

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

De Bilt

WETENSCHAPPELIJK RAPPORT

W.R. 72-7

M.P. Visser

Over de troebelheid van de Atlantische Oceaan
voor de kust van Suriname en Frans Guyana

De Bilt, 1972.

Publikationsnummer: K.N.M.I. W.R. 72-7 (00)

U.D.C. 551.463.5

Samenvatting.

In het najaar van 1970 en het voorjaar van 1971 zijn optisch-oceanografische waarnemingen verricht in het Caribisch gebied en, voornamelijk, voor de kust van Suriname en Frans Guyana.

Worden de waargenomen zichtdieptes, in reciproke vorm, in verband gebracht met de waargenomen waterkleur, volgens de schaal van Forel, dan geeft dit een ruwe indeling in twee watertypes: Atlantisch water en kontinentaal water.

Ook zijn bundelverzwakkingsmetingen verricht van het oppervlak tot maximaal ongeveer 100 meter diep. Deze maken een indeling mogelijk tussen stations met kustwater, oceaanwater en stations met bodeminvloed.

Bundelverzwakking van het oppervlaktewater en zichtdiepte blijken redelijk goed gekorreleerd te zijn.

Meting van de daglichtverzwakking op een aantal stations geeft een indruk hoe de diepte moet worden gevonden waar nog ongeveer 1% van het daglicht binnendringt, te weten drie maal de zichtdiepte. De topografie van het vlak waarvoor dit geldt kan globaal worden gegeven. Op deze diepte blijkt tijdens deze tocht de bestralingsdichtheid ongeveer 1 Watt/m^2 te bedragen.

Een verwachte eenvoudige samenhang tussen deze topografie en de saliniteit van het oppervlaktewater blijkt niet aantoonbaar te zijn.

On the turbidity of the Atlantic Ocean off the Surinam and French Guyana coast.

Optical oceanographic observations are carried out during autumn 1970 and spring 1971 in the southeastern part of the Caribbean and off the Surinam and French Guyana coast.

If visibility depth (Secchi's disc) of a station is compared with water colour according to Forel's scale a rough classification can be made into Atlantic water and continental water.

Measurements of beam attenuation are also made from the surface down to depth of about 100 metres. Based upon these results one can discern between coastal stations, oceanic stations and stations with bottom influence. It turns out that beam attenuation of the surface water shows a rather good correlation to secchi depth.

At a number of stations measurements of daylight attenuation give an impression of the depth of 1% daylight penetration, viz. three times the visibility depth. At that level daylight irradiance turns out to be about 1 Watt/m^2 during this cruise.

It was expected that a simple relation would exist between the topography of the 1% level and the salinity of the surface water; however this turned out to be not the case.

Over de troebelheid van de Atlantische Oceaan voor de
kust van Suriname en Frans Guyana

Inleiding.

In het najaar van 1970 en het voorjaar van 1971 werden enige CICAR-onderzoekingsstochten* ondernomen, waarbij oceanografische omstandigheden werden bestudeerd voor de noordkust van Zuid Amerika, speciaal het gebied tussen Suriname en de Amazone. Het hydrografisch opnemingschip Hr.Ms. "Luymes" van de Koninklijke Nederlandse Marine was voor dit werk beschikbaar, terwijl aanvullend werk, voornamelijk voor de kust van Brazilië, werd verricht door het onderzoekingschip "Almirante Saldanha" van de Braziliaanse Marine.

Onder andere werd tijdens deze onderzoekingen aandacht geschonken aan de helderheid van het zeewater ter plaatse en de mate waarin het daglicht erin kan doordringen. De literatuur vermeld over deze onderwerpen in het betreffende gebied bijdragen van Clarke (1937 en 1941), Jerlov (1953), Morel (1965), Eisma (1966). Kompilaties zijn te vinden bij Schott (1944) en bij Frederick (1970).

Doel van dit werk is in de eerste plaats het vastleggen van het lichtregime ter plaatse, zodat zo goed mogelijke gegevens hierover beschikbaar komen, bijv. om de biologische waarnemingen die op deze tochten zijn gedaan, goed te kunnen interpreteren (primaire produktie).

Verder kunnen de uitkomsten van dit onderzoek tezamen met de andere fysisch-chemische resultaten over en weer een hulp zijn bij de interpretatie van de waarnemingen. Dit laatste is vooral van belang in dit gebied waar veelal een sterke verticale gelaagdheid optreedt in het water, als gevolg van het samentreffen van verschillende water-soorten.

Ook zijn een aantal waarnemingen verricht tussen Curaçao en Suriname. Deze laatste vormen echter een weinig aansluitend geheel en zijn te-

*CICAR: Cooperative Investigations of the Caribbean and Adjacent Regions

en zijn teveel verspreid in tijd en ruimte dan dat daar gevolgtrekkingen uit kunnen worden gemaakt die aansluiten bij het werk dat voor de kust van Suriname en Frans Guyana is verricht.

Welke optisch-oceanografische waarnemingen er verricht zijn op deze tochten, en op welke posities dat heeft plaatsgevonden, is weergegeven in de track-kaarten, fig. 1-5.

Visuele waarnemingen.

Gedurende deze tochten zijn op zoveel mogelijk stations waarnemingen gedaan aan de helderheid en de kleur van het water. Om de helderheid van het water te bepalen, werd aan de schaduwzijde van het schip de zichtdiepte gemeten met een witte secchi-schijf, diameter ongeveer 30 cm. Daar wind en stroom vaak het schip lieten afdrijven, was het zaak om deze waarnemingen snel te doen. Nochtans was het in een aantal gevallen niet mogelijk de waarneming te verrichten, en 's nachts verviel hij uiteraard.

De kleur van het water is bepaald door, kijkend vanaf het schip, de kleur van de secchi-schijf onder water te vergelijken met een forel-kleurenschaal, gemodificeerd volgens Gazert (Sower, 1960).

Het heeft weinig zin om de zichtdiepte- en kleurwaarnemingen hier allemaal regionaal in kaarten te gaan geven wegens de vaak grote variabiliteit die erin voorkomt. Volstaan wordt met het volgende:

- a. De zichtdiepte, op stations die het dichtst bij de kust zijn gelegen, bedraagt soms minder dan 1 meter; maximaal werd ongeveer 50 meter gemeten, op 300 km uit de kust van Frans Guyana. Tussen deze uitersten neemt als regel de zichtdiepte toe naarmate men verder van de kust verwijders is, doch uitzonderingen hierop komen voor. Bovendien geven een aantal waarnemingen, die op (nagenoeg) dezelfde posities enige malen herhaald zijn, een indruk van de variabiliteit die ter plaatse kan voorkomen (fig. 6 en 7).
- b. Dezelfde veranderlijkheid geldt mutatis mutandis voor de kleur van het water. Deze is soms dichtbij de kust van een dusdanige grijze of bruine kleur, dat geen vergelijking met de gebruikte kleurenschaal meer mogelijk is.

Daar "helderheid" van het water, uitgedrukt in de zichtdiepte en de kleur ervan, soms een karakteristieke combinatie vormen, afhankelijk van de watersoort ter plaatse, is in fig. 8 de reciproke zichtdiepte $100/S$ (S in meters) uitgezet tegen de kleur Y van het water, uitgedrukt in procenten geel volgens de kleurenschaal.

Op grond van deze combinatie is een voorlopige indeling te maken in optische watertypen, te weten:

1. Atlantisch water, gegroepeerd rondom de rechte $100/S = 0.27 \times Y + 1.9$, gebaseerd op de regressierechte door de punten van de stations die in de bijlage gekarakteriseerd zijn met A of W (resp. als Atlantisch water of zuiver water beschouwd), waarbij de laatsten niets anders zijn dan een zeer heldere groep van de eerste. Opmerkelijk is dat deze regressielijn zeer goed aansluit bij de relatie die vroeger werd vastgesteld tussen overeenkomstige waarnemingen op de Noord-Atlantische Oceaan (Visser, 1967).
2. Kontinentaal water C, gegroepeerd langs de rechte $100/S = 1.82 \times Y + 7.0$; deze lijn is gebaseerd op een aantal punten die duidelijk tot een andere categorie dan de vorige behoren volgens fig. 8, en die allemaal stations vertegenwoordigen die dicht langs de kust liggen. Bij dezelfde kleur zijn ze veel minder helder dan A- of W-water. Het lijkt niet uitgesloten dat het eerder genoemde "verkleurde water" dicht onder de kust kan worden opgevat als een extrapolatie van dit C-water.

Een gering aantal stations vertoont "mengwater", dat wordt gekarakteriseerd door een punt in het gebied tussen de twee regressielijnen.

Bundelverzwakkingsmetingen.

Op een groot aantal stations is de bundelverzwakking gemeten, zowel aan het oppervlak als ook in de diepte (zover als ter plaatse technisch mogelijk of zinvol leek). Hierbij werd een in situ bundelverzwakkingsmeter gebruikt met 1 meter weglengte, kleurfilters resp.

2 mm RG 1 (rood) en 2 mm BG 12 (blauw). Daar de ijking van dit apparaat in zuiver water niet voldoende bekend is, moeten de resulterende bundelverzwakkingskoefficienten c_{rood} en c_{blauw} elk worden gekorrigeerd met een onbekende additieve konstante.

Het is gebruikelijk om in een grafiek c_{rood} en c_{blauw} tegen elkaar uit te zetten om hun onderlinge verband vast te leggen. Dit is gedaan in fig. 9. Het blijkt dat de punten die bij A- en W-water behoren, gegroepeerd liggen langs een rechte met vergelijking $c_{\text{blauw}} = 1.30 \times c_{\text{rood}} + \text{konstante}$.

De waarde van de koefficient 1.30 komt goed overeen met wat elders op de Noord-Atlantische Oceaan is gemeten (Visser, 1971). Zelfs lijken de meeste stations met C-watertype hierbij nog goed aan te sluiten, al lijkt daarvoor een wat grotere waarde van de koefficient beter, ca 1.80. Dit komt geheel overeen met de reeds eerder gesignaleerde tendens dat deze koefficient voor kustwateren een grotere waarde heeft dan in de open zee (Visser, 1970).

Opgemerkt moet worden dat de waarden van enige stations, te weten 1601, 1602, 2302 en 2304 geheel buiten het gevonden verband vallen.

Betrekking tussen de bundelverzwakking van het oppervlaktewater en de zichtdiepte.

Hoewel a priori tussen de bundelverzwakking van het oppervlaktewater en de zichtdiepte geen eenvoudig verband mag worden verwacht, bestaat er toch soms een zuiver empirische relatie tussen beide, die bruikbaar kan zijn om voor praktische doeleinden waarnemingen van de ene soort te herleiden tot die van de andere soort (Otto, 1966; Visser, 1970).

Volledigheidshalve is ook voor de hier ter beschikking staande data nagegaan of er voldoende korrelatie bestaat tussen de beide genoemde grootheden. Afhankelijk van wat als bekende (rechterlid) en onbekende grootheid (linkerlid) wordt genomen, geldt

$$100/s = 0.176 \times (100 c_r) + 1.13$$

$$100 c_r = 4.95 \times 100/S + 13.00$$

waarbij uit CICAR 16/17, 22 en 23 in totaal 63 stel waarnemingen is gebruikt, die betrekking hebben op A-, W- en C-water. De korrelatiekoeffi-

cient bedraagt in dit geval $r = 0.93$, hetgeen bij $n = 63$ op een ruimschoots significante korrelatie duidt.

De gevonden korrelatie komt merkwaardig goed overeen met het analoge geval in de zuidelijke Noordzee (Visser, 1970).

Diepteafhankelijkheid van de bundelverzwakking.

Het is bekend hoe grillig vaak het verloop van de bundelverzwakkingscoëfficiënt met de diepte kan zijn, speciaal in sterk gelaagd water.

Een aantal voorbeelden daarvan wordt gegeven door Neuymín (1970).

In het kustwater, waar veelal een sterke verticale gradient in het zoutgehalte optreedt, gaat dit dicht bij het oppervlak meestal gepaard met een negatieve gradient van de bundelverzwakking (verzwakkingscoëfficiënt neemt af met toenemende diepte), daar het zoetere oppervlaktewater vaak veel meer lichtabsorberende en verstrooiende materie bevat dan het dieper gelegen zoute water. Voorbeeld hiervan is vooral het station 1676, zie fig. 10. Stations van dit type zijn aangegeven met de letter K in de bijlage.

Van het voorgaande vaak moeilijk te onderscheiden, is het geval waarbij in zeewater met weinig of geen kustinvloed, dus met geen of met een geringe zoutgehaltegradient in de bovenste waterlaag, plankton etc. aanwezig is in deze laag, dat oorzaak is van een aanzienlijke lichtverzwakking. Vaak doet zich dan nog het geval voor dat de grootste concentratie aan plankton zich op enige diepte onder de oppervlakte bevindt, waardoor gaande vanaf de oppervlakte de gradient van de bundelverzwakkingscoëfficiënt eerst positief en later negatief is. Op geen enkel station tijdens deze CICAR-tochten is dit zuiver tropisch-oceanisch geval aangetroffen, in de literatuur is het herhaaldelijk gemeld (zie bijv. Riley & Chester, 13).

Het blijkt dat, indien men een grens aanhoudt van $c_{\text{rood}} = 0.7$, bijna alle stations waarvoor de oppervlaktewaarde van c_{rood} groter is, als kustwater K kunnen worden gekarakteriseerd, en die waarvoor c_{rood} kleiner is als oceaانwater, hetgeen in de bijlage als 0 wordt genoteerd (zie bijv. fig. 11).

Is op een bepaald station de meting van de bundelverzwakking voortgezet tot voldoende dicht bij de bodem, dan treedt in de onderste waterlaag

vaak een positieve gradient op van de verzwakkingscoëfficiënt. Dit kan optreden zowel bij kustwater als bij helderwater, doch kan om praktische redenen alleen worden gemeten indien de waterdiepte niet te groot is (dus ondiepe stations, waar veelal juist kustwater wordt aangetroffen). De stations 1606 en 2220 zijn hiervan voorbeelden, zie fig. 12. Oorzaak van dit verschijnsel is de grote concentratie dicht bij de bodem van opgewerveld sediment, onder invloed van de stroomsnelheid etc. De stations waarbij dit optreedt zijn gekarakteriseerd door de letter B.

Bundelverzwakkingsmetingen langs raaien.

Het lijkt gewenst om zo mogelijk de gevonden bundelverzwakkingscoëfficiënten langs raaien loodrecht op de kust in onderling verband te plaatsen. Die raaien zijn gegeven in fig. 2 en 5. Voor CICAR 16/17 is de situatie getekend langs de raai door station 1632~1675 in fig. 13, voor CICAR 23 langs de raai I door station 2312~2318 in fig. 14.

Het blijkt dat over het algemeen de meetresultaten van naburige stations goed bij elkaar aansluiten, slechts bij de stations 1688 en 1689, op genoeg dezelfde positie en slechts met enige uren verschil in tijd, is een geringe discontinuïteit te konstateren (hier niet getekend).

Voor zover mogelijk zijn ook de waargenomen zichtdieptes ingetekend. Deze kloppen redelijk met de bundelverzwakkingscoëfficiënt ter plaatse, hetgeen te verwachten is op grond van de gevonden korrelatie tussen beide grootheden. Let in dit verband op het relatief heldere water op station 1628.

Uit de verschillende raaien is duidelijk dat gaande van de kust de oceaan in, de helderheid van het water verandert, zoals schematisch weergegeven in fig. 15. Uiteraard zijn van plaats tot plaats variaties mogelijk, onder andere afhankelijk van stroomsnelheid en stroomprofiel, zee en deining, samenstelling van het rivierwater en aard van het bodemmateriaal.

Afhankelijk van de onderlinge relatieve invloed die op een bepaalde positie wordt uitgeoefend door de zoetere oppervlaktelaag en door de bodem, wordt bepaald of ter plaatse een positieve dan wel een negatieve verticale gradient van de lichtverzwakking wordt gevonden.

Van beide zijn in het voorgaande voorbeelden besproken.

Samenhang van de bundelverzwakking met de hoeveelheid gesuspendeerd materiaal.

Op een aantal stations tijdens CICAR 23 zijn min of meer gelijktijdig met de meting van de bundelverzwakking watermonsters genomen, waarvan de hoeveelheid gesuspendeerd materiaal is bepaald (slib, plankton, etc.). Zonder te diep op details in te gaan, willen we toch nagaan of er enig verband tussen beide grootheden gevonden kan worden. De beide grootheden, c_r in m^{-1} in G in mg/liter, zijn tegen elkaar uitgezet in fig. 16. Hierbij is het volgende op te merken.

- a. In het kleine gearceerde gebied $0.38 < c_r < 0.54$ en $0 < G < 0.9$ liggen de volgende stations (met "oceanwater" 0): 1665~1670 en 1685, benevens het ver op zee gelegen station 1630, dat kustwater K heeft. De twee nog resterende stations met 0-water 1643 (tevens "W" en "B") en 1657 liggen beide zeer dicht bij dit gearceerde gebied.
- b. Verder zijn er geen "W"stations bij deze zaak betrokken, nog wel een "A"station 1622 dat nogal een grote G heeft.
- c. Dan blijven over op grond van zichtdiepte en kleur ("C"stations) en op grond van de bundelverzwakking ("K" en/of "B"stations) een 25-tal stations.

Enige punten waarvoor c_r veel lager lijkt dan het volgende verband met G zou doen vermoeden, zijn weggelaten, daar ze vermoedelijk niet juist zijn (G en c_r niet tegelijk bepaald, diepte-onnauwkeurigheid in gebied van grote verticale gradienten, etc.). Voor een aantal echter lijkt het niet billijk om ze zonder meer weg te laten, daarom zijn ze in fig. 16 van een vraagteken voorzien.

De andere punten scharen zich rondom de op het oog getrokken regressielijn:

$$c_r \approx 0.3 + 0.34 \times G.$$

Dit sluit goed aan bij getallen van Joseph (1953, 1954), gevonden voor de Noordzee, echter minder goed bij resultaten van Otto (1966) die werkte in de Waddenzee bij de Nederlandse kust.

Daglichtmetingen.

Op een aantal stations zijn daglichtwaarnemingen verricht (bestralingsdichtheid E_d). In de meeste gevallen zijn deze metingen gedaan zonder kleurfilter voor de fotocel, waardoor dus gemeten werd in een deel van het spektrum bepaald door de eigen kleur van het water, die meestal blauw tot blauwgroen is. De dikte van de waterlaag die door het licht doorlopen wordt bepaalt nu voornamelijk de selektiviteit van het doorge-laten spektrum. Op grotere diepte is daardoor de golflengteband waarin gemeten is, beter gedefinieerd dan op geringe diepte.

Wordt op diepte z , waar de bestralingsdichtheid E_d bedraagt, per toene-ming Δz van z een afneming ΔE_d gevonden, dan geldt $\Delta E_d = -K_d \cdot E_d \cdot \Delta z$, hetgeen bij konstant veronderstelde (vertikale) verzwakkingscoëfficiënt K_d leidt tot $E_d = E_0 \exp(-K_d \cdot z)$, waarin $E_0 = E_d$ voor $z = 0$.

Voor oceaanwater met een zeer laag gehalte geel in de kleur volgens Forel, zoals de stations 1616, 1618 en 1631, wordt minimaal $K_d = 0.03 \text{ m}^{-1}$ gevonden. Gezien de waterkleur en de betrekkelijk grote diepte waarop deze metingen zijn verricht, mag op deze stations derhalve gerekend wor-den op watertype IB volgens Jerlov, aannemend dat de gevonden waarde van K_d geldt bij een golflengte van het licht van ongeveer 480 nm (zie fig. 17). Waarschijnlijk mag station 1696 ook tot dit type gerekend mag wor-den, daar het nabijgelegen station 1695 volgens bundelverzwakkingsmetin-gen zeer helder water heeft, aan de andere zijde bevat de kleur van sta-tion 1697 slechts 5-10% geel bij 28 m zichtdiepte, en is dus ook zeer helder.

Daarentegen wordt meer kustinvloed bemerkt bij de stations

- 1605 $K_d = 0.08 - 0.12 \text{ m}^{-1}$
- 1664 K_d toenemend met de diepte
- 1676 $K_d = 0.24 \text{ m}^{-1}$
- 1678 $K_d = 0.20$
- 1679 $K_d = 0.17$

Uitgaande van een gemiddelde golflengte van het licht dat hier in het spel is van 500 à 520 nm, mag gekonkludeerd worden dat de volgende wa-tertypen hier aanwezig zijn: stations 1605: III; 1676: 2 à 3; 1678 en 1679: 2.

Voor de overige stations van CICAR 16/17 komt men dan al deducerend en kombinerend tot een indeling in watertypen als weergegeven in de bijlage.

Gedurende de tochten CICAR 22 en 23 zijn veel minder daglichtmetingen verricht dan tijdens CICAR 16/17. Slechts de stations 2203, 2212, 2220, 2246 en 2373 staan ter beschikking. Bij deze stations is wel gewerkt met kleurfilters voor de fotocel (twee maal Kodak Wratten 45 voor blauw, 60 voor groen en 29 voor rood); gemeten grootheden zijn eveneens in de bijlage vermeld.

Getracht is om verband te leggen tussen de twee ter beschikking staande soorten "daglichtmetingen", te weten die met de bestralingsdichtheidmeter, welke het beste zijn, en de waarnemingen van de zichtdiepte, die het grootst in aantal zijn. Daartoe is voor die stations waarvoor beide soorten waarnemingen zijn gedaan $100 \times K_d$ (blauw) vergeleken met $100 \times S^{-1}$. Het waarnemingsmateriaal is niet groot, doch het lijkt dat een verband $K_d \approx 1.25 \times S^{-1}$ de zaak redelijk benadert. Dit sluit goed aan bij resultaten die gevonden zijn bij werk op de Noordzee (Visser, 1970; zie ook Clarke, 1941).

Is dit eenmaal gedaan, dan is het niet moeilijk meer om voor ieder station te schatten op welke diepte nog 1% van het daglicht kan doordringen, op grond van alle optische waarnemingen die daar zijn verricht. Hierbij is er dan vanuit gegaan, dat 1% doordringt tot op 3 maal de zichtdiepte. Dit stemt overeen met de gevonden evenredigheidsfactor 1.25, benevens een verzwakkingsfactor $2.4 \times$ wegens verliezen aan het oppervlak en wegens het feit dat voor het grootste deel van het zichtbare licht de verzwakkingscoëfficiënt groter is dan die van de golflengteband van maximale doorlaatbaarheid. Een overzicht hiervan voor alle stations waar optische waarnemingen zijn gedaan, is te vinden in de bijlage; voor enige delen van de tochten die in betrekkelijk korte tijd zijn gevaren, zijn de resultaten weergegeven in de figuren 18-20.

Vergelijking met resultaten uit de literatuur leert ons, dat de hier gevonden waarden zeer goed lijken overeen te komen met de stations Albattross 361 (Jerlov, 1953) en Atlantis 4135, 4237, 4139 en 4141 (Clarke, 1941), die in ditzelfde gebied zijn genomen.

Relatie tussen de helderheid van het water en de watersoort.

De vraag doet zich nu voor of het verloop van de diepté van het vlak waar 1% van het daglicht doordringt, op eenvoudige wijze samenhangt met de aanwezigheid van een bepaalde watermassa ter plaatse. Nemen we voor dit laatste het zoutgehalte van het oppervlaktewater als maatstaf, dan is na te gaan of er een eenvoudige samenhang bestaat tussen S opp. en Z 0.01.

Voor een aantal stations is deze samenhang weergegeven in fig. 21. Er lijkt weinig regelmaat te zijn, hoogstens is te konkluderen dat het helderste water ook het zoutste is, maar dat omgekeerd niet geldt dat het zoutere water ook altijd het helderste is. Anders gezegd: zoet oppervlaktewater duidt steeds op een geringe helderheid, zout oppervlaktewater daarentegen hoeft nog niet te wijzen op een grote helderheid.

De nabijheid van de kust en de invloed van de bodem zullen hierbij een grote rol spelen.

Absolute verlichtingsomstandigheden.

De verlichtingsomstandigheden aan het zeeoppervlak (aan boord) zijn gemeten tijdens de stations waar daglichtmetingen zijn verricht. Kleine fluktuaties daargelaten, werden de volgende waarden gemeten (AEG luxmeter met ooggevoeligheidskromme, kardanisch opgehangen):

station 2203	120	klux
station 2212	20 ~ 40	klux
station 2220	70 ~ 100	klux
station 2246	100	klux
station 2264	40	klux
station 2373	40 ~ 100	klux

Op al deze stations liggen de verlichtingsomstandigheden dus in het interval 20 ~ 120 klux.

In het maximum van de ooggevoeligheidskromme, bij golflengte 555 nm, is het fotometrisch equivalent 680 lumen/Watt; wegens de symmetrie van de betreffende kromme mag gemiddeld wel worden gerekend op 340 lm/W in het gehele zichtbare golflengtegebied, 400 ~ 700 nm.

Volgens Sverdrup (1952) speelt alleen de straling in het golflengtegebied 420~560 nm een rol in de fotosynthese; rekening houdend met een reflektiefactor van ongeveer 8% aan het wateroppervlak betekent dit dat 20~120 klux (1 klux = 1 lumen/m²) boven het wateroppervlak overeenkomt met 27 - 160 W/m² onder het oppervlak van het water. Op de genoemde 1% grens wordt dan aangetroffen 0.27 - 1.60 W/m² (= 0.023 - 0.137 cal/cm².hour). Dit is slechts weinig minder dan wat Sverdrup (1952) en Riley & Chester (1971) noemen als gemiddeld verlichtingsniveau op de compensatie-diepte. Dit is de diepte waarop de netto primaire produktie nul is, die beschouwd kan worden als een ondergrens van de eufotische zone.

Literatuur.

1. Clarke, G.L., 1937
Light penetration in the Caribbean Sea and in the Gulf of Mexico.
Journ.mar.res. 1, 85-94.
2. Clarke, G.L., 1941
Observations on transparency in the southwestern section of the North Atlantic Ocean.
Journ.mar.res. 4, 221-230.
3. Eisma, D., 1966
Oceanographic observations on the Surinam shelf.
Hydrographic newsletter. Special issue, 21-53.
4. Frederick, M.A., 1970
An atlas of secchi disc transparency measurements and Forel-Ule colour codes for the oceans of the world. Thesis U.S. Naval Postgraduate School. Monterey, Cal.
5. Jerlov, N.G., 1953
Optical studies of ocean waters.
Rep.Swed.Deep-Sea Exp., 1947-1948. Physics and Chemistry. Vol. 3, fasc. 1.
6. Jerlov, N.G., 1955
The particulate matter in the sea as determined by means of the Tyndall-meter.
Tellus. 7, 218-225.
7. Jerlov, N.G., 1968
Optical Oceanography. Amsterdam, Elsevier.
8. Joseph, J., 1953
Die Trübungsverhältnisse in der südwestlichen Nordsee während der Gauss-Fahrt im Februar-März 1952.
Ber.Wiss.Komm.Meeresforsch. 13, 93-103.

9. Joseph, J., 1954
Die Sinkstoffführung von Gezeitenströmen
als Austauschproblem.
Arch.f.Meteor., Geoph. und Bioklim.
A-7, 482-502.
10. Morel, A., 1965
Résultat des mesures de diffusion de la
lumière effectuées lors de la croisière
no. 25 du bâtiment océanographique
"Chain".
Cah.océan. 17, 107-121.
11. Neuymin, H.G., 1970
Inhomogeneities of optical properties in
deep ocean waters.
Journ.Optical Soc. Amer. 60, 690-693.
12. Otto, L., 1966
Light attenuation in the North Sea and
the Dutch Waddensea in relation to secchi
disc visibility and suspended matter.
Neth.journ.sea res. 3, 28-51.
13. Riley, J.P. and R. Chester, 1971
Introduction to marine chemistry.
London enz.
14. Schott, G., 1944
Geographie des Atlantischen Ozeans.
3. Aufl., Hamburg.
15. Sower, L.A., 1960
The forel scale and its modifications.
U.S. Naval Hydrogr. Office. Informal
Manuscript no. 35-60.
16. Sverdrup, H.U., 1952
On conditions for the vernal blooming of
phytoplankton.
Journ. du Conseil. 18, 287-295.
17. Visser, M.P., 1967
Secchi disc and sea colour observations
in the North Atlantic Ocean during the
Navado III Cruise, 1964-65.
Neth.journ.sea res. 3, 553-563.

18. Visser, M.P., 1970

The turbidity of the southern North Sea.
D.hydr.Zts. 23, 97-117.

19. Visser, M.P., 1971

Optisch-oceanografisch werk in de jaren
1967, 1968 en 1970 verricht op de Noord-
Atlantische Oceaan (weerschipstations A,
M en K).

Wetenschappelijke rapporten van het
Kon.Ned.Meteor.Instituut. W.R. 71-3.

A p p e n d i x

In de tabel is vermeld:

1. stationsnummer, voor CICAR 16/17 voorafgegaan door 16, voor CICAR 22 en 23 door resp. 22 en 23.
2. zichtdiepte, gemeten met de witte secchischijf.
3. waterkleur in % geel volgens de schaal van Forel.
4. bundelverzwakkingscoëfficiënt c_r voor rood licht (niet gecorrigeerd).
5. uit kolom 4 de overeenkomstige zichtdiepte S^* , vermenigvuldigd met een faktor 3, bepaald volgens de formule
$$100/S^* = 0.176 \times 100 c_r + 1.13$$
(zie tekst)
6. daglichtverzwakkingscoëfficiënt K_d voor blauw licht (indien zonder kleurfilter voor de fotometer is gemeten, dan K_d op voldoende diepte genomen).
7. watertype volgens de categorieën:
 - 7.1. I, IA, IB, II, III, 1, 7, volgens Jerlov, op grond van K_d uit de vorige kolom, liefst nog aangevuld met daglichtverzwakkingsmetingen in andere kleurbanden.
 - 7.2. O, K en B voor resp. oceaanwater, kustwater en bodeminvloed op grond van vertikaalprofiel van de bundelverzwakking.
 - 7.3. (W), A en C voor resp. (helder water), Atlantisch water en kontinentaal water op grond van de combinatie van zichtdiepte en waterkleur.
8. $z(0.01)$, de grens waar 1% van het daglicht nog doordringt op grond van optisch watertype volgens kolom 7.1.
9. $Z(0.01)$, een gemiddelde van de kolommen 2 (met 3 vermenigvuldigd), 5 en 8.
10. remarks.
Hierbij is ook in een aantal gevallen de zichtdiepte S_z vermeld die gemeten is met een zwarte secchischijf.

stat.	secchi depth S_w	forel colour	100xCr surface	3xS*	K_d blue	I...7	watertype		$z_{0.01}$	accept. $z_{0.01}$	remarks
							O_{K_B}	$(W)_{A_C}$			
m	% yellow	m^{-1}	m	m^{-1}	m^{-1}			m	m		
1601	2	35	280	6		K	C		6	$S_z = 0.8$ m	
02	2.3	27	320	5		K,B	C		6	$S_z = 1.0$ m	
03			120	14		K,B			14		
04			(23)			K,B			23	$C_{blue} = 0.76 \rightarrow C_{red} \approx 0.80$ m ⁻¹	
05	9	14	38	.08	.12	III	K,B	C	32	$S_z = 6$ m, K_d 0~40 m	
06	3.5	20	120	14		K,B	C		12	$S_z = 2$ m	
08	2	30	(11)			K	C		8	$C_{blue} = 1.96 \rightarrow C_{red} \approx 1.50$ m ⁻¹	
09	10								30		
1614	15~20				.05	II?			55	$S_z = 7$ m, K_d 0~70 m	
15	25	5					W		75	$S_z = 9$ m	
16	> 50	0			{.05	IB	W	~72	>75	$S_z = 27$ m, K_d 0~40 m	
17	> 50				{.03	IB	W	~72	>75	$S_z = 27$ m, K_d 0~95 m	
18	~50	0			{.05	IB	W	~72	>75	$S_z = \sim 20$ m, K_d {0~40 m	
19	30	2					W		90	$S_z = 15$ m	
1622	31	20	42	.04	.06	II	A	55	62	$S_z = 10$ m, K_d 0~40 m	
23	11.5	5					C		34	$S_z = 5$ m	
25			44			B			33		
26	17.5	9			$\geq .03$	IB	A	~72	62	$S_z = 7$ m, K_d 0~22 m	
27	12	5	52				C		33	$S_z = 4$ m	
28	25	5					W		75	$S_z = 10$ m	
29	18	4	40				C		46	$S_z = 9$ m	
1630			41			(K)			38		
31	22	2			$\geq .02$	IB	W	~72	69	$S_z = 8$ m, K_d 0~35 m	
32	21.5	3	61	.07		II	W	55	48	$S_z = 9$ m, K_d 0~40 m	
33	25								75	$S_z = 9$ m	

stat.	secchi depth S_w	forel colour	100x C_r surface	3xS*	K_d blue	I-7	O K_B	watertype	$Z_{0.01}$	accept. $Z_{0.01}$	remarks
35	26	25						A		78	$S_z = 9$ m
39	4	15						C		12	
1641	20									60	
42	30	5						W		90?	$S_z = 6$ m
43	20	5	37	40	.06	II	O(B)	W	55	52	$S_z = 7$ m, K_d 0~35 m
44	13.5	12						A		40	$S_z = 7$ m
46	(17.5)									(52)	$S_z = 7$ m
49	5	35						A,C		15	$S_z = 3$ m
1650	6									18	$S_z = 2.5$ m
51	6									18	
52	7.5									22	
57	9	30	53	29	.05	IB-II	0	A	~64	40	$S_z = 3$ m, K_d 0~18 m
58	8	30			.08	II-III		A	~44	34	$S_z = 2.1$ m, K_d 0~19 m
59	9	30						A		27	$S_z = 2.3$ m
1664	5	20	80	20	$\geq .02$		K,B	C	18		$S_z = 3$ m, K_d 0~9.5 m
65	12	25	54	29	.07	II	0	A	55	40	$S_z = 5$ m, K_d 0~16 m
66	20	10	46	33			0	A		46	$S_z = 7$ m
67	20	20	42	35			0	A		48	$S_z = 13$ m
68			43	35			0			35	
69			44	33			0			33	
70			37	40			0			40	
1672	15	5~10						A		45	$S_z = 6$ m
73			91	19			(K)B			19	

stat.	secchi depth S_w	forel colour	100x C_r surface	3xS*	K_d blue	I γ	K_B	watertype	$z_{0.01}$	accept. $z_{0.01}$	remarks
75	2.5	25	170	10			(K)B	C		9	
76			212	8	.24	2~3	K	C	~21	14	K_d 0~17.5 m
78	5	15~20			.20	2		C	23	19	S_z = 3 m, K_c 0~11 m
79	1.3~1.5	35			.17	2		C	23	14	S_z = .8 m, K_d 0~17 m
1680	8	15						C		24	S_z = 3.5 m
82			51	30			0			30	
83			54	29	.04~.30		0			29	
84	20	25	40	38	.04	IB~II	0	A	~64	54	S_z = 8 m, K_d 0~37 m
85	20	20	38	38			0	A		49	S_z = 7 m
86			54	29			0			29	
87			47	31			0			31	
88	20	20	37	40	.09	II~III	0	A	~44	48	S_z = 6 m, K_d 0~42 m
89	27.5	10	44	33	.04	IB~II	0	A	~64	60	S_z = 10 m, K_d 0~37 m
1690	25	10	44	33			0	A		54	S_z = 10 m
91			42	35			0			35	
92			29	50			0			50	
93			36	40			0			40	
94			43	35			0			35	
95			45	33			0			33	
96					.03	IB(?)			~72(?)	(72)	K_d 0~37 m
97	28	5~10						A		84	
98			29	50			0			50	
16100	>40	3								>120	
102	30										
106	20	30						A			

stat. S _v	secchi depth	forel colour	100x _r surface	3xS _r	K _d blue	I	7	O	K _B	(W)	A _C	z _{0.01}	accept. z _{0.01}	remarks
m	m	% yellow	m ⁻¹	m	m ⁻¹							m	m	
16110	25	15												
														A
2203	25	5			.035	IB	0	W				72	75	K _d 0~40 m
05	> 25	0						W				> 75		
07	30	5						W				90		
08	30	5						W				90		
2210	25	5						W				75		
12	30	5			.034	IB	0	W				72	81	K _d 0 ~ ? m; K _d green .051 (0~80 m) K _d red .14 (0~20 m)
16	15	14						A					45	
17	10	20						A					30	
18	3.5	27						A-C					10	
19	1												3	
2220	8	14	34~51	43~30	.085	II~III	B	C				32	34	K _d 0~10 m
24	3.5												10	
25	6	27						A-C					18	
27	6	35	51	30			B	A-C					24	
2231	30	5						W					90	
32	35	5						W					105	
33	35	5						W					105	
35	25	5						W					75	
36	30	5						W					90	
37	25	14						A					75	
38	20	14						A					60	

stat.	secchi depth S _w	forêt colour	100x _r surface	3xS [*]	K _d blue	I	watertype		z _{0.01} m	accept. z _{0.01} m	remarks
							O _{K_B}	(W)A _C			
m	% yellow	m ⁻¹	m	m	m ⁻¹	7					
39	10	27					A		30		
2240	11	35					A		33		
41	5.5	30					A~C		16		
45	25	5					W		75		
46	30	5			.03	IA~IB	W	72	81		K _d 0~50 m; K _d green = .024 (0~40 m)
47	40	5					W		120		
2250	30	9	42	35			A		62		
52	30	5					W		90		
57	3.5	20					C		10		
58	4.5	27					A~C		14		
59	8	27					A		24		
2260	20	9					A		60		
63	~20	9~14					A		~60		
64	~7	30	41	35			A		28		
2301	1.5		160~390	4~10			K,B		6		green brown
02	1.5		300~590	3~6			K		4		grey brown, front
03	1.5		340	5			K,B		4		grey green
04	2		600	3			K		4		
05			87	18			K		18		
07			160~450	4~10			K,B		7		
08	6	30	70	22			K	A~C	20		
09	6	30~35	82	19			K,B	A~C	18		
2310	3		130	12			K		10		grey green
11	4		173	10			(K)B		11		grey green

stat.	secchi depth S _w	forel colour	100xC surface	3xS [#]	K _d blue	I	watertype			z _{0.01}	accept. Z _{0.01}	remarks
							% yellow	m ⁻¹	m			
12	2.5		190~270	6~9		7		(K)B		8	grey	
13			115	14				K,B		14		
14	5		95	17				K,B		16	grey green	
15	6	45~50	92	17				K,B	A	18		
16	6	40~45	86	19				K	A	18		
17	10	45~50	76	21				K	A	26		
18	10	50	71	22					A	26		
19	6	45	102	16				K	A	17		
2320			109	15				K		15		
21			120	14				K		14		
22			127	13				K,B?		13		
23	.5		> 800	< 2						2	grey brown	
24	1.5		390	4				K,B?		4		
25	4		105	15				K,B		14	grey green	
26	5		72	21				(K)B		18	grey green	
27	10	≥ 50	66	23				(O)	A	26		
28	8	45	52	30				O	A	27		
29	8	45	54	29				O	A	26		
2330	10		52	30				O		30		
31			60	25				O		25		
32			> 800	< 2						< 2		
34	.8		> 800	< 2						2	grey brown	
35	1		500	3				K		3	grey green	
36	7		51	30						26	grey	
37	9	45	51	30				O	A	28		

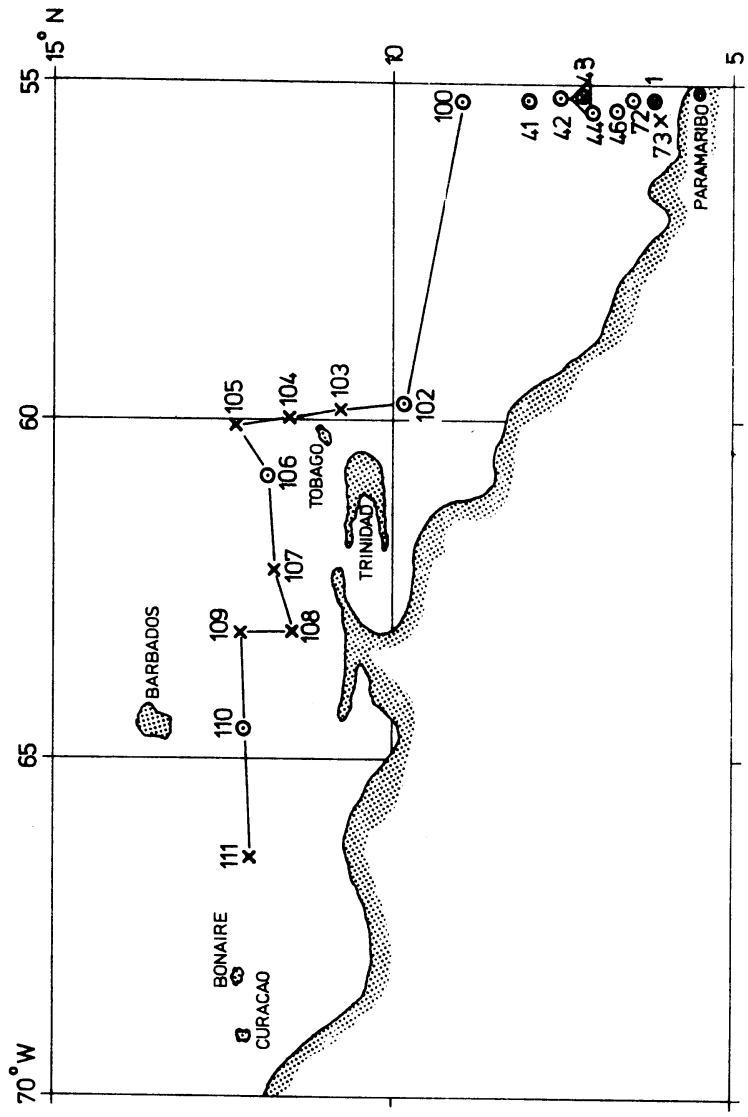
stat. depth S_w	secchi depth S_w	forel colour % yellow	100x C_r surface	3xS*	K_d blue m^{-1}	I	O	K_B	(W)	A_C	watertype	$z_{0.01}$ m	accept. $z_{0.01}$ m	remarks
38	6	45	54	29			0		A			24		
39			40	38			0					38		
2340			37	40			0					40		
41			32	46			0					46		
42			37	40			0					40		
2360	1.5		390~440	~4			K,B					4		grey green
61	4		136~145	11~12			K,B					12		
62	6	40~45	70	22			O,B		A			20		
63	8	40	69	22			O,B		A			23		
64	7	45	69	22			O,B		A			22		
65	6	40	61	25			0		A			22		
66			49	31								31		
67			470	3.5			K,B					4		front
68	2		190	9			K,B					8		grey green
69			40	38			O,B					38		
2370			53	29			0					29		
73	35	15~20	30	46		II?	0		A			~50(?)		$K_d \text{green} \approx .07$ (0~10 m)
74	18	15							A			54		
75	20	5							W			60		
76	>20	0							W			>60		

Lijst van figuren.

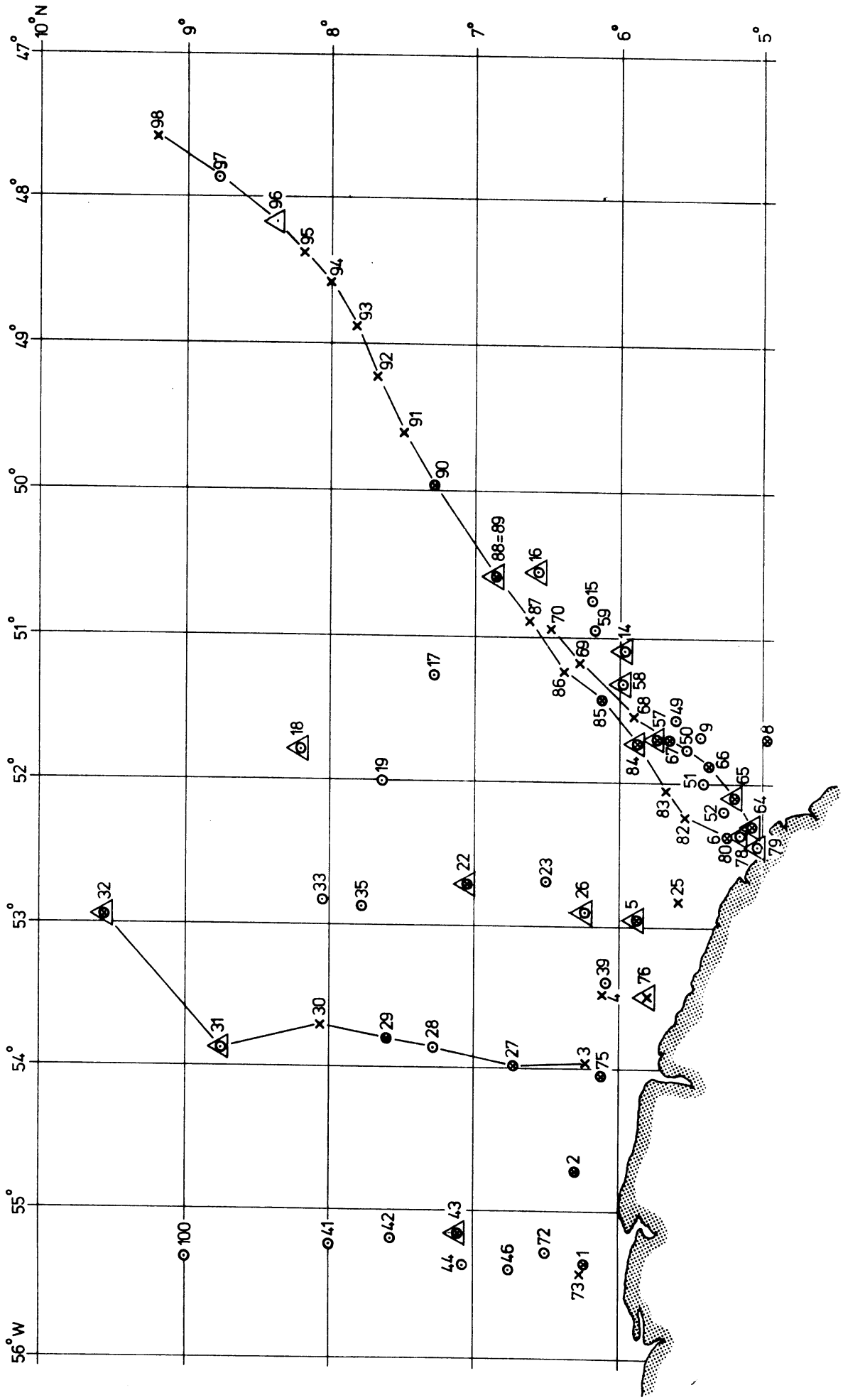
1. Waarnemingen tijdens CICAR 16/17, september-oktober 1970, ten westen van 55°W . \odot = zichtdieptebepaling, x = meting van de bundelverzwakking, Δ = meting van de daglichtverzwakking.
2. Waarnemingen tijdens CICAR 16/17, september-oktober 1970, voor de kust van Suriname en Frans Guyana.
3. Waarnemingen tijdens CICAR 22 en 23, maart-april 1971, ten westen van 55°W .
4. Waarnemingen tijdens CICAR 22, maart 1971, voor de kust van Suriname en Frans Guyana.
5. Waarnemingen tijdens CICAR 23, april 1971, voor de kust van Suriname en Frans Guyana.
6. Zichtdieptewaarnemingen (in meters) op st. 1649-1659, 10 en 11 oktober 1970, voor Cayenne. De kontoeren geven aan hoe de zichtdiepte was volgens waarnemingen gedurende 24 september-8 oktober.
7. Zichtdieptewaarnemingen op st. 1664-1667, 13 oktober 1970. Zie verder onderschrift van fig. 6.
8. Verband tussen de helderheid van het water ($100/S$, S is de zichtdiepte in meters) en de waterkleur Y uitgedrukt in % geel volgens de schaal van Forel. \bullet kustwater C; \odot Atlantisch water A en zeer helder water W (/////); \\\\\\\ gemengd water.
9. Verband tussen de bundelverzwakkingscoëfficiënten (in m^{-1}) c_r en c_b voor resp. rood en blauw licht, voor het oppervlaktewater van de tochten CICAR 16/17, 22 en 23. \boxtimes W-, \odot A- en \bullet C-water, resp. . onbepaald water.

10. Bundelverzwakkingscoëfficiënten voor rood en blauw licht als functie van de diepte, vergeleken met het zoutgehalteprofiel ter plaatse voor een station met sterke kustinvloed (K-station).
11. Als figuur 10, voor een station met oceanisch water (O-station).
12. Als figuur 10, voor twee stations met sterke bodeminvloed (B-stations).
13. Bundelverzwakkingscoëfficiënt voor rood licht als functie van de diepte voor de raai 1632-1675. De gemeten zichtdieptes zijn ook ingetekend.
14. Als figuur 13, voor de raai 2312-2318.
15. Schema van een mogelijke onderlinge ligging van optische watermassa's langs een raai loodrecht op een glooiende kust.
16. Verband tussen de gemeten bundelverzwakking voor rood licht c_r (in m^{-1}) en de hoeveelheid gesuspendeerd materiaal G (in mg/liter) tijdens een aantal stations van CICAR 16/17 en 23.
17. Schematische indeling (naar Jerlov) van optische watertypen op grond van de verticale verzwakkingscoëfficiënt K_d als functie van de golflengte van het licht. Oceaanwater type I-III, kustwater-type 1-9.
18. Diepte in meters van het vlak waar nog 1% van het daglicht doordringt tijdens CICAR 16/17, 24 september-8 oktober 1970, voor de kust van Suriname en Frans Guyana.
19. Als figuur 18, tijdens CICAR 22, maart 1971.
20. Als figuur 18, tijdens CICAR 23, april 1971.

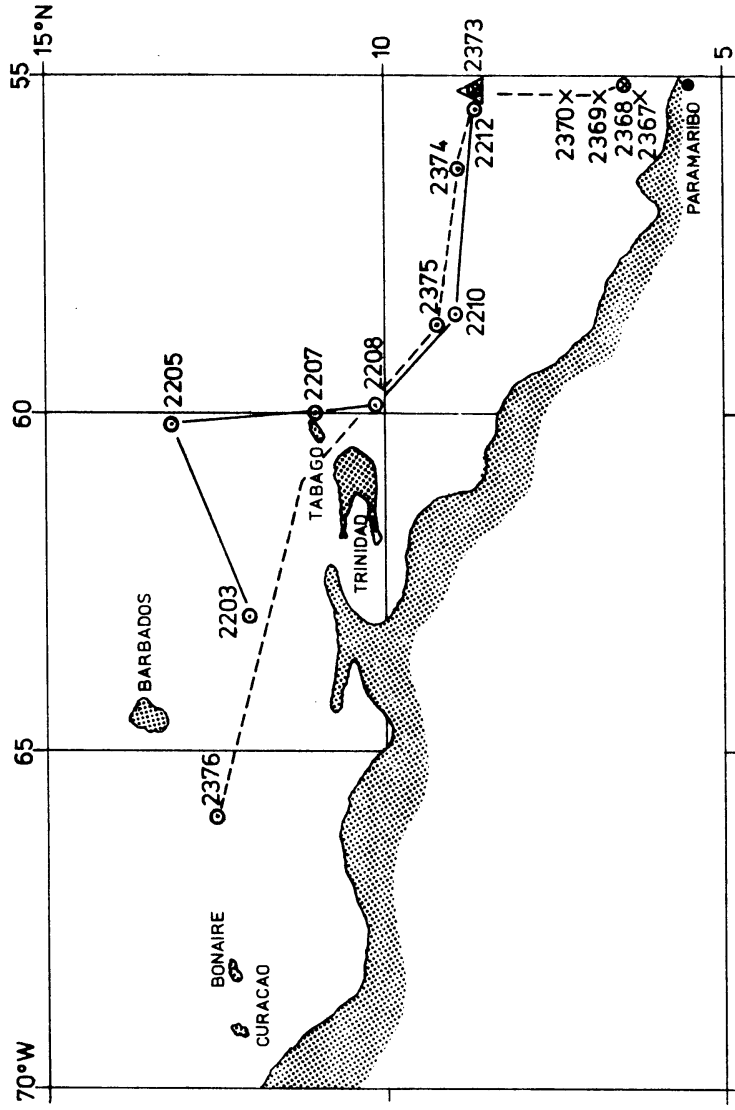
21. Verband tussen het "accepted level" van 1% daglichtdoordringing $Z_{0.01}$ en de saliniteit van het oppervlaktewater op het betreffende station.



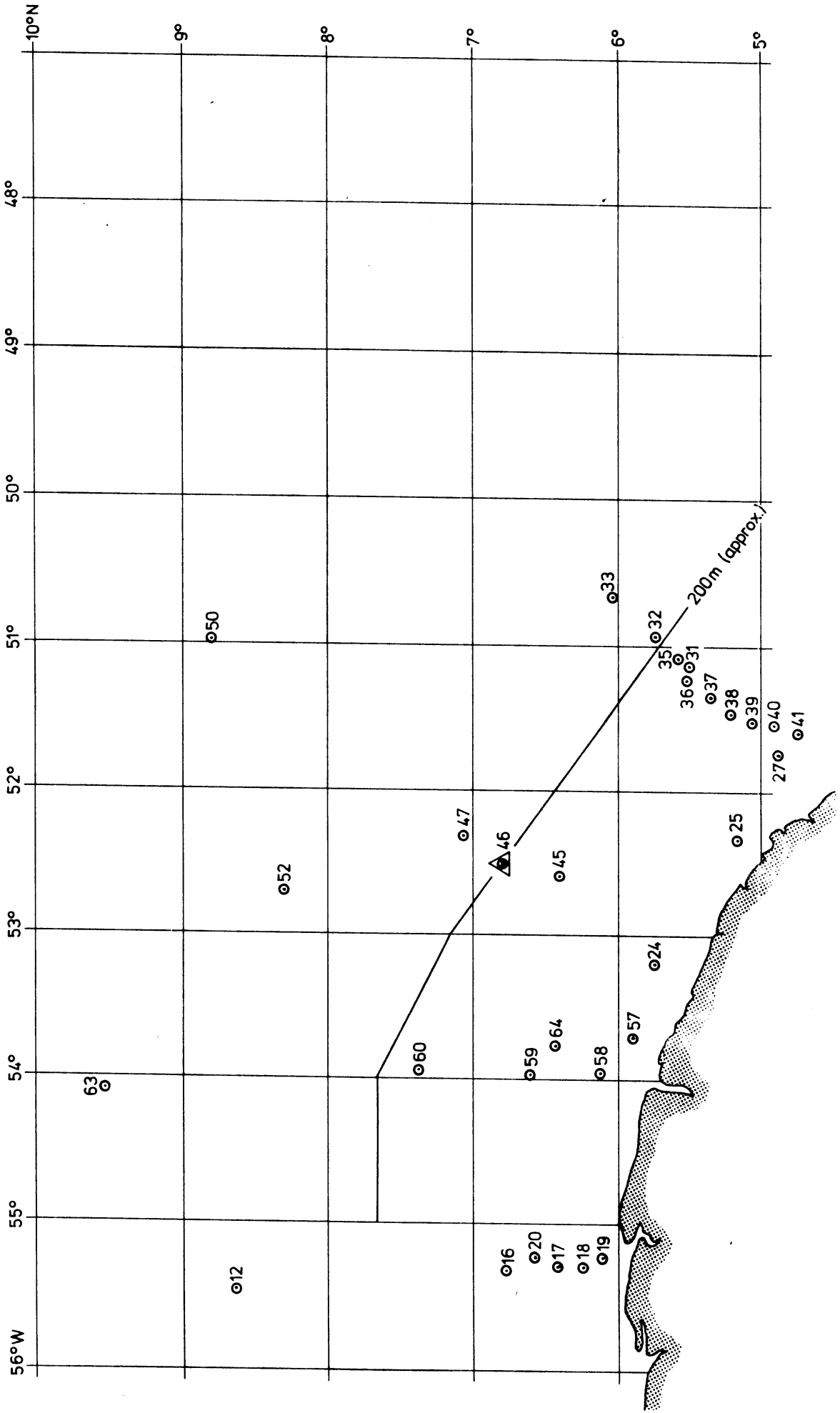
FIGUUR 1



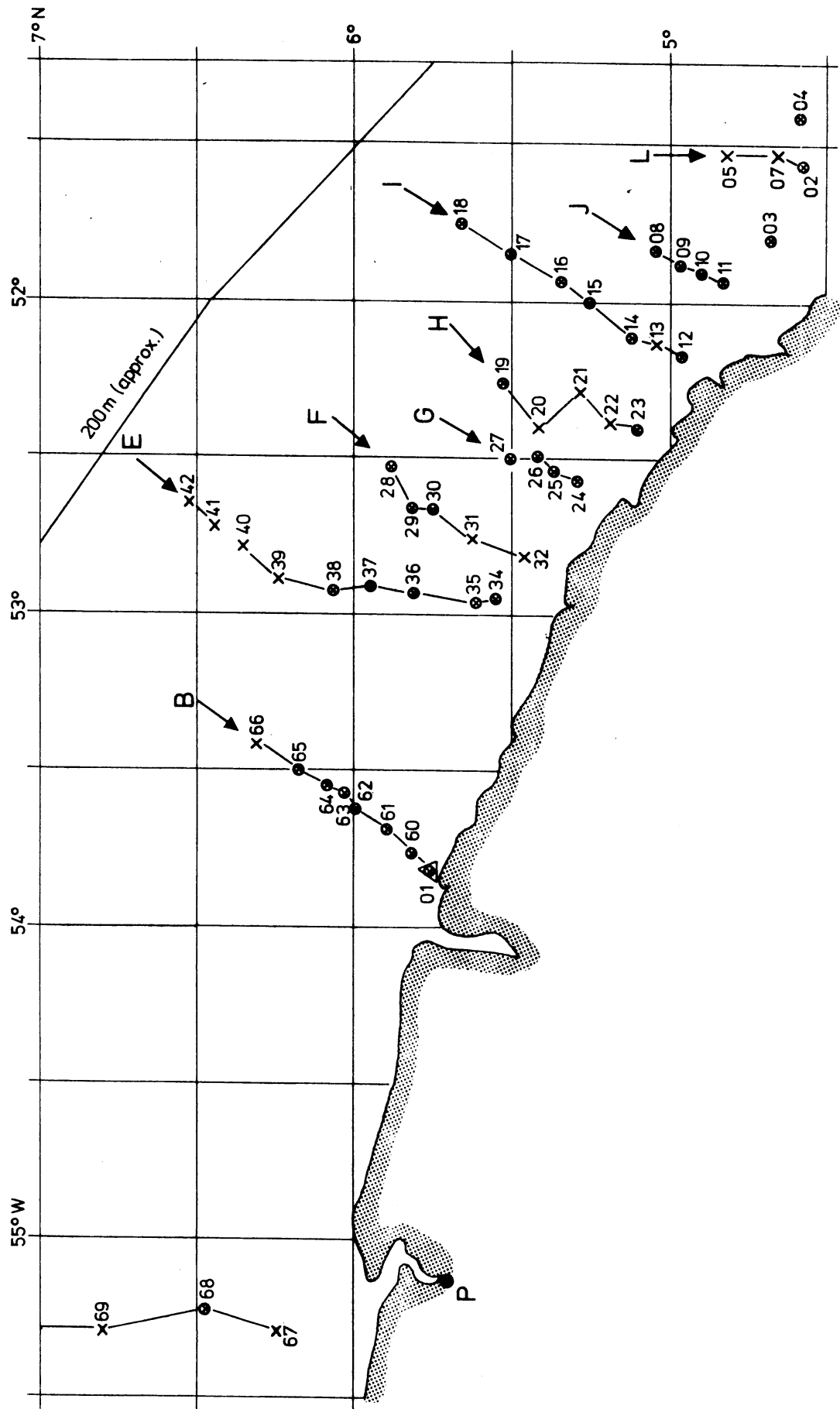
FIGUR 2



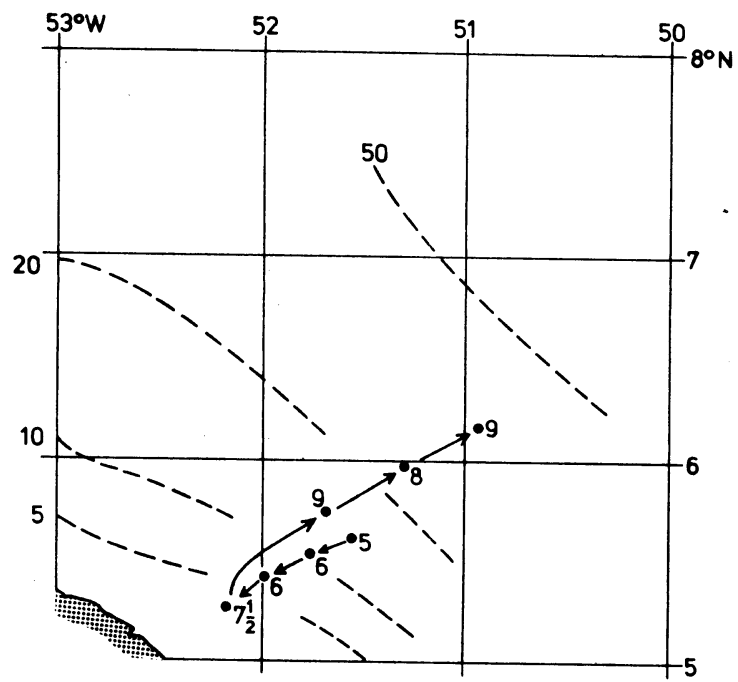
FIGUR 3



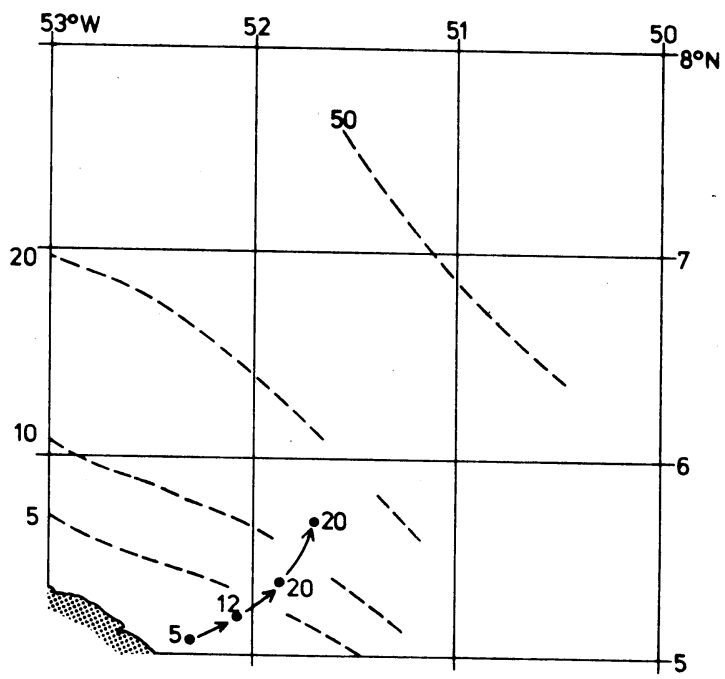
FIGUR 4



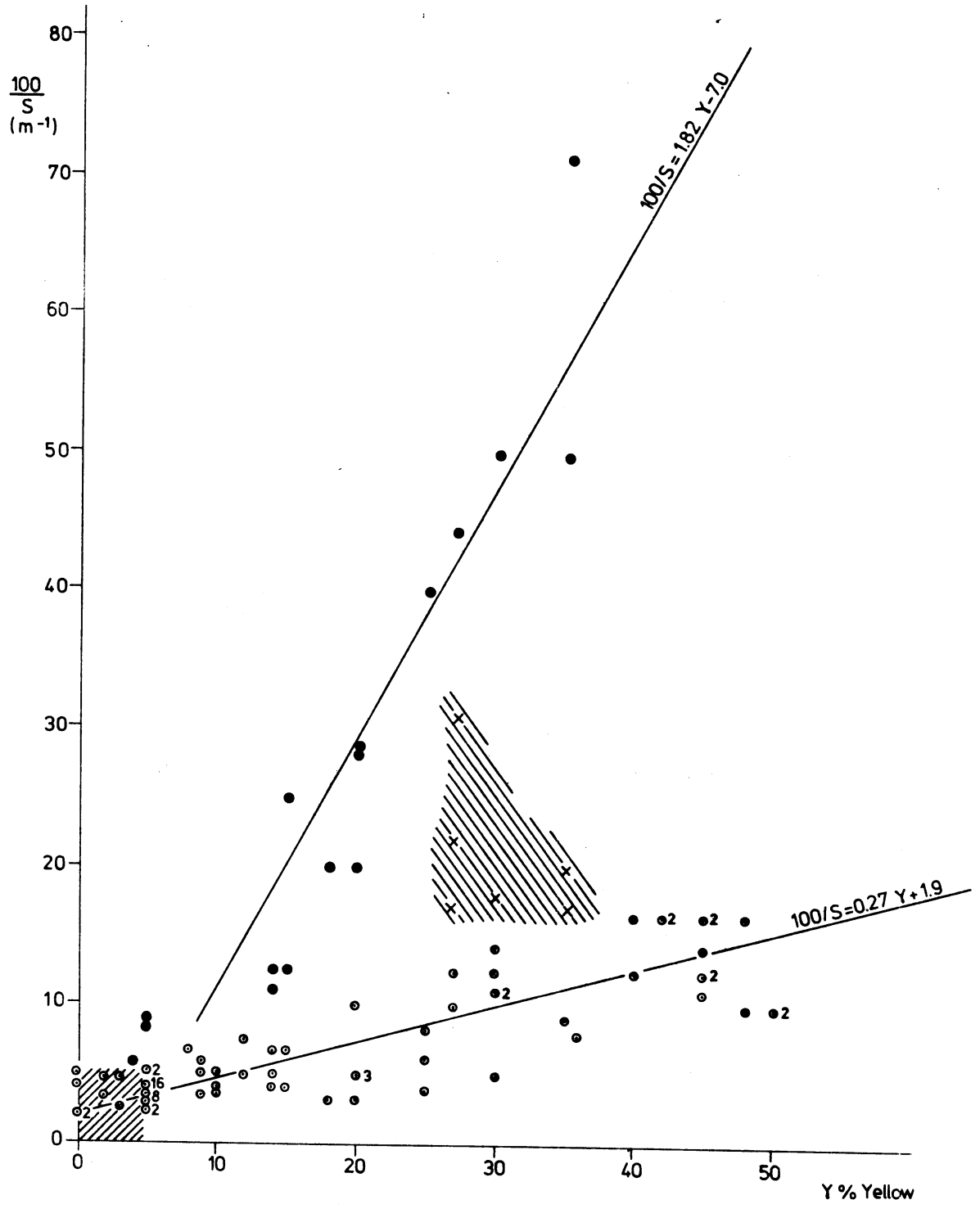
FIGUUR 5



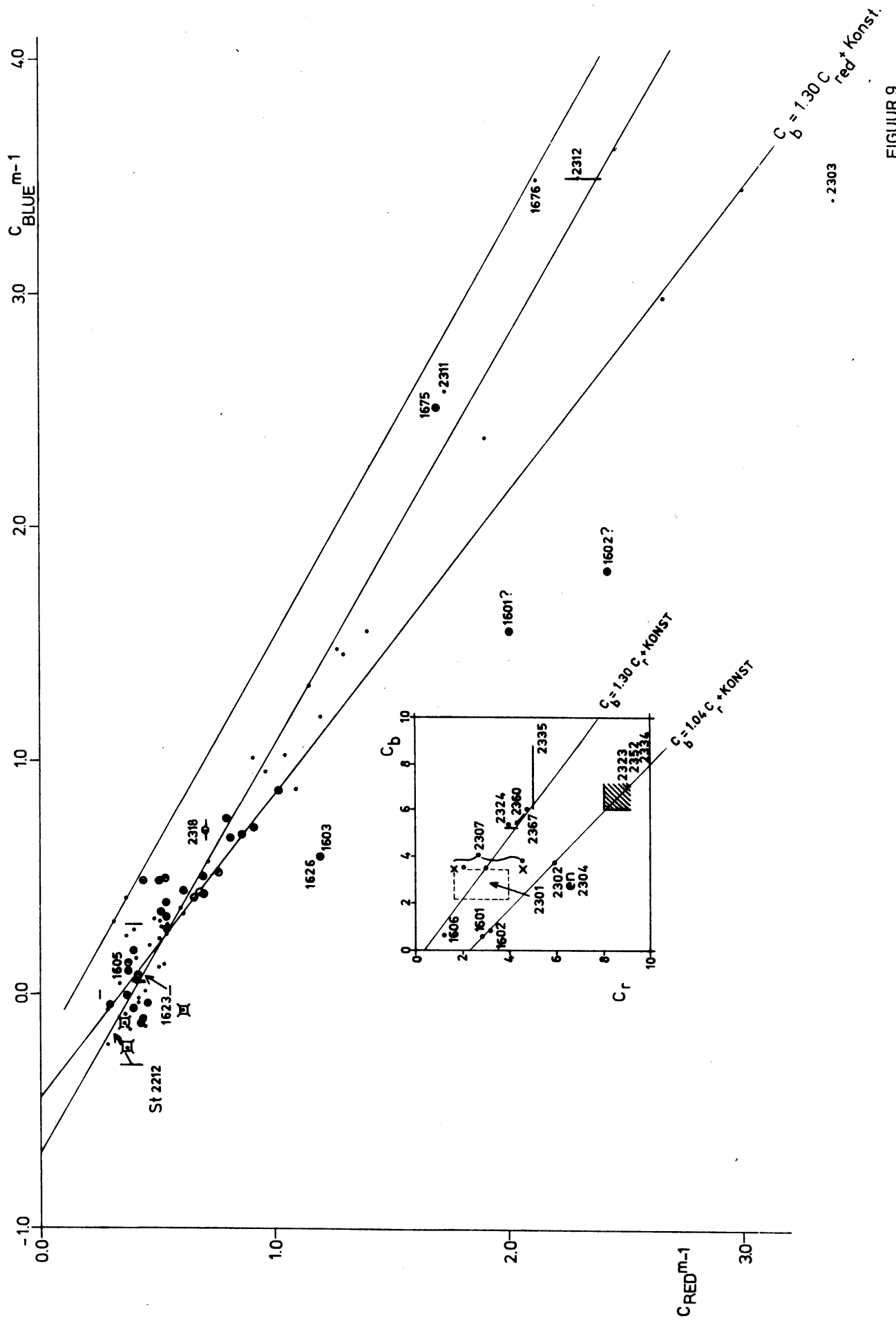
FIGUR 6



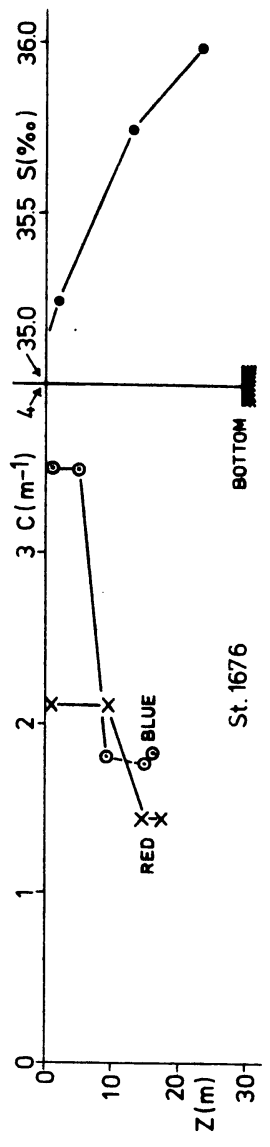
FIGUR 7



FIGUR 8



FIGUUR 9



FIGUR 10

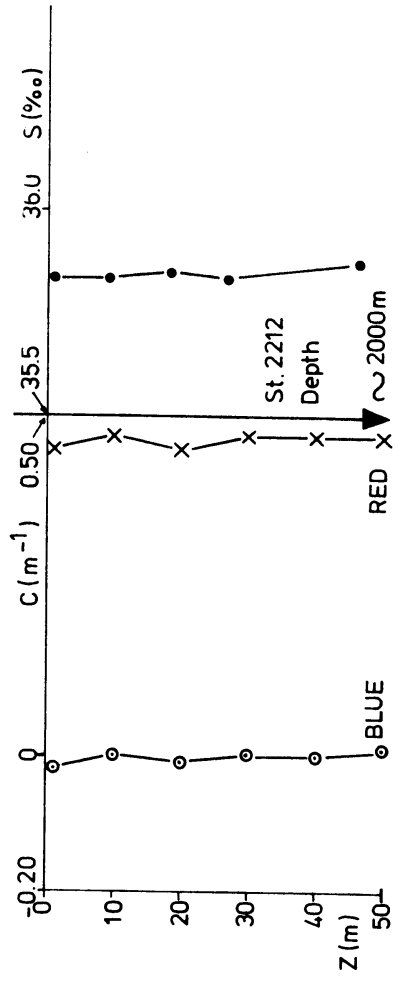
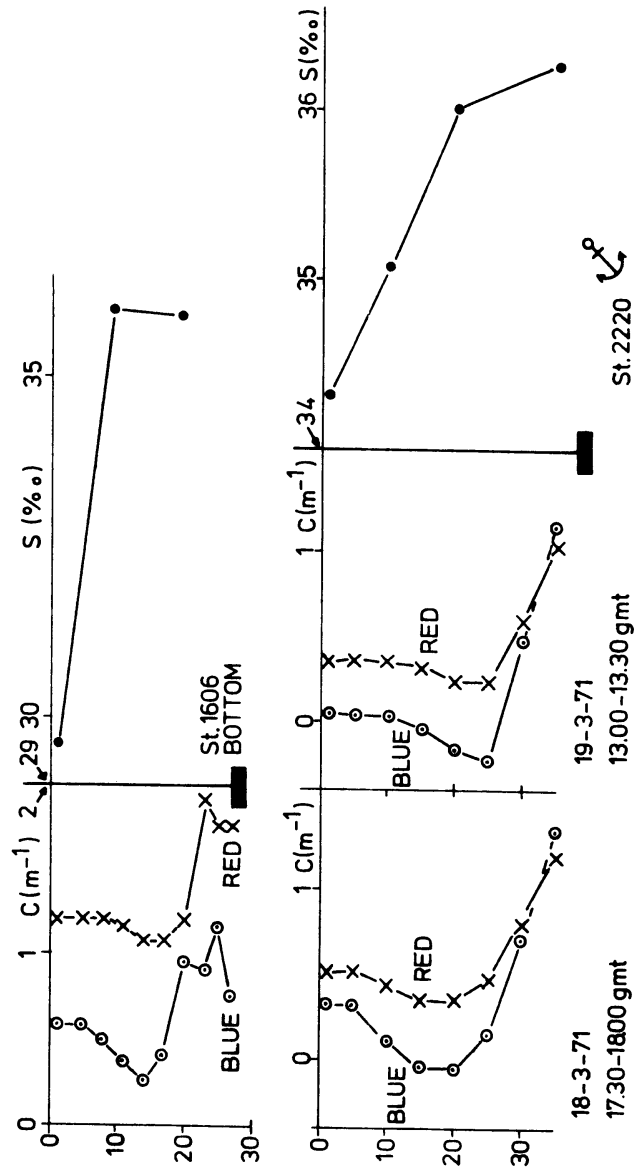
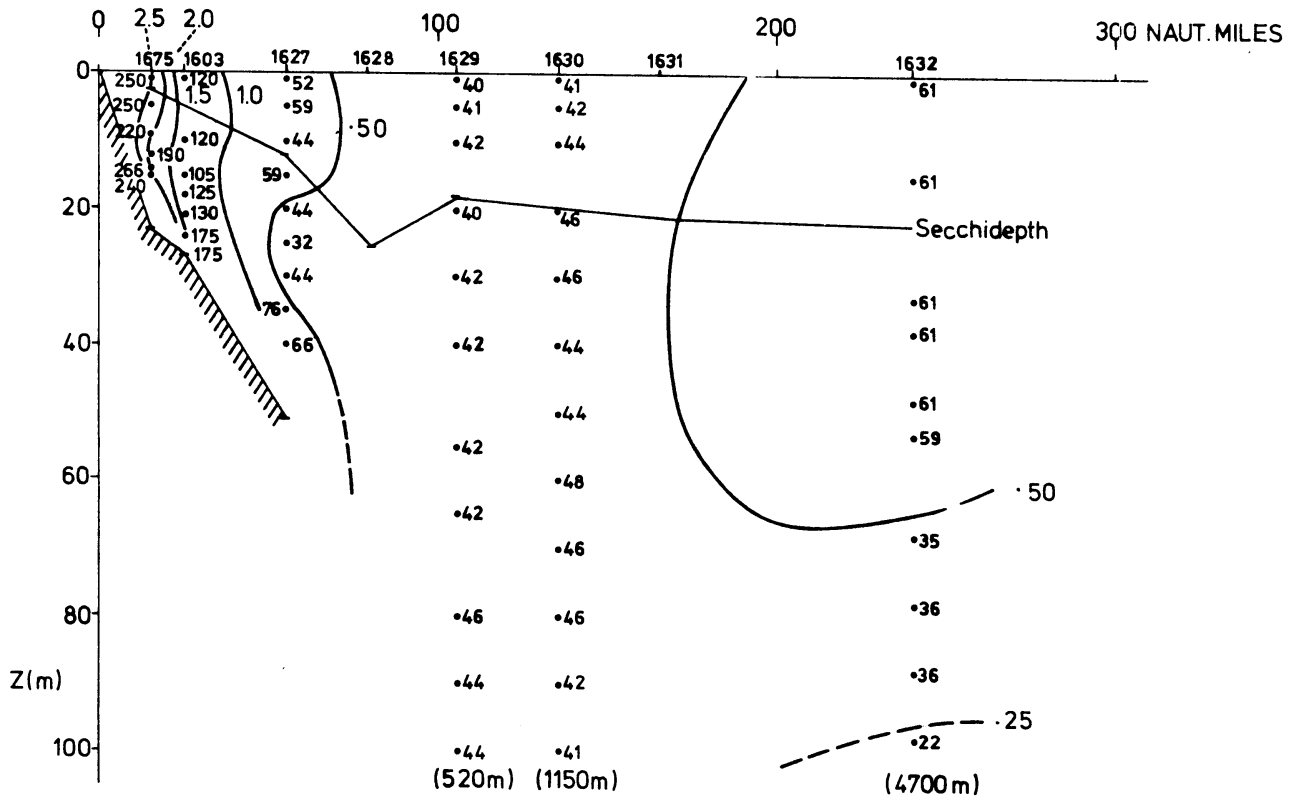
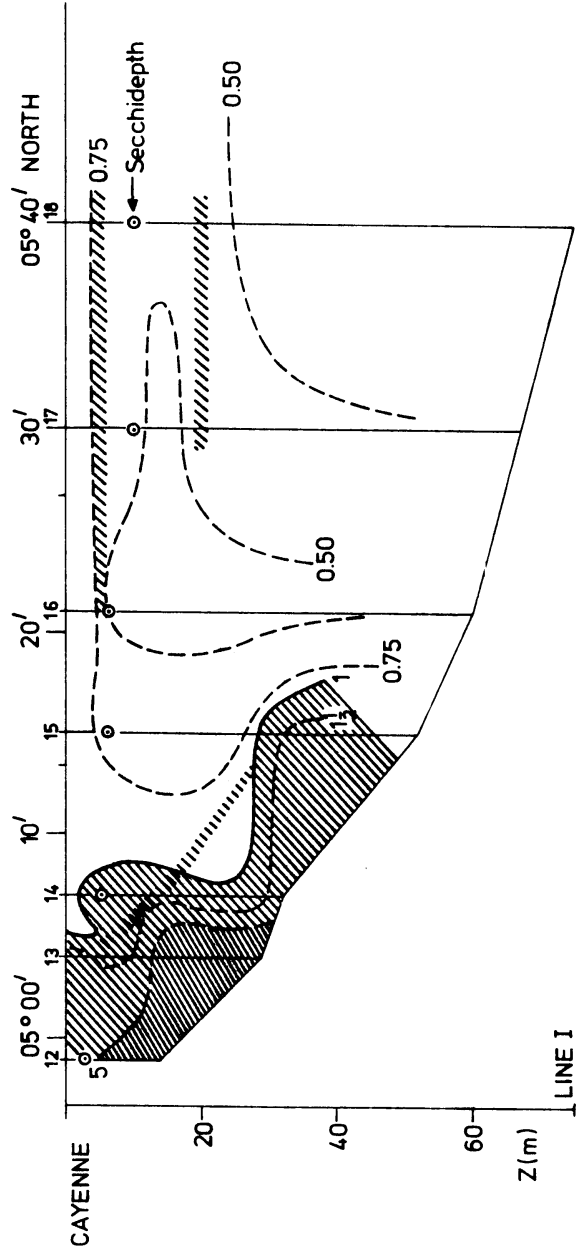


FIGURE 11

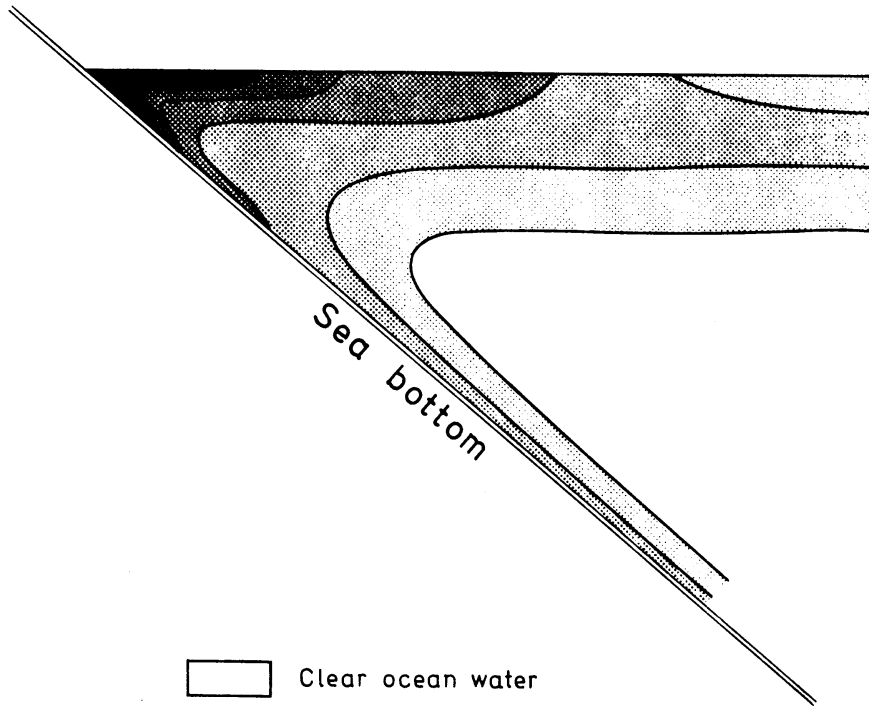








FIGUR 12



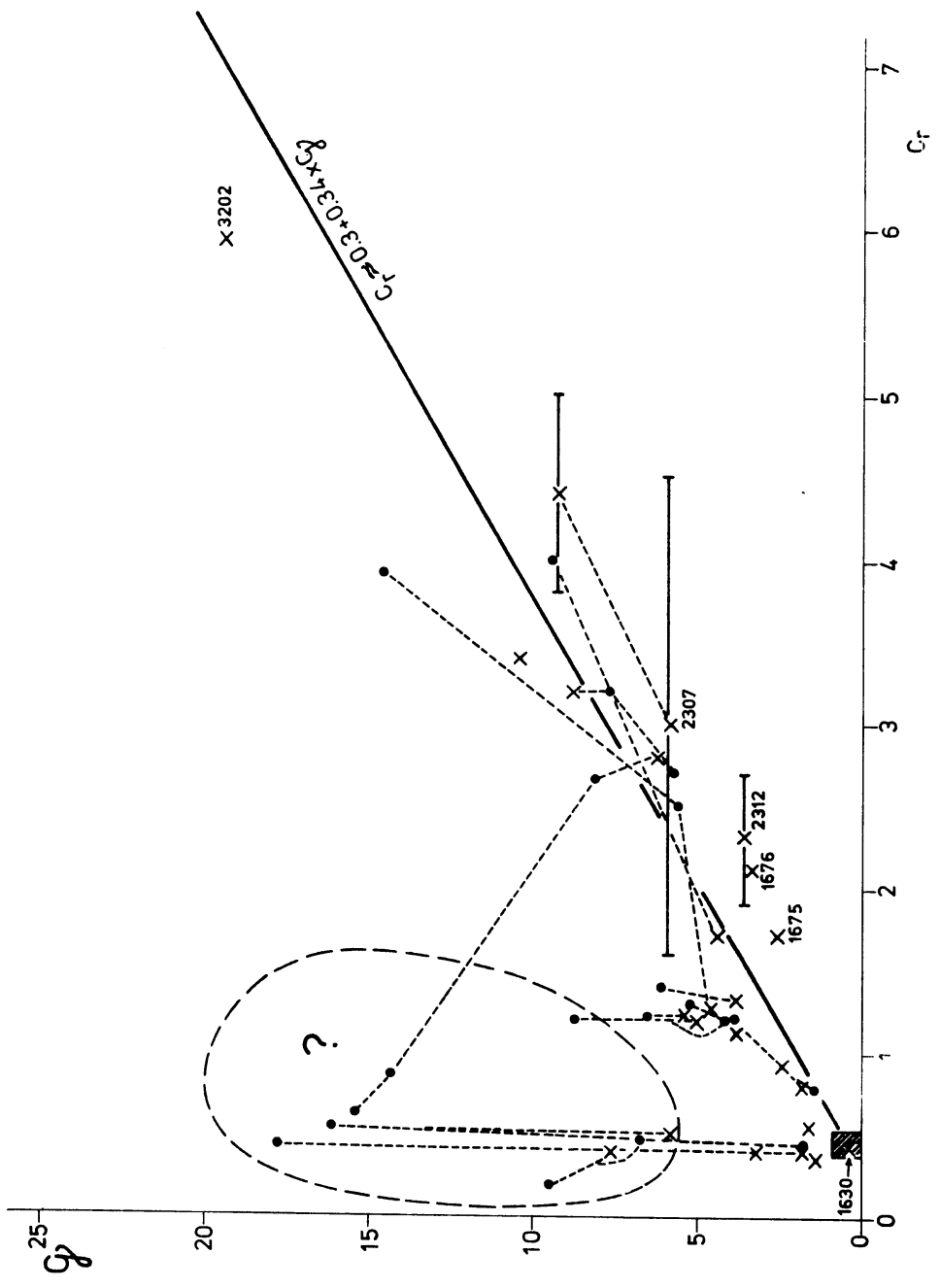


FIGUR 14

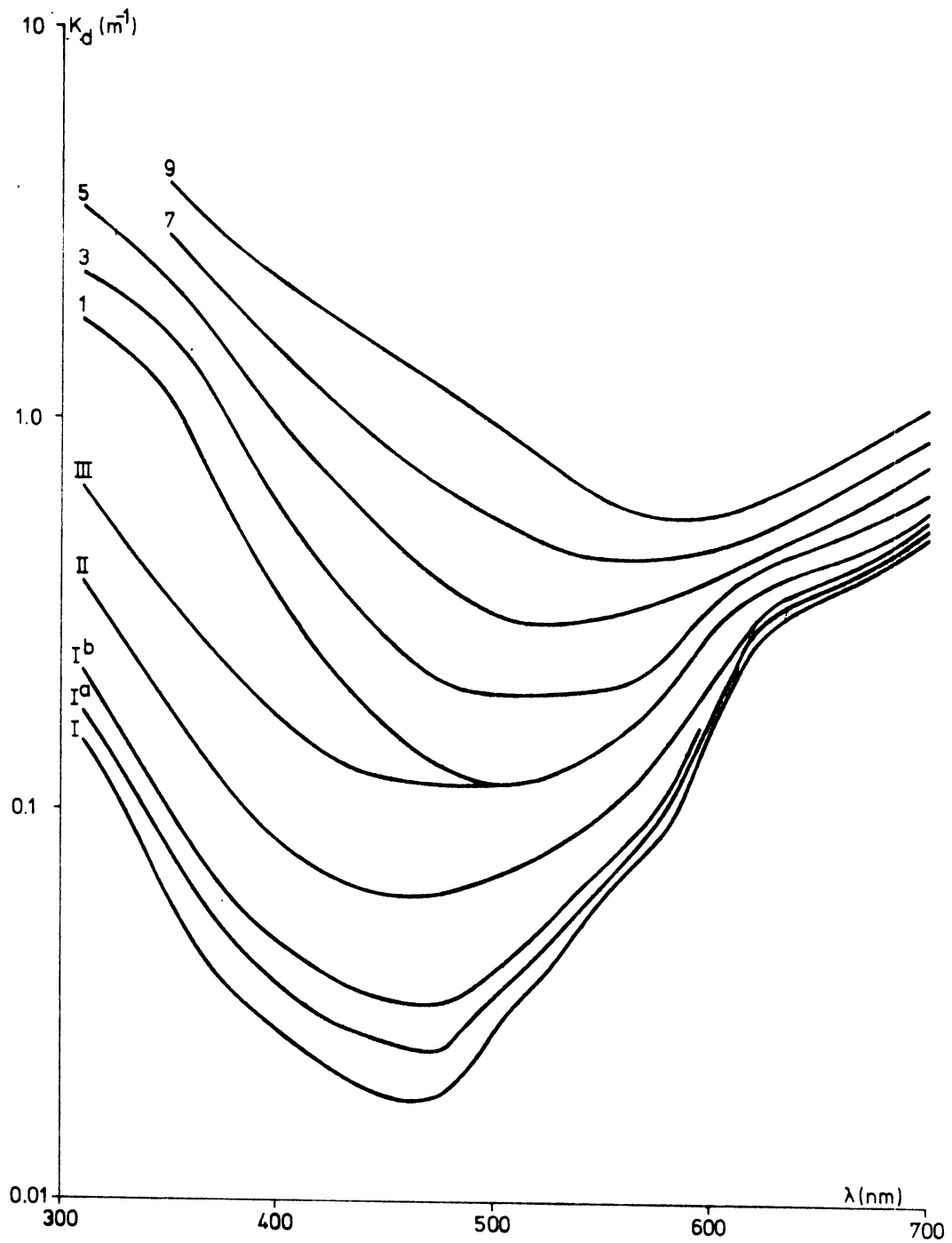


-  Clear ocean water
-  Moderate ocean water
-  Turbid ocean water
-  Clear coastal water
-  Moderate coastal water
-  Turbid coastal water

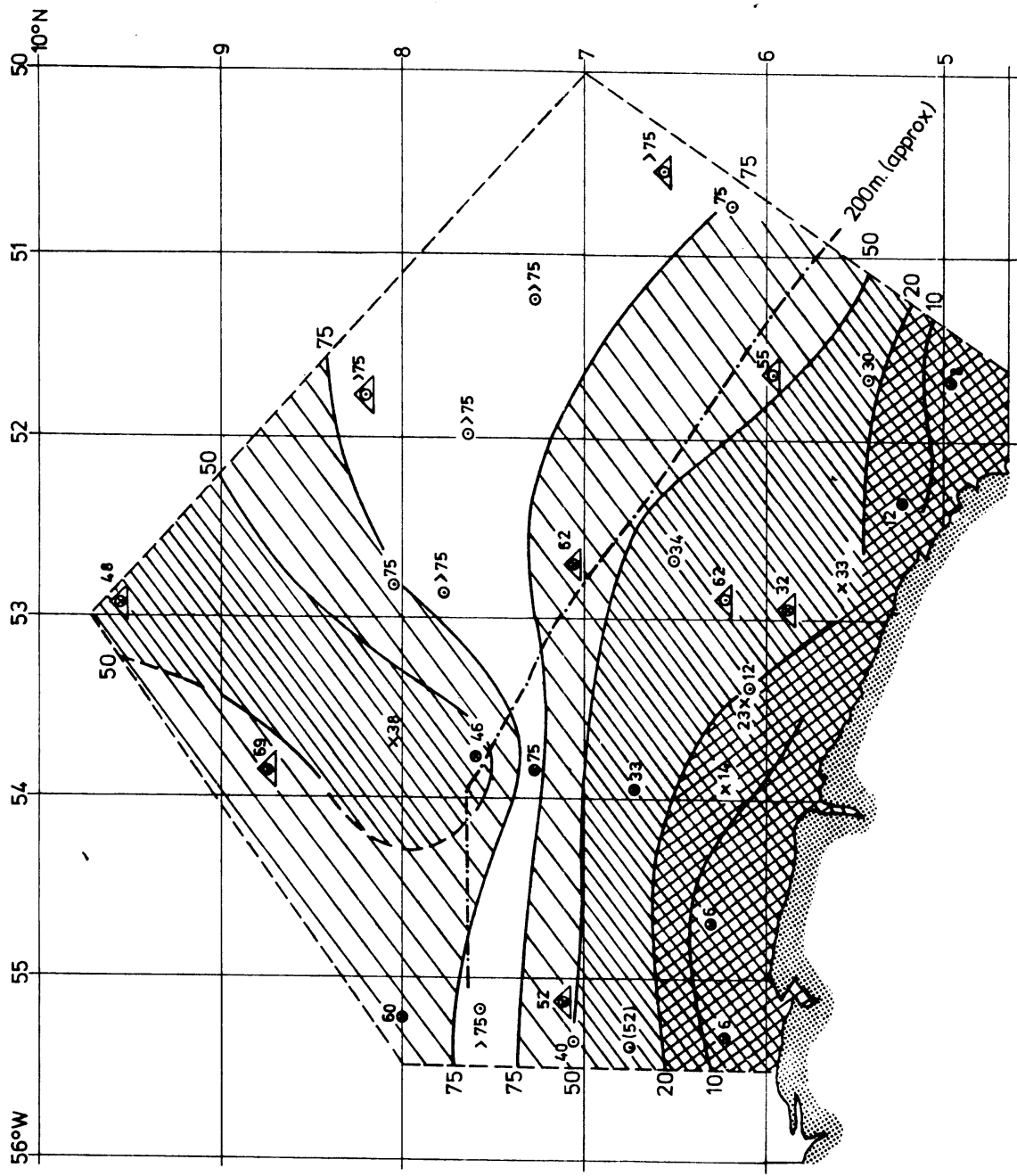
FIGUR 15



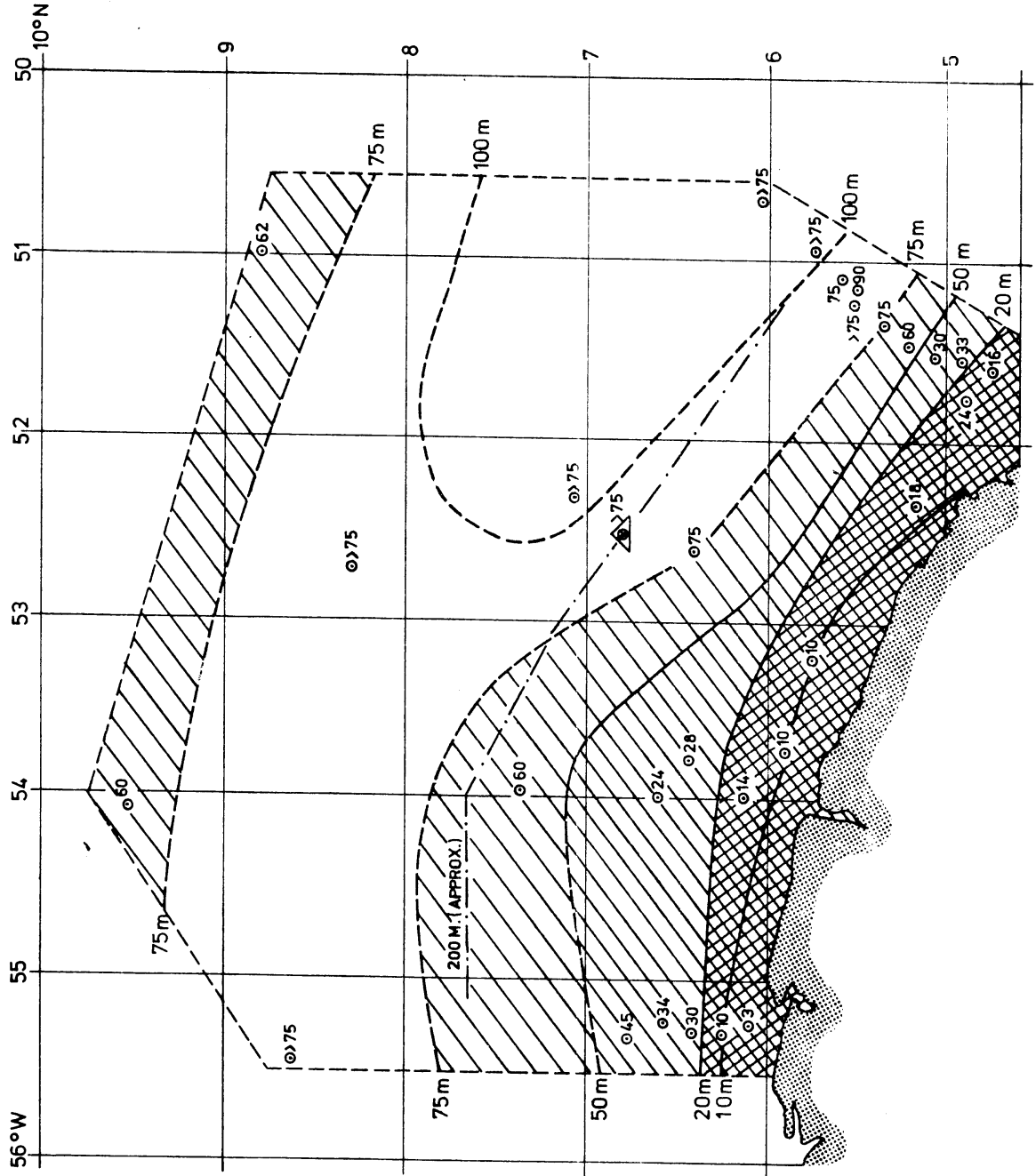
FIGUR 16



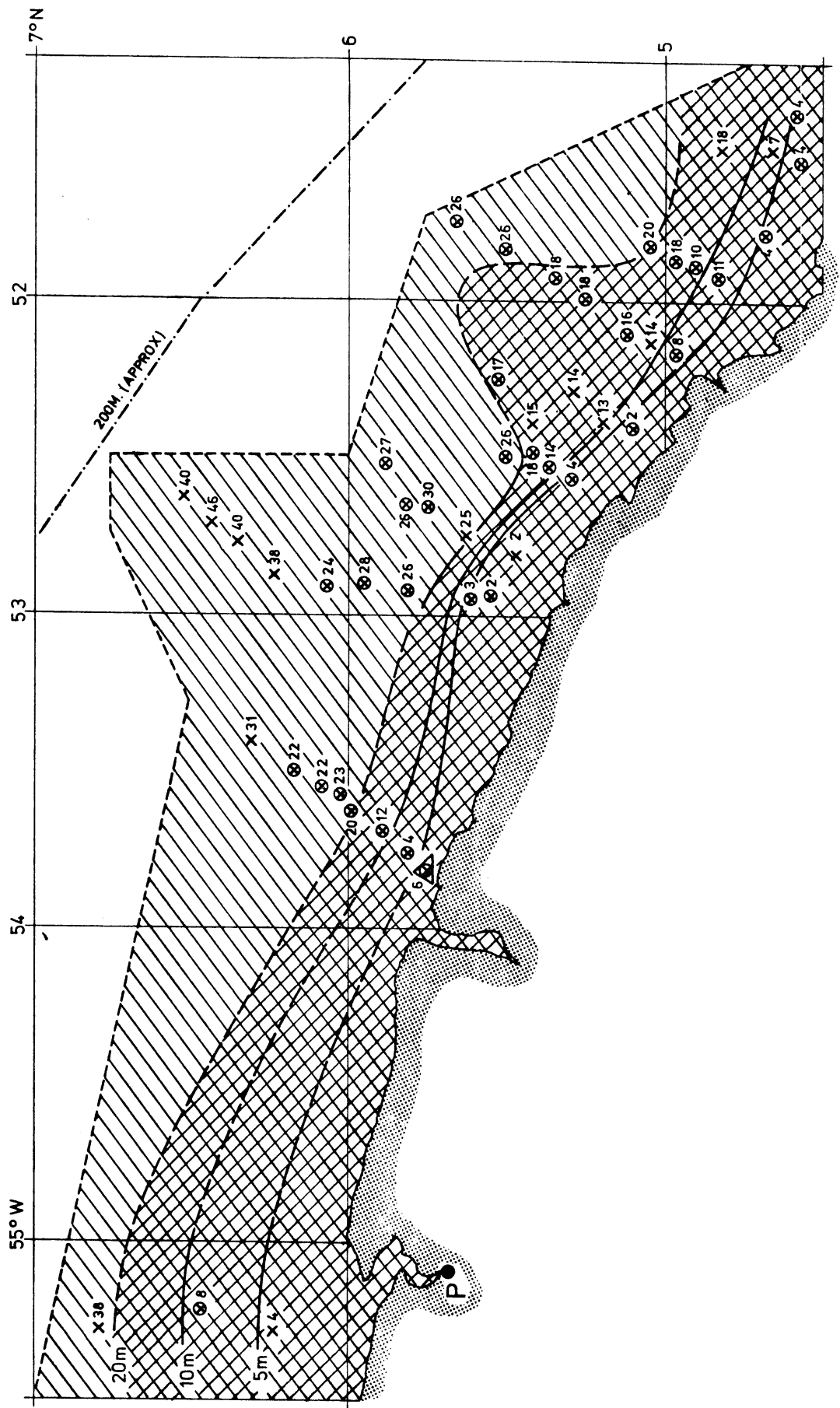
FIGUR 17



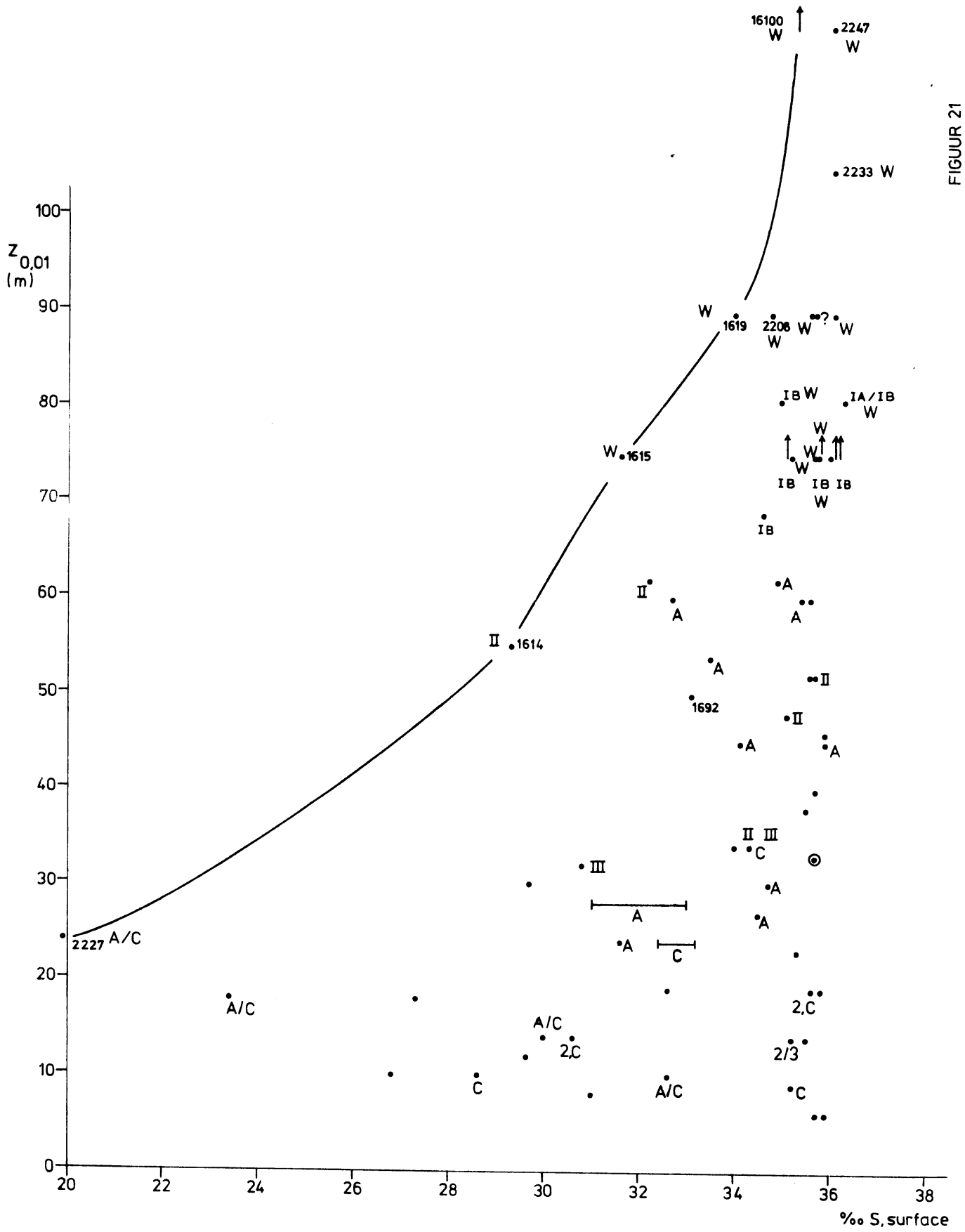
FIGUUR 18



FIGUUR 19



FIGUUR 20



FIGUR 21