

KONINKLIJK NEDERLANDS  
METEOROLOGISCH INSTITUUT

De Bilt

WETENSCHAPPELIJK RAPPORT

W.R. 76-11

K. van der Veen  
A.J. van Bennekom  
S.B. Tijssen

Invloed van de Amazone-rivierafvoer op  
de westelijke tropische Atlantische  
Oceaan

De Bilt, 1976

Publikationsnummer: K.N.M.I. W.R. 76-11 (00)

U.D.C.: 551.465.4 (3.6)

Summary.

Influence of Amazon discharge on the Western Tropical Atlantic.

Observations were made of temperature, salinity, currents and meteorology in the ocean off the northern coast of South America, during autumn 1970 and spring 1971.

The observed salinity distributions in the surface layer reflect the seasonal variation in the trade winds.

Besides, very strong vertical current shear was found over the layer between surface and halocline. A rough estimate for the horizontal lateral exchange-coefficient is  $1.4$  to  $2 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  being of the same order of magnitude as the values reported for the Gulf Stream.

Large scale movements of the water have been traced by drift bottle experiments; recoveries were reported from the northern coast of South America, from Central America and from North America.

An estimate is made of the fresh water flux of the Amazon that passes along the coast. There are no indications to conclude to an intermittent fresh water flow.

Invloed van de Amazone-rivierafvoer op de westelijke tropische  
Atlantische Oceaan.

door K. van der Veen \*)  
A.J. van Bennekom \*\*)  
S.B. Tijssen \*\*)

1. Inleiding (met doelstelling en verrichte metingen).

1.1. Algemeen.

In het najaar van 1970 (september-oktober) en het voorjaar van 1971 (maart-april) werden in het kader van CICAR (Cooperative Investigation of the Caribbean and Adjacent Regions) oceanografische waarnemingen verricht aan boord van Hr.Ms. "Luymes", voornamelijk in het zeegebied voor de kust van Suriname en Frans Guyana tot ca. 10°NB (zie fig. 1 en 2). Op de tochten tussen Curaçao (de "thuishaven" van Hr.Ms. "Luymes" in het Caraïbisch gebied) en het onderzoekgebied werden ook nog een aantal oceanografische waarnemingen verricht. Naast het opstellen van een algemeen overzicht van fysische en chemische eigenschappen van het betreffende gebied, had het onderzoek tot doel de invloed te bepalen van de rivierafvoer, en wel speciaal van die van de Amazone, op de eigenschappen en de circulatie van het oceaanwater in het zeegebied tussen de Amazone-monding en de Suriname-rivier. Door de tochten zowel in het najaar als in het voorjaar plaats te doen vinden was het mogelijk ook de seizoensafhankelijkheid van genoemde invloed te onderzoeken.

Het onderzoek van de fysische en chemische omstandigheden geschiedde in een gezamenlijke onderneming van het Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (N.I.O.Z.) en het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (K.N.M.I.). Vooral nautisch-technische hulp werd verkregen van de Koninklijke Marine.

Daar de Braziliaanse autoriteiten geen toestemming verleenden om oceanografisch onderzoek op het Braziliaanse continentale plat te verrichten, strekte het onderzoekgebied van Hr.Ms. "Luymes" zich slechts uit tot het zeegebied voor de monding van de Ojapok-rivier, dit is de grens tussen Frans Guyana en Brazilië.

\*) K.N.M.I.

\*\*) N.I.O.Z.

In het eerste deel van de najaarsperiode verrichtte het Braziliaanse onderzoekingschip "Almirante Saldanha" oceanografische waarnemingen in het zeegebied tussen de Ojapok en de Amazone, zodat in genoemd tijdvak het waarnemingsgebied zich inderdaad tot de Amazone uitstrekte.

De volgende metingen zijn verricht, mede voor het onderzoek van de invloed van de Amazone-rivierafvoer:

- a. Seriewaarnemingen in een oceanografisch stationsnet.
- b. Uurlijkse zoutgehaltemetingen aan het oppervlak, tijdens de vaart en voor anker liggend.
- c. Geleidingsmetingen voor de bepaling van zoutgehalteprofielen in de bovenste tientallen meters, zowel op ankerstations als op een bepaalde raai ter hoogte van Cayenne. Deze laatste werd enige malen herhaald (alleen in de najaarsperiode).
- d. Stroommetingen met verankerde stroommeters (aan een boei) en vanaf een verankerd schip.
- e. Uurlijkse bathythermograafwaarnemingen.

Door hun detaillering zowel in horizontale als in verticale zin, zijn deze zoutgehaltemetingen in dit zeegebied voorzover bekend uniek te noemen.

Verder werden in de najaarsperiode op karakteristieke punten (bijv. bij sterke oppervlakte-zoutgradiënten) groepen van 50 drijfflessen uitgezet. In de voorjaarsperiode werden op een raai die ter hoogte van de Ojapok-rivier enige malen werd bevaren, groepen van 25 drijfflessen uitgezet. Dit drijfflessenonderzoek had speciaal tot doel een indruk te krijgen van de algemene verplaatsing van het oppervlaktewater.

Een indruk van de tijdens de vaart ondervonden stromen werd verkregen met de stroomberekeningsmethode die gebruik maakt van gegist en waar bestek. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat de navigatiemogelijkheden buiten gezichtsafstand van landmerken beperkt bleven tot astronomische bestekken.

#### 1.2. De Amazone-rivierafvoer.

De hoeveelheid zoet water die de Amazone in de zee brengt, varieert van rond 90.000 m<sup>3</sup>/s (maandgemiddelde november) tot 270.000 m<sup>3</sup>/s (maandgemiddelde mei en juni) met een jaarlijks gemiddelde van 175.000 m<sup>3</sup>/s (Oltman, 1967), d.i. bijna 1/5 van het totaal van rivierafvoeren van de hele wereld. Ter vergelijking: de Rijn heeft een rivierafvoer die

varieert tussen 500 en 2.500 m<sup>3</sup>/s. Volgens Gibbs (1969) vindt zowel bij hoge als bij lage rivierafvoer in een gebied voor de Amazone-monding sterke verticale menging plaats. Pas op een afstand van 60 tot 80 km uit de kust gaat zich een sterke gelaagdheid manifesteren, die tot op grote afstand in stand blijft. Het verzoete oppervlaktewater wordt in een zeer dunne laag van hoogstens enkele tientallen meters, aan de onderzijde begrensd door een sterke halokliene, door de Guyanastroom noord- en westwaarts afgevoerd. In de top van het regenseizoen wordt sterk verzoet oppervlaktewater, dat aan de Amazone toegeschreven wordt, tot in de Caraïbische Zee aangetroffen (Ljøen en Herrera, 1965). De invloed van het verzoete oppervlaktewater op de Guyanastroom is onderzocht door Herrera en Snooks (1969), Vapnyar (1967) en Metcalf en Stalcup (1967). De eerstgenoemden concluderen uit dynamische berekeningen dat de Guyanastroom op het 50 dbar-vlak (ca. 50 m. diepte) duidelijk herkenbaar was terwijl hij zich aan het oppervlak niet meer manifesteerde. Vapnyar maakte een benaderende berekening waaruit blijkt dat er een horizontale dichtheidsgradient optreedt in het oppervlaktewater, die een gevolg is van de verzoeting daarvan. Deze gradient zou een vermindering van ongeveer 100 cm/s van de Guyanastroom veroorzaken dan wanneer deze uitsluitend door de wind zou worden aangedreven. Metcalf en Stalcup maken onderscheid tussen de delen van de Guyanastroom voor en na de Amazone-monding. Het eerste gedeelte noemen ze Noord-Braziliëstroom en het tweede gedeelte Guyanastroom. Het overgangsgebied tussen deze stromen zou volgens hen aan het oppervlak door minder persistente stromen gekenmerkt worden. De mogelijke invloed van het Amazone-water wordt door hen niet uitdrukkelijk genoemd.

Het is niet uitgesloten dat dit complexe stelsel van stromen ook nog sterk beïnvloed wordt door de bodemtopografie ter plaatse, waarvan Fukuoka (1971) een voorbeeld rapporteert.

### 1.3 Het oppervlakte zoutgehalte.

Artikelen waarin o.a. de zoutgehalteverdeling aan het oppervlak in het onderzoeksgebied ter sprake komt, verschenen van de hand van Gibbs (1969) Ryther e.a. (1967), Neumann (1969), Cochrane (1969) en anderen. Hierbij vestigde Ryther de aandacht op het bestaan van verzoete geïsoleerde gebieden, die door zouter water van de Amazone-monding waren gescheiden. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat Ryther zijn uitspraak baseert op metingen die verre van synoptisch zijn en waarbij een ruimmazig stationsnetwerk werd gebruikt. Neumann toont een verband aan tussen de

gang van de plaatselijke regenval en de variaties van het zoutgehalte, gemiddeld per maand over ééngraadsvakken. Zie kommentaar hierop in par. 2.1..

Zowel Gibss als Neumann laten in het najaar verzoete gebieden op 8°N tussen 53°W en 43°W zien die ze in verband brengen met het begin van de Equatoriale Tegenstroom, en de ligging van de Intertropische Convergentie-Zone (I.T.C.). Cochrane vindt in het najaar een verzoet gebied van de kust tot ca. 9°N, 48°W. In dit gebied bevond zich onze zgn. Cayenne-raai, d.i. een raai ter hoogte van Cayenne loodrecht op de kust, die in de najaarsperiode vier keer is bemonsterd.

Onze gegevens laten zien dat de zoetwaterafvoer op en voor de Guyana shelf globaal geschiedt in een 100 mijl (185 km) brede strook evenwijdig aan de kust (zie fig. 3, 4 en 5), die dus kan worden beschouwd als het brongebied voor het water met lagere saliniteit.

Z = zoetwatertransport in m<sup>3</sup>/s, uit tabel III

V = snelheid evenwijdig aan de kust in m/s

O = zoetwater oppervlak in een profiel loodrecht op de kust in m<sup>2</sup>

D = laagdikte zoetwater nodig om de verzoeting te bewerken in m

T = verblijftijd in een 240 mijl lang gebied met Cayenne in het midden.

$$\frac{Z}{V} = O = 185 \cdot 10^3 \cdot D \quad T = \frac{240}{1440 \cdot v} \text{ maanden.}$$

Vergelijken we nu D met R waarbij R de regenval is die gedurende het verblijf van het langsstromende water in een 240 mijl lange zone op dit water is gevallen. We gebruiken de regelvalwaarden van Cayenne (zie Oltman (1967) en Neumann (1969)).

Periode	Amazone afvoer m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> Z/s	V m/s	T maanden	Cayenne prec. m/maand	R m	D m
maart '71	1,9 · 10 <sup>5</sup>	2-3 · 10 <sup>5</sup>	0.75	0.23	0.40	0.09	1.4-2.2
sep/oct '70	0,9 · 10 <sup>5</sup>	1 · 10 <sup>5</sup>	0.25	0.69	0.03	0.02	2.2

Zelfs in de natte tijd is  $\frac{R}{D} \sim 7\%$ . Bedenken we dat i.p.v. R genomen zou moeten worden het netto resultaat van precipitatie en verdamping, dan wordt  $R_{\text{gec.}} \sim 0.07 \text{ m}$ , en is de conclusie overduidelijk dat de netto precipitatie zelfs in het gunstigste geval niet meer dan 5% van de verzoeting kan verantwoorden en de conclusie van Neumann dat "local

precipitation" in dit gebied "can effect surface salinities to such a degree that tropical rainfall is definitely a factor that has to be taken into account" niet juist kan zijn.

De dunne verzoete oppervlaktelaag wordt voortbewogen door het overliggend windveld en het onderliggend stroompatroon. Door horizontale en verticale menging wordt de verzoete oppervlaktelaag steeds zouter en gaat zich daardoor minder van het onderliggende water onderscheiden, waardoor van een verschil in dynamisch gedrag tussen de oppervlaktelaag en het onderliggende water steeds minder sprake is.

Cochrane kent slechts een geringe invloed toe aan de plaatselijke regenval op de verzoeting van het oppervlak. Ryther geeft een kwalitatieve verklaring voor het ontstaan van de verzoete geïsoleerde gebieden. Hij suggereert dat door afvlakken of tijdelijke omkering van de overliggende windsystemen de sterke Guyanastroom "stopt" waardoor grote hoeveelheden verzoet oppervlaktewater over kunnen steken.

Metcalf (1968) daarentegen ontkent, evenals in zijn reeds genoemde werk samen met Stalcup, een continue sterke Guyanastroom en hij ziet dan ook het overgangsgebied tussen Noord-Braziliëstroom en Guyanastroom als het gebied waardoor het verzoete oppervlaktewater kustafwaarts gevoerd wordt. Hij legt zelfs verband tussen het kustafwaarts bewegen van het verzoete oppervlaktewater en het terugbuigen van een deel van de Noord-Braziliëstroom, dat de equatoriale onderstroom voedt.

## 2. Eigen waarnemingen en daaruit afgeleide konklusies.

### 2.1. Oppervlakte zoutgehalte.

Onze eigen waarnemingen voor de najaars- en voorjaarsperiode zijn samengevat in fig. 3-6.

De zoutgehalteverdelingen in het najaar (fig. 3) en in het voorjaar (fig. 4) vertonen enkele markante verschillen. Allereerst blijft de verzoeting van het oppervlaktewater in het voorjaar tot ca.  $53^{\circ}30'W$  beperkt tot het gebied boven het continentale plat, terwijl de verzoeting in de najaarsperiode zich reeds veel eerder (vanaf  $50^{\circ}W$ ) verder zeewaarts uitstrekt. Bovendien is het gebied van de Surinaamse shelf in het najaar niet en in het voorjaar wel verzoet. Oppervlakte-zoutkaarten, beide in het voorjaar, in het jaar 1966 tussen  $55-57^{\circ}W$  en in de jaren 1966 (Eisma 1967) en 1969 tussen  $54-55^{\circ}W$  (Eisma en van Bennekom 1971) tonen dat de verzoeting van het oppervlak boven de Surinaamse shelf niet kenmerkend is voor het voorjaar, doch slechts dat verzoeting kan optreden.



Dat het overheersende windveld een zeer belangrijke rol speelt als faktor die de uitgebreidheid van het verzoete oppervlak bepaalt, is duidelijk als we fig. 3 en fig. 4 vergelijken met fig. 7 en fig. 8, die dat opgetreden windveld aangeven. In de najaarsperiode (fig. 3 en fig. 7) bevinden de ITC "Doldrums" zich in het noorden van het onderzoekgebied zodat de wind hoofdzakelijk oost tot zuidoost was, speciaal in het oosten van het onderzoekingsgebied. In de voorjaarsperiode daarentegen bevond de ITC zich boven het vaste land van Zuid-Amerika en stond de NO-passaat boven het onderzoekgebied waardoor het verzoete oppervlaktewater tegen de kust werd gedrongen.

In hoeverre dit verschillende windpatroon invloed heeft op het onderliggend stroompatroon kan slechts indicatief worden afgeleid uit directe stroommetingen (die verricht zijn enkele uren tot een etmaal op een enkele positie met waterdiepte  $< 50$  m).

De stroomberekeningen uit gegist en waar bestek van Hr. Ms. "Luymes" en de kaarten uit stroomatlassen, die op klimatologische maandgemiddelden van dergelijke berekeningen berusten, geven geen informatie over het onderliggend stroompatroon, maar over het stroombeeld van de bovenste 4 à 10 m. Wel geven onze stroomberekeningen (basis voor de stroompijlen in fig. 3-6) aan dat in de voorjaarsperiode, speciaal in het gebied met de sterkste zoutgradiënten voor Frans Guyana, de beweging van het oppervlaktewater duidelijk meer kustwaarts is gericht dan in de najaarsperiode.

De oppervlakte-zoutgehalteverdelingen zoals die boven de continentale shelf zijn aangetroffen in twee aaneensluitende perioden in het voorjaar (fig. 5 en fig. 6) zijn illustratief voor de variabiliteit van het oppervlakte-zoutgehalte. Terwijl in de eerste periode (fig. 5) slechts verzoet water direct aan de kust werd waargenomen, treedt in de tweede periode zeer sterke verzoeting verder op zee op, die door zouter oppervlaktewater van de kust is gescheiden. Een dergelijke radikale verandering van het beeld kan betekenen dat de afvoer van verzoet oppervlaktewater uit het mondingsgebied van de Amazone door een of andere oorzaak kan stagneren ("pulserende afvoer") of dat, indien we aan een continue afvoer denken, deze in de vorm van een sterke meanderende "rivier in de oceaan" kan plaatsvinden. Aan deze twee mogelijkheden zullen wij ook bij het behandelen van de verticale uitgebreidheid van het verzoete water aandacht schenken.

De zoutgehalteverdelingen aan de oppervlakte (fig. 3 en 4) bieden in principe de mogelijkheid om met behulp van een sterk vereenvoudigd

model de laterale uitwisselingscoefficient K te berekenen (Neumann en Pierson, 1966).

Indien we een stationaire toestand aannemen en de laterale uitwisselingscoefficient onafhankelijk veronderstellen van de afstand tot de as van de hoofdstroom, dan is

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{S}}{\partial x} = K \frac{\partial^2 \bar{S}}{\partial y^2}$$

met  $\bar{u}$  = stroomsnelheid in richting hoofdstroom (x-richting)

$\frac{\partial \bar{S}}{\partial x}$  = zoutgehaltegradient langs het oppervlak in x-richting

$\frac{\partial^2 \bar{S}}{\partial y^2}$  = verandering van de oppervlakte-zoutgehaltegradient in y-richting

Voor de najaarsperiode volgt uit fig. 3 :  $K = 2 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , waarbij voor  $\bar{u} = 50 \text{ cm s}^{-1}$  is genomen.

Voor de voorjaarsperiode volgt uit fig. 4 :  $K = 1.4 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  met  $\bar{u} = 125 \text{ cm s}^{-1}$ .

Deze laterale uitwisselingscoefficienten zijn in de orde-grootte van die van de Golfstroom, zelfs iets groter.

Ter vergelijking diene het volgende overzichtje, van uit experimentele gegevens berekende waarden voor de horizontale uitwisselingscoefficient ontleend aan Neumann en Pierson (1966), blz. 399.

Mechanisme	K ( $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ )	Referentie
Equatoriale tegenstroom in de Atlantic	$3 \times 10^3$	Montgomery 1939
Golfstroom	$2.3 \times 10^4$	Stommel 1950
Oppervlaktestroom bij Grand Banks	$5 \times 10^4$	Neumann 1940
Middellandse zee-water in de Atlantic	$5.5 \times 10^3$	Defant

Daar het van de Golfstroom bekend is dat hij zich als een "meanderende rivier in de oceaan" voortbeweegt, kan bovenstaande overeenkomst in de laterale uitwisselingscoëfficiënten een aanwijzing zijn dat ook buiten de kust van Suriname een dergelijke situatie op treedt.

## 2.2. Het drijfflessenonderzoek.

Zoals in de inleiding reeds werd opgemerkt werden drijfflessen met terugmeldingskaarten uitgezet in het onderzoekgebied, teneinde het algemene stroombeeld van het oppervlaktewater te karakteriseren. Speciaal was interessant de vraag of er verzoet oppervlaktewater direct in de Equatoriale Tegenstroom opgenomen zou worden.

Uit de tabellen I en II en fig. 1 kunnen we het volgende concluderen:

- a. In de najaarsperiode zijn er geen duidelijke aanwijzingen voor correlatie tussen vindplaats en karakterisering in verband met het oppervlakte-zoutgehalte van de lanceerplaats. Wel is opmerkelijk dat er geen terugmeldingen van de Noordkust van Zuid-Amerika tussen de Ojapok en de Orinoco-rivier zijn.
- b. In de voorjaarsperiode zijn er van de zeer verzoete gebieden (oppervlakte-zoutgehalte beneden 30 o/oo) alleen maar terugmeldingen van de Noordkust van Zuid-Amerika, hetgeen duidt op een kustwaartse bewegingscomponent van dit type water aan het oppervlak, hetgeen met een neerstroming aan de kust kan samenhangen.

De lanceringsgebieden in het overgangsgebied van verzoet naar zuiver oceaanwater (zoutgehalte  $> 36$  o/oo) geven slechts een aantal terugmeldingen van de Bovenwindse Eilanden, één uit Midden-Amerika en één uit Florida.

Lanceringsgebieden werden verricht in gebieden met verschillende saliniteit, in de verwachting dat de terugmeldingen zouden kunnen aangeven in hoeverre de gebieden met lage saliniteit een van de algemene stroming afwijkend pad volgen. Hierover is uit de terugmeldingen niets gebleken. Het feit dat in de najaarsperiode niet en in de voorjaarsperiode wél terugmeldingen voorkomen van de Guyanakust wijst op een beweging van de kust af in het eerste geval, en naar de kust toe in het tweede geval, wat overeenstemt met de indruk op grond van de verschillende saliniteitsverdelingen verkregen.

Met name is er geen enkele aanwijzing dat er verzoet oppervlaktewater in de Equatoriale Tegenstroom opgenomen wordt.

## 2.3. Het zoetwatertransport (c.q. de Amazone-rivierafvoer in de oceaan).

De term "zoetwatertransport" behoeft nadere uitleg. In het vorige hoofdstuk beperkten wij ons tot het oppervlakte-zoutgehalte en dus tot de verzoeting van het oppervlak. Het is echter duidelijk dat de

verzoeting zich ook in verticale zin uitstrekt. Van elke gevaren raai loodrecht op de kust (en ook vrijwel loodrecht op de overheersende stroom) is een verticale doorsnede met isohalinen gemaakt. De raaien werden in  $\frac{1}{2}$  à 1 dag afgevaren en zijn dus als quasi-synoptisch te beschouwen.

Fig. 9 - 13 vatten vier reeksen van verticale doorsneden samen. In fig. 9 en 10 zien we de verticale doorsneden van de najaarsperiode 1970, hoofdzakelijk behorend bij fig. 3. Hier zien we dat het verzoete water (we noemen in het vervolg het water "verzoet" indien het zoutgehalte  $< 36$  o/oo is) in raai I aan de kust geconcentreerd is (binnen 90 mijl uit de kust) en vrijwel tot de bodem reikt. (fig. 9.a). Dit geldt ook nog ca. 2 weken later als raai I opnieuw bemonsterd wordt (fig. 9.b.). De doorsnede van raai II vertoont een geheel ander beeld. (fig. 9.c.). Het verzoete water is nog wel geconcentreerd aan de kust, maar daar een ondiepe kustzone hier ontbreekt, reikt het niet meer tot de bodem. De verzoeting blijft vrijwel beperkt tot de bovenste 10 meter en aan de onderkant van deze bovenste laag treedt dan ook een sterke dichtheidsgradiënt op. Hier heeft zich dus al duidelijk een verzoete oppervlaktelaag gevormd. Verder stroomafwaarts van de Amazone-monding verandert het karakter van de oppervlaktelaag door verticale en horizontale menging in die zin, dat de laag zouter wordt en zich in horizontale zin uitbreidt. (fig. 10.a, 10.b, 10.c.). Tevens verwijderd de oppervlaktelaag zich als geheel van de kust of, m.a.w., zouter water komt tussen de oppervlaktelaag en de kust. Dit wordt veroorzaakt door het Coriolis-effect, dat in toenemende mate door de groter wordende afstand tot de evenaar een rol gaat spelen. Hierop komen we terug bij de kwalitatieve beschouwing van de dynamica van de oppervlaktelaag.

De verticale doorsneden van de voorjaarsperiode beperken zich slechts tot de raaien III (fig. 11), V (fig. 12.a) en VI (fig. 12.b). Hier valt op dat, zoals ook reeds opgemerkt bij de beschouwing van fig. 4, de verzoete oppervlaktelaag veel verder stroomafwaarts van de Amazone-monding zich aan de kust concentreert en dat voornamelijk de bovenste 10 meter verzoet is. Verder valt de sterkere verzoeting van de rechterkant van de oppervlaktelaag op (lichter water dieper reikend aan rechterkant van hoofdstroom op noordelijk halfmond).

In de najaarsperiode is enige malen de "Cayenne-raai" (raai IV) gevaren (zie fig. 13). De bedoeling hiervan is de variabiliteit van verzoeting, uitgestrektheid en dikte van de verzoete oppervlaktelaag na te gaan. In fig. 13.a. treffen we op 115 mijl afstand uit de kust een oceanisch

front aan, een zeer scherpe overgang tussen de verzoete oppervlakte- laag en het oceaانwater. Een dergelijke scherpe overgang ontbreekt in alle andere verticale doorsneden.

Concluderend: uit fig. 13 mag gesteld worden dat de variabiliteit van de oppervlaktelaag zeer groot is. Een onderbreking van de "zoetwaterafvoer" door de oppervlaktelaag werd echter niet aangetroffen.

In tabel III zijn de "zoetwaterdoorsneden" behorende bij de verticale doorsneden van fig. 8 - 12, benevens enkele additionele gegevens, samengevat. Deze zoetwaterdoorsneden zijn berekend t.o.v. oceaانwater van 36 o/oo. Het gebied omsloten door de isohalinen van 28 en 29 o/oo

bevat dan bijv. ca.  $\frac{28.5}{36} \times (\text{oppervlak in m}^2 \text{ binnen isohaline}) \text{ m}^2$

oceaانwater, en dus de rest zoet water.

Om te komen tot een zoetwatertransport dienen we de gemiddelde doorstroomsnelheden van de verticale doorsneden te kennen. De grote moeilijkheid hierbij is dat ons slechts enkele stroommetingen en enkele waarden berustend op stroomberekeningen ter beschikking staan. Uit deze summiere gegevens blijkt wel dat de stroom variabel is in de tijd en tevens in horizontale en verticale zin grote variaties vertoont. Hierdoor zijn de geschatte doorstroomsnelheden van de verticale doorsneden van een ruime marge voorzien. De aldus verkregen zoetwaterafvoeren geven voor zowel het voor- als najaar geen aanleiding te veronderstellen dat de zoetwaterafvoer intermitterend zou zijn. De lagere zoetwaterafvoeren in het najaar t.o.v. die in het voorjaar zijn in overeenstemming met de resultaten van Oltman (1967).

#### 2.4. Ankerstations.

Daar de ankerstations zich slechts beperken tot waterdiepten tot 45 m, is de informatie die ze ons verschaffen over het stroomprofiel slechts geldig voor een beperkt gebied boven de shelf, dat echter wel geldt als het gebied van de Guyanastroom. De metingen aan het stroomprofiel en aan de details van het zoutgehalteprofiel zijn voor de najaars- en voorjaarsperioden samengevat in resp. fig. 14 en fig. 15.

Deze stroommetingen werden verricht met een zelfregisterende Aanderaastroommeter, die vanaf het verankerde schip werd neergelaten in zee.

Steeds werd gemeten gedurende 2 minuten, waarbij begin en einde van dit tijdsinterval vanaf het schip per elektrisch signaal werd gekommandeerd. Behalve in de meter zelf, werd ook een registratie van de gemeten grootheden aan boord gemaakt.

Afwisselend werd op verschillende diepten de stroom gemeten.

Frappant zijn de sterke verticale stroomgradiënten, vooral aan de meest oostelijke ankerstations O8 (van CICAR 17) in het najaar en 27 (van CICAR 22) in het voorjaar, die qua positie, ter hoogte van de Ojapokrivier, overeenkomen. Deze stroomgradiënten zijn het sterkst in de verzoete oppervlaktelaag en hangen dus samen met de sterke verticale gelaagdheid (c.q. grote stabiliteit) door de verticale zoutgehaltegradiënten. Er is in het algemeen verband tussen de sterkte van de verticale gradiënt in de stroom en die in het zoutgehalte. Nadere vergelijking van de genoemde stations laat verder zien dat de verzoete oppervlaktelaag in de najaarsperiode minder verzoet en minder diepreikend is dan in de voorjaarsperiode. Bovendien is de stroomsnelheid in de verzoete oppervlaktelaag in de voorjaarsperiode groter en is de stroom meer kustwaarts gericht. Dit komt overeen met de sterker ontwikkelde Guyanastroom en de doorstaande NO-passaat in de voorjaarsperiode.

De meetgegevens van het automatische stroommeetstation (positie  $4^{\circ}52'N$ ,  $51^{\circ}41'W$ ) zijn samengevat in fig. 16. Dit station heeft bestaan uit een onderwaterboei met daaronder twee Aanderaa-stroommeters op resp. gemiddeld 6 meter van het oppervlak en op 6 meter van de bodem. Dit geheel werd gemarkeerd door een grote Selco-sparboei. Op enige afstand van dit stroommeetstation was een getijprikker met eigen markeringsboei geplaatst. Beide bovenbeschreven stations zijn door vissers opgevist en slechts de bovenste Aanderaa-stroommeter en een markeringsboei zijn teruggekomen. De Aanderaa-stroommeter bevatte bruikbare meetgegevens van de periode 27/9: 16.00 uur tot 30/9: 12.00 uur. De Aanderaa heeft de eerste 3 uur op 2 m onder het oppervlak geregistreerd: dit verklaart de hoge stroomsnelheid van ca. 1.5 m/s in het begin van de meetperiode. De resterende meetperiode bevond de stroommeter zich op de juiste diepte. De grote variatie in de stroomsnelheid van ca. 85 cm/s tot ca. 42 cm/s binnen 2 dagen is een opvallend feit. De stroomrichting vertoont een dubbeldaagse variatie van ca.  $15^{\circ}$  rond een gemiddelde van  $290^{\circ}$ . Deze variatie is toe te schrijven aan het dubbeldaagse maans-

en zonsgetij dat ter plaatse een staand karakter draagt. Daar de meter een dieptesensor bevatte en zich bovendien op een bij benadering constante afstand van de bodem bevond, leverde de dieptemeting een relatieve getijmeting op. Het verval van bijna 1.5 meter is in overeenstemming met bekende lokale getijgegevens. Het staande karakter van het getij blijkt uit vergelijking van de grafieken van richting en meetdiepte, nl. voor richtingen kleiner dan  $290^{\circ}$  (kustwaartse stroomcomponent) een groter worden van de meetdiepte (dus een toename van de waterstand) en vice versa.

Bovendien levert een summier getijanalyse met slechts een enkeldaagse, een dubbeldaagse en een viermaaldaagse component zowel voor de stroom als voor de meetdiepte, een faseverschil tussen stroom en meetdiepte van ca.  $90^{\circ}$  op, hetgeen het staande golfkarakter van het getij bevestigt. De gemiddelde stroom volgens deze getijanalyse is 64 cm/s met een richting van  $290^{\circ}$ ; het getij is dubbeldaags met een amplitude van 12 cm/s.

### 3. Conclusie.

Uit dit artikel dat noodzakelijkerwijs in hoofdzaak beschrijvend is gebleven, valt te concluderen dat de zoetwaterafvoer van de Amazone in de Guyanastroom zich vrijwel analoog voltrekt als de afvoer van warm water van een energiecentrale in een rivier. Dat wil dus zeggen dat de verzoeting van het oceaanooppervlak zich manifesteert als een pluim waarvan de horizontale dimensies uit uitgestrekter worden naarmate de afstand tot de Amazone-mond toeneemt. Onderbrekingen van de zoetwaterafvoer al of niet gepaard gaand met vorming van geïsoleerde zoetwaterbellen, zijn niet geconstateerd. Ook wat de verticale dimensies betreft gaat de bovengeschetste vergelijking op. Na een snelle menging van rivierwater met oceaانwater wordt het verzoete oceaانwater in een dunne laag afgevoerd in de Guyanastroom. Deze laag wordt diepreikender en uiteraard ook zouter, door inmenging van oceaانwater, naarmate de afstand tot de Amazone-mond toeneemt.

Zeer karakteristiek voor de verzoete oppervlaktelaag zijn de grote stroomsnelheden (gemeten tot bijna 4 knopen ter hoogte van de Ojapok-rivier) en de sterke stroomgradiënten die erin voorkomen.

### 4. Besluit.

De meet- en waarnemingsresultaten die aan dit werk ten grondslag liggen zijn verzameld door medewerkers van het N.I.O.Z. en van het K.N.M.I.,

in samenwerking met personeel van de Koninklijke Marine, speciaal zij die aan boord van Hr.Ms. "Luymes" hebben gevaren. Een bijzonder woord van dank is op zijn plaats voor de voortreffelijke wijze waarop aan boord de navigatie werd verzorgd, waaruit de positie-bepalingen resulteerden met een hoge graad van nauwkeurigheid. Dank wordt ook gebracht aan de Braziliaanse Marine, die ons de waarnemingen, verricht op de 46e tocht van het NOc "Almirante Saldanha", welwillend ter beschikking heeft gesteld.



Literatuur.

- Eisma, D. 1967 Oceanographic observations on the Surinam Shelf, Hydrographic Newsletter, Special publ. 5.
- Eisma, D. and Bennekom, A.J. van, 1971 Oceanographic observations on the eastern Surinam Shelf. Hydrographic Newsletter Special publ. 6.
- Fukuoka, J., 1971 The meandering of the ocean current east of Guyana. Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente, 10, 25-28.
- Gibbs, R.J., 1969 Circulation in the Amazon River, Estuary and Adjacent Atlantic Ocean. J. Marine Research 28: 113-121.
- Herrera, L.E. and Snooks, J.H., 1969 An investigation of the circulation pattern in the western tropical Atlantic Ocean during Equalant I and III. Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente, 8,: 35-45.
- Ljøen, R. and Herrera, L.E., 1965 Some oceanographic conditions of the coastal waters off eastern Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente, 4(1): 7-50.
- Metcalf, W.G. and Stalcup, M.C., 1967 Origin of the Equatorial Undercurrent. J. Geophys. Res. 72 (20): 4929-4975.
- Metcalf, W.G., 1968 Shallow currents along the northeastern coast of South America. J. Mar. Res. 26, 232-243.
- Neumann, G. and Pierson, W.J., 1966 Principles of physical oceanography Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Neumann, G., 1969 Seasonal Salinity variations in the upper strata of the western tropical Atlantic Ocean. I. Sea surface salinities. Deep Sea Res. Suppl. to Vol. 16, 165-177.

Oltman, R.E., 1967

Reconnaissance investigations of the discharge and water quality of the Amazon. Atas do Simpósio Sobre a Biota Amazonica 3 (Limnologica): 163-185.

Ryther, J.H., Menzel D.W.  
and Corwin, N., 1967

Influence of the Amazon river outflow on the ecology of the Western Tropical Atlantic I.

Hydrography and nutrient chemistry. J. Mar. Res. 25, 69-83.

Vapnyar, D.Y., 1967

Some results of computing the Gradient Currents in the western part of the equatorial Atlantic.

Oceanology 7: 338-343.

TABLE I

Survey of drift-bottle results, during September-October 1970 (CICAR 16/17)

Batch no	data of launching				data of recovering					Theor. days at sea
	lat. N o ' "	long W o ' "	date 1970	surface salinity	number of bottles	number of bottles	area	nr.	days at sea (min.)	
1	0452	5139	26 IX	30	50	1	British Honduras	1	363	68
2	0633	5035	29 IX	34,5	50	1	North Carolina	1	318	105
3	0558	5253	2 X	33	50	2	Nicaragua	1	131	48
4	0802	5249	5 X	33	50	-	Panama	1	268	60
5	0655	5522	7 X	36	50	3	-	-	-	-
6	0604	5111	11 X	30	50	2	Nicaragua Honduras	1	111	44
7	0539	5143	13 X	32,5	50	1	Panama	1	115	50
8	0635	5515	23 X	30	50	9	Panama	1	250	56
9	0710	5128	27 X	28	50	2	Mexico	1	181	67
10	0914	4735	29 X	34	50	3	Nicaragua Panama Trinidad Martinique Nicaragua St. Lucia Florida British Honduras	1	198	45
								1	208	70
								9	23	18
								1	74	19
								1	152	48
								1	62	26
								1	231	75
								1	229	68

TABLE II

Survey of drift-bottle results, during March 1971, Cicar 22.

Batch No.	data of launching				data of recovering					
	lat. N o ' "	long W o ' "	date 1971	surface salinity	number of bottles	number of bottles	area	nr.	days at sea (min.)	Theor. days at sea
11	0442	5146	22 III	10	25	3	British Guyana	3	21	14
12	0459	5136	22	21	25	1	Florida	1	312	75
13	0514	5122	22	34	25	1	St. Vincent	1	103	21
14	0532	5108	22	36	25	2	Grenada	2	33	22
15	0545	5055	22	36	25	1	Hispaniola	1	149	47
16	0604	5037	22	36	25	1	Martinique	1	101	23
17	0632	5036	22	36	25					
18	0649	5019	22	36	25					
19	0614	5018	23 III	36	25					
20	0551	5025	23	36	25					
21	0527	5032	23	36	25					
22	0529	5043	23	36	25	1	Nicaragua	1	127	54
23	0534	5106	23	36	25	1	Tobago	1	42	20
24	0532	5112	23	36	25					
25	0522	5120	23	35	25					
26	0514	5127	23	34	25	1	Tobago	1	67	20
27	0504	5130	23	30	25					
28	0454	5132	23	28	25	7	British Guyana	7	16	14
29	0445	5135	23	22	25					
30	0442	5139	23	22	25					
31	0444	5147	23	21	25					

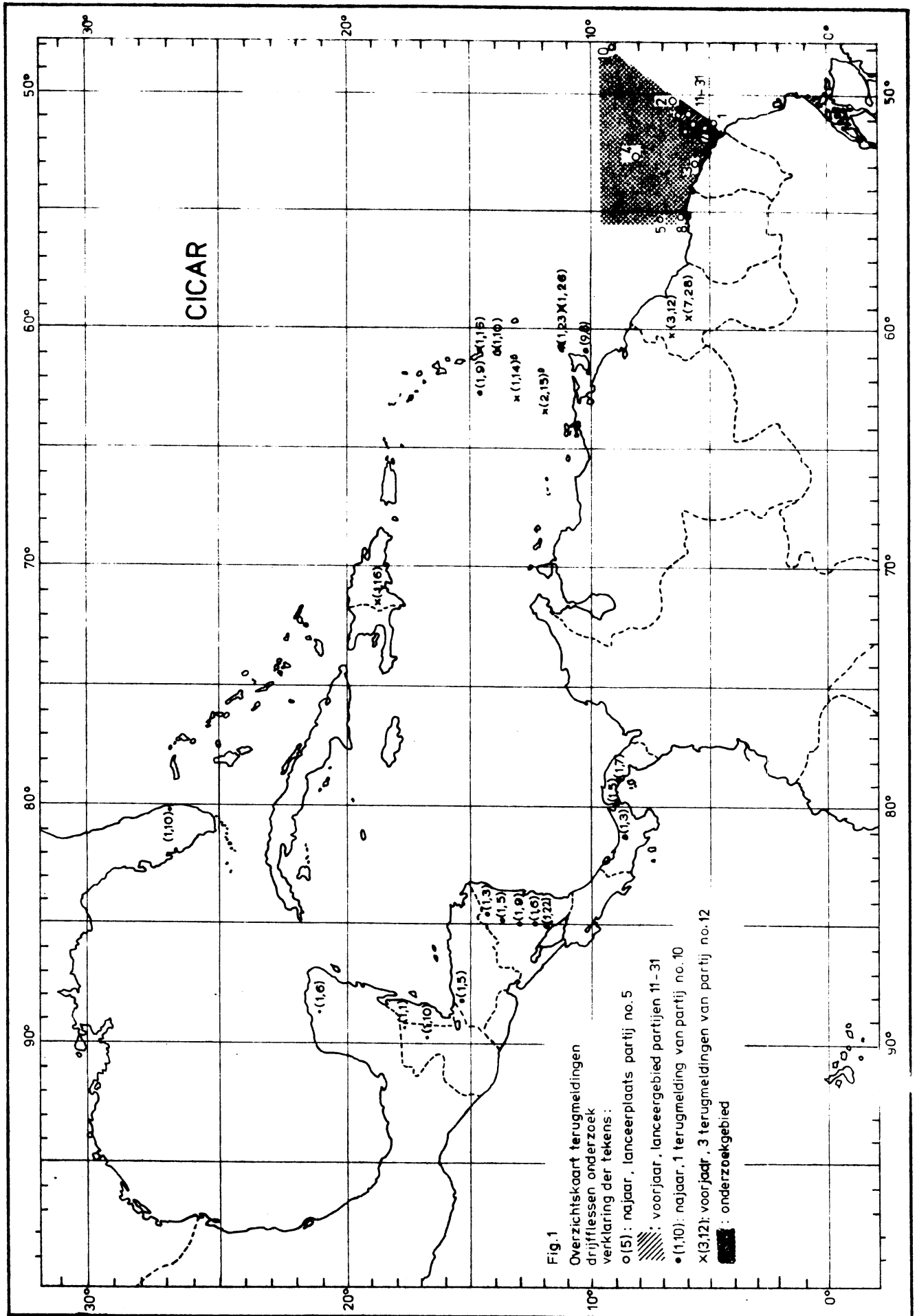
TABLE III

FRESH WATER DISCHARGE  $\times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ 

leg	Period	Fresh water intersections $\times 10^3 \text{ m}^2$ between isohalines					Estimated current velocity $\text{ms}^{-1}$	Fresh water discharge $10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
		0-30	30-32	32-35	35-36	Total		
I	1970 29-30/9 14/10	285	40	51	3	379	) $0.3 \pm 0.2$	114+75
		300	25	32	5	363		108+72
II	14-15/10	58	20	68	23	169	$0.8 \pm 0.3$	135+50
III	25-29/9	84	41	55	25	169	$1.0 \pm 0.3$	169+50
V	30/9-2/10	-	-	104	30	134	$1.0 \pm 0.3$	134+40
VI	5-6/10	-	-	151	88	239	$0.5 \pm 0.2$	118+48
III	1971 22/3 23-24/3	162	→	26	6	194	) $1.5 \pm 0.4$	292+78
		158	→	55	12	225		338+90
V	24/3	→	→	91	36	127	$1.5 \pm 0.4$	190+50
VI	26-27/3	14	→	104	53	171	$1.2 \pm 0.3$	205+50

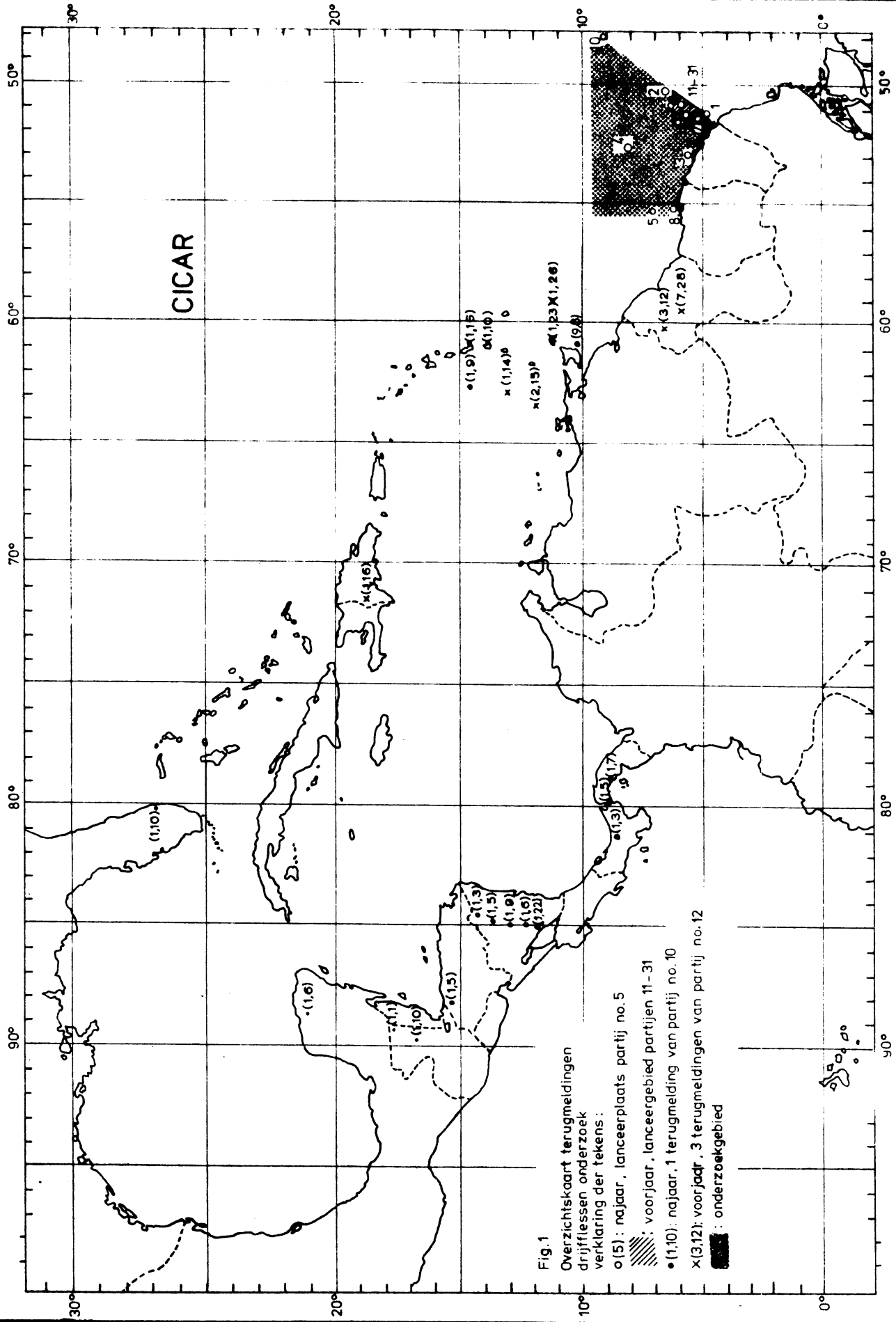
Figure captions.

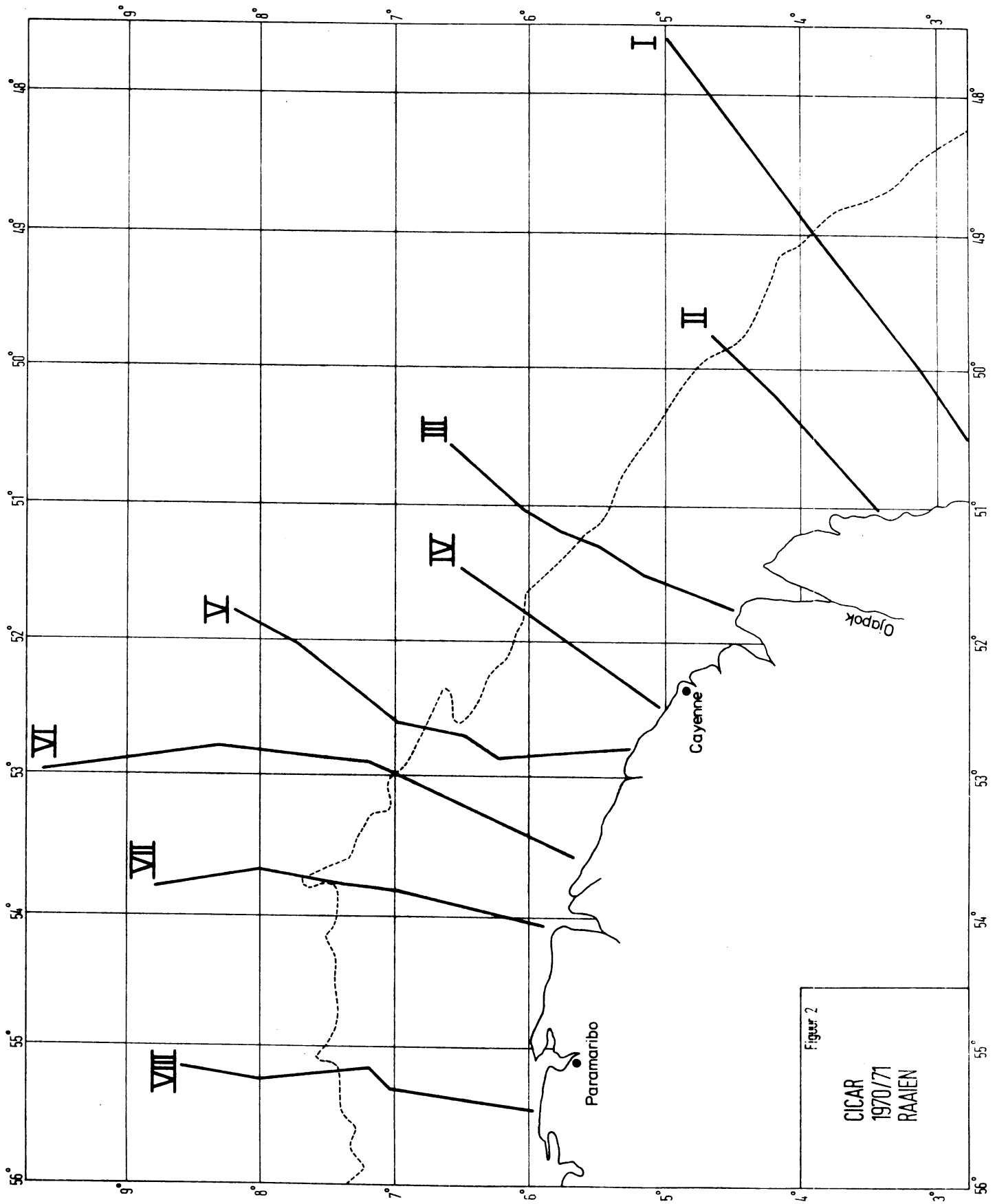
- Fig. 1. General survey of the cicar region with (shaded) the area investigated and described in this paper.  
Drift bottle data:  
O(5): autumn 1970, launching position of patch no. 5  
hatched: spring 1971, launching positions of patches 11-31  
. (1,10): autumn, one recovery of patch no. 10  
x(3,12): spring, 3 recoveries of patch no. 12
- Fig. 2. Cicar 16/17, autumn 1970 and cicar 22 and 23, spring 1971.  
Legs no. I-VIII.
- Fig. 3. Hr.Ms. "Luymes" cicar 16/17 and NOc "Almirante Saldanha",  
cruise no. 46.  
Surface salinity, compare fig. 7.
- Fig. 4. Cicar 22, spring 1971. Surface salinity, 17-29 March;  
compare fig. 8.
- Fig. 5. Cicar 23, spring 1971. Surface salinity, 15-19 April,  
based on surface samples along tracks.
- Fig. 6. Cicar 23, spring 1971. Surface salinity, 19-27 April,  
based on surface stations.
- Fig. 7. Hr.Ms. "Luymes" cicar 16/17 and NOc "Almirante Saldanha",  
cruise no. 46.  
Windchart.
- Fig. 8. Cicar 22, spring 1971, windchart.
- Fig. 9. "Almirante Saldanha", cruise 46, legs I and II.  
Salinity sections.
- Fig.10. Cicar 16, legs III, V and VII. Salinity sections.
- Fig.11. Cicar 22, leg III, salinity sections.
- Fig.12. Cicar 22, legs V and VI. Salinity sections.
- Fig.13. Cicar 16, leg IV (autumn 1970).
- Fig.14. Anchor stations cicar 16/17 autumn 1970. Mean salinity,  
regularly measured salinity and current observations.
- Fig.15. Anchor stations cicar 22, spring 1971. Mean salinity regularly  
measured salinity and current observations.
- Fig.16. Current metre station during cicar 16. Results.



CICAR

Fig. 1  
 Overzichtskaart terugmeldingen  
 drijfvliesen onderzoek  
 verklaring der tekens:  
 o (5) : najaar, lanceerplaats partij no. 5  
 // : voorjaar, lanceergebied partijen 11-31  
 • (1,10) : najaar, 1 terugmelding van partij no. 10  
 x (3,12) : voorjaar, 3 terugmeldingen van partij no. 12  
 ■ : onderzoekgebied

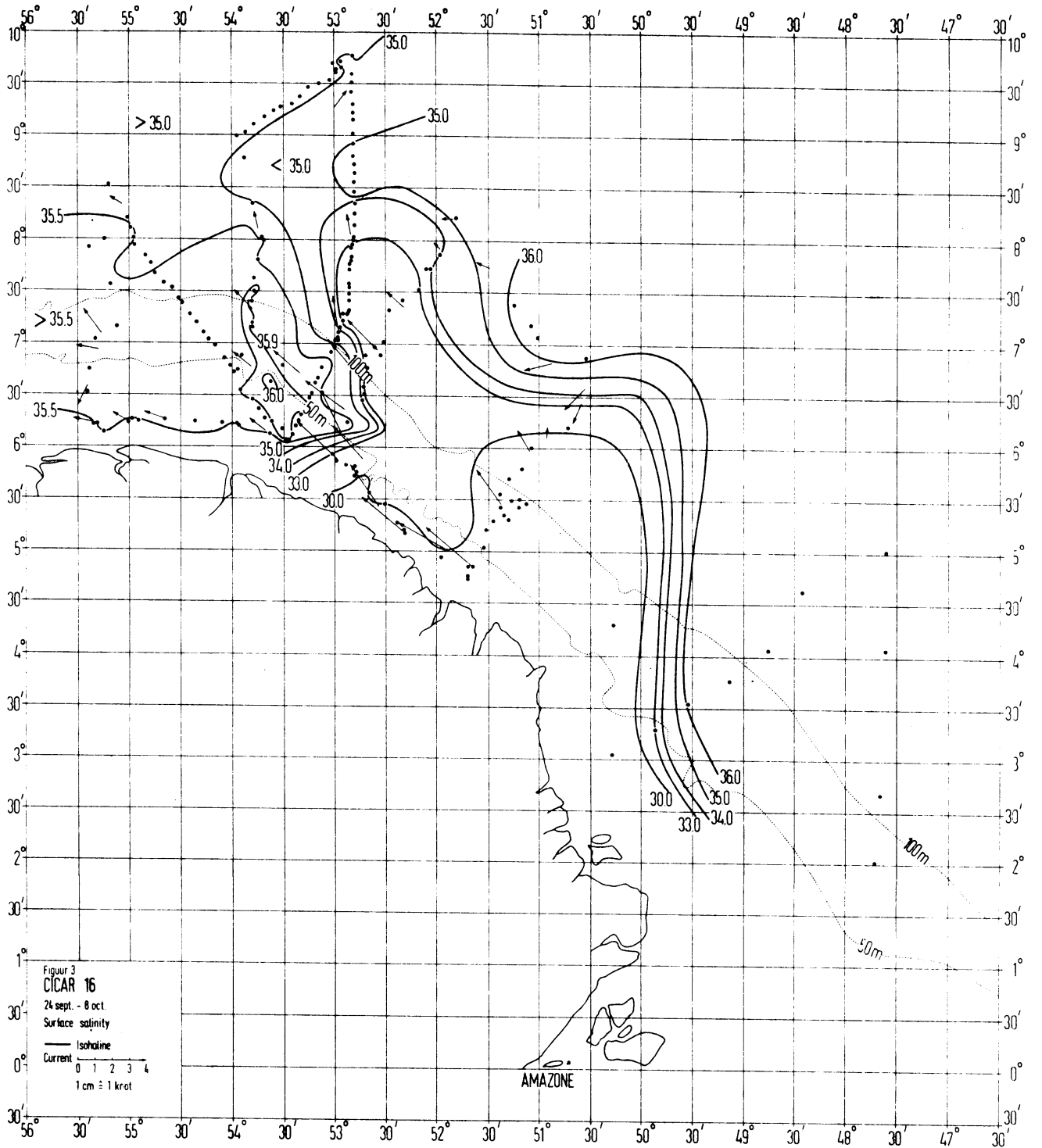


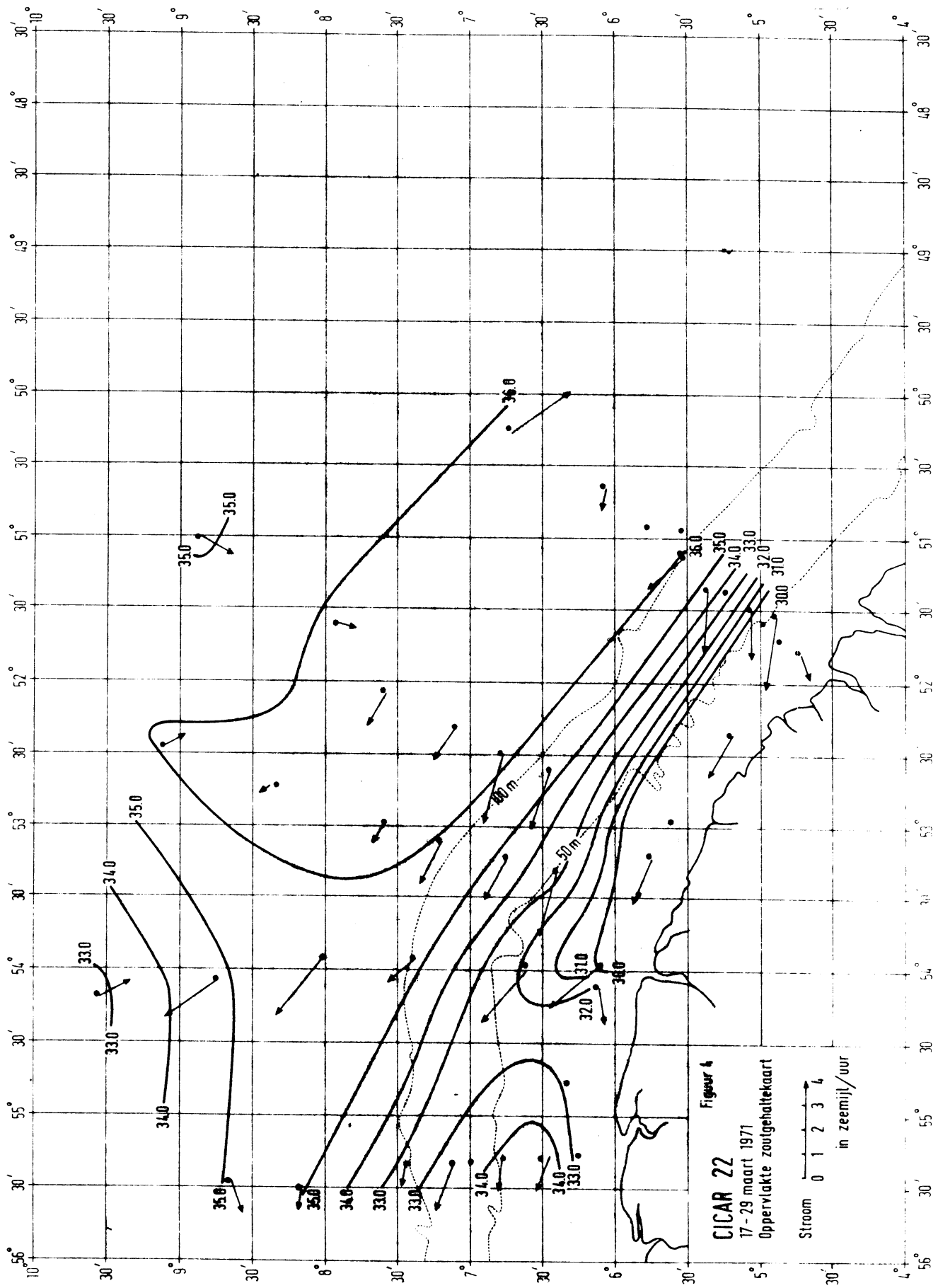


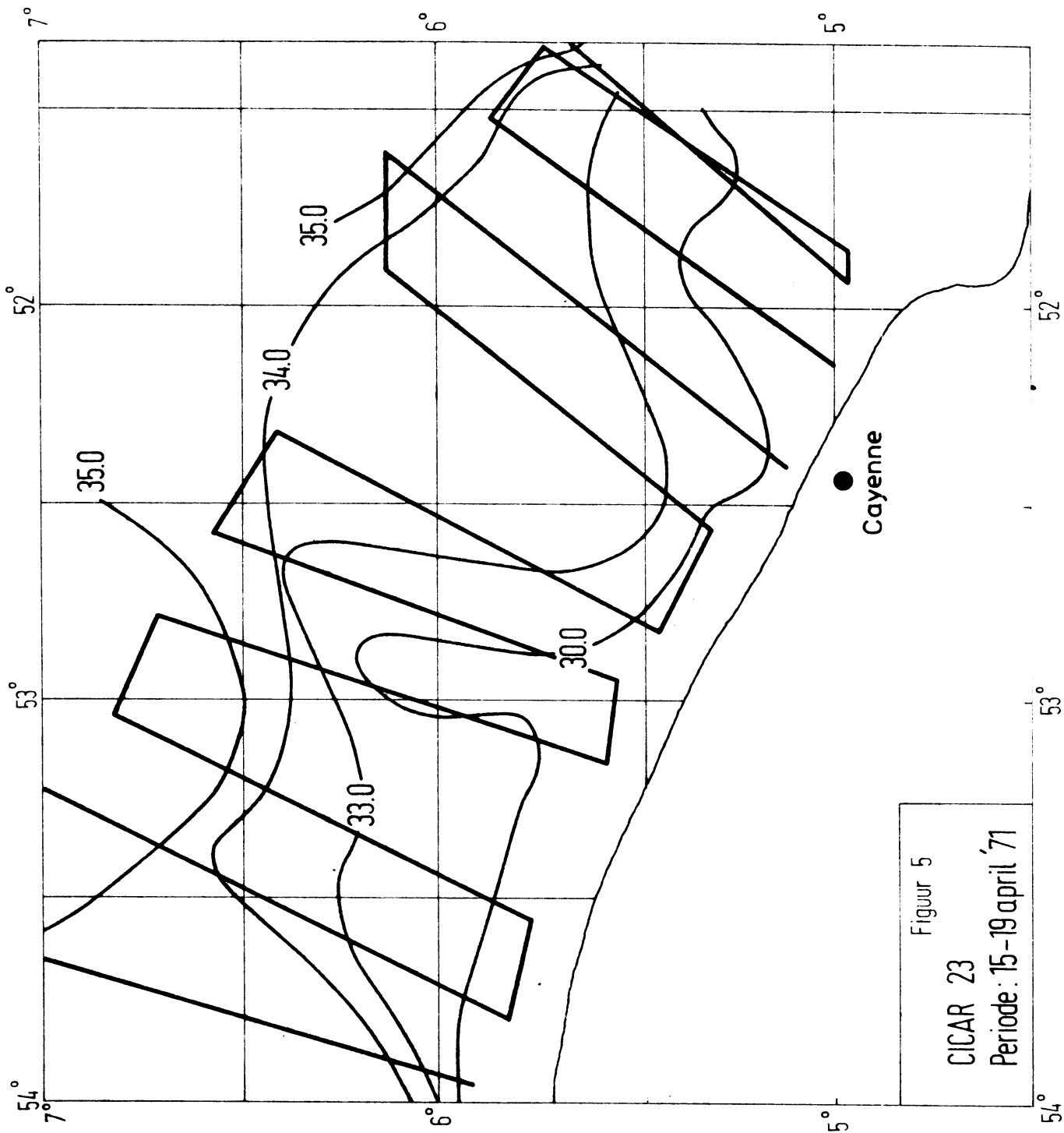
Figuur 2

CICAR  
1970/71  
RAAIEN









Figur 5  
 CICAR 23  
 Periode: 15-19 april '71

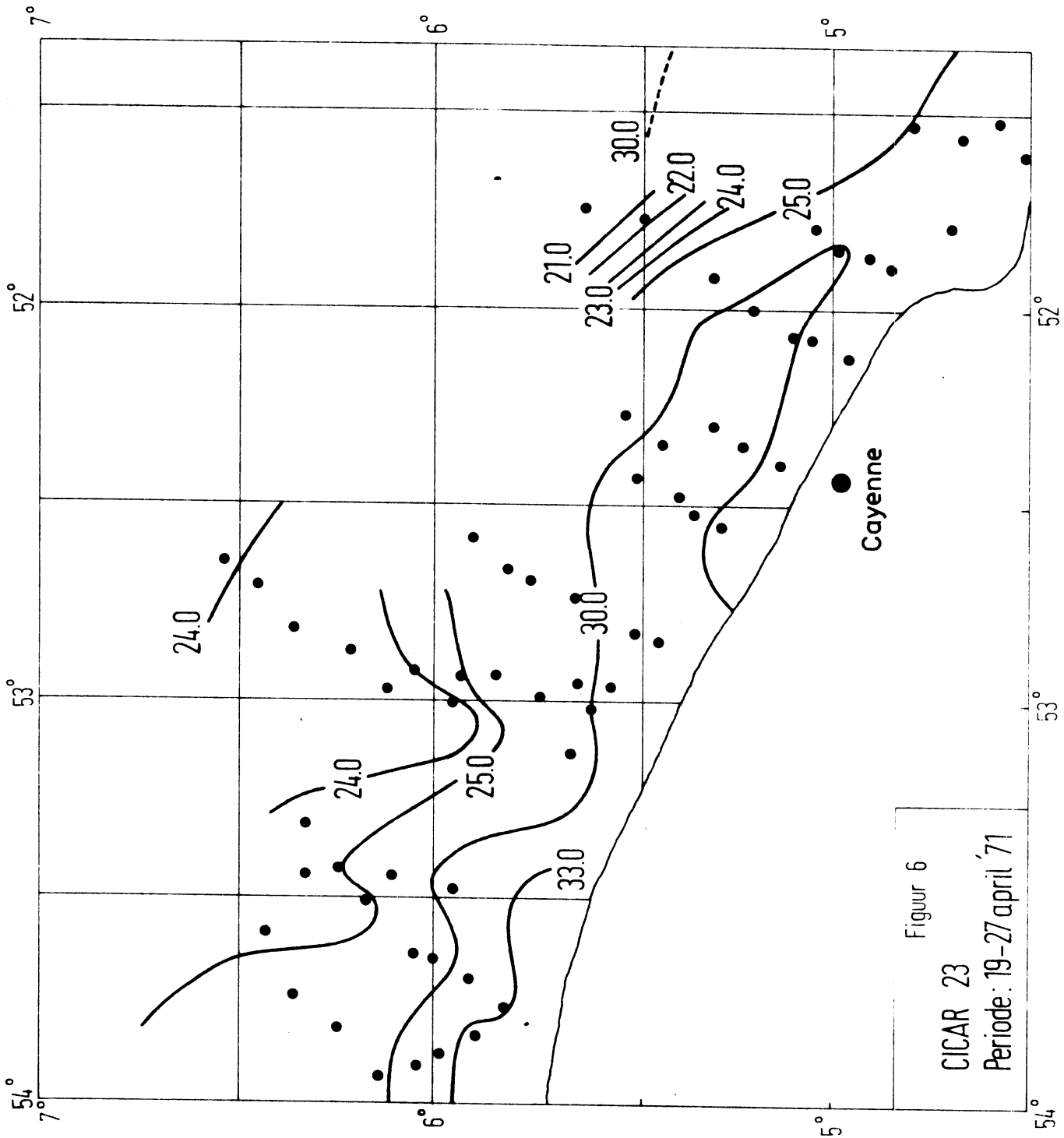
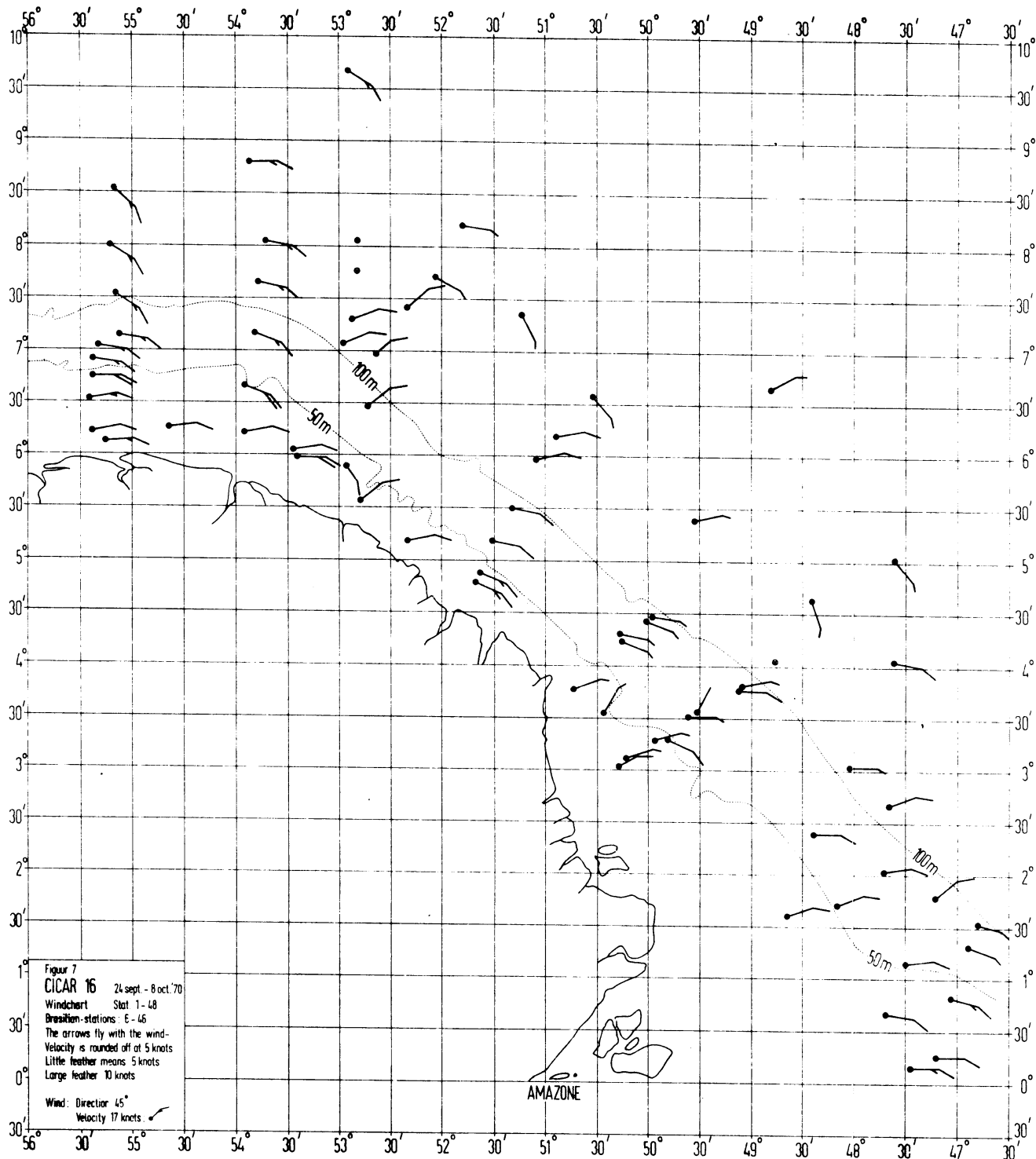
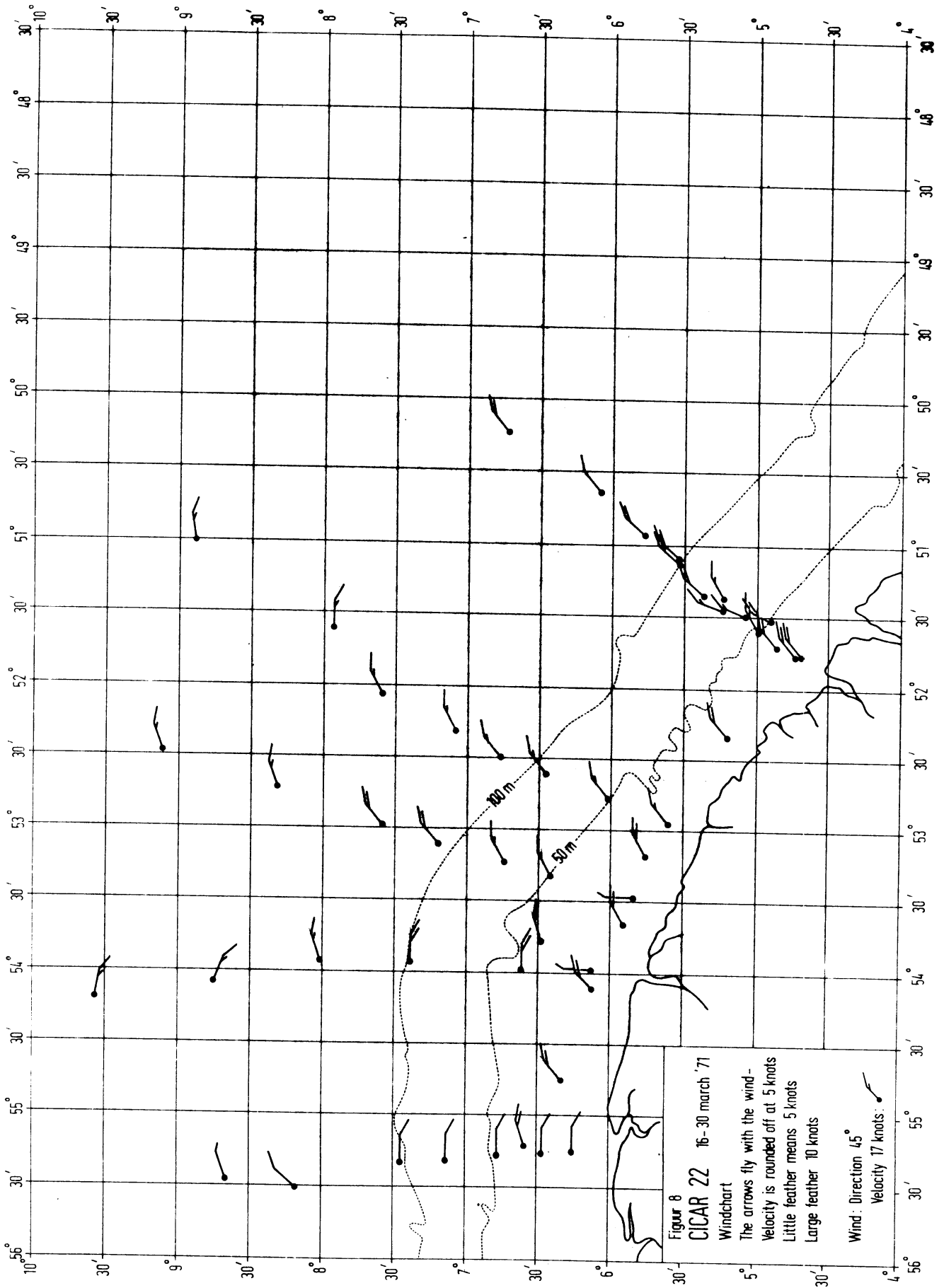
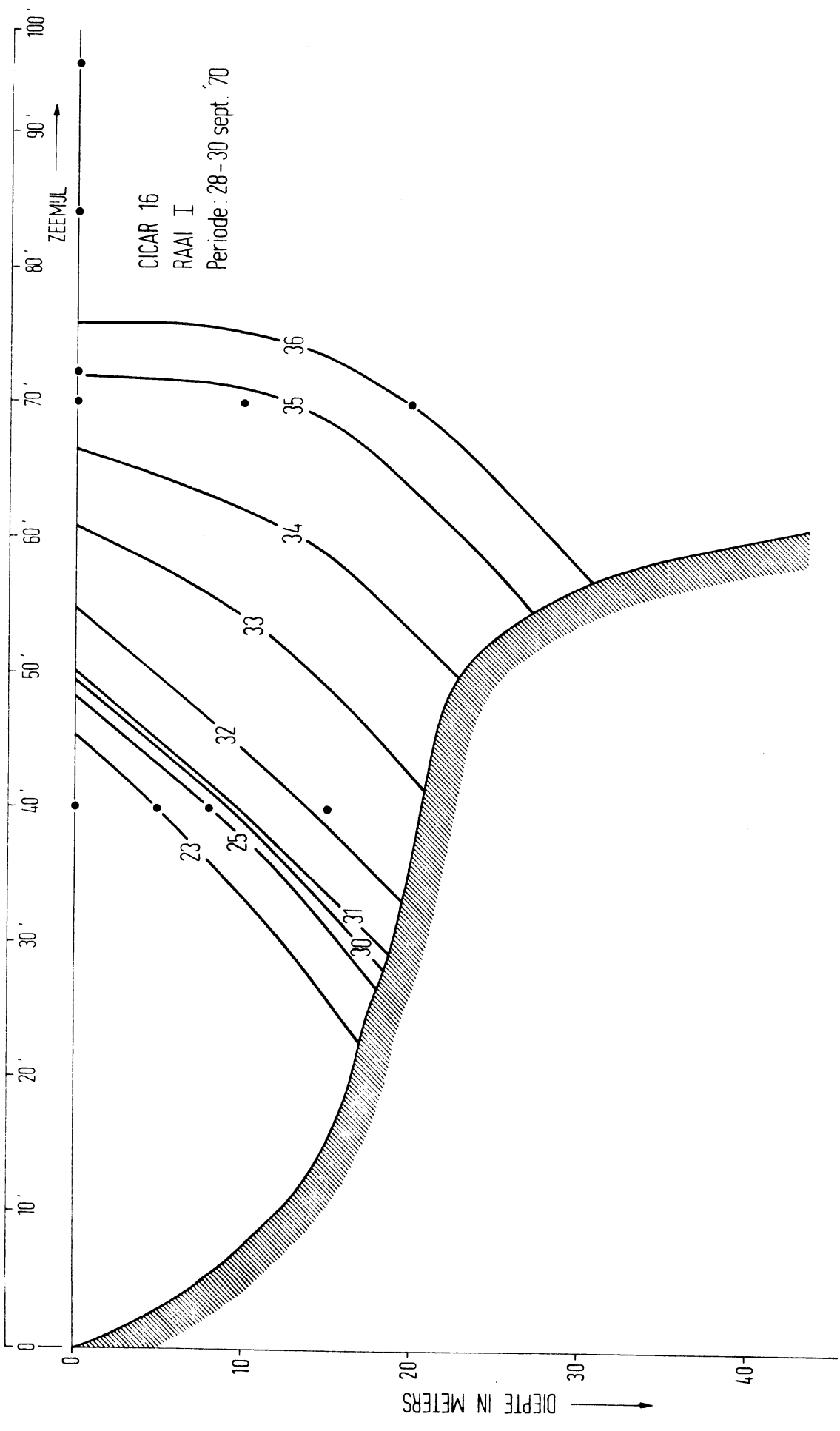
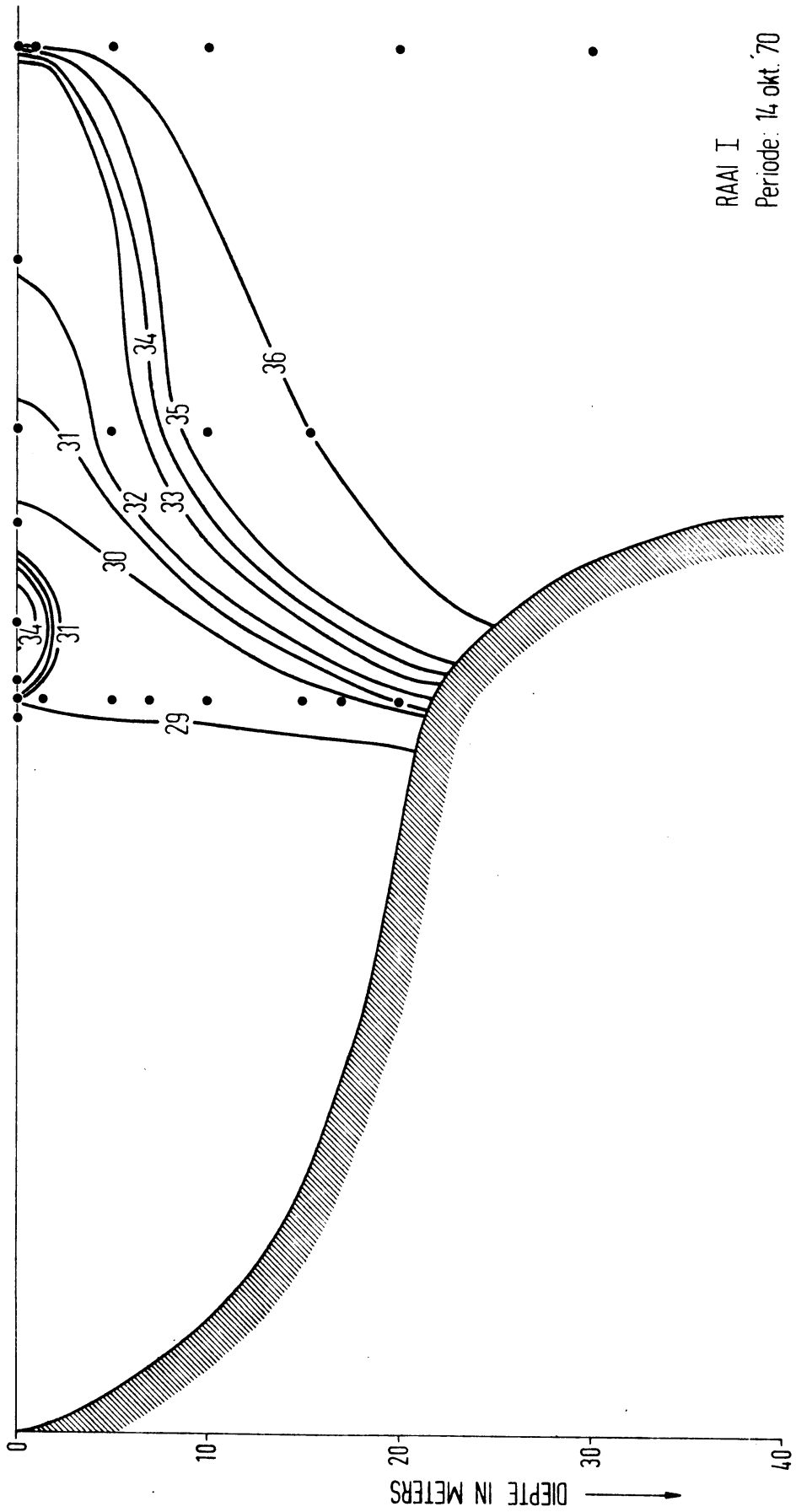


Figure 6  
 CICAR 23  
 Periode: 19-27 april '71



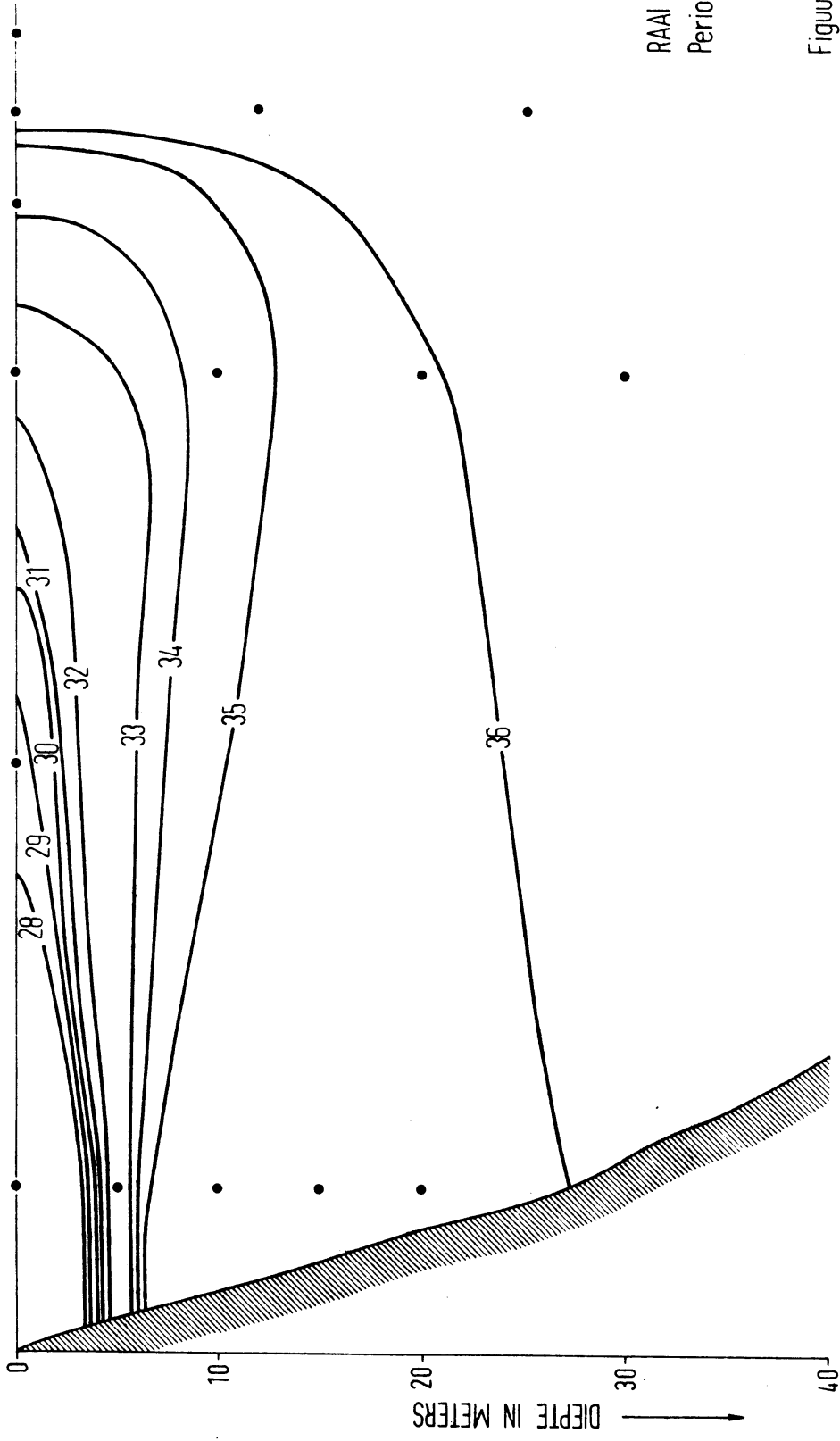






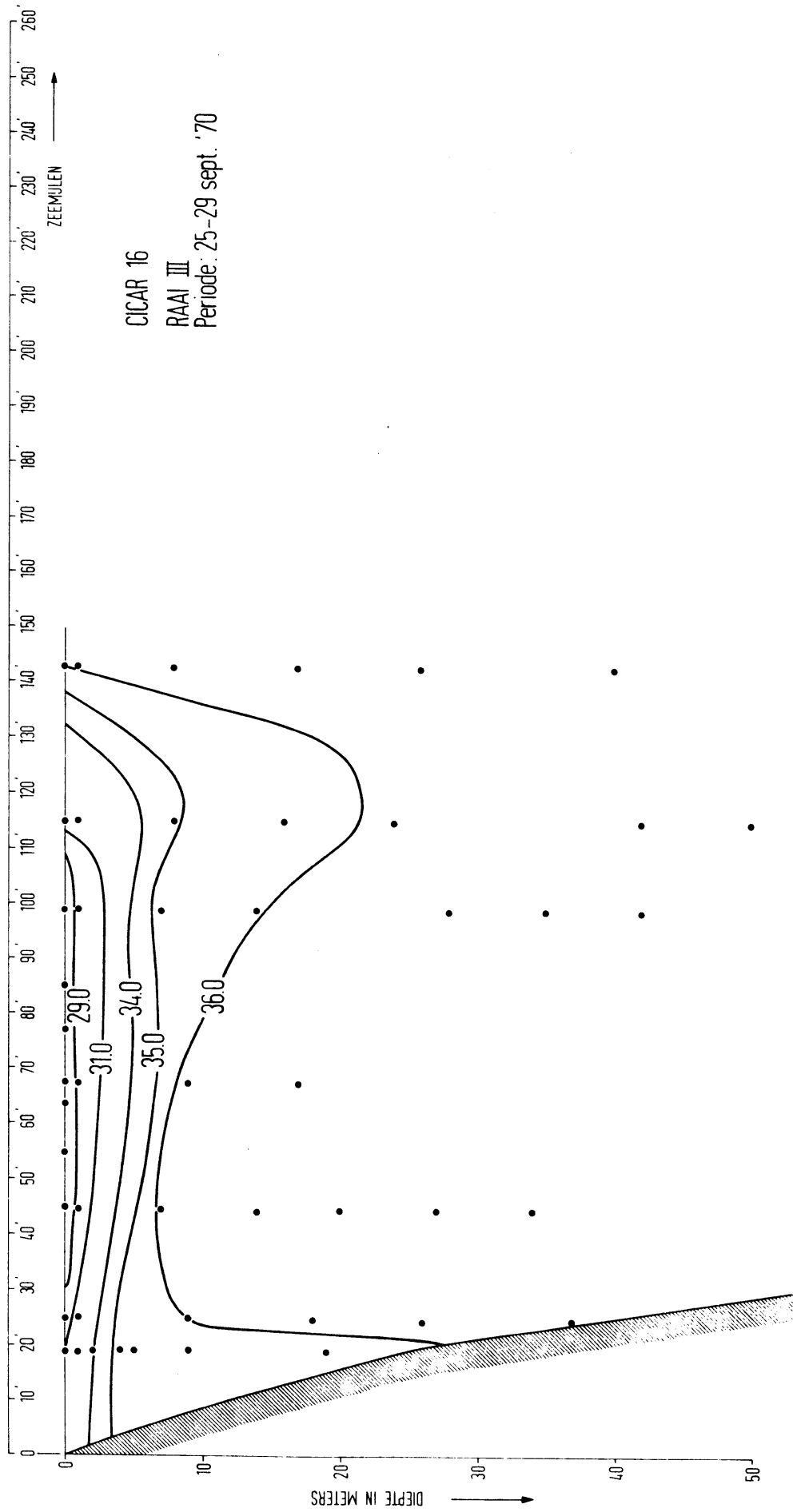
RAAI I  
Periode: 14 okt. '70



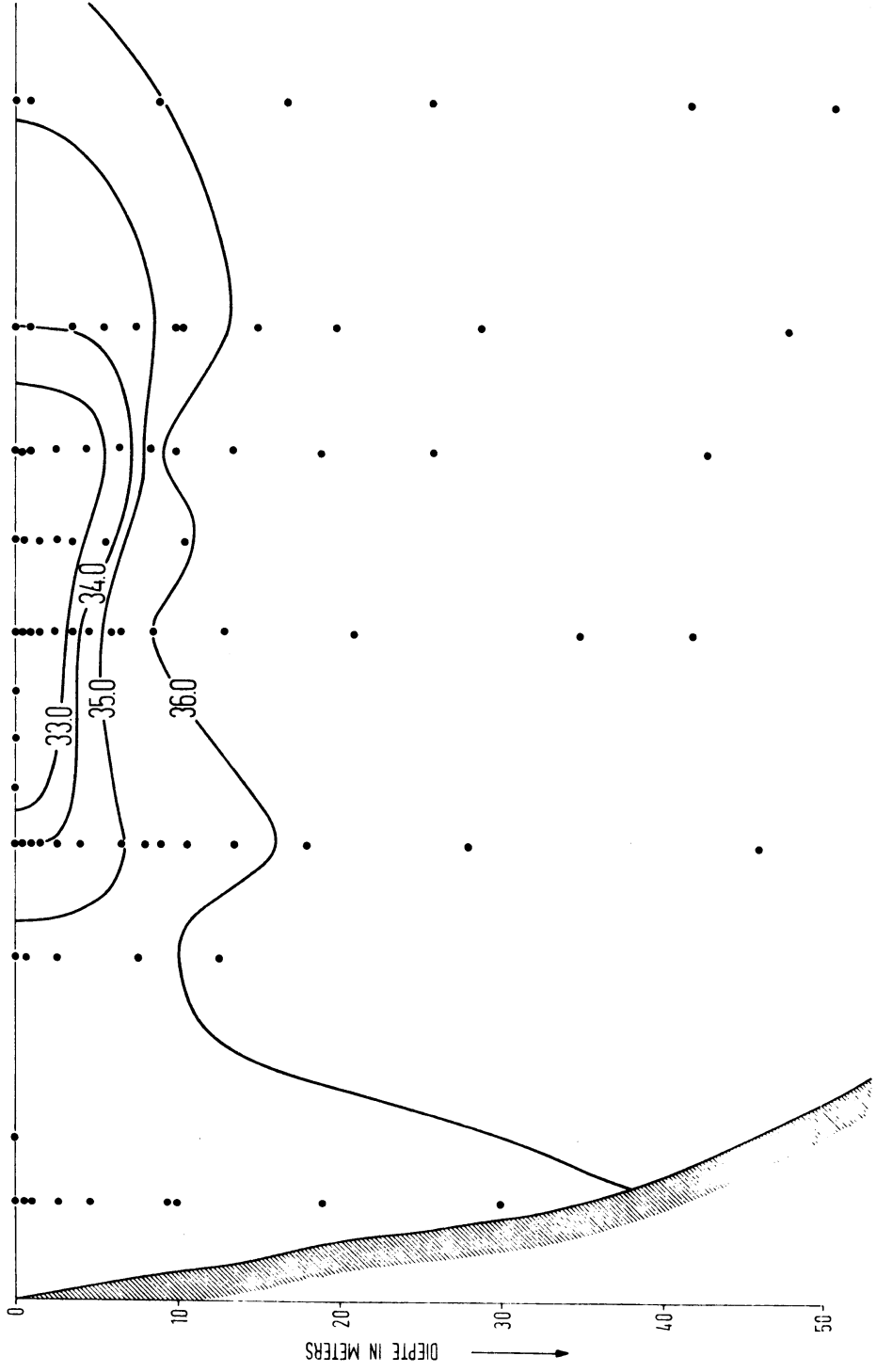


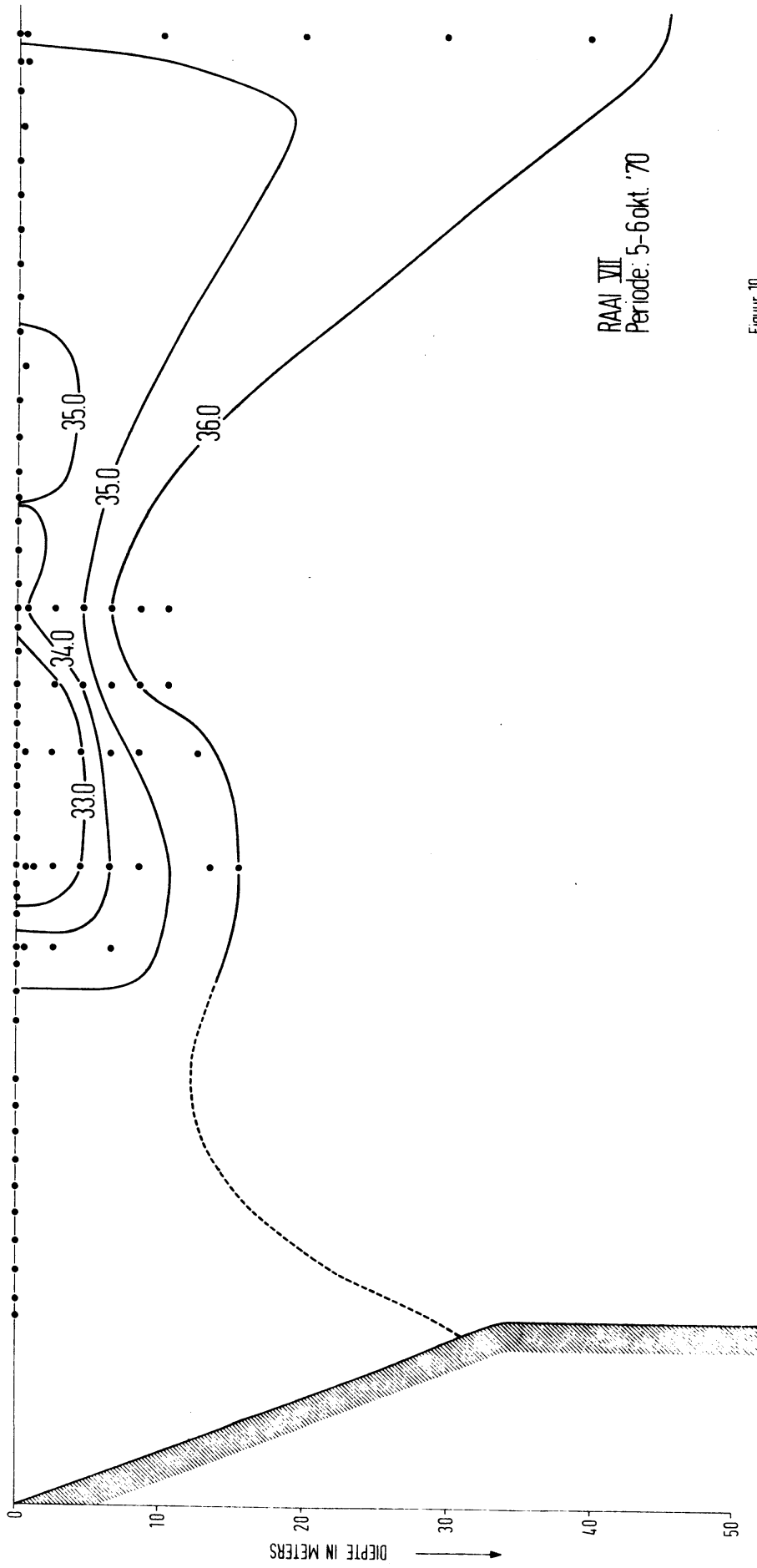
RAAI II  
 Periode: 14-15 okt. '70

Figuur 9



RAAI V  
Periode: 30 sept. - 2 okt. '70





Figuur 10

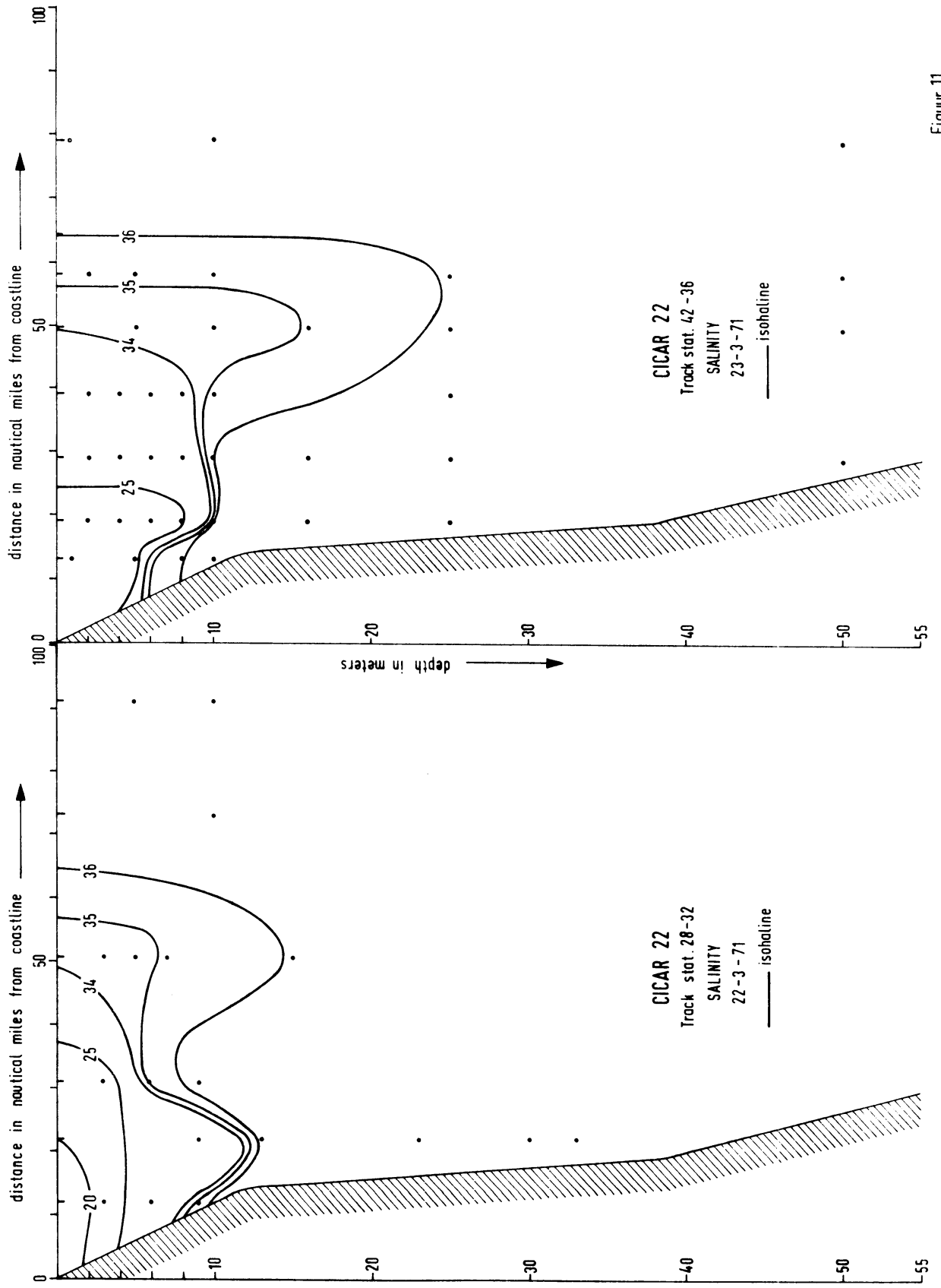
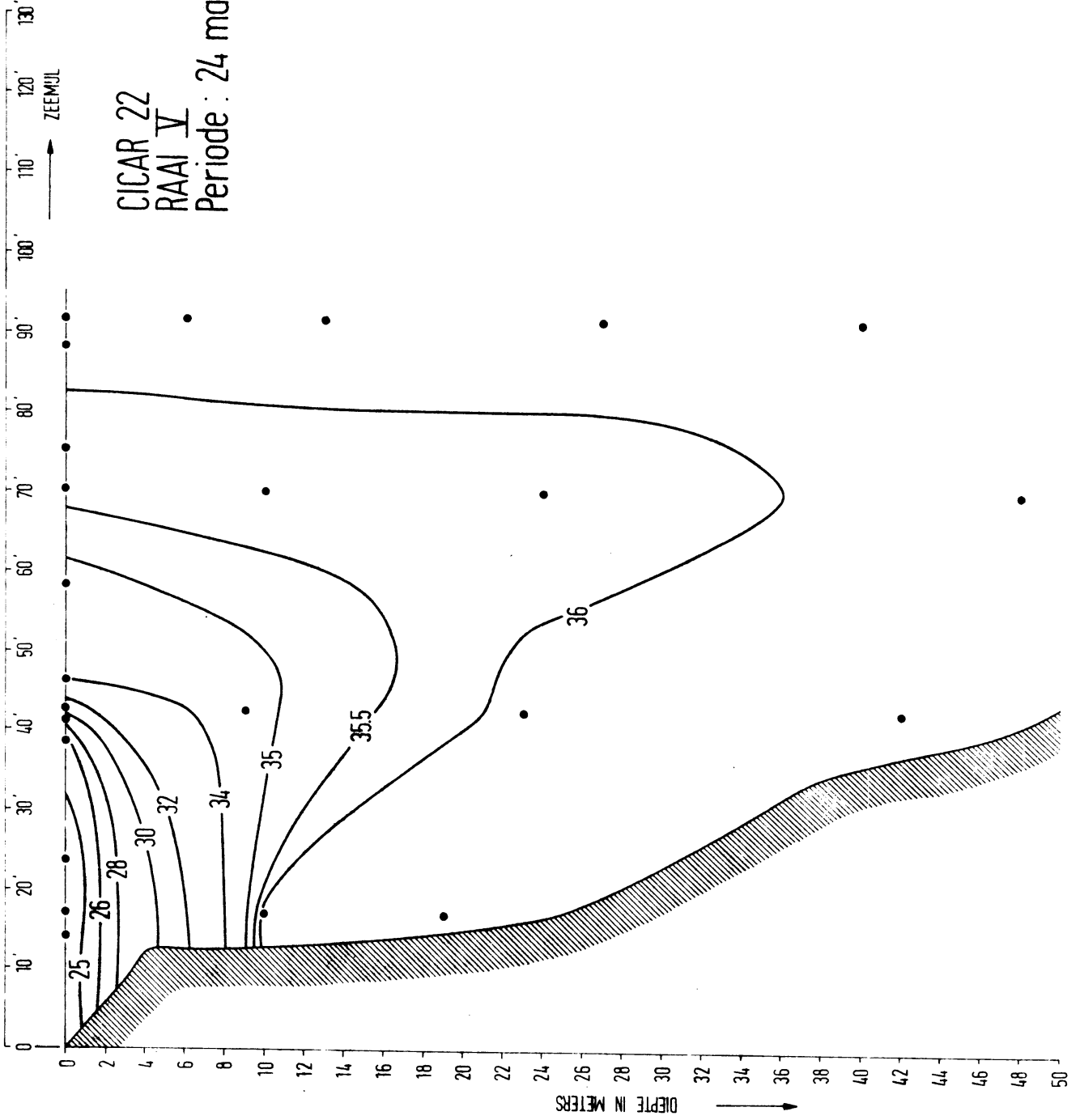
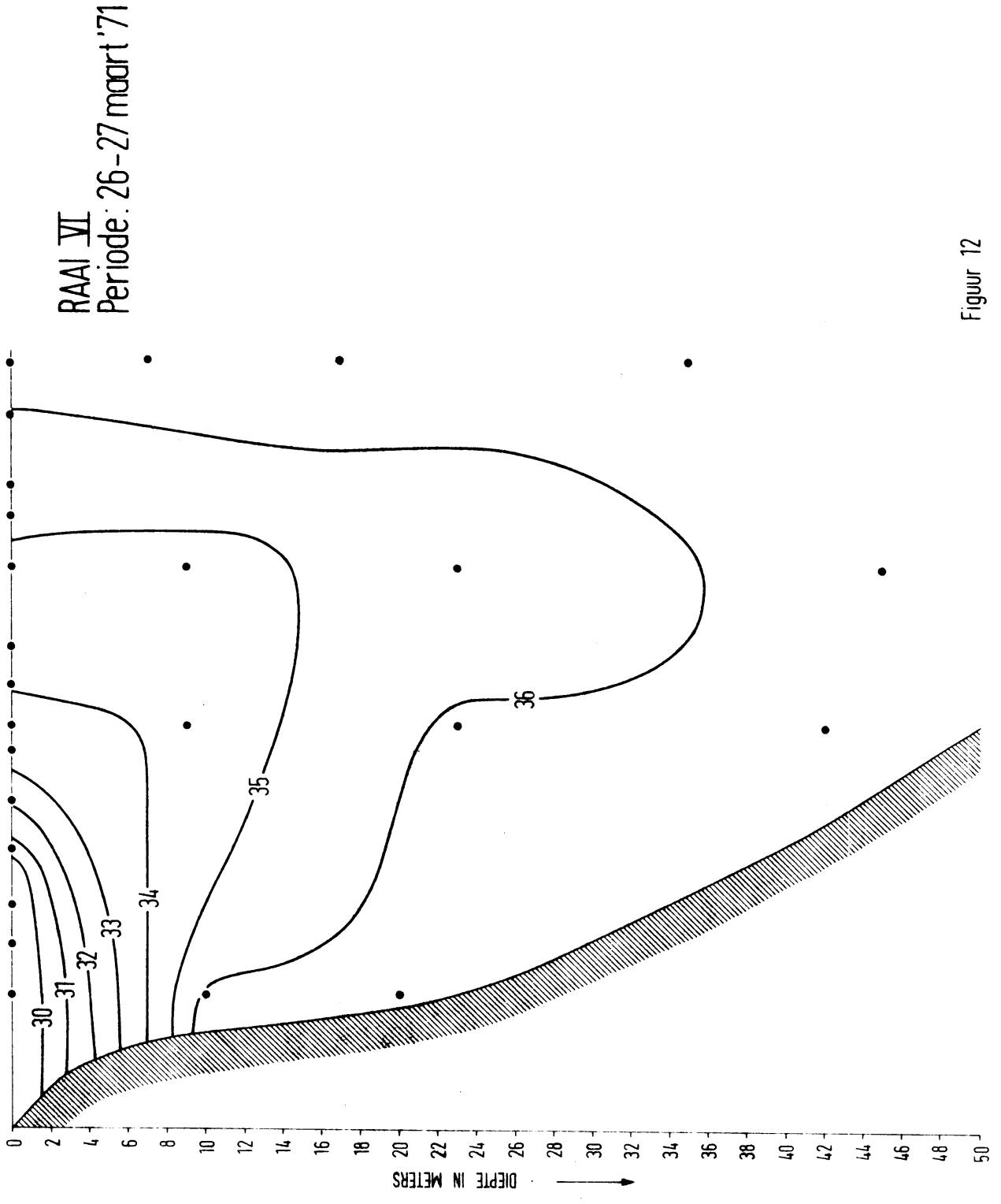
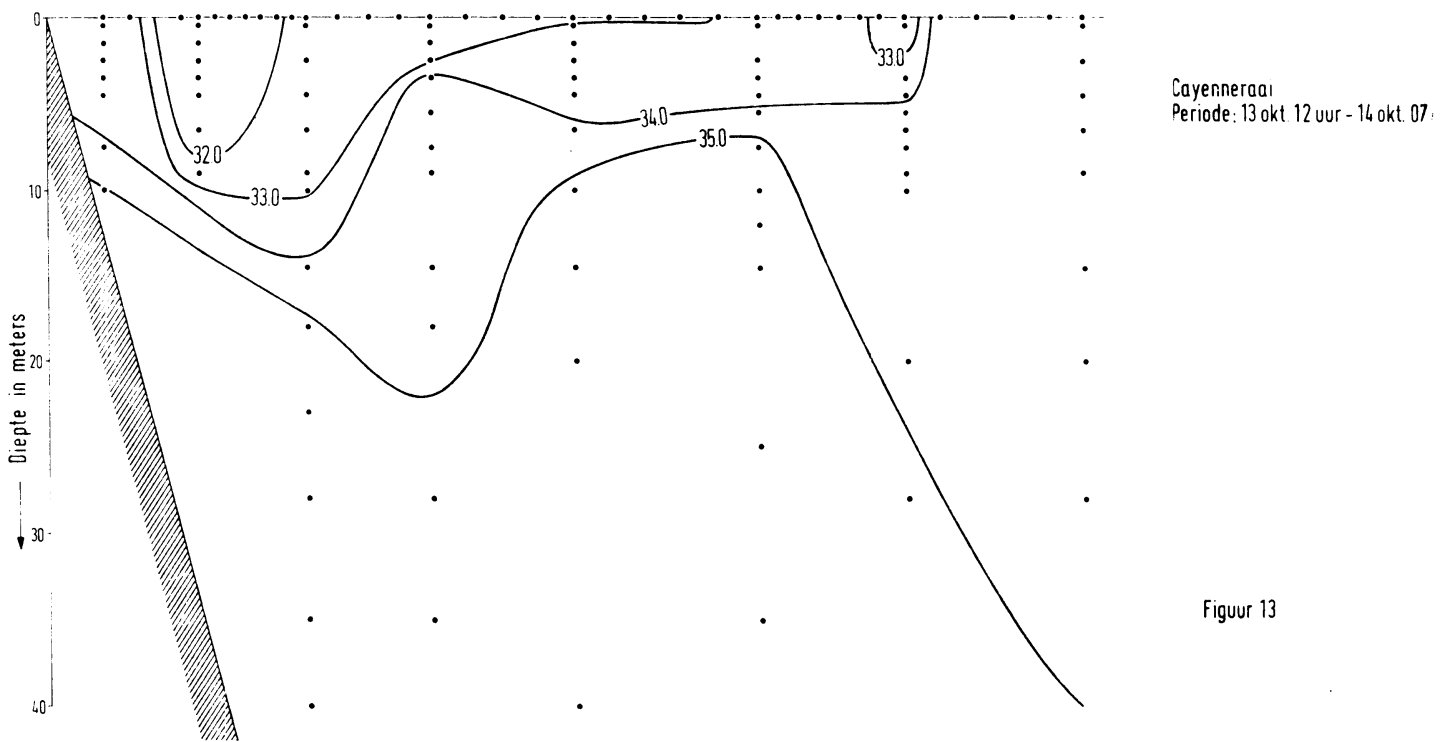
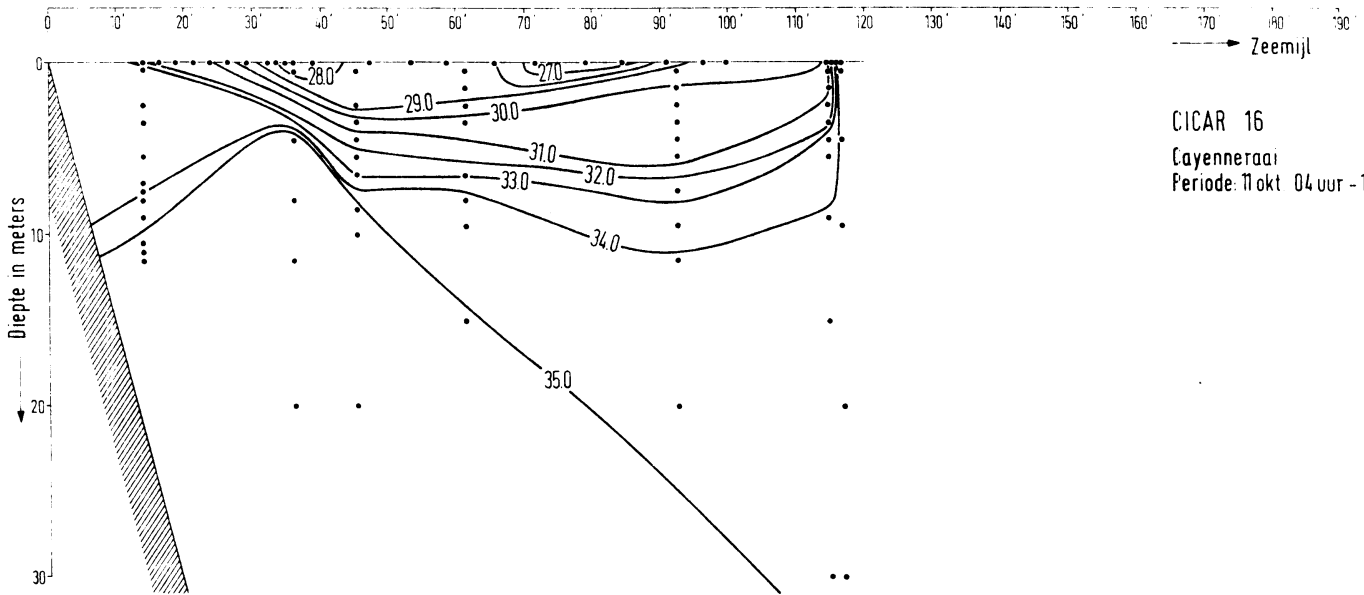


Figure 11



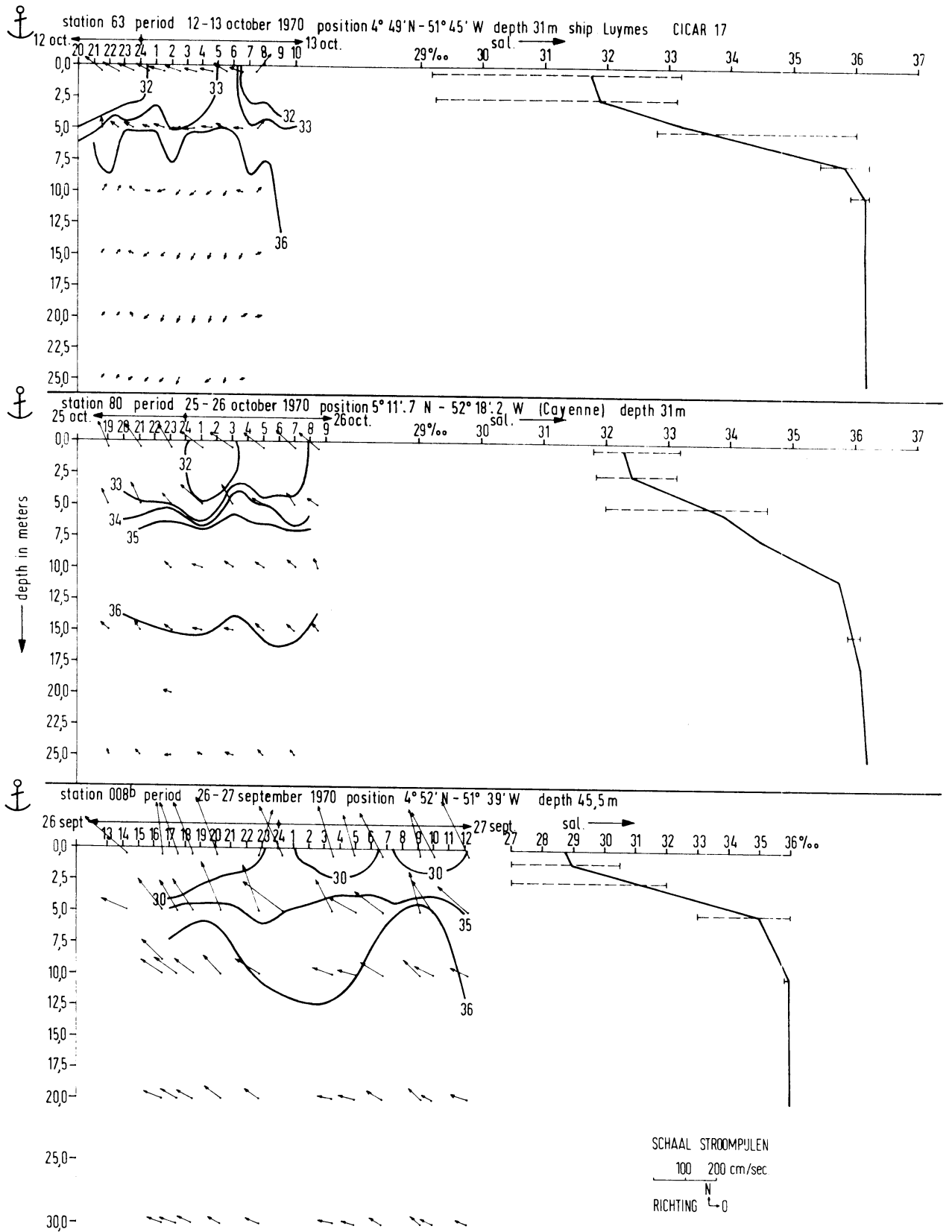


Figuur 12

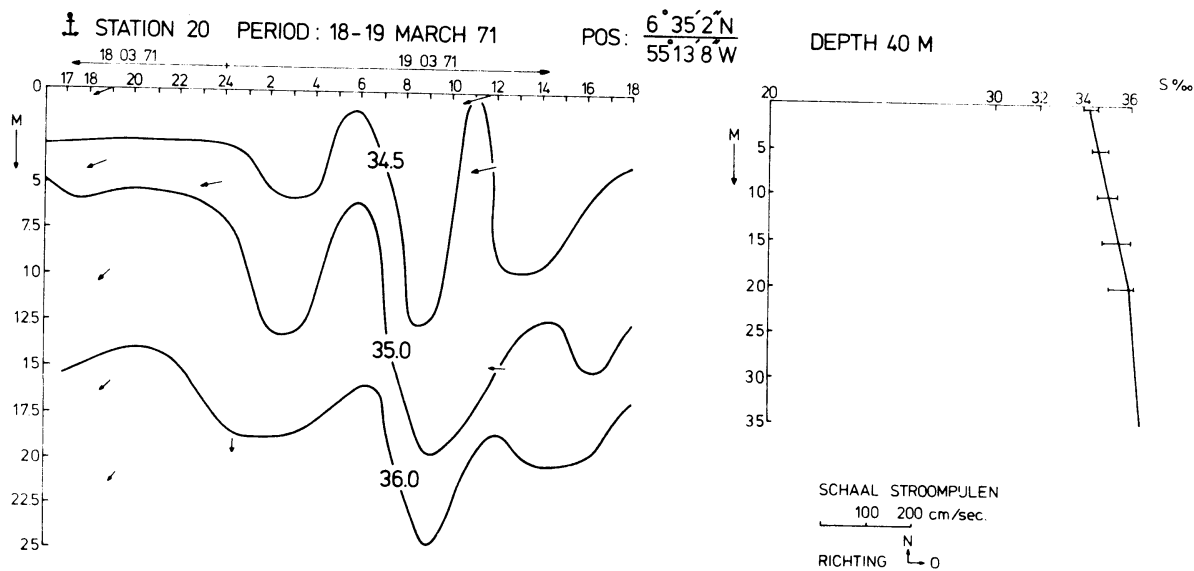
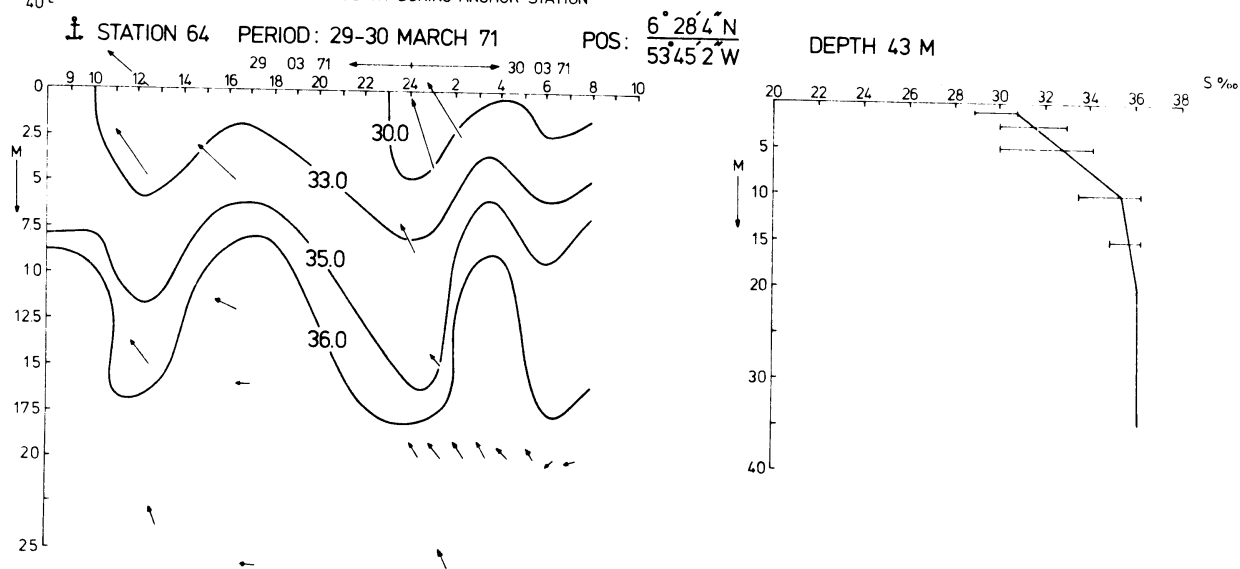
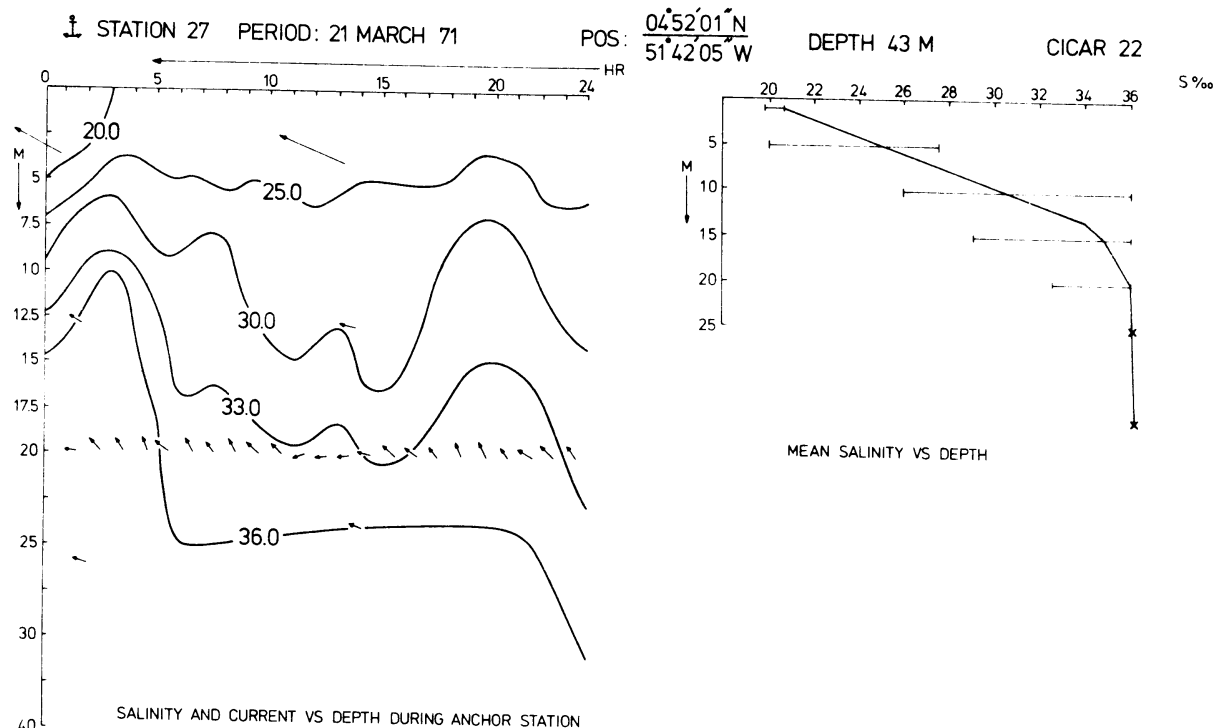


Figuur 13





Figuur 14

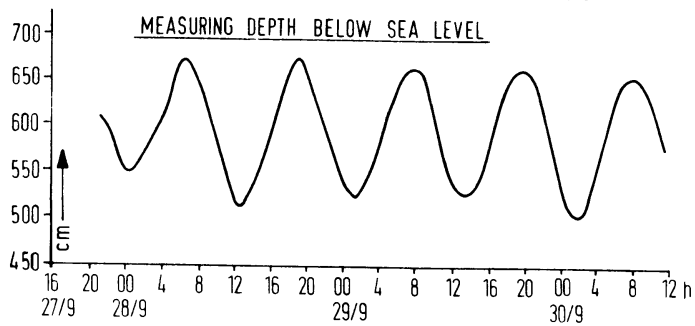
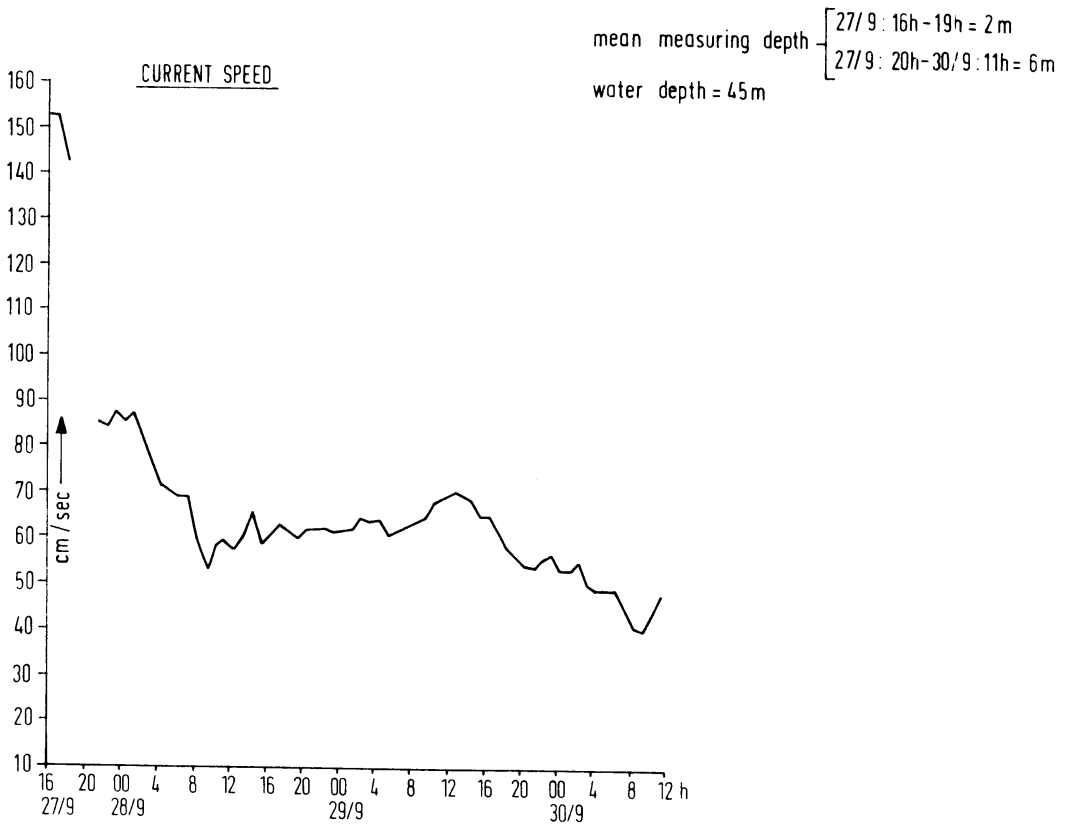
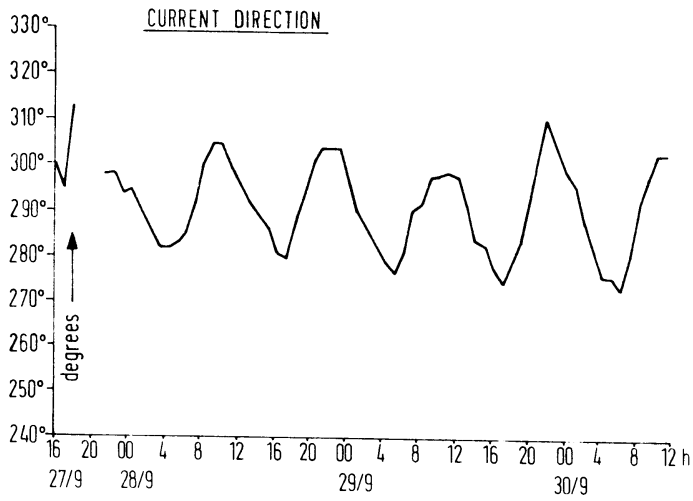


Figuur 15

AUTOMATIC STATION

CICAR 16

position: 4° 52' N 51° 41' W



Figuur 16



KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT

Aan de ontvangers van  
de wetenschappelijke  
rapporten (KNMI)  
WR 1976-11, 12 en 13

To the receivers of  
the scientific reports  
(KNMI) WR 1976-11, 12 and 13

DE BILT, 30 augustus 1976  
UTRECHTSEWEG 297  
TELEFOON 030-76 69 11

VERZONDEN:

UW KENMERK

UW BRIEF

ONS KENMERK 23027

BIJLAGEN

ONDERWERP Wetenschappelijke rapporten.

Subject: Scientific reports.

ERRATUM

In alle drie rapporten die wij U onlangs toezonden en die handelen over onderzoek verricht in het kader van het internationale project 'Cooperative Investigations of the Caribbean and Adjacent Regions (CICAR)', is de volgende mededeling ten onrechte wegge gevallen.

'Het in dit rapport beschreven onderzoek is mede mogelijk gemaakt door de financiële steun van de Nederlandse Organisatie voor Zuiver Wetenschappelijk Onderzoek (Z.W.O.)'.

Ik zal het op prijs stellen als U deze mededeling in de door U ontvangen exemplaren wilt toevoegen.

Namens de auteurs,

R. Dorrestein  
Directeur Afdeling  
Oceanografisch Onderzoek.

ERRATUM

In all of these three reports, dealing with the results of investigations carried out in the framework of the international project 'Cooperative Investigations of the Caribbean and Adjacent Regions (CICAR)', which reports we sent you recently, the following acknowledgement has been wrongly left out.

'The Netherlands Organization for the Advancement of Pure Research (Z.W.O.) gave financial support to the investigations described in this report'.

I would appreciate it if you could include this acknowledgement in the copies of the reports received by you.

For the authors,

R. Dorrestein  
Director Division  
Oceanographic Research.

VERZOEK ALLE CORRESPONDENTIE TE RICHTEN AAN DE HOOFDDIRECTEUR EN SLECHTS ÉÉN ONDERWEP PER BRIEF TE BEHANDELEN.  
GELIEVE BIJ BEANTWOORDING VAN DE BRIEF DATUM EN NUMMER HIERVAN TE VERMELDEN.

TELEGRAMADRES: KNMI DE BILT; TELEX: 47098; GIRO REKENING: 4488