

## GEOMORFOLOGISCH ONDERZOEK OP HET BELGISCH KONTINENTAAL PLAT

G. DE MOOR \*

### 1. INLEIDING

Het Belgisch Kontinentaal Plat strekt zich uit tot op een vijftigtal kilometer uit de kust in het meest zuidelijk deel van de Noordzee. De oppervlakte bereikt ongeveer 3100 km<sup>2</sup>, waardoor ze die van een Belgische provincie benadert.

Het bodemreliëf bestaat uit een complex van zandbanken en geulen die de toegang tot de Belgische kusthavens en tot alle Scheldehavens controleren voor grotere schepen.

De geulen bereiken maximale diepten tot 30 à 40 m beneden G.L.L.W.S., terwijl op sommige banken, vooral op de meer kustwaarts gelegen gedeelten, minimale diepten van minder dan 5 meter beneden G.L.L.W.S. aangetroffen worden.

De banken bereiken lengten van tientallen kilometer, breedten van 1 tot enkele kilometer en relatieve hoogten tot 20 m. Ze vertonen veelal een asymmetrisch dwarsprofiel en dikwijls kinken in hun planvorm. Op basis van hun ligging en richting kunnen ze binnen een viertal systemen gegroepeerd worden: de Kustbanken, de Vlaamse Banken, de Hinderbanken en de West-Zeelandbanken (Fig. 1).

In het gehele gebied bestaat de oppervlakte uit holocene zeezanden. Op de banken zijn die over 't algemeen grover dan in de geulen. Daar komen soms slibvelden voor (zoals in de Kleine Rede), maar ook oppervlakkige grindvlekken (zoals in de Kwintegeul, in de Ratelgeul, e.a.). Op de banken zelf bestaan er granulometrische differentiaties waarbij de sedimenten op de energierijkere zeevaartse uiteinden het grofst zijn. Zeewaarts, maar ook dicht bij de kustlijn, worden de zanden grover.

Talrijke velden met oppervlakkige sedimentaire structuren, zoals ribbles, megaribbels en zandgolven bedekken geulen en banken. Ze wijzen op intense verplaatsingen van bodemlading volgens verschillende mechanismen en looptijden. De residuele effecten kunnen echter in vraag gesteld worden wegens de dominantie van de heen- en weer

---

\* Geologisch Instituut, Rijksuniversiteit Gent.

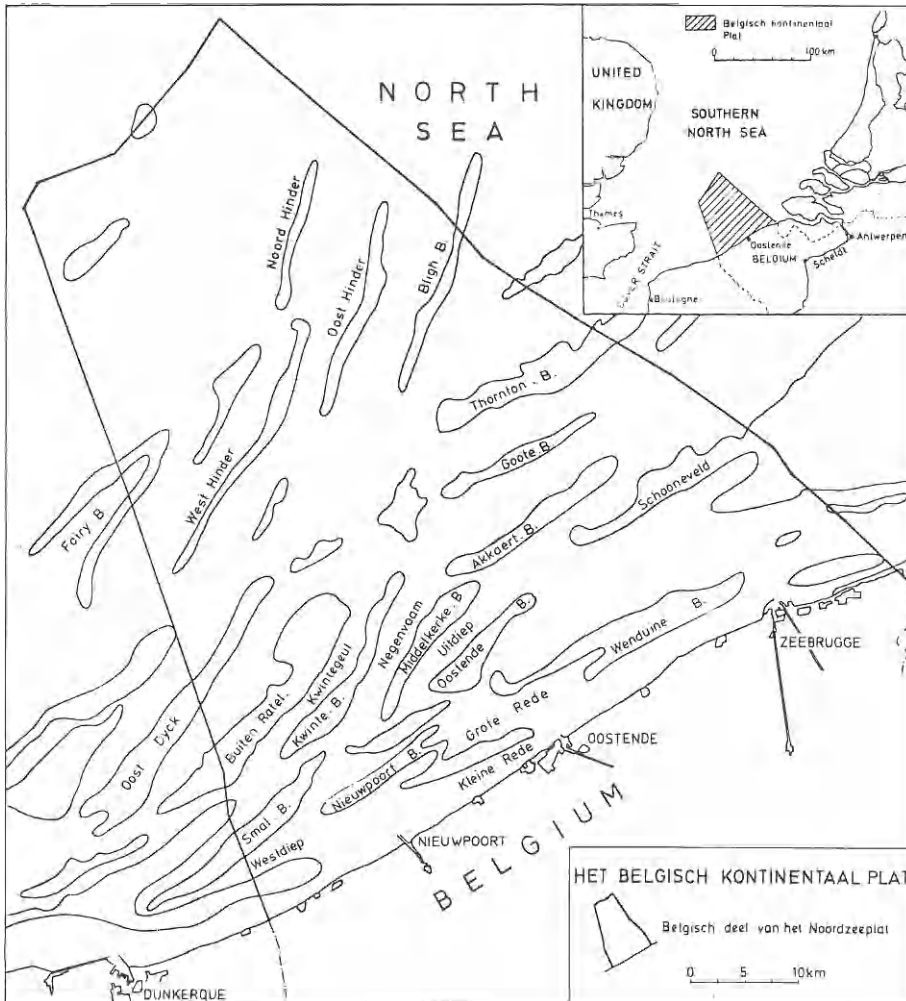


Fig. 1. Lokalisatie van het studiegebied met de verschillende groepen zandbanken.

beweging in het transport door getijdestromen en wegens het snelheidsverschil tussen de eb- en vloedpiekstromen. De banken verschillen inzake hoogte en mikromorfologie en vertonen morfologische differentiaties volgens verschillende delen en seizoenen (Fig. 2).

In sommige banken (zoals in de Wenduinebank) en in sommige geulen (zoals in de Kwinthegeul) reikt het tertiair substraat plaatselijk tot vlakbij de oppervlakte.

Overigens zijn de banken hoofdzakelijk opgebouwd uit holocene zeezanden, die tot meer dan 20 m dikte kunnen bereiken. Het is evenwel niet systematisch uitgemaakt of het hier gaat om ophopingsvormen, om erosievormen, om progradatievormen of om een of andere

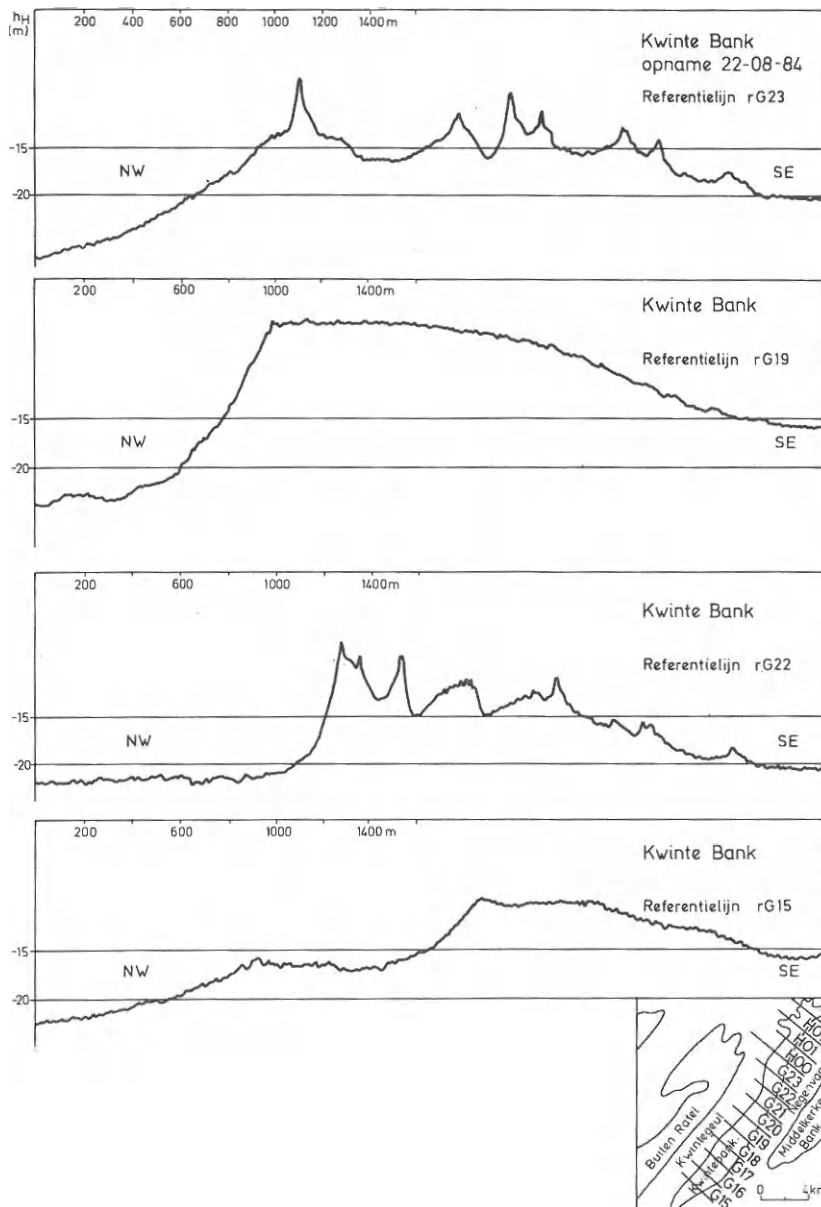


Fig. 2a. Drie kenmerkende zomer reliëfdoorsneden van de Kwinte-bank op 22 augustus 1984; rG22 (noordzijde), rG19 (centraal deel), rG15 (zuidzijde).

Profiel rG22 toont duidelijk hoge asymmetrische zandgolven, die vanuit de beide geulen naar de topzone prograderen. Profiel rG19 toont duidelijk de ondiepe vlakke topzone en de uitgesproken banksymmetrie. Profiel rG15 toont duidelijk een asymmetrische doorsnede, waarbij de bank aan de westzijde eveneens steil staat maar een geulwandvervlakking domineert, die aan een harder substraat toe te schrijven is waarover de bank oscilleert.

Overal is de bank in zuidoostwaartse migratie. Let op de veel geringere diepte van de zuidoostelijk Negenvaamgeul.

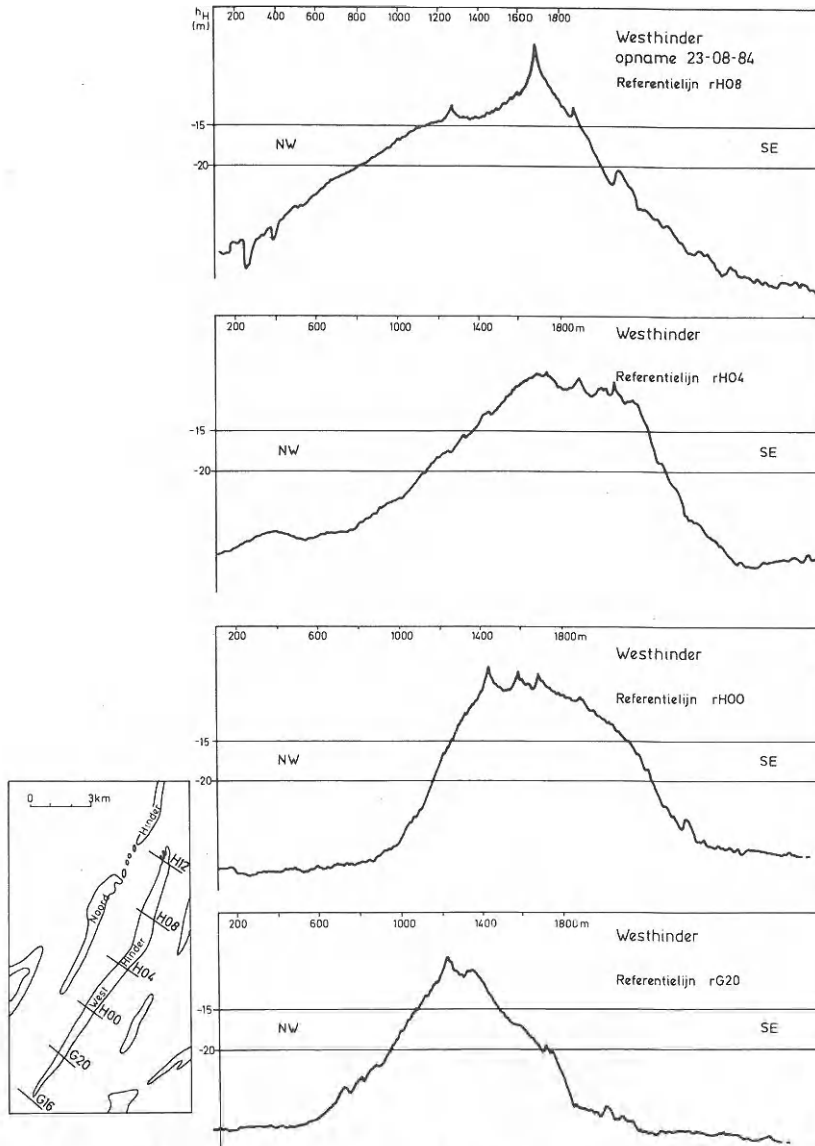


Fig. 2b. Drie kenmerkende zomerreliëfdoorsneden van de Westhinder op 23 augustus 1983. rH08 (noordzijde) met typische asymmetrie, steile flank gericht naar het oosten en grotere zandgolven die vanuit de zuidoostelijke geul de bank opklimmen, wat een noordwestwaartse migratie aanwijst. Let op de corresponderende grotere diepte van de zuidoostelijk geul.

rH00 (centraal deel) toont een bank met tegengestelde asymmetrie. De zandgolven prograderen evenwel naar de steile kant toe. Hier is de migratierichting pas omgekeerd.

rG20 (zuidelijk deel) toont een bankdeel met zelfde maar minder uitgesproken bankasymmetrie en steilzijde naar het noordwesten. Zandgolven klimmen aan beide kanten de flanken op. De geulen liggen aan beide kanten op zelfde peil. De Westhinder bestaat uit twee bankdelen, die een verschillende migratiebeweging in hun oscillatie vertonen en die verschillende fasen in de middellange evolutie van zandbanken vertegenwoordigen. De kink in het lengteprofiel ten noorden van rH04 wijst die twee bankdelen met verschillend evolutiestadium aan.

evenwichtstoestand aangepast aan de kenmerken van de getijdestromingen en in continue vervorming. Voor sommige banken (waaronder de Kwintebank) zijn er aanwijzingen voor een kern van oudere holocene of jong-pleistocene afzettingen. Het voorkomen van pleistocene sedimenten in diepere opgevulde geulen is ook vermeld geweest, o.a. in het verlengde van diepe pleistocene thalwegen van de Kustvlakte en van de Vlaamse Vallei. Hun positie en morfologie (o.a. aan de voet van de bedolven Bartoon-cuesta land- en zeewaarts van Zeebrugge) verraden aanpassing aan de lithostructuur van het tertiair substraat.

Sommige banken op het Belgisch Kontinentaal Plat, waaronder vooral de Kwintebank, de Ravelingen, de Thorntonbank en de Gootebank zijn in de laatste tien jaar het voorwerp van zandwinnings. Alleen op de Noordkant van de Kwintebank kan het jaargemiddeld zandverlies geraamd worden op 400 000 m<sup>3</sup> over een gebied met een totaal beschikbaar zandvolume van ongeveer 25 000 000 m<sup>3</sup> (1982).

Deze zandwinnings doen talrijke vragen rijzen in verband met hun weerslag op de stabiliteit in positie, vorm, volume en diepte van de zeebodemtopografie en in 't bijzonder van de banken nabij de vaargeulen; over een eventueel natuurlijk regeneratieproces van de banken; over de herkomst en de aanvoermechanismen van de zanden; over de effecten op het golfklimaat en op de stromingen mede in verband met het probleem van de stranderosie; over geografische en kwantitatieve exploitatienormen die technisch en economisch realiseerbaar zijn; over de impact op de ontwikkeling van het visbestand en op de visserijmogelijkheden; over de weerslag op de veiligheid en de stabiliteit van diverse onderzeese voorzieningen; enz...

## 2. MORFOLOGISCHE PROBLEMATIEK

De meeste van die vragen sluiten aan bij meer fundamentele problemen van de submariene geomorfologie; meer bepaald :

- (1) De inventarisatie van de reliëfsvormen tot op het gewenste dimensionele niveau en met de daarbij passende verticale en areale resolutie.
- (2) De huidige morfodynamiek van banken en geulen, zowel wat betreft de kwalitatieve als de kwantitatieve aspecten van de veranderingen in plaats, vorm en volume.
- (3) De huidige sedimentbewegingen met residuele effecten op de reliëf ontwikkeling.
- (4) De analyse en de verklaring van de morfografische kenmerken van de banken, zoals planvorm (o.a. de kinken), transversale en longitudinale vormkenmerken (o.a. de asymmetrie), afmetingen, positie, patroon, richting en ophoofding, obliterations door diverse types oppervlakkige sedimentaire structuren.
- (5) De genese van de banken gedurende de pre-Atlantische holocene

zeespiegelrijzing en de betekenis van de oudere kernen.

(6) De verdere evolutie van de banken gedurende de post-Atlantische zeespiegelbewegingen.

(7) De betekenis van de huidige morfodynamische en sediment-dynamische mechanismen binnen het langere proces van bankgenese en -evolutie.

Hierbij blijkt tevens dat, om processen en vormen te verklaren het nodig is een onderscheid te maken tussen korte-, middellange-, en lange-termijn componenten evenals tussen lokale en regionale aspecten, ogenblikkelijke en residuele effecten, en ook rekening te houden met het sterk wisselend karakter van het hydrodynamisme.

### 3. METHODOLOGIE

Met dit geomorfologisch onderzoek op het Belgisch Kontinentaal Plat worden in de eerste plaats beoogd een monitoring van de huidige stabiliteit van de reliëfsvormen naar plaats, vorm en volume en een evaluatie van de actuele residuele sedimentdynamiek, d.w.z. de sedimentbewegingen over min of meer langere periodes en zo mogelijk in functie van factoren die sedimentverplaatsingen beïnvloeden, zoals de getijdekenmerken, de sedimentkenmerken, de stromingen, etc... Vervolgens wil nagegaan worden in hoever deze actuele processen ook vroeger hebben gewerkt en aldus hebben bijgedragen tot de genese en de evolutie van de banken. Voor dit laatste is studie van de interne opbouw van de banken onontbeerlijk, en kunnen vergelijking van profielen of kaarten met lange tussentijd informatie over de middellange-termijn-veranderingen bieden.

De monitoring van de huidige reliëfsveranderingen, d.w.z. van de residuele morfodynamiek, berust op de waarneming van de residuele veranderingen van vorm, plaats en volume van de reliëfsvormen over periodes tussen twee reliëfsopnames in door vergelijking van reliëfsvormen of van referentiesecties van die reliëfsvormen in opeenvolgende, vergelijkbare opnames. Die opnames kunnen hoogtelijnkaarten zijn, kaartprofielen afgeleid van hoogtelijnenkaarten, oorspronkelijk opgenomen doorsneden of ook areale teledetectiebeelden van het zeebodemoppervlak. De vergelijking kan visueel gebeuren waarvoor vergelijkbare doorsneden, kaarten met hoogtelijnpatronen of beelden moeten beschikbaar zijn en waardoor vooral kwalitatief de vorm en plaatsverandering geëvalueerd wordt. Ze kan ook numerisch, meer bepaald volumetrisch, gebeuren hetzij areaal op kaarten, hetzij in discrete referentiepunten op kaarten, hetzij langsheen referentieprofielen. De gekwantificeerde vergelijking gebeurt dan op basis van de sedimentvolumes die met deze veranderingen gepaard gaan. Om deze numerische gegevens geografisch vergelijkbaar te hebben moeten ze in relatieve volumes per tijd- en oppervlakte-eenheid uitgedrukt worden. Om vergelijkbare profielen te bekomen worden de bathy-

metrische opnames sekwentieel uitgevoerd langs vaste referentielijnen. Deze werkwijze biedt ook een grotere soepelheid in de frequentie van de opnames, laat toe vrijwel simultaan gegevens te bekomen over vrij grote gebieden en maakt een betere aanpassing aan factoriële omstandigheden mogelijk.

De verplaatsing van sedimenten volgens intensiteit, wijze en weg kan benaderd worden op basis van directe transportmetingen met behulp van sedimentvangers of met tracers, of ook op basis van transportformules die dit transport aan sommige hydrodynamische parameters vastleggen, zoals korrelgrootte, stroomsnelheid, diepte, bodemruwheid, e.a., maar die opgesteld werden voor ondiepe proefgoten met unidirectionele stroming.

Gezien de omstandigheden (o.a. de grote diepten, het getijdekarakter) zijn de residuele sedimentverplaatsingen hier onderzocht door analyse van volumetrische gegevens over de morfodynamiek op verschillende plaatsen en door de studie van de bewegingskenmerken (richting, snelheid) van de stroomstructuren, oppervlakkige sedimentaire structuren waarvan de grotere reeds complex opgebouwde vormen zijn. Die stroomstructuren zijn kleinere vormen, die zich voordoen als longitudinale slierten of als barchanen indien er weinig zand voorhanden is, en van transversale lineaire ribbels, megaribbels of zandgolven (tot 10 m hoogte), indien er veel zand voorhanden is.

De strekking en de asymmetrie van deze lineaire vormen zijn indicaties voor de richting van de residuele zandverplaatsingen door bodem- en saltatietransportmechanismen onder invloed van de wisselende richtingen, snelheden en duur van de getijdestromingen en van de variërende invloed van de golven. Bij de banken zelf moet de asymmetrie als progradiatiekarakteristiek echter zeer in vraag gesteld worden. De snelheid van verplaatsen en de volumetrische veranderingen van de stroomstructuren zijn andere, maar moeilijker te bepalen indicaties voor de intensiteit van het sedimenttransport.

Het bestaan en de hoogte van al die vormen kunnen zeer duidelijk in doorsnede waargenomen worden op echoloodregistraties die met voldoende verticale en horizontale resolutie opgenomen zijn (fig. 3). De strekking van de lineaire vormen en hun asymmetrie kunnen niet systematisch en niet rechtstreeks uit die profielen afgeleid worden, omdat deze - tenzij toevallig - niet transversaal staan.

Akoestische onderwater-teledetectieopnames (meer bepaald met side-scan-sonar-technieken) laten toe areale beelden van de bodemreliëfvormen en van hun verspreiding te bekomen tot op een dimensioneel niveau dat door de opnametechniek tot op dat van de kleine vormen (zoals ribbels) kan gebracht worden. Door de geschikte interpretatie kunnen die beelden een pseudodriedimensionele analyse toelaten van de reliëfvormen en van hun morfografische en morfometrische kenmerken (zoals strekking, hoogte, sterkte van de hellingen).

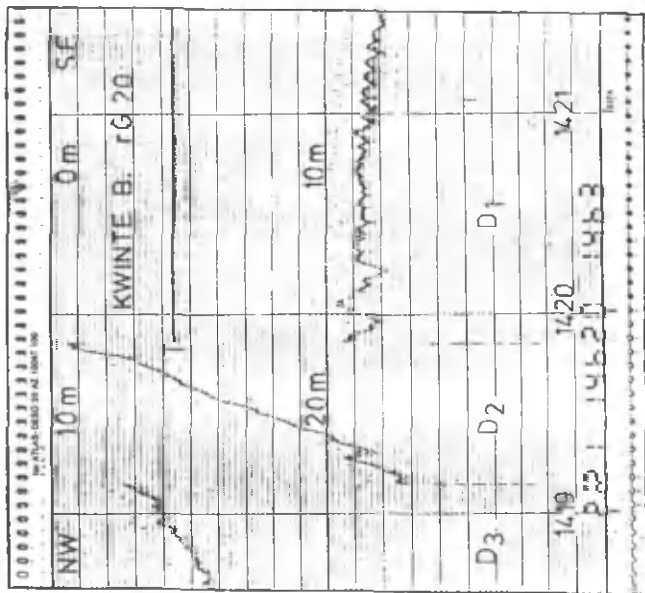


Fig. 3a. Echoloodregistratie op de Kwintebank volgens loxodromisch gevaren referentie lijn rG20 op 11/2/86.

D1 = dieptebereik 0-20 m + lokale ogenblikkelijke wateroppervlakt (LOWO)

D2 = dieptebereik 10-30 m + LOWO

D3 = dieptebereik 20-40 m + LOWO

T = diepte van de echosondertransducer + LOWO  
 1419, 1420, = profielnummers : identificatiecode-nummer, tegelijk opnametijd (in GMT + 2)

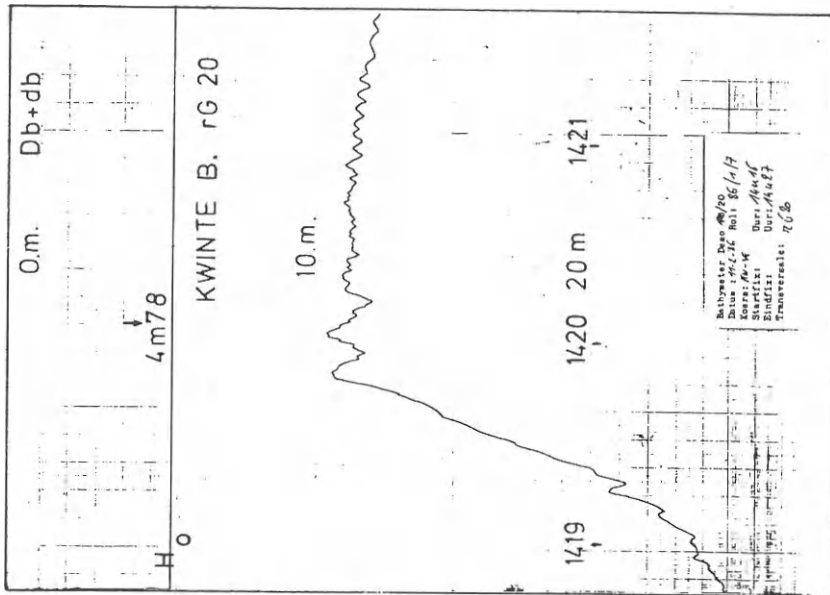


Fig. 3b. Zelfde opname na aaneensluiten en na getijdereductie.

Db = diepte bathymeter

db = diepte van de bodem beneden de bathymeter  
 4,78 = waarde van de lokale getijdereductie



De side scan sonar is een verder ontwikkeld echolood. Met het echolood wordt de diepte onder de transducer (gefixeerd onder of langs de scheepsrump) gemeten door de looptijd die een zeer smalle hoogfrequent akoestische bundel nodig heeft om de bodemafstand heen en terug af te leggen en die daarbij vertikaal uitgestuurd wordt.

Bij de side scan sonar wordt de zeebodem tegelijk aan beide kanten van het schip afgetast met een nauwe bundel hoogfrequent geluid (100 tot 500 kHz) die langsheen elkaar snel opvolgende lijnen tot op een regelbare konstant afstand van de transducer uitzwaait. Elk gereflecteerd signaal wordt dan in functie van de looptijd en van de reflectie-intensiteit geregistreerd. Alle gereflecteerde signalen langsheen eenzelfde zwaai van de smalle geluidsbundel komen op één enkele lijn terecht. Door de vooruitgang van het registratiepapier krijgt men een opeenvolging van lijnen waarlangs de reflectie-intensiteit wisselt. Die reflectie-intensiteit hangt af van de relatieve oriëntatie, van de hellingsterkte en van de reflectie-coëfficiënt van het oppervlak in de opeenvolgende punten langsheen elke zwaai. Ze uit zich door de intensiteit van zwarting op de registratie.

Door de vooruitgang van het schip en de hoge zwaaisnelheid, geven de opeenvolgende lijnen op de registratie het gereflecteerde beeld van het reliëf langs een lijnvormige terreinstrook weer, zodat door aaneenschakeling een areaal beeld bekomen wordt. De registratiebreedte van de opname blijft constant. De corresponderende terreinbreedte hangt af van de maximale schuine afstand ("slant") zodat de breedteschaal kan gewijzigd worden. De lengteschaal hangt af van de scheepssnelheid, van de registratiesnelheid en, ingevolge de signaalverwerkingwijze, van de zwaalfrequentie. Bij verandering van maximale slant gebeurt een aanpassing van de schaalverhouding door wijziging van de afrolsnelheid.

Door de opnametechniek komen transversale afstanden op de registratie in feite overeen met schuine lengten tussen de gereflecteerde bodempunten en de transducer-sleepvis.

In feite verloopt de opname symmetrisch en transversaal aan beide kanten van de sleepvis die de transducer bevat, en die op regelbare diepte achter het schip gesleept wordt, maar waarvan men door mogelijke drift, t.o.v. de koers van het schip de preciese oriëntatie niet kent. Wegens de hydrodynamische bouw van de sleepvis wordt die gelijk aan de scheepskoers genomen.

De side scan sonar opname (fig. 4) toont de planvorm en de grootte van de reliëfsvormen, hun relatieve oriëntatie t.o.v. de scheepskoers, de relatieve expositie, sterkte en lengte van de hellingen. Alle oriëntaties en planvormen zijn hierbij schijnbaar wegens vervorming door de scheepssnelheid en door de afrolsnelheid. De waarneming van verschil in hellingsterkte en in hellingslengte, die aan de basis ligt van het reliëfbeeld, is mogelijk wegens het verschil in reflectie-

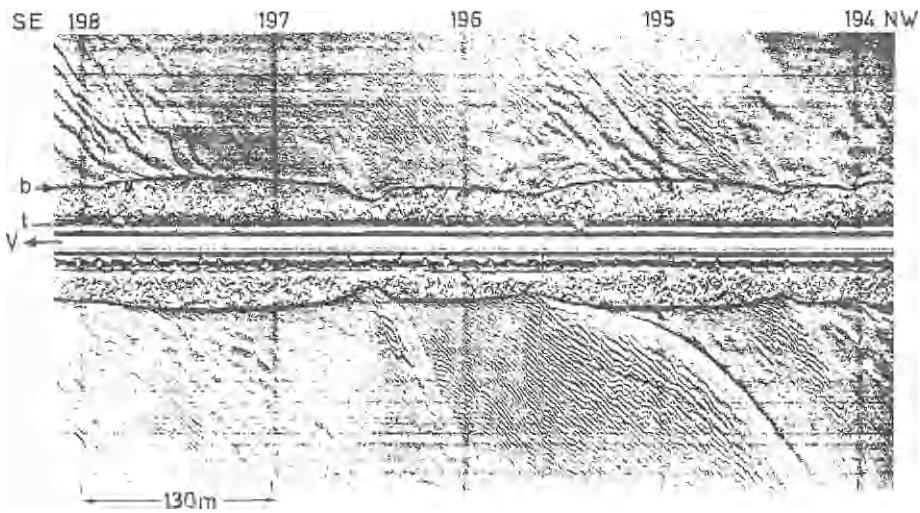


Fig. 4a. Side Scan Sonar registratie v = vaarrichting  
 b = bodemdiepte beneden t t = diepte van de transducer

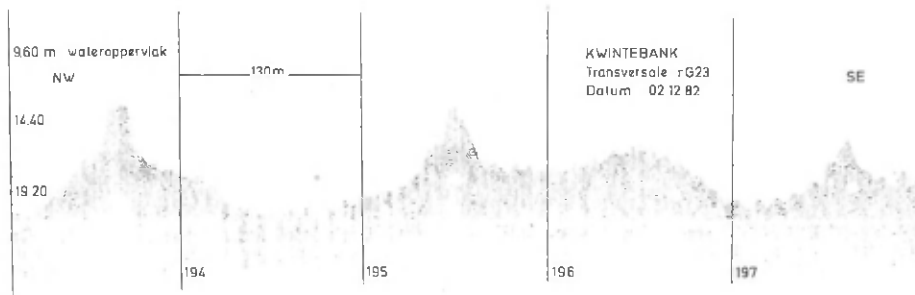


Fig. 4b. Gelijktijdige ORE pinger subbottom opname met echo-loodregistratie langs zelfde profiel. Side Scan Sonar opname op noordwestkant van de Kwintebank (2 december 1982) langs referentielijn rG23. Opname aan boord van "Mechelen"

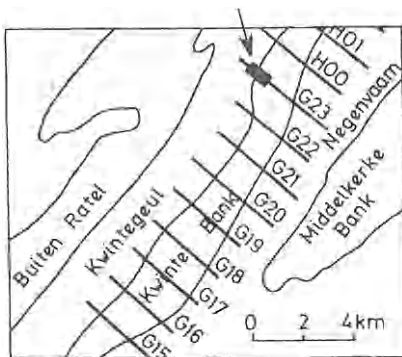


Fig. 4c. Lokalisatie

intensiteit (en dus in zwarting op de opname) tussen zwakke en sterke hellingen, tussen hellingen die naar de transducer toe of van de transducer af gekeerd zijn, tussen hellingen met verschillend relatief verloop t.o.v. de transducer en eventueel in functie van de reflectie-coëfficiënt van het bodemmateriaal.

Side scan sonar opnames hebben bij sedimentdynamisch onderzoek een fundamentele betekenis omdat zij, na de nodige correcties voor de strekkingsvervorming ten gevolge van de snelheid van het schip (B. FLEMMING, 1976), de strekking, de asymmetrie en de diverse vorm- en dimensie-types van de stroomstructuren laten zien. Alsdusdanig verschaffen zij de diagnostische parameters om op een statisch reliëfsbeeld de richting van de sedimentverplaatsingen door bodemlading te meten.

Side scan sonar opnames kunnen ook gebruikt worden voor volumetrische bepalingen omdat hoogten en afmetingen van de vormen kunnen afgeleid worden uit het beeld. Met sekventiële opnames kunnen ze verplaatsingen en vormveranderingen van reliëfsvormen tonen. Hiervoor is het echter nodig vaste reflecterende bakens op de bodem te hebben evenals gemerkte stroomstructuren.

Die opnames zijn van direct belang voor de reliëfsinventarisatie en voor het opmaken van gedetailleerde hypsografische kaarten, van kaarten van de stroomstructuren en van morfografische kaarten. Bij dit onderzoek werden de diepteregistraties uitgevoerd met Atlas Deso X of met Deso XX echosounders bij vaste snelheid van 10 kts. De side scan sonar opnames gebeurden met KLEIN apparatuur bij een snelheid van 4 kts, een snelheid die het schip gevoelig maakt voor wind en stromingen. De side scan sonar opnames werden vooral verwerkt in verband met de typologie en de bewegingsrichting van de stroomstructuren. De diepteprofielen werden vooral gebruikt om de vorm- en plaatsveranderingen volumetrisch te berekenen, zowel voor wat de totale hoeveelheid betreft als in verband met de plaats van de veranderingen langsheen de referentieprofielen.

Er werden geen oorspronkelijke opnames van hypsografische kaarten verricht omdat het met de ons beschikbare middelen en vaartijden op zee, onmogelijk was sekventieel voldoende-frekwente, dimensioneel voldoende-gedetailleerde hoogtekarteringen uit te voeren. Deze kartografische werkwijze biedt overigens toch geen oplossing voor de waarneming van de kleine vormen. Daar waar men met netwerken van lodingspunten of van bathymetrische profielen volgens de klassieke technieken van hoogtekartering en mits getijdereductie de grotere reliëfsvormen kan reconstitueren aan de hand van hoogtelijnenkaarten, is dit voor de kleine vormen onbegonnen werk zelfs indien men beschikt over zeer nauwkeurige en hoogfrequentie positionering. Er is ook geen gebruik gemaakt van bestaande hydrografische kaarten tenzij voor algemene lokalisatie en voor de navigatie. De opeen-

volgende hydrografische kaarten (Hydrografische Dienst der Kust) opgenomen op het Belgisch Kontinentaal Plat leveren weliswaar een reeks hypsografische basiskaarten die herhaaldelijk voor de reliëfsinventarisatie en voor de interpretatie van de grote vormen en ook voor benaderende morfodynamische schattingen gebruikt geweest zijn (o.a. door het vergelijken van patronen van de hoogtelijnen, door sekventiële vergelijking van volume-diagnostische parameters in referentiepunten).

De redenen waarom ze bij dit onderzoek niet verder ingeschakeld werden zijn veelvuldig. De areale resolutie op de kaarten (1/100 000 en 1/50 000) is te klein zodat middelgrote en kleine vormen er weinig of niet op voorkomen. De opnamefrequentie (rond 10 jaar) ligt te laag om door een sekventiële analyse de huidige morfodynamiek te benaderen. De opnameduur is te lang en de opnameperiodes verschillen in de onderscheiden deelgebieden zodat verschillende toestanden in afzonderlijke zones als simultaan weergegeven zijn. Voor de hydrografische kaarten D101 en D102 op 1/50 000 (uitgave 1981) werden respectievelijk gegevens verwerkt over de periode (1967-1981) en (1963-1979), terwijl voor de kaart D11 (Vlaamse Banken, 1985) de gebruikte opnames zich spreiden over 24 jaar (1959-1983).

Zoals met alle hydrografische kaarten neemt de resolutie zeewaarts en buiten de vaarzones snel af. Bij vroegere kaarten stelt de nauwkeurigheid en de resolutie van de lodingspunten vragen, vooral buiten de kustzone, omdat men daarbuiten geen achterwaartse insnijding op gekende punten aan de wal meer kon toepassen maar alleen astronomische plaatsbepalingen met lagere nauwkeurigheid en frequentie of plaatsbepalingen op gekarteerde bakens. Belangrijk is ook dat de hydrografische kaart een omhullende van het reliëf geeft bij de gekozen resolutie en gelijkhoogteverschil. De werkstukken van de meest recent uitgegeven hydrografische kaarten, zoals de kaart D11 Vlaamse Banken (Hydrografische Dienst der Kust, 1985) en de kaart INT 1474 Monding Westerschelde (idem, 1985), zijn wel opgenomen met grote nauwkeurigheid en frequentie inzake plaatsbepaling (door gebruik van de Belgische Toran-keten operationeel sinds 1982), met navigatie langs lijntrajecten, met een hoge resolutie van de fictieve lodingspunten, met nauwkeurige bathymetrische registraties en met golfcompensatie. De gebruikte lodingspunten zijn gekomen als minste waterdiepten binnen korte vaste referentielengten (20m) bij nauwkeurige continue bathymetrische opnames. Zolang men echter niet tot de oorspronkelijke registraties terugkeert, blijft het karakter van omhullende t.o.v. kleine vormen bewaard. Volumebepalingen langs kaartprofiellijnen op de hydrografische kaarten leveren daardoor een overschatting van de zandvolumes boven referentievlakken op. De oudere kaartopnames berusten op lodingspunten. Deze liggen echter niet langs profiellijnen zodat projecties en interpolaties

nodig zijn naar opgelijnde punten waar de lokale diepte nietgekend is.

#### 4. PROFIELOPNAMES EN HUN VERWERKING

De volumetrische berekeningen en de de-visu- of numerische plaats- en vormvergelijkingen zijn gebeurd op basis van vergelijkbare sekventiële hypsometrische doorsneden bekomen door bathymetrische registraties opgenomen bij vaste snelheid langs vaste referentielijnen met loxodromische vaarwijze tussen vaste begin- en eindpunten. De voornaamste problemen die daarbij rijzen zijn de keuze van de referentielijnen; het verwerven van de echolodingsregistraties en van de hoogfrequentie positiebepalingen; controle op de nautische parameters positie, snelheid en koers; de verwerking van de bruto-bathymetrische-registraties tot vergelijkbare netto-hypsometrische detailprofielen; kartering van de vaart en van de positiepunten; volumeverschil-berekeningen; kwalitatieve en kwantitatieve analyse van de vorm- en plaatsveranderingen van de diverse reliëfsvormen.

##### 4.1. Plaatsbepalingen

Hoogfrequentie, nauwkeurige en betrouwbare plaatsbepalingen zijn fundamenteel bij dit onderzoek. Men moet immers kunnen terugkomen op dezelfde plaats en lijn, zonder over de mogelijkheid te beschikken om vast merkpunten op de bodem aan te brengen. Die plaatsbepalingen moeten zeer frequent kunnen gebeuren om een grote areale resolutie van waarnemingspunten- of controlepunten te bekomen, om nauwkeurige navigatie te bereiken, om detailkartering van de vaarten en van de positiepunten toe te laten. Die areale resolutie hangt immers af van de frequentie van de plaatsbepalingen en van de scheepssnelheid.

Plaatsbepalingen op basis van klassieke technieken zoals achterwaartse insnijding op gekende punten door visuele of door elektronische technieken (zoals radarpositioneringen op boeien) laten geen voldoende frequentie toe en zijn praktisch onvoldoende nauwkeurig. Hetzelfde geldt voor astronomische of pseudo-astronomische technieken (satellietnavigatie met enige satelliet).

De plaatsbepalingen gebeurden in het 5B of in het 2E sferisch-hyperbolisch coördinatennet van het radio-electronisch Decca-systeem en daarnaast ook in het sferisch-hyperbolisch Belgisch Toran-net. Beide systemen zijn gebaseerd op het principe dat de snijpunten van de bolvormige golffronten van drie radiozendstations, een meesterzender en 2 slaven die, althans voor wat het Decca-systeem betreft, allen perfect gesynchroniseerd uitzenden bij constante frequentie, het verloop van twee stellen elkaar snijdende sferische hyperbolen definiëren (kaartpatroon). Deze zijn de meetkundige

plaats van alle punten op gelijk afstandsverschil van een slaaf en van de meesterzender. Die punten worden bepaald door een gelijk faseverschil in de ontvangen golven. Punten met nulphaseverschil liggen op hoofdlijnen (nulphasehyperbolen). Die worden gekenmerkt door een hoofdnummer. Punten op tussenlijnen kunnen rechtsreeks geïdentificeerd worden door het faseverschil, dat dan in hondersten van de afstand tussen twee hoofdlijnen uitgedrukt wordt (centilane). Een lane is de strook tussen twee hoofdlijnen. De identificatie van de hoofdlijnummers vergt een speciale radio-electronische techniek. Elke positie is bepaald door de hoofdnummers en de centilanes van de twee hyperbolen die zich in die positie kruisen en gelijktijdig ontvangen worden. Zij geven de hyperbolische ontvangs-coördinaten. Indien er geen fouten op de ontvangst zijn, stemmen deze toestelcoördinaten overeen met kaartcoördinaten en dus met de ware positie van een punt.

De plaatsbepalingen gebeuren met een frekwentie in de 1 Hz-band en komen in real time display beschikbaar.

De beide netten van het Decca-systeem, waarin de coördinaten tot op centilanes gemeten worden, hebben op het Belgisch Continentaal Plat een theoretische nauwkeurigheid van 20 à 40 m in functie van de dichtheid van de nulphaseverschilhyperboollijnen (lane-breedte) van het systeem in dit gebied. Voor het Toran-net is die nauwkeurigheid veel groter, en bereikt er 2 tot 5 m.

In dit gebied is de betrouwbaarheid van de Belgische Toran-keten groter dan die van de beschikbare Decca-netten. Hiermede wordt bedoeld in hoever ontvangen hyperbolische positiecoördinaten in het gebruikte systeem of net met de hyperbolische kaartcoördinaten, en dus met de ware geografische positie overeenkomen. Indien die afwijkingen dezelfde blijven in tijd, en slechts kleine verschuivingen meebrengen binnen elk beschouwd areaal, vormt dit voor een morfodynamisch onderzoek geen fundamentele hinder.

Dergelijke vaste afwijkingen komen bij beide systemen voor en zijn in het bestudeerde gebied gering. Ze kunnen overigens door patrooncorrecties weggewerkt worden of men kan ook de toestelpositie vastleggen t.o.v. de kaartpositie. Op het Belgisch Continentaal Plat bereiken de patrooncorrecties maximale waarden van 0,05 lane (d.i. benaderend 50 à 100 m) in het Decca-5B-net met een overdag-nauwkeurigheid van 50 à 70 m, en van 0,50 lane (d.i. benaderend 10 à 20 m) in het Belgisch Toran-net. In het Decca-2E-net neemt de overdagnauwkeurigheid westwaarts snel af en bedraagt maar 250 m meer op de westkant van het Belgisch Continentaal Plat.

Anders is het met de wisselende fouten waarbij toestelcoördinaten en kaartcoördinaten op elke afzonderlijke plaats willekeurig, snel en in belangrijke mate van elkaar kunnen gaan verschillen zodat de geregistreeerde ontvangstposities afwijken van de kaartposities en dus

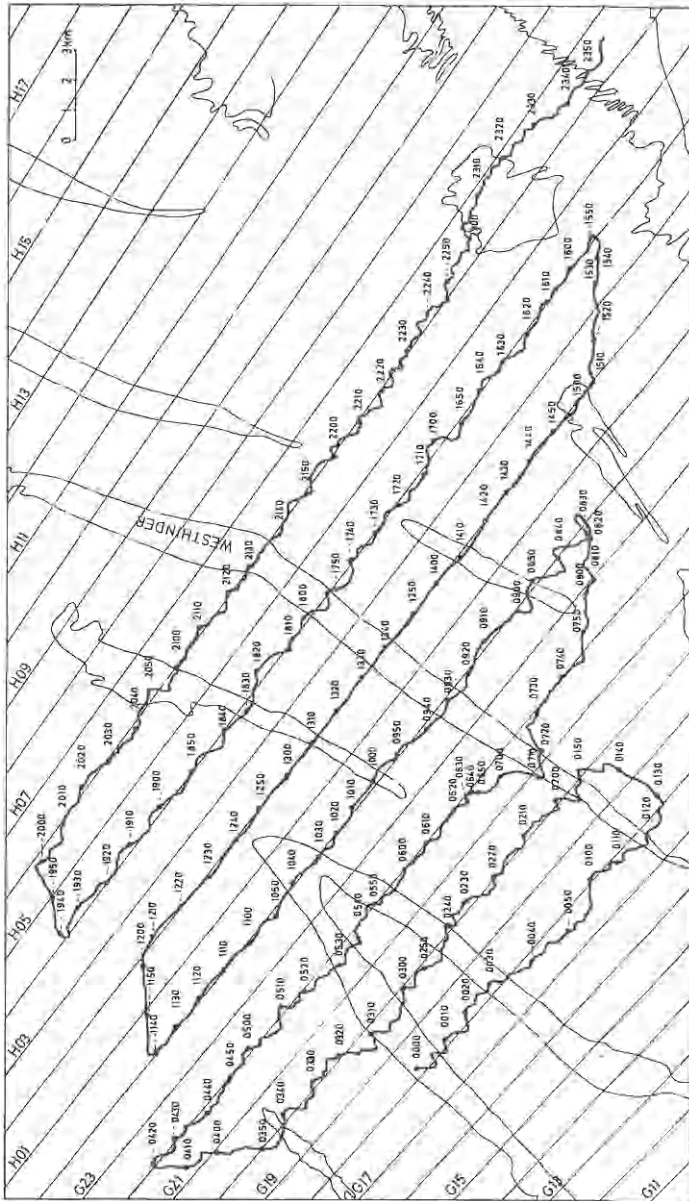


Fig. 5a. Geregistreeerde vaarroute van de "Belgica" op 26 november 1985 tussen 00u00 00 en 23u50 00 (GMT+1) in UTM-31 coördinaten bepaald uit NAVSTAR-geografische coördinaten, bekomen op basis van niet verbeterde DECCA-5B ontvangstcoördinaten. Posities om de 30 seconden, kaartfixen voorgesteld om de 20 minuten. Vanaf 0900 tot 1600 dagopnames met zeer weinig afwijking van de ontvangstcoördinaten ten opzichte van de geplande vaart langs de nominale referentielijn.

Gedurende de nacht en rond zonsopgang en zonsondergang komen sterk gestoorde ontvangstcoördinaten voor, zodat de geregistreeerde koers niet de werkelijk gevaren route weergeeft. De afwijking rond 0040 - 0050 en rond 0710 zijn werkelijke afwijkingen van de geplande koers, respectievelijk wegens scheepvaart en wegens te ontwijken ondiepte op de Westhinder.

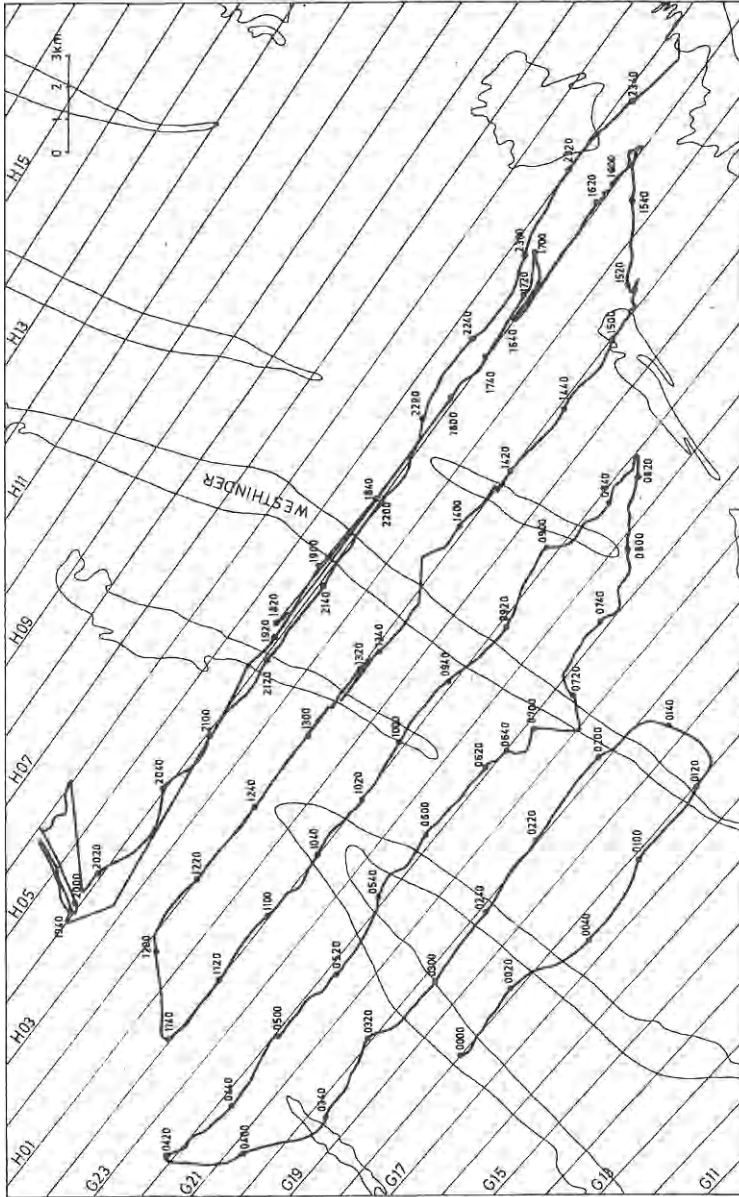


Fig. 5b. Geregisteerde vaarroute van de "Belgica" op 26 november 1985 tussen 00u00 00 en 23u00 00 (GMT+1) in UTM-31 coördinaten op basis van niet-verbeterde Toran ontvangstcoördinaten. Posities om de 30 seconden, kaartfixen om de 20 minuten.

Tussen 0000 en 1320 is de geregisteerde route meer betrouwbaar en wijkt weinig af van de geplande route. Dezelfde grotere reële afwijkingen als bij de Decca-registratie (Fig 5a) om 0040 - 0050 en rond 0710 om dezelfde redenen.

Vanaf 1320 tot 1940 afwijkingen door onderbreken van de ontvangst en herlanceren op basis van Decca-positie. Tussen 1940 en 2300 foutieve ontvangstcoördinaten wegens niet-gecorrigeerde lane-slip.



van de werkelijke geografische posities. Elke koersaanpassing riskeert dan het schip uit de geplande vaart te brengen. Hier zijn de ervaring van de navigator en confrontatie met andere plaatsbepalingstechnieken onontbeerlijk. Bij track plotting kan de geregistreeerde track door zijn irreeel patroon een belangrijke aanduiding leveren voor dergelijke storingen (fig. 5). Dat is de hoofdreden waarom gelijktijdige positioneringen op twee hyperbolische systemen gebruikt zijn.

De betrouwbaarheid van de Decca-positioneringen worden vooral 's nachts, bij zonsopgang en bij zonsondergang verminderd door belangrijke wisselende fouten die een onduidelijke periodiciteit vertonen in de 1 tot 10 minuten band met afwijkingen tot zelfs 1 à 2 mijl (fig. 5). Ze zijn toe te schrijven aan verschuivingen in de reflecterende ionosferische lagen en ook aan veranderingen in de factoren (o.a. temperatuur) die de propagatie van de directe radiogolf beïnvloeden. Andere oorzaken voor afwijkingen zijn atmosferische storingen en wisselingen in het zendpatroon dat dan niet meer met het kaartpatroon overeenkomt zodat ook de ontvangstcoördinaten waardeloos worden. Hierdoor werden eerder zeldzame, maar zeer grote afwijkingen vastgesteld.

Aan de andere kant vertoont het Toran-systeem kans op stilvallen van de ontvangst of op verschuiven van de nulfasenverschilnummering ("lane slip"). Dit is des te meer storend daar, voor opnieuw iken van de ontvangen coördinaten, materiële of fictieve (bv. knooppunt van coördinaatlijnen) referentiepunten met gekende coördinaten op basis van andere positioneringssystemen moeten aangevaren worden. De coördinaten van dergelijke punten kunnen op basis van de radiogolfkenmerken en de relatieve positie berekend worden.

#### 4.2. De navigatie

Om vergelijkbare profielen te bekomen moeten de opeenvolgende opnames precies langs dezelfde referentielijnen gebeuren en liefst bij dezelfde snelheid. Als nominale referentielijnen werden secties van rode-nulfaseverschillijnen uit het Decca-5B-net genomen. Dat telkens opnieuw precies afvaren van dezelfde vaste referentielijnen stelt zware eisen aan de navigatie en daarom ook aan de frekwentie, de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van de positiebepalingen. Zonder gebruik van de moderne navigatie- en dataverwerkingsmidde-len zouden ze niet op te lossen zijn. Het probleem omvat het gebruik van geschikte navigatietechnieken, controle op de gevaren track en op de ontvangen coördinaten, zowel gedurende de vaart zelf als a posteriori.

De theoretisch-gevaren referentielijnen vallen niet volledig samen met de nominale referentielijnen, maar met de loxodromen tussen vaste begin- en eindpunten op die nominale referentielijnen. Op het

Belgisch Kontinentaal Plat liggen die lijnen gunstig omdat ze over korte afstanden (1 à 3 mijl) bijna rechtlijnig verlopen en dikwijls nagenoeg transversaal over de banken passeren. Door dit loxodromisch varen kan de navigatie bij vaste koers gebeuren en kunnen technieken van automatische homing toegepast worden.

De navigatie is gebeurd op de hydrografische kaart voorzien van het Decca-patroon, met behulp van de navigatietechnieken van het geïst bestek en koersbepaling, maar waarbij de opeenvolgende positiebepalingen niet vastgelegd werden op basis van gevaren koers en snelheid, maar op basis van fixings bekomen door plaatsbepaling in de Decca-keten 5B of 2E. Om de navigatie te vergemakkelijken werd op sommige vaarten een mechanische track plotter ingeschakeld die toelaat de uitgevoerde loxodromische track continu en ogenblikkelijk te vergelijken met de geplande. Sinds 1985 is gebruik gemaakt van NAVSTAR RS4000 automatische fixing-homing, gekoppeld aan een real time Video track plotter RS2000.

Er zijn geen correcties gebeurd voor de vaste fouten in het ontvangstpatroon omdat die over de afzonderlijke referentieprofielen niet veranderen en de relatieve positie dezelfde blijft. De werkelijk gevaren loxodromen zijn dus iets verschoven en zijn bepaald door de ontvangen niet-verbeterde toestelcoördinaten die met de kaartcoördinaten van de nominale referentielijn overeenkomen.

Om afwijkingen van de geplande koers te voorkomen en vooral om te vermijden dat men, ingevolge foutieve ontvangstcoördinaten door onregelmatig wisselende afwijkingen, ongewenste correcties zou invoeren, worden ook nog tussentijdse positiebepalingen uitgevoerd door technieken van achterwaartse insnijding, hetzij door visuele peilingen, hetzij door radatpeilingen op boeien of walpunten met gekende kaartpositie.

Bovendien worden aan boord regelmatig controles op de betrouwbaarheid van de ontvangen Decca-posities uitgevoerd door gelijktijdige positie-opname in het Belgisch Toran-net. Sinds 1985 (campagnes met Belgica, uitgerust met een HP1000 boordcomputer), is er een on line omrekening van de beide simultaan ontvangen positiegegevens naar geografisch coördinaten met display wat bovendien een onmiddellijke vergelijking gedurende de vaart zelf toelaat en, gezien de grotere stabiliteit van de Toran-keten, een evaluatie van de betrouwbaarheid van het Decca-net. Hierbij dient men voor ogen te houden dat geen vaste patrooncorrecties ingevoerd werden.

Navigatie op Toran zelf is tot nu toe nog niet uitgevoerd bij gebrek aan de nodige Toran Track plotter of fixing-homing apparatuur aan boord, omdat geen navigatiekaarten met Toran-patroon beschikbaar zijn maar alleen blinde patroonkaarten en omdat het verloop van de referentielijnen t.o.v. het Toran-kaartpatroon geen varen op left-right indicator toelaat.

Wanneer de Toran-coördinaten wegens lane-slip onbetrouwbaar blijken, wat meestal opvalt door bepaalde discontinuïteiten, wordt uitsluitend op Decca-coördinaten gesteund.

Gezien de grotere nauwkeurigheid en betrouwbaarheid en de nachtelijke stabiliteit van de Toran wordt geleidelijk overgegaan naar track-plotting in beide navigatiesystemen (fig. 5).

#### 4.3. Positie registraties

De simultaan ontvangen hyperbolische coördinaten van beide systemen Decca en Toran, samen met de transformaties naar U.T.M.- en naar geografische coördinaten, worden on line geregistreerd op listings, hetzij op band met behulp van een real time data acquisition systeem lopend op de HP100 boordcomputer. De registratie gebeurt om de 60 of om de 30 seconden en op precies gekende en geregistreerde tijden die als identificatie-code voor de positiepunten (fixen) gebruikt worden. Tegelijk worden ook gyrokoers en scheepssnelheid over de bodem (met aanduiding van de laterale drift door gebruik van een Dopplersnelheidsmeter) geregistreerd.

#### 4.4. Track-kartering

Die positieregistraties (in niet-verbeterde ontvangstcoördinaten) worden dan voor elk van de navigatiesystemen in de laboratoriumeenheid voor dataverwerking (HP600-computer met drumplotter, compatiebel met de boordcomputer) ingevoerd voor computerverwerking tot A0 trackkaarten op regelbare schalen, met een hypsografische basis en met de nodige coördinaatpatroon-lijnen. Zowel de nominale vaste referentielijnen als de overeenkomstige gevaren tracks worden voorgesteld, zodat nauwkeurige vergelijking tussen beide mogelijk is gezien de hoge frekwentie van de positiepunten en het gebruik van grote schalen (tot 1/25 000).

Die computerkartering vereist transformatie van het hyperbolisch coördinatensysteem bij de gebruikte projectie en referentie-ellipsoïde naar het rechthoekig coördinatensysteem van de track plotter.

De opeenvolgende-geregistreerde positiepunten langs de gevaren lijn worden op de kaart voorgesteld door merkten op vast tijdsinterval (kaartfixen). Het kaartinterval tussen deze kaartfixen wisselt indien de snelheid verandert. Snelheid en koers kunnen onmiddellijk geëvalueerd worden tot op kleine afstanden (10 m band) en sommige afwijkingen van de referentielijn kunnen reeds op basis van de uitvoerbaarheid van de geregistreerde track naar hun betrouwbaarheid geëvalueerd worden. Vergelijking van de geregistreerde gyrokoers met de kaartkoers tussen opeenvolgende kaartfixen kan eveneens gebruikt worden voor de evaluatie van de Decca-positioneringen. Het probleem blijft evenwel nog de werkelijke afwijkingen ten overstaan

van de nominale referentielijn of van de corresponderende referentieloxodroom te onderscheiden van de schijnbare afwijkingen die het gevolg zijn van toevallige fouten op de geregistreeerde ontvangscoördinaten. Er zijn inderdaad afwijkingen die zich niet uiten door een koerswijziging (o.a. bij laterale drift, zoals vastgesteld bij overvaren van banktoppen) terwijl dezelfde koerswijzigingen de stabiliteit van de gevaren weg kunnen beogen.

Gevaren lijnen waarvan fragmenten reëel meer dan 100 m afwijkingen van de referentielijnen worden niet gebruikt voor de morfodynamische analyse.

#### 4.5. De dieptemetingen

De areale en de verticale resolutie van de dieptemetingen langsheen elke referentielijn moet aangepast zijn aan de afmetingen van de vormen die men wil opnemen. Samen bepalen zij de waarneembaarheid van de vormen en de getrouwheid van de inventarisatie.

De areale resolutie van de dieptemetingen met echolodgingen hangt af van de pulsfrekwentie, van de scheepssnelheid over de bodem, van de afrolsnelheid van de registratie, van de waterdiepte en van toestelkenmerken (zoals de maximale pulsfrekwentie). De verticale resolutie is bepaald door de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van de apparatuur. De gebruikte Atlas Deso X en Atlas Deso XX bathygrafen leveren registraties met een waarnemingsfrekwentie die onder de gegeven omstandigheden boven de 1 Hz ligt wat, bij de gevaren snelheden (4 tot 10 kts), de minimale areale resolutie in de 1-5 m band brengt. Deze toestellen hebben een verticale nauwkeurigheid van 10 cm. Grote ribbels moeten dus met een horizontaal gestabiliseerd platform in transversale doorsneden kunnen geregistreerd worden.

#### 4.6. Getijdereductie

Alle beschikbare bathymetrische gegevens op echoloodregistraties moeten voorafgaandelijk tot hypsometrische gegevens beneden een vast referentievlak herleid worden. Rekening houdend met de scheepssnelheid en met de snelheid van de getijdebeweging gebeurt dit niet voor alle geregistreeerde positiepunten maar alleen voor punten gelegen op een aangepast tijdsinterval (10 min.). Het hier gebruikte referentievlak is het lokaal gemiddelde laagste laagwater bij springtij (G.L.L.W.S.). Op het Belgisch Kontinentaal Plat is dit een gebogen vlak omdat de getijde-amplitudo in de richting van het amfidroom punt van Norfolk afneemt.

De getijdereducties zijn uitgevoerd om de tien minuten volgens de methode van de Hydrografische Dienst (C. VAN CAUWENBERGHE, 1977). Deze methode van getijdereductie omvat een waterpeilcorrec-

tie voor het verschil in getijstand tussen het waarnemingspunt en de peilschaalplaats op dezelfde tijd en voor het verschil in getijde-amplitudo bij dezelfde getijstand. Ze houdt rekening met de werkelijke waterbeweging vermits deze methode beroep doet op maregrafische registraties in peilschaalpunten aan de wal, gelijktijdig met de dieptemetingen. De gebruikte peilschaalpunten zijn Nieuwpoort, Oostende en Zeebrugge (Hydrografische Dienst der Kust) en Westkapelle (Rijkswaterstaat, Nederland) geweest.

De getijdereductie is een fundamentele operatie omdat gedurende de opname van de dieptes, de getijdebeweging voortdurend verder gaat en haar amplitudo bij gelijke getijdestand in de tijd verandert.

#### 4.7. Lengteschaal correcties

De echoloodprofielen zijn bebakend met equidistante merken, die op een vast tijdsinterval liggen, de profielfixen, en waarvan de posities bekend en geregistreerd zijn en met de reële scheepspositie samenvallen voor zover de ontvangen coördinaten daarmee overeenkomen. De lengteschaal van die profielen is dus een uniforme tijdsschaal en de corresponderende afstandsschaal hangt af van de scheepssnelheid en van de afrolsnelheid van het registratiepapier. Op registraties bij constante scheeps- en afrolsnelheid zijn de bodemvormen in doorsnede min of meer sterk vervormd. Bij hogere scheepssnelheid of bij lagere afrolsnelheid is er een kleinere lengteschaal en dus een grotere hoogteoverdrijving gezien de constante hoogteschaal. De afstandsschaal is dan toch uniform.

De afrolsnelheid kan gekozen en constant gehouden worden. De grondsnelheid van het schip wordt zoveel mogelijk constant gehouden gedurende de vaart. Hiervoor werd sinds 1984 continue snelheidsmeting met Doppler-snelheidsmeting ingeschakeld.

Indien zich gedurende de opname wijzigingen in de grondsnelheid van het schip voordoen wordt het beeld bovendien ongelijkmatig vervormd. Gelijke tijdsafstanden komen dan immers overeen met verschillende lengteafstanden. Er is dan geen uniforme afstandsschaal tussen de opeenvolgende profielfixen.

Vervormingen treden ook op door koerswijzigingen. Bij snelheidswisselingen zijn de vormen nog restitueerbaar, bij koerswijzigingen is dit niet mogelijk.

Het doel van de lengteschaalcorrectie is in de eerste plaats de lengteschaal over de gehele lengte van het opgenomen profiel uniform te maken om aldus getrouwe volumes te kunnen bekomen.

Het bestaan van die snelheidswisselingen kan afgeleid worden uit de track-kaart met vast schaal maar met wisselende afstand van kaartfixen. Ze worden bij voorkeur afgeleid uit de geregistreerde bodemsnelheden.

Om praktische redenen werden de lengteschaalcorrecties als volgt

uitgevoerd. De werkelijke afstand  $W_i$  tussen opeenvolgende profiel-fixen, zoals die afgeleid is uit de afstand tussen de korresponderende kaartfixen, wordt vergeleken met de theoretische afstand  $T_i$  tussen dezelfde punten gevaren bij gemiddeld constante snelheid over het beschouwde traject. Die theoretische afstand wordt bekomen als gemiddelde waarde op basis van de totale afstand van het profiel (afgeleid uit de afstand tussen de uiterste profiel-fixen van het beschouwde traject) en van het aantal equidistante tijdsintervallen. De verhouding  $W_i/T_i$ , bepaald voor elk tijdsinterval, wordt dan toegepast als correctiefactor waarmee de lengte van het corresponderend tijdsinterval moet vermenigvuldigd worden om de profiel-fixen op lengteafstanden tussen de kaartfixen en dus op een constante lengteschaal. De equidistante tijdsintervallen tussen de profiel-fixen worden uitgerokken of ingekrompen alnaar gelang de respectieve snelheid hoger of lager was dan de gemiddelde snelheid.

Die bewerking impliceert het hertekenen met een nieuwe schaal en wordt uitgevoerd met een computerprogramma als een onderdeel bij het tekenen van de vergelijkbare netto-profielen. Ze levert natuurlijk alleen dan een getrouw profiel op, indien de posities van de kaartfixen betrouwbaar zijn.

Bij werkelijke koersafwijkingen gebeurt de lengteschaalcorrectie doordat het langere afwijkend profielgedeelte geprojecteerd wordt op de referentielijn. Door deze werkwijze wordt de vormgetrouwheid bij koersafwijkingen evenwel niet hersteld omdat door de laterale verplaatsing in feite andere bodemvormen dan die langs de referentielijn opgenomen werden. Wel blijven dan niet-afwijkende profieldeelen vergelijkbaar.

De volumes werden toch uitgerekend zonder rekening te houden met snelheids- en koerswijzigingen.

#### **4.8. Schaaluniformisatie**

Om de volumeberekeningen mogelijk te maken moest de lengteschaal als afstandsschaal op ieder profiel afzonderlijk uniform gemaakt worden. Bovendien is er ook geen visuele vergelijking van opeenvolgende profielopnames langs éénzelfde referentielijn mogelijk door superpositie, tenzij deze opeenvolgende hypsometrische profielen dezelfde lengteschaal en dezelfde schaalverhouding hebben.

Die schaaluniformisatie wordt bereikt door verdere computerverwerking van de data bekomen na digitaliseren (HOUSTON Ao-digitaliseertafel) van de reeds verbeterde profielen.

#### **4.9. Vergelijkingsreferenties**

Om de vergelijkbaar gemaakte profielen opgenomen op zee, waar noch aan de oppervlakte, noch op de bodem enig vast referentie-

punt beschikbaar is, effectief te kunnen vergelijken moeten diepte- en plaatsreferenties op de profielen ingevoerd worden zodat men die daarnaar kan superponeren.

Als diepte-referenties werd gebruik gemaakt van referentievlakken gelegen op vaste diepten beneden het lokaal G.L.L.W.S.-peil dat op de verwerkte profielen als een rechte ordinaat as getekend is. De volumes worden dan afzonderlijk berekend t.o.v. die referentievlakken.

Als plaatsreferenties worden langs de overeenkomstige profielen fictieve punten ingetekend die overeenkomen met snijpunten van vaste coördinaatlijnen uit het gebruikte hyperbolisch of geografisch coördinaatsysteem met de referentielijn langswaar het profiel opgenomen is. Eventueel wordt dit snijpunt geprojecteerd op het gevaren profiel.

#### **4.10. Golfcompensatie**

Golven vervormen min of meer het beeld van de bodemvormen op een bathymetrische opname. Voor vormanalyse van de kleine vormen is dit zeer belangrijk omdat aldus vals beelden ontstaan en de bestaande stroomstructuren door interferentie met de golfbeweging sterk vervormd worden. Goede vormanalyse is maar mogelijk bij opnames bij relatief vlakke zee of door uitfiltreren van de golfver storing met golfcompensator. Voor de volumeberekening is golfcompensatie evenwel niet nodig : door het sinusoidaal karakter van de golfstoring is er immers zelfcompensatie.

#### **4.11. Transducerdiepte**

Veranderingen in de diepgang van het schip veranderen de diepte van de echolood-transducer en moeten gecorrigeerd worden op de dieptemeting. Hiertoe kan de transducerdiepte op de echosounder zelf ingesteld worden.

#### **4.12. Volumeberekening**

De vergelijkbare netto hypsometrische profielen worden volumetrisch verwerkt door het berekenen van eenheidsbreedte volumes. Deze komen overeen met het partieel volume van de vorm boven een vast referentiepeil langsheen de hele lengte van doorsnede, berekend voor een fictieve breedte van 1 m.

Om vormveranderingen numerisch te karakteriseren kan overgegaan worden tot het bepalen van volumeveranderingen per lengte-element langs het profiel. Om de volumeveranderingen t.o.v. een zelfde referentievlak op verschillende periodes te kunnen vergelijken wordt overgegaan naar een normalisering.

Een bank wordt lateraal begrensd door haar hoofdbasisconcaviteiten.

Indien het referentievlak het bankprofiel niet snijdt wordt de verticale projectie van de hoger gelegen basisconcaïteit gebruikt. Als banklengte werd altijd de planimetrische lengte van de doorsnede op het gebruikte referentiepeil genomen.

Volumeveranderingen bij geulen worden berekend op basis van het watervolume tussen de referentiepeilen en het geulprofiel.

De volumeberekeningen zijn uitgevoerd door computerverwerking op basis van het databestand bekomen door digitalisatie van het netto-hypsometrisch profiel.

Het werken met doorsneden en areale opnames stelt nog twee problemen in verband met de relatieve oriëntatie van de opnames en met de bewegingen van de transducer.

Het beeld van de reliëfsvorm of de sterkte van een helling hangen af van de relatieve koers van het schip t.o.v. de strekking van de hellingen. Van lineaire vormen geven alleen transversale doorsneden een getrouw beeld, longitudinale doorsneden laten die vormen zelfs niet zien.

De referentielijnen zijn zoveel mogelijk transversaal over de banken zelf geplaatst, wat niet betekent dat zij transversaal over de obliterende kleinere stroomstructuren zouden lopen. Veranderingen in de relatieve oriëntaties van de verschillende stroomstructuren t.o.v. de gevaren referentielijn kunnen ook de vergelijkbaarheid van de bekomen opnames en de volumeberekeningen beïnvloeden.

De relatieve oriëntatie van de scheepskoers is ook belangrijk bij areale side scan sonar opnames. Bij vormtransversale opnames krijgt men hier weinig reflecties en nagenoeg geen differentieel beeld van de oppervlaktestructuren. De beste beelden bekomt men bij een koers parallel aan de strekking van de vormen. Vermits men a priori die transversale koers niet kent, zal dikwijls met veel koerswisselingen moeten gezocht worden om de vormen optimaal waar te nemen op side scan sonar registraties. Hierbij dient de lokalisatie dan voortdurend bijgehouden. Dit vereist een goede coördinatie en onderling begrip tussen nautisch en wetenschappelijk personeel.

Alle akoestische detecties met smalle bundel, zoals bij echolodings-toestellen en side scan sonar, kunnen zwaar gestoord worden door rollen, stampen of driften van de transducer ingevolge toevallige storingen zoals door luchtbellens in het schroefwater, reflecties tegen vreemde voorwerpen, enz... Veranderingen in de gang van het schip, in de diepte en wijze van ophanging vna de transducer kunnen hieraan verhelpen. Op alle akoestische profielen moet de ware diepte onderscheiden worden van die van bijkomende weerkaatsingen (o.a. multiples).

#### 4.13. Aard van het sediment

Behalve het totaal volume van de afgezette sedimenten is ook de



aard van die sedimenten een belangrijk gegeven. Bij dit onderzoek werden verspreide, punctuele gegevens over de lithologische aard van de bodemlaag ingewonnen door bodemstaalnames met VAN VEEN-grijper en, sinds 1985, ook continue gegevens langsheen de afgevaren lijnen door gelijktijdige echosoundingregistratie bij hoge (210 kHz) en bij lage (30 kHz) zendfrequentie. De reflectie van het hoogfrequentie signaal gebeurt reeds op weinig geconsolideerd zand en op slib, die van het laagfrequentie signaal op geconsolideerd zand. Hierdoor is het mogelijk het voorkomen en de dikte van los sediment te herkennen en o.a. de sedimentafzetting bij de beweging van de stroomstructuren waar te nemen.

## 5. TOEPASSINGEN

### 5.1. Het aktueel maintenance mechanisme op de Kwintebank

In 1981-83 werd een onderzoek naar de impact van zandwinningen op de Kwintebank op de vorm-, plaats- en volumestabiliteit van deze zandbank uitgevoerd. Deze is asymmetrisch, vertoont een duidelijk verschil in mikromorfologie en in obliterende stroomstructuren tussen de beide uiteinden en het centrale deel (fig. 2), loopt zuidwest-noordoost en wordt gekenmerkt door een centrale kink. Aan de westzijde komt een relatief steile helling voor, met maximale hellingsgraad tot 5 à 7 %. Die helling beheerst de Kwintegeul die zelf zeewaarts afhelt. De oostflank helt zelden meer dan 2,5 %. Ze beheerst de Negenvaam die minder diep is dan de Kwintegeul en die landwaarts op een lage drempel uitloopt. De bodemzanden in de Kwintegeul zijn over 't algemeen grover dan in de Negenvaam maar op sommige plaatsen komt het Ieperiaan-klei-substraat in de Kwintegeul tot dichtbij de oppervlakte. Deze beide feiten suggereren dat de bodem van de Kwintegeul thans een eerder residueel erosief karakter vertoont.

Bij dit morfodynamisch onderzoek werden vanaf 1982 regelmatig sekwentiële diepteprofielen opgenomen langs verschillende transversale referentielijnen, gelegen op gemiddelde afstanden van 1 mijl en georiënteerd volgens rode Decca-hoofdlijnen die transversaal over de Kwintebank, de Buiten-Ratel en de Oost-Dyck passeren.

Het was mogelijk aan te tonen (G. DE MOOR, 1984, 1985), dat spijs een zandwinning van 600 000 m<sup>3</sup> jaargemiddelde sinds 1978, de Kwintebank in die periode nagenoeg stabiel bleef in plaats en in volume terwijl de globale vorm slechts weinig veranderde. Gezien de zandwinning, wijst die stabiliteit op zandaanvoer op de bank en dus op het bestaan van een maintenance-mechanisme dat, althans gedurende de waarnemingsperiode, in staat was de zandverliezen aan te vullen (fig. 6).

Analyse van de stroomdiagnostische kenmerken van de oppervlakkige

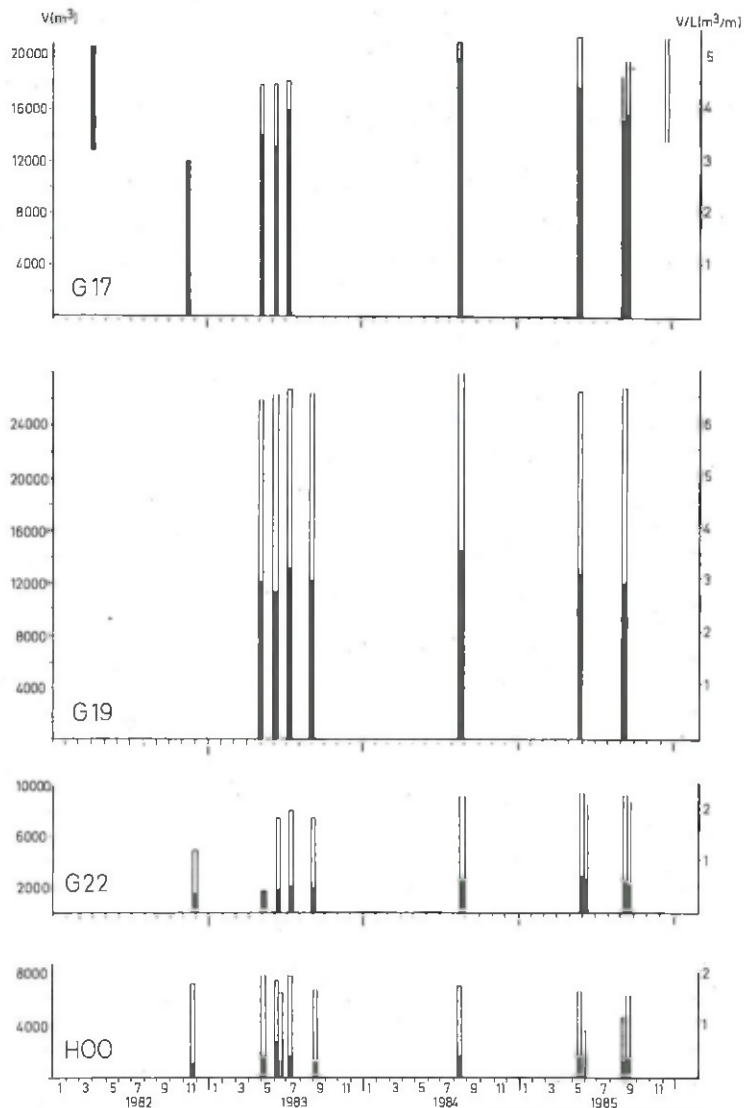
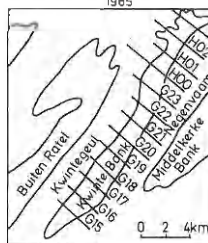


Fig. 6. Evolutie van het bankvolume langsheen enkele transversale referentielijnen op de Kwintebank tussen november 1982 en augustus 1985, berekend boven het referentiepeil -15m Ho (lokaal GLLWS).

Profielen rH00 en rG22 (noordkant), rG19 (centrum), rG17 zuidkant).

$V$  = breedte-eenhedsvolume langs het profiel

$V/L$  = breedte-eenhedsvolume per meter planimetrische lengte op het beschouwde referentiepeil.



sedimentaire structuren in de geulen, op de flanken en op de banktop met behulp van side scan sonar opnames heeft aangetoond (G. DE MOOR, 1984, 1985) dat er op de bank een mechanisme van residuele zandaanvoer werkt waardoor voortdurend nieuw zand op de bank gebracht wordt door residuele vloedstroom vanuit de Kwintegeul en door residuele ebstroom vanuit de Negenvaam. Dit maintenance mechanisme bestaat erin dat megaribbels en zandgolven de beide bankflanken in tegengestelde richting opklimmen en aldus een zandophoping op de top veroorzaken (fig. 4).

De megaribbels die in de geulassen transversaal lopen en in tegengestelde richting bewegen (zeewaarts in de Kwintegeul, landwaarts in de Negenvaam), buigen op de bankflanken geleidelijk meer af door achterblijven, zodat ze de bankflanken beginnen op te lopen en parallel aan de lengte-as van de bank verlopen nabij de top-conconvexiteit langs het noordelijk en het zuidelijk deel. Op deze beide delen van de Kwintebank hopen ze zich op tot hoge asymmetrische zandgolven waarbij de sedimenten zich dan verder naar de as verplaatsen (fig. 7). In het centrale deel, waar de banktop minder diep ligt, vormt zich een zandplat. Het verschillende energie-niveau en de differentiële impact van de golfenergie en van de stromingsenergie speelt daar een rol bij. Aan beide kanten van de bank vertonen de zandgolven een residuele progradatierichting die naar de as van de bank gericht staat. Langs de oostkant van de banktop worden ook symmetrische zandgolven aangetroffen die op een evenwichtspositie in de residuele zandaanvoer vanaf beide kanten wijzen, een evenwichtspositie die naar de oostflank van de bank verschoven is. Dat de afbuiging van de stroomstructuren op de bankflanken deze structuren parallel aan de bankas brengt, verzwakt enigszins de betekenis van het Coriolis-effect op het vloeddominant residueel sedimenttransport in de Kwintegeul en op het ebdominantresidueel sedimenttransport in de Negenvaam. Ze verhoogt de betekenis van refractie en van wrijving.

Door deze zandophoping zou de bank uiteindelijk aan de oppervlakte moeten komen. Behalve het feit dat tussentijdige emersies van sommige bankgedeelten van de Vlaamse Banken gekend zijn, valt ook op dat de diepte van de banken landwaarts afneemt, daar waar door onderlinge bescherming het globale golfklimaat verzwakt. Golvan en accidentele stromingen slaan tussentijdig het zand van de banktop weg tot op een diepte die met de basis van de stormgolven samenvalt. Hierdoor wordt het zand herverdeeld over de flanken en de geulbodems en komt het terug in circulatie in het maintenance mechanisme. Door longitudinale stromingen onder onbekende voorwaarden wordt ook zand van de topzone naar de uiteinden gevoerd. Hierbij ontstaan specifieke troggeulen (zie fig. 2) die longitudinaal tussen de zandgolven verlopen en deze kunnen aansnijden.

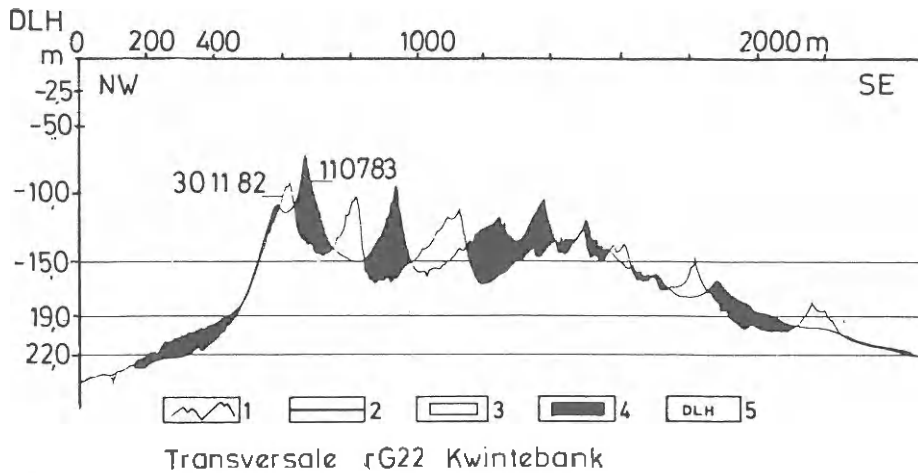


Fig. 7. Morfodynamiek en sedimentdynamiek op de Kwintebank

Fig. 7a. Verandering van de morfologie langsheen de referentielijn rG22 op de Noordkant van de Kwintebank tussen 30/11/82 en 11/7/83

- 1 = profiel
- 2 = referentiepeil
- 3 = verlies
- 4 = winst
- 5 = vergelijkingsvlak lokale GLLWS ( $H_0$ )

De asymmetrie van de zandgolven toont de residuele progradatie. De vormverschuivingen bevestigen een zandbeweging vanaf de beide kanten.

Fig. 7b. Residueel bodemtransport afgeleid van de progradatierichting en van de strekking van de stroomstructuren waargenomen op side scan sonar opnames langs opeenvolgende transversale referentielijnen om de 0,5 Decca-lane op de Kwintebank op 30 november 1982. Opnames aan boord van "Mechelen"

- 1 = Residuele zandmigratie als zandgolven
- 2 = Residuele zandmigratie als megaribbels
- 3 = Residuele zandmigratie als lingoid en als parabolische megaribbels
- 4 = Residuele zandmigratie als megaribbels of zwakhellende zandgolfzijden
- 5 = Dieptelijnen :  $H_0$  peil

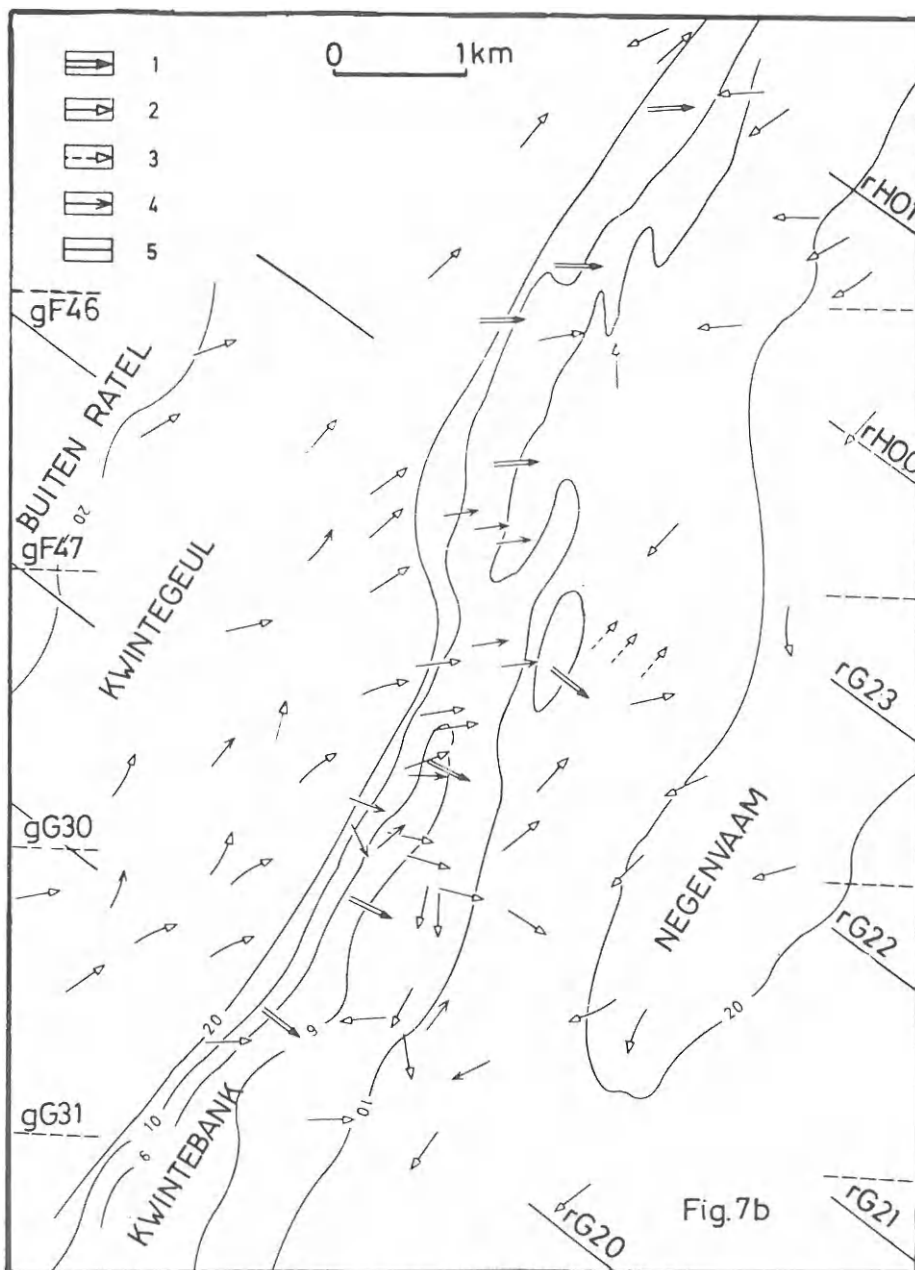


Fig. 7b.

De maintenance is dus grotendeels het gevolg van recyclage door eigen zand binnen een gyratoire zandbeweging. Het feit dat er spijs ontzanding toch geen evenredig residueel volumeverlies voorkomt wijst erop dat er ook een externe zandinput in het maintenance mechanisme optreedt. De vraag blijft natuurlijk waar die zand-input vandaan komt en welke functie deze bankgebonden sedimentdynamiek speelt binnen het globale residuele zandtransport in de Zuidelijke Noordzee. Welk aandeel de erosie in de geulbodems levert en wat er vanaf de kust of vanuit zee eventueel geïntroduceerd wordt is onbekend. Er zijn wel aanwijzingen voor een huidige residuele erosie in de Kwintegeul en ook voor trans-bank zandtransport, o.a. vanaf het middendeel van van de Buitenratel.

## 5.2. Een bankevolutie-model

Andere belangrijke vragen zijn natuurlijk hoe de bank evolueert over middellange termijn en in hoever het maintenance mechanisme bij het ontstaan en bij de opbouw van de banken gedurende de holocene zeespiegelrijzing daartoe bijgedragen heeft.

Door vergelijkende studie van sekwentiele referentieprofielen op 7 opeenvolgende hydrografische kaarten uit de periode 1866-1979 (Kaart Vlaamse Banken, Hydrografische Dienst der Kust, opnames 1866-1870; 1879-1882; 1901-1903; 1924-1929; 1932-1939; 1959-1968; 1973-1979), en transversaal verlopend over de Stroombank en over de Ravelingenbank werd besloten tot een middellange-termijn oscillatie-mechanisme van de bank rond haar lengte-as over enkele honderden meter en met een periode van tientallen jaren (G. DE MOOR 1984, 1985). De Stroombank en de Ravelingen werden weerhouden omdat zij door hun meer kustnabije positie de kans bieden op meer betrouwbare positioneringen van de lodingspunten (fig. 8).

De interne structuren van de Kwintebank bevestigen dat thans residuele afzetting plaatsgrijpt aan de zwak hellende kant van de bank terwijl residuele erosie domineert aan de steilere kant. De aanwas op de ene zijde leidt uiteindelijk tot vernauwing en tot dieptevermindering van de aangrenzende geul, waardoor een inversie van het erosie-aggradatieproces optreedt.

De studie van de interne sedimentaire opbouw van de Kwintebank liet anderzijds toe de sedimentstructurele sporen van de bankvorming te achterhalen. Dit onderzoek berustte op de opname en de seïsmisch-sedimentstructurele interpretatie van ondiepe akoestische reflectie-profielen die met 8 kHz ORE-pinger langsheen dezelfde referentielijnen over de Kwintebank uitgevoerd werden (G. DE MOOR, 1984; 1985). Bovendien werd hierbij gebruik gemaakt van gegevens van bestaande boringen op de Kwintebank (o.a. een 25 m diepe boring op het centrale deel) en in de omgevende geulen, en werden persluchttrilboringen uitgevoerd.

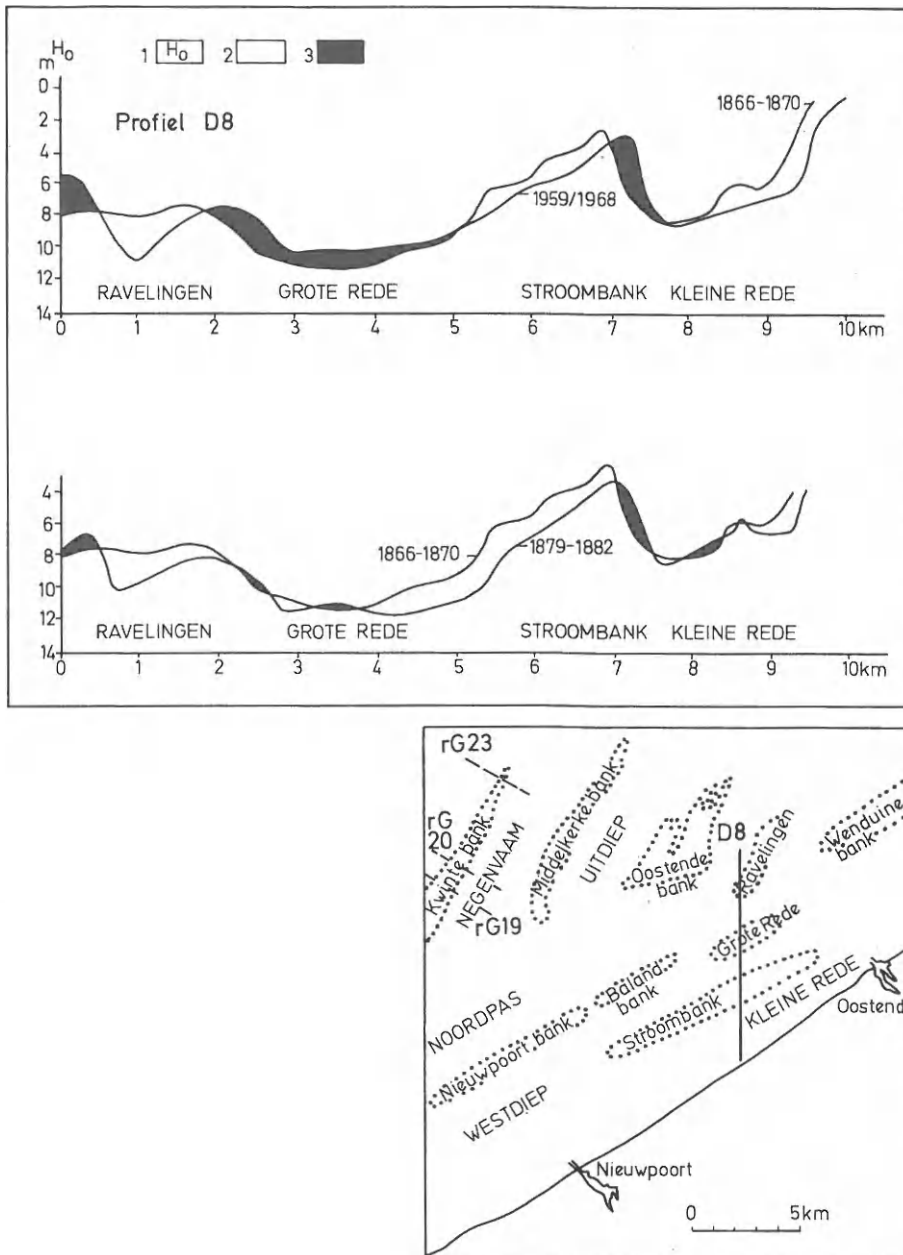


Fig. 8. Middellange termijn morfodynamiek.

Residuele veranderingen in het bodemreliëf langs de referentielijn D8 over de Ravelingen en de Stroombank tussen 1870 en 1968 en tussen 1870 en 1882 op basis van de hydrografische kaarten HDK en na getijdereductie (opnames 1866-1870; 1879/1882 en 1959/1968).

1 = Vergelijkingsvlak lokaal GLLWS ( $H_0$ ); 2 = Verlies; 3 = Winst

Onder de basis van de zandgolven bestaat de bank uit een successie van grote planaire lagen holocene mariene sedimenten met interne resten van oude zandgolven en van progradatie-structuren die afwisselend naar de ene en naar de andere zijde gericht zijn. Hieruit werd afgeleid dat de bank opgebouwd is ingevolge ophoging door het maintenance mechanisme gedurende de holocene zeespiegelrijzing. De effecten van die werking hebben zich stootsgewijze laten gelden omdat bij elke zeespiegelverhoging de bank hoger opgebouwd werd tot aan de golfbasis, terwijl ondertussen ook bankoscillatie optrad. Aan de steile westzijde zijn de structuren door de bankflank doorsneden en ontsluiten er zelfs. Aan de vlakkere oostzijde is er een steilere bedolven helling, bedekt door sedimenten die meer parallel met de helling opgebouwd zijn. Thans is de steile flank een residuele erosieflank, en niet een progradatiezijde, terwijl de zwak hellende zijde nu een residuele aggradatie kent.

Dit hoofdzakelijk makro-diagonaal-planair gestratificeerd pakket bedekt een lage kern van planaire eenheden met meer intense subhorizontale reflectoren die ingesneden zijn door de omgevende geulen en die bij de Kwintebankboring (CARPENTIER, 1980) als perimariene sedimenten van oudholocene en pleistocene ouderdom geïnterpreteerd werden, rustend op Ieperiaan klei.

Het evolutiemodel van de Kwintebank (G. DE MOOR, 1984; 1985) laat vermoeden dat ondiepe rivierdalen op het droogliggend vroegholoceen kontinentaal plat geleidelijk aan een estuarien tot perimarien karakter kregen en zich later zelfs ontwikkelden tot wadzones die ook de lage interfluvia inpalmden. Door verder stijgen van de zeespiegel in dit gebied werden de dalbodems geleidelijk overspoeld evenals de interfluvia, en begon de uitdieping van de overstromde dalbodems terwijl de uitgeërodeerde zanden door het maintenance mechanisme op die interfluvia opgehoopt werden.

Er vormden zich embryonnaire banken met oudere kernen waarvan de planvorm zich geleidelijk aan het patroon van de getijdestromen aanpaste.

Gedurende de latere zeespiegelrijzing werden de banken steeds meer overstromd, en telkens de waterdiepte kritisch werd, hetzij dat de getijdekenmerken veranderden, kon een nieuwe fase van verhoging door zandophoging ingevolge het maintenance mechanisme optreden. In het topgedeelte worden de banken regelmatig afgetopt door de veegzone van de bewegende zandgolven en door de golfbasis van de stormgolven. Door de residuele erosie- en aggradatie-inversies op de flanken oscilleren zij rond de bankkernen.

### 5.3. Stabiliteitsmonitoring op het Belgisch Kontinentaal Plat

Een belangrijke vraag heeft betrekking op het residueel zandtransport over het geheel van het Belgisch Kontinentaal Plat. Deze vraag



Fig. 9. Interne sedimentstructurele bouw van de Vlaamse Banken.

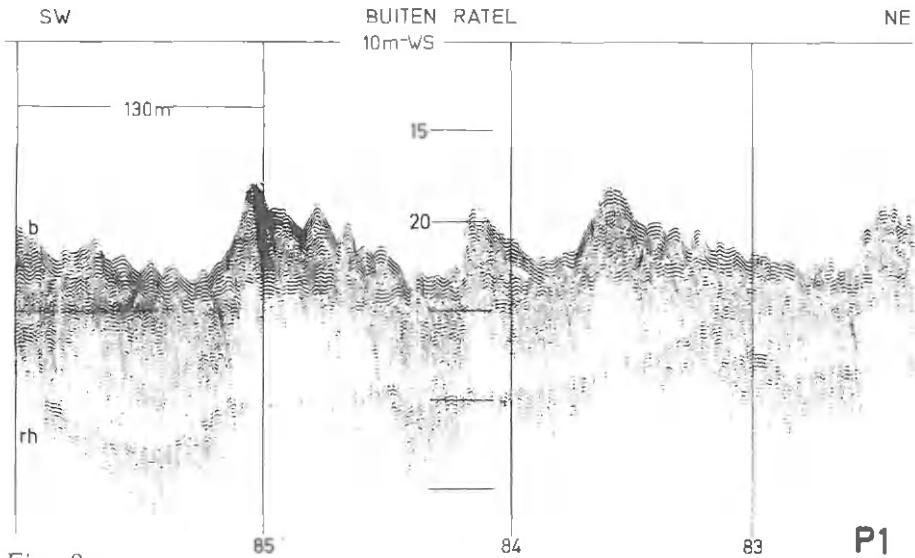


Fig. 9a.

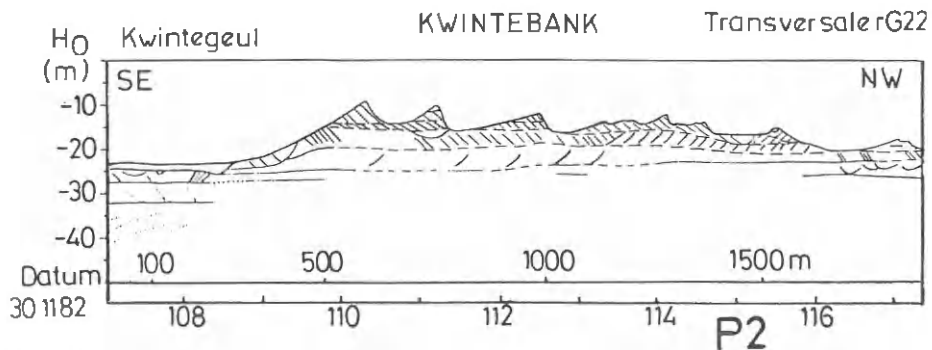


Fig. 9b. Akoestisch-sedimentstructurele bouw van de Kwintebank transversale rG22 (Synthese van ORE-PINGER-opnames 30/11/82 a/b "Mechelen"). De doorsnede toont de veegzone van de aktuele zandgolven, de makro-diagonaalplanaire bouw van de bank boven een onderste reeks sterke reflectoren. Het erosief karakter van de steile westflank is opvallend.

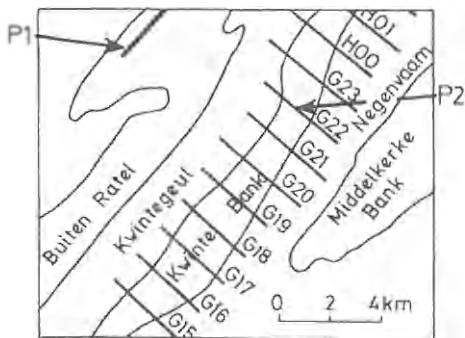


Fig. 9c. ORE-PINGER-opname langs profiel P1 op de Noord Buiten Rattel op 2/12/82 a/b "Mechelen"

b = bodemoppervlak

rh = hoofdreflectievlak, bedolven zandgolvenniveau

:WS = beneden ogenblikkelijk waterpeil

sluit aan bij het probleem van de ontwikkeling van zones met residuele erosie of met residuele afzetting. Ze roept de hypothese van J. VAN VEEN (1936) op over zandconvergentie naar het centrale deel van de Vlaamse Banken ten gevolge van de werking van ebscharen op de noordkant van het complex van de Vlaamse Banken en van vloedscharen op de zuidkant ervan, evenals de visie over een globaal sedimenttransport door bodemlading in de Zuidelijke Noordzee naar het Centrale deel van de Noordzee toe (RAMSTER, J., 1965) en de opvatting van een zanddivergentie die meridionaalsgewijze over de westkant van het Belgisch Kontinentaal Plat passeert (KENYON, e.a., 1981).

Het probleem is hier benaderd door de studie van de residuele niet-gecorrigeerde volumeveranderingen langsheen referentietransversalen verspreid over de verschillende banksystemen op het Belgisch Kontinentaal Plat tussen 9 mei 1983 en 15 september 1985. Deze periode telt 850 dagen. In enkele gevallen is de totale periode wat korter maar bedraagt toch altijd meer dan 750 dagen en situeert zich altijd min of meer symmetrisch binnen de totale periode.

Men kan vooreerst de daggemiddelde verandering van het breedte-eenhedsvolume  $V$  boven het beschouwde peil en voor de periode beschouwen ( $\Delta V$ ). Wegens de verschillen in lengte van de diverse doorsneden, hetzij door het schuine verloop van het profiel, laat deze methode evenwel geen geografische vergelijking toe.

Om de sedimentdynamiek over het gehele gebied te benaderen door vergelijking van volumeveranderingen op verschillende plaatsen kan men de daggemiddelde verandering van de verhouding  $\Delta V$ /lengte van de doorsnede op het beschouwde peil nemen ( $\Delta E$ ). Deze  $\Delta E$  waarden houden evenwel onvoldoende rekening met de vormfactor van de bankdoorsneden. De waarde van  $\Delta E$  zal voor eenzelfde bankdoorsnede bij gelijkblijvend volume immers veranderen indien de lengte verandert.

Om de residuele sedimentdynamiek beter te normaliseren werd gebruik gemaakt van de daggemiddelde verandering van de verhouding  $\Delta V$  t.o.v. een referentievolume, zijnde het rekenkundig gemiddelde van de volumes bij de beide corresponderende extreme data  $d_b$  en  $d_e$  ( $\Delta F$ ).

$$\Delta F = \frac{1}{d_e - d_b} \cdot \frac{V_e - V_b}{\frac{V_e + V_b}{2}} \quad (d^{-1})$$

Deze parameter  $\Delta F$  relateert residuele sedimentverplaatsing boven het referentiepeil  $p$  op de referentielijn  $r$  t.o.v. het gemiddelde volume op die lijn en drukt dit uit in daggemiddelde over de beschouwde periode. Deze parameters  $\Delta V$ ,  $\Delta E$  en  $\Delta F$  kunnen niet gebruikt worden om in de tijd te interpoleren.

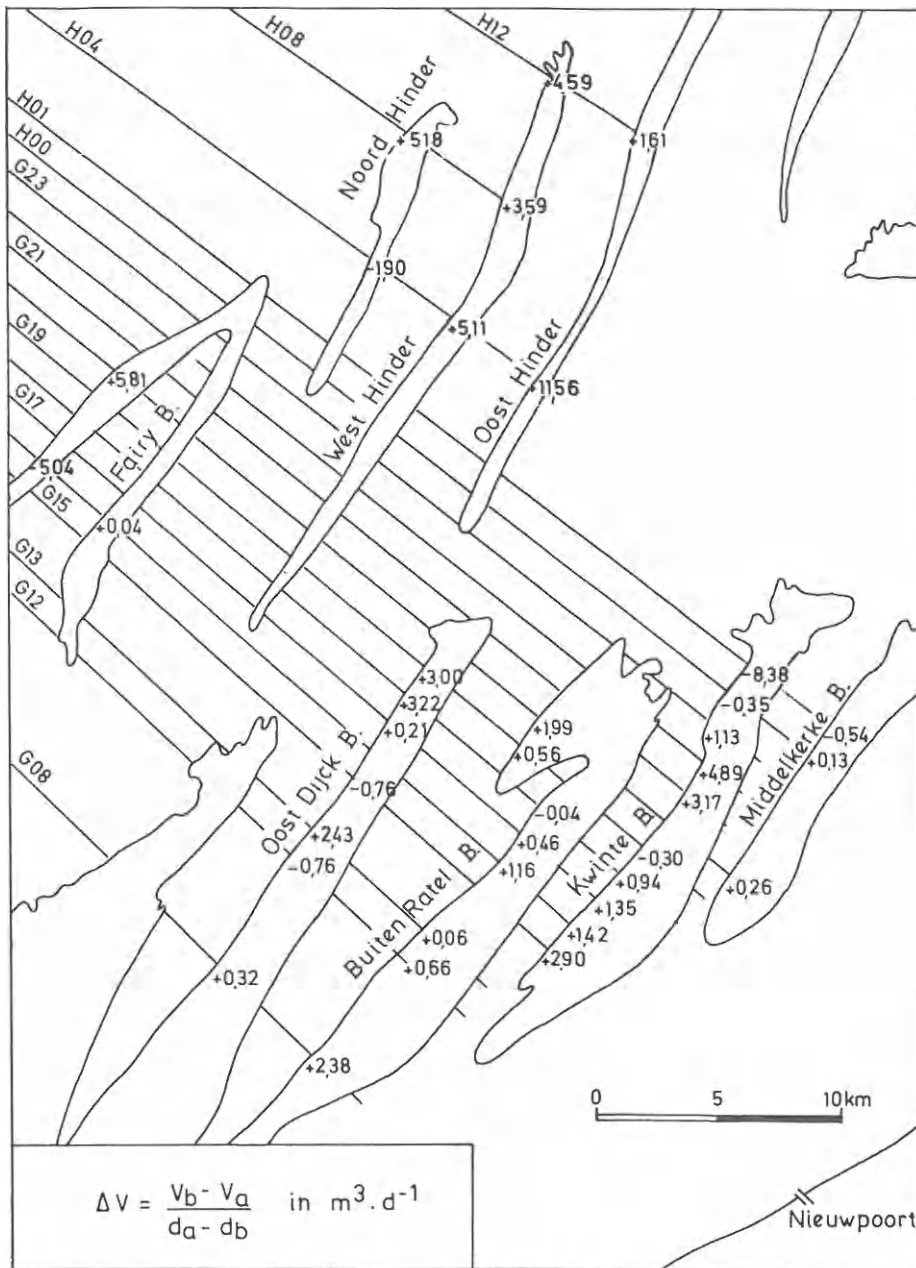


Fig. 10. Residuele sedimentverplaatsingen op de banken van het Belgisch Continentaal Plat tussen mei 1983 (opnames met Alkaïd) en september 1985 (opnames met Belgica) langsheen referentielijnen op de Vlaamse Banken boven peil -15 m H<sub>0</sub>, op Hinderbank boven peil -22 m H<sub>0</sub>. Absolute ΔV waarden : veranderingen in daggemiddelde volumeverandering (breedte-eenheidsvolume langs de referentielijn).

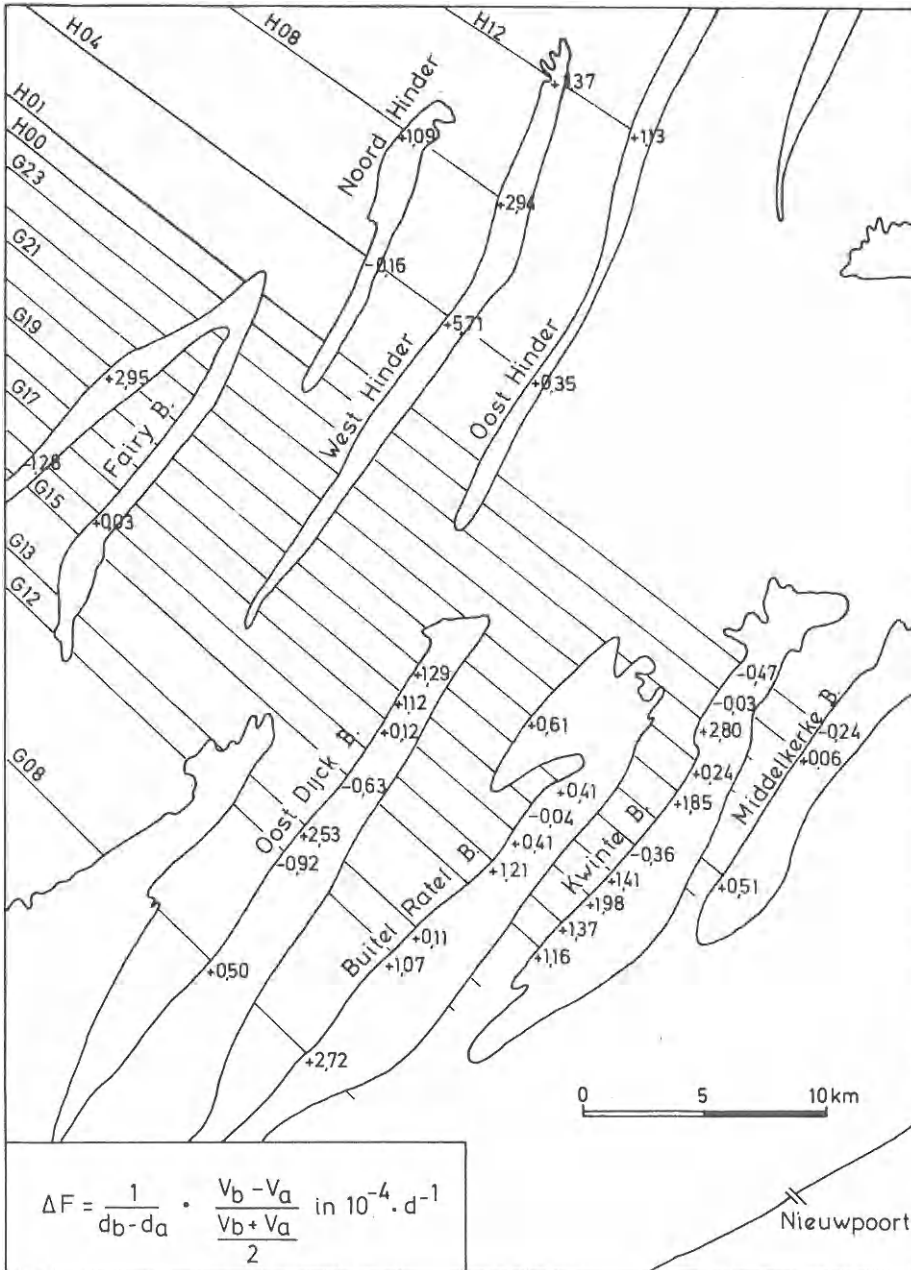


Fig. 11. Residuele sedimentverplaatsingen op de banken van het Belgisch Kontinentaal Plat tussen mei 1983 (opnames met Alkaïd) en september 1985 (opnames met Belgica) langsheen referentielijnen op de Vlaamse banken boven peil -15 m  $H_0$ , op Hinderbank boven peil -22 m  $H_0$ . Relatieve  $\Delta F$  waarden: veranderingen in daggemiddelde verandering van het zandvolume genormaliseerd t.o.v. het gemiddelde breedte-eenhedenzandvolume langs de referentielijn.

Fig. 10 stelt de waarde  $\Delta V$  voor en fig. 11 geeft de waarde van  $\Delta F$  voor verschillende referentiedoorsneden op diverse zandbanken over de periode mei 1983-september 1985. Op de ondiepere Vlaamse Banken zijn de parameters bepaald voor de sedimentdynamiek boven het peil -15, op de Hinderbanken zijn ze berekend voor de sedimentdynamiek boven het peil -22. Al deze peilen zijn bepaald t.o.v. het lokale G.L.L.W.S. ( $H_0$ -peil).

Fig. 10 toont dat de daggemiddelde residuele sedimentverplaatsing over de beschouwde periode gering is en dat er op de meeste plaatsen winst is. Op de Kwintebank bedraagt de maximale residuele winst  $+2,86 \text{ m}^3/\text{dag}$  (rG23) over de gehele bankdoorsnede en boven peil -15. Er zijn geen fundamentele verschillen met de andere Vlaamse Banken. Residuele verliezen komen alleen voor op het middendeel van de Oostdyck en van de Buiten Ratel en zeer zwakke residuele verliezen komen voor op de uiterste noordkant van de Kwintebank, maar dan naast plaatsen met maximale winst. Op de diepere Hinderbanken zijn de daggemiddelde residuele sedimentverplaatsingen veel belangrijker. De  $\Delta V$ -waarden schommelen er veelal rond  $5 \text{ m}^3/\text{dag}$  over de beschouwde periode en boven het peil -22. Op de Oosthinder komt zelfs een plaats met meer dan  $11 \text{ m}^3$  gemiddelde residuele winst/dag voor.

Waar zich verliezen voordoen zijn ze ook groter dan op de Vlaamse Banken. Dit is vooral op de westarm van de Fairy Bank en op het zuidelijk deel van de Noordhinder.

Fig. 11 laat een betere appreciatie toe van die residuele sedimentdynamiek omdat rekening gehouden wordt met het lokale zandvolume zelf. Hieruit blijkt dat residuele veranderingen eigenlijk het grootst zijn op de uiteinden van de Buiten Ratel en van de Kwintebank, zeer gering op de Middelkerkebank en dat de veranderingen op de Hinderbanken eigenlijk geringer zijn dan de absolute volumeverschillen laten vermoeden maar toch iets hoger liggen dan de gemiddelde waarden voor de centrale delen van de Vlaamse Banken. Een zandconvergentie naar het Centrale deel van de Vlaamse Banken of een zanddivergentie op de westkant van het Belgisch Kontinentaal Plat komen hierop niet tot uiting.

## 6. BESLUIT

Sommige aspecten van de zandbankmorfologie en van de sedimentverplaatsingen in de Zuidelijk Noordzee, en op de Vlaamse Banken in 't bijzonder, hebben aanleiding gegeven tot verschillende studies en hypothesen. Daartoe behoren o.a. de vloed- en ebscharentheorie en de regionale zandconvergentietheorie (VAN VEEN, 1936), de spiraalstroomtheorie (HOUBOLT, 1868), de bankzandrotatiethorie (HOUBOLT, 1968), de laterale bankprogradatiethorie (HOUBOLT, 1968), de tegengestelde bankaanliggende netto zandtransporttheorie

(STRIDE & CASTON, 1970), het en-echelon bankevolutiemodel (CASTON, 1971), de Coriolisafbuigingstheorie (BASTIN, 1972), de bankstabiliteitstheorie (VAN CAUWENBERGHE, 1971), de dubbele stroomcompetente offset theorie (CASTON, 1981), de zandtransport-divergentietheorie (KENYON e.a., 1981), de bankeindenprogradatietheorie (Mc CAVE & LANGHORNE, 1982). Aan de mathematische modellering werd ook aandacht besteed (HUTNANCE, 1982).

Deze studie richt zich vooral op de kwantificering van de huidige residuele morfodynamiek in open zee en op de analyse van de sedimentbewegingswijzen aan de hand van bewegingsparameters van stroomstructuren, als een middel voor monitoring en verklaring van de actuele residuele stabiliteit van de zeebodentopografie. Samen met de getuigenis van de interne sedimentaire structuren worden de afgeleide mechanismen aangewend voor de studie van de genese en de evolutie van de zandbanken-topografie gedurende de holocene zeespiegelrijzing.

De geografische analyse van de volumetrische data laat toe de actuele residuele sedimentdynamiek over een deel van het kontinentaal plat te benaderen.

De studie toont ook aan dat toepassing van principes van het maintenance mechanisme (5.1.) en van het oscillatieproces (5.2.) de mogelijkheid biedt om transversale echoloodprofielen rechtstreeks te gebruiken om het morfodynamisch evolutiestadium van banken te bepalen en verklaring biedt voor de kinken in de planvorm en de morfologische differentiatie tussen verschillende bankdelen (fig. 2).

Het wellukken van deze waarnemingsbenadering en de betekenis van haar resultaten zijn sterk afhankelijk van het oplossen van positionerings- en navigatieproblemen, van de ontwikkeling van geomorfologische verwerkingstechnieken van echoloodregistraties en van de uitbouw van side scan interpretatiemethodes.

Het wellukken van een dergelijk onderzoek wordt mede bepaald door de gecoördineerde inzet en door het wederzijds inzicht van de geomorfoloog, de navigator en de computerspecialist.

\*

\* \*

Deze onderzoekingen werden uitgevoerd met steun van het Ministerie van Economische Zaken, directie Mijnwezen, van het Ministerie van Wetenschapsbeleid en van de Beheerseheid van het Mathematisch Model Noordzee. De auteur dankt ook de Hydrografische Dienst der Kust, het K.B.I.N.W., de medewerkers binnen het R.U.G.-O.O.A.-project 12.05.62.84. evenals het nautisch personeel van de Belgische Zeemacht dat aan verschillende campagnes deelgenomen heeft.

## REFERENTIES

- ADAM, Y., BAYENS, W., MOMMAERTS, J.P. & PICHOT, G. (1981) : Mathematical modelling of recent sedimentology in the shallow waters along the Belgian coast. - In : J. NIHOUL (edit.) : "Ecohydrodynamics". Amsterdam, Elsevier.
- BOWDITCH, N. (1977) : American practical navigator; - Washington, Defence mapping agency hydrographic center, 70 ed., Vol. I, 1386 p.
- BELDERSON, R., KENYON, N., STRIDE, A. & STUBBS, A. (1972) : Sonographs of the sea floor. A picture atlas. - Amsterdam, Elsevier, 1983 p., 163 fig.
- CARPENTIER, R. (1980) : Voorlopig proces-verbaal betreffende de resultaten van de boring uitgevoerd op de Kwintebank vóór de Kust van Nieuwpoort. - Zwijnaarde, Rijksinstituut voor Grondmechanica, 3, 2 suppl.
- CASTON, V. & STRIDE, A. (1970) : Tidal sand movement between some linear sand banks in the North Sea off northeast Norfolk. - Mar. Geol., 9, M38-M42.
- CASTON, V. (1972) : Linear sand banks in the southern North Sea. - Sedimentology, 18, 63-78.
- CASTON, G.F. (1981) : Potential gain and loss of sand by some sand banks in the Southern Bight of the North Sea. - Marine Geology, 41, 239-250.
- DE MOOR, G., DE MAEYER, Ph., ROTTHIER, R. & DE DECKER, M. (1981) : Residual effects of multidirectional movements with an application to coastal processes. - Soc. Géogr. Liège, Journées des Chercheurs, Notes de Recherches, 1, 33-41.
- DE MOOR, G. (1984) : Morfodynamiek en sedimentdynamiek rond de Kwintebank. - Brussel, Minist. Econ. Zaken, 224 + 4 vol. tab. en fig.
- DE MOOR, G. (1985) : Shelf Bank morphology off the Belgian Coast. Recent methodological and scientific developments. - In : VAN MOLLE M. (ed.), "Recent trends in physical geography in Belgium", Brussel, study series of the V.U.B., N.S. 20, 47-90.
- EISMA, D., JANSEN, J. & VAN WEERING, T. (1979) : Seafloor morphology and recent sediment movement in the North Sea. - In : "The Quaternary History of the North Sea" (OELE e.a., edit.). Acta Univ. Ups., Symp. Ups. Ann. Quing. Cel., 2, 217-231.
- EISMA, D., MOOK, W. & LABAN, C. (1981) : An early Holocene tidal flat in the southern Bight. - Spec. Publ. Int. Ass. Sediment, 5, 229-237.

- EISMA, D. (1973) : Sediment Distribution in the North Sea in relation to Marine Pollution. - In : GOLDBERG E.D. (ed.) : "North Sea Science" Cambridge, M.I.T. press, 131-150.
- FIELD, M.E., NELSON, C.H., CACCHIONE, D.A. and DRAKE, D.E. (1981) : Sand waves on an epicontinental shelf : northern Behring Sea. - In : NITTROVER C.A. "Sedimentary dynamics of Continental shelves". Amsterdam, Elsevier, 233-258.
- FLEMMING, B.W. (1976) : Guide pratique du sonar latéral. - Rev. Hydrograph. Intern., 53, 73-96.
- FLEMMING, B.W. (1982) : Causes effects of sonograph distortion and some graphical methods for their manual correction. - In : RUSSEL-CARGILL W.G.A. (ed.) Recent developments in side scan sonar techniques Central Acoustics Laboratory, Univ. Cape Town.
- GULLENTOPS, F., MOENS, M., RINGELE, A. & SENGIER, R. (1976) Geologische kenmerken van de suspensie en de sedimenten. - In : "Modèle mathématique. Project Mer. Rapport final 1976", 1-120. Bruxelles, Comm. Interministér. Politique Scientifique, 240.
- HENRIET, J.P., D'OLIER, B., AFFRET, J.P. & ANDERSEN, H.L. (1982) : Seismic tracking of geological hazards related to clay tectonics in the southern bight of the North Sea. - Symp. Engin. Mar. Environm., Brugge, KVIV, 1.5-1.15, 7 fig.
- HEYSE, I. (1975) : Influence of navigational errors on sedimentological bottom sampling in nearshore and offshore zones. - C.I.P.S., Modèle mathématique de la pollution en Mer du Nord. Technical report, Instrumentation, 1, 1-20, 11 fig., 14 maps.
- HOUBOLT, J. (1968) : Recent sediments in the Southern Bight of the North Sea. - Geol. en Mijnb., 47, 245-273.
- HUTNANCE, J. (1982) : On one mechanism forming linear sand banks. - Estuar., Coast and Shelf Sc., 14, 79-99, 10 fig.
- JELGERSMA, S., OELE, E. & WIGGERS, A. (1979) : Depositional history and coastal development in The Netherlands and the adjacent North Sea since the Eemian. - In : OELE, E., SCHUTTENHELM, R. & WIGGERS, A. : "Quaternary History of the North Sea". Acta Univ. Ups., Symp. Univ. Ups. Ann. quingent. Cel., 2, 115-142.
- KENYON, N., BELDERSON, R., STRIDE, A & JOHNSON, M. (1981) : Offshore tidal sand-banks as indicators of net sand transport and as potential deposits. - Spec. Public. Int. Assoc. Sediment., 5, 257-268.
- LABAN, C., CAMERON, T.D.J. & SCHUTTENHELM, R.T.E. (1984) : Geologie van het Kwartair in de Zuidelijke Bocht van de Noordzee. - Meded. Werkgr. Tert. Kwart. Geologie, 21 (3), 139-154.



- LABAN, C. & SCHUTTENHELM, R. (1981) : Some new evidence on the origin of the Zeeland ridges. - Spec. Publ. Int. Ass. Sediment. (5), p. 239-245.
- LANCKNEUS, J. (1984) : A comparative study of some characteristics of superficial sediments on the Flemish Banks. - Gent, Geolog. Instit. University Ghent, Inst. Coll. Quat. Tert. Geology Southern Bight, North Sea, Abstracts.
- LANGERAAR, W. (1966) : Sand waves in the North Sea. - Hydrographic Newsletter, 1, 243-246.
- LANGHORNE, B.A. (1978) : Offshore Engineering and navigational problems - The relevance of sand wave research. Wormley, Inst. Oceanograph. Sciences, 20 p.
- LEENHARDT, O. (1974) : Etude théorique du sonar latéral. - Revue hydrograph. Intern., 51(1), 63-82.
- Mc CAVE, I. (1971) : Sand waves in the North Sea off the coast of Holland. - : Marine Geology, 10, 199-225.
- Mc CAVE, I.N. (1973) : Mud in the North Sea. - In : GOLDBERG, E.D. (ed.) : "North Sea Science". Cambridge, M.I.T. press, 75-101.
- Mc CAVE, I.N. & LANGHORNE D.N. (1982) : Sand waves and sediment transport around the end of a tidal sand bank. - Sedimentology, 29, 95-110.
- MARECHAL, R. & HENRIET, J.P. (1983) : Seismisch onderzoek op het Belgisch Continentaal Plat. - Gent, R.U.G., 1(32 p. + 5 maps), II (7 maps).
- OTTO, L. (1983) : Currents and Water Balance in the North Sea - In : SUNDERMANN & LENZ ( ed.), North Sea Dynamics. Berlin, Springer Verlag, 26-43.
- RAMSTER, J.W. (1965) : Studies with the woodhead seabed drifter in the southern North Sea. - Fish. Lab. Lowestoft, Lab. Leaflet, nS., 6.
- STRIDE, A.H. (1981) : Offshore tidal sand banks as indicators of net sand transport and as potential deposits. - Spec. Public. Int. Assoc. Sediment, 5, 257-268.
- STRIDE, A.H. (1973) : Sediment transport by the North Sea. - In : GOLDBERG, E.D. (ed.) : "North Sea Science", Cambridge, M.I.T. press. 101-130.
- STRIDE, A.H. (Edit.). (1982) : Offshore Tidal Sands. Processes and deposits. - London, Chapman & Hall, 222.
- TERWINDT, J.H.J. (1971) : Sand waves in the Southern Bight of the North Sea. - Mar. Geol., 10, 51-67.

TERWINDT, J.H.J. & BROUWER, M.J. (1986) : The behaviour of intertidal sand waves during neap-spring tide cycles and the relevance for paleoflow reconstructions. - *Sedimentology*, 33, 1-31.

VAN CAUWENBERGHE, C. (1971) : Hydrografische analyse van de Vlaamse Banken langs de Belgische-Franse Kust. - *Ingenieurstijdingen*, 20 (4), 141-149.

VAN CAUWENBERGHE, C. (1977) : Overzicht van de tijwaarnemingen langs de Belgische Kust. - *Tijdschrift der Openbare Werken van België*, (4), 1-15.

Anonymus (1965) : Admiralty Manual of Hydrographic survey. - London, Hydrographes of the Navy, Vol. 1, 671 p.

Anonymus (1964, 1973) : Admiralty Manual of Navigation. - Vol. I, Vol. II, London, Her Majesty's Stationery Office Vol. I (1964), 520 p. Vol. II (1973), 306 p.