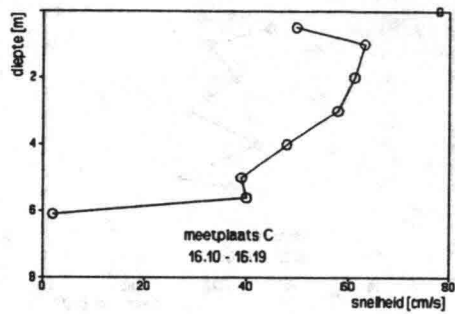
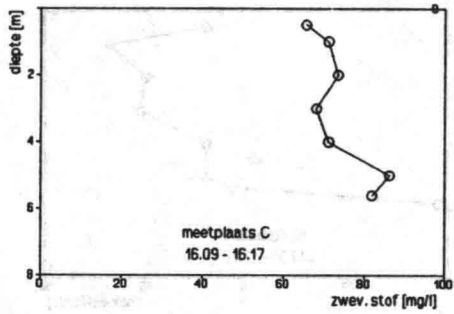
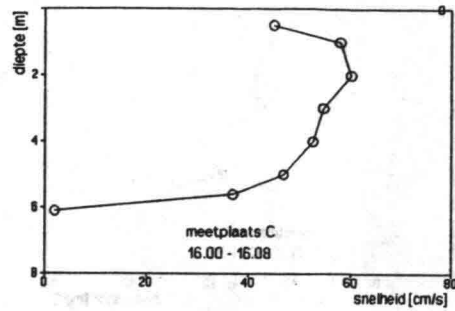
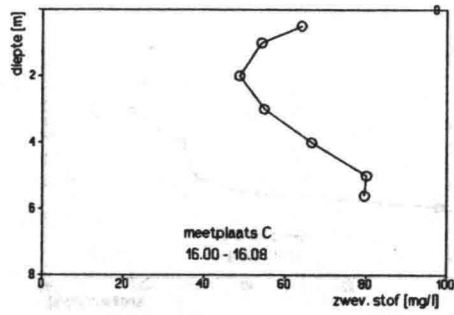
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt C.



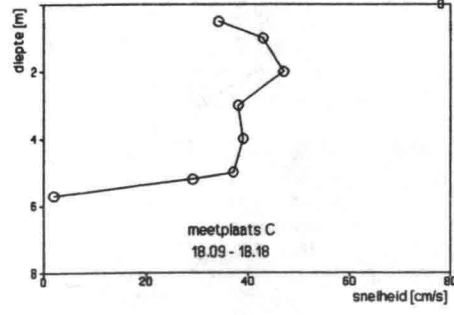
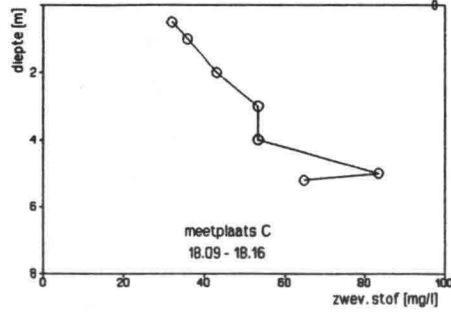
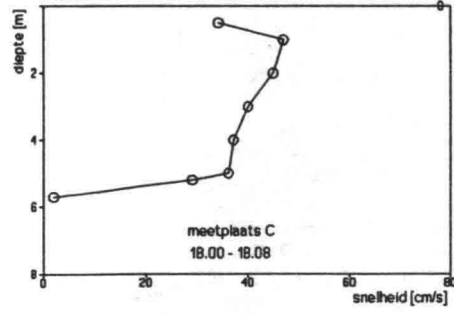
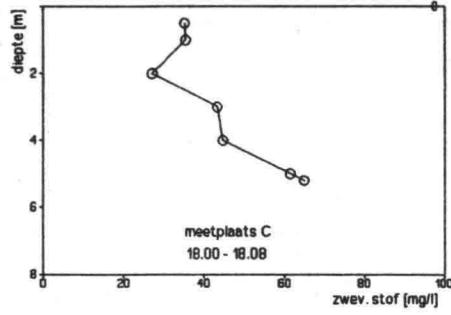
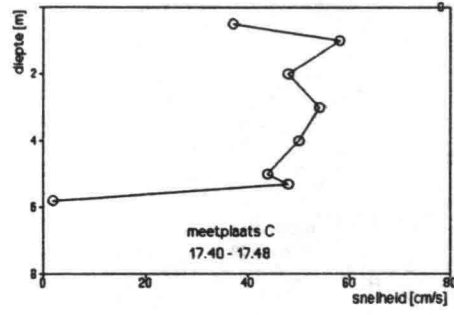
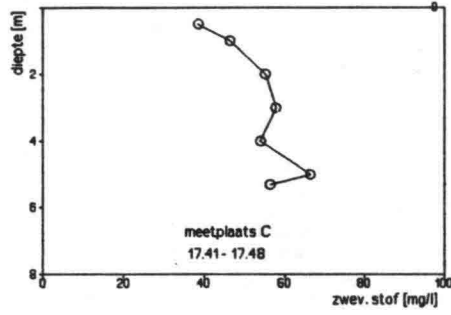
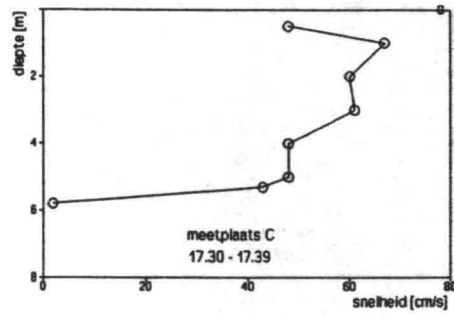
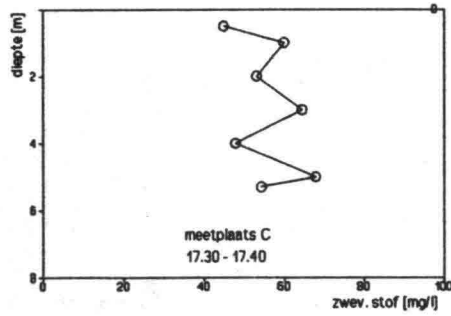
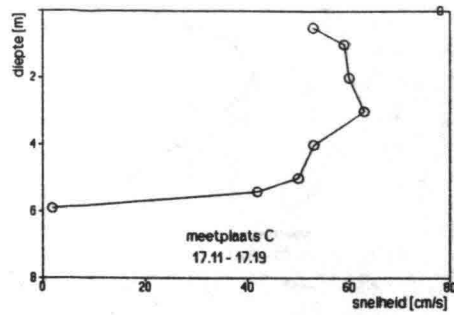
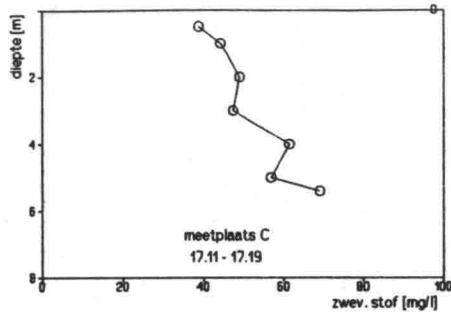
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt C.



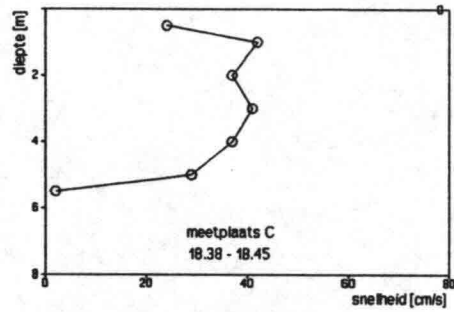
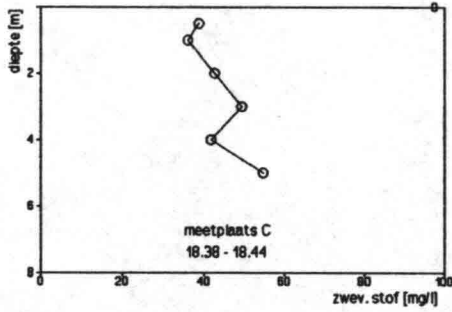
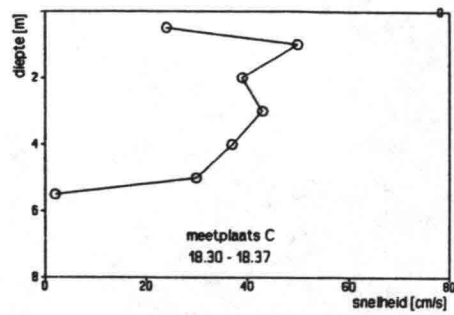
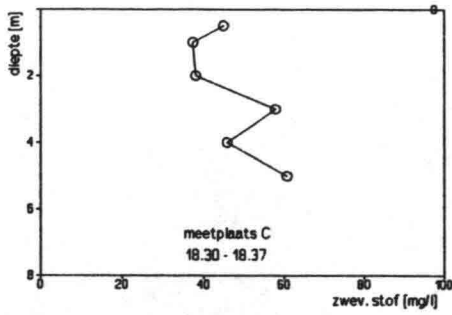
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt C.



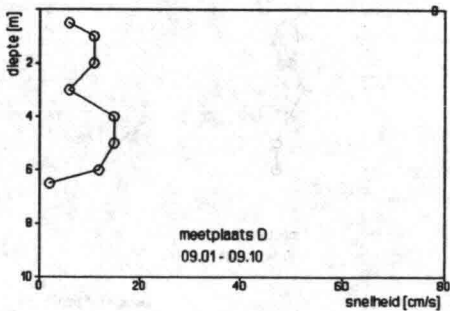
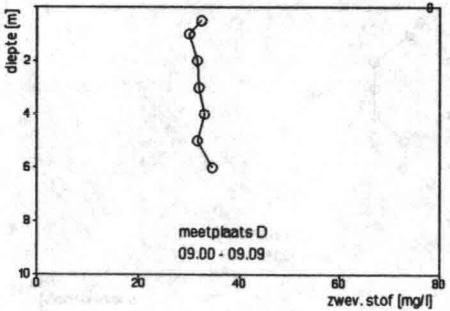
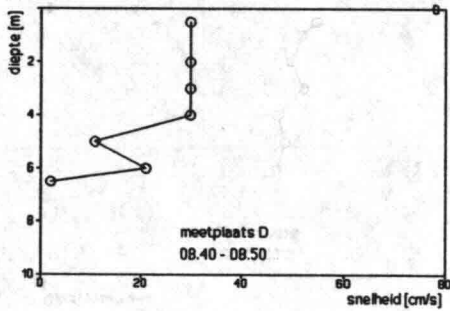
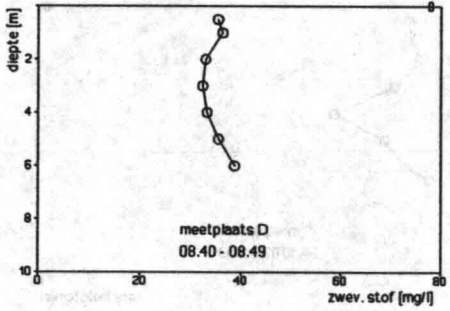
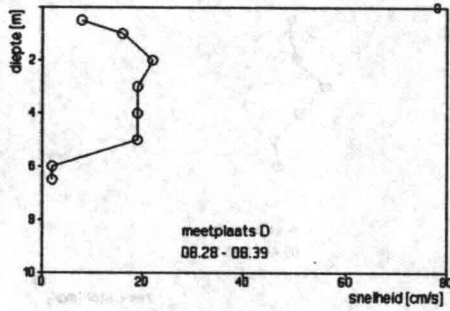
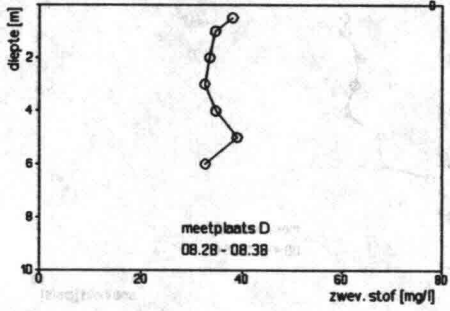
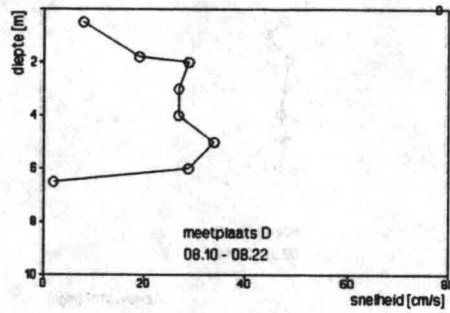
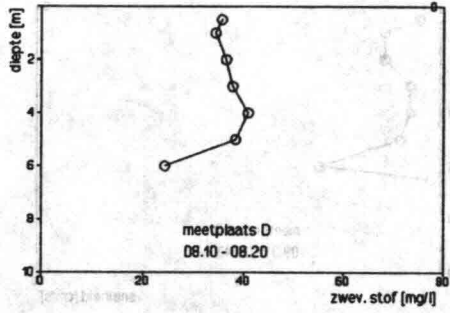
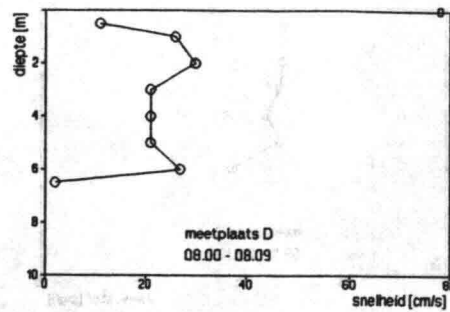
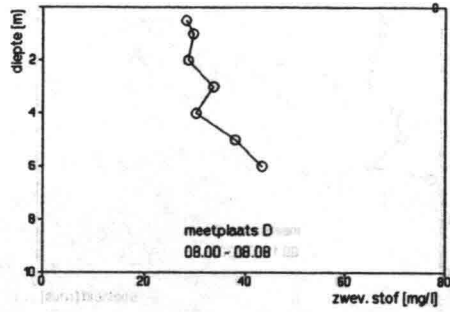
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt C.



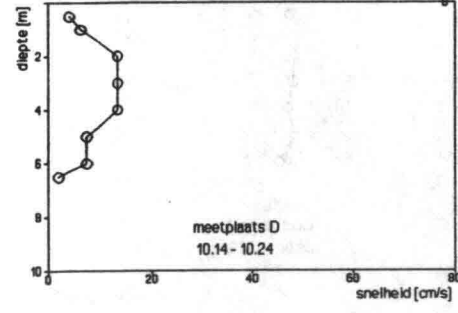
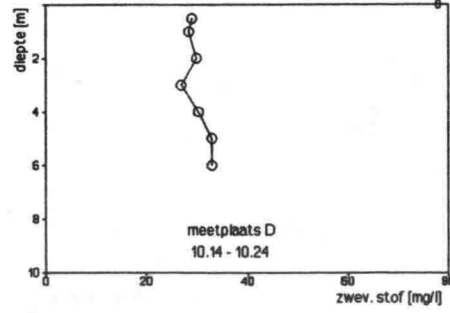
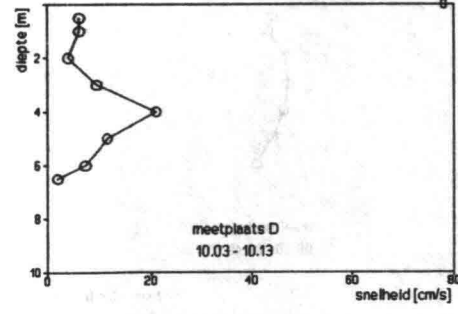
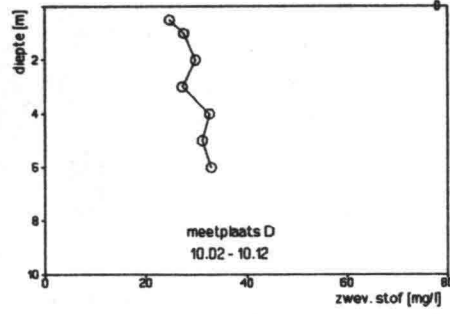
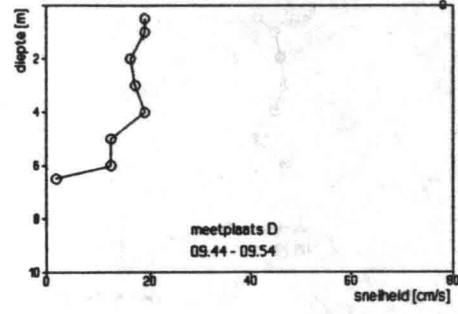
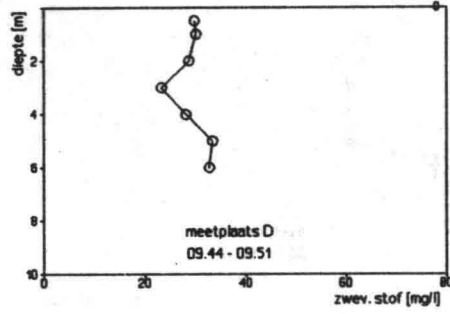
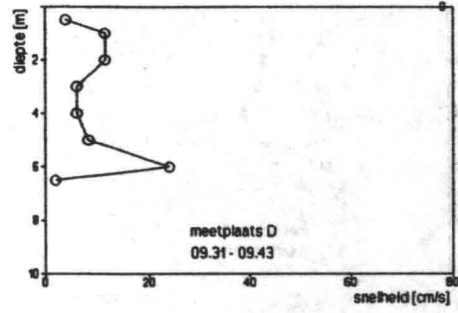
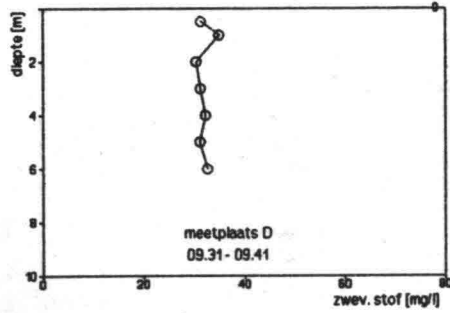
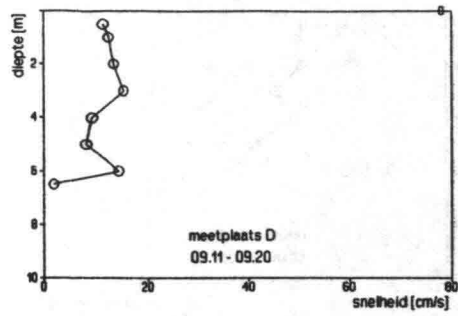
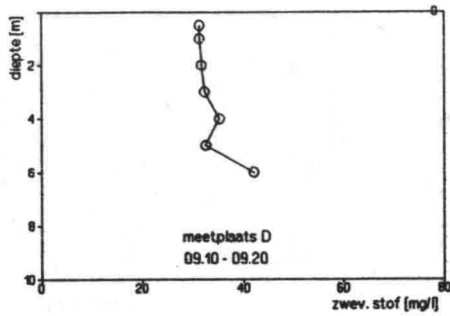
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt C.



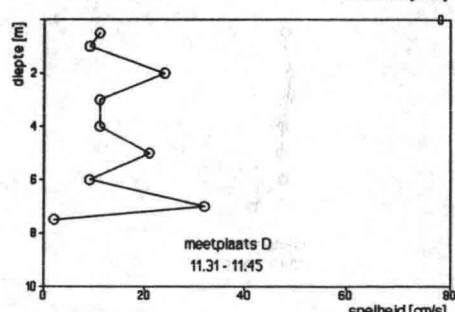
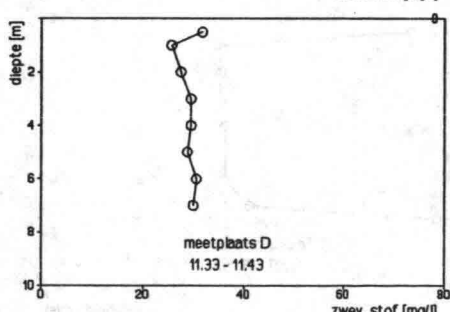
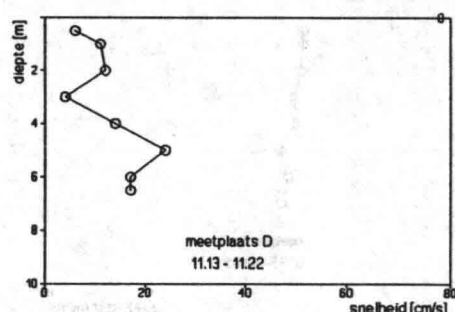
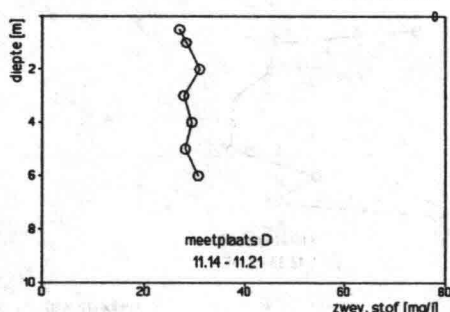
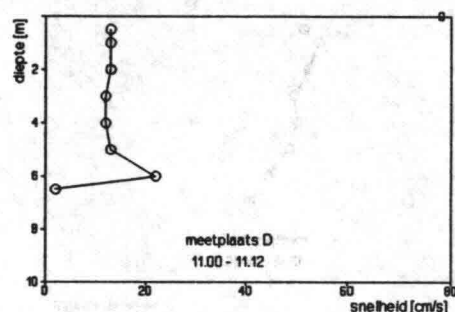
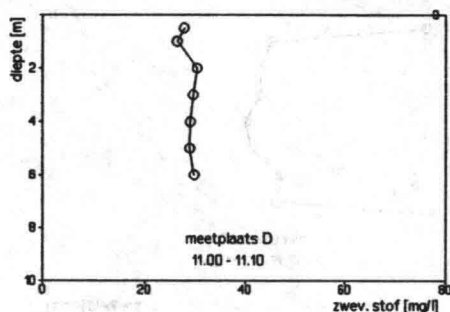
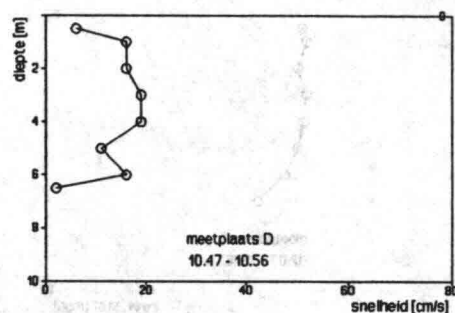
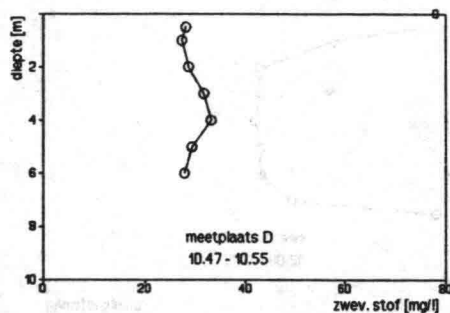
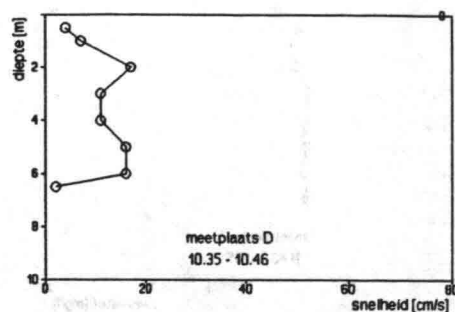
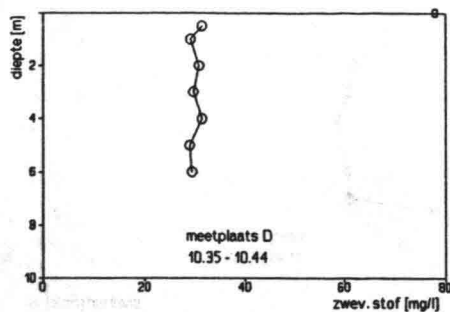
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt C.



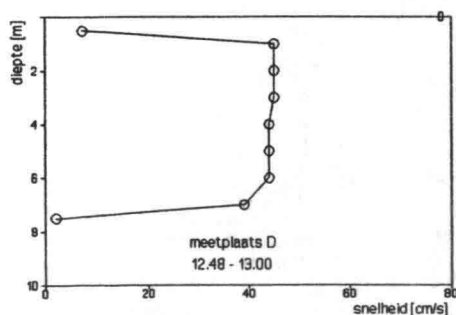
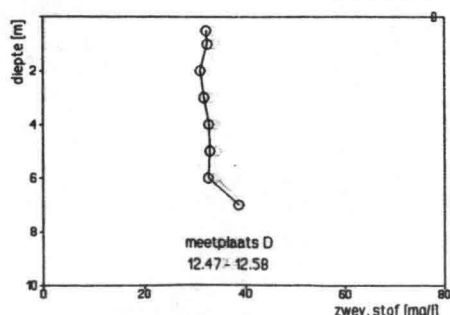
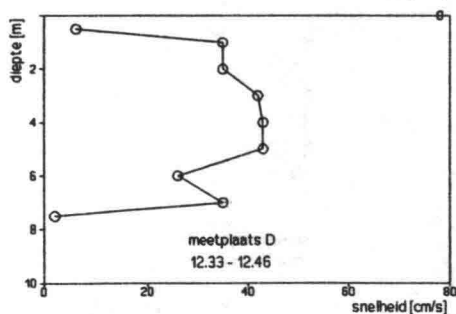
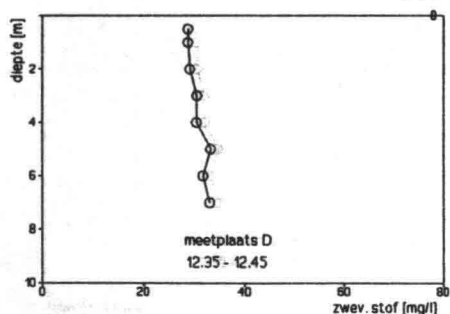
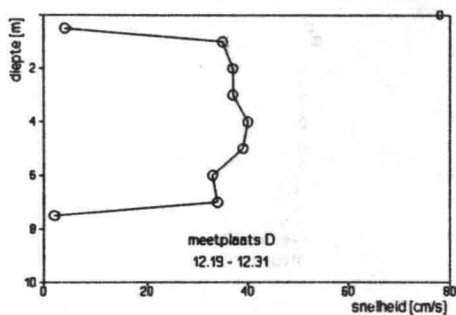
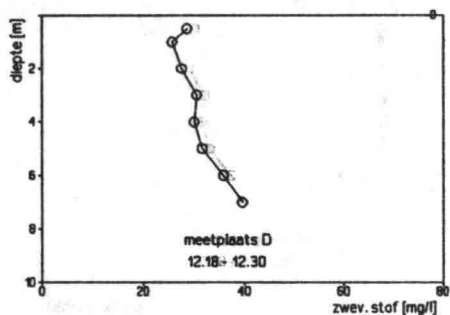
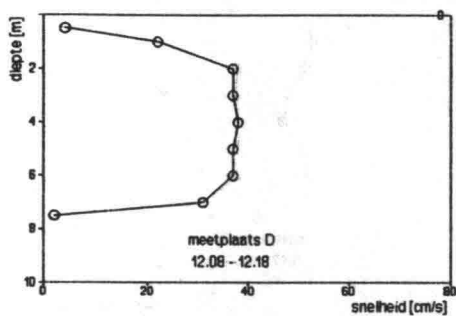
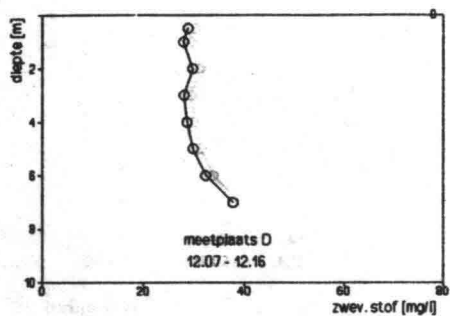
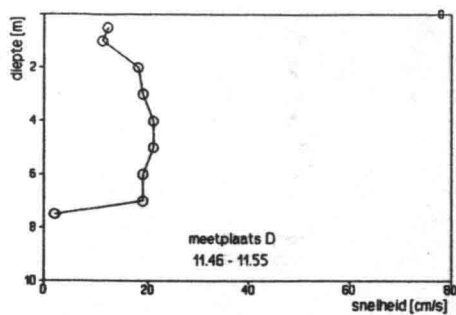
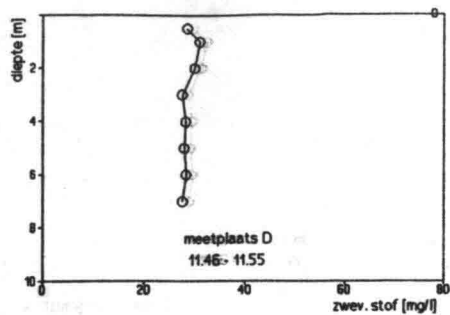
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt D.



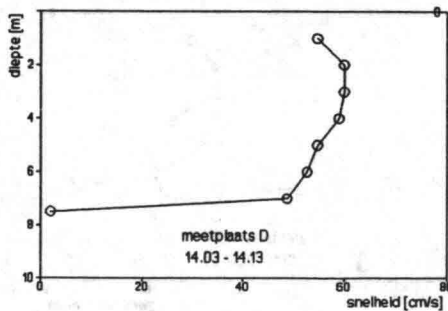
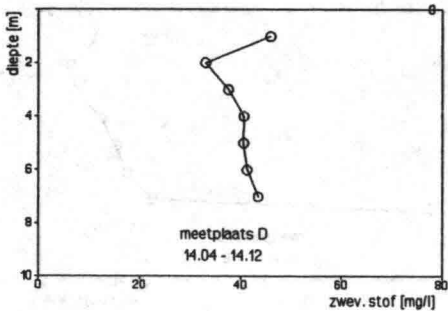
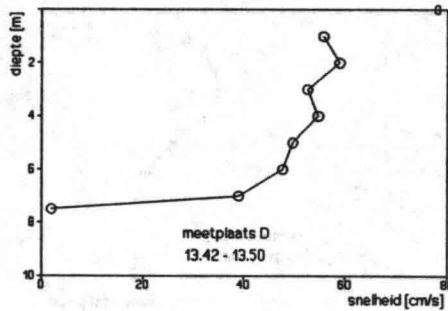
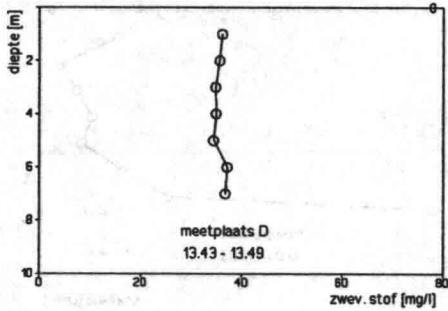
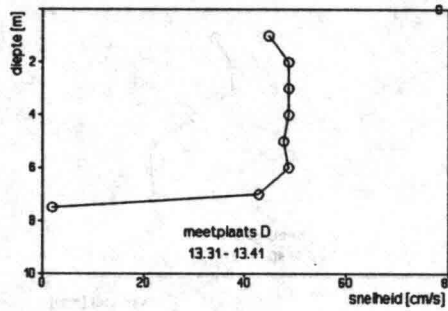
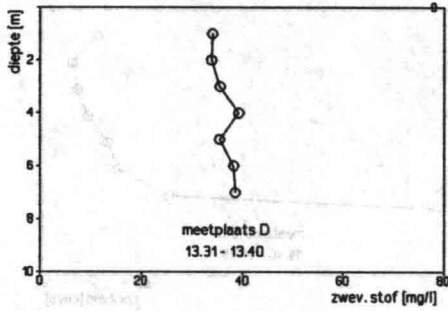
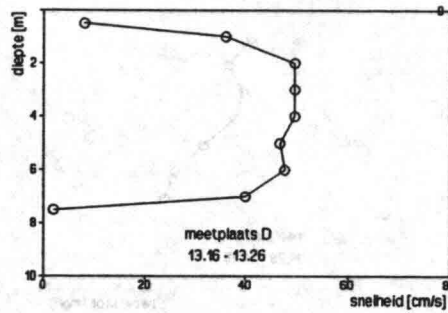
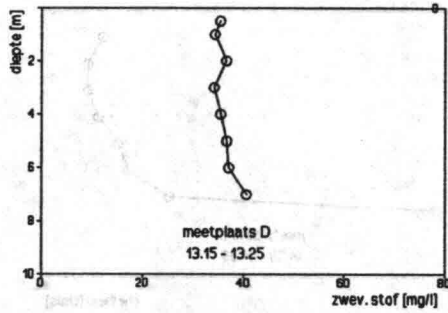
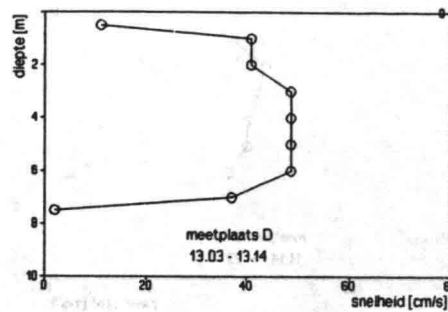
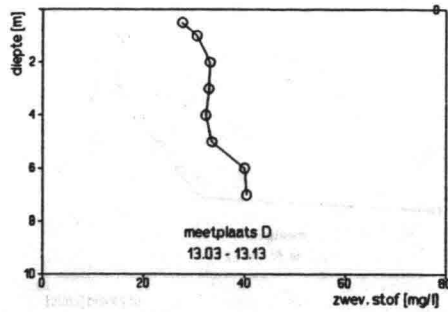
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt D.



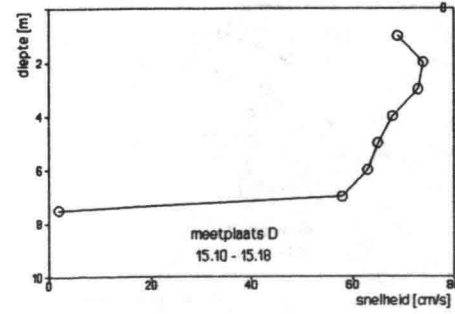
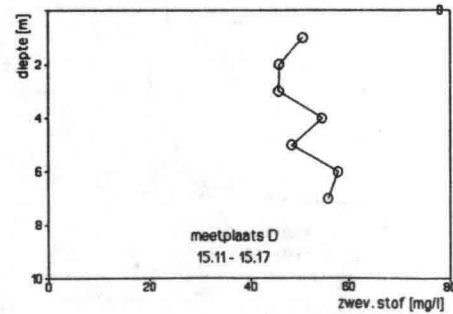
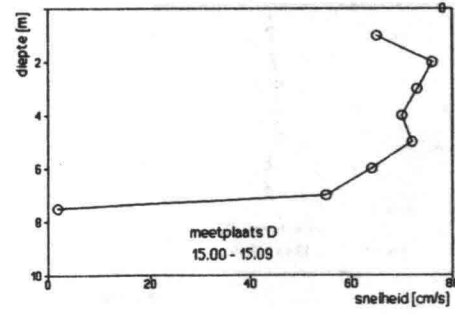
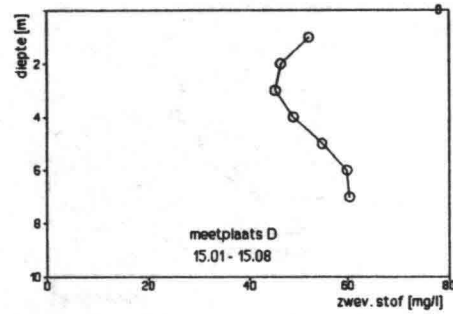
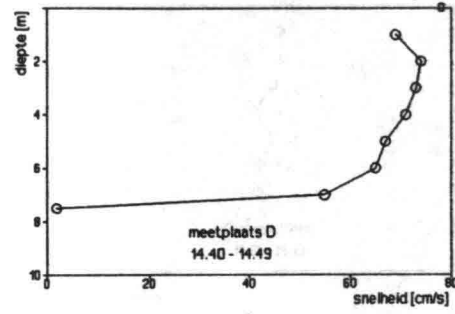
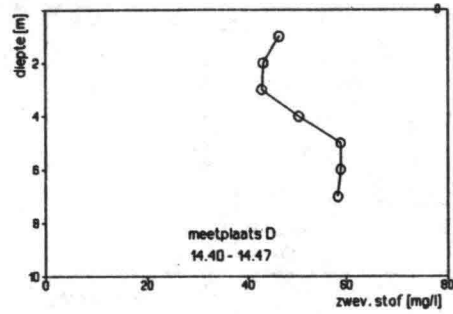
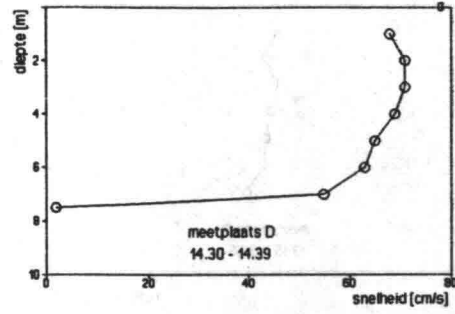
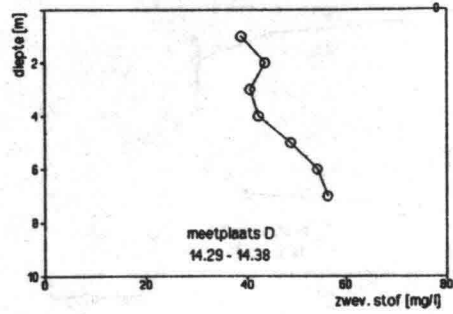
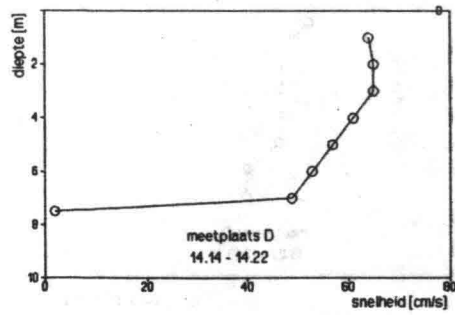
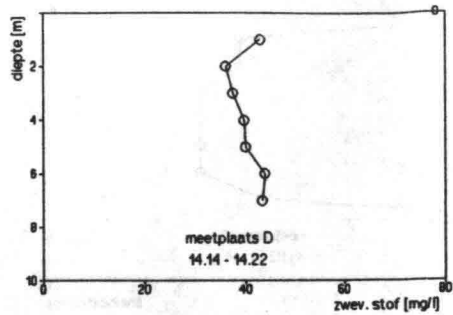
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt D.



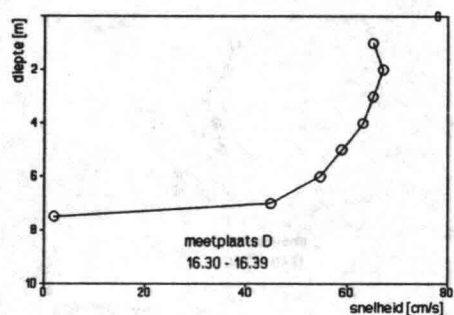
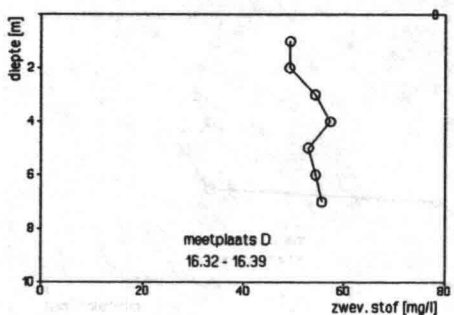
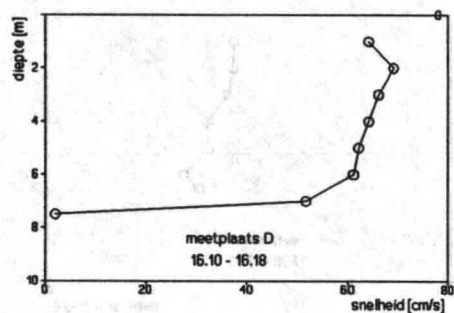
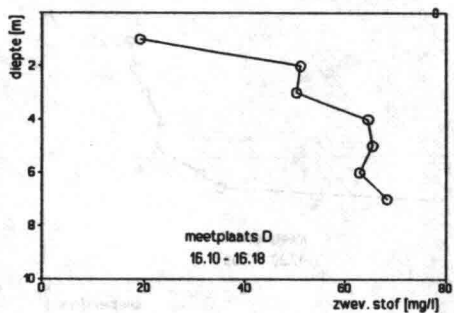
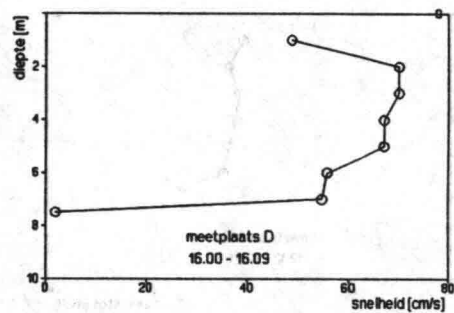
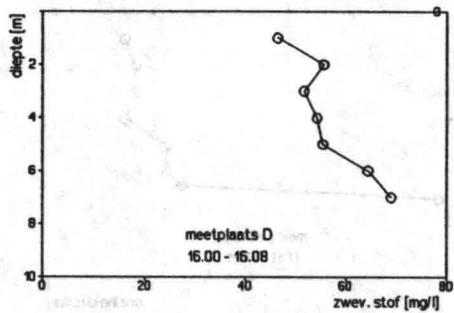
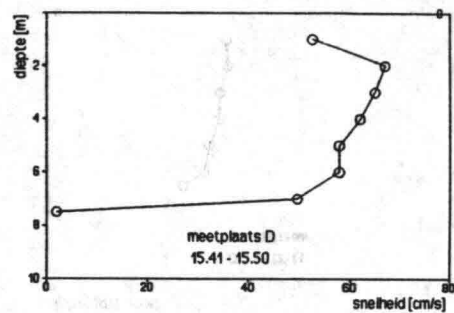
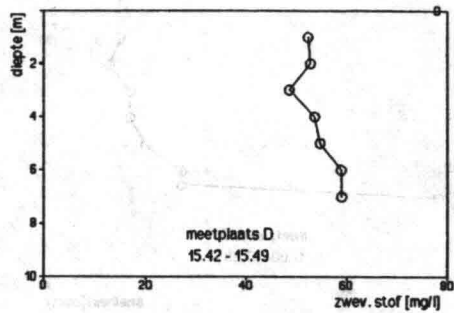
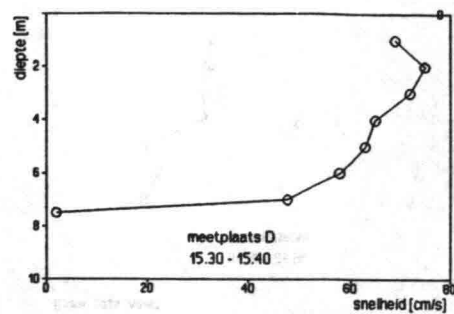
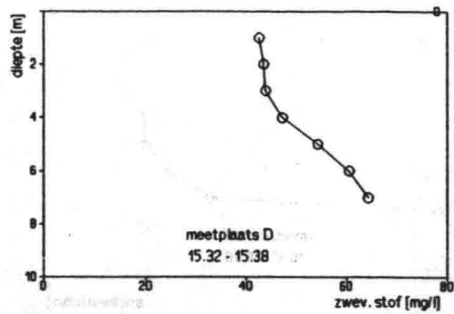
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt D.



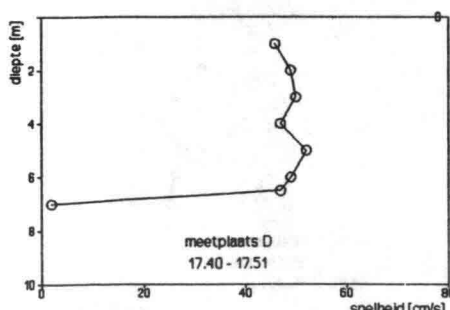
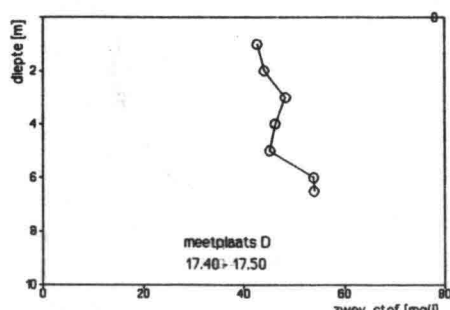
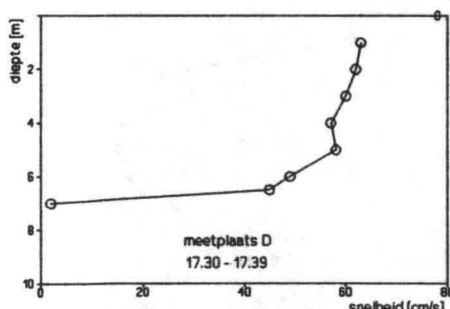
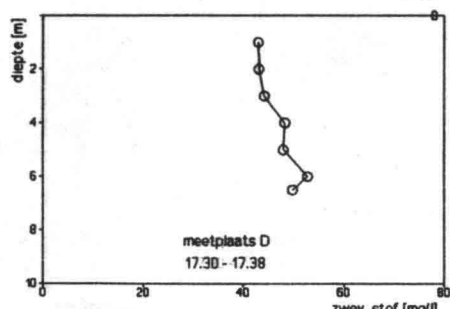
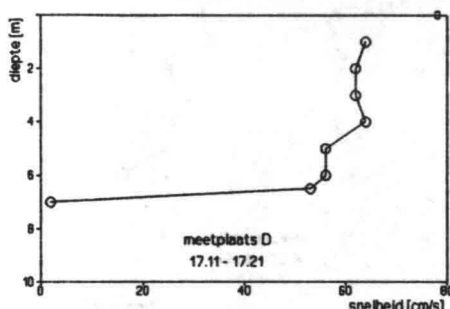
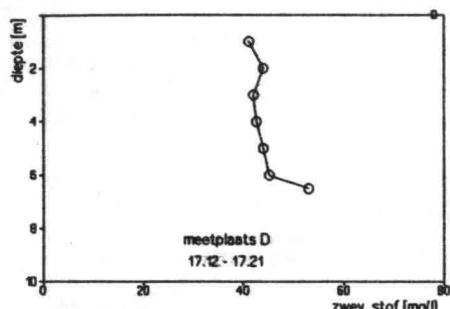
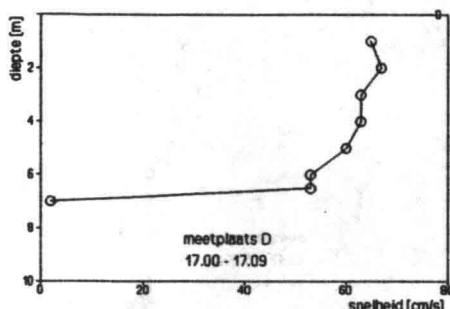
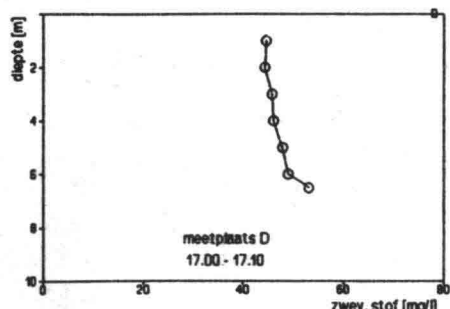
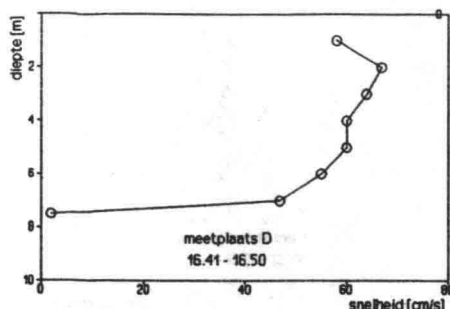
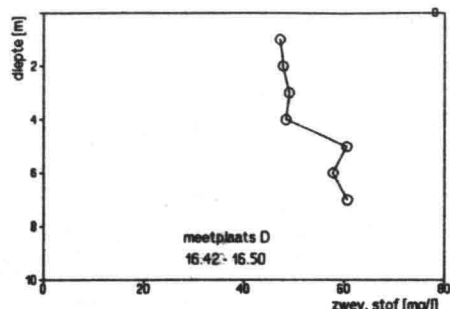
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt D.



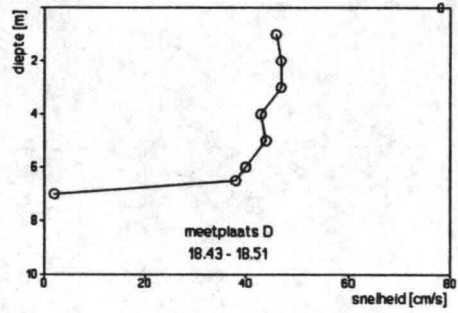
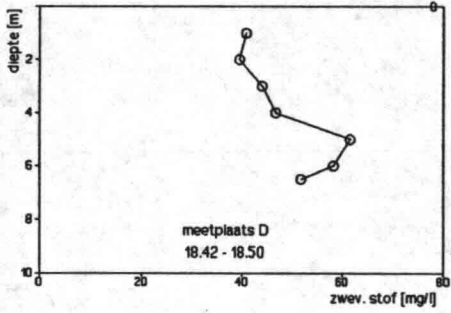
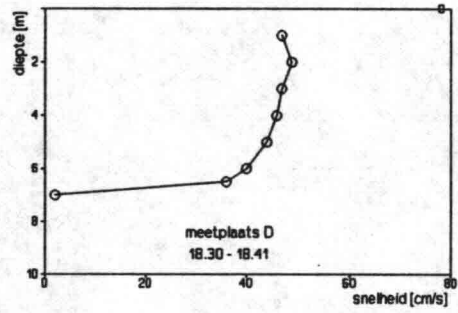
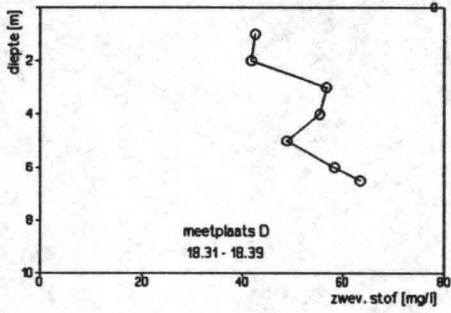
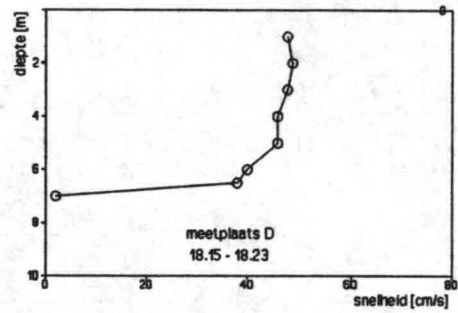
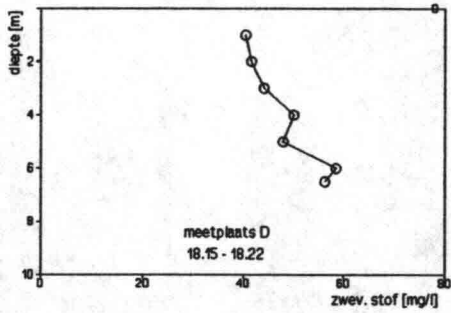
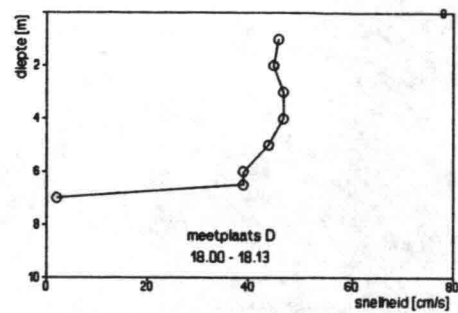
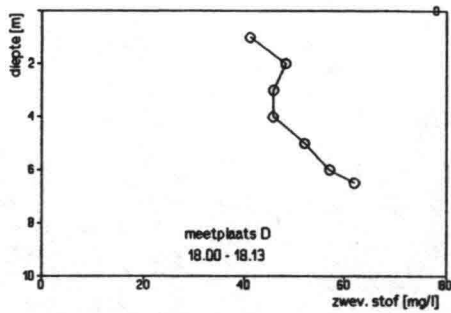
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt D.



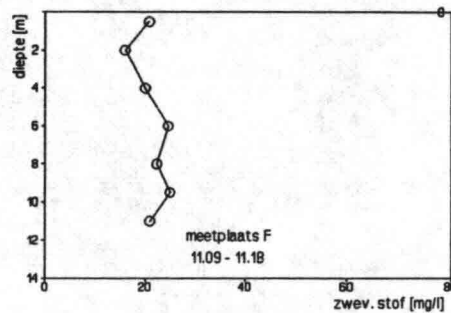
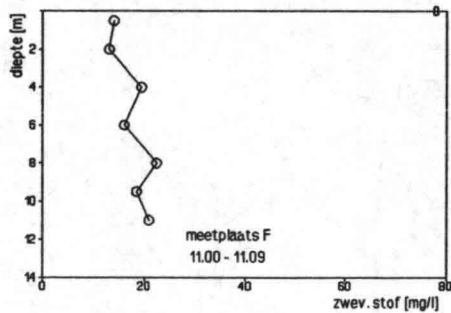
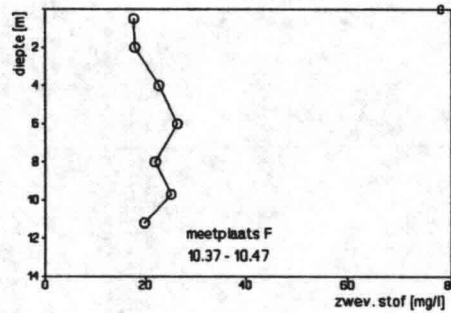
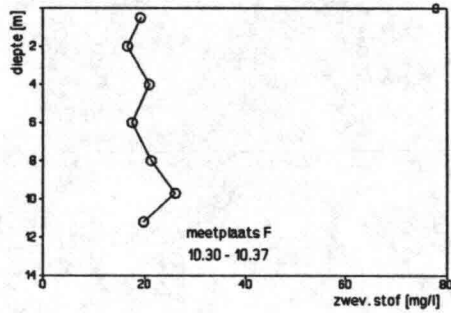
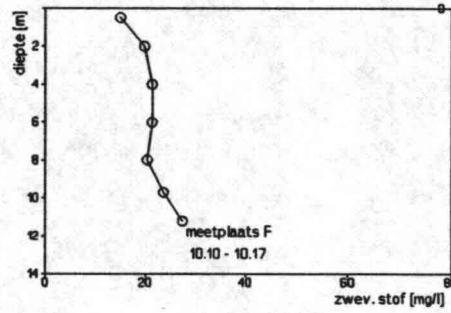
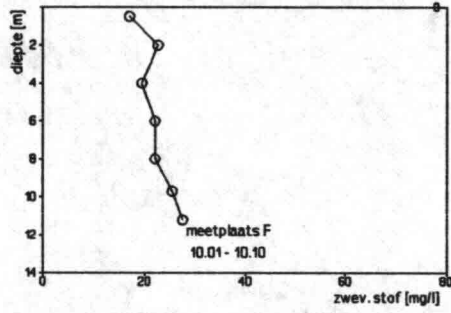
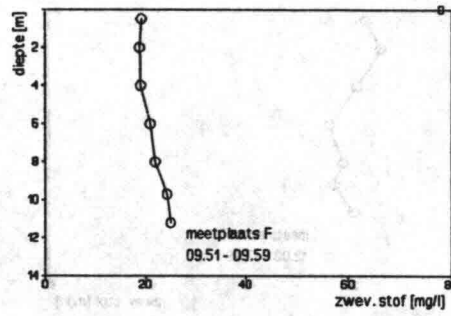
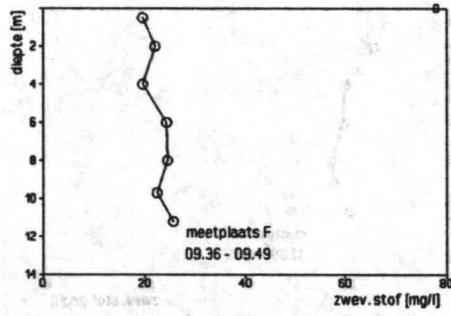
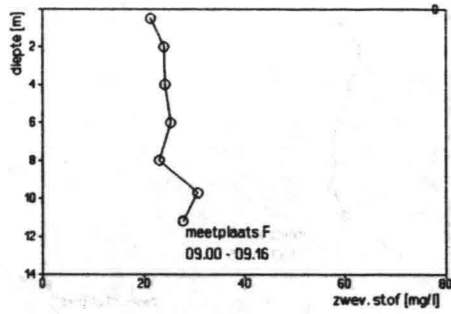
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt D.



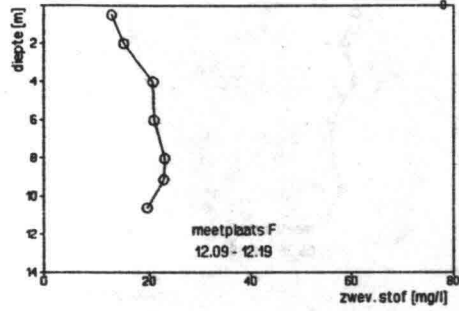
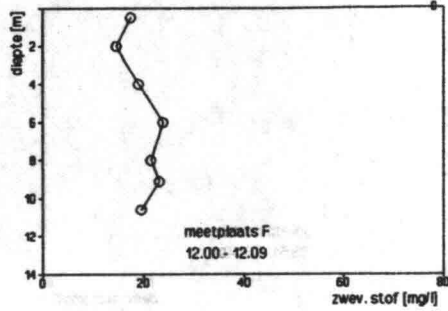
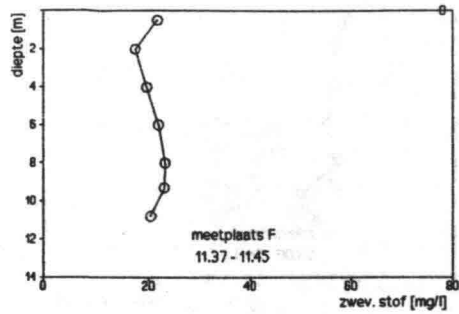
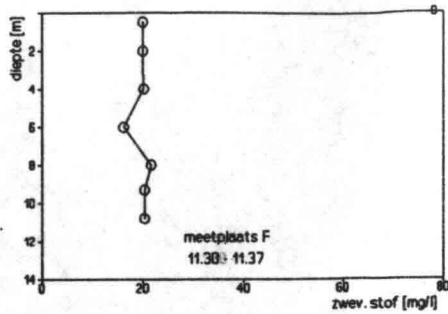
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt D.



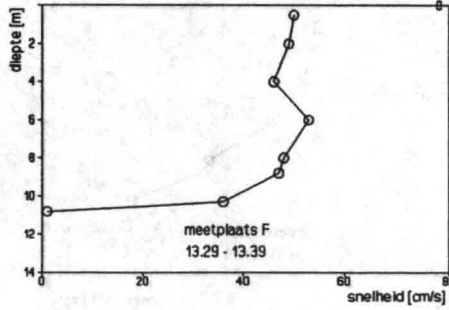
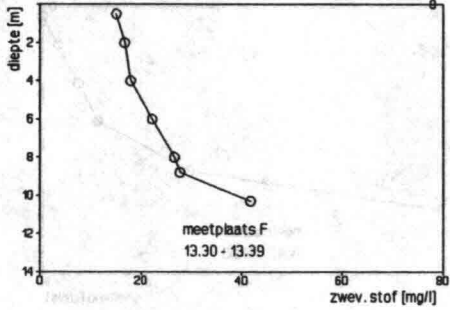
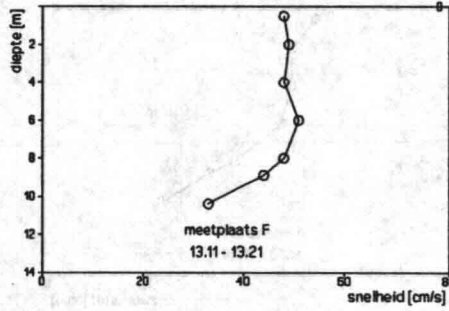
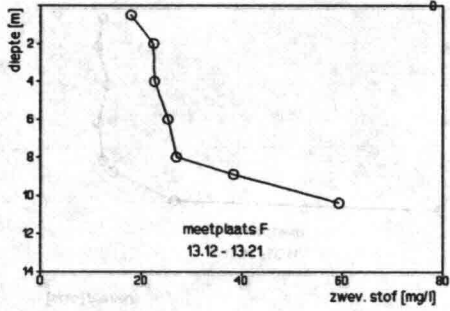
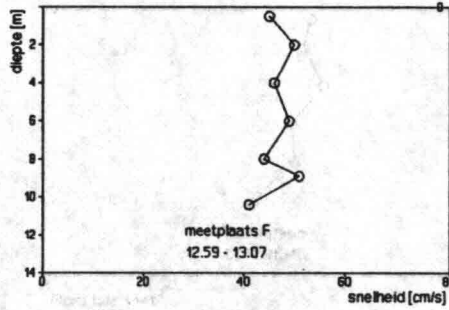
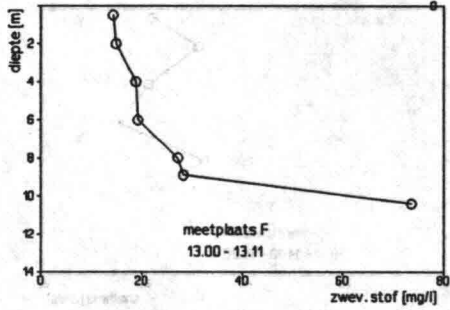
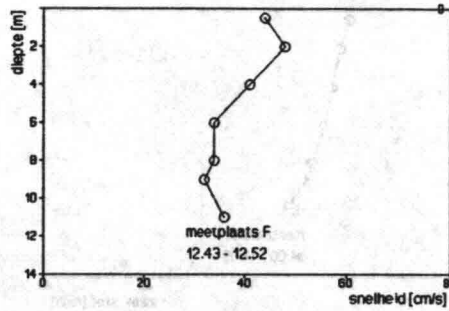
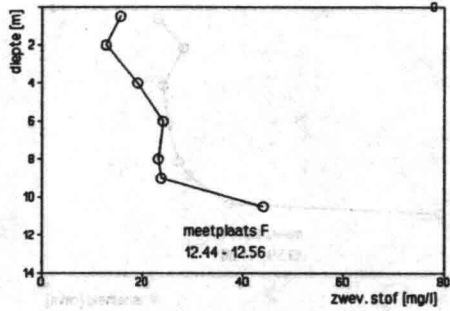
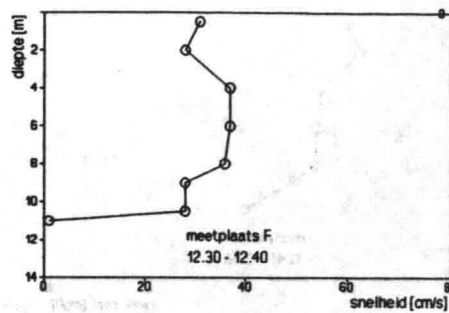
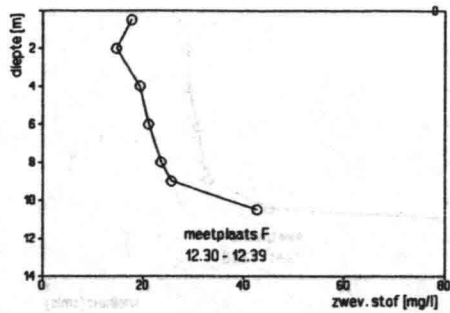
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt D.



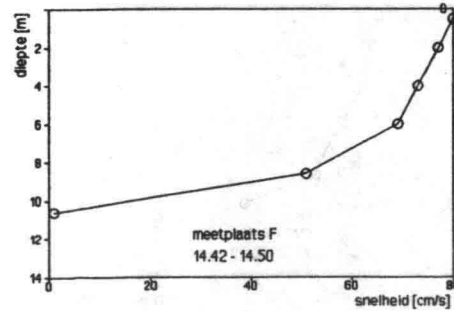
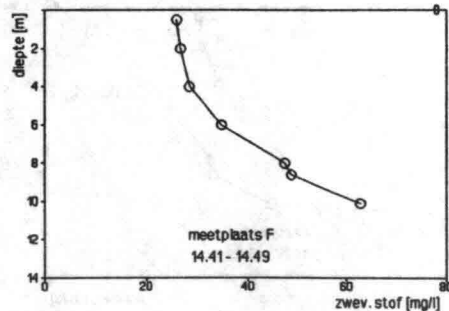
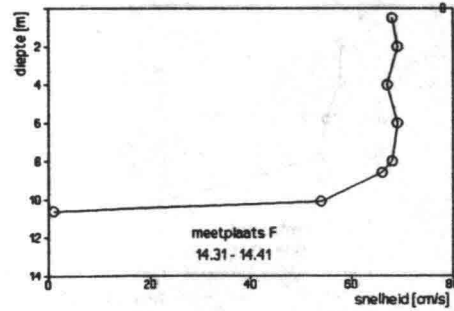
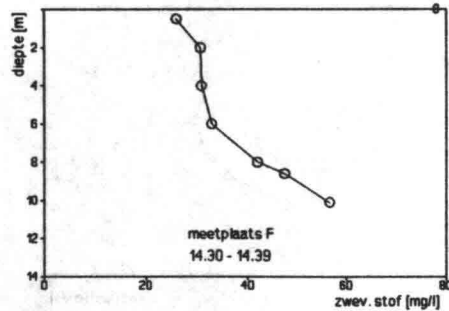
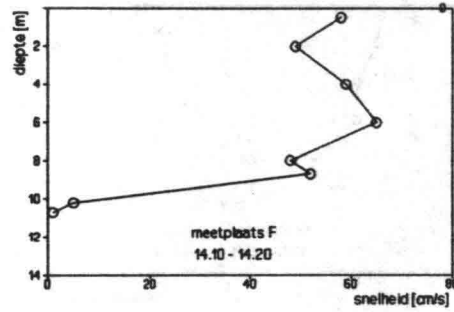
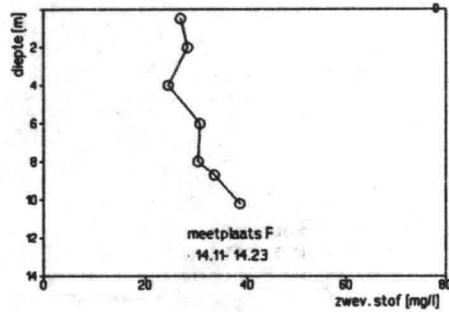
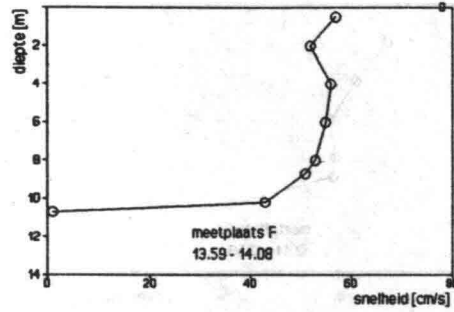
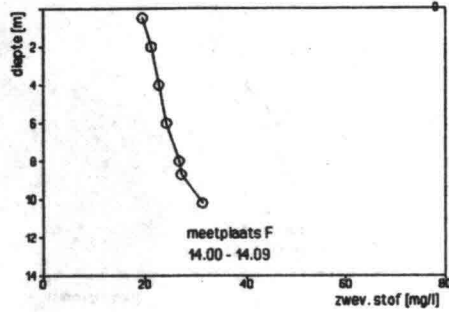
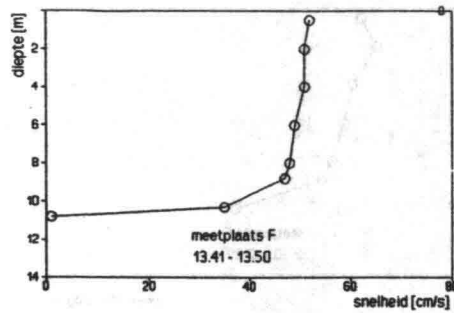
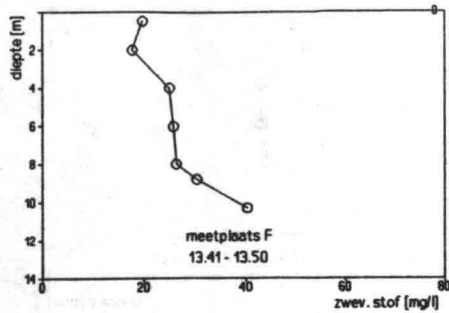
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof op meetpunt F.



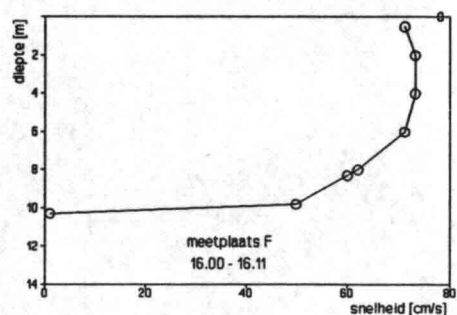
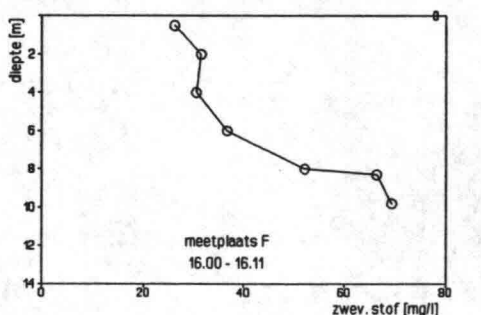
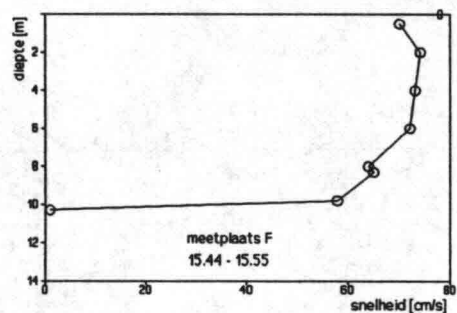
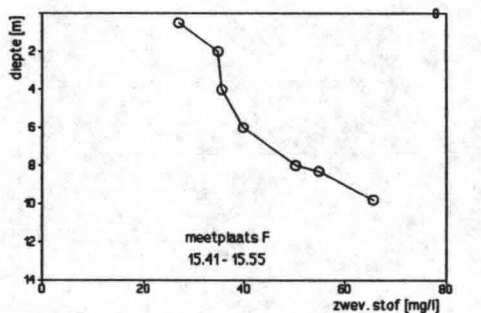
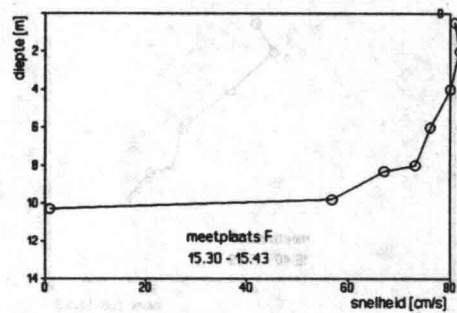
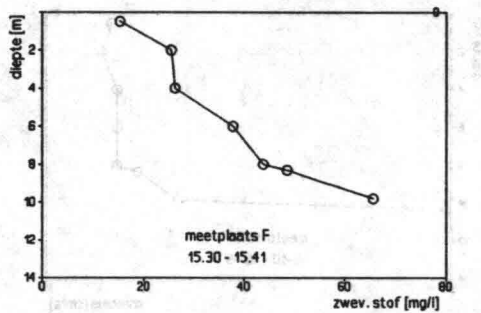
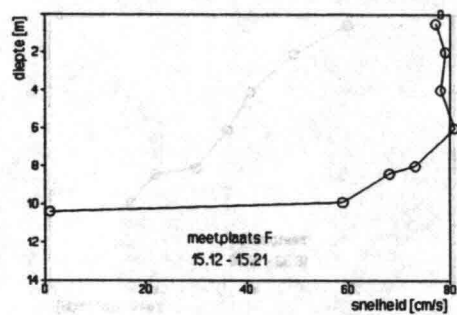
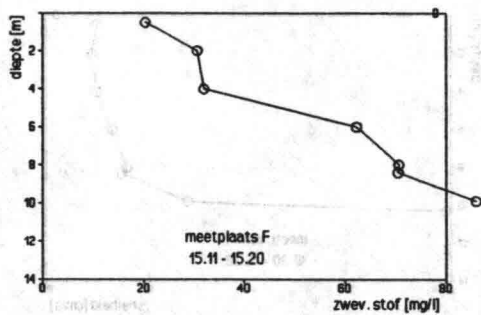
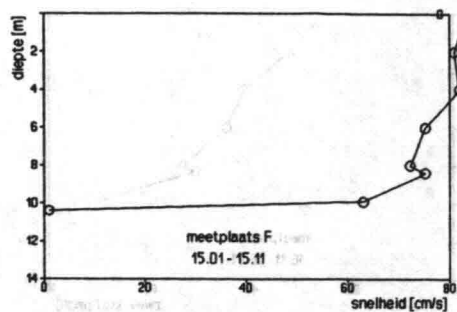
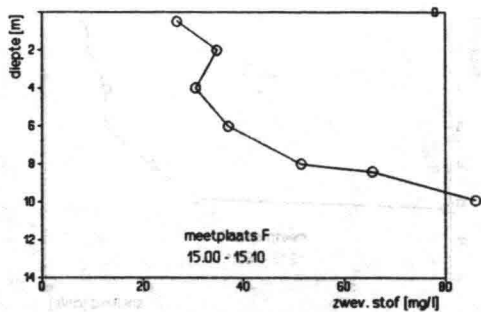
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
 Gehalte zwevend stof op meetpunt F.



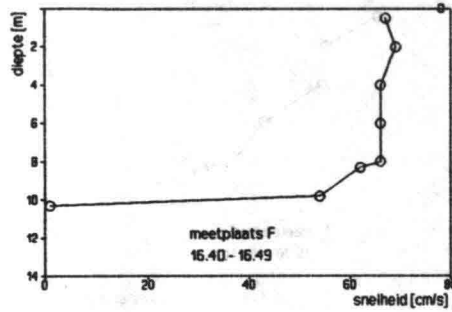
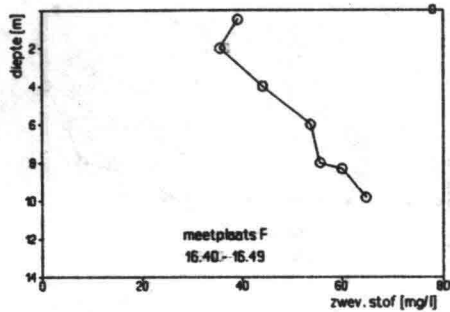
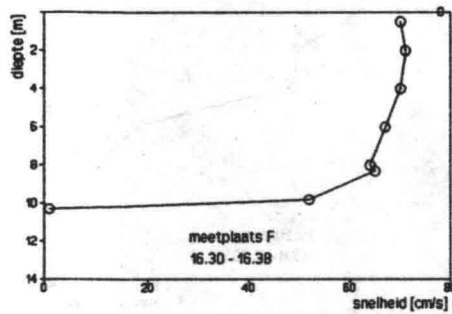
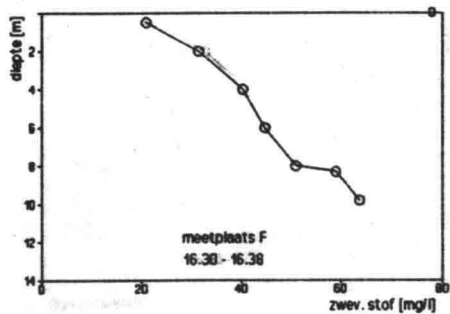
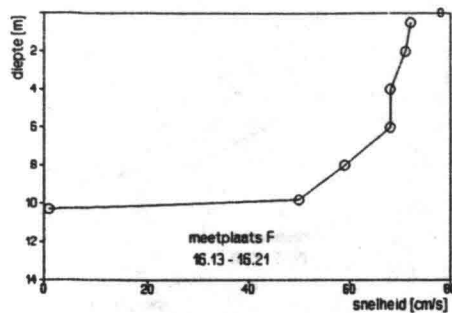
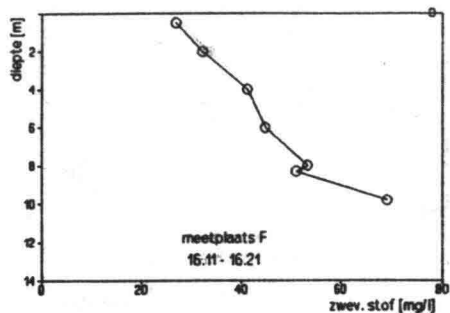
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt F.



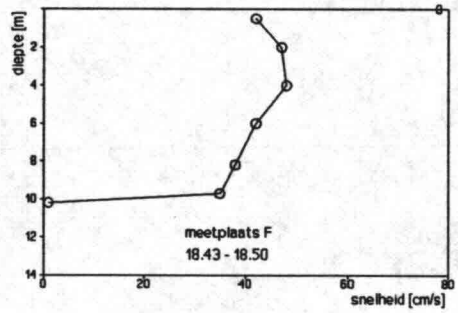
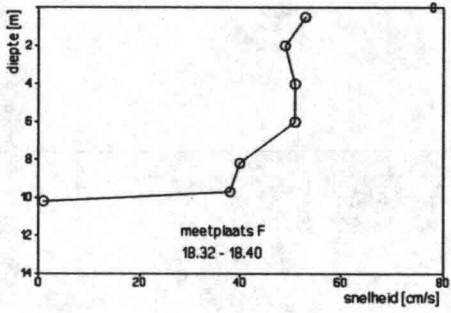
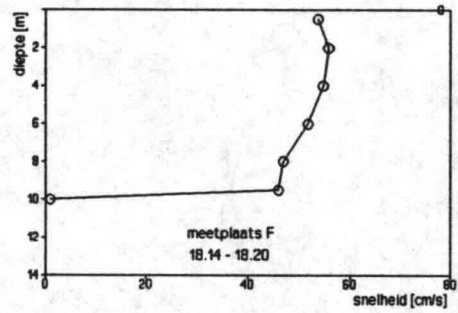
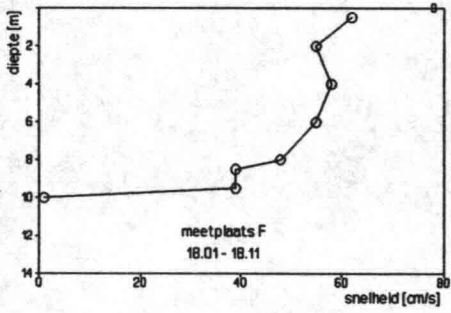
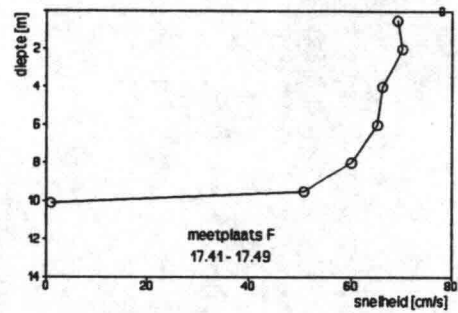
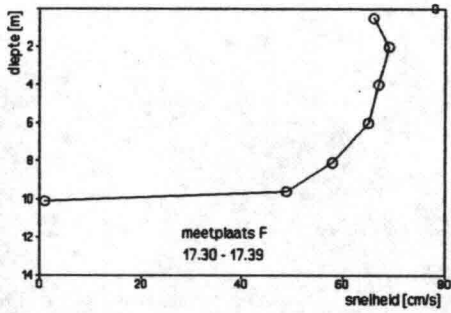
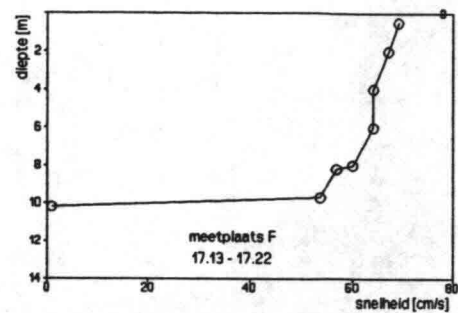
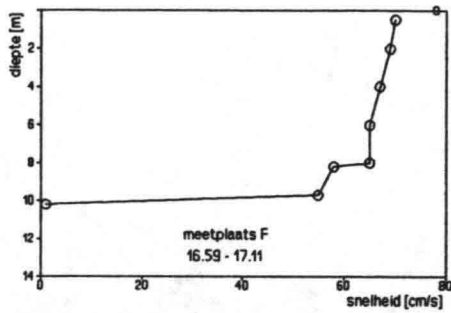
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt F.



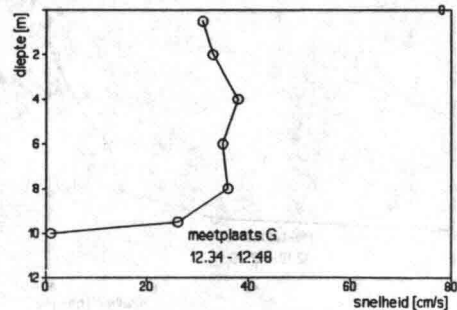
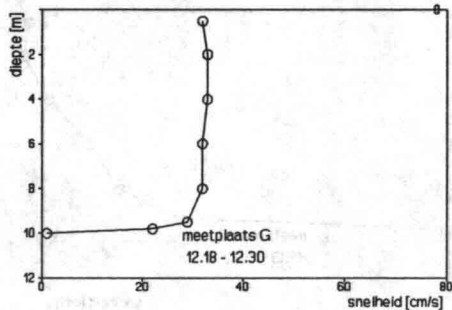
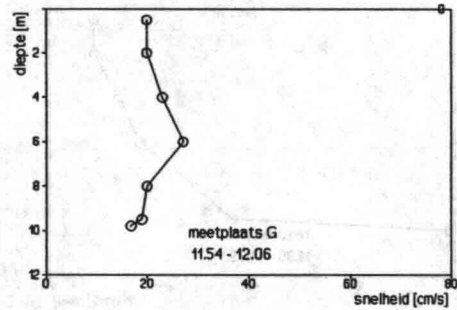
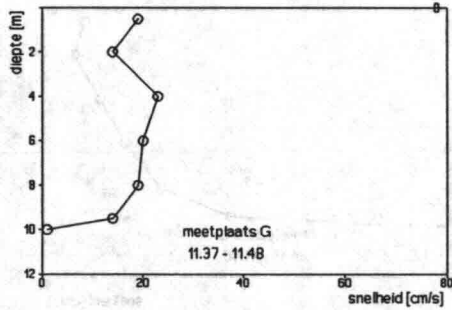
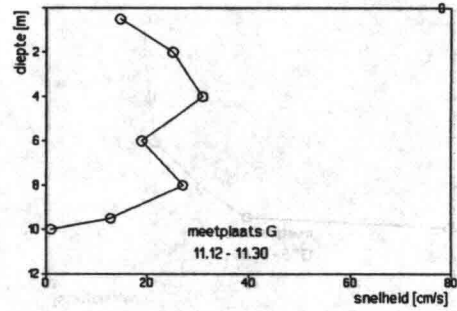
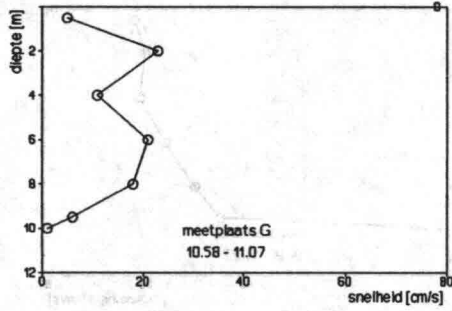
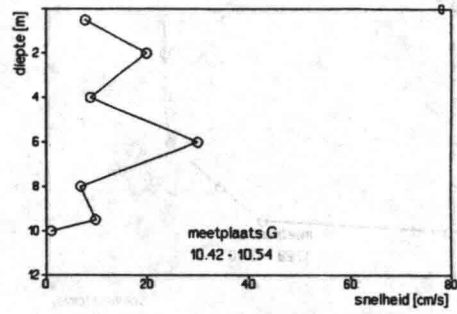
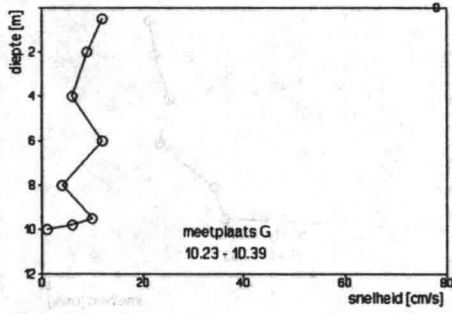
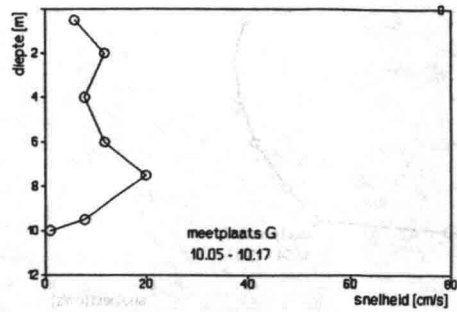
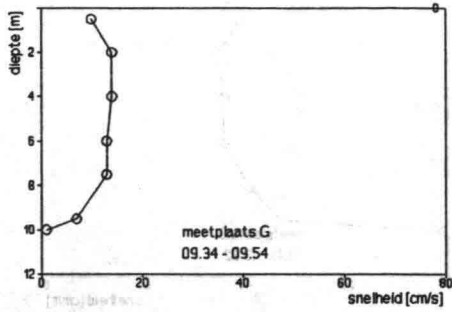
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt F.



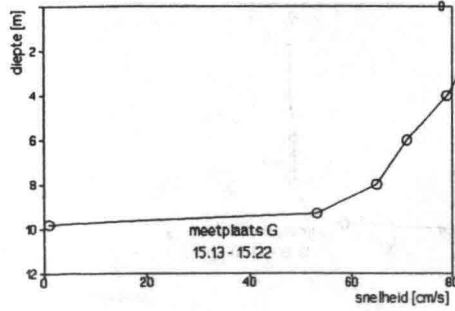
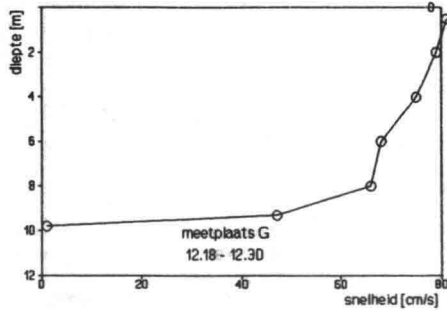
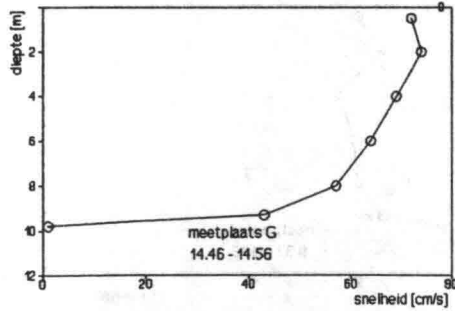
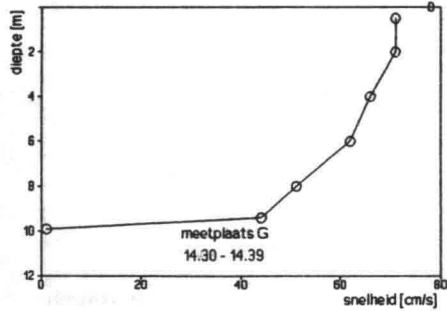
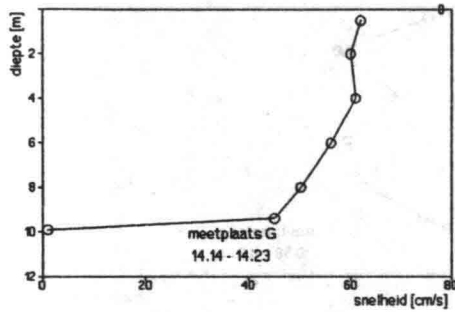
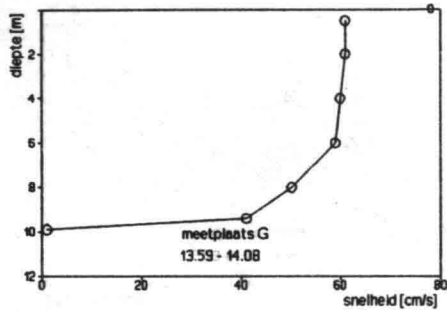
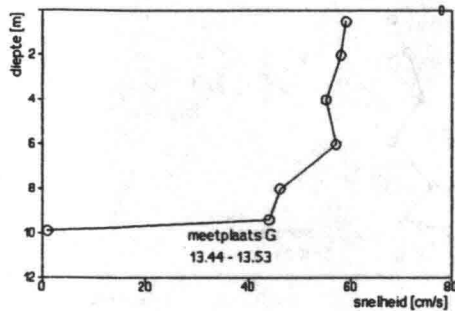
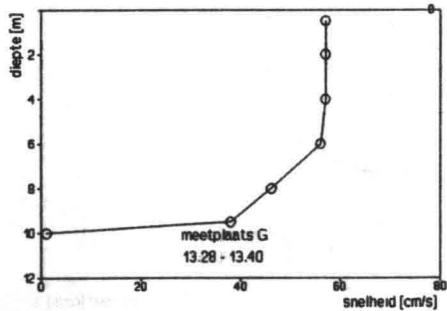
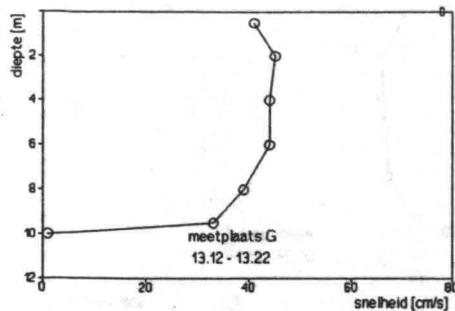
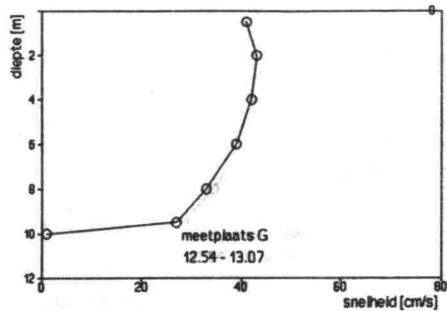
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
 Gehalte zwevend stof en snelheden op meetpunt F.



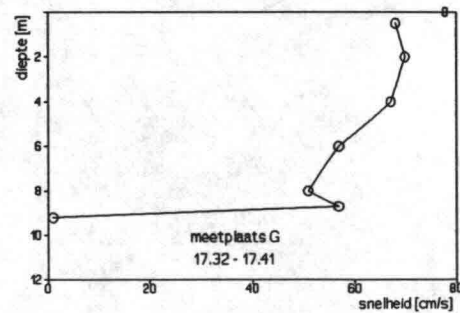
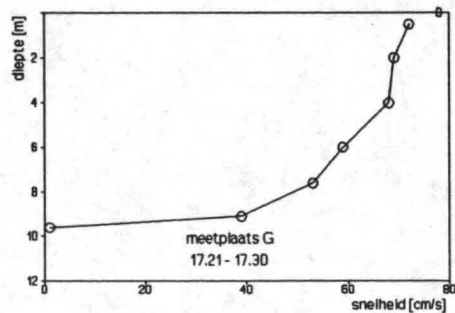
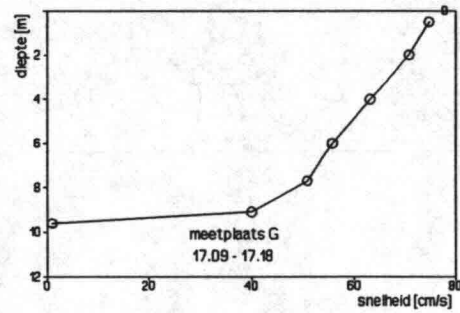
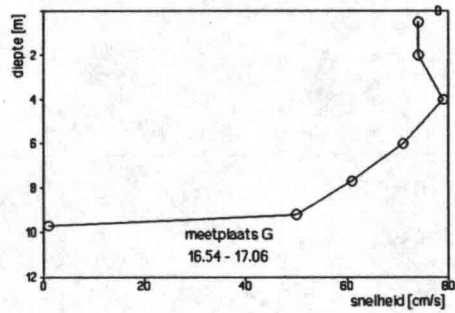
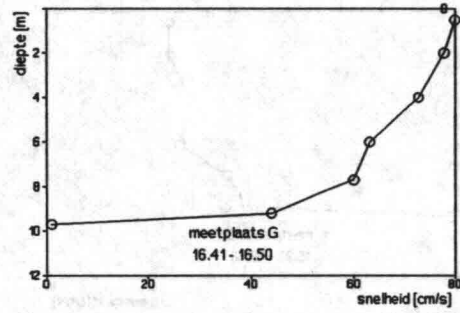
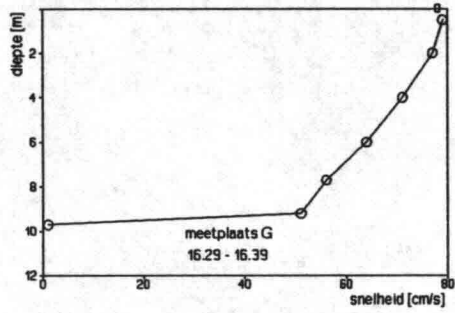
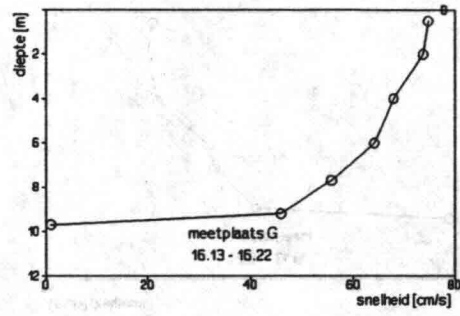
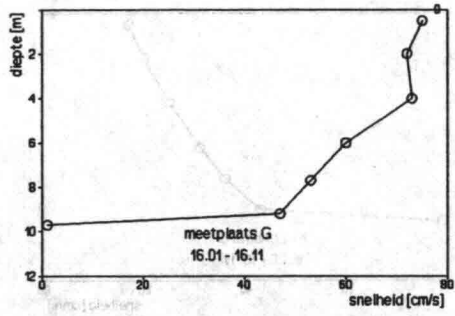
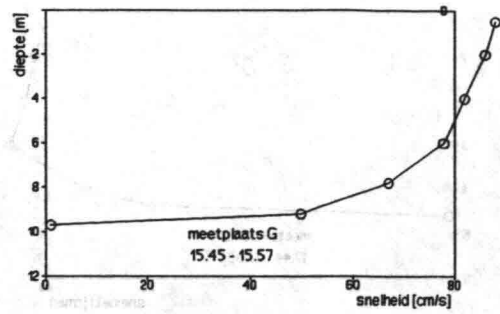
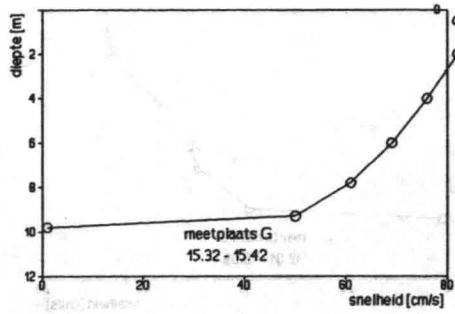
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Snelheden op meetpunt F.



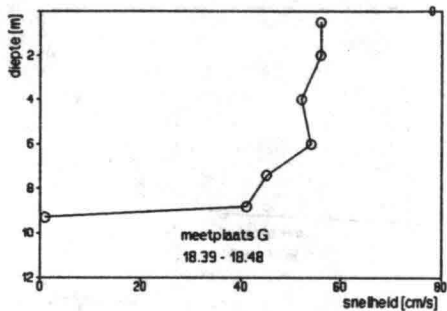
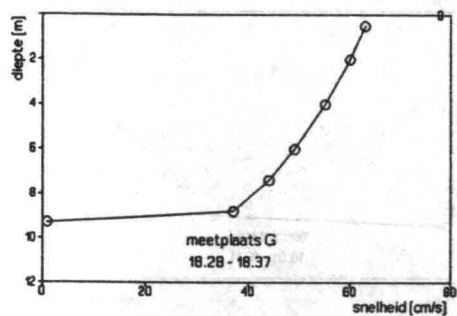
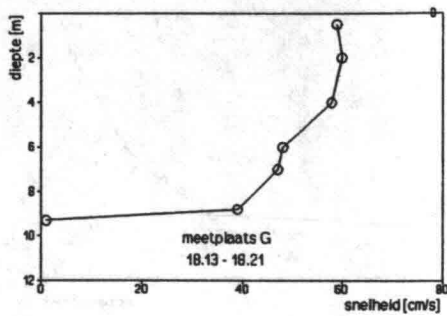
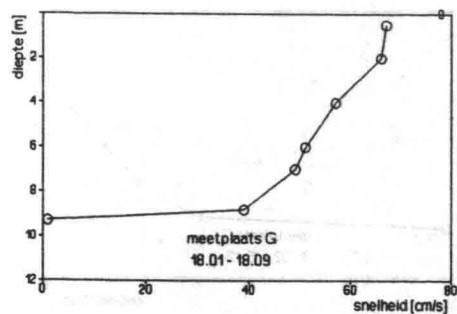
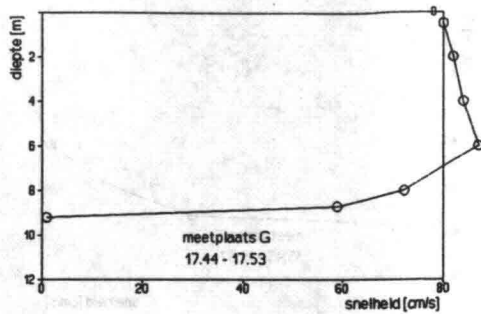
Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Snelheden op meetpunt G.



Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Snelheden op meetpunt G.



Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Snelheden op meetpunt G.



Erosiemeting op het Haringvliet op 23-12-1993.
Snelheden op meetpunt G.

