

C.I.P.S.

MODELE MATHEMATIQUE D'ETUDE
DE LA POLLUTION EN MER DU NORD.

TECHNICAL REPORT
1973/SED.-SYNTHESE 02

/This paper not to be cited without prior reference to the author/

PROGRAMMA NOORDZEE

RAPPORT 1973 - GROEP SEDIMENTOLOGIE

M. MOENS

(Lab.V. Pr F.Cullentops - K.U.L.)

1. Het suspensiemateriaal

Uit ons rapport van 1972 voor de "Studiedagen van de Noordzee" bleek dat er zich voor de Belgische kust een wig van hoge suspensiegehalten bevindt. Rekening houdend met het feit dat onze metingen alleen verricht werden bij relatief kalme zee (Beaufort < 3) bedraagt de gemiddelde suspensieconcentratie er meer dan 10 mg/l (fig. 1, rapport 1972). Dergelijke concentratie kan op 2 manieren bereikt worden.

- 1° door hydrodynamische processen die vanaf afgelegen bronnen een concentratiegradiënt scheppen naar dit areaal toe
- 2° door constante herwerking van naburige sliblagen door golfwerking of stroming.

Het beschouwde gedeelte van de Noordzee kent een diurn getijdesysteem met in tegenwijzerzin roterende getijden. Op sommige plaatsen (Scheur) worden snelheden van getijdestromen van 2 knopen (± 100 cm/sec) bereikt. Toch vindt men onder deze hoge suspensiegehalten een min of meer samenhangend slibveld (BASTIN, 1973). Het breidt zich uit vanaf 1 à 2 km van de kust tot maximaal een 20-tal km in zee (fig. 7), en bevindt zich aldus op een diepte van minder dan 20 m.

De hydrodynamische omstandigheden moeten dus zodanig zijn dat vorming en bewaring van dit slib mogelijk is.

Verschillende onderzoekers hebben experimenten ondernomen wat betreft de relatie stroomsnelheid en erosie-sedimentatie. Aldus kwam PARTHENIADES (1965) tot de conclusie dat er een "kritische snelheid moet bestaan boven dewelke alle klei in suspensie blijft en beneden dewelke alle klei zich afzet". In zijn experimenten bleek dit te

gebeuren bij 0,5 ft/sec (14 cm/sec). Hij stelt tevens dat bij zijn proefnemingen de turbulentie hoger moet zijn dan bij dezelfde gemiddelde snelheden in open water.

TERWINDT en BREUSERS (1972) stellen dat sedimentatie start zodra de snelheid op 0,5 m van de bodem beneden 20 cm/sec daalt in de Noordzee. Zij baseren zich hierbij op PARTHENIADES (1965) en EINSTEIN en KRONE (1962).

Gelet op alle onnauwkeurigheden die o.a. op dit ogenblik nog meespelen in de bepaling van snelheden op 1 m van de bodem, uitgaande van gegevens over oppervlakte-snelheden, denken we dat 20 cm/sec op 1 m van de bodem een benaderende grenssnelheid voor de suspensie van slib kan zijn. PARTHENIADES (1965) kwam tot de vaststelling dat vers afgezette klei (60% klei, 40% silt, $\pm$ geen zand) $\pm$ dezelfde τ_c had als meer geconsolideerd materiaal bemonsterd op het terrein, nl. 0,57 dynes/cm². Hij schreef dit toe aan de aanwezigheid van zwellende kleimineralen. In Noordzee monsters zal dit waarschijnlijk niet het geval zijn.

TERWINDT, BREUSERS en SVASEK (1968) vonden een kritische shear stress van 1,1 N/m² voor een zand-klei laminatie in de Haringvliet.

Tabel 1 geeft een korte samenvatting van de resultaten van enkele auteurs.

Wij beschikten niet over ongestoorde monsters zodat wij geen nadere gegevens kunnen verstrekken over de juiste granulometrische samenstelling van het slib. Zandbijmengingen van enkele 10-tallen procenten kunnen frekwent zijn.

De gegevens van TERWINDT en BREUSERS (1972) zijn o.i. het best toepasselijk op de situatie vóór de Belgische kust. Een kritische erosiesnelheid van 60 cm/sec op 1 m van de bodem of $U_c^* \sim 2$ cm/sec kan dus een aanvaardbare waarde zijn.

Als uitgangshypothese kunnen we dus stellen dat op plaatsen waar de snelheid op 1 m aan de bodem, verder aangeduid als V_{100} , daalt onder 20 cm/sec en niet stijgt boven 60 cm/sec beweging en afzetting van slib waarschijnlijk zijn.

Aan de hand van de "Stroomatlas" van het Ministerie van Openbare Werken werden bij benadering stroomsnelheden op 1 m van de bodem berekend aan de hand van de vergelijking van VAN VEEN (1926) nl. $v = a \sqrt{h}$ met v = snelheid op a m van de bodem
 a = snelheid op 1 m van de bodem

Wat "h" betreft (diepte) werd rekening gehouden met het MLLWS-peil en het amplitude.

Het blijkt dat vóór het westelijk gedeelte van de Belgische kust de laagste en langste periodes van lage watersnelheden (< 20 cm/sec) voorkomen bij vloedkentering. Dit betekent, daar de stromen in tegenwijzerzin draaien, afzetting het meest intensief gebeurt wanneer de stroming naar zee is gericht.

Zowel bij spring- als bij doodtijden is uitvoer van suspensie naar zee moeilijk en wordt concentratie naar de kust toe bevorderd. Voor dezelfde meetpunten van de "Stroomatlas" werden voor elk uur, van zes uur vóór tot zes uur na HW in Zeebrugge de stroomsterkte en richting vektorieel opgeteld. De resultaten vindt men in fig. 1 en 2 voor spring- en doodtij respectievelijk.

Voor het westelijk gedeelte van het areaal zien we een NO tot O-gerichte resultante. Materiaal dat in suspensie blijft wordt dus langs de kust of erheen vervoerd. Het oostelijk gedeelte van de kust kent veel sterkere stromingen. De resultante heeft hier een Z tot ZW richting zodat zij gericht is op de kust of evenwijdig ermee. Ter hoogte van de Wandelaar kan uitvoer naar zee toe voor-

komen, hoofdzakelijk bij springtijden daar minimumsnelheden dan niet onder 20 cm/sec dalen en de resultanten zeewaarts gericht zijn.

Suspensiemateriaal dat dus de Franse kust als input heeft moet noodzakelijk langs de kust vervoerd worden naar het NO toe. De ontsnappingsmogelijkheden, althans wat normale getijdestromingen betreft, naar zee toe zijn klein.

Het middengedeelte van de kustnabije wateren is dus zoals reeds aangetoond door BASTIN (1973) vooral bij dootijden een ontmoetingsplaats van reststromen van eb en vloed.

Uit de aard van de kustnabije stromingen blijkt dat het suspensiemateriaal geconcentreerd wordt in deze zone. We vermeldde reeds dat dit areaal inderdaad hoge suspensiegehalten kent.

Zoals reeds beschreven door DRAPER (1966) en McCAYE (1971) is de golfwerking zeer effectief in de Z Noordzee tot een diepte van 15 à 40 m. Het beschouwde areaal wordt dus regelmatig herwerkt door de golven. De hogere suspensiegehalten kunnen dus verklaard worden door constante aanvoer van materiaal en de steeds wederkerende herwerking van de bodem.

De fig. 3, 4, 5 en 6 werden getekend op basis van de gegevens van de "Stroomatlas". Uitgezet zijn de minimum en maximumsnelheden van spring- en dootij op 1 m van de bodem. Men dient er rekening mee te houden dat deze kaarten getekend werden in een poging om een samenhang te vinden tussen slib-configuratie enerzijds en hydrodynamische patronen anderzijds. Het zijn dus ruwe schetsen.

Op te merken valt dat de maximumsnelheden van dootij op het "Scheur" na, de 50 cm/sec zelden overtreffen. De minimumsnelheden zijn dan ook onder 20 cm/sec.

Een strook van veranderlijke breedte langs de kust

tot Zeebrugge kent zowel bij dood- als bij springtij slackwatersnelheden lager dan 10 cm/sec. Afgezien van de golfwerking moet hier dus sedimentatie bij slackwater mogelijk zijn.

Bij springtij tekent zich vóór de oostelijke kust een zone af waar de minimumsnelheden niet onder 20 cm/sec dalen. Afzetting van slib is hier dus minder waarschijnlijk dan elders. De maximumsnelheden van springtij nemen toe van $\pm$ 50 cm/sec voor het westelijk kustgedeelte tot meer dan 100 cm/sec in het Scheur. De stroming zou hier dus reeds kunnen volstaan om erosie te veroorzaken van niet te sterk geconsolideerd slib.

Op basis van deze gegevens blijkt dus dat de kuststrook zowel bij dood- and springtij sedimentatie van slib kan kennen en dat vooral in het westelijk gedeelte de kans het grootst is dat het slib niet aan erosie door stromend water onderhevig is. Nochtans zal golferosie optreden en het slib in suspensie brengen waardoor transport weer mogelijk wordt.

Opvallend is trouwens de overeenkomst tussen de snelheidsverdeling der max-snelheden bij springtij (fig. 4) en de verdeling der suspensiegehalten (fig. 1, rapport 1972). Het areaal met de hoogste max-snelheden kent ook de hoogste suspensiegehalten. Erosie of in suspensie houden zal hier mede de oorzaak zijn.

Verschillende gegevens ontbraken ons om de hoge suspensiegehalten te verklaren. Zo menen wij dat de resultante van de snelheden tussen ongeveer 20 cm/sec en ongeveer 60 cm/sec op 1 m van de bodem een nuttige aanwijzing voor de vervoerrichting van fijnkorrelig materiaal is (POSTMA, 1967).

Het afgelegde traject van een waterdeeltje na 1 getijdencyclus is eveneens een belangrijk hulpmiddel, even-

als goede gegevens over de golfwerking. De korrelgrootteverdeling van het suspensiemateriaal is eveneens ongekend. Bovendien waren de hoeveelheden verzameld met de centrifuge te gering om er de klassieke korrelanalyse op uit te voeren. De peptisatie van dit materiaal leverde zulke moeilijkheden op dat wij de resultaten van deze analyses niet betrouwbaar achten.

2. De bodemsedimenten

Fig. 7 geeft de verdeling van slib weer voor de Belgische kust. Elk monsterpunt werd in deze voorstelling representatief geacht voor een vierkante oppervlakte met een zijde van $\pm 3,7$ km en het beschouwde punt in het centrum. De gegevens zijn afkomstig van 1 (meestal) grijpmonster per station. Het spreekt vanzelf dat deze methode niet toelaat nauwkeurig grenzen vast te leggen. De kaarten opgemaakt door BASTIN (1973) zijn in dit opzicht te verkiezen boven discontinue bemonsteringen zoals de onze.

Anderzijds is deze werkwijze zeer geschikt om variaties in fysische en scheikundige eigenschappen van het slib na te gaan. Sedimentaire faciesverschillen tussen verschillende gebieden kunnen slechts aan de hand ongestoorde monsters, waarover wij niet beschikten, bestudeerd worden.

Zo is het zeer waarschijnlijk dat de fijne sedimenten vóór de Belgische kust in situ zullen bestaan uit afwisselend zand en klei of sliblagen. Een grijper en de analyse achteraf homogeniseren het sediment zodanig dat een vals granulometrisch beeld uit de analyse te voorschijn komt. De cijfers duiden dus enkel op een globale samenstelling van de monsters en het is o.i. verkeerd hieruit conclusies te trekken aangaande bepaalde eigenschappen van het

oppervlakte sediment (vb. schuifspanningen, watergehalte, compactie e.d.). Een monster dat vb. 30% slib bevat (globaal geanalyseerd) kan in situ genomen zijn op een klei- of sliblaag aan de oppervlakte met een zandlaag eronder op 10 à 15 cm (TERWINDT, BREUSERS en SVASEK, 1968). Dit komt regelmatig in onze korrelgroottekurven tot uiting als bv. bimodale verdelingen.

Voor de gevolgde werkwijze van de granulometrische analyse verwijzen we naar het rapport "A flowsheet for analysis on recent detrital sediments" door F. GULLENTOPS (1972).

Wat de nauwkeurigheid der metingen betreft : de ziften van 63 μ en 32 μ werden nagemeten. Proeven op de decantatiemethode voor de korrelgroottebepaling van de fracties < 32 μ hebben ons aangetoond dat de meetresultaten reproduceerbaar zijn op 1% na. Niettemin werden de granulometrische analyses onder 32 μ slechts uitgevoerd van zodra het monster meer dan 5% kleiner dan 63 μ -fractie bevatte.

Vergelijken we nu fig. 7 met fig. 1 (rapport 1972), dan blijkt dat het areaal met hoge suspensiegehalten in zekere mate de slibverdeling op de bodem weerspiegelt. Dit is nog duidelijker op fig. 2 (rapport 1972) die de spreiding van de minimum-concentraties weergeeft. De lijn die het areaal 2 - 5 mg/L afbakt kent zijn grootste uitbreiding waar het slib zich het verst in zee uitstrekt. Een verband tussen hoge suspensiegehalten - slib is voor de hand liggend.

Een vergelijking van figuren 3, 4 en 7 leert dat er slib voorkomt op plaatsen waar stroomsnelheden van meer dan 60 cm/sec mogelijk zijn en minimumsnelheden niet onder 20 cm/sec dalen.

Bovendien ligt de kusttrand, die wat stroomsnelheden betreft gunstig is voor sedimentatie onder de invloed van de

golven. Terloops weze hier opgemerkt dat de overheersende windrichtingen deze uit de westelijke sector zijn. De strekking van de zandbanken is zodanig dat zij het erachter liggende areaal wel enige bescherming bieden tegen lange golven. Niettemin blijkt dus dat het slib in een hoog energetische zone is gelegen wat golfwerking en (gedeeltelijk) stroomsterkten betreft. Dat slibsedimentatie niettemin voorkomt moet o.i. toegeschreven worden aan de permanent hoge suspensiegehalten die hier gevonden worden. McCAVE, (1971) heeft er reeds op gewezen dat op plaatsen waar suspensiegehalten hoog zijn, sedimentatie kan plaatsvinden ondanks golfwerking en stroming.

Het voorkomen van slib in de belgische kustwateren kan dus verklaard worden door het samenspel van twee mechanismen

1° Stromen water

Concentratie en aanvoer door residuele stromingen van suspensiemateriaal naar de kust toe. Waarschijnlijk ook door de resulterende stroming van de stromingen tussen erosie- en afzettingssnelheid van het water. Berekening van dergelijke resultanten door vooropstelling van verschillende kritische erosie en sedimentatiesnelheden van de watermassa kan bijdragen tot de verklaring van de sediment-dynamica.

2° Golfwerking

Golven kunnen in weinig geconsolideerd slib een translatiebeweging induceren zodat dit slib vervoerd wordt zonder een suspensie gebracht te worden (MIGNIOT, 1968). Uit de aard der zaken (windrichting, slibverdeling) menen wij te mogen besluiten dat dit mechanisme hier eveneens werkzaam is.

Door herwerking door de golven wordt op sommige plaatsen het suspensiegehalte hoog gehouden zodat vervoer

en verspreiding mogelijk wordt. Het veld met hoge suspensiegehalten (fig. 1, rapport 1972) weerspiegelt in dit opzicht ook de bodemmorfologie. De zone is het smalst vóór de westkust en het breedst vóór de Schelde. Hier worden kleine diepten tot ver in zee aangetroffen.

Primordiaal zijn o.i. de stromingen : zij veroorzaken de concentratie van suspensiemateriaal en induceren aldus sedimentatie.

PARTHENIADES (1965) en MIGNIOT (1968) hebben er reeds op gewezen dat golfwerking niet alleen fijnkorrelig materiaal in suspensie kan brengen, maar tevens de korrelgrootte van dit materiaal drastisch kan verkleinen (tot 5 x kleinere gemiddelde valsnelheid) zodat het uiterst geschikt wordt voor transport. Verder lijkt het ons niet onmogelijk dat sedimentatie en erosieprocessen in dit gedeelte van de Noordzee een cyclisch verloop kennen, gebonden aan de cycli van spring- en doodtij.

Zoals reeds gezegd bereikt, volgens onze benaderende berekeningen, de max-snelheid van doodtij enkel snelheden boven 40 cm/sec (V_{100}) in het "Scheur" en vóór de oostelijke helft van de kust. Gedurende de periode rond doodtij kunnen dus sliblagen gevormd en bewaard worden na afzetting zodat hun compactie kan toenemen en zij meer weerstandbiedend worden aan erosie. Deze erosie kan veroorzaakt worden door max-snelheden van springtij.

Fig. 7 illustreert dat we in slib steeds een min of meer belangrijke bijmenging van zand vinden. De mediaan van deze fractie $> 63 \mu$ bedraagt gemiddeld 176 μ .

Uit fig. 8 blijkt dat er een zeker verband bestaat tussen de korrelgrootte van het zand en zijn gewichtsprocent per monster : hoe meer zand er aanwezig is, hoe grover het kan zijn. Het zandgehalte kan dus evenredig zijn met stroomsterkte-golfwerking, daar sterkere stromingen-

golven grover zand kunnen vervoeren.

Uitgezet op een driehoeksdiagramma (fig. 9) blijkt dat een puntenwolk met een bepaalde vorm ontstaat : ringvorming van het zandhoekpunt naar de tegenoverliggende klei-silt-zijde. Dit betekent dat er in deze monsters een vaste verhouding bestaat tussen het silt en het kleigehalte : ongeveer 65/35. Beide fracties zijn meestal samen in suspensie vervoerd als een min of meer homogeen geheel.

Monsters met een zandgehalte tussen 35 à 50% schijnen niet voor te komen. Wij menen dat dit te wijten is aan de aanwezigheid van silt uit de loess. Tussen de fijne siltfractie en de kleifracie bestaat er een nog nauwer verband (fig. 10), de silt-klei-verhouding is hier 55/45. Voor monsters met meer dan 45% < 16 μ is de correlatie minder goed. We menen ook hier dat siltbijmenging uit de loess dit veroorzaakt. Hoe dan ook, de correlatie tussen de fracties < 2 μ en 2 - 16 μ wijst er weer op dat klei niet apart wordt afgezet maar meestal samen en in een zekere verhouding gemengd met grover sediment.

Om globale korrelgroottevariatiaties duidelijker te maken werden in fig. 10, 2 profielen uitgezet. Stations die meermaals werden bemonsterd worden hier weergegeven door de gemiddelde waarden. De stippellijnen verbinden stations met appreciabele hoeveelheden slib onderling, om de onderlinge verhoudingen van de verschillende fracties aanschouwelijker te maken.

Uit het lengteprofiel langs de kust blijkt dat het slibgehalte van de bodemonsters stijgt naar het midden van de kust toe om een maximum te bereiken ter hoogte van station 1113 (De Haan). Alhoewel het % Ps stijgt is de kleifracie daar niet zo sterk bij betrokken : een percentage van $\pm$ 25% klei wordt goed aangehouden : zie fig. 11. Minder duidelijk is hier wel dat klei en fractie 2 - 16 μ

hier dezelfde trend volgen.

Merk op dat bij overgang van station 1167 naar 1207 - de grove en middelmatige silt sterk in belang toenemen. Scheldemonsters vertoonden belangrijke grove en middelmatige siltfracties in een apart onderzoek. Dit materiaal kan hier (1207) aanwezig zijn.

Het profiel loodrecht op de kust vertoont wel het samen variëren van fijn silt en klei : het kleipcentage bereikt hier 40%.

Om de relatieve verhoudingen tussen de verschillende fracties na te gaan werden vier parameters berekend : Scr, Scmr, Cr en Ocr. Zij kunnen enige informatie verstrekken over herkomst van het materiaal. Ze werden uitgezet in de figuren 12, 13, 14 en 15 en worden hier kort besproken.

$$\text{Scr : silt coarse ratio} = \frac{\text{fractie } 63 \mu - 32 \mu}{\text{fractie } < 63 \mu}$$

Geeft het aandeel van de grove silt in de fractie $< 63 \mu$ weer. De waarden van deze parameter ligt tussen 0,01 en 0,29; het gemiddelde bedraagt 0,12.

Deze waarde is beduidend lager dan het gemiddelde voor deze parameter in het Scheldebekken : 0,30. De stations 5 en 7 vertoonden echter wel zulke hoge waarden, wat er zou kunnen op wijzen dat Scheldemateriaal aanwezig is. Voor station 5 is dit praktisch zeker. Toch moet men opmerken dat station 1133 een hoog grof silt-gehalte heeft, waar men niet onmiddellijk een bron kan voor aanwijzen

$$\text{Scmr : silt coarse and medium ratio} = \frac{\text{fractie } 63 \mu - 16 \mu}{\text{fractie } < 63 \mu}$$

Geeft het aandeel aan van grof en gemiddeld silt in het suspensiemateriaal Ps; fractie $< 63 \mu$. De waarden van Scmr liggen tussen 0,06 en 0,63 met een gemiddelde van 0,32. Dit is weer lager dan de overeenkomstige waarde voor het

Scheldebekken : $\pm 0,55$.

De verdeling van de Scmr-waarden over het aantal monsters is bimodaal met een eerste modus rond 0,25 à 0,30, een tweede rond 0,40 à 0,45. Hoge waarden worden weer gevonden rond de Scheldemonding en ten W. ervan langs de kust. Loessrijk materiaal afkomstig uit de Schelde kan hier aangevoerd zijn. Dit zou dus wijzen op een zekere uitvoer van de Schelde, waar men altijd de afzetting van zijn materiaal in de benedenloop zelf sterk benadrukt heeft.

In de stations 1049, 1065, 1097, 1113, 1114 en 1133 werden eveneens hoge waarden vastgesteld, met in 1133 een waarde van 0,63.

$$\text{Cr : clay ratio} = \frac{\text{fractie} < 2 \mu}{\text{fractie} < 63 \mu}$$

Geeft het aandeel van de kleifractie weer in de fractie $< 63 \mu$.

De Cr-waarden schommelen tussen 0,22 en 0,64 met een gemiddelde van 0,36, wat hoger is dan het gemiddelde voor het Scheldebekken : 0,30. Dit zou er kunnen op wijzen dat wat de uitvoer betreft, de fijnere fracties bevoordeligd zijn t.o.v. van vb. de silt, grof en middelmatig.

Hoge Cr-waarden werden gevonden in de stations 1168, 1188, 1148, 1132, 1172, 1173 en 1007 waar dus een relatief rijke kleisedimentatie moet bestaan. Het bleek ook dat deze parameter aan sterke variatie onderhevig is. De sedimentatie van materiaal $< 63 \mu$ is dus granulometrisch wel gevarieerd. Siltrijk en kleirijk slib kan in hetzelfde station gevonden worden vb. 1097, 5. Dit kan er tevens op wijzen dat de numerische waarden van de ratio's sterk bepaald is door plaatselijke en tijdelijke hydrodynamische condities, eerder dan door de herkomst van het materiaal.

$$\text{Ocr : organic clay ratio} = \frac{\text{organische fractie (H}_2\text{O}_2\text{)}}{\text{fractie} < 2 \mu}$$

De Ocr-waarden schommelen tussen 0,02 en 0,17 met een ge-

middelste van 0,03. In het Scheldebekken bedraagt deze waarde 0,24. Men gaat er bij deze berekening van uit dat organisch materiaal zich hoofdzakelijk in de kleifractie bevindt.

Daar de kleifractie echter goed gecorreleerd is met de fijne siltfractie, mogen we stellen dat organisch materiaal hoofdzakelijk in de fijne fracties zit.

Zeewater is over het algemeen oververzadigd met zuurstof zodat verbranding van organische stoffen hier sneller en beter gaat.

Waarden voor de Ocr-parameter die boven het gemiddelde liggen werden gevonden vóór de Schelde, ten W van de monding in 1186. Verder in zee, waar de bodem minder aan herwerking door golven onderhevig is, worden ook hogere waarden aangetroffen : 6, 1173 en 1941.

Op de fractie 63 - 32 μ werd een begin gemaakt met mikroskopisch onderzoek van de lichte mineralen. De meest voorkomende zijn kwarts (60 à 70%), veldspaten ($\pm$ 20%), silex (tot 10%) en in kleinere hoeveelheden chloriet, glauconiet en opake korrels en zware mineralen. Het gaat hier vanzelfsprekend om ontkalkt materiaal. In niet ontkalkt materiaal kunnen kalkfragmenten gemakkelijk 50% van het geheel uitmaken.

De tellingen zijn te onvolledig om vaststaande gevolgtrekkingen toe te laten. Het verst gevorderd was de bepaling van de veldspaten met de kleurmethode. De resultaten vindt men in tabel 2. We kunnen stellen dat op grond van deze analyses het slib vóór de Belgische kust vrij homogeen is, wat overeenkomt met de ratio-analyse van dit materiaal. Opvallend is misschien het hoge chlorietgehalte.

LITTERATUUR

- BASTIN, A., 1973 : Natural Radioactive Tracers and their use in Belgium.
"Tracer Techniques in Sediment Transport", Tech. Rep. Ser. N° 145, Int. At. En. Ag. Vienna.
- DRAPER, L., 1966 : Wave activity at the sea bed around northwestern Europe.
Mar. Geol., 5, 133-140.
- GULLENTOPS, F., 1972 : A flowsheet for analysis on recent detrital sediments.
Rap. 1972, Studiedagen Noordzee, Gent.
- McCAVE, I.N., 1971 : Wave effectiveness at the sea bed and its relationship to bed-forms and deposition of mud.
Journ. Sed. Petr. 41, n° 1, 89-96.
- MIGNIOT, C., 1968 : Etude des propriétés physiques de différents sédiments très fins et de leur comportement sous des actions hydrodynamiques.
La houille blanche, 23, N° 7, 595-620.
- PARTHENIADES, E., 1965 : Erosion and Deposition of Cohesive Soils.
Journ. Hydr. Div., Proc. A.S.C.E., pp. 105-139.
- POSTMA, H., 1967 : Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment.
Estuaries : G.H. LAUFF, Ed., Am. Ass. Adv. Sci. Publ. N° 83. Washington D.C.
- TERWINDT, J.H.J., BREUSERS, H.N.C. and SVASEK, J.N., 1968 : Experimental Investigation on the erosion-sensitivity of a sand-clay lamination.
Sedimentology 11, p. 105-114.

TERWINDT, J.H.J. and BREUSERS, N.H.C., 1972 : Experiments
on the origin of flaser, lenticular and sand-clay alternating bedding.

Sedimentology 19, pp. 85-98.

VAN CAUWENBERGHE, C., 1971 : "Stroomatlas" Vlaamse banken
Noordzee.

Minist. Op. Werken, Dienst der Kust, Hydrografie, Oostende.

VAN VEEN, J., 1936 : Onderzoekingen in de hoofden in verband
met de gesteldheid van de Nederlandse kust.

Alg. Landsdruk. 's Gravenhage.

WARTEL, S.I., 1971 : Studie van het flokulatieproces op
Schelde-sedimenten.

Kon. Belg. Inst. Natuurwet.

1971 : Bepaling van wrijvingssnelheden tegen
de bodem op basis van stroomsnelheidsvertikalen.

Kon. Belg. Inst. Natuurwet.

TABEL 1 Critische erosiesnelheden volgens enkele auteurs

AUTEUR	SAMENSTELLING z = zand s = silt k = klei	U _c * in cm/sec	U ₅₀ V op 50 cm van bodem	U ₁₀₀ V op 1 m van bodem
PARTHENIADES, 1965	geen zand	0,8	21	22
TERWINDT, BREUSERS, en SVASEK, 1967	50% z 30% z 20% z	3,3	97	103
TERWINDT en BREUSERS, 1972	37% z - 2 u " 2 1/2 u 7% z 2 u 2% z 2 1/2 u 37% z 1/4 u 1/2 u 1 u 2 u	1,9 2,1 0,8 1,4 0,7 1,2 1,75 2	53 59 21 33 18 32 49 56	56 63 22 41 19 34 52 60

de lichte mineralen - samenstelling per monster van de fractie 32 μ - 63 μ

(% kwarts = 100% - som van procenten van bepaalde mineralen)

[illegible]

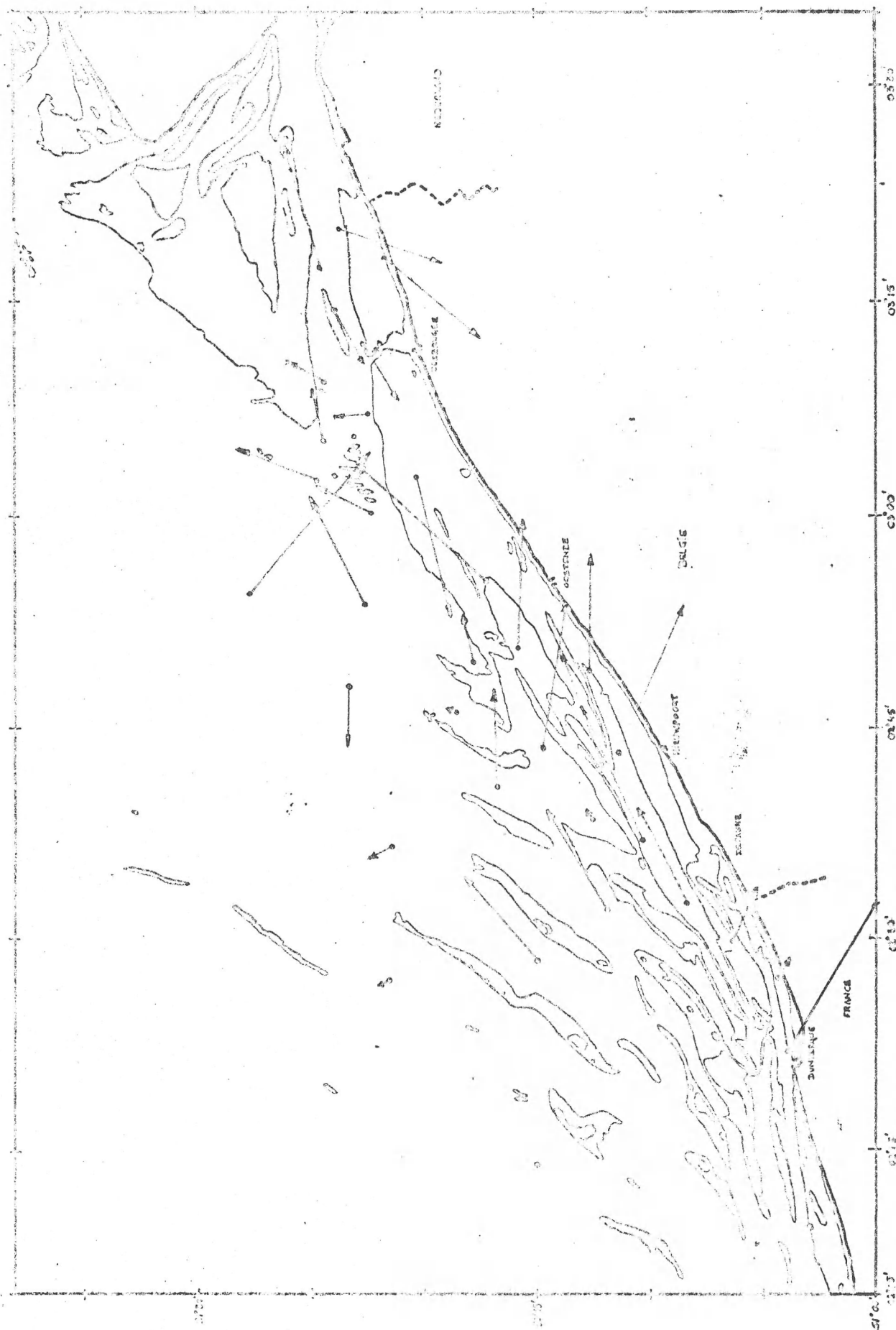


Fig. 1. Resultaten van getijdestromen over 1 springtijcyclus (12 u) : gegeven "HYDROATLAS"
 1 km = 0,5 cm

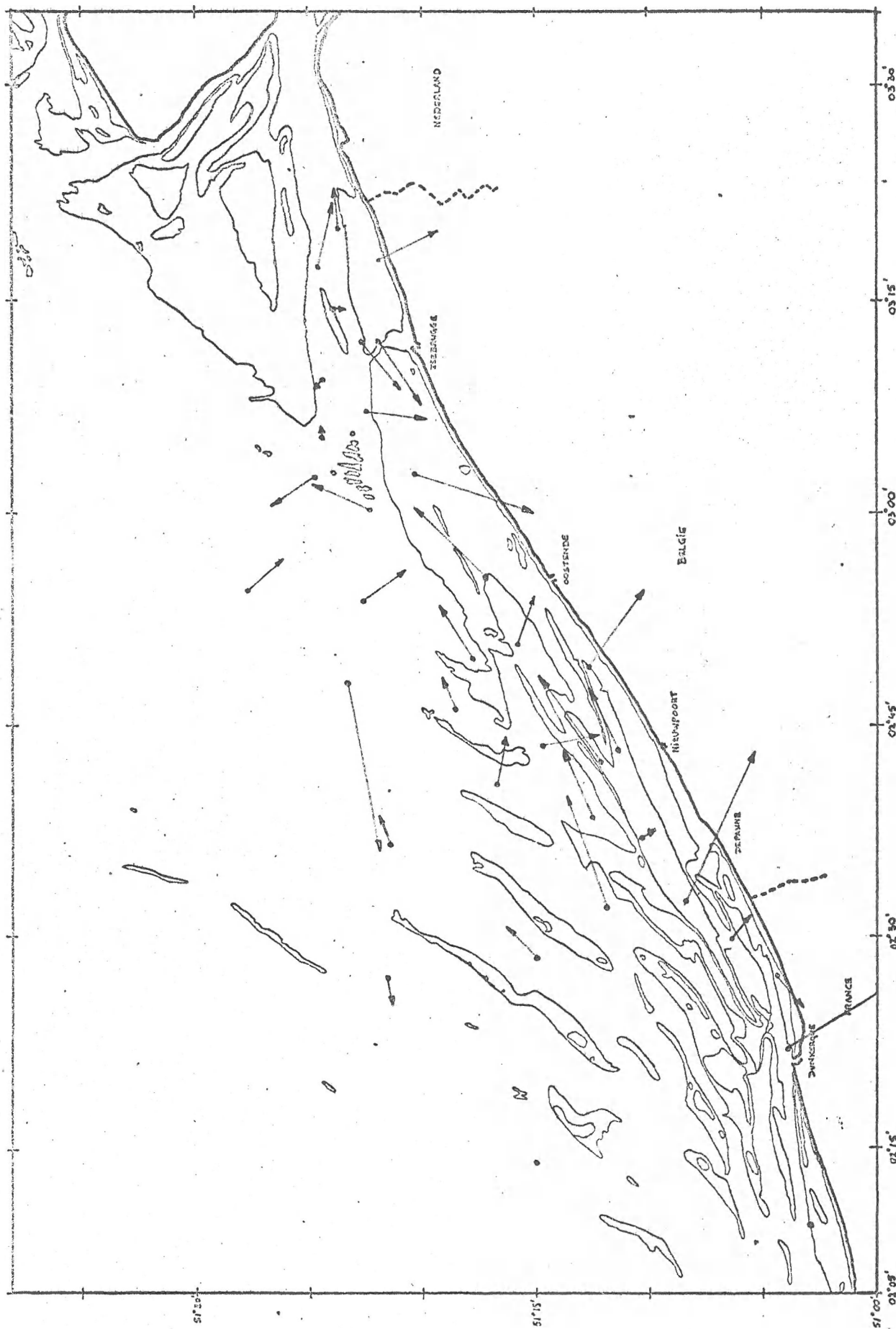


Fig. 2. Resultanten van getijdestromen over 1 doortijcyclus (12 u) : gegevens "STROOMATLAS"
1 km = 0,5 cm



Fig. 3. Verdeling van de V_{min} bij springtij (minimumnelheid op 1 m van de bodem)

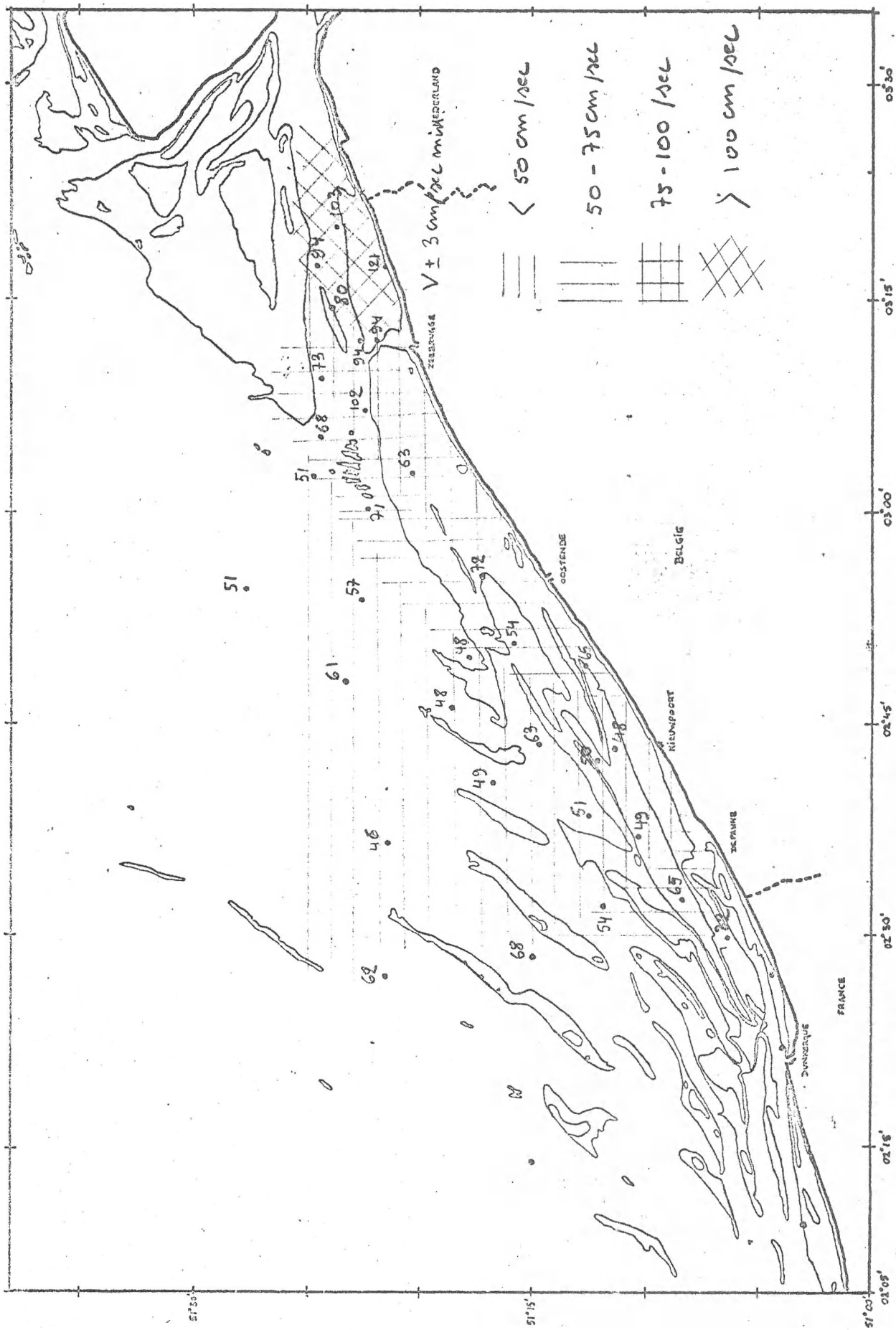


Fig. 4. Verdeling van de V_{max} bij de springtij

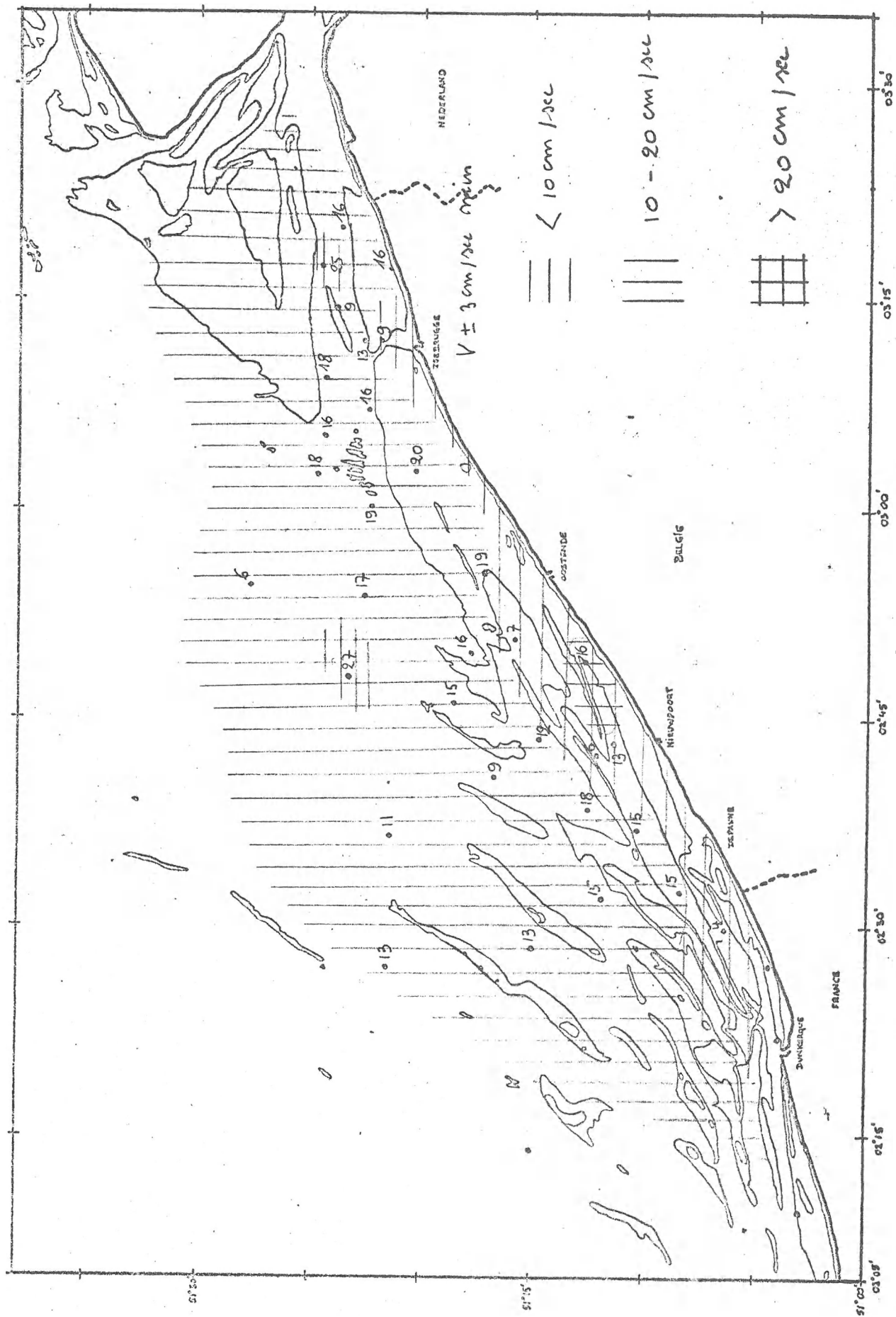


Fig. 5. Verdeling van de v_{min} bij doddtij

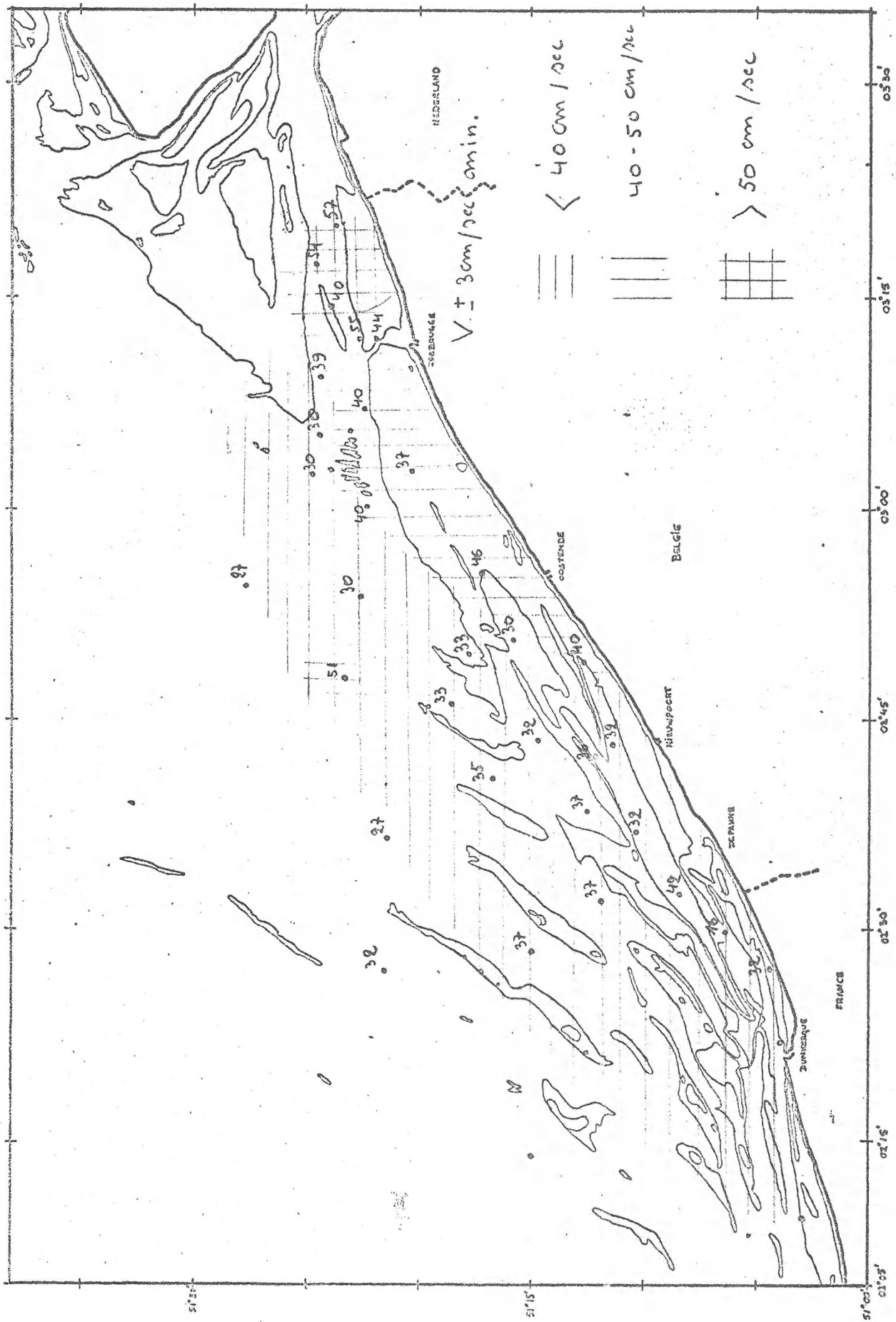


Fig. 6. Verdeling van de V_{max} bij doortij

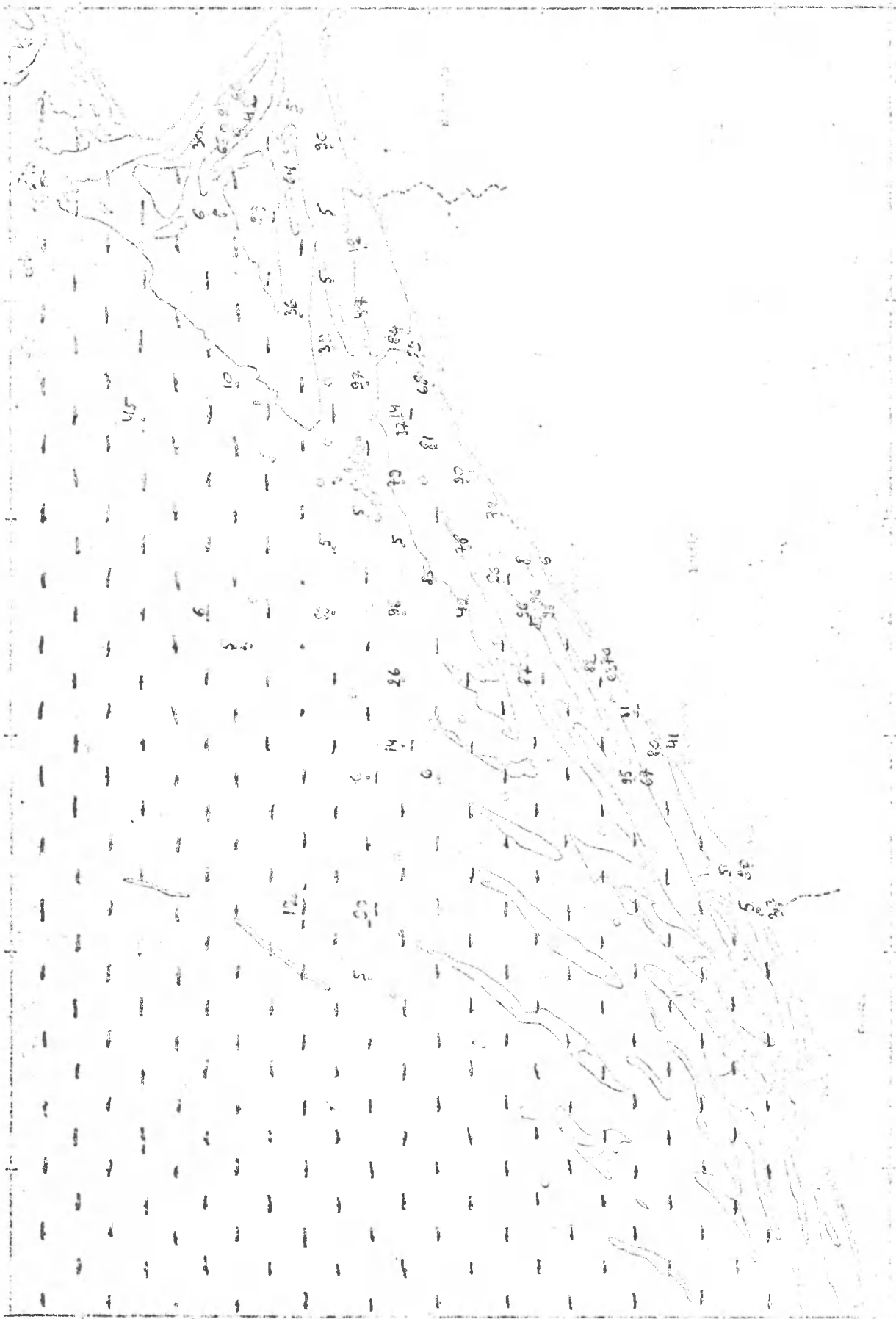


Fig. 7. Verdeling van elib vóór de Belgische kust uitgedrukt in % silt en klei per
Eeanalyseerd monster

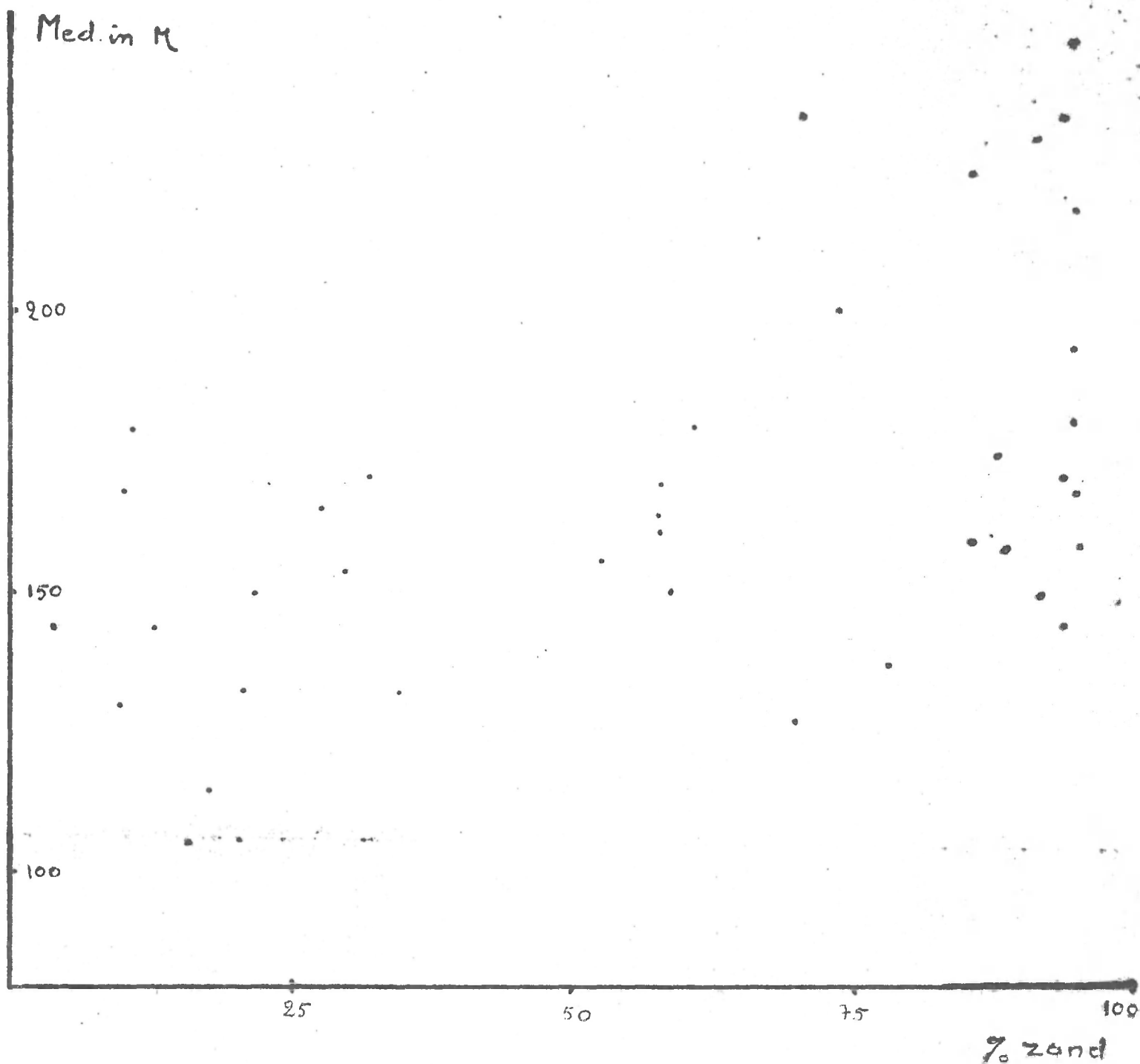


Fig. 8. Verband tussen de mediaan van de zandfractie en het procent aanwezige zand in slibhoudende monsters

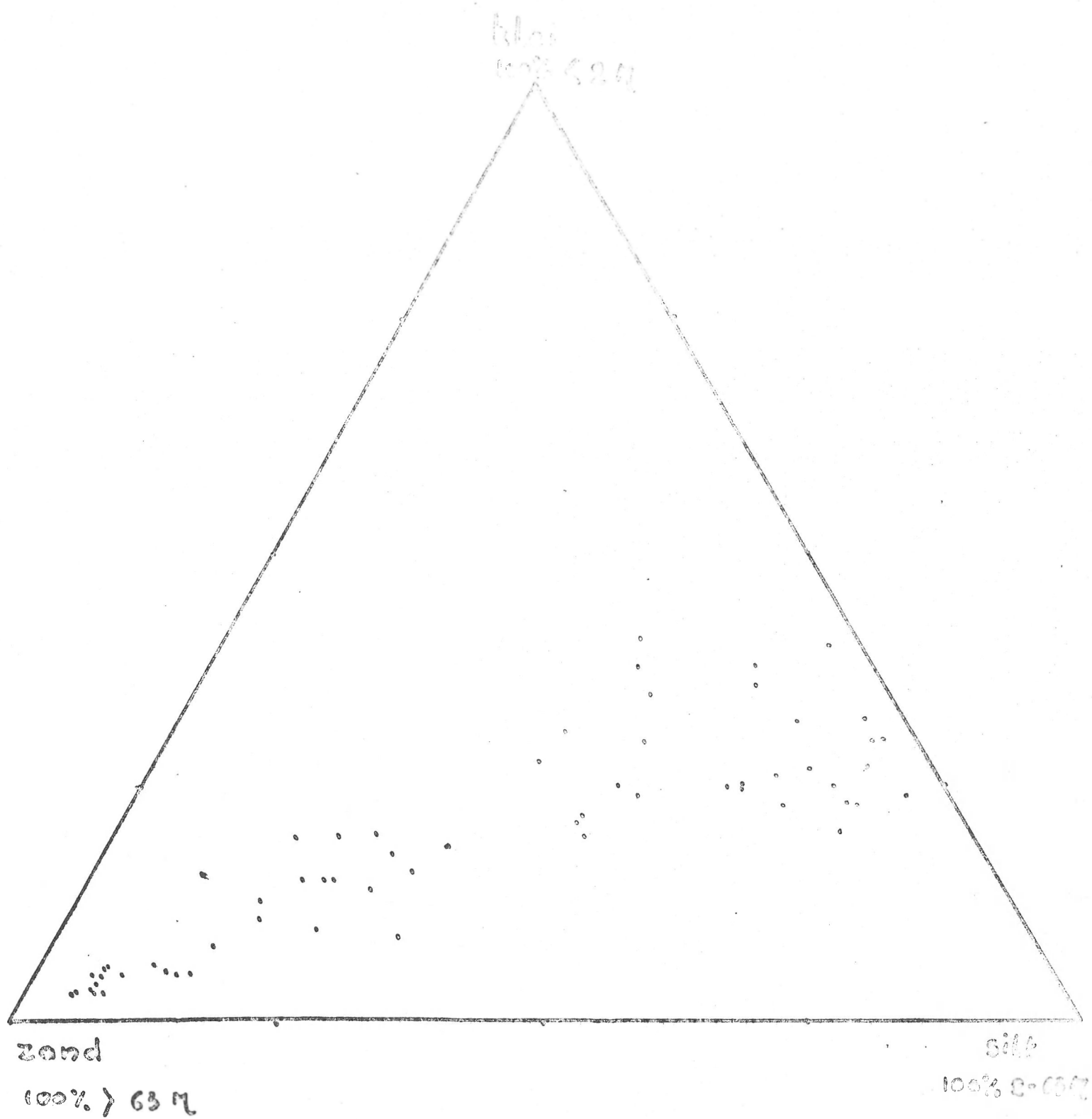


Fig. 9. Procentuele zand - silt - klei samenstelling van de bodemonsteren

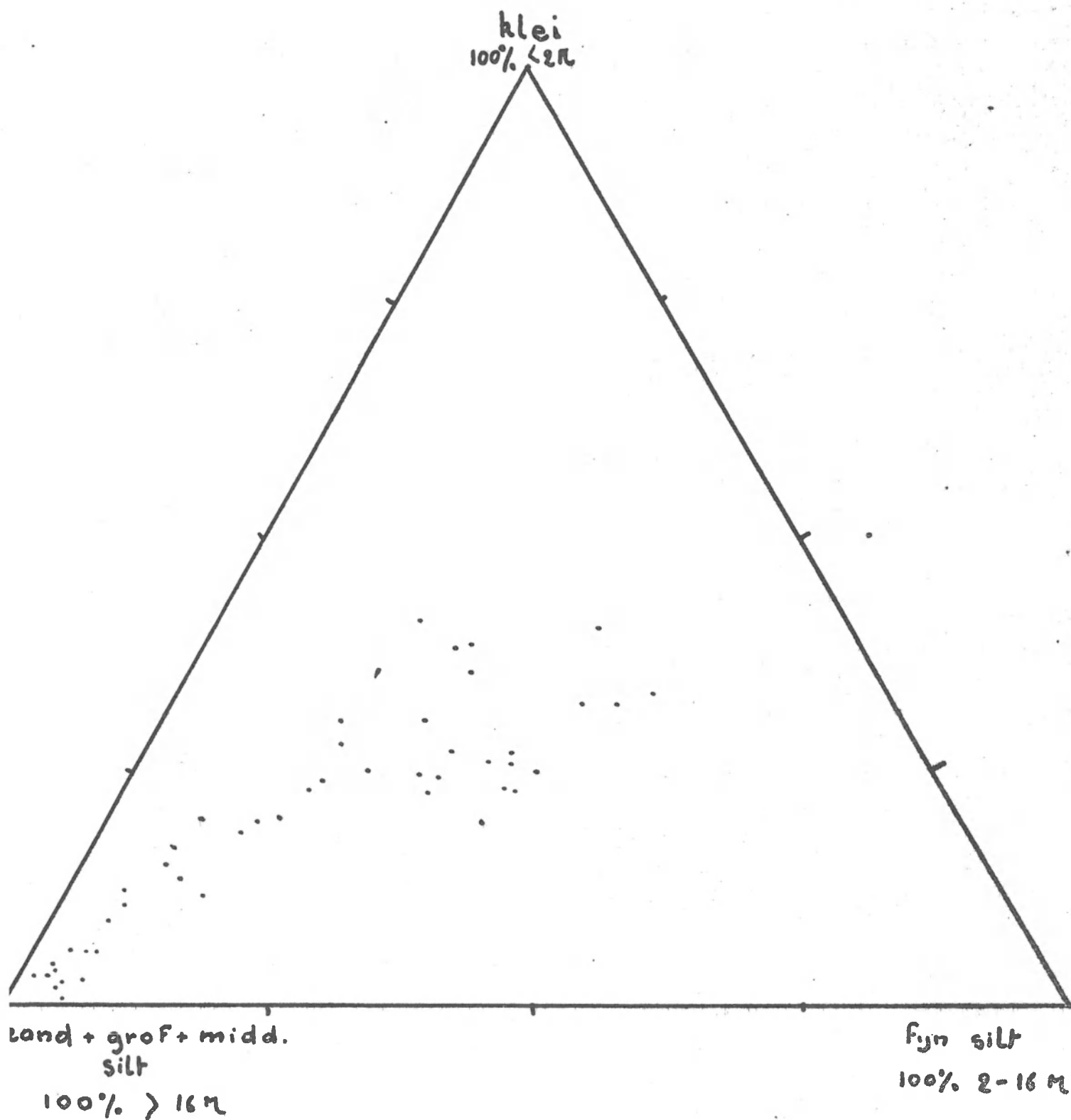


Fig. 10. Verband tussen fijn silt en klei in de bodemonsters

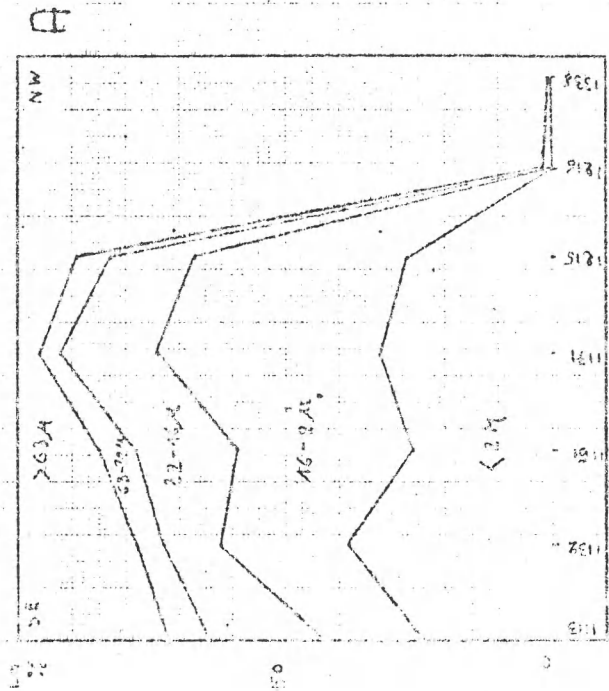
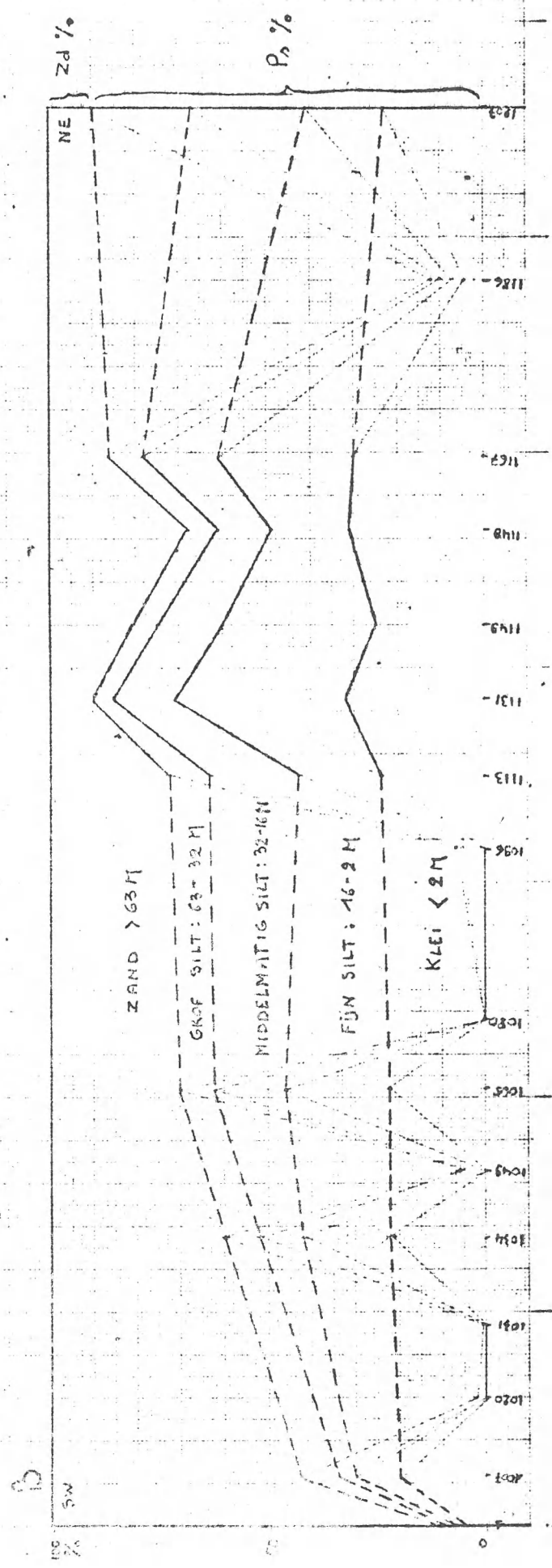


Fig. 11. A. Korrelgrootteprofiel sub-loodrecht op de kust in De Haan
 B. Korrelgrootteprofiel langsheen de kust van De Pénne tot de Scheldemonding



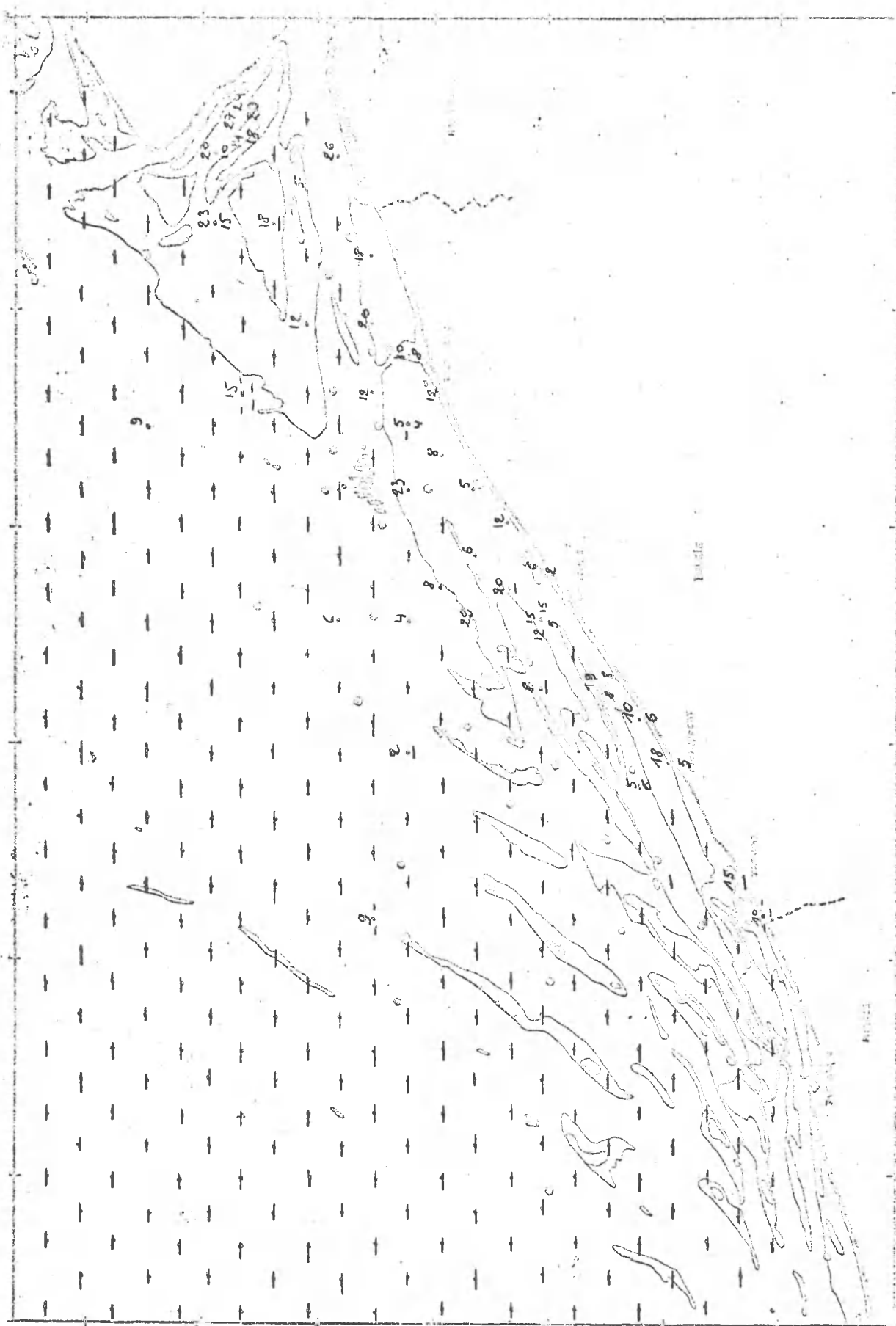


Fig. 12. Scr x 100-parameter van de bodemonsters — : Scr x 100 < 1

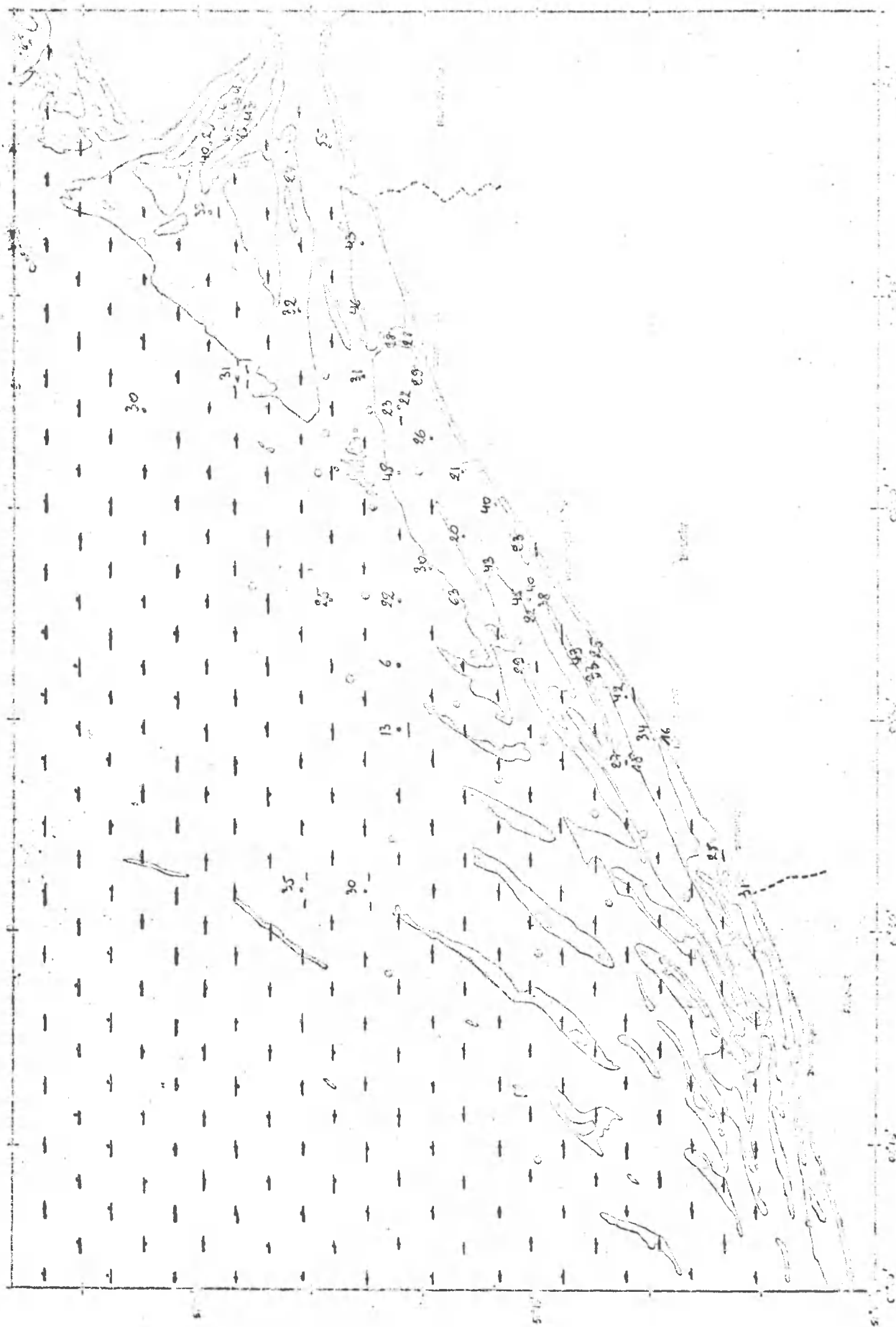


Fig. 13. Scmr x 100-parameter van de bodemonsters — : Scmr x 100 < 10

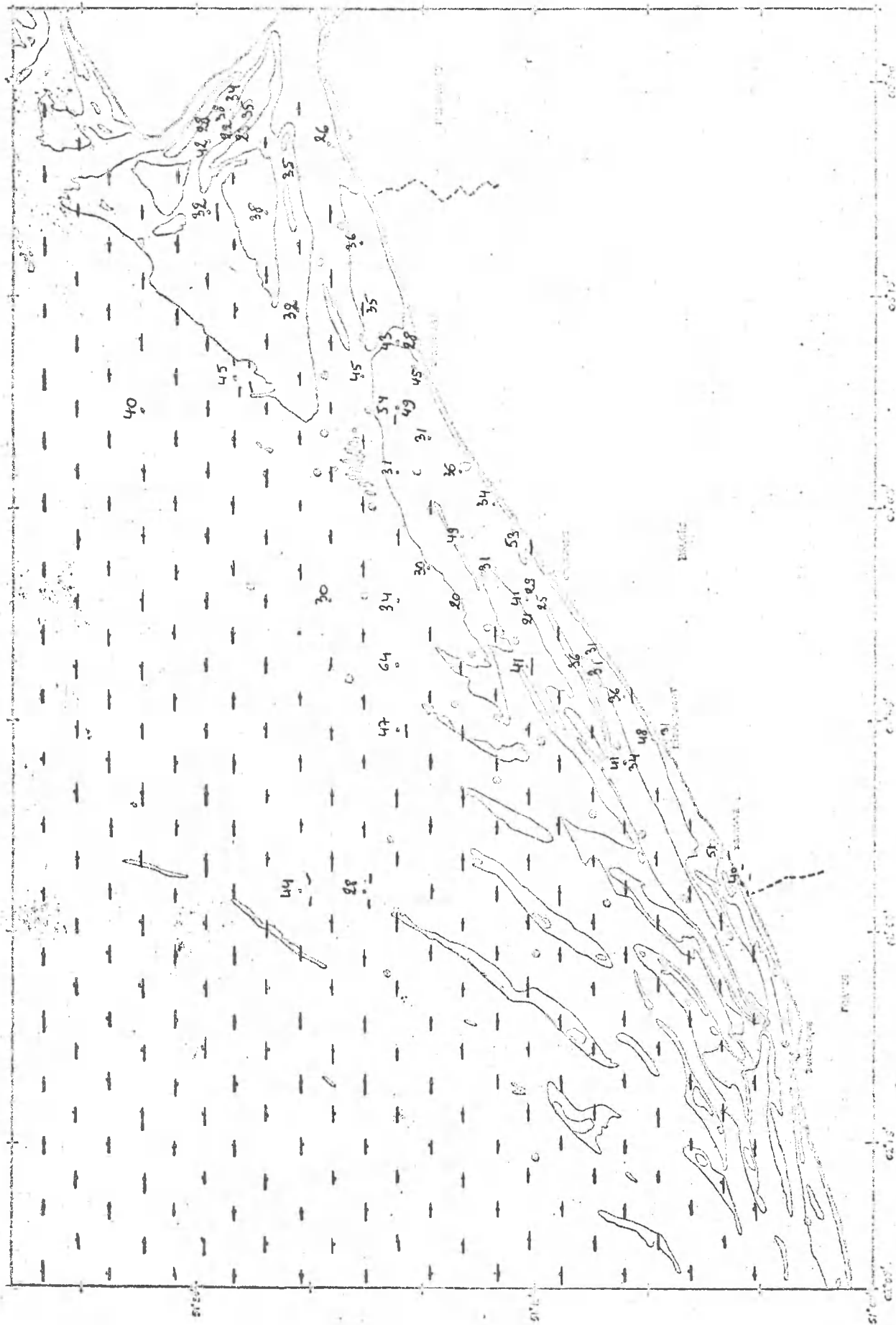


Fig. 14. Cr x 100-parameter van de bodemonsters — : Cr x 100 < 10

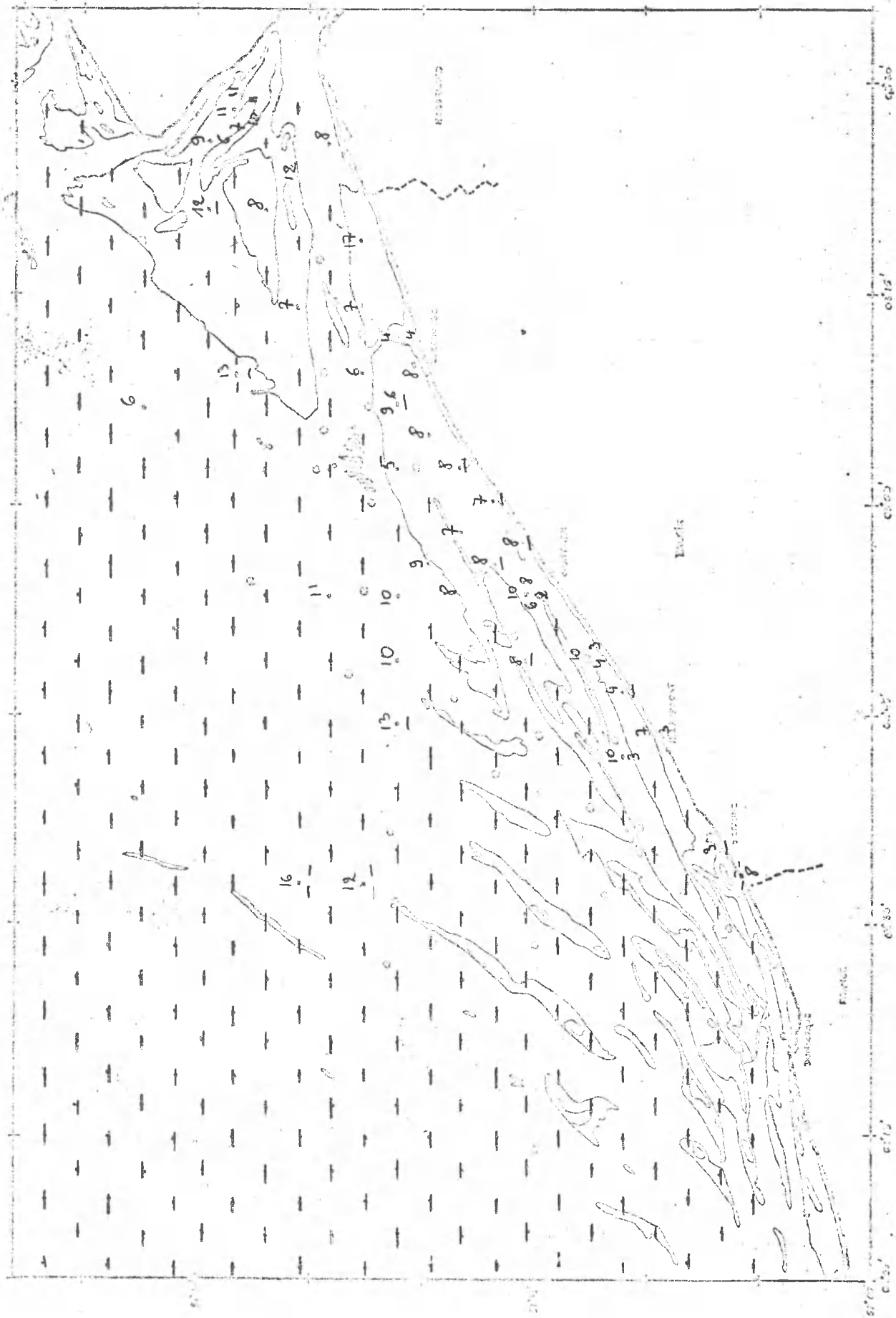


Fig. 15. Ocr x 100-parameter van de bodemonsters 1 : Ocr x 100 < 1