

## MILIEUGERICHTE MONITORING VAN BAGGERWERKZAAMHEDEN MOBAG 2000

M. Van Parys<sup>1</sup>, G. Dumon<sup>2</sup>, A. Pieters<sup>1</sup>, S. Claeys<sup>3</sup>, J. Lanckneus<sup>4</sup>, V. Van Lancker<sup>4</sup>, M. Vangheluwe<sup>5</sup>, P. Van Sprang<sup>5</sup>, L. Speleers<sup>6</sup>, and C. Janssen<sup>7</sup>.

<sup>1</sup> TVNK, Jan De Nul N.V., Tragel 23, B-9308 Hofstade-Aalst, Tel: +32 (0)53 73 1511, Fax: +32 (0)53 781760, E-mail: info@jandenul.com, Web: www.jandenul.com

<sup>2</sup> Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Vrijhavenstraat 3, B-8400 Oostende, Tel: +32 (0)59 554211, Fax: +32 (0)59 507037, E-mail: guido.dumon@lin.vlaanderen.be, Web: www.lin.vlaanderen.be/awz

<sup>3</sup> TVNK, MEDIDA NV, Hydrographic Services, Marcus Gerardsstraat 1, B-8380 Zeebrugge, Tel.: +32 (0)50 55 95 95, Fax: +32 (0)50 55 95 57, E-mail: claeys.stijn@dredging.com, Web: www.dredging.com

<sup>4</sup> Magelas, Violierstraat 24, B-9820 Merelbeke, Tel: +32 (0)9 2325704, Fax: +32 (0)9 2325704, E-mail: info@magelas.be, Web: www.magelas.be

<sup>5</sup> EURAS, Wiedauwkaai 49, B-9000 Gent. Tel: +32 (0)9 257.13.99, Fax +32 (0)9 2571398. E-mail: marnix.vangheluwe@euras.be.

<sup>6</sup> ERC (Environmental Research Center), Hekkestraat 51, B-9308 Hofstade-Aalst, Tel: +32 (0) 53 769769, Fax: +32 (0)53 769768, E-mail: lode.speleers@erc.be

<sup>7</sup> Universiteit Gent, Laboratory for Environmental Toxicology and Aquatic Ecology, Jozef Plateaustraat 22, B-9000 Gent, Tel: +32 (0)9 26437 75, Fax: +32 (0)9 2644199, E-mail: colin.janssen@rug.ac.be

### 1. INLEIDING EN DOELSTELLING

De laatste drie jaar (pachtjaar 1997 – 2000) werd aan de Belgische kust gemiddeld 9,4 miljoen ton droge stof (TDS) per jaar gebaggerd enkel en alleen voor onderhoudswerkzaamheden. Naar aanleiding van de verdieping van de aanvaarroutes naar de Westerschelde werden daar bovenop nog eens 8,7 miljoen TDS gebaggerd, gespreid over de jaren 1998-2000. Al deze baggerspecie wordt in zee gelost op vaste loswallen nabij de kust of wordt aangewend ter bescherming van de bestaande kustlijn in de vorm van strandopspuitingen en voedingsbermen.



MOBAG 2000 (**M**onitoring **B**aggerwerken jaar **2000**) werd opgestart als ontwikkelingsprogramma voor de optimale beheersing van de ecologische impact van de baggerwerken aan de kust, in functie van de Best-Environmental Practice filosofie, zoals beschreven in de annex aan de richtlijnen voor het management van baggerspecie van het verdrag van Oslo (OSPAR directives of 1992).

Het eerste luik van dit onderzoeksproject heeft tot doel de baggerefficiëntie te verhogen. Het tweede luik omvat het onderzoek naar de ecologische impact van de baggerwerken.

De opdracht ter uitvoering van dit uitgebreid wetenschappelijk onderzoek werd in september 1995 door de Afdeling Waterwegen Kust van de Administratie Waterwegen en Zeewezen van het Departement Leefmilieu en Infrastructuur (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap) gegund aan de Tijdelijke Vereniging Noordzee en Kust, een joint venture van JAN DE NUL NV met de baggerbedrijven DREDGING INTERNATIONAL en BAGGERWERKEN DECLOEDT.

De verschillende studies die onder MOBAG 2000 werden uitgevoerd gedurende de periode van 1995 tot 2000 kunnen onderverdeeld worden in drie hoofdgroepen :

- De **fysische effecten** op het marien milieu werden geëvalueerd door beschouwing van de turbiditeitsverhoging veroorzaakt bij de bagger- en losoperaties. Hierbij werden in de loop van het project zowel sleepopperzuigers als snijkopzuigers gevolgd waarbij zowel mobiele als stationaire meettechnieken toegepast werden. In een bijkomende studie werd ook de relatie tussen de hydro-meteo en de sedimentatie in de haven van Zeebrugge onderzocht.
- De **chemische effecten** ten gevolge van het baggeren werden in detail bestudeerd en de studies bestaan uit drie facetten. Enerzijds werd er dieper ingegaan op de mogelijke variabiliteit van de mobiliteit van de micropolluenten op de baggerzone. Verder is er onderzoek gedaan naar de evolutie van de baggerspecie tijdens de verschillende fasen van het baggerproces met een sleepopperzuiger voor verschillende baggertechnieken. Tenslotte is een aanzet gegeven om de mobiliteit van bepaalde zware metalen te evalueren tijdens het dumpen van baggerspecie op de loszone.
- Met de evaluatie van de **biologische effecten** komen we op het terrein van de ecotoxiciteitstesten. Bij dit deelonderzoek werden ecotoxiciteitstesten uitgevoerd met baggerspecie uit het CDNB te Zeebrugge.

## 2. UITGEVOERDE STUDIES

### 2.1. Fysische effecten

De fysische effecten van een toename van de turbiditeit liggen voor de hand. Een reductie van de watertransparantie heeft een invloed op de fotosynthese van plankton in de waterkolom. Verder is er eventueel een effect op de ontwikkeling van vissen en kan een verandering van de sedimentologie van de zeebodem ten gevolge van het lossen van baggerspecie de migratie van bepaalde vispopulaties in de hand werken. Een ander, maar niet te verwaarlozen effect is het visuele aspect.

Zowel statische als mobiele turbiditeitsmetingen werden uitgevoerd bij de toepassing van verschillende baggertechnieken per ingezet type baggerschip :

Turbiditeit		studiegebied	metingen			
			mobiel	statisch	accoust.	optisch
<b>loswal</b>						
	<i>snijkopzuiger</i>	Nieuwpoort	x	x		x
	<i>veegzuiger</i>	Nieuwpoort	x	x		x
	<i>sleehopperzuiger</i>	S1 en Zb oost	x	x	x	x
	<i>achtergrond</i>	S1 en Zb oost		x	x	x
<b>baggerzone</b>						
	<i>snijkopzuiger</i>	CDNB/Nieuwpoort	x	x		x
	<i>veegzuiger</i>	Nieuwpoort	x	x		x
	<i>sleehopperzuiger</i>	groene pijp	x		x	x
		milieuklep	CDNB	x		x
	<i>achtergrond</i>	CDNB/Nieuwpoort	x	x	x	x

### matrix turbiditeitsmetingen

- Te Nieuwpoort werd de ecologische impact van een snijkopzuiger en een veegzuiger vergeleken zowel nabij de baggerzone als op het strand waar de baggerspecie werd gelost. De turbiditeit veroorzaakt tijdens beide baggerfasen werd geëvalueerd door het uitvoeren van zowel stationaire als mobiele optische turbiditeitsmetingen.
- In de haven van Zeebrugge werd het uitbaggeren van het Wielingendok met een snijkopzuiger gevolgd.
- Voor de evaluatie van verschillende baggertechnieken bij onderhoudsbaggerwerken met de sleehopperzuiger 'Cristoforo Colombo' in het CDNB te Zeebrugge werden mobiele turbiditeitsmetingen uitgevoerd.
- Tijdens het monitoren van de pluim veroorzaakt bij het baggeren werd duidelijk dat zeer grote schommelingen van de achtergrondturbiditeit in functie van het getij bestonden. Dit gaf aanleiding tot het monitoren van de achtergrondturbiditeit in de haven om aldus ook een idee te krijgen van de sedimentflux in de haven van Zeebrugge. Tijdens het daarop volgende projectjaar werd ter bepaling van de sedimentflux een bijkomend onderzoek uitgevoerd waarbij ook de NDP (Nortek Doppler Profiler) aangewend werd na optimalisatie van deze meettechniek om turbiditeitsmetingen over de gehele waterkolom uit te voeren in combinatie met de klassieke optische OBS (Optical Backscatter Sensor).
- Op de loswallen S1 en Zeebrugge Oost werden zowel statische als mobiele turbiditeitsmetingen toegepast om de evolutie van de achtergrond en de bezinking van geloste sedimenten in kaart te brengen.
- In een bijkomende studie werd ook de relatie tussen de hydro-meteo en de sedimentatie in de haven van Zeebrugge onderzocht.

## 2.2. Chemische effecten

Bij het opstarten van het project werd uit literatuuronderzoek al snel duidelijk dat nagenoeg geen informatie beschikbaar was omtrent de omvang van de fysisch-chemische veranderingen die zich afspeelden tijdens de verschillende fasen van het baggerproces. Labo onderzoek bestaande uit o.a. elutriatproeven uitgevoerd in de periode voor 1995 deden het vermoeden rijzen omtrent een stijging van de mobiliteit van verschillende micropolluenten.

Om deze chemische effecten te evalueren werden verschillende milieuvriendelijke baggertechnieken met elkaar vergeleken :

- De mobiliteit van pollutanten voor de veegzuiger werd vergeleken met de metingen uitgevoerd voor klassieke snijkopzuiger.
- Tijdens de campagne met de sleephopperzuiger 'Cristoforo Colombo' werden de baggercyclussen met 'milieuklep' en 'groene pijp' vergeleken met de standaard baggercyclus. Hierbij werden stalen genomen in situ, in de stortgoot, in het beun en in de overvloed van de hopper. De mobiliteit van de organische en anorganische micropolluenten, nutriënten, natuurlijke metalen en meerdere fysisch-chemische parameters werden geëvalueerd aan de hand van totaal analyses, poriewater analyses, distributiecoëfficiënten en sequentiële extracties (van metalen).
- Op de loszone werd de mobiliteit van arseen en zink, en de variatie van de saliniteit, de redoxpotentialaal en de zuurtegraad ten gevolge van het dumpen gemeten.
- Verder werd een studie verricht naar de ruimtelijke variatie van de mobiliteit van arseen en zink in de in-situ sedimenten van het CDNB te Zeebrugge.

chemische effecten		studiegebied	staalname		
			in situ	aan boord	loswal
snijkopzuiger		Nieuwpoort/Zeebrugge	x		x
veegzuiger		Nieuwpoort	x		x
sleephopperzuiger	klassiek	CDNB / Voorhaven	x	x	x
	groene pijp	CDNB	x	x	x
	milieuklep	CDNB	x	x	x
in situ sedimenten		CDNB	x		

*matrix chemische analyses*

### 2.3. Biologische effecten

Onder de biologische effecten van het baggeren en dumpen kunnen we de volgende verstoringen catalogeren :

- Fysieke verstoring van bentische populaties, effecten op migratie van vissen, het effect op de sedimentologie van de zeebodem.
- De zuurstofdepletie in de waterkolom, de invloed op de groei van phytoplankton door beschaduwing en de verstikking van organismen bij het lossen van de baggerspecie behoren tot een tweede categorie.
- De effecten op de abundantie en de verscheidenheid aan soorten vormt een derde categorie maar wordt door het 'Centrum voor Landbouwkundig onderzoek - Departement Zeevisserij' bestudeerd en valt aldus buiten het onderzoeksgebied.

Tijdens het derde jaar werd een reeks ecotoxiciteitstesten uitgevoerd waarbij organismen, representatief voor de gehele waterkolom, werden blootgesteld aan elutriaten en aan sedimentsuspensies.

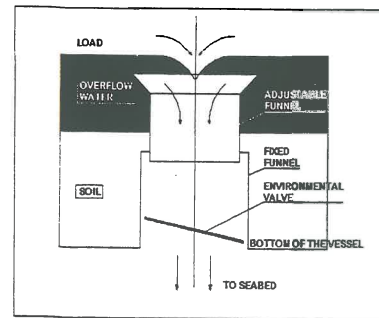
### 3 SHZ 'CRISTOFORO COLOMBO' : VERGELIJKING VAN BAGGERTECHNIEKEN TE ZEEBRUGGE AAN DE HAND VAN TURBIDITEITMETINGEN

In het tweede projectjaar van Mobag 2000 - Ecologische impact werd een uitgebreide meetcampagne uitgevoerd met als doel de invloed van de baggerwerkzaamheden met een sleephopperzuiger op het milieu te meten, enerzijds wat turbiditeit betreft en anderzijds wat betreft de invloed op de mobiliteit van de polluenten, aanwezig in de baggerspecie.

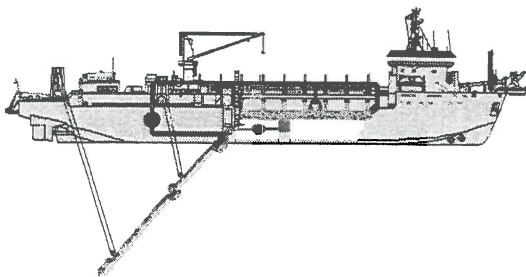
#### 3.1. Baggertechnieken

Naast de huidige klassieke baggermethode werden ook enkele nieuwe technieken onderzocht tijdens de onderhoudsbaggerwerken uitgevoerd met SHZ 'Cristoforo Colombo' ter hoogte van het CDNB te Zeebrugge:

- Een eerste nieuwe techniek is het baggeren met milieuklep waarbij met een regelbare klep in de overvloeikoker de stroming van het overvloeewater gesmoord wordt. Hierdoor stijgt het waterniveau in de overloop en vermindert de valhoogte waardoor in vergelijking met de standaard baggermethode minder lucht meegezogen wordt en de turbulentie onder het schip beperkt wordt. Dit resulteert in een bijna ongestoorde densiteitstroom waarin de speciedeeltes sneller naar de bodem zakken wat de verspreiding van eventueel aanwezige vervuilde deeltjes beperkt.



schema van de milieuklep



schema van de 'groene pijp' geïnstalleerd aan boord van SHZ 'Cristoforo Colombo'

- Bij een andere nieuwe techniek wordt gebaggerd met de zogenaamde 'groene pijp'. Het overvloeewater wordt volledig opgevangen en door middel van een baggerpomp terug naar de sleepkop gepompt waar het als proceswater hergebruikt wordt met een minimale verspreiding van deeltjes in suspensie tot gevolg.

#### 3.2. Werkmethode

Turbiditeit in de buurt van een baggerschip kan veroorzaakt worden door turbulentie en wrijving ter hoogte van de sleepkop, het overboord vloeien van speciedeeltes in suspensie in het overvloeewater en fysische omgevingskarakteristieken (bodemstructuur, stroomrichting, stroomsnelheid, ...).

Turbiditeitsmetingen laten toe een aantal belangrijke aspecten met betrekking tot de ecologische impact van de turbiditeitsverhoging ten gevolge van de baggeractiviteiten te onderzoeken :

- de achtergrondturbiditeit : turbiditeit veroorzaakt door natuurlijke fenomenen zoals stroming, golven, wind, ... en als gevolg van normale scheepvaart
- de horizontale dispersie van de sedimentpluim

- de bezinkingssnelheid van het sediment in suspensie

Het baggertraject werd vooraf vastgelegd :

- binnenkomend langs de oostzijde van het CDNB baggeren zodanig dat de overvloei bereikt werd aan het einde van de baggerzone
- tijdens het keren de vaarroute kruisen
- buitenvarend langs de westzijde van het CDNB baggeren met overvloei of met recirculatie via de 'groene pijp'.

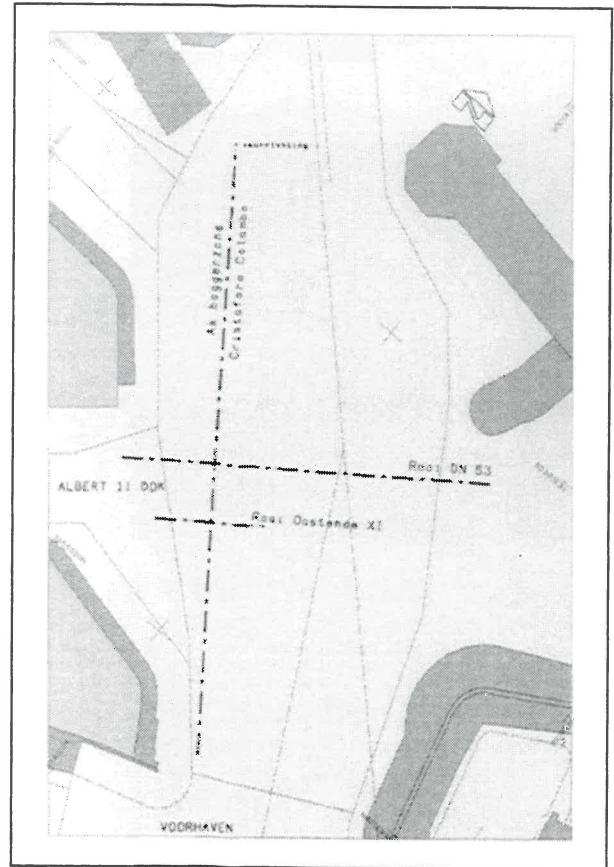
Tijdens het baggeren werden turbiditeitsmetingen uitgevoerd in verticale vlakken haaks op de baggerrichting. De volgende gegevens werden opgenomen :

- peilvlet 'Jacqueline' : tijd, positie, NDP stromingen en turbiditeitsparameters;
- peilvlet 'Oostende XI' : tijd, positie, diepte, OBS turbiditeitsparameters (later ook NDP);
- peilvlet 'DN 53' : tijd, positie, diepte, OBS turbiditeitsparameters;
- sleepopperzuiger 'Cristoforo Colombo' : tijd, positie, parameters baggerproces.

De stalen genomen aan boord van peilvlet 'DN53' werden gebruikt om de turbiditeitssensoren te ijken en ter verificatie van de turbiditeitsmetingen.

De turbiditeit, veroorzaakt bij elk type baggercyclus, werd bepaald met OBS en NDP sensoren.

Om het belang van de turbiditeit als gevolg van de baggerwerkzaamheden ten opzichte van de turbiditeit veroorzaakt door invloeden van hydro-meteorologische oorsprong te bepalen werden achtergrondmetingen uitgevoerd tijdens de afwezigheid van het baggerschip.



*plan baggertraject / survey raaien*

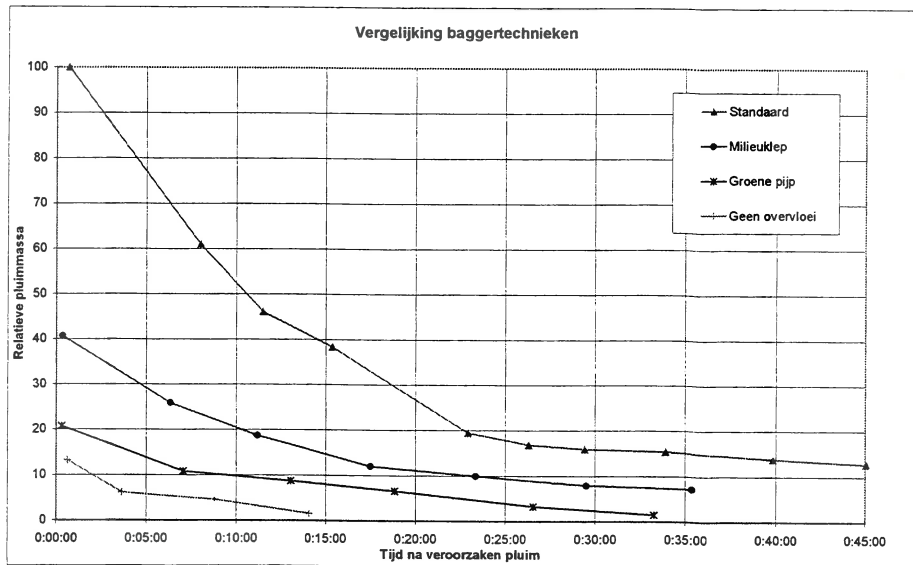
### 3.3. Meetresultaten

*Vergelijking baggertechnieken :*

De meetresultaten bekomen voor de verschillende baggertechnieken en op verschillende tijdstippen werden vergeleken met de turbiditeitswolk veroorzaakt tijdens een standaard baggercyclus :

- Bij gebruik van de milieuklep in de overloop wordt de hoeveelheid vaste stof die lang genoeg in suspensie blijft om zich via stromingsinvloeden te kunnen verspreiden beperkt tot 41 procent ten opzichte van de klassieke baggercyclus.

- Bij het baggeren met groene pijp wordt slechts 21 procent van de hoeveelheid, gemeten bij de klassieke baggercyclus, in suspensie gebracht. Bovendien situeert het proces zich vlak boven de bodem zodat het bezinkingsproces aanzienlijk korter wordt.



*vergelijkende grafiek op basis van OBS metingen*

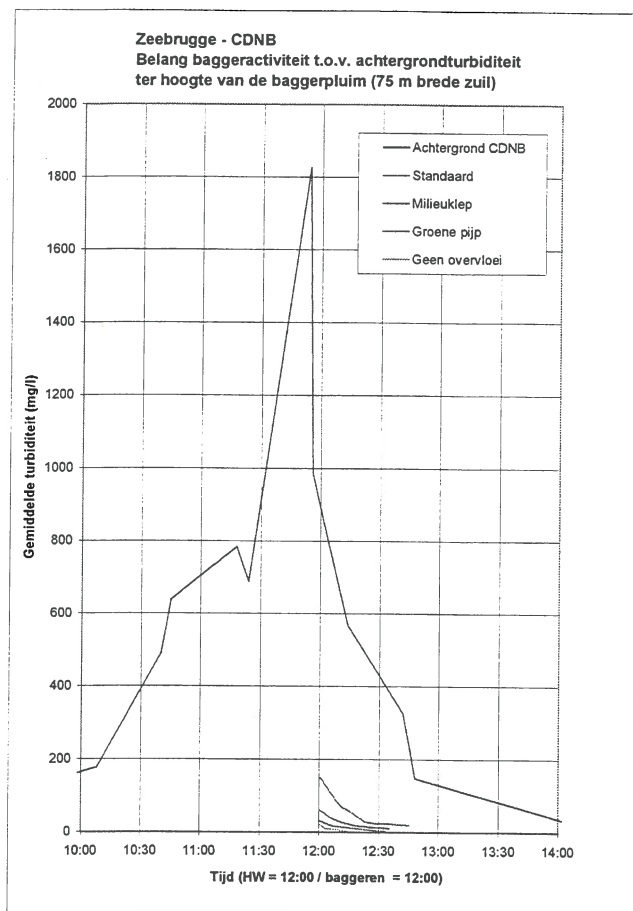
- Baggeren zonder overvloed heeft tot gevolg dat de veroorzaakte turbiditeit beperkt wordt tot 13 procent ten opzichte van de klassieke techniek en dat de duur van het bezinkingsproces minimaal is vermits ook hier alles vlak bij de bodem gebeurt.

#### *Belang van de achtergrondturbiditeit :*

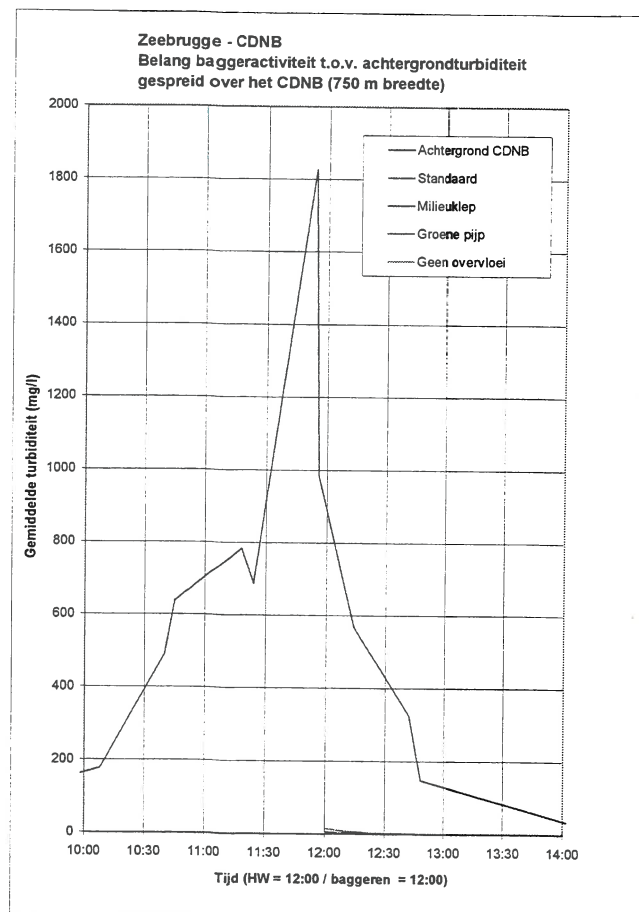
Tijdens de meetcampagne werd vastgesteld dat de achtergrondturbiditeit rond hoog water tengevolge van natuurlijke fenomenen zeer hoge waarden bereikt. Gedurende 2 à 3 uren was het hierdoor zelfs onmogelijk de baggerpluim te onderscheiden van de achtergrond.

In onderstaande figuren werd de evolutie van de gemiddelde achtergrondturbiditeit over de totale breedte van het CDNB ter hoogte van het Albert II dok (+/- 750 m) grafisch uitgezet. Door de baggeractiviteiten werd een strook van ongeveer 75 m verstoord. Deze verstoring werd eveneens weergegeven in de grafieken. Bij de opbouw van beide figuren werd uitgegaan van de grafiek met de middeling van de achtergrondturbiditeit rond een fictieve getijdencyclus met hoog water om 12 uur waarop de evolutie van de baggerpluim uitgezet werd voor de verschillende baggertechnieken (het baggerschip passeert het meetvlak eveneens om 12 uur). Terwijl de linker figuur de lokale verstoring met de achtergrondturbiditeit vergelijkt, wordt in de rechter figuur de verstoring ten gevolge van de baggerwerkzaamheden uitgesmeerd over de totale breedte van het CDNB.

Uit de figuren blijkt duidelijk dat het aandeel van de turbiditeit, veroorzaakt door het baggeren, slechts een fractie is van de gemiddelde achtergrondturbiditeit in de haven.



*belang baggeractiviteit t.o.v. achtergrondturbiditeit ter hoogte van de baggerpluim (75 m brede zuil)*



*belang baggeractiviteit t.o.v. achtergrondturbiditeit gespreid over het CDNB (750 m breedte)*

#### 4. SEDIMENTFLUX ONDER INVLOED VAN GETIJSTROMINGEN AAN DE HAVENINGANG VAN ZEEBRUGGE

Tijdens de meetcampagne met SHZ 'Cristoforo Colombo' werd duidelijk dat de achtergrondturbiditeiten, ter hoogte van de haveningang van Zeebrugge, zeer hoge waarden bereikten en in vele gevallen de gemeten turbiditeiten, veroorzaakt door baggeroperaties, overschreden.

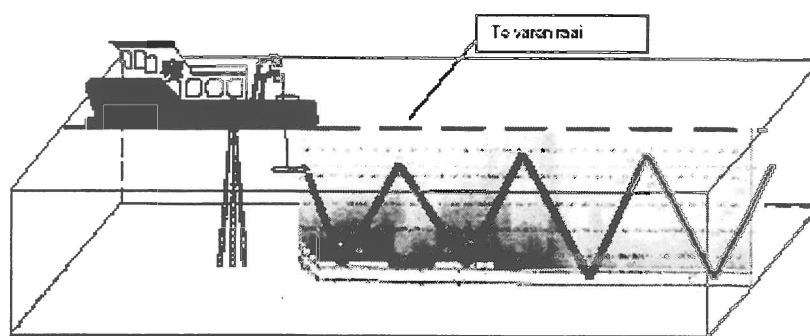
Het was dan ook wenselijk om een beter inzicht te verkrijgen in de verbanden die bestaan tussen de turbiditeiten en de factoren die ze induceren. In dit opzicht werden metingen verricht over een springtij-doodtij cyclus nabij de haveningang. Deze metingen lieten toe een sedimentbalansberekening uit te voeren.

##### 4.1. Werkmethode

De metingen in dit deelproject werden uitgevoerd in een verticale doorsnede van de vaarpas van de Nieuwe Buitenhaven van Zeebrugge nabij de haveningang. Er werd gemeten over een volledige getijcyclus teneinde de bewegingen van het sediment onder invloed van de getijstromingen te beschrijven en te begroten.

De turbiditeiten over de gehele waterkolom werden berekend aan de hand van de "backscatter" intensiteit van een acoustic Doppler current profiler (type NDP), gekalibreerd met de "backscatter" turbiditeitsensoren, gemonteerd op een computergestuurde sleepvis.





*meetmethode 'online' mobiele turbiditeitsmeting*

Na elk gevaren profiel werden de gegevens (stroomsnelheid, turbiditeit en diepte) on-line gevisualiseerd. In een tweede verwerkingstap (off-line) werd de data gecorrigeerd op eventuele fouten. In een derde stap werd de tijdsas omgerekend naar een geografische as. Om een volledig beeld van de turbiditeiten in tijd en ruimte te verkrijgen, werden de volgende correcties toegepast:

- de hiaten (onberekenende informatie tussen de opgemeten profielen) in de tijd werden door interpolatie ingeschat en opgevuld.
- de hiaten in de ruimte (1.5 m van de bodem en 2 m van het wateroppervlak) werden opgevuld door middel van extrapolatie.

#### 4.2. Meetresultaten

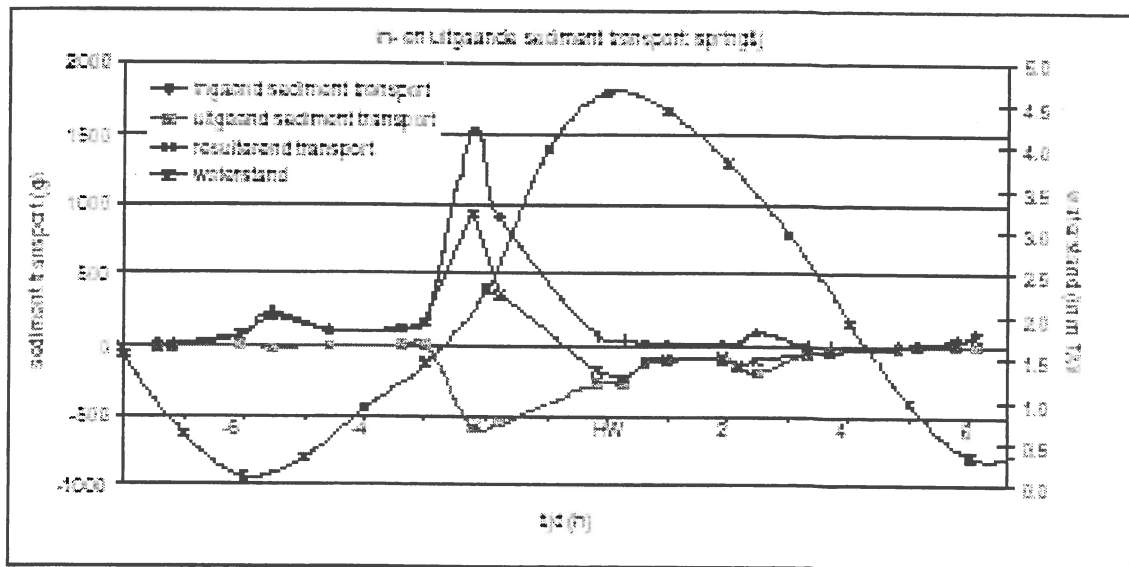
##### ➤ Turbiditeitsprofielen :

- Er is een duidelijk onderscheid aanwezig tussen doortij en springtij. De maximale waarde gemeten tijdens springtij bedraagt 2200 mg/l en tijdens doortij 900 mg/l
- Het turbiditeitsprofiel vertoont veel gelijkenis met het verloop van de gemeten stromingen. De aanwezige turbiditeit is sterk afhankelijk van de aanwezige stromingen.
- Er is een duidelijk sedimenttransport van oost naar west (en omgekeerd) dat gevolgd kan worden aan de hand van de gegevens van de stroomatlas.
- De gemiddelde laagste turbiditeit varieert van 30 tot 50 mg/l en vult de meeste profielen op (vooral doortij).
- Het aantal profielen dat opgemeten is, is sterk afhankelijk van het scheepvaartverkeer. Een gemiddelde van 1 raai per 30 minuten werd verwezenlijkt. Hierbij is de evolutie van de turbiditeit te volgen zonder te grote hiaten aan informatie.
- Ook kan het schroefwater van de passerende schepen duidelijk onderscheiden worden

##### ➤ Beschrijving verloop bij Springtij :

- De tijcyclus begint 6h voor HW en eindigt 6h25 na HW. Gedurende deze periode stroomt er ongeveer  $45 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  water in de haven en uit de haven. Het stromingspatroon is tijdens deze periode heel veranderlijk.
- Tijdens deze periode stroomt er 9200 ton sediment in en 6000 ton sediment uit. Netto blijft er 3200 ton achter.

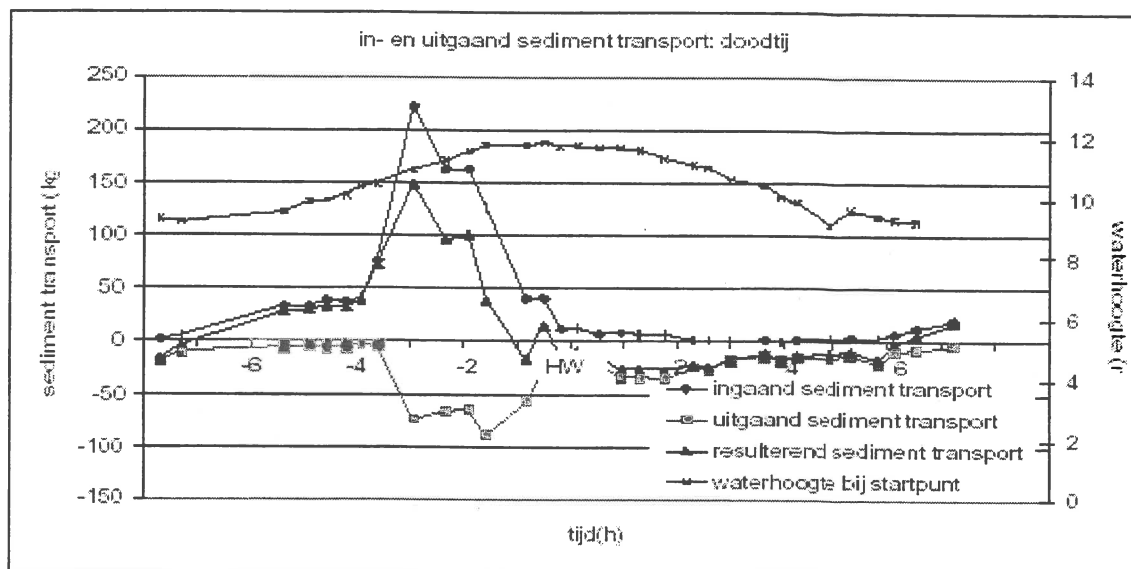
- Het moment van hoogst binnenkomend debiet heeft plaats rond 2 uur voor hoogtij. Het hoogste uitgaand debiet heeft plaats 2 uur na hoogtij.



*in- en uitgaand sedimenttransport, tijdens één springtijcyclus, door het profiel van de haveningang*

➤ Beschrijving verloop bij doortij:

- De tijcyclus begint om 5h30 voor HW en eindigt 7h00 na HW. Gedurende deze periode stroomt er ongeveer  $33 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  water in de haven en uit de haven.
- Tijdens deze periode stroomt er 2050 ton sediment in en 1260 ton sediment uit. Netto blijft er 795 ton achter.
- Het hoogste binnenkomend debiet heeft 3 uur voor hoogtij plaats (verschil van 1 uur met springtij). Het uitgaand debiet vertoont geen expliciete piekmomenten maar het grootste gebied is gespreid over de periode 2 uur voor hoogtij tot 2 uur na hoogtij.



*in- en uitgaand sedimenttransport, tijdens één doortijcyclus, door het profiel van de haveningang*

#### 4.3. Besluit

Zoals reeds gekend (stroomatlas), is de haveningang van Zeebrugge onderhevig aan stroomrichtingen en -snelheden die sterk variëren over de getijcyclus. Een algemene stromingstrend gedurende een getijcyclus is duidelijk waar te nemen, maar wordt ook sterk beïnvloed door het spring- en doottij fenomeen. Het totaal binnenkomend en buitengaand debiet moet in evenwicht zijn. Dit evenwicht kan enkel berekend worden door een groot aantal profielen, met gelijkmatige spreiding over het getij, op te nemen. De belemmerende factor is vooral het scheepvaartverkeer die het dwarsen van de haveningang niet altijd toelaat. De debietbalans van doottij en springtij is in evenwicht.

Het verschil in de hoeveelheid in- en uitstromend water over een volledig getijcyclus van springtij ( $45 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> water) en doottij ( $33 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> water) bedraagt ongeveer 25 %. Toch is het verschil in sedimenttransport (springtij: 9200 ton sediment in en 6000 ton sediment uit) (doottij: 2050 ton sediment in en 1260 ton sediment uit) veel significanter. Tijdens springtij blijft er 3200 ton sediment achter en tijdens doottij 790 ton sediment, wat overeenkomt met een factor 4. De hogere stroomsnelheden zijn hiervoor verantwoordelijk. Bij deze begroting van het sedimenttransport wordt geen rekening gehouden met het eventuele bodemtransport en de metingen zijn uitgevoerd bij rustige weersomstandigheden.

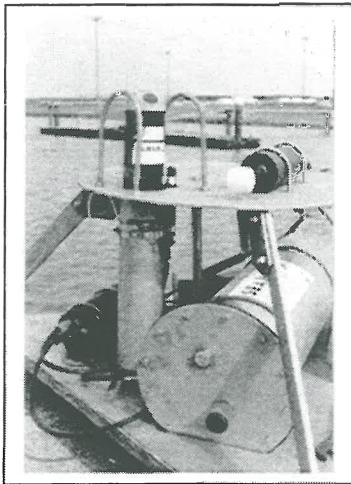
### 5. SEDIMENTTRANSPORT OP DE LOSWALLEN : STATIONAIRE METINGEN

De schepen die ingezet worden voor het onderhoud en het verdiepen van de Zeebrugse Haven en de toegangsheuvelen lossen hun gebaggerde specie op de loswallen B&W Zeebrugge Oost en B&W S1. Op de loswal S1 wordt vooral zanderige specie uit de vaargeulen gelost. Ter hoogte van de loswal Zeebrugge Oost wordt vooral slib, afkomstig uit de haven zelf, gelost. Onder invloed van getijstromen en golfwerking wordt een gedeelte van dit sediment terug in suspensie gebracht en met het stromend water meegevoerd. De doelstelling van deze deelstudie, uitgevoerd onder MOBAG 2000, bestond erin dit sedimenttransport en de invloed van de losoperaties in kaart te brengen.

#### 5.1. Meetmethode

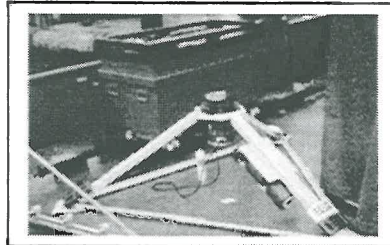
Sediment, gebaggerd in de haven van Zeebrugge en de vaarroutes naar deze haven, wordt gelost op de loswallen S1 en Zeebrugge Oost. Om de fysische invloed van deze losactiviteiten op de omgeving te evalueren werden per loswal twee meetcampagnes georganiseerd. Gedurende de eerste meetsessie werden de meetinstallaties op de hoeken van een omschrijvende rechthoek geplaatst met als doel zoveel mogelijk informatie te verzamelen in verband met de achtergrondturbiditeit en het stromingspatroon. Dit liet toe de optimale configuratie te bepalen voor de volgende meetsessie waarbij de registratie van de losactiviteiten en de bepaling van de bezinkingssnelheid van de sedimentpluim centraal stonden.

Tijdens de meetcampagnes werden twee verschillende meetconfiguraties gebruikt :

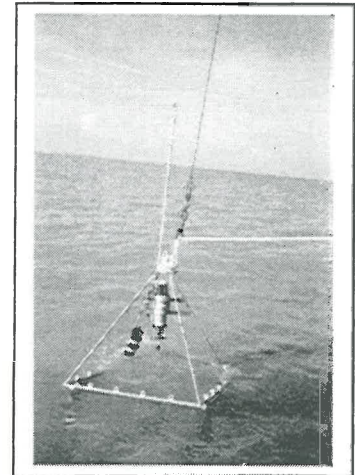


*bodemframe gebruikt bij de  
directe meting*

- de opstelling met oppervlakteboei voor directe meting met optische sensoren, gespreid over de waterkolom (links)
- de gecombineerde opstelling met optische sensoren (rechts) en doppler profielen (onder) voor indirecte meting



*bodemframes gebruikt bij de gecombineerde opstelling*



Optische sensoren sturen een bundel infrarood licht in de suspensie. De hoeveelheid licht, gereflecteerd op de fotocel, is afhankelijk van de grootte, de vorm, de kleur en de concentratie van het sediment in suspensie. De relatie tussen de gemeten lichtsterkte en het gehalte sediment in suspensie wordt bepaald door kalibratie van de sensor met sediment afkomstig uit het studiegebied.

Bij de gecombineerde meetopstelling worden de stroomsnelheden en de reflectie-intensiteiten gemeten met een doppler profiler en gelogd. De karakteristieken van toepassing op geluidsgolven die zich voortplanten in een vloeistof worden aangewend tijdens het verwerken. De metingen uitgevoerd met de optische sensoren worden als referentie gebruikt.

## 5.2. Resultaten

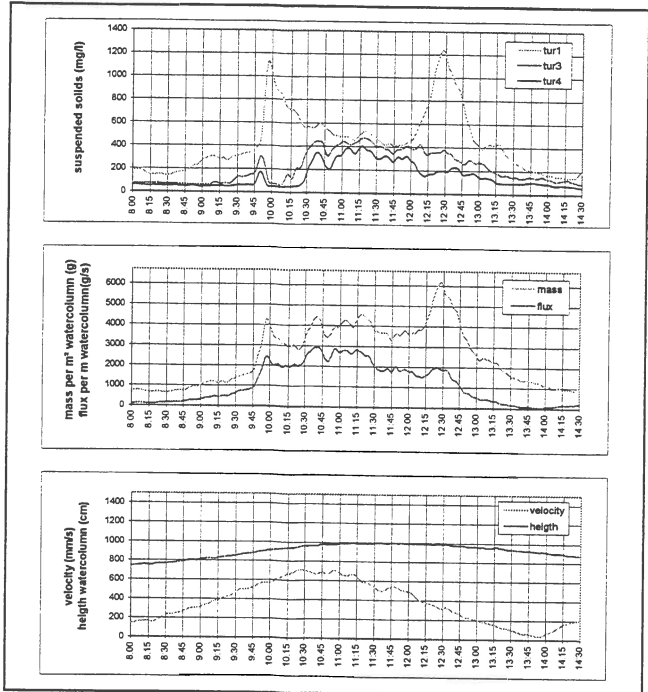
### *Achtergrond :*

De sterke getijstrooming ter hoogte van de loswallen heeft als logisch gevolg dat de achtergrondwaarden voor sediment in suspensie de getijcurve volgen. Aan de hand van een opname afkomstig van de loswal Zeebrugge Oost werd een typische cyclus geëvalueerd.

Beginnend bij stil tij na laag water stelden we volgende evolutie vast :

- Ter hoogte van de bodem vormt zich, onder een bovenlaag in ongehinderde bezinking, een colloïdaal mengsel. Zolang de stroomsnelheid beneden 0.15 m/s blijft gaat deze bezinking door.
- Een geringe toename van de stroomsnelheid brengt de niet-cohesieve laag terug in suspensie.
- Bij een stroomsnelheid van 0.50 m/s verbreekt de eroderende kracht van het water de cohesie van het colloïdale bodemsediment. Dit resulteert in een plotse concentratietoename (tot 1100 mg/l) ter hoogte van de onderste sensoren gevolgd door een sterke terugval. Deze terugval is niet het gevolg van sedimentatie maar wel van de dispersie van de deeltjes over de ganse waterkolom.

- De verdere toename van sediment in suspensie is getij-afhankelijk. Bij springtij erodeert het zeebed verder ten gevolge van de sterke stroming. Bij dood tij wordt slechts een geringe bijkomende toename vastgesteld.
- Na het bereiken van de maximale stroomsnelheid blijven de fijne deeltjes zich nog verder verspreiden over de waterkolom terwijl de grovere fracties terug beginnen te bezinken.
- De plotse toename ter hoogte van de onderste sensoren (tot 1200 mg/l), gemeten op het moment dat de stroomsnelheid terug tot 0.5 m/s gedaald is, wordt niet veroorzaakt door erosie maar wel door de combinatie van bezinking van deeltjes uit de bovenste lagen en de dalende stroomsnelheid.
- Na het bereiken van een maximum concentratie bij 0.3 m/s dalen de waarden op alle sensoren. Deeltjes bezinken en onder de laag in ongehinderde bezinking vormt zich terug een colloïdaal mengsel

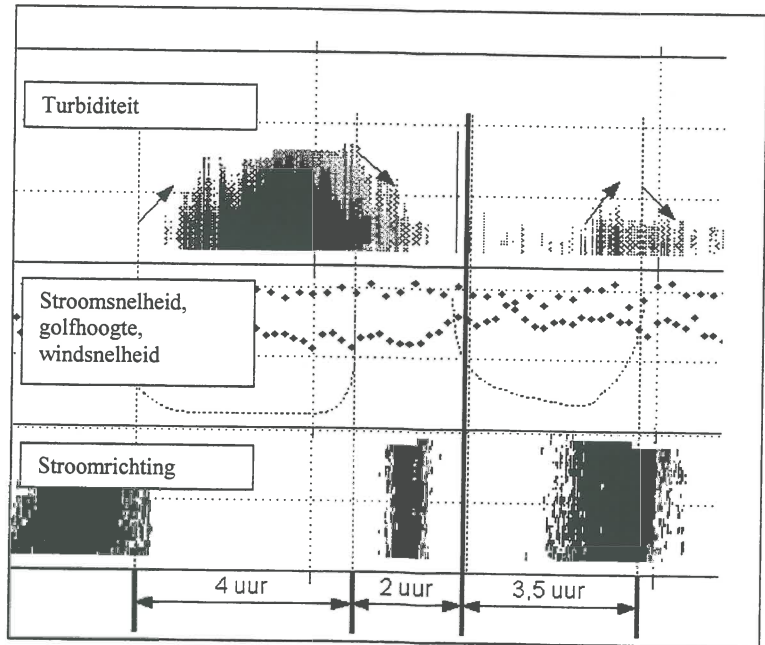


opname afkomstig van de loswal B&W Zeegrugge Oost (met tur1 : onder; tur3 : midden; tur4 : bovenaan de waterkolom)

De meetcampagne losplaats Br & W S1, voor de periode 10-26/01/200

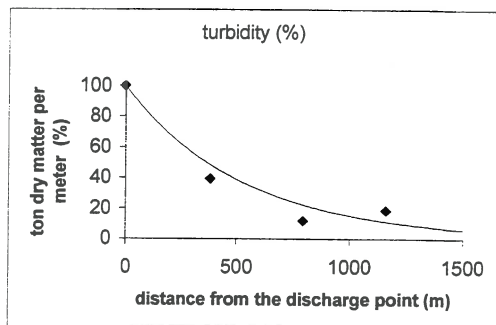
De stroomsnelheid- en stroomrichtinggegevens werden gebruikt bij de evaluatie van de mogelijke invloeden van de lossingen. Na de analyse van mogelijke turbiditeit anomalieën is gebleken dat, in dit geval, de losactiviteiten *niet te onderscheiden* zijn van de achtergrondturbiditeit. Hierdoor zou het aangewezen zijn om, op momenten van lage achtergrondturbiditeit en rekening houdend met de stroomrichting, specie te lossen dicht in de buurt van de meetopstelling waardoor deze activiteit duidelijk waarneembaar zou moeten zijn op de metingen en dienst kan doen als referentie.

Door de combinatie NDP en OBS is de verdeling van de achtergrondturbiditeit nauwkeurig waar te nemen (info over de gehele waterkolom verdeeld in cellen van 0,5m). Alle gemeten parameters (turbiditeit, getij, stroomsnelheid en -richting alsook conductiviteit, temperatuur en druk) verschaffen heel wat informatie over de interactie van het getij en de turbiditeit. Ook de meteogegevens (eveneens opgenomen in de dagrapporten) zijn hierbij van belang. In deze studie werden enkele vaststellingen geformuleerd betreffende cyclische processen, maar deze waren niet het hoofdonderwerp van dit rapport.



Voorbeeld dagrapport van de combinatie NDP en OBS. Deze figuren geven een gedetailleerde verdeling van de stroming en turbiditeit in de waterkolom. Bovenstaande gegevens zijn niet bekomen door interpolatie van enkele puntmetingen (enkel 'smoothing' van de figuur), maar geven voor elke hoogtecel van 0.5m de gemeten informatie.

#### Sedimentpluim bij losoperaties :



	discharge point	frame 2	frame 3	frame 4
distance (m)	0	385	794	1159
turbidity (TDM/m)	15.1	5.9	1.7	2.8
turbidity (%)	100.0	39.2	11.8	18.6

De grafiek hiernaast illustreert de invloedssfeer van de losoperaties.

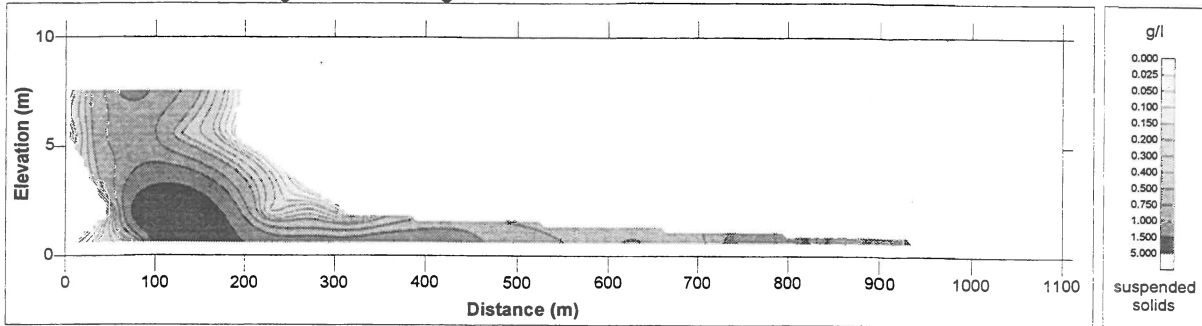
Om de grafiek op te stellen werden de resultaten van 42 dumps gemiddeld. Tijdens de meetcampagne werden in totaal 135 ladingen gelost. Uiteraard werden enkel de dumps gedurende vloed geregistreerd. Bij een aantal lossingen was het onmogelijk de lospluim af te lijnen ten gevolge van de te hoge achtergrondconcentratie. Uitgaande van 100 procent sediment ter hoogte van de initiële losplaats werd het gemiddelde percentage sediment geregistreerd op de 3 meetlocaties in de grafiek uitgezet.

#### invloedssfeer van de losoperaties

De invloedssfeer bedraagt ongeveer 1.5 km (het sedimentgehalte is dan afgenomen tot 5 % van de initiële waarde).

De onderstaande grafiek visualiseert de sedimentpluim, gecorrigeerd voor de achtergrondwaarden, en bevestigt de stelling omtrent het bestaan van een verticale dichtheidstroom van gelost materiaal en het daaropvolgend transport van een fractie fijn materiaal in een wolk dicht bij de bodem. De bovenste sensoren meten een

concentratieverhoging gedurende slechts 3 minuten. Nabij de bodem duurt het 25 tot 30 minuten vooraleer de  
 concentratie tot de achtergrondwaarden gedaald is.



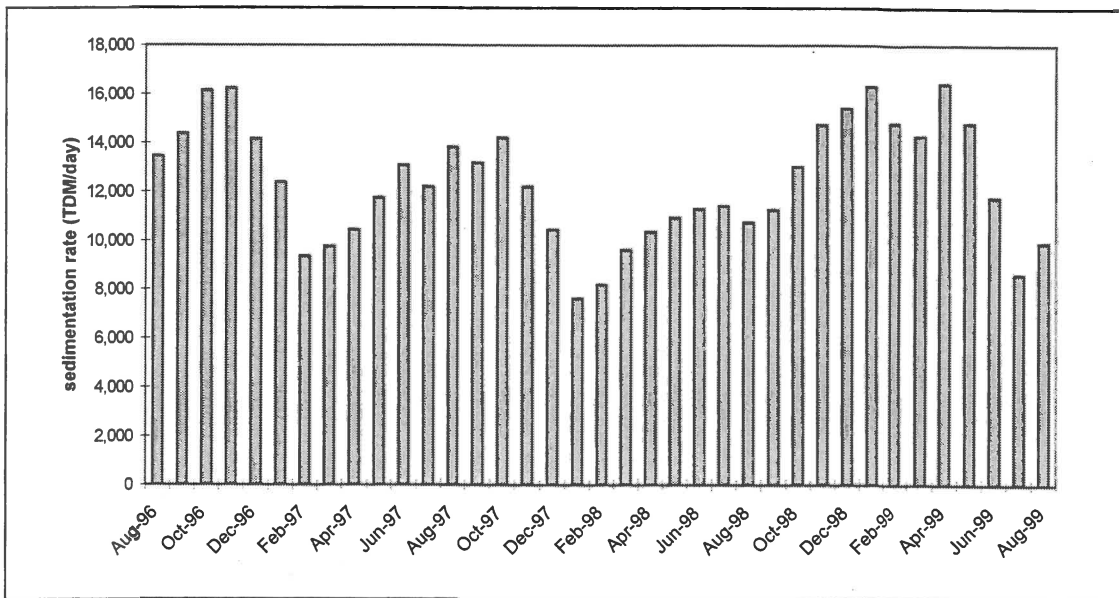
visualisatie van de sedimentpluim veroorzaakt bij het lossen van baggerspecie

**Bodemsediment :**

Het sediment is ter hoogte van de losplaats onderhevig aan de getijstrooming. Het bodemtransport en het  
 uitwassen van de fijne fractie werd bepaald door de granulometrie uit te zetten in functie van de afstand tot de  
 losplaats. De korrelgrootte van het bodemsediment daalt voor de stalen genomen tot op een afstand van 1700 m  
 van de loslocatie. Verderop zijn de bodemstalen terug gelijkaardig van samenstelling en bevatten ze  
 voornamelijk siltig zand.

**5. RELATIE TUSSEN DE HYDRO-METEO EN DE SEDIMENTATIE IN DE HAVEN VAN ZEEBRUGGE**

Op regelmatige tijdstippen worden er in de Haven van Zeebrugge metingen uitgevoerd teneinde de  
 sedimenthoeveelheid, uitgedrukt in TDS (Tonnen Droge Stof), te bepalen ten opzichte van een aantal  
 referentieniveaus. Deze berekende sedimenthoeveelheden worden gebruikt voor het opstellen van een  
 sedimentbalans die een nuttige indicatie verschaft over de hoeveelheden slib die maandelijks in de haven van  
 Zeebrugge sedimenteren. De sedimentbalans kan weergegeven worden in histogramvorm.



sedimentbalans in het CDNB

De hoeveelheden slib die in de haven van Zeebrugge sedimenteren variëren in de tijd. De waargenomen variatie is echter te complex om bijvoorbeeld minima en maxima hoeveelheden te correleren met een specifieke maand. De variaties vinden hoogst waarschijnlijk hun oorsprong in een combinatie van bepaalde hydrografische (stroming, golven) en meteorologische (wind) factoren die de aanvoer van het suspensiemateriaal bevorderen of verhinderen.

In het kader van het MOBAG 2000 project werd nagegaan indien dergelijke correlaties bestaan. Hiervoor werd een correlatieanalyse uitgevoerd tussen de sedimentatiehoeveelheden van 37 perioden (tussen augustus 1996 en augustus 1999) en de hydro-meteorologische data, gemeten tijdens deze perioden.

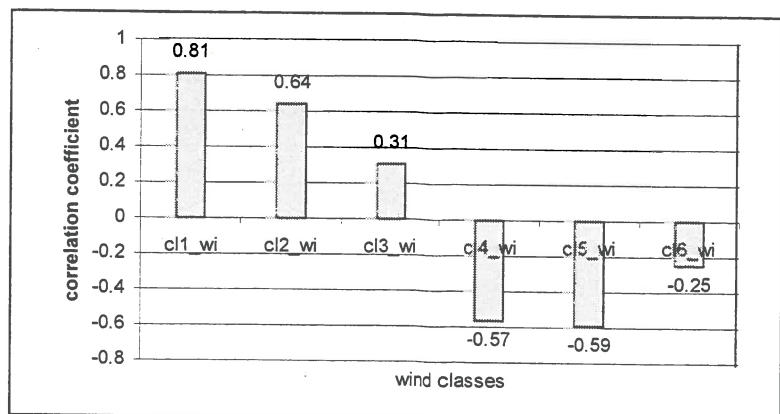
Het bestaan van verbanden tussen sedimentatie en hydro-meteo omstandigheden werd in eerste instantie nagegaan met behulp van Pearson correlatiecoëfficiënten die berekend werden tussen gemiddelde waarden van hydro-meteo parameters (bijvoorbeeld gemiddelde windsnelheid, gemiddelde golfhoogte) en de hoeveelheden sedimentatie per periode. De bekomen correlatiecoëfficiënten waren echter allen zeer laag en niet significant wat leek te wijzen op het ontbreken van een significant verband tussen sedimentatie en externe factoren. De slechte resultaten zijn echter het resultaat van het feit dat het niet mogelijk is om de hydro-meteo evolutie van een maand voor te stellen met behulp van één enkele waarde. Het voorkomen van een korte maar hevige storm bijvoorbeeld komt immers niet tot uiting in de gemiddelde golfhoogte daar deze gemiddelde waarde hoofdzakelijk bepaald zal worden door de lagere golfhoogtewaarden die tijdens de rest van de maand domineren. Bovendien kunnen richtingsparameters niet zo maar gemiddeld worden waardoor een verschillende verwerkingsmethode gebruikt moet worden.

De hydro-meteo data van elke periode werd opgedeeld in 16 richtingsklassen en vier tot zes grootteklassen. De uiteindelijke parameters, te gebruiken in de correlatie analyse, werden bekomen door een aantal sommaties te maken : de voorkomingsfrequentie van de 16 richtingen zonder onderscheid te maken tussen de verschillende grootteordes en de klassen van de grootteordes zonder onderscheid te maken tussen de verschillende richtingen.

Met behulp van een correlatieanalyse en van Principaal Component Analyse op de gesommeerde data konden de volgende relaties tussen de hydro-meteo factoren en de sedimentatiehoeveelheid achterhaald worden :

- voor de wind : de sedimentatie in het CDNB is omgekeerd evenredig met de windsnelheid (bij lage windsnelheden grijpt een uitgesproken sedimentatie plaats en bij hoge windsnelheden vermindert het sedimentatieproces) ; de sedimentatie van gesuspendeerd materiaal treedt preferentieel op wanneer

zeewinden (NO tot NW) domineren; de sedimentatie is het sterkst gecorreleerd met zwakke winden uit de N-NNW richting (deze blazen immers evenwijdig aan de as van het CDNB waardoor de aanvoer van gesuspendeerd materiaal in de haven bevorderd wordt.



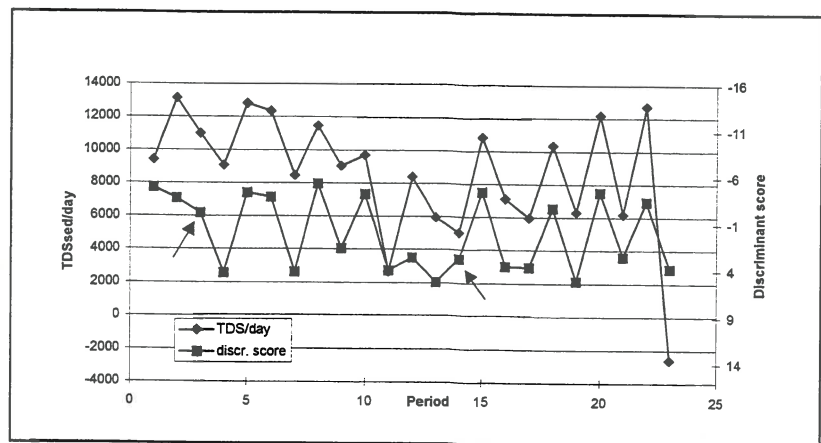
correlatiecoëfficiënten tussen de sedimentatiehoeveelheden en de windsnelheid



- Voor de golven : het suspensiemateriaal zet zich maximaal af in het CDNB op het ogenblik dat de golven afkomstig zijn uit het NNW (golven uit deze richting zijn, net als de wind, gealigneerd met de as van het CDNB waardoor de aanbreng van gesuspendeerd sediment het minst verhinderd wordt) en de sedimentatie domineert bovendien bij de categorie van laagste golfhoogte; de sedimentatie vermindert bij het voorkomen van hogere golven en negatieve correlaties komen voor met de overige golfrichtingen.
- Voor de stroming : de sedimentatiehoeveelheid is in eerste instantie het sterkst gecorreleerd met de stroming uit het ZZW-ZW, overeenkomend met de vloedrichting, en in iets mindere mate, met de stroming uit NO-ONO, overeenkomend met de ebstream; de stroming is verantwoordelijk voor de aanvoer van het sediment in suspensie naar de haven toe.

Een discriminantenanalyse, die nagenoeg uitsluitend op winddata steunt, werd uitgevoerd teneinde na te gaan indien de verschillen in hydro-meteo die heersen tijdens perioden van hoge versus lage sedimentatie, voldoende groot zijn om beide perioden van elkaar te onderscheiden. Hiervoor werden de perioden ingedeeld in twee klassen : één klasse gekenmerkt door een lage sedimentatie (<9100 TDS/dag) en één klasse gekenmerkt door een hoge sedimentatie (>9100 TDS/dag). Met behulp van de discriminantfunctie werd de probabiliteit berekend dat een periode tot één van beide klassen behoort. De predictie van de klasse was correct voor alle 23 perioden die hiervoor gebruikt werden.

De discriminantfunctie benadert voldoende goed het sedimentatiegedrag in het CDNB opdat de trend van de sedimentbalans (verhoging of verlaging ten opzichte van de vorige periode) nagenoeg volledig overeen komt met de trend van de discriminantscores.



*relatie tussen de discriminantscore en sedimentatie*

Een correcte kwantitatieve voorspelling van de sedimentatiehoeveelheid op basis van de windgegevens is echter op dit ogenblik nog niet mogelijk daar het verschil tussen gemeten en voorspelde sedimentatiehoeveelheid nog enkele duizenden TDS/dag kan bedragen.

## 7. MOBILISATIE VAN MICROPOLLUENTEN TIJDENS HET BAGGEREN MET EEN SLEEPHOPPERZUIGER

De doelstelling van de studie met de 'groene pijp' (of recirculatiepijp) en de 'milieuklep' bestond erin de mobiliteit van anorganische (vnl. metalen) en organische polluenten (PCB's, PAK's etc) en nutriënten (stikstof, fosfor etc.) ten gevolge van het opbaggeren van baggerspecie met een sleephopperzuiger na te gaan. Aan de hand van bovenstaande parameters werd de ecologische impact van twee verschillende milieuvriendelijke baggertechnieken vergeleken.

## 7.1. Baggertechnieken

In deze studie werden de volgende baggertechnieken vergeleken :

- De sleeppopperzuiger uitgerust met standaard zuigbuizen en een **milieuklep** in het overvloeikanaal. Deze milieuklep smooft de stroming van het overvloeewater waardoor het niveau in de overloop stijgt en de valhoogte van het overvloeewater vermindert. De turbiditeit rond en naast het schip zal hierdoor dalen en de verspreiding van de eventueel met polluenten beladen deeltjes wordt beperkt.
- Baggeren met de '**groene pijp**' (**recirculatiepijp**) : wanneer zand/slib mengsels worden gebaggerd dan stroomt de slibfractie met het overvloeewater overboord. Aangezien de polluenten zich voornamelijk concentreren in de fijne fractie zullen deze zich over een groot oppervlak verspreiden. Om dit te vermijden wordt bij het gebruik van de 'groene pijp' het overvloeewater volledig opgevangen en door middel van de stuurboord baggerpomp terug naar de sleepkop geperst en als proceswater hergebruikt.

## 7.2. Werkmethode

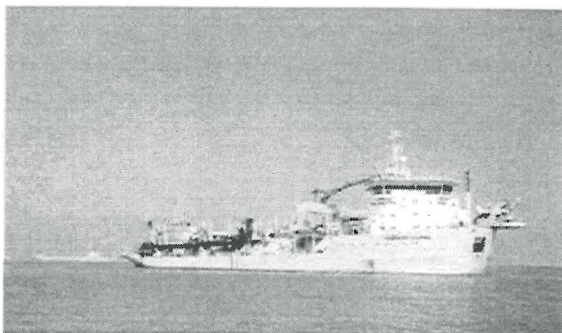
Om een goede visie te krijgen omtrent de mobiliteit van polluenten tijdens de verschillende fasen van het baggerproces werden de volgende stalen genomen : in-situ stalen en stalen aan boord van de sleeppopperzuiger (beun, overvloei, net voor het dumpen).

Om de mobiliteit van de polluenten te evalueren tussen de verschillende baggerfasen werden de volgende parameters bepaald : fysisch-chemische parameters zoals de redox, pH, droge stof, dichtheid, organisch materiaal, carbonaten en de granulometrie; nutriënten (fosfor, Kjeldahl stikstof en ammonium stikstof); natuurlijke en zware metalen (Mn, Fe, Al, Cu, Hg, Cd, Pb, Zn, As, Cr en Ni) en organische polluenten (PAK's).

Poriewateranalyses van de zware metalen werden uitgevoerd en additioneel werd de speciatie van arseen ( $As^{5+}$  en  $As^{3+}$ ) nader bekeken. De volgende parameters werden op het poriewater bepaald : Eh, Ph, geleidbaarheid, Kjeldahl stikstof en ammonium stikstof, totaal fosfor, chloride en sulfaat.

Verder werden de distributiecöefficienten (Kd-faktor) voor de verschillende contaminanten berekend.

Ten laatste werden sequentiële extracties uitgevoerd voor de 11 metalen, waarbij de 'BCR- 3 stap' procedure werd gevolgd (EUR 17554 EN, 1997).



*sleeppopperzuiger 'Cristoforo Colombo' tijdens onderhoudsbaggerwerken te Zeebrugge*

## 7.3. Resultaten

Zoals werd verwacht is er weinig variatie in de totaal concentraties van de polluenten. De veranderingen in mobiliteit zal eerder blijken uit verschuivingen tussen fracties bij de sequentiële extracties en in concentratieveranderingen in het poriewater.

- Inschatting van de mobiliteit van pollutanten aan de hand van poriewater analyses :
  - Ammoniumstikstof daalt bij het baggeren in vergelijking met de in-situ sedimenten, met uitzondering van de stalen net voor het dumpen bij het baggeren met de recirculatiepijp. De zelfde evolutie werd geobserveerd voor Kjeldahl stikstof.
  - As en Zn concentraties in het poriewater hebben een neiging te stijgen tijdens het baggeren met de recirculatiepijp. Bij de milieuklep is de evolutie niet duidelijk.
  - Ni, Cu, Cd en Hg vertonen geen significante variatie tijdens het baggeren behalve voor Ni waar een lichte stijging is waargenomen. De concentraties in het poriewater zijn overwegend laag (Ni, Cu) of zeer laag (Cd, Hg).
  - Mn en Fe concentraties in het poriewater zijn van nature uit hoog. Hoewel tijdens het baggeren ijzer stijgt is er geen evolutie voor mangaan waargenomen. De aluminium concentratie in het poriewater is veel lager en stijgt lichtjes bij de recirculatiepijp.
- Inschatting van de mobiliteit aan de hand van de distributiecoëfficiënt (Kd) :
  - Wanneer de distributiecoëfficiënten van de in-situ sedimenten worden vergeleken met deze tijdens het baggeren kunnen we besluiten dat de mobiliteit stijgt tijdens het baggeren. De stijging is echter relatief klein en hangt af van het beschouwde metaal en de baggertechniek die wordt beschouwd.
- Inschatting van de mobiliteit aan de hand van sequentiële extracties :
  - De verschuiving naar meer of minder mobiele fracties verschilt al naargelang het metaal. Er dient echter worden opgemerkt dat de geobserveerde verschuivingen allemaal zeer klein zijn, namelijk in de orde van een paar percent.

#### 7.4. Besluiten

De mobiliteit van metalen verhoogt ten gevolge van het baggerproces. Bij de groene pijp is die verhoging meer uitgesproken dan bij de milieuklep op het niveau van de te lossen baggerspecie in het beun. Bij het baggeren met de groene pijp komt echter (bijna) geen overvloed in de omringende waterkolom terecht zodat deze techniek globaal een minder verhoogde mobiliteit veroorzaakt dan de milieuklep. Er dient opgemerkt te worden dat de verhoogde mobiliteit ten gevolge van het baggeren, in absolute cijfers uitgedrukt, gering is.

## 8. ECOTOXICOLOGISCHE EVALUATIE OP PELAGISCHE ORGANISMEN VAN DE TURBIDITEIT VEROORZAAKT DOOR BAGGERACTIVITEITEN

### 8.1. Inleiding

Baggeractiviteiten kunnen een belangrijke invloed uitoefenen op het aquatische ecosysteem en dit zowel op de site waar gebaggerd wordt alsook op de loswal. Alhoewel baggeren noodzakelijk is voor het behoud van de vaarfuncties van rivieren, kanalen en havens moet er naar gestreefd worden de impact van deze activiteiten tot een minimum te beperken om aldus te komen tot een duurzaam baggerbeleid. De grootste bezorgdheid voor het milieu houdt verband met de aanwezigheid van contaminanten in de baggerspecie. Ten gevolge van veranderingen in de fysisch-chemische omstandigheden (vb. oxidatie) kunnen deze contaminanten opnieuw geremobiliseerd worden in de waterkolom. Maar zelfs in afwezigheid van contaminanten kunnen baggerwerken negatieve effecten uitlokken onder de vorm van een fysieke verstoring. Voorbeelden van deze fysische effecten zijn zuurstof depletie, overschrijding van de granulometrische randvoorwaarden (in het geval de korrelgrootte

verschillend is van het sediment aanwezig op de loswal), verstikking van organismen die er niet in slagen terug naar de oppervlakte te migreren na depositie en verhoogde turbiditeit in de waterkolom. Een verhoogde sedimentconcentratie in de waterkolom kan een negatief effect hebben op de fytoplanktonpopulatie door beschaduwing of kan aanleiding geven tot beschadiging van de kieuwen van vissen door het schuren en/of adsorptie op het kieuwoppervlak.

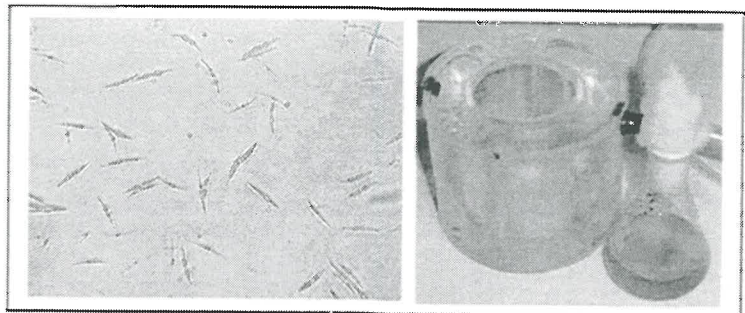
Enkel een beperkt aantal studies hebben de effecten van verhoogde turbiditeitsniveaus op aquatische organismen onderzocht. Vislarven en juveniele vissen die werden blootgesteld aan gesuspendeerd niet gecontamineerd sediment vertoonden een verminderde groei, verstoorde voeding en een verhoogde mortaliteit. De huidige studie is vooral gericht op de evaluatie van de fysische effecten van gesuspendeerd sediment op pelagische organismen aan milieurelevante concentraties.

## 8.2. Experimentele opzet

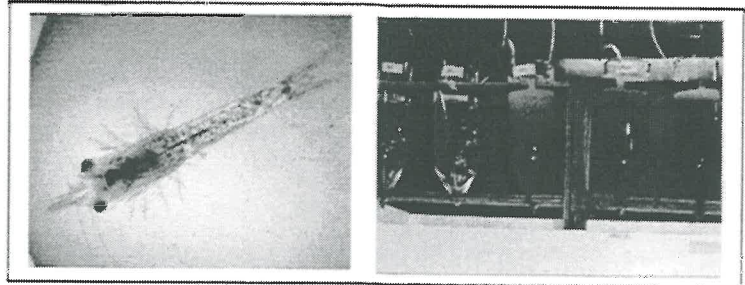
Sedimentstalen afkomstig van het Centraal Deel Nieuwe Buitenhaven (haven van Zeebrugge) werden in april 2000 verzameld met behulp van een Van Veen grijper. Het sediment werd getransporteerd in 10 l HDPE emmers en bewaard bij 4 °C tot aanvang van de ecotoxiciteitstesten. De sedimenten werden vooraf gezeefd over 2 mm en 1 mm om grof materiaal te verwijderen.

Voor de ecotoxicologische opvolging werd gebruik gemaakt van een testbatterij met testorganismen representatief voor verschillende trofische niveaus. Een overzicht van de testorganismen en testmethodes wordt gegeven in de tabel. Sediment suspensie testen werden gelijktijdig uitgevoerd met de aasgarnaal *Americamysis bahia* (5 dagen oude juvenielen), de alg *Phaeodactylum tricomutum* en de zeebaars *Dicentrarchus labrax*.

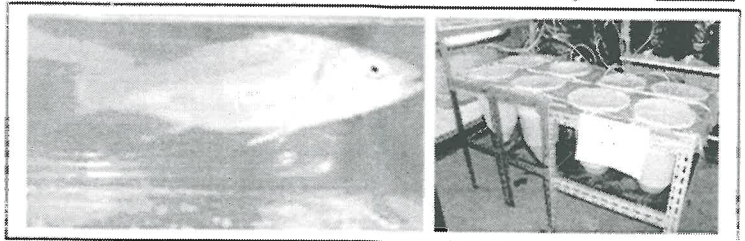
Elutriaatproeven werden eveneens uitgevoerd met de hierboven vermelde testorganismen. Bijkomend werd op het elutriaat een test uitgevoerd met de mariene copepode *Tisbe battagliai*. Het elutriaat werd bereid door ongeveer 1 l gehomogeniseerd sediment te combineren met zeewater in een sediment/water ratio van 1:4. Na een 24h stabilisatieperiode werd het supernatans gebruikt voor de testen. Elutriaatproeven werden algemeen uitgevoerd aan de hand van een ½ verdunningsreeks met het respectievelijk verdunningswater zoals gespecificeerd in de verschillende testprotocollen. De 48h acute test met *T. battagliai* werd uitgevoerd volgens de



opstelling van de turbiditeitsexperimenten met de alg *P. tricomutum*



opstelling van de turbiditeitsexperimenten met de aasgarnaal *A. bahia*



opstelling van de turbiditeitsexperimenten met de zeebaars *D. labrax*

ISO richtlijn 4669 (ISO, 1999). De 72h algen-groei inhibitie test met *P. tricornutum* werd uitgevoerd volgens de ISO richtlijn ISO/DIS 10253 (1991). De 96h vistest (met *D. labrax*) protocol is een aanpassing van de procedure zoals beschreven door Coutteau et al (1995). De 96h test met de aasgarnaal *A. bahia* werd uitgevoerd volgens het protocol beschreven door het "Environmental Protection Agency" (US EPA, 1985). Een gedetailleerde beschrijving van de gebruikte testmethodologieën kan teruggevonden worden in de respectievelijke referenties.

Sediment suspensie testen werden uitgevoerd met nominale sediment concentraties variërend van 0.1 tot 10 g/l. Sediment suspensies werden aangemaakt door de sedimenten te zeven tot op 150 µm en dan de benodigde hoeveelheid sediment over te brengen in de respectievelijke recipiënten.

Na een 24h stabilisatieperiode werden de testorganismen in het sediment-water systeem geïntroduceerd. In de 7 dagen turbiditeitsexperimenten met de aasgarnaal *A. bahia* werden 1 l cilindro-conische testrecipiënten gebruikt als blootstellingkamers. In de 14d turbiditeitsexperimenten met de zeebaars *D. Labrax* werden 7 l containers gebruikt. De sedimenten werden voortdurend in suspensie gehouden door middel van een "airlift" systeem.

Preliminare testen toonden aan dat het kleven van sedimentpartikels aan de wanden van de testrecipiënten resulteerde in een progressieve afname van de turbiditeit. Daarom werd geopteerd de testoplossingen dagelijks te vernieuwen. Vijf dagen oude juveniele aasgamalen (*A. bahia*) waren afkomstig van eigen culturen. De juveniele zeebaarzen (40 dagen) werden aangekocht op een visfarm in Frankrijk. Alle experimenten bestonden uit 8 testconcentraties.

Drie replica's per concentratie voor *A. bahia* en twee replica's voor de zeebaarsexperimenten. Elke replica werd op zijn beurt gevuld met respectievelijk 10 aasgamalen of 5 vissen. Vernieuwing van het testmedium in de *A. bahia* testen bedroeg 0.5 volume per beker per dag en werd bekomen door het gebruik van een peristaltische pomp. De testoplossingen bij de zeebaars experimenten werd om de twee dagen manueel ververs. Alle testorganismen werden "ad libitum" gevoederd met aangerijkte artemia nauplii. Dagelijks werd het resterende voedsel, fecaliën en dode organismen verwijderd en de mortaliteit genoteerd. Op het einde van de blootstellingperiode werd het aantal overlevende organismen, het drooggewicht en bij *A. bahia* eveneens de seksuele maturiteit bepaald. Tijdens het verloop van de experimenten werden eveneens waterstalen genomen en geanalyseerd voor metalen en nutriënten.

Soort	Duur	Eindpunt
Elutriaat testen		
Test met algen: <b>Phaeodactylum tricornutum</b>	72h	Groei
Test met kreeftachtigen: <b>Americamysis bahia</b>	96h	Mortaliteit
<b>Tisbe battagliai</b>	48h	Mortaliteit
Test met vissen: <b>Dicentrarchus labrax</b>	96h	Mortaliteit
Turbiditeitsexperimenten		
Test met algen: <b>Phaeodactylum tricornutum</b>	7d	Groei
Test met kreeftachtigen: <b>Americamysis bahia</b>	7d	Mortaliteit/groei en seksuele maturiteit
Test met vissen: <b>Dicentrarchus labrax</b>	14d	Mortaliteit/groei

overzicht van de gebruikte ecotoxiciteitstesten in deze studie

De turbiditeitsexperimenten met de alg *P. tricornutum* werden uitgevoerd volgens twee testmethodes. In de eerste methode worden de algen rechtstreeks blootgesteld aan de sediment suspensie gedurende 7 dagen. De celdensiteit werd dagelijks gemeten met behulp van een Sedgewick Rafter telkamer. In een tweede experiment werden de algen indirect blootgesteld aan de sediment suspensie door het gebruik van een dubbelwandig recipiënt met een binnenkamer met 25 ml algensuspensie en een buitenkamer gevuld met de sedimentsuspensie. De sedimenten werden continue in suspensie gehouden met behulp van een schudtoestel.

### 8.3. Resultaten

Het elutriaat was niet toxisch voor alle geteste organismen. In de turbiditeitsexperimenten (blootstellingconcentraties: 0.5-10 g/l) met de zeebaars *D. Labrax* werd gedurende de volledige 14 d blootstellingperiode geen significant verhoogde mortaliteit waargenomen. De overleving, groei en seksuele maturiteit werden als eindpunten geanalyseerd in de 7 dagen sediment suspensie experimenten met de aasgarnaal *A. bahia*. De overleving in de verschillende blootstellingkamers waren niet statistisch ( $p < 0,05$ ) verschillend van de controle. Er werd zelfs een positief effect waargenomen op de groei (gemeten als drooggewicht) en seksuele maturiteit bij de hogere sedimentbelastingen. Dit effect is waarschijnlijk toe te schrijven aan het feit dat de sedimentpartikels een bijkomende voedselbron vormt voor de aasgarnaal die eveneens een detritus-eter is.

De groei van de algen werd negatief beïnvloed door de aanwezigheid van verhoogde sedimentconcentraties in het groeimedium. De groei-inhibitie trad op vanaf een concentratie van 0.3 g/l (27 % afname). Een duidelijke afname (69 %) in de populatiegroei van de alg *P. tricornutum* werd waargenomen vanaf 0.5 g/l. Een volledige groei-inhibitie werd waargenomen bij concentraties hoger dan 1,5 g/l. Verschillende mechanismen kunnen aan de basis liggen van de waargenomen negatieve effecten zoals remobilisatie van contaminanten, schuurstress of beschaduwing. De chemische analyses toonden aan dat de concentraties aan metalen en nutriënten niet hoger lagen dan bij de controle. De indirecte invloed van beschaduwing werd onderzocht aan de hand van dubbelwandige recipiënten. Deze experimenten toonden aan dat de groei-inhibitie bij lagere sedimentconcentraties in de directe blootstellingmethode voornamelijk te wijten is aan schuurstress en dat beschaduwing een belangrijke rol begint te spelen vanaf sedimentconcentraties boven 1g/l (een lichtreductie van 50 % werd waargenomen bij een concentratie van 1g/l).

### 8.4. Besluiten

Een verhoogde turbiditeit is niet alleen het resultaat van baggeractiviteiten maar is ook het gevolg van stormen en natuurlijke getijwerking. Het is dan ook interessant de relatieve bijdrage van de baggeractiviteiten aan de natuurlijke achtergrondturbiditeit te kunnen kwantificeren om zo de surplus impact van baggeractiviteiten te kunnen inschatten. Op basis van de resultaten van deze studie kan besloten worden dat het onwaarschijnlijk is dat de verhoogde turbiditeit ten gevolge van baggeractiviteiten negatieve effecten zal veroorzaken op de overleving van juveniele vis en aasgarnalen. Immers deze activiteiten zijn intermitterend van karakter waarbij periodes van verhoogde turbiditeit worden waargenomen over korte tijdsintervallen terwijl in deze studie enkel een "worst-case" scenario (continue blootstelling) werd beschouwd.

Metingen van het verticaal turbiditeitsprofiel op loswallen en ter hoogte van baggeractiviteiten toonden aan dat in de bovenste waterlaag (0-2.5 m) de gesuspendeerde sedimentconcentraties in het algemeen beneden 0.5 g/l zijn. Er kan dan ook geconcludeerd worden dat de effecten op de algenpopulatie beperkt zullen blijven.