

**KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

**WETENSCHAPPELIJK RAPPORT
SCIENTIFIC REPORT**

W.R. 79-2

**Analysemethoden en frontenstructuur.
Synoptisch symposium.
De Bilt, 15 en 29 november 1978.**

**L. M. Hafkenscheid, J. H. A. Bernard, H. R. A. Wessels,
J. Reiff en M. J. M. Saraber.**



De Bilt, 1979

Publikationsnummer: K.N.M.I. W.R. 79-2(MO).

Kon.Nederlands Meteorologisch Instituut,
Postbus 201,
3730 AE De Bilt,
Nederland.

U.D.C.: 551.515.8 :
551.511.13:
551.509.21:
551.511.2

Verslag van het Synoptisch Symposium op 15 en 29 november 1978

Onderwerp: Analysemethoden en frontenstructuur.

INHOUD:

- I L.M. Hafkenscheid Het gebruik van de potentiële natte-boltemperatuur bij de frontenanalyse
- II J.H.A. Bernard Mogelijk gebruik van cross sections in de operationele dienst
- III H.R.A. Wessels Structuur van fronten
- IV J. Reiff en
M.J.M. Saraber Het gebruik van trajectoriën in de weerkamer

AANBEVOLEN LITERATUUR:

- adI T.A.M. Bradbury 1977 The use of wet-bulb potential temperature charts
Met.Mag. 106, 233-251
- adII J. Cahir et al. 1976 New tools for forecasters: Real-time cross sections produced in the field
Bull.Am.Met.Soc., 57, 1976, pp.1426-1433.
- adIII K. Browning 1974 Mesoscale structure of rain systems in the British Isles
J.Met.Soc.Japan 52, 314-327

(Samenvatting voordracht L.M. Hafkenscheid)

Aanbevolen literatuur:

T.A.M. Bradbury (1977).....The use of wet-bulb potential temperature charts
Met. Mag. 106, 233-251.

INLEIDING

In deze samenvatting worden in het kort de belangrijkste onderwerpen besproken uit de voordracht, gehouden tijdens het Synoptisch Symposium in november 1978. Hierbij zijn enkele figuren en tabellen gevoegd die tijdens het Symposium werden getoond.

1. De potentiële natte-boltemperatuur θ_w

Wanneer een luchtdeeltje, uitgaande van een bepaald drukvlak, droog adiabatisch wordt opgetild tot het verzadigd is, en vervolgens verzadigd adiabatisch naar een druk van 1000 mbar wordt gebracht, dan heet de temperatuur die het dan heeft bereikt, de verzadigd potentiële natte-boltemperatuur: θ_w . In figuur 1 is dit proces grafisch weergegeven in een θ_s -p diagram.

Weliswaar zijn hierin pseudo-adiabaten getekend, maar het verschil met verzadigd adiabaten is in het algemeen klein. In deze figuur zijn tevens de (adiabatische) natte-boltemperatuur T_w , de potentiële temperatuur θ , de verzadigd potentiële temperatuur θ_s en de equivalent potentiële temperatuur θ_e gegeven. De laatste is gelijkwaardig aan θ_w ; beide kunnen beschouwd worden als "label" van dezelfde pseudo-adiabaat.

Zolang een luchtdeeltje deelneemt aan een adiabatisch proces, droog of verzadigd, bij stijgende of dalende beweging, verandert θ_w niet. Ook verandert θ_w niet wanneer er neerslag door de lucht valt en adiabatisch verdampt.

Immers de mengverhouding, en dus T_d , zal toenemen waarbij T daalt, en wel zodanig dat T_w gelijk blijft. Voorwaarde is wel dat de hoeveelheid doorvallende neerslag niet zo groot is dat de warmtecapaciteit daarvan van betekenis is. Voor al deze processen is θ_w dus "conservatief". Wel kan θ_w veranderen door diabatische processen zoals stralingsprocessen, warmtegeleiding, menging.

Om een idee te geven van de waarden van θ_w die men kan verwachten, is in figuur 2 de verdeling getekend van θ_w op 850 mbar, zoals waargenomen in De Bilt in de jaren 1961 - 1970. Ook zijn gemiddelde en standaarddeviatie

gegeven van θ_w op 700 mbar en 500 mbar. In figuur 3 is de verdeling van θ_w 850 voor februari en augustus afzonderlijk gegeven. Zie voor verdere gegevens: Van der Hoeven: "Aërologische Klimaat tabellen" ²⁾.

Uit deze gegevens blijkt bijvoorbeeld dat de θ_w van -8°C die op 1 januari 1979 op 850 mbar in De Bilt werd waargenomen, uitzonderlijk laag is. Tegelijkertijd werd in Polen zelfs een waarde van -16°C gevonden. Zie ook figuur 10.

2. Luchtsoorten

Onder een luchtsoort verstaat men een hoeveelheid lucht die een horizontale uitgetrektheid heeft van enige honderden of duizenden kilometers en een dikte van enige kilometers, en die voorts homogeen is in thermische eigenschappen.

Zo'n luchtsoort kan ontstaan wanneer lucht zich geruime tijd boven een uitgestrekt en homogeen stuk aardoppervlak, een zgn. brongebied, bevindt. Op den duur ontstaat er dan door in- en uitstraling en contact met het aardoppervlak een evenwicht, wat daarin tot uitdrukking komt dat θ_w in de gehele hoeveelheid lucht, zowel horizontaal als vertikaal, min of meer dezelfde waarde heeft.

Zo kan θ_w dus gebruikt worden om een luchtsoort te karakteriseren, waarbij zowel de voelbare als de latente warmte in rekening worden gebracht.

Op grond van de mogelijke brongebieden kan men verschillende hoofdluchtsoorten onderscheiden. De oorspronkelijke polaire-fronttheorie van de Noorse school werkte met twee hoofdluchtsoorten: polaire lucht (P) en tropische lucht (T). Later is het aantal hoofdluchtsoorten uitgebreid.

Palmén en Newton ³⁾ beredeneren op grond van de algemene circulatie het bestaan vandie hoofdluchtsoorten: polaire lucht (P), gematigde lucht: "mid-latitude air"(ML) en (sub-)tropische lucht (T), en, minder belangrijk, arctische lucht (A) en equatoriale lucht (E). Deze vijf kunnen elk dan nog onderverdeeld worden in continentale lucht (c) en maritieme lucht (m).

Later komt Geb ⁴⁾ met een indeling in vijf hoofdluchtsoorten, maar nu gebaseerd op de verdeling van de gemiddelde potentiële natte-boltemperatuur over het noordelijk halfrond. (In feite gebruikt Geb θ_e , maar dat maakt in principe geen verschil). Figuur 4 geeft de brongebieden rondom West-Europa volgens Geb. Op grond van het bovenstaande kan men een lijst opstellen van de θ_w 850-waarden die men, afhankelijk van het seizoen, in een bepaalde luchtsoort kan verwachten. Zie hiervoor figuur 5.

Wanneer een luchtsoort van zijn brongebied wegstroomt dan zal aanvankelijk θ_w niet veranderen vanwege zijn conservatieve karakter. Op den duur kan θ_w echter wel veranderen door de genoemde niet-adiabatische processen, en wel zoveel dat een andere luchtsoort ontstaat. Men spreekt dan van transformatie.

In het geval dat koude lucht over een warm aardoppervlak stroomt kan de transformatie snel plaatsvinden door het onstabiele karakter van de situatie. Bijvoorbeeld: arctische lucht die over de relatief warme Noorse Zee naar het zuiden stroomt kan in 24 uur geheel in polaire lucht getransformeerd zijn. In het omgekeerde geval, wanneer warme lucht over een koud aardoppervlak stroomt, zal de transformatie veel langzamer plaatsvinden.

3. Fronten

Wanneer men de verdeling van θ_w beschouwt in een drukvlak, bij voorkeur het 850 mbar-vlak (zie Bradbury¹), dan ziet men uitgestrekte gebieden waarin de gradiënt gering is. Men kan deze gebieden met homogene θ_w associëren met luchtsoorten. Vaak worden deze homogene gebieden van elkaar gescheiden door smalle overgangszones met een sterke gradiënt. Hier snijden frontale zones het beschouwde drukvlak. In het algemeen vindt men aan de grond de duidelijkste indicaties voor de aanwezigheid van een front dáár, waar men op 850 mbar de "warme kant" van de gradiëntsprong in θ_w aantreft. Duidelijkheid over de preciese posities van een frontvlak (frontale zone) op de verschillende niveaus kan men krijgen met behulp van een cross-section. Zie hiervoor de bijdrage van J. Bernard.

Figuur 6 geeft van de voornaamste soorten fronten de samenhang met het θ_w -patroon op 850 mbar. Let vooral op het patroon bij occlusies; in het artikel van Bradbury komt dit niet zo duidelijk naar voren. Figuur 7 geeft een praktijkvoorbeeld.

In het algemeen kan men twee hoofd-frontale zones onderscheiden: het polaire front tussen polaire (P) lucht en gematigde (ML) lucht, en het subtropische front tussen gematigde (ML) lucht en (sub-)tropische (T) lucht. Het arctische front, tussen polaire (P) lucht en arctische (A) lucht, blijft meestal beperkt tot de onderste kilometers van de atmosfeer. In de θ_w -850 verdeling is het vaak duidelijk te herkennen. Voor een verdere discussie over de samenhang tussen luchtsoorten en fronten in samenhang met θ_w (of θ_e)-analyses zij verwezen naar Geb⁴).

4. θ_w -analyses in de praktijk

Uit de radiosondegegevens van 00.00 GMT en 12.00 GMT worden de θ_w 's van

850 mbar (en eventueel ook 500 mbar) berekend en automatisch geplot op het kaartformaat W39c ("postzegelkaart").

De θ_w -waarden worden geplot in hele graden Celsius. Het verdient aanbeveling de θ_w -isolijnen met een verschil van twee graden te tekenen; in de zomer is een verschil van één graad beter.

Bij de analyse gaat het erom een consistent 3-dimensionaal beeld van de atmosfeer te krijgen. Ook de θ_w -analyse mag daarom niet los gezien worden van andere gegevens. Hulpmiddelen die bij de θ_w -analyse gebruikt kunnen worden zijn:

- vorige θ_w -analyses
- grondkaart
- 850 mbar hoogtekaart
- satellietfoto's
- cross-sections

Grondkaart en θ_w -analyse worden aan elkaar aangepast totdat een voor beide kaarten aanvaardbare frontanalyse is gevonden.

In de praktijk komt het zelden voor dat een waarde moet worden verworpen. Wel kunnen zich in een overigens homogeen gebied bepaalde inhomogeniteiten voordoen, zonder dat daar sprake is van een andere luchtsoort. Hieronder volgen de twee belangrijkste mogelijkheden.

Op de eerste plaats kan men soms "koude plekken" vinden in hoge-drukgebieden, wanneer een subsidentie-inversie zich nabij het 850 mbar-vlak bevindt.

De "koude plekken" ontstaan dan door uitstraling uit de top van de vochtige laag onder de inversie. Figuur 8 geeft hiervoor twee voorbeelden.

Als tweede mogelijkheid moet genoemd worden het bestaan van een "warme tong" vlak voor een koufront. Deze "warme tongen", die samenhangen met fenomenen als conveyor-belt en low-level jet zoals beschreven in de bijdrage van H. Wessels, zijn meestal duidelijk te zien in de θ_w 850-analyse.

Figuur 9 geeft een voorbeeld.

Als laatste praktijkvoorbeeld geeft figuur 10 de verdeling van θ_w 850 op 1 januari 1979 00.00 GMT, vlak na de inval in Nederland van een "koudegolf".

5. Verdere toepassingen van θ_w

Bradbury geeft een tabel met daarin voor verschillende waarden van θ_w 850 de kans dat eventuele neerslag zal vallen in de vorm van sneeuw. Deze tabel is goed bruikbaar. Let echter wel op de twee genoemde uitzonderingen.

Verder komt θ_w voor in een aantal onstabiliteits- en neerslagindices.

Bradbury gebruikt de potentiële stabiliteit: θ_w 500 - θ_w 850.

Negatieve waarden betekent een potentieel onstabiele laag.

Andere indices waarin θ_w een rol speelt, zijn bijvoorbeeld:

- de Rackliff-index: $\theta_w 850 - T 500$, met een drempelwaarde van 30 voor onweer, en

- de gemodificeerde Jefferson-index: $1,6 \theta_w 850 - T 500 - 0,5 T_d 700 - 8$, met een drempelwaarde van 26 - 28.

$T 500$ is de temperatuur op 500 mbar; $T_d 700$ het dauwpunt op 700 mbar.

Zie voor deze indices bijvoorbeeld het Forecasters' Reference Book⁵).

Figuur 11 geeft, bij verschillende waarden van de Rackliff-index, het relatieve voorkomen van buien met of zonder onweer binnen een periode van 12 uur rond het tijdstip van radiosonde-oplating (12.00 GMT) voor 30 stations in Europa in juli 1978.

In de bovenste figuur ("lokaal") zoals waargenomen op of nabij het radiosondestation, en in de onderste figuur ("regionaal") zoals waargenomen binnen een straal van 150 km rondom het station (oppervlakte ongeveer ter grootte van Nederland).

In figuur 12 is op de Rackliff-index een correctie voor de luchtdruk toegepast. Verder is nu gelet op zowel gelijkmatige als convectieve neerslag, voor 7 stations rond de Noordzee.

In de wintermaanden is het 500 mbar-vlak als hoogste niveau wellicht te hoog. Het ziet er naar uit dat dan betere resultaten verkregen worden met $1,5 \theta_w 850 - T 700$, met een drempelwaarde van 17 voor neerslag (0,3 mm of meer). Deze zaken zullen echter nog nader onderzocht moeten worden.

Parameters als de hier genoemde kunnen gemakkelijk automatisch berekend, geplot, geanalyseerd en in kaart of eventueel op beeldscherm gebracht worden. Het voordeel van het gebruik van θ_w in dergelijke neerslagparameters is dat θ_w door zijn conservatieve karakter redelijk goed voorspelbaar is, met name wanneer gebruik gemaakt wordt van trajectoriën (zie bijdrage van M. Saraber en J. Reiff). Verder verandert θ_w slechts weinig wanneer er neerslag door de beschouwde luchtlaag valt. De vochtigheid wordt nu in rekening gebracht op een manier waarvan het resultaat niet afhangt van het feit of er neerslag valt of niet.

LITERATUUR

1. Bradbury, T.A.M. 1977 The use of wet-bulb potential temperature charts.
Met. Mag. 106, 233-251
2. Van der Hoeven, P.C.T. 1976 Aërologische formules en bijbehorende klimaattabellen voor De Bilt 1961 - 1970
KNMI, Mem. 76-213 (Niet gepubliceerd)
3. Palmén, E. and Newton, C.W. 1973 Atmospheric Circulation Systems
International Geophysics Series 13
Academic Press, New York-London
4. Geb, M. 1971 Neue Aspekte und Interpretationen zum Luftmassen - und Frontenkonzept
Meteorologische Abhandlungen,
Band 109/Heft 2.
5. Meteorological Office
Forecasters' Reference Book
London, z.j.

Figuur 1

KON. NED. MET. INSTITUUT
 Θ_{SP} DIAGRAM

C

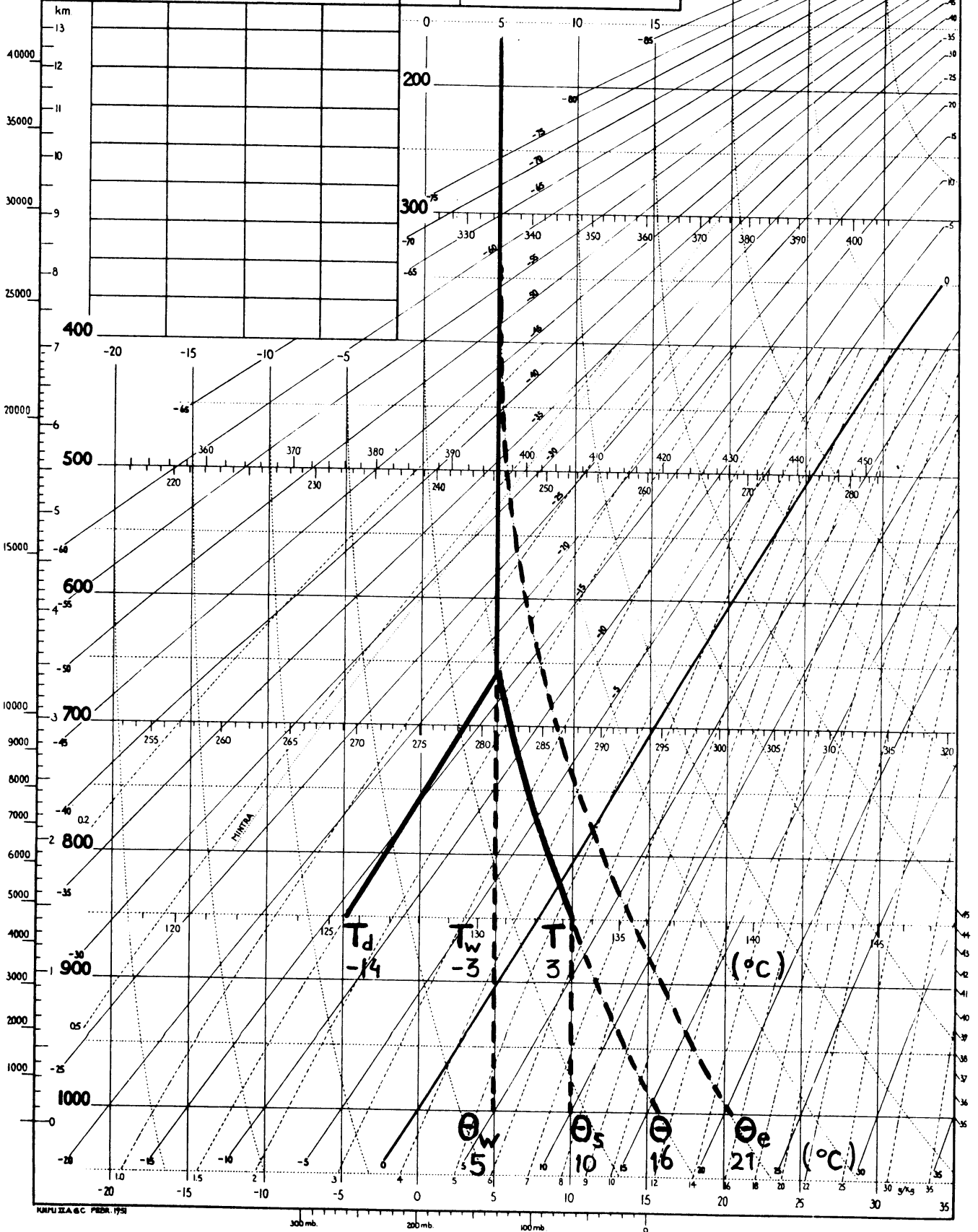
II/iii

Datum

GGgg

Z

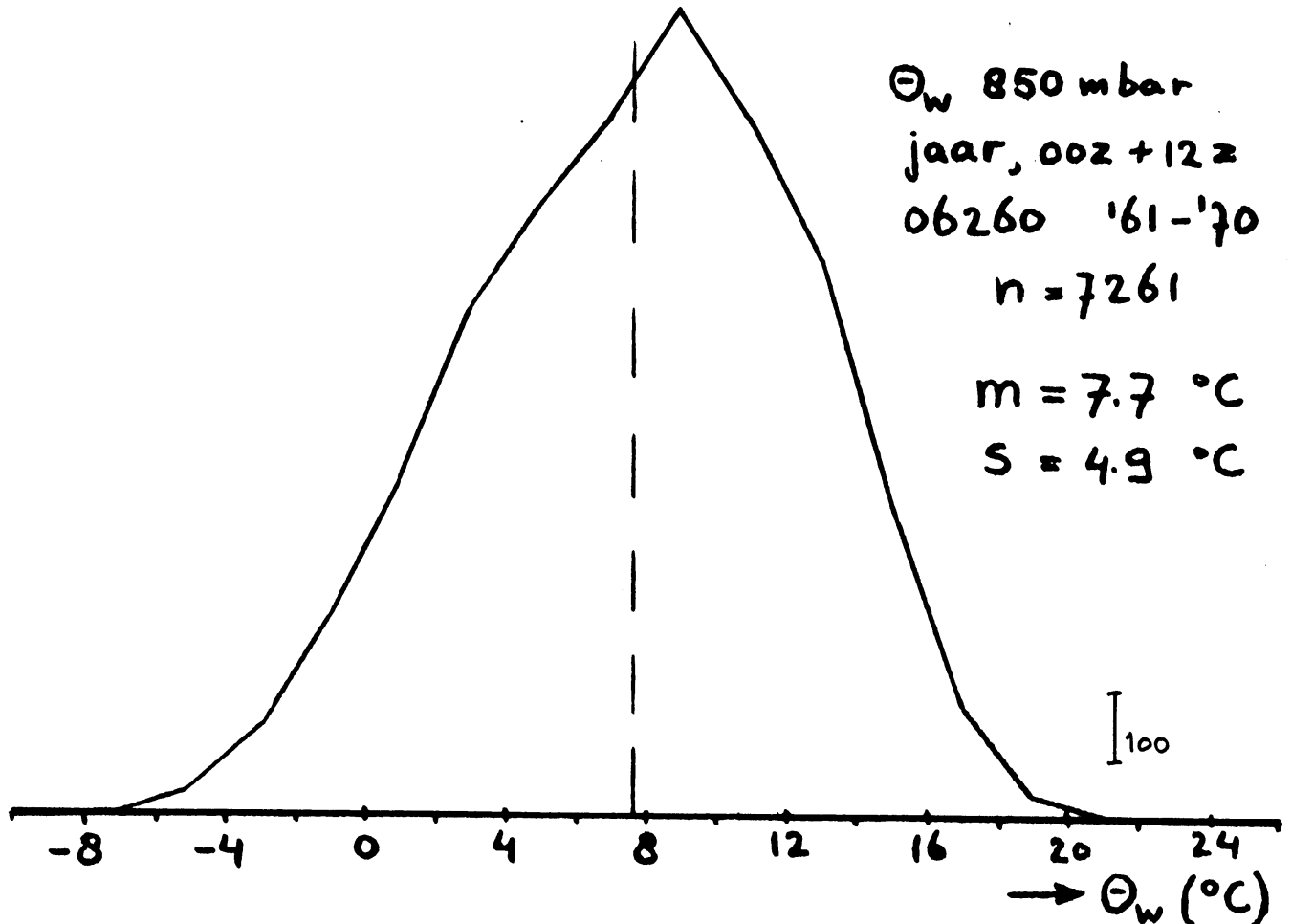
Par:



Θ_w (°C) jaar	00.00 z		12.00 z	
	m	s	m	s
500 mbar	11.2	3.6	11.4	3.6
700 "	9.1	4.2	9.1	4.1
850 "	7.8	4.9	7.6	4.7

m = GEMIDDELDE

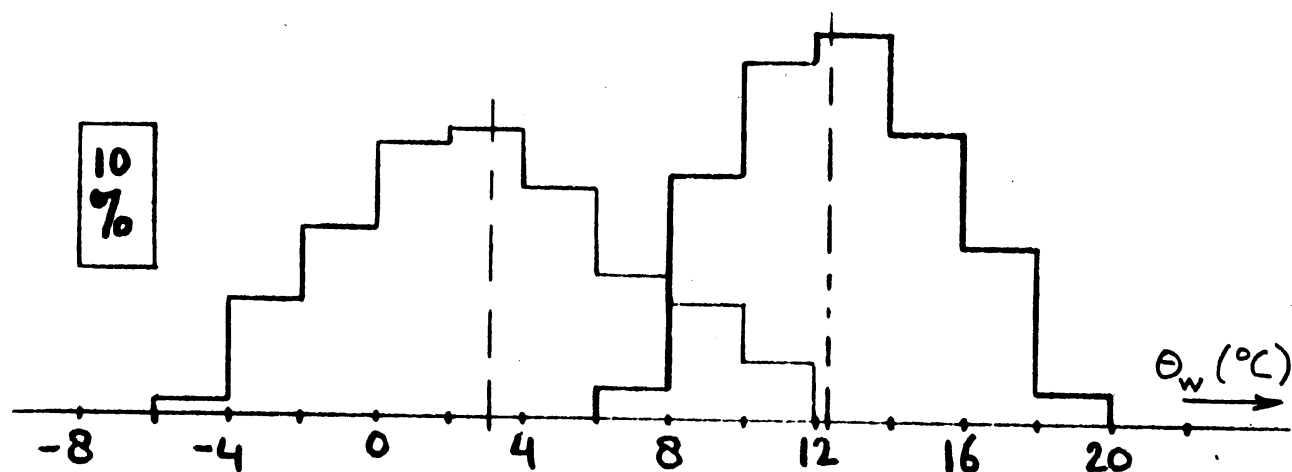
s = STANDAARDDEVIATIE



FIGUUR 2

FEBRUARI

AUGUSTUS



$$m = 3.1$$

$$S = 3.8$$

$$n = 280$$

$$m = 12.4$$

$$S = 2.6$$

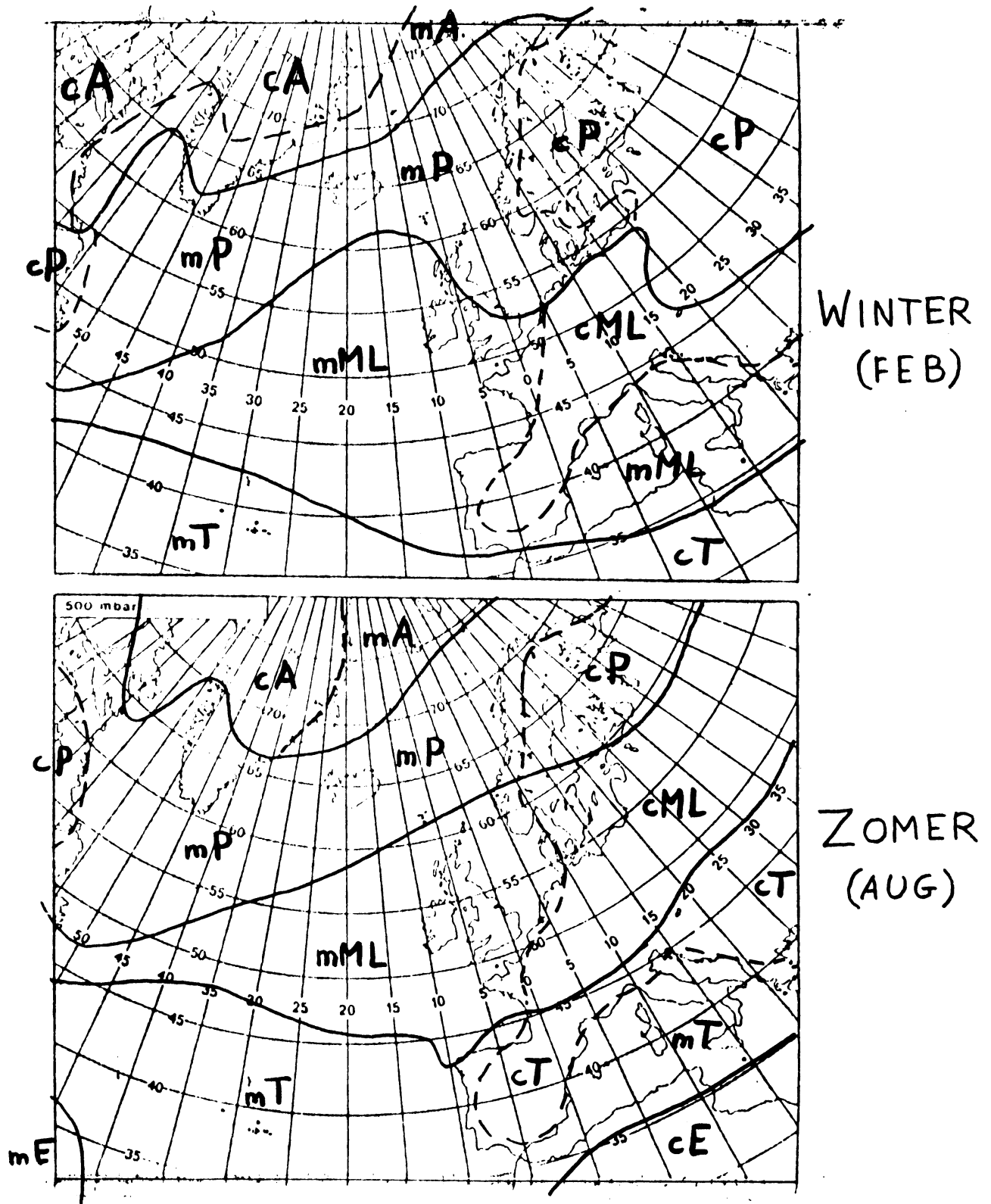
$$n = 308$$

VERDELING Θ_w (°C) 850 mbar ; 00.00z
DE BILT '61-'70

NAAR: V.D.HOEVEN : AEROLOGISCHE KLIMAATTABELLEN
M 76-213

FIGUUR 3

BRONGEBIEDEN



FIGUUR 4

850 mbar Θ_w ($^{\circ}\text{C}$) VOOR VERSCH. LUCHTSOORTEN

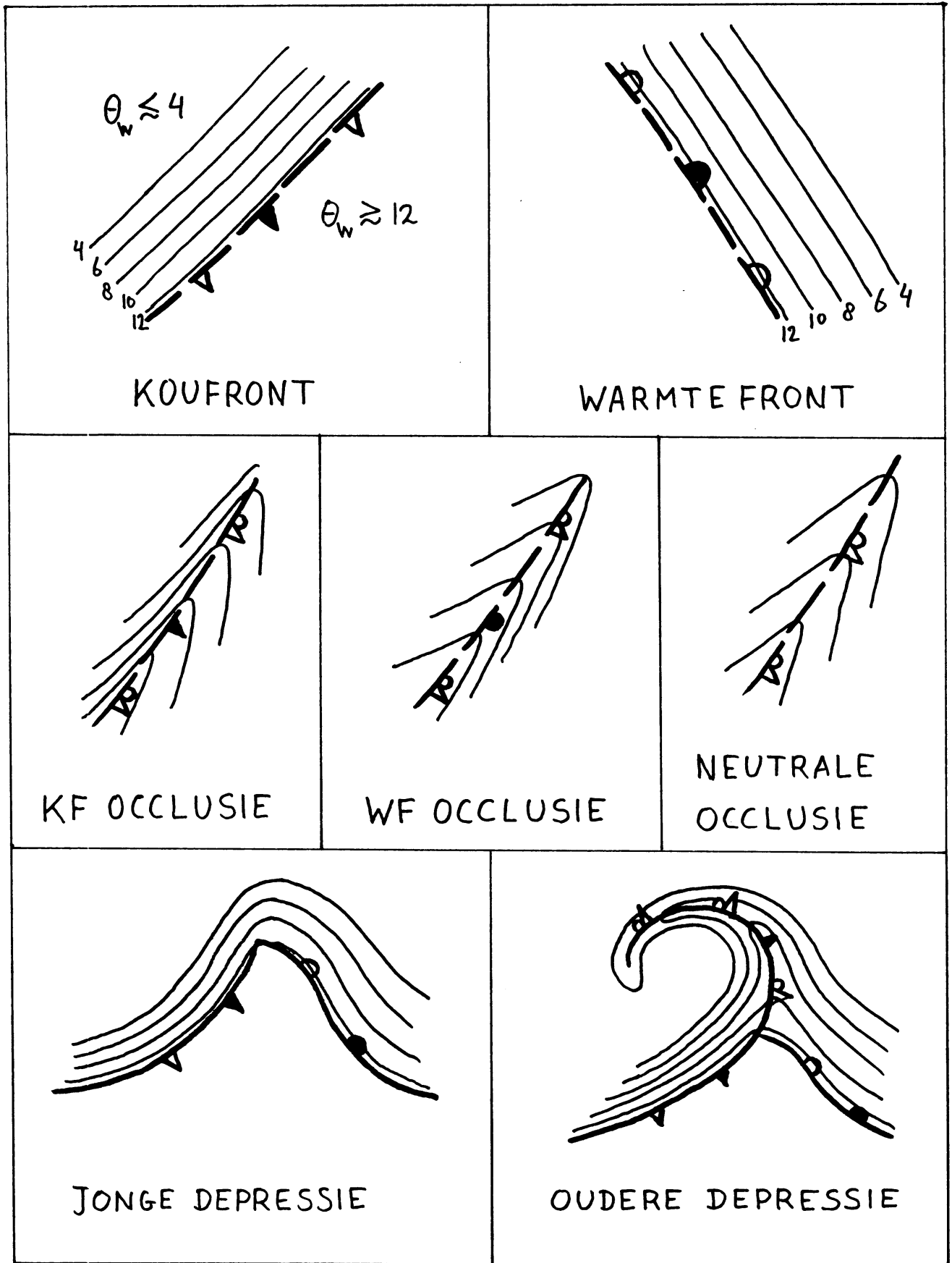
ZOMER

cA	.....	-	7	mA	....	-	9
cP	7	-	12	mP	6	-	12
cML	11	-	16	mML	11	-	16
cT	15	-	19	mT	14	-	19
cE	17	-	.....	mE	18	-	.....

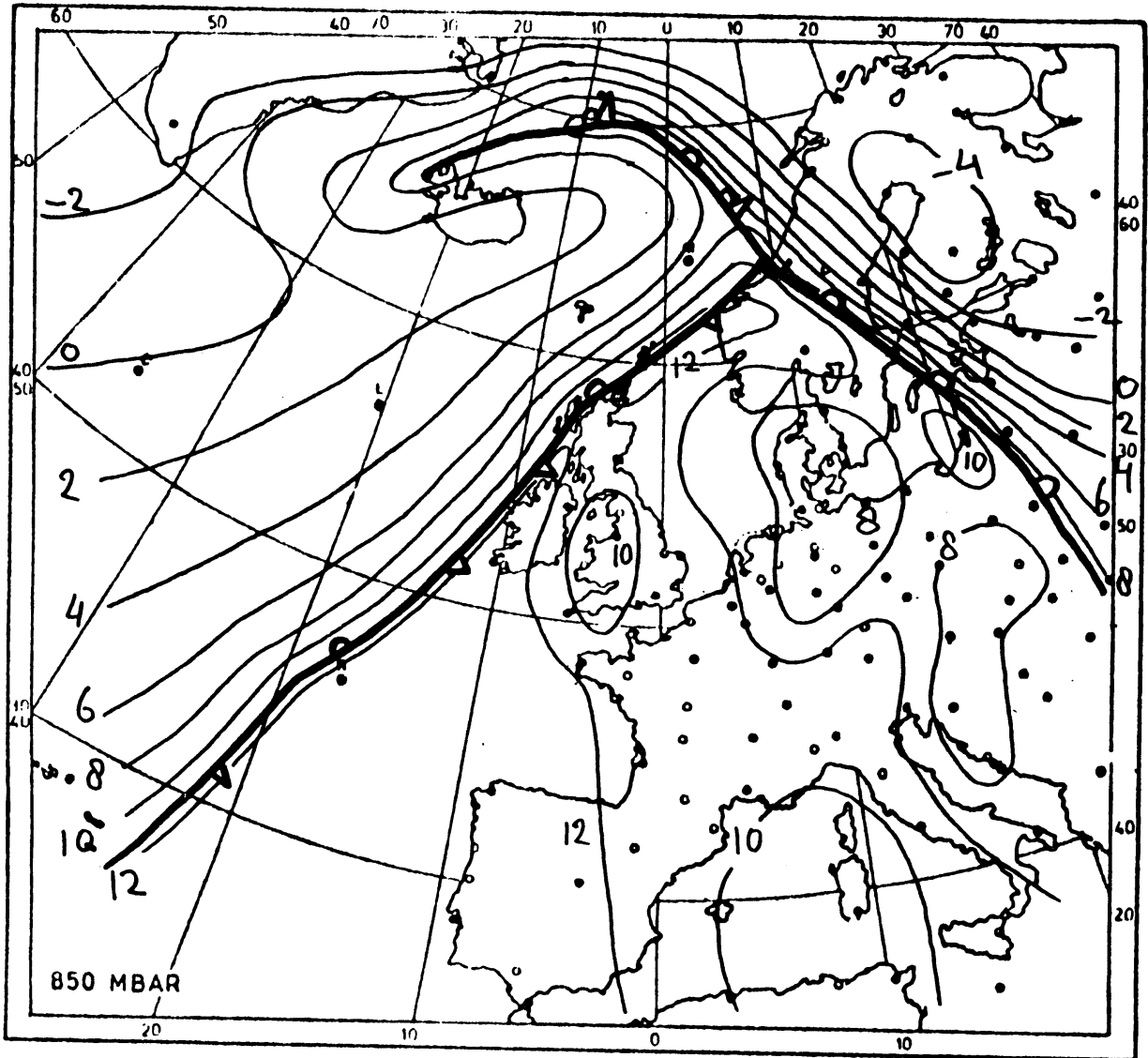
WINTER

cA	.....	-	-5	mA	-7	-	0
cP	-6	-	2	mP	-3	-	5
cML	1	-	8	mML	3	-	9
cT	8	-	14	mT	8	-	16
cE	14	-	.....	mE	16	-	.....

FIGUUR 5

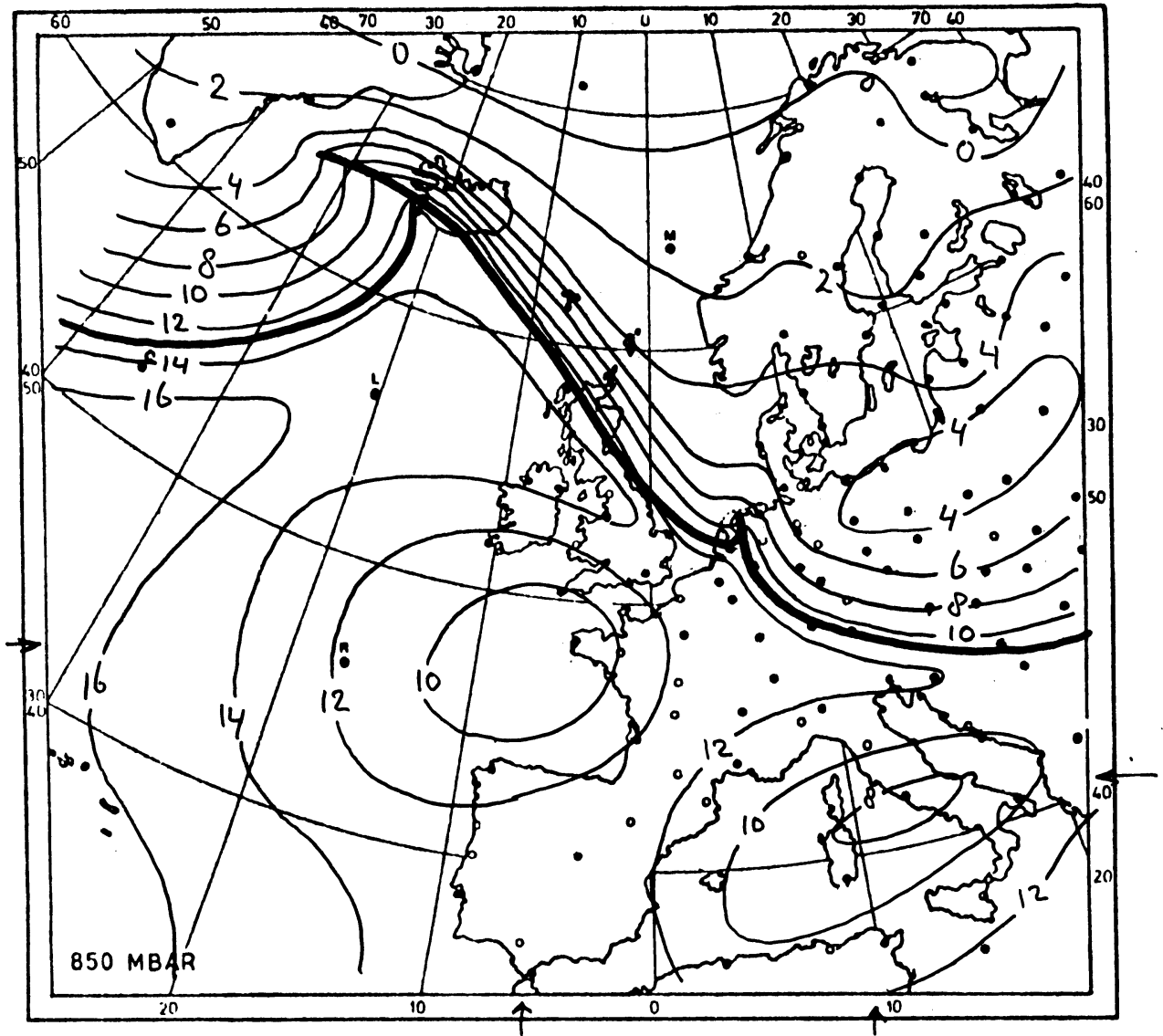


FIGUUR 6



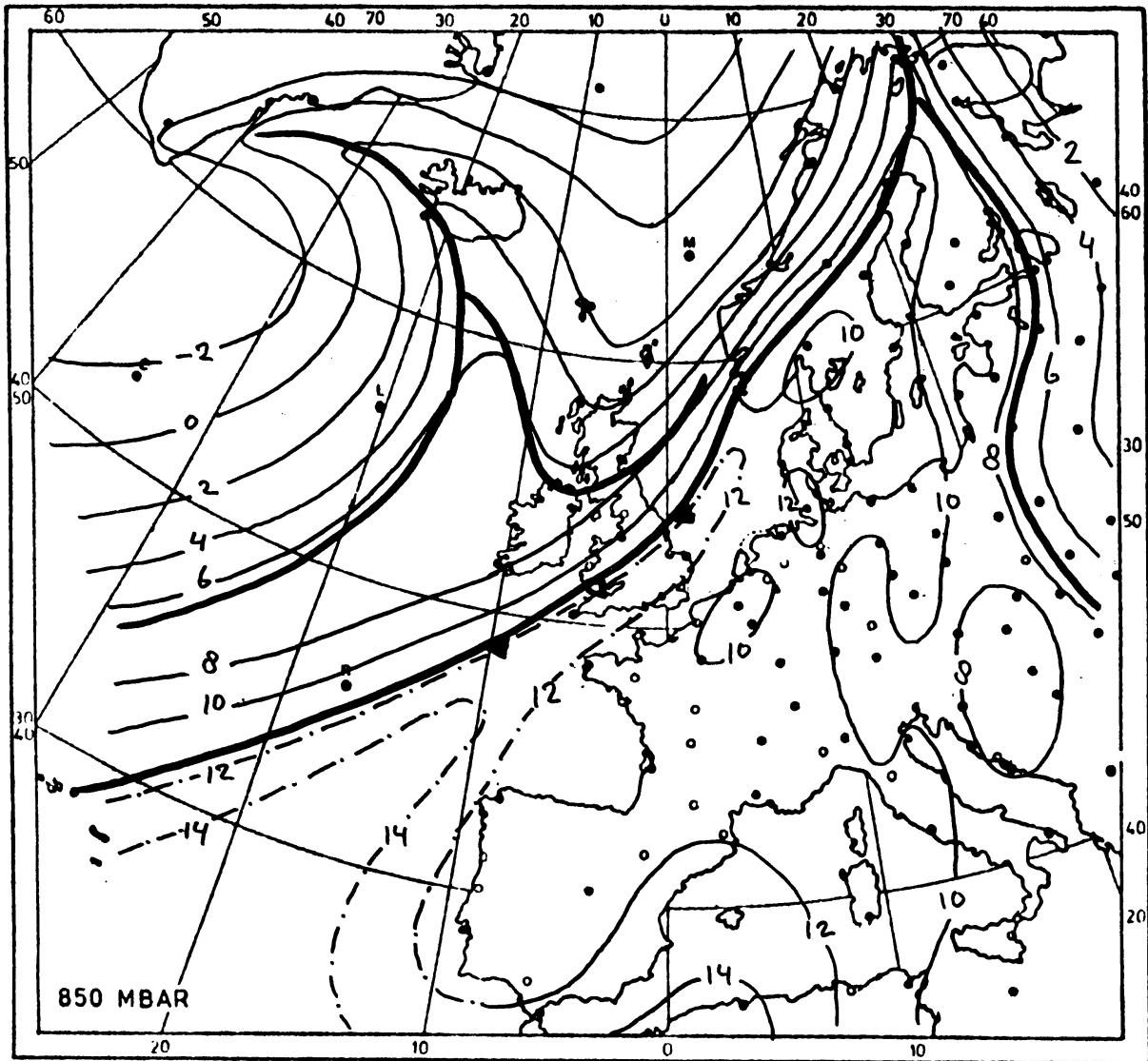
θ_w 31-10-78 00.00 z

FIGUUR 7



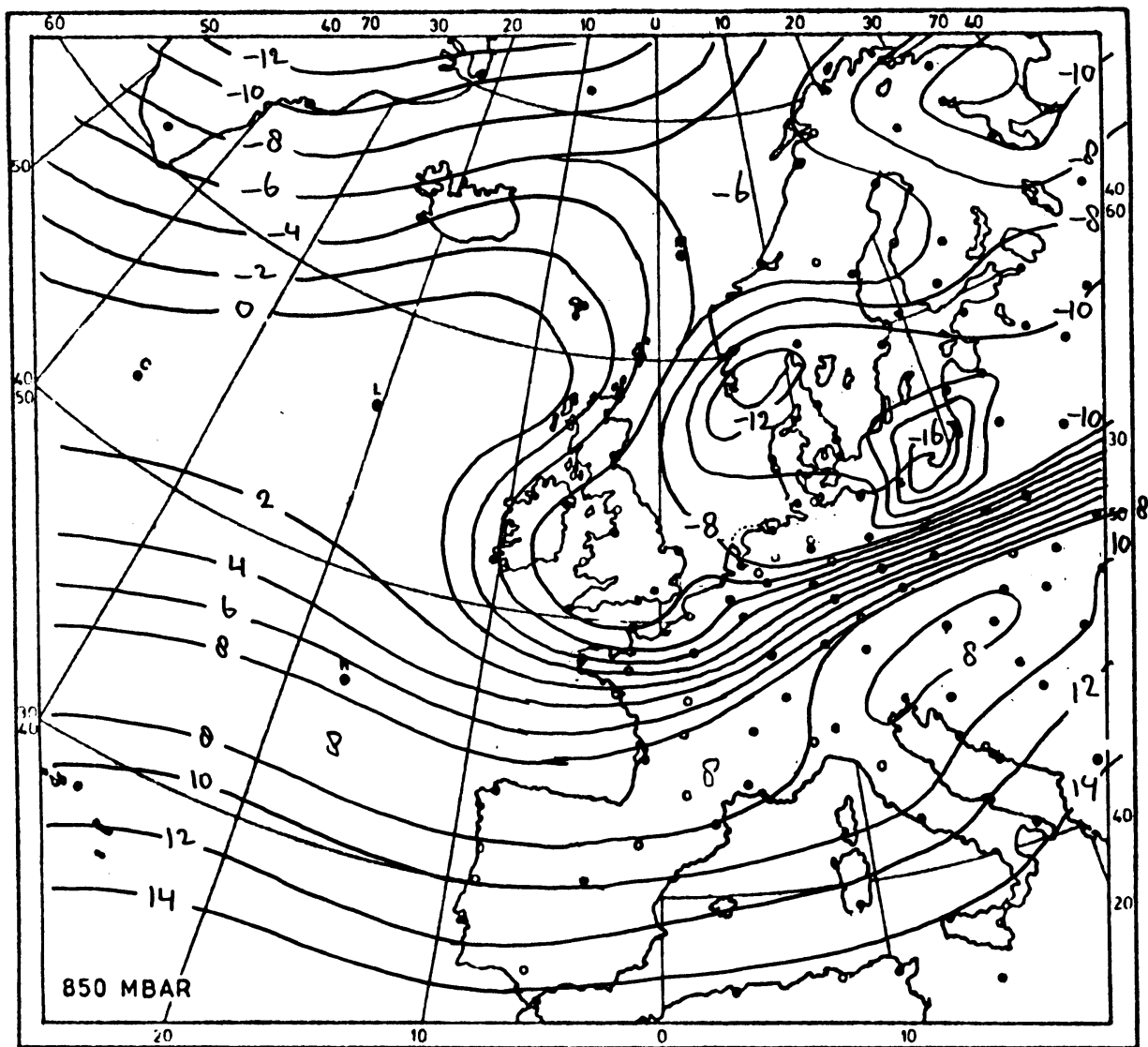
Θ_w 26-10-78 00.00 z

FIGUR 8



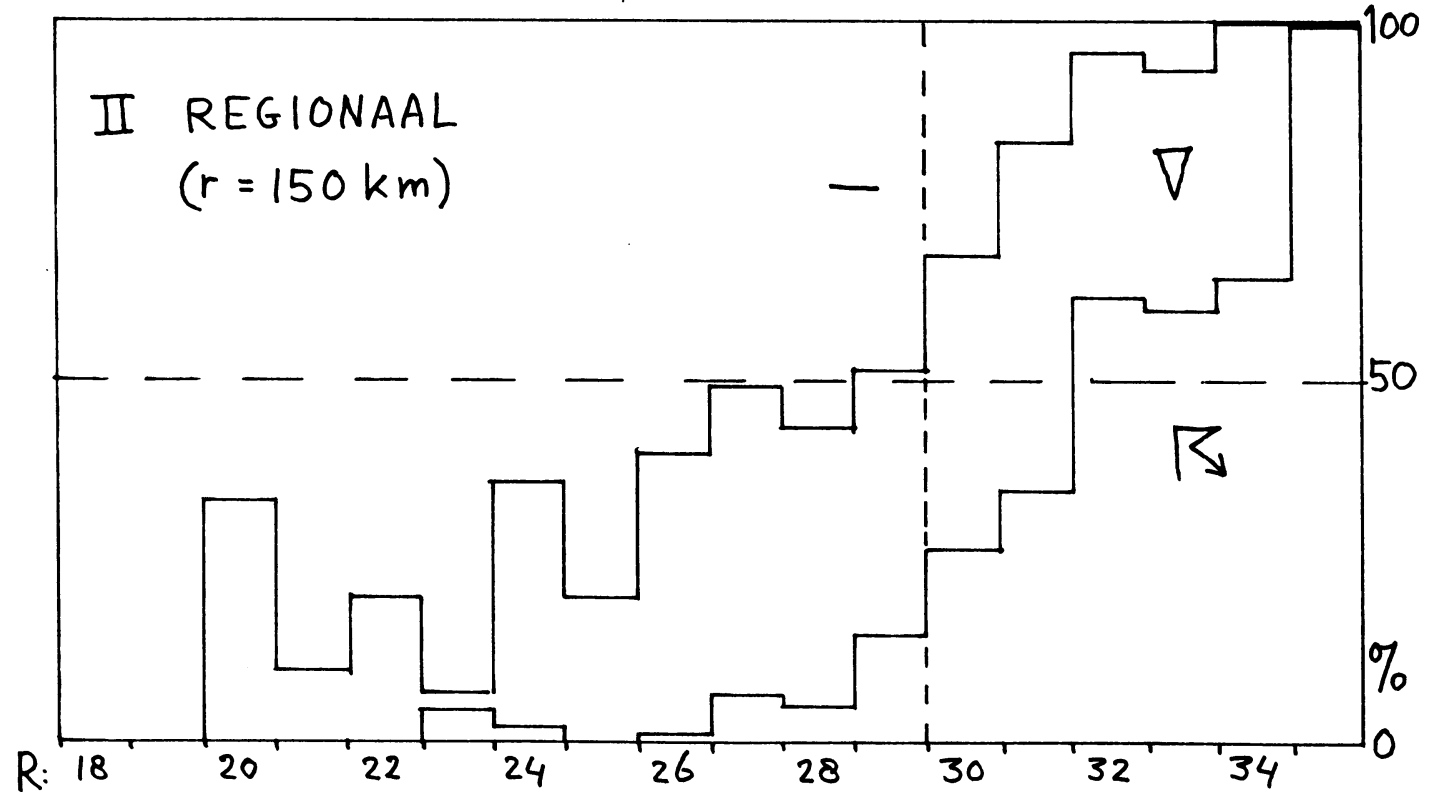
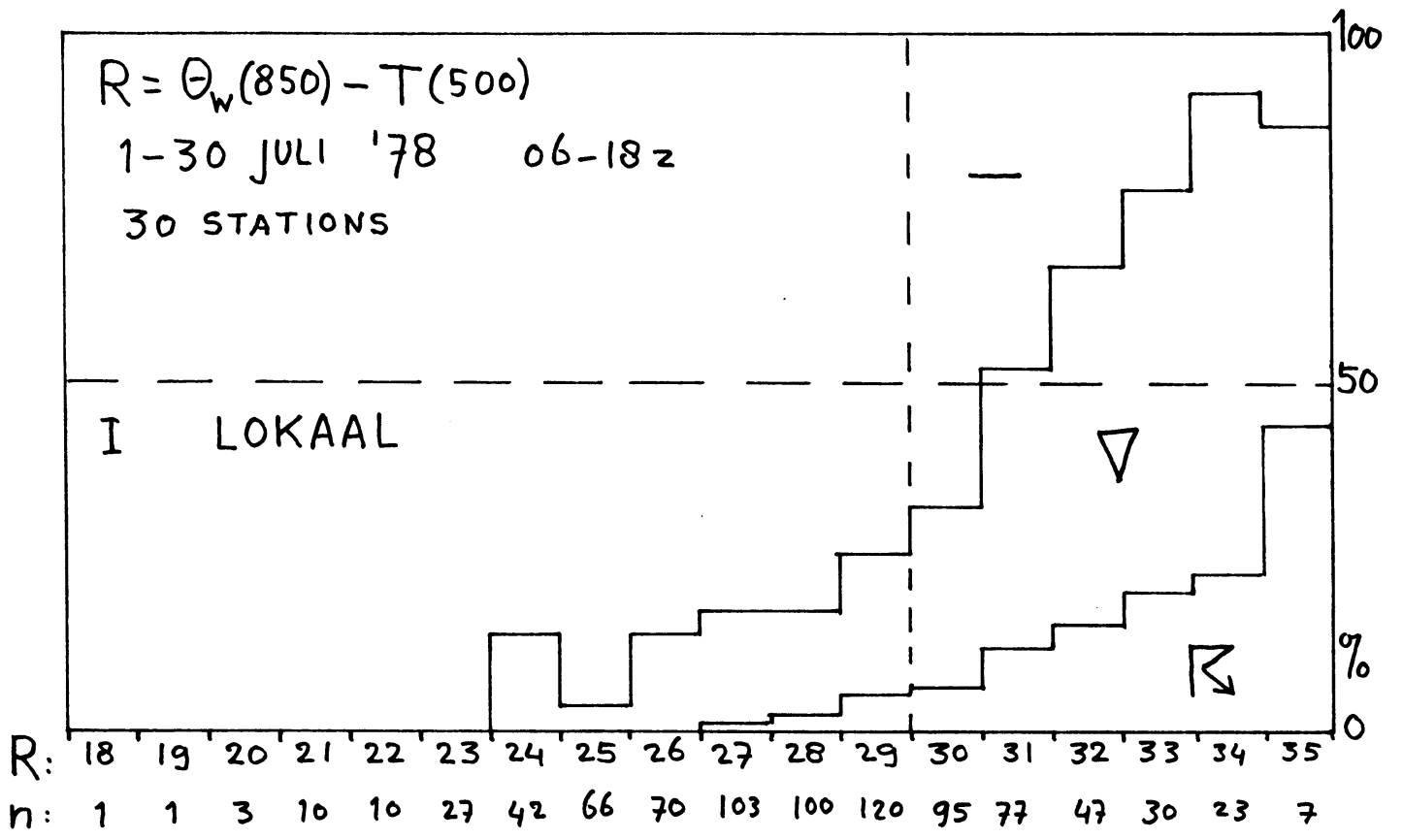
Θ_w 2-11-78 12.00z

FIGUUR 9

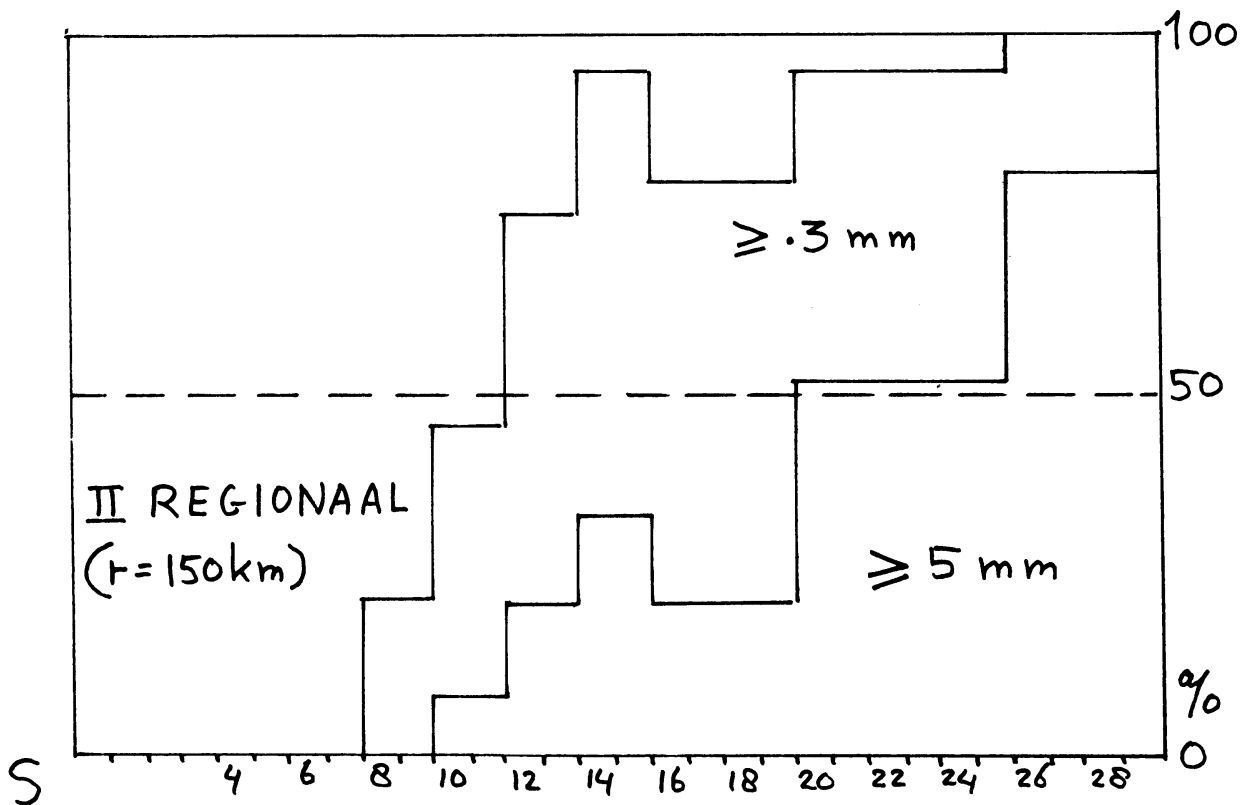
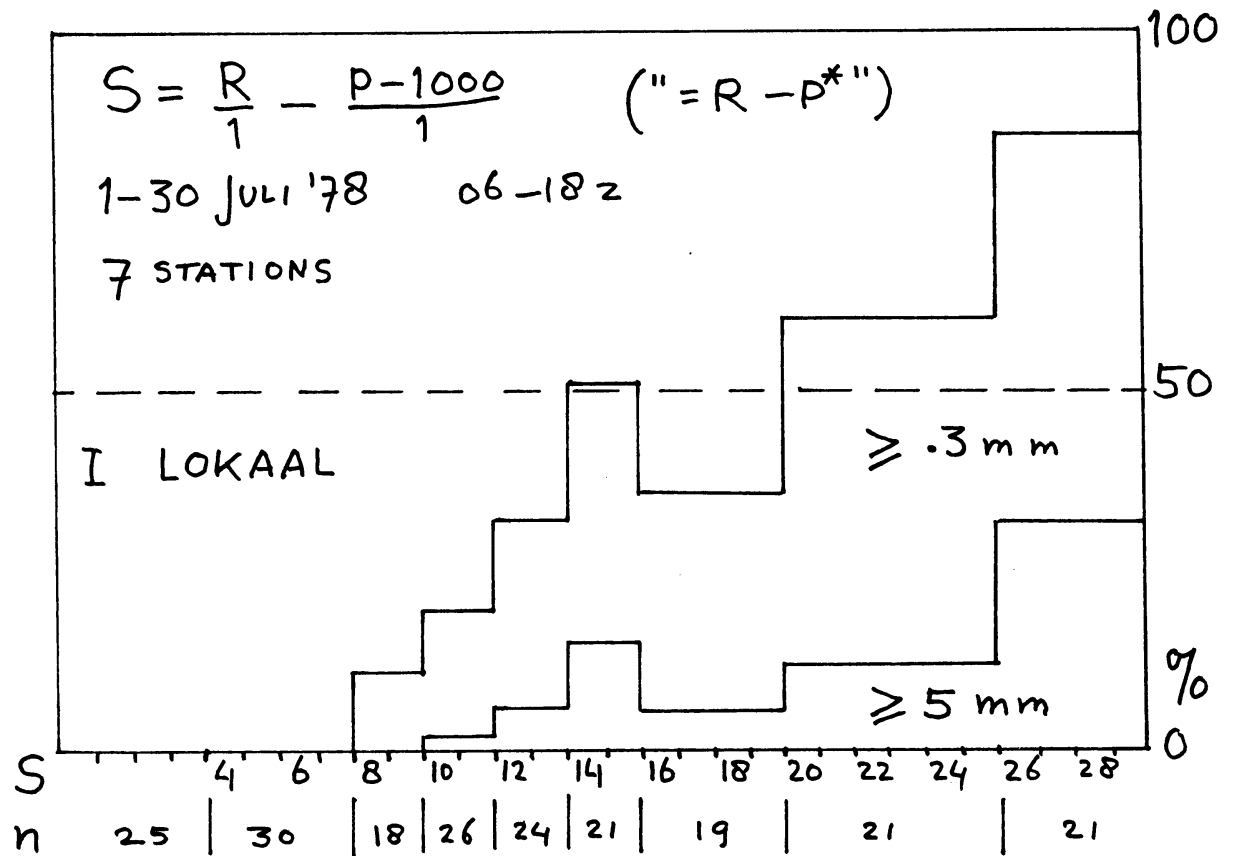


θ_w 1-1-79 00.00z

FIGURE 10



FIGUUR 11



FIGUUR 12

II MOGELIJK GEBRUIK VAN CROSSSECTIONS IN DE OPERATIONELE DIENST.

(Samenvatting voordracht J. Bernard)

Aanbevolen literatuur:

J. Cahir et al. (1976) New tools for forecasters: Real-time cross sections produced in the field.
Bull.Am.Met.Soc.
57, 1976, pp.1426-1433.

Inleiding.

Uit de voordracht van L. Hafkenscheid en uit het artikel van Bradbury blijkt het belang van θ_w als we gebruik willen maken van conservatieve eigenschappen van de lucht. Het is zeer goed mogelijk m.b.v. θ_w waarden luchtsoorten te onderscheiden en in de tijd te volgen.

Juist langs frontvlakken is een grote gradient van iso- θ_w lijnen te vinden.

Gebieden met stabiele of onstabiele opbouw zijn met één oogopslag te onderkennen. Bij onstabiele opbouw neemt θ_w af met de hoogte. Er is een goede afschatting te maken van toppen van convectieve bewolking ook tussen de sondestations. Afhankelijk van het gebruik is een combinatie met een andere parameter aan te bevelen bijv.:

θ_w en vochtigheid, θ_w en θ of θ_w en T.

Naast de reeds in het artikel van Cahir c.s. (zie **boven**) genoemde voordelen en toepassingen van crosssections lijkt mij gezien het feit dat wij in alle dagelijkse weerdiensten nog steeds met vrucht werken met luchtsoorten en fronten, juist θ_w doorsneden voordelen hebben.

Het Noorse school model voldoet over het algemeen zeer redelijk, maar afwijkingen op deze modelvoorstelling van dag op dag kunnen m.b.v. crosssections real-time worden bestudeerd en zijn zeker voor operationeel werk van belang.

Bij mijn weten zijn θ_w crosssections nog nergens in de operationele sector in gebruik. Wel worden ze in veel artikelen en boeken bij onderzoek gebruikt en de resultaten gepresenteerd.

Gebruik.

Het is nu mogelijk om een duidelijk beeld te vormen van de 3-dimensionale structuur van de uitgangstoestand (diagnostisch), die nog steeds van het grootste belang is bij de zogenaamde "nowcasting" (verwachting tot ± 3 uur vooruit) en de zeer korte termijn verwachting (3 tot ± 24 uur vooruit).

Door de fraaie eigenschappen van θ_w is het goed mogelijk om allerlei "karakteristieken" met een lengteschaal van één of enkele honderden Kms om de 12 uur te kunnen volgen en mogelijk ook te verwachten.

Wanneer crosssections te gebruiken?

Ik denk dat het diagnostisch van belang kan zijn, om tot een goed inzicht te komen voor een goede uitgangstoestand, vooral bij: Meridionale circulaties, oost circulaties en stagnerende circulaties. In het algemeen bij niet al te sterke advection.

Vanaf medio januari 1979 zal het mogelijk zijn (voor CWD en LMD Schiphol) om 2x daags te beschikken over één of meer crosssections. Daarbij is de keuze gemaakt voor een tiental sectoren met bijbehorende radiosonde stations.

Van de 00.00 z serie wordt tussen 00.00 en 03.30 g.m.t. de plotfile gemaakt en van de 12.00 z serie tussen 12.00 en 15.30 g.m.t.

De crosssections kunnen worden aangeropen op de plotter m.b.v. een eenvoudige code nl.

DD UU CROS $R_1 R_1$

DD = dag van de maand

UU = uur (00 of 12 g.m.t.)

$R_1 R_1$ = richting in 10 tallen graden

bijv. 2712 CROS 04 geeft van de 27ste van de maand van 12.00 g.m.t. crosssections van richting 040° .

Om een crosssection te kunnen maken moeten er per richting minstens 5 sondestations binnen zijn.

Wellicht ten overvloede gezegd; crosssections leveren niet meer informatie dan in TEMPS afzonderlijk aanwezig is maar door ze in onderling verband te zien is het in veel gevallen toch mogelijk om er iets meer uit te halen.

Het geeft de meteoroloog zeker niet het antwoord op al zijn vragen maar het kan in een flink aantal gevallen een nuttige bijdrage geven om het weerbeeld dat hij opbouwt te ondersteunen. De dynamische problemen zal hij op een andere manier te lijf moeten gaan.

Verder onderzoek.

- met behulp van θ_w crosssections, θ_w kaarten op quasi-horizontale vlakken en radarecho's zal getracht worden een geval waarbij zich een "conveyor-belt" voordoet, grondig te bestuderen (Hafkenscheid, Wessels, Bernard).
- in combinatie met trajectorie-model, θ_w 850 en crosssection analyses zal getracht worden om te komen tot het verwachten van een TEMP 12 tot 24 uur vooruit (Reiff c.s.).

Aanbevelingen.

- Het verdient aanbeveling om gedurende wat langere tijd (\pm 48 uur) crosssections van één richting te laten plotten om ze ook prognostisch te kunnen benutten.
- Het gebruik van een plotter werkt nogal vertragend, het verdient m.i. aanbeveling om crosssections te presenteren op een grafische display bij de meteoroloog (dit geldt trouwens voor veel meer computeroutput).

De meteoroloog kiest zelf welke doorsneden hij wil zien en heeft deze bijna momentaan beschikbaar zonder dat de papiertoevloed weer toeneemt. Handig zou zijn als er ook een "hard-copy" mogelijkheid bij zou komen.

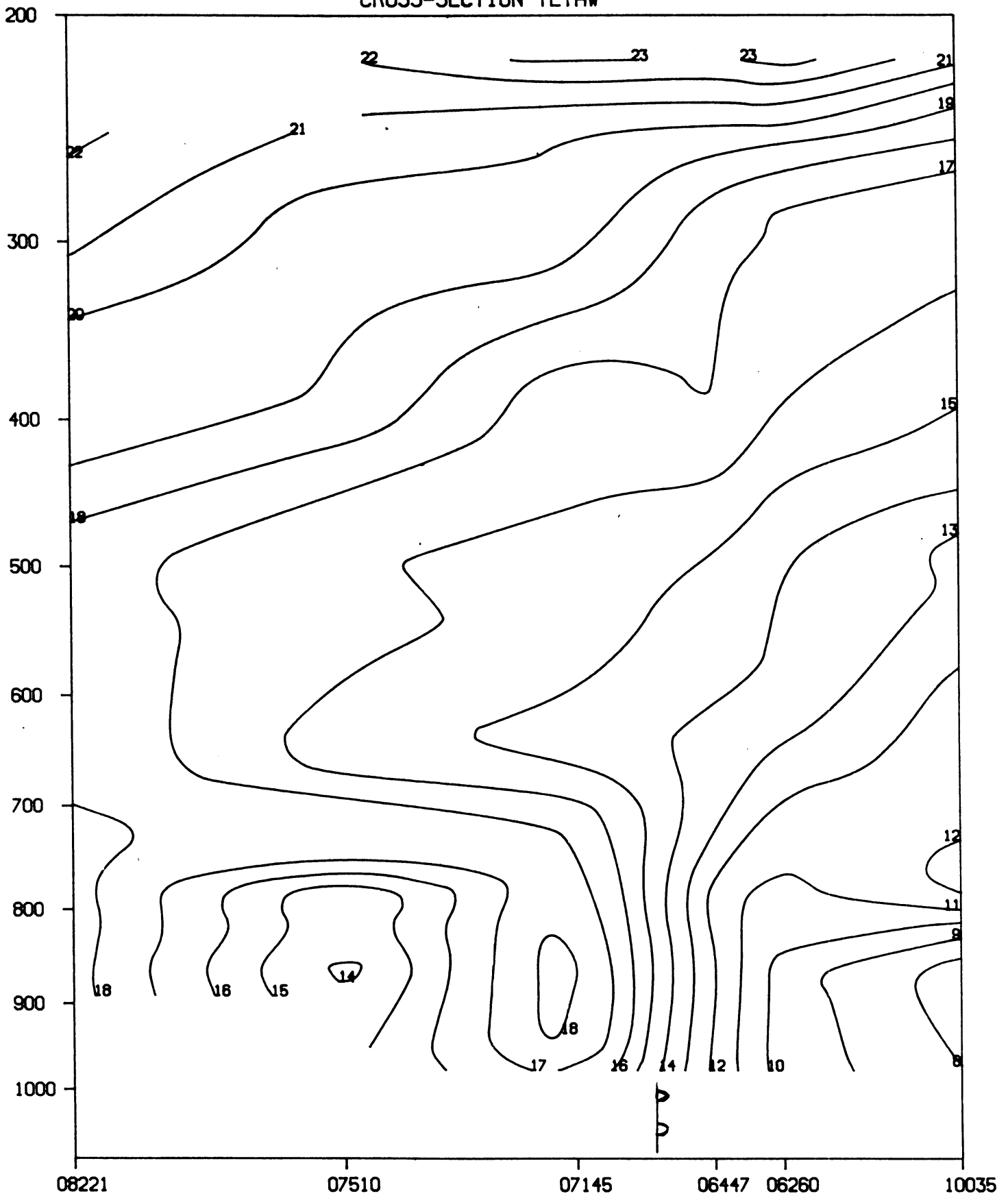
Dank aan Joop Geurts en Dick Folkers van de KNMI computer-afdeling voor hun voortreffelijke steun bij de ontwikkeling van het programma met name bij dataverwerking en plotprocedures.

Hierbij een aantal voorbeelden van crosssections die U zelf nog eens kunt bestuderen.

John Bernard

Toekomstig adres: Afd. Natuur- en Weerkunde,
Landbouw Hogeschool,
Duivendaal 2,
Wageningen (08370 - 82940).

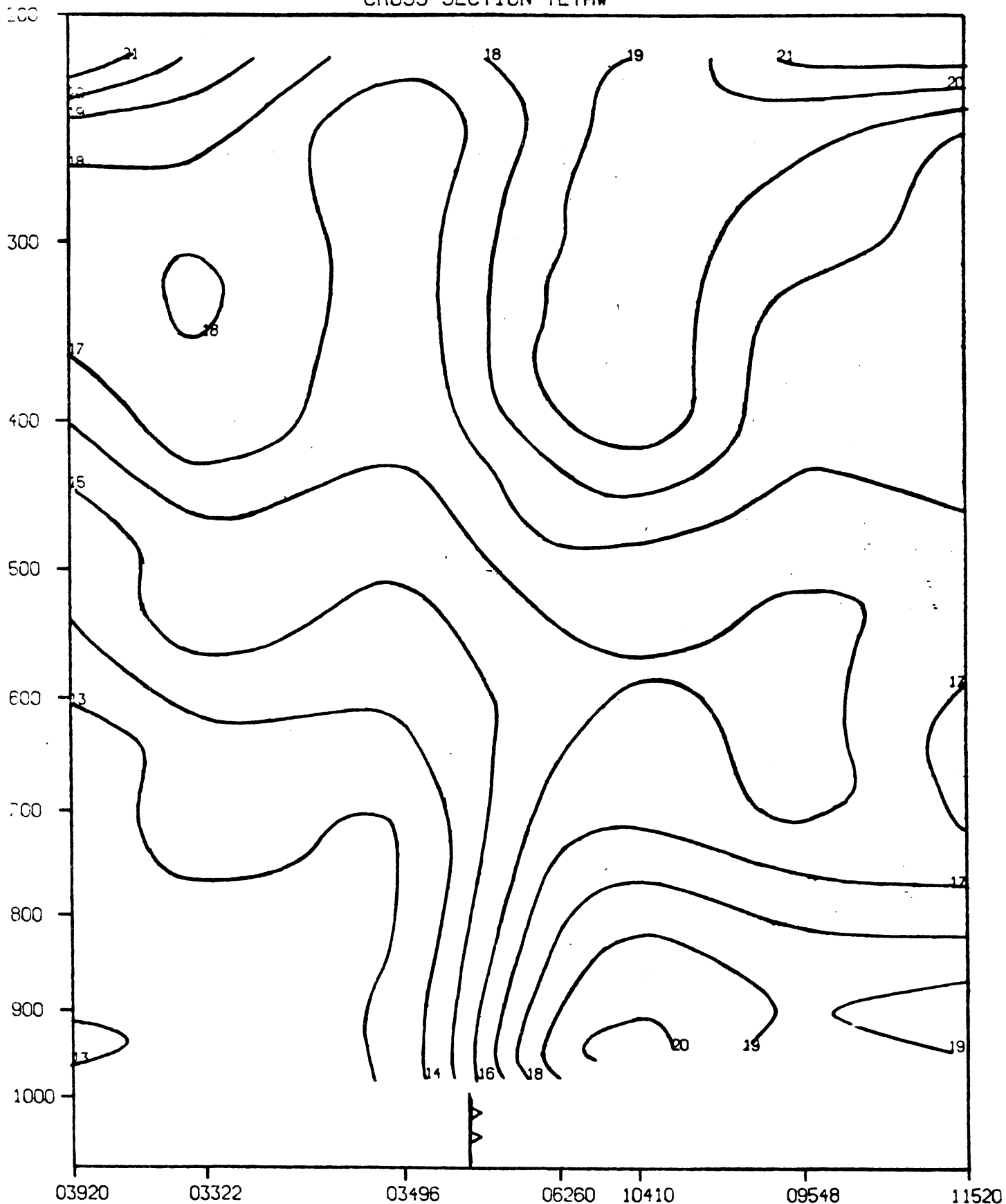
CROSS-SECTION TETAW



18-07-1978 0000 GMT RICHTING 200



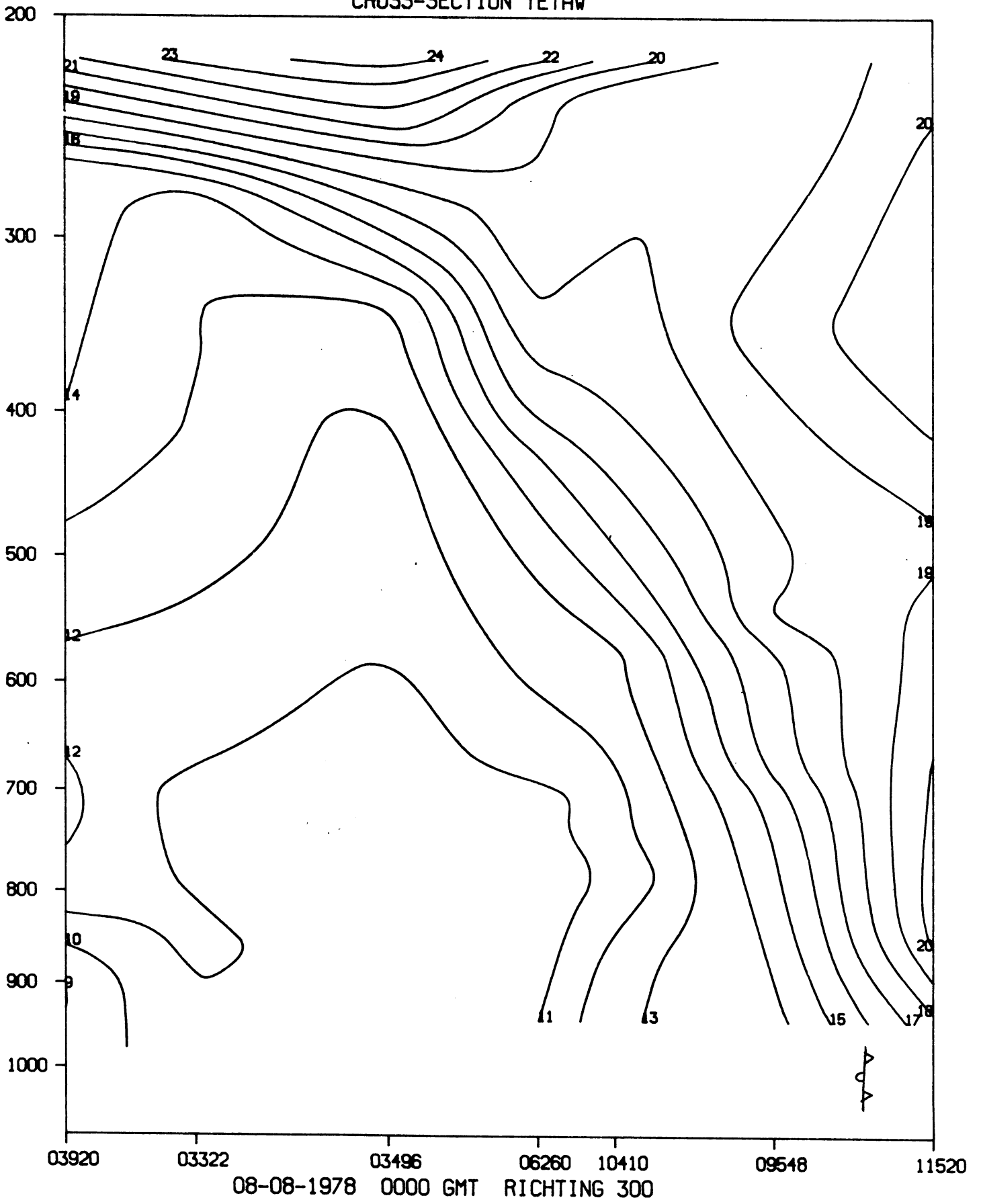
CROSS-SECTION TETAW



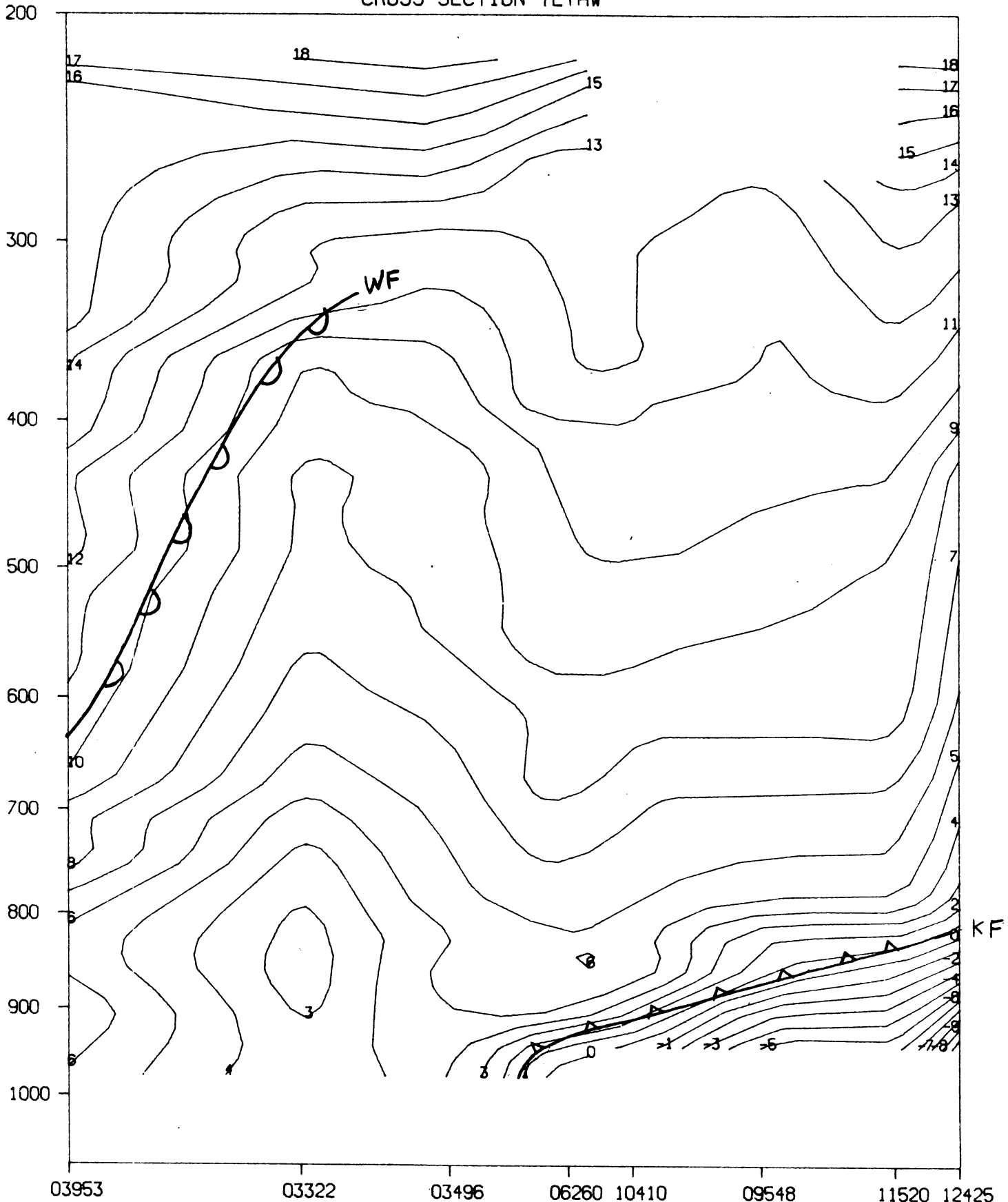
31-07-1978 0000 GMT RICHTING 300

∇/R

CROSS-SECTION TETAW



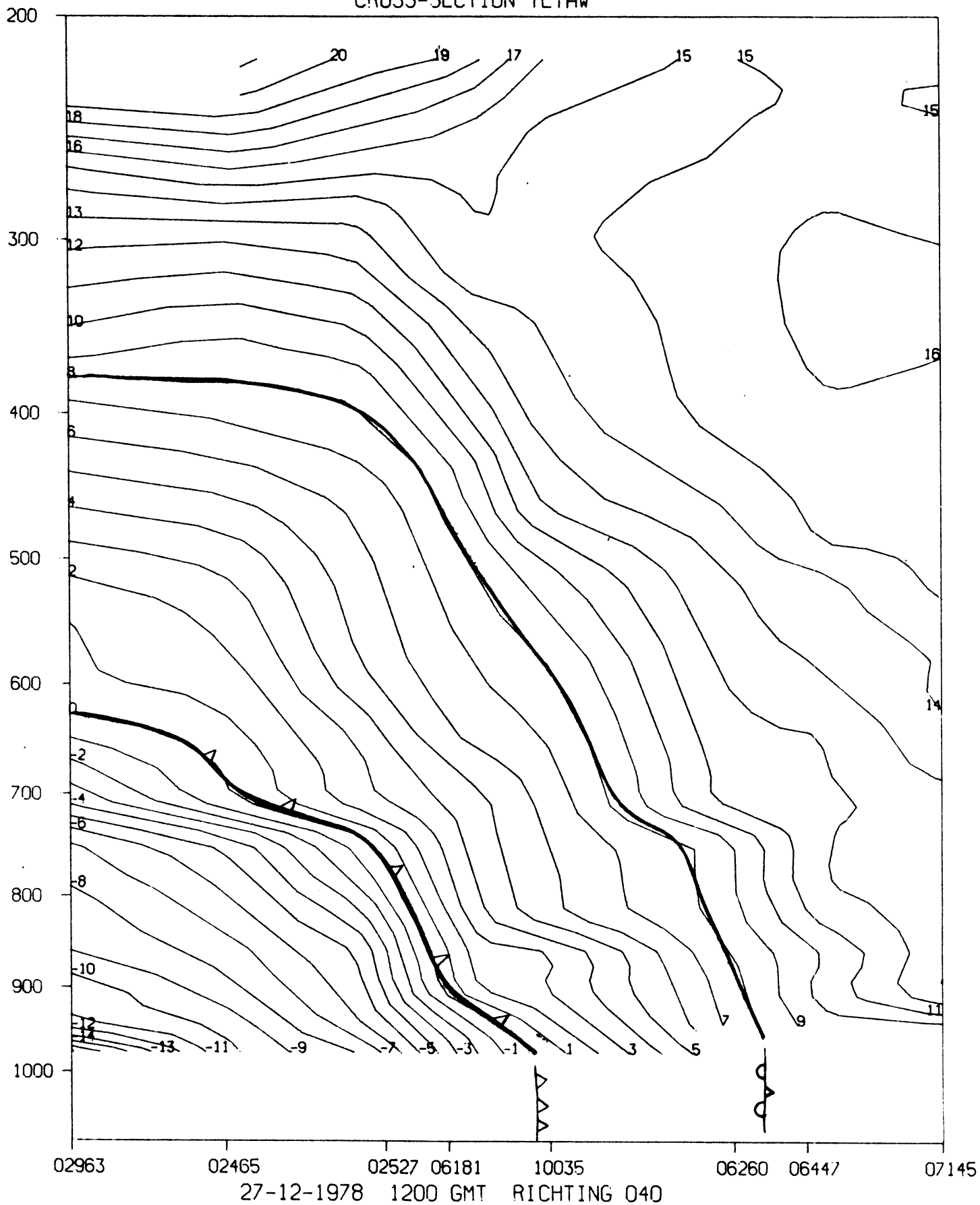
CROSS-SECTION TETAU



05-12-1978 0000 GMT RICHTING 280

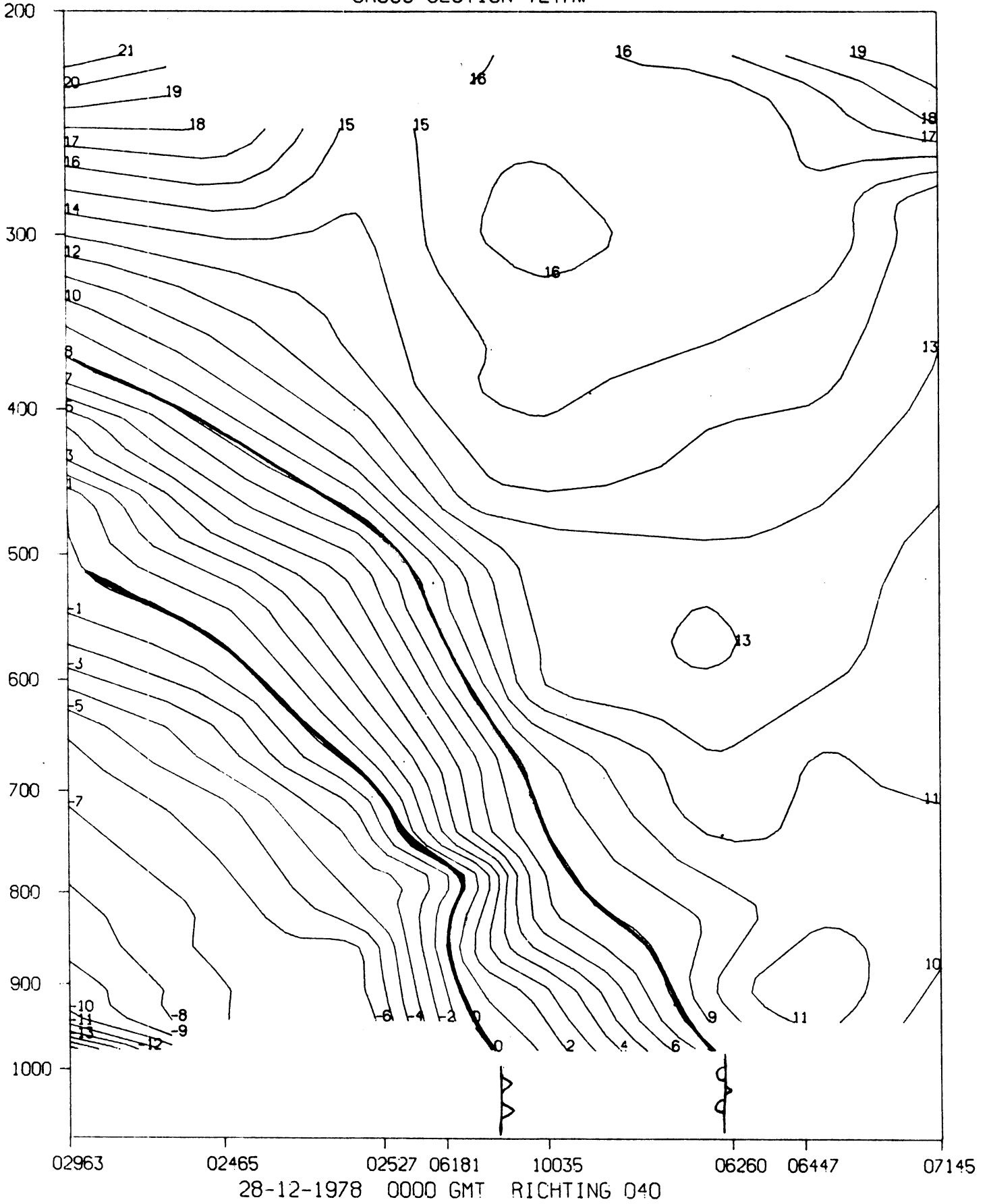
HELLING KF 1:600

CROSS-SECTION TETAW



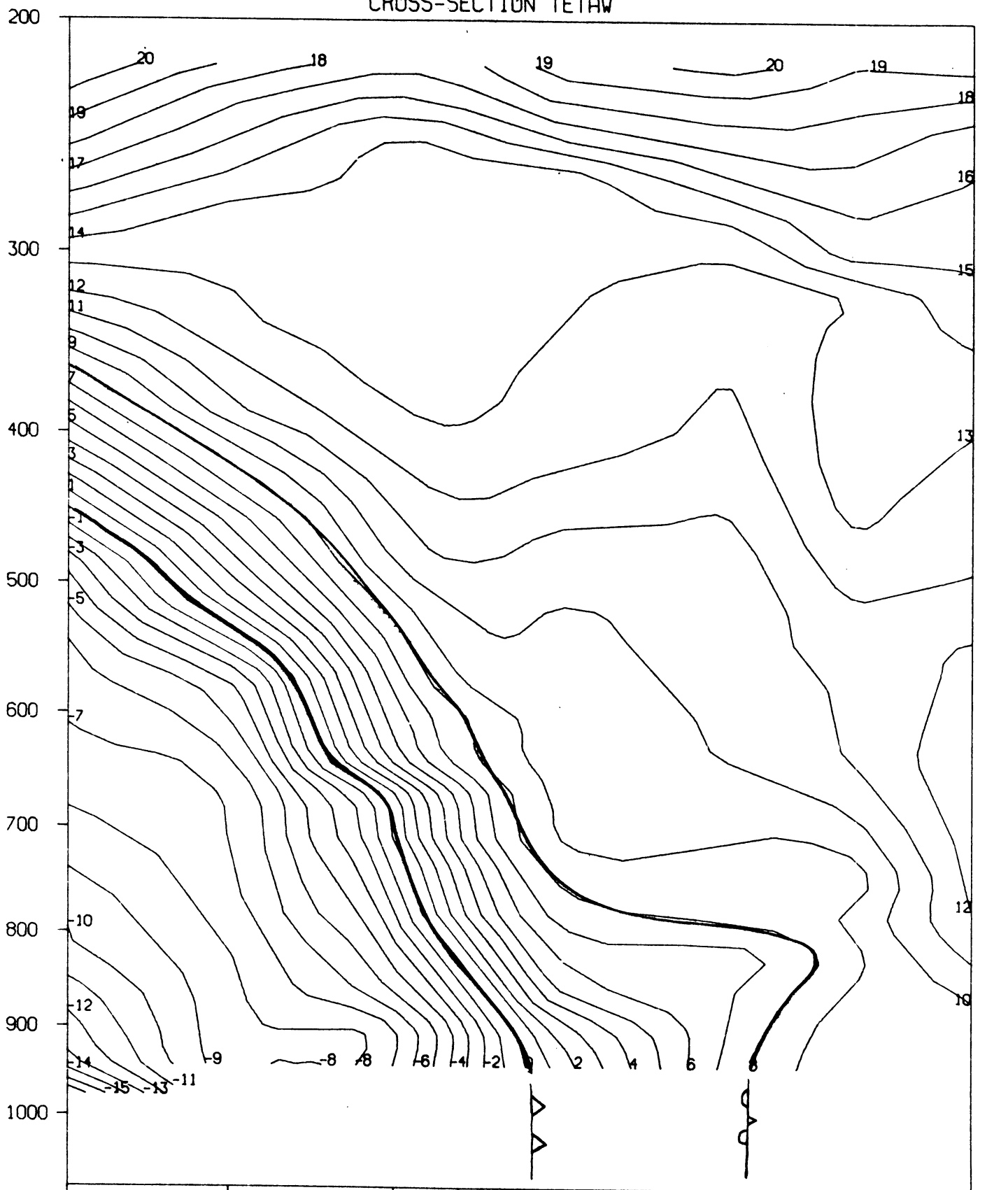
27-12-1978 1200 GMT RICHTING 040

CROSS-SECTION TETAW



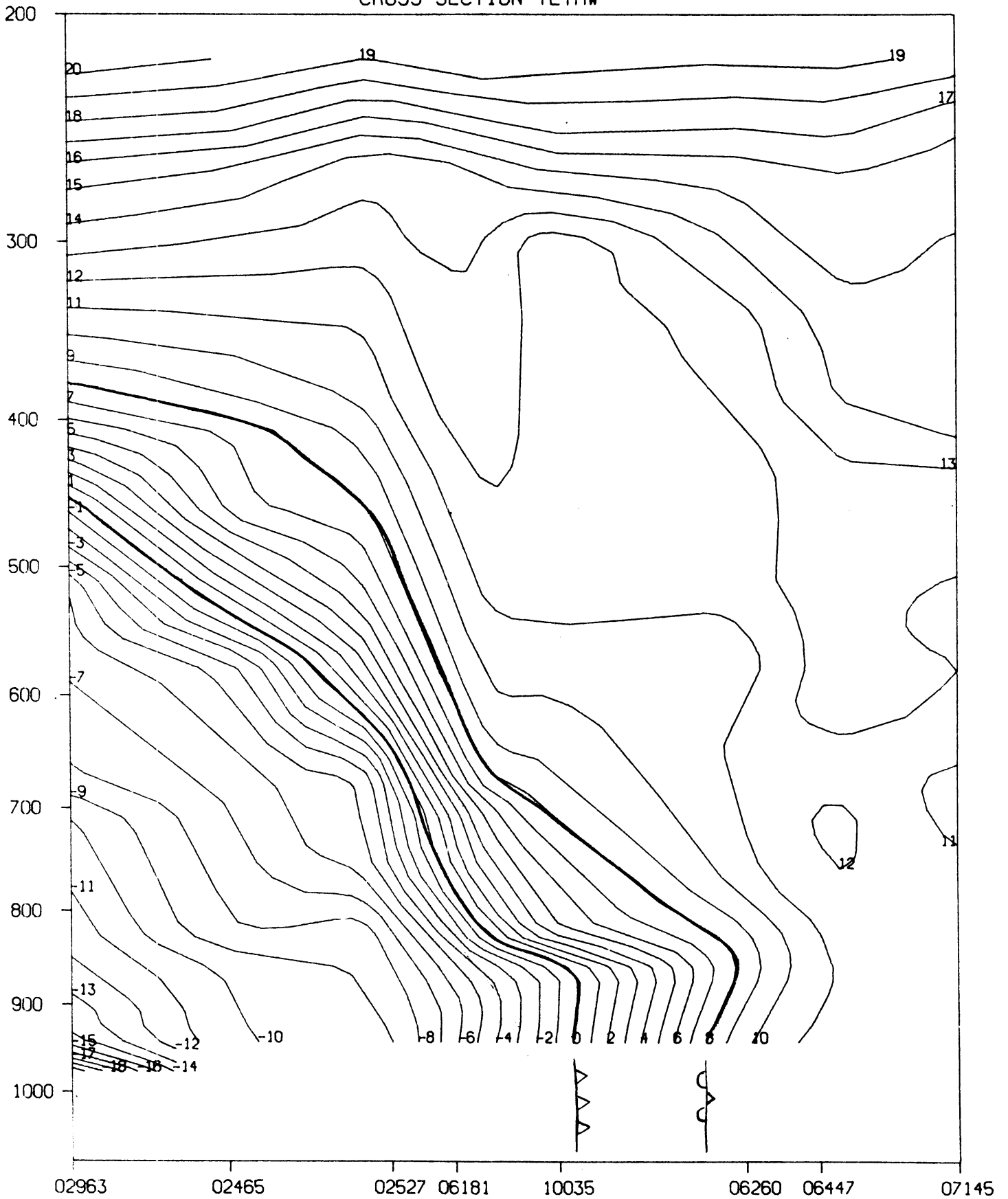
28-12-1978 0000 GMT RICHTING 040

CROSS-SECTION TETA W



28-12-1978 1200 GMT RICHTING 040

CROSS-SECTION TETA W



29-12-1978 0000 GMT RICHTING 040

III STRUCTUUR VAN FRONTEN

(Samenvatting voordracht H. Wessels)

Aanbevolen literatuur:

- K. Browning (1974) Mesoscale structure of rain systems in the
British Isles.
J. Met. Soc. Japan 52, 314-327.

Gedurende de laatste 10 jaar is de structuur van de depressies van gematigde breedten uitvoerig onderzocht, onder meer met (Doppler-) radar. Vooral het onderzoek van T. Harrold en K. Browning, waarvoor de waarnemingen aanvankelijk in Wales en West-Engeland werden verricht en later in de, wat betreft orografie minder gestoorde, omgeving van de Scilly-eilanden werden voortgezet, leverde nieuwe gezichtspunten op het klassieke "Noorse" frontenmodel. Zie het aanbevolen artikel, vooral tot en met paragraaf 5. Merk op dat de meeste figuren doorsneden ten opzichte van het bewegend systeem weergeven.

Bepalend voor de neerslagverdeling blijkt vooral de "warm conveyor belt", zich bevindend vlak vóór en evenwijdig áán het koufront. Daar wordt lucht aangevoerd, die boven de subtropische oceaan een hoge potentiële natteboltemperatuur heeft gekregen. Deze stroming is slechts enkele honderden km. breed en enkele km. diep. De conveyor-belt hangt vaak samen met een maximum in de windsnelheidscomponent evenwijdig aan het koufront; zij manifesteert zich dan als een straalstroom nabij het 900 mb.-niveau. Deze betrekkelijk smalle stroming verzorgt waarschijnlijk een belangrijk deel van de poolwaartse transporten in de algemene circulatie van de atmosfeer.

Nabij het occlusiepunt strijkt koude droge lucht over de conveyor belt, zodat daar de verticale opbouw potentieel onstabiel wordt. Neerslag in de warme sector en bij het warmtefront, die ontstaat door grootschalige optilting, kan daarom een convectief karakter hebben en eventueel een bandenstructuur vertonen.

De opdringende koude bovenlucht onderdrukt het stijgen van de conveyor belt nabij het grond-koufront. Bij het oclusiepunt kan men dan van een kata-koufront spreken, waarbij de hevigste neerslag vóór het grond-koufront valt. Verder van het depressie-centrum stroomt de bovenlucht meer evenwijdig aan de conveyor belt, zodat de koude lucht niet boven de warme lucht doordringt. Neerslag ontstaat dan vooral áchter het grond-koufront door geforceerde optilling van de warme lucht (ana-koufront).

Een fascinerend verschijnsel is de "lijn-convectie", die bij het genoemde Engelse onderzoek vaak bij dit deel van het koufront geconstateerd is: De warme conveyor belt draait als een kurketrekker voor het koufront langs. Door onderlinge meekoppeling van geforceerde optilling, wrijvingsconvergentie en latente warmte (vgl. CISK-mechanisme: conditional instability of the second kind) is de neerslag-productie hier buitengewoon efficiënt. Hoewel we op de radar een vrij smalle lijn zien met echo's tot ca. 3 km. hoog, treedt hier toch soms hagel of onweer bij op.

We zien dus dat zowel bij het warmtefront als bij het koufront de conveyor belt bepalend is voor de neerslagverdeling.

De genoemde aspecten van de frontenstructuur kunnen van belang zijn bij de analyse, de interpretatie van radarbeelden en de korte-termijn-verwachtingen. Met het beschikbaar komen van routine-analyses van θ_w op 850 mb. ("warme tongen"), verticale doorsneden, e.d., is het gemakkelijker geworden de hier beschreven facetten in de praktijk te herkennen.

Nog wat literatuur, voor zover niet in de lijst achter Browning's artikel:

- | | | |
|--|------|---|
| Ch.W. Newton | 1963 | Dynamics of severe convective storms, from "Severe Local Storms", Meteorological Monograph Am.Met.Soc. , 5, no.27, pp.33-58. |
| T.W. Harrold | 1973 | Mechanisms influencing the distribution of precipitation within baroclinic disturbances. Quart, J.R. Met.Soc. <u>99</u> , 232-251. |
| T.W. Harrold,
P.M. Austin | 1974 | The structure of precipitation systems - a review. J. des Rech. Atm. <u>8</u> , 41-57. |
| K.A. Browning,
F.F. Hill, C.W. Pardoe | 1974 | Structure and mechanism of precipitation and the effect of orography in a wintertime warm sector. Quart. J.R. Met.Soc. <u>100</u> , 309-330. |
| K.A. Browning,
C.W. Pardoe, F.F. Hill | 1975 | The nature of orographic rain at wintertime cold fronts. Quart. J.R. Met.Soc. <u>101</u> , 333-352. |
| W.T. Roach,
M.E. Hardman | 1975 | Mesoscale air motions derived from wind finding dropsonde data: the warm front and rainbands of 18 January 1971. Quart. J.R. Met.Soc. <u>101</u> , 437-462. |
| K.A. Browning,
G.W. Bryant | 1975 | An example of rainbands associated with stationary longitudinal circulations in the planetary boundary layer. Quart. J. R. Met.Soc. <u>101</u> , 893-900. |
| R.A. Houze, P.V. Hobbs,
K.R. Biswas, W.M. Davis | 1976 | Mesoscale rainbands in extratropical cyclones. Monthly Wea. Rev. <u>104</u> , 868-878. |
| M.J. Bader,
W.T. Roach | 1977 | Orographic rainfall in warm sectors of depressions. Quart. J. R.Met.Soc. <u>103</u> , 269-280. |
| P.K. James.
K.A. Browning | 1978 | A case of line convection observed by radar using a high resolution colour display. Weather, <u>33</u> , 212-215. |

Verslag van een lezing, gehouden in november 1978, voor het synoptisch symposium van het KNMI, door M. Saraber en J. Reiff.

- Indeling: 1. Het trajectoriënmodel.
 2. Voorbeelden van trajectoriën.
 3. De nauwkeurigheid van trajectoriën.
 4. Het gebruik in de weerkamer.
 5. Toekomstig onderzoek aan trajectoriën.

1. Het trajectoriënmodel.

Het model is ontwikkeld gedurende 1977 en 1978 door J. Reiff, F. Cannemeijer en M. Saraber. Het maakt gebruik van prognoses van windvelden, inclusief de verticale windcomponent, die door het BK3-, in de toekomst BK4-model, worden geleverd. Deze windvelden zijn van $t = 0, 2, 4, 6, \dots, 24$ beschikbaar op het gebied ongeveer zo groot als geschetst in figuur 3.

De bedoeling van het trajectoriënmodel, afgekort Tr-model, is, om het bron-gebied van lucht te bepalen die over 24 uur in de Bilt aan zal komen. Daar het model gebaseerd is op prognoses van windvelden, zullen fouten in de prognose, automatische fouten in het voorspelde brongebied veroorzaken.

Het berekenen van trajectoriën gaat in het kort als volgt, waarbij we de vraag **iets anders stellen: Waarheen gaat lucht, die in de Bilt op $t = 0$ start?**

In de Bilt (plaats x_0) wordt op $t = 0$ de snelheid afgelezen. Met deze snelheid wordt de lucht 2 uur verplaatst tot plaats x_1 . (Zie figuur 1). Er wordt nu een fout gemaakt, omdat de lucht onderweg een andere snelheid heeft gekregen. Dit wordt hersteld door op plaats x_1 de snelheid af te lezen op tijdstip $t = 2$. Met het gemiddelde van de snelheden van x_0 op $t = 0$ en x_1 op $t = 2$ wordt nu opnieuw vanuit x_0 een plaats bepaald: x_2 . De snelheid v op x_2 en $t = 2$ wordt gebruikt om samen met de snelheid van x_0 op $t = 0$ een nieuwe plaats te bepalen: x_3 . Dit gaat door, gelukkig op de computer, tot er een plaats x_n is bereikt die nauwelijks meer verandert. x_n is nu de positie die het luchtpakketje vanuit de Bilt na 2 uur bereikt heeft. Deze plaats zal in het algemeen niet meer op hetzelfde drukvlak liggen van waaruit we vertrokken, omdat ook de verticale windcomponenten in de berekening meedoen.

Hetzelfde "iteratieve" proces als tussen de tijden $t = 0$ en $t = 2$ plaatsvond wordt herhaald tussen de tijdstippen $t = 2$ en $t = 4$ tot we een trajectorie tot aan $t = 24$ gevonden hebben. Zie figuur 1.

Enkele opmerkingen:

- Het trajectoriënprogramma kan winden interpoleren, zodat op elke plek in ons gebied, ook tussen de drukvlakken waarmee BK3 rekent, de wind bekend is op $t = 0, 2, 4, \dots, 24$.
- Gerekend wordt met winden, die ons door BK3 geleverd zijn: geostrofische winden.
- Een deeltje dat over 24 uur in de Bilt aankomt, zal in het algemeen uit een heel ander gebied kunnen komen dan een deeltje dat over 12 uur in de Bilt aankomt.

In het bijzonder: Het brongebied van een deeltje, dat over 12 uur in de Bilt aankomt ligt niet halverwege de trajectorie van een deeltje dat over 24 uur in de Bilt aankomt.

- Het is echter wel zo, dat alle brongebieden voor de lucht die op één bepaald tijdstip boven de Bilt aankomt langs hetzelfde trajectorie liggen (zie figuur 2).
- Het berekenen van de 24-uur trajectoriën van de 5 hoofdstations in Nederland op 4 drukvlakken kost 2 minuten Burroughs computertijd + 1 à 2 minuten plottijd.
- Wegens te grote onnauwkeurigheid heeft het berekenen van brongebieden voor lucht die na 24 uur in de Bilt aankomt minder zin.

2. Voorbeelden van trajectoriën.

De "overhead" plaatjes, in verschillende kleuren, die tijdens het synoptisch symposium werden vertoond staan hierna, helaas in zwart, afgebeeld.

- Figuur 3 laat een trajectorie zien: Het ruitachtige gebiedje ten N.W. van Schotland is het brongebied van het rechthoekje dat over Nederland ligt. De analyse van de uitgangstoestand is getekend, d.w.z. op het tijdstip dat de lucht uit het brongebied vertrekt. Naast de analyse is dus ook de 24-uurs prognose gebruikt en zijn alle tussenliggende progs gebruikt. Bij het aankomsttijdstip van de lucht in Nederland hoort dus een + 24 prog. De trajectoriën starten evenwijdig aan de stroomlijnen, omdat geostrofische winden gebruikt zijn, maar zullen na verloop van tijd in het algemeen de

isohypsen van de uitgangstoestand overschrijden. De druk waarop de deeltjes zich in het brongebied bevond staat meestal voor 2 trajectoriën genoteerd.

- Hoe het brongebied van de lucht, die boven Nederland terecht komt van dag tot dag verandert, laten de figuren 3, 4, 5 en 6 zien. Vooral de verschillen tussen 4, 5 en 6 zijn evident. Deze verschillen zijn niet uitzonderlijk groot. Zulke verschillen komen vaak voor.

Figuur 6 laat mooi zien, hoe sterk trajectoriën isohypsen van de uitgangstoestand kunnen doorsnijden en maakt duidelijk dat het schatten van 24-uurs brongebied voor een luchtpakket aan de hand van een analyse en een enkele prognose zonder computer vaak niet goed mogelijk is.

- Hoe verschillend de 24-uurs brongebieden van lucht op verschillende drukvlakken vaak zijn maken de figuren 3 en 7, 8 en 9, en 10 en 11 duidelijk. Dit is natuurlijk erg interessant voor de weerkamer:

Brongebieden van de lucht die op 850 mbar of op 500 mbar in de Bilt arriveren verschillen vaak aanzienlijk.

- Hoe sterk deeltjes in 24 uur kunnen stijgen of dalen laat figuur 5 zien. Het luchtpakketje, dat in Z.W.-Nederland aankomt daalde van 453 mbar tot 500 mbar; het luchtpakketje dat in N.O. Nederland aankomt steeg van 587 mbar tot 500 mbar. Figuur 12 is ook een spectaculair voorbeeld. Verticale verplaatsingen van 100 tot 150 mbar in 24 uur op 500 mbar en van 50-100 mbar op 850 mbar zijn groot, maar komen vooral 's winters nog wel eens voor. Meestal zijn de verticale verplaatsingen veel kleiner.
- Het verschil tussen het brongebied van nabijgelegen punten (in Nederland bijvoorbeeld) kan ook erg groot zijn. Zie de figuren 5, 10 en 12 zowel voor verschillen in lengte en breedte, als voor verschillen in brongebied qua druk! Op de vraag in hoeverre deze verschillen reëel zijn komen we nog terug.
- Gebieden met verticale beweging (stippengebieden) zullen in het algemeen een andere snelheid hebben dan de luchtpakketjes. Fronten, die met verticale bewegingsgebieden samenhangen, dus ook. Om te bekijken of fronten al of niet gepasseerd zullen zijn na 24 uur, moeten verticale bewegingsgebieden gevolgd worden en komt het gebruik van trajectoriën op de 2e plaats. Bij fronten spelen kleinschaliger bewegingen nl. een veel grotere rol. Het trajectoriënmodel is hier te grof voor en resulteert vaak in het door een front heengaan van een trajectorie, hetgeen waarschijnlijk niet reëel is.

- Voor verschillende gevallen is eens nagegaan, hoe sterk de verticale bewegingen de lengte en breedte van een brongebied beïnvloeden; het meenemen van verticale bewegingen leidt namelijk tot de mogelijkheid om van een ander druknivo met andere horizontale snelheden te komen. Figuur 10, 11, en 12 maken U dit duidelijk als de zwart-wit weergave tenminste nog voldoende is.
Het blijkt, dat de invloed van verticale bewegingen, midden in de troposfeer op de lengte en breedte van het brongebied meevalt. Boven in de troposfeer, bij de tropopauze, en beneden in de troposfeer, in stabiele situaties net boven de menglaag, is de invloed van vertikale bewegingen op de plaats van het brongebied vermoedelijk veel groter.
- De maximale afstanden, die lucht per dag af kan leggen, zijn zoals bekend erg groot. De figuren 10 en 11 illustreren dat nog eens. In najaar en voorjaar komen deze situaties vaak voor.

3. De nauwkeurigheid van trajectoriën.

- De nauwkeurigheid van het model is groot. Het feit dat we met eindige tijdstappen, namelijk 2-uur tijdstappen werken, levert nauwelijks een fout op (zie binnenste cirkel figuur 13).
- Fouten in de analyse zijn ook te verwaarlozen. (zie op één na binnenste cirkel in figuur 13).
- De grootste afwijkingen zijn het gevolg van de fout in de windprognoses, waarbij een goede prognose een kleine fout in het brongebied veroorzaakt (buitenste getrokken cirkel) en een slechte prognose een grote fout (gestippelde cirkel).
- De cirkels geven indicaties, de fouten zullen van geval tot geval sterk verschillen. Daar we nog niet met analyses hebben kunnen vergelijken, kunnen we kwantitatief nog geen uitspraak doen. We verwachten echter, dat figuur 14 met weinig vorticitetsverschil in de uitgangstoestand en een trajectorie bij een kern een slechte prognose, dus een slechte trajectorie, oplevert. De trajectorie in figuur 15 daarentegen achten we betrouwbaar
- Fouten in trajectoriën groeien snel, als gebieden met een sterke gradient in snelheidsveld, zoals kernen van lagen en hogen en zadelpuntsgebieden gepasseerd worden.

Trajectoriën, die vlak bij Nederland, dicht langs een kern van een hogedrukgebied, lagedrukgebied of zadelpuntsgebied gekomen zijn, zijn onbetrouwbaar.

Helaas hadden we hier tijdens het synoptisch symposium nog geen voorbeelden van ter beschikking.

- Verschillen tussen verschillende punten in een brongebied kunnen reëel zijn, (zie figuur 10), maar kunnen ook op grote onnauwkeurigheid duiden (misschien figuur 16?).

4. Het gebruik van trajectoriën in de weerkamer.

- De trajectoriën zullen, voorlopig als proef, in het voorjaar van 1979 in de weerkamer worden gebracht.
- Gebruik trajectoriën niet voor het voorspellen of een front ons na 24 uur gepasseerd is, verticale bewegingsgebieden zijn hiervoor een betere aanwijzing!
- Gebruik trajectoriën vooral in die situaties, waarbij advectie van een bepaalde grootte belangrijk is. Bijvoorbeeld:
 - a) Komen er wolkenvelden vanaf de Oostzee over 24 uur ons land binnendrijven? Zie figuur 17.
 - b) Komt de lucht over of langs Scandinavië of de Alpen? Is deze lucht daarom "warm geföhnd" of niet? Zie figuur 15 en 16.
- Bij het bepalen van een luchtsoort die ons land komt binnendrijven ($\theta_w!$), zie het verhaal van Hafkenscheid en Bernard, kan een trajectorie een hulpmiddel zijn.
- Bij het bepalen van het brongebied voor "de minimumtemperatuur methode van Hansen" kan een trajectorie een hulpmiddel zijn.
- Bij het bepalen van de maximum temperatuur (er is een vrij sterke correlatie tussen de maximum temperatuur en de temperatuur op het 850 mbar niveau).

5. Toekomstig onderzoek met het Tr-model.

Met de BK4 zal het mogelijk zijn om 3-uurlijkse analyses in het Tr-model te gebruiken. Het volgende onderzoek zal dan mogelijk zijn:

- Het toepassen in luchtverontreinigingssituaties in of boven de menglaag. Internationaal is hier erg veel aan gedaan. Handanalyses van trajectoriën zijn op het KNMI vaak gemaakt door Velds, den Tonkelaar en Bernard.
- Toepassingen bij rampenplannen, als er bijvoorbeeld radioactief materiaal ontsnapt.

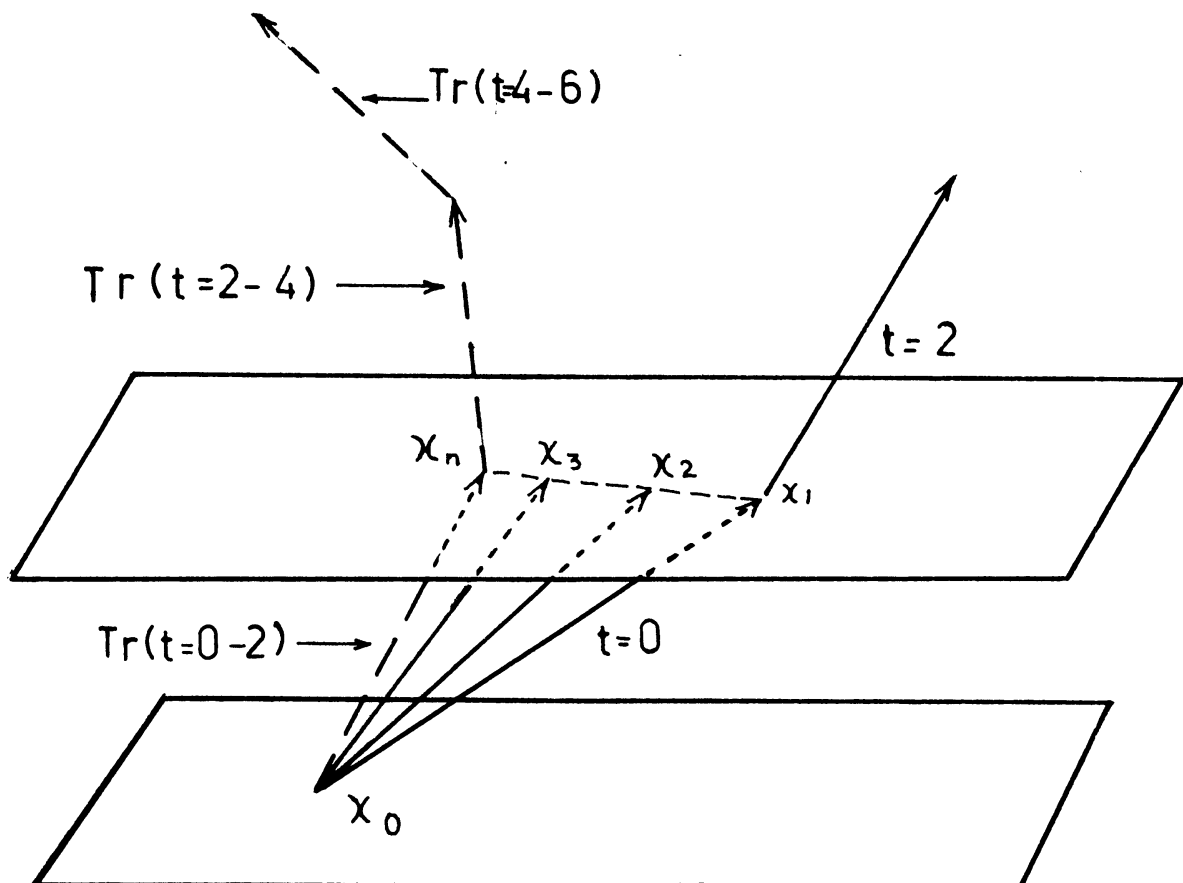
- Nagegaan zal worden of trajectoriën helpen bij het bepalen van de minimum temperatuur (Hansen) en in andere statistische technieken, die voorspelparameters zoals brongebied gebruiken.
- Op dit ogenblik wordt samen met Hafkenscheid en Bernard nagegaan of trajectoriën bruikbaar zijn bij het voorspellen van θ_w .
- Er is binnen MO een projectgroep "Trajectoriënverwachtingen" opgericht, die nagaat of we op een fysische manier de "Temp" van het brongebied naar de Bilt kunnen verplaatsen, daarbij vooral de menglaag voortdurend aanpassend, met een model ontwikkeld door Tennekes en Van Ulden.
- Nagegaan zou kunnen worden of de "doorlopen verticale beweging" die uit het Tr-model volgt, samen met vochtigheid en temperatuur iets over de neerslagkans kan zeggen.

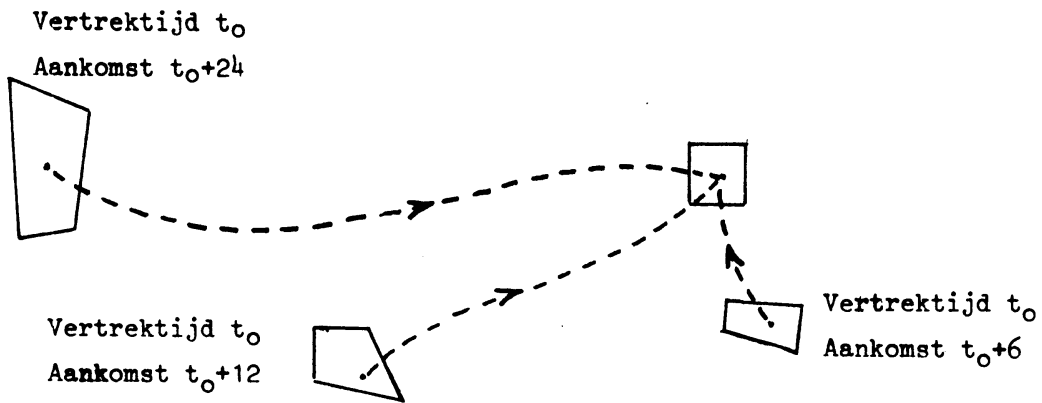
De meeste resultaten van deze onderzoeken zullen nog jaren op zich laten wachten, en zelfs al lukt het op analyses om verbanden aan te tonen dan nog moeten we goed onthouden:

De beste trajectorie gebruikt prognosevelden!

FIG. 1

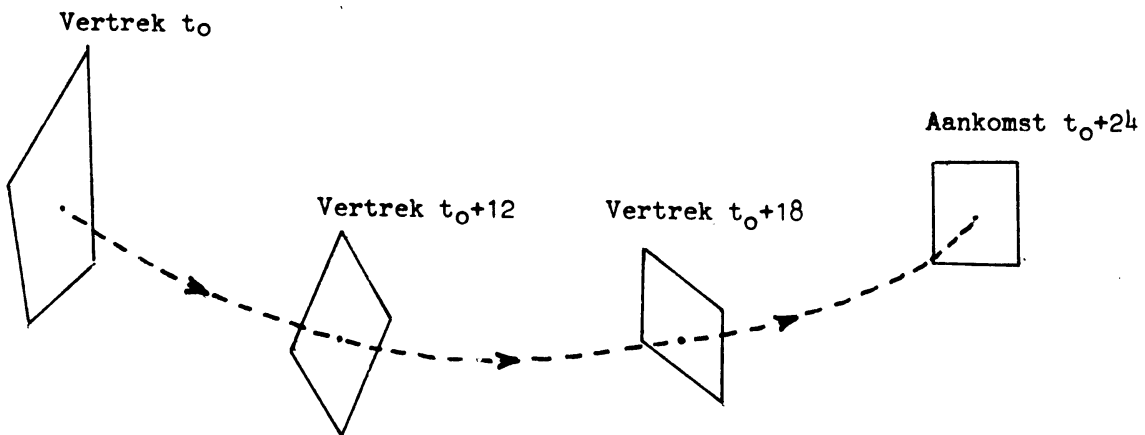
"ITERATIEVE" BEREKENING
VAN EEN TRAJECTORIE





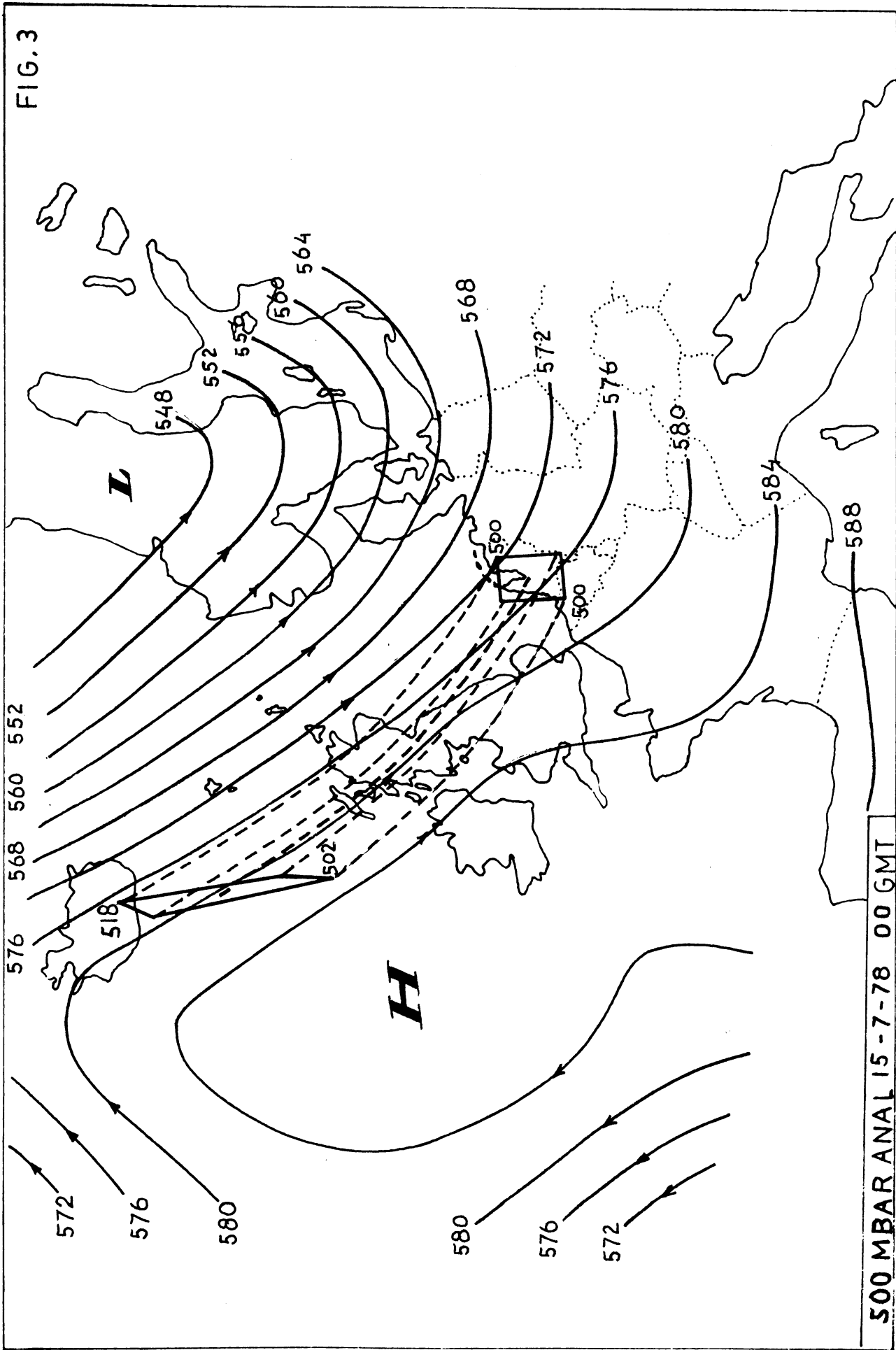
Figuur 2a. Trajectoriën met zelfde vertrektijd, maar verschillende aankomsttijden.

Brongebieden liggen niet op één trajectorie.



Figuur 2b. Trajectoriën met zelfde aankomsttijd, maar verschillende vertrektijd.

Brongebieden liggen langs één trajectorie.



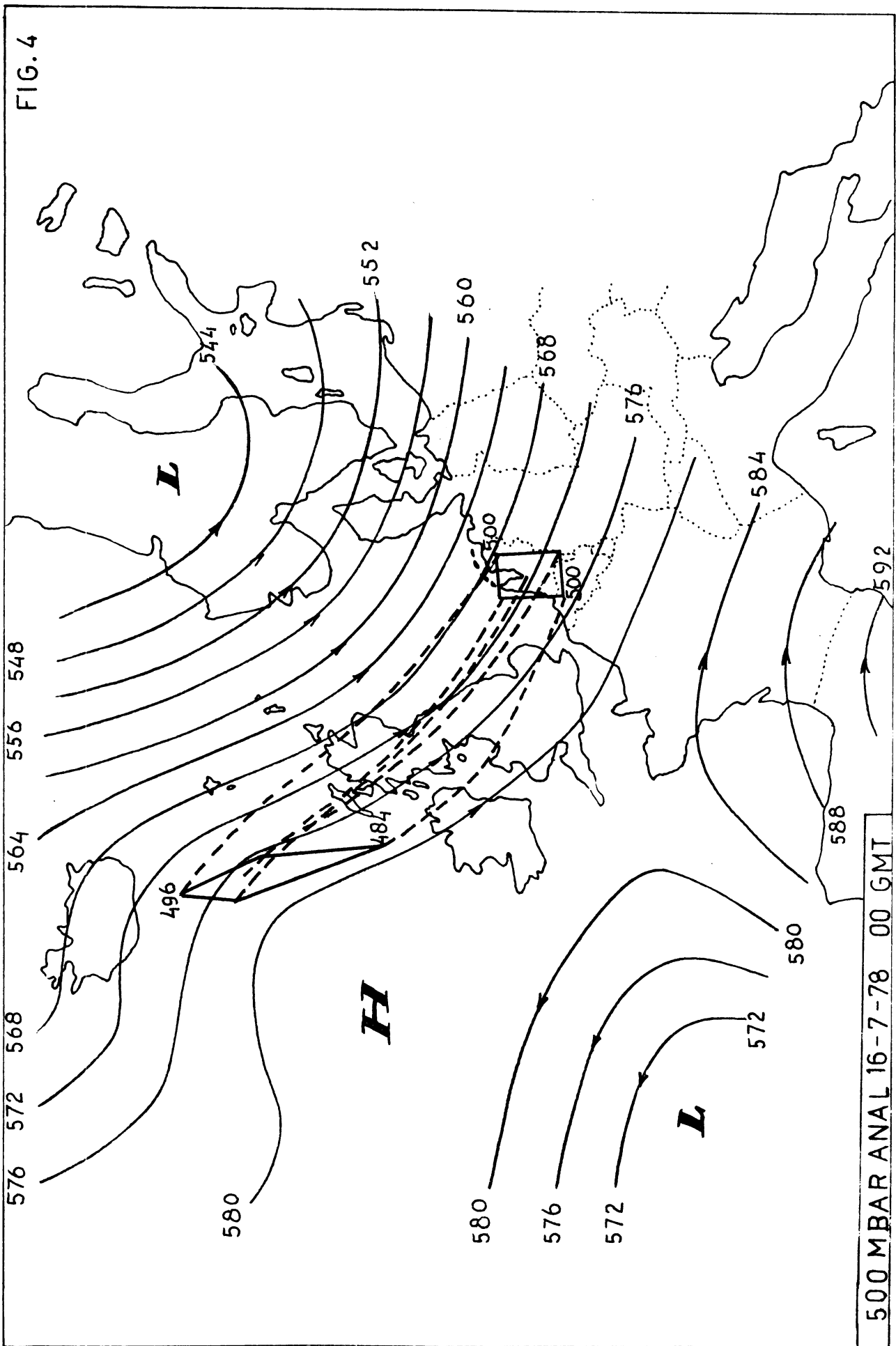


FIG. 4

500 MBAR ANAL 16-7-78 00 GMT

FIG. 5

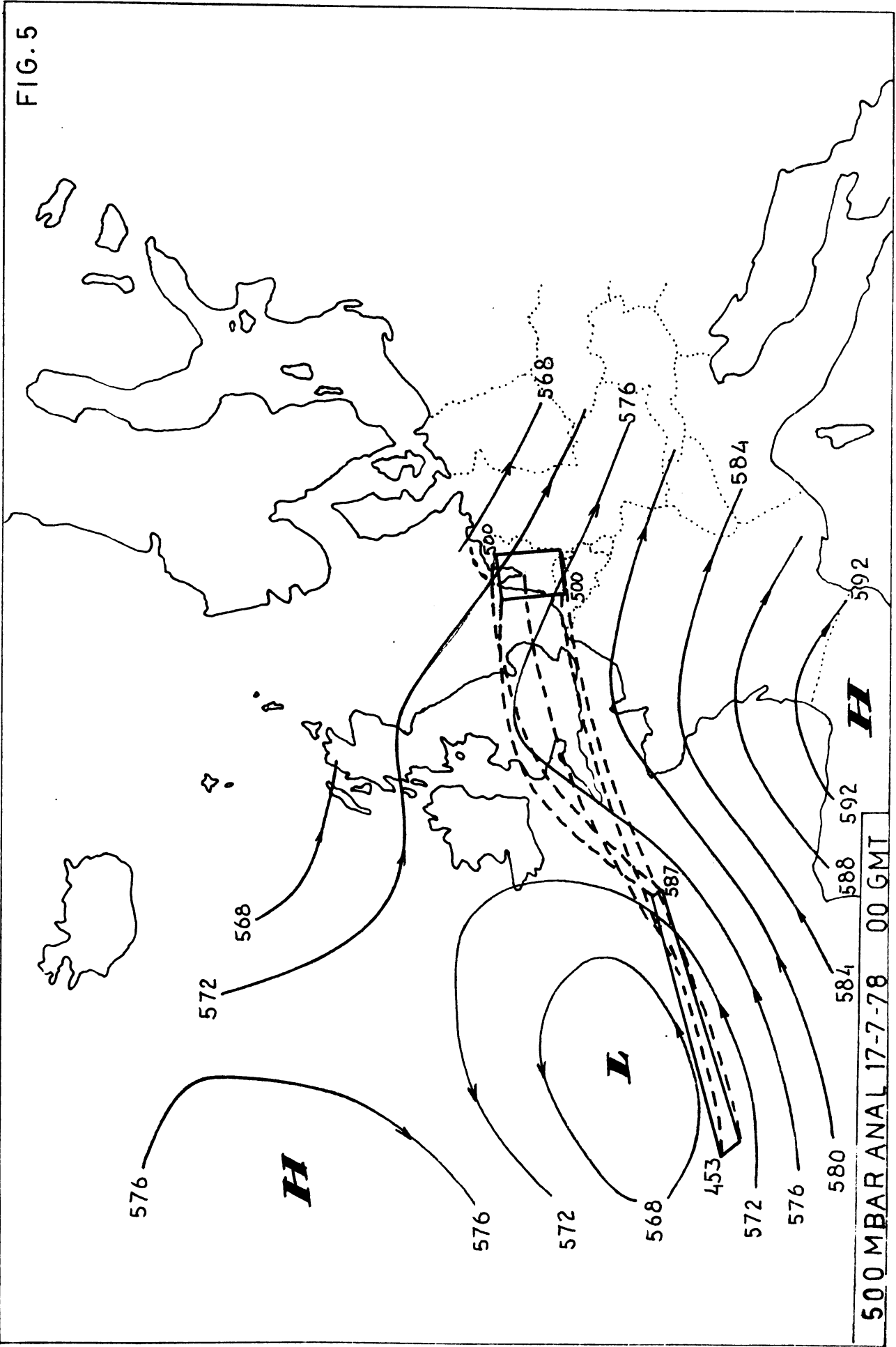


FIG. 6

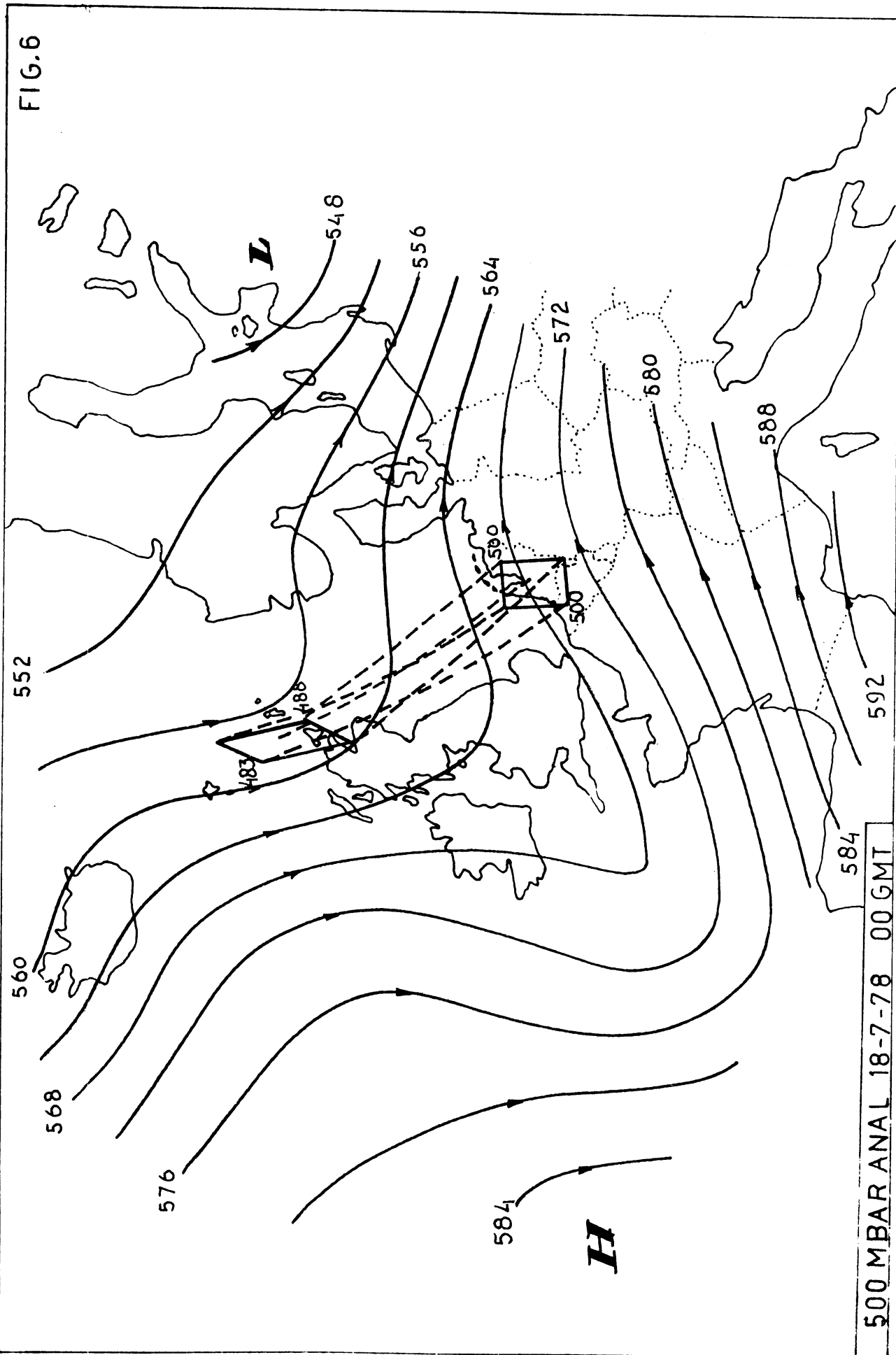
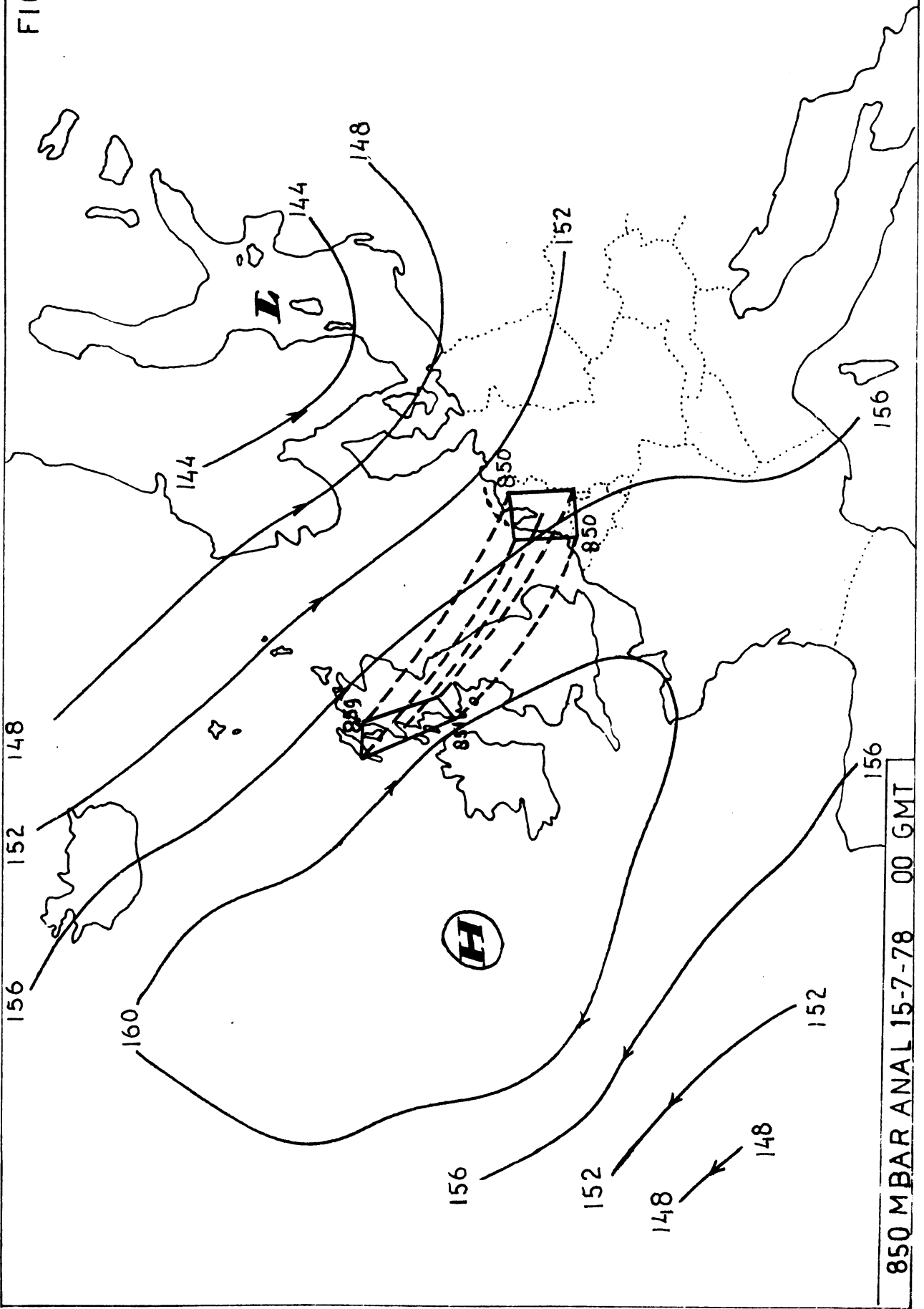
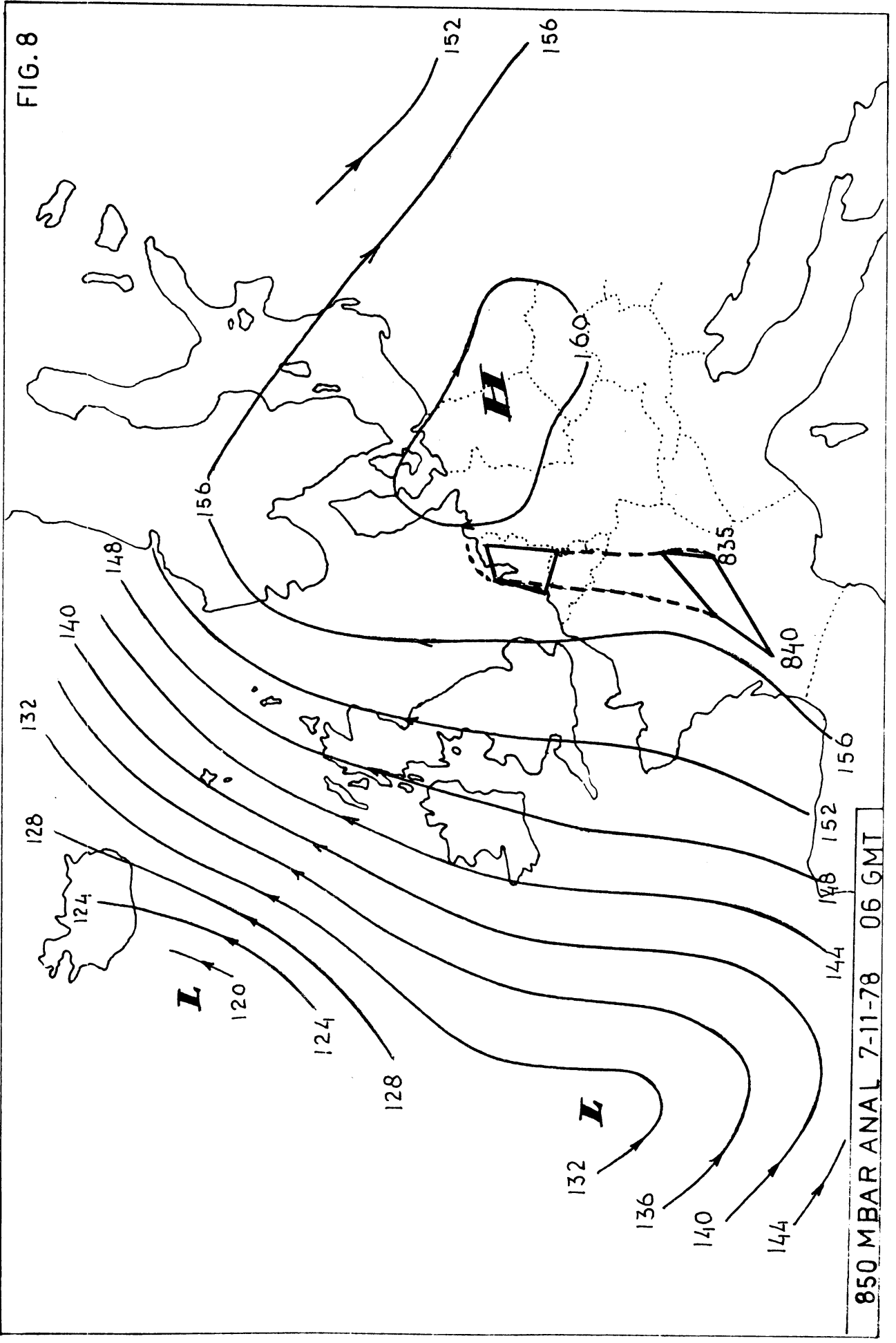


FIG. 7



850 M.BAR ANAL 15-7-78 00 GMT

FIG. 8



850 MBAR ANAL 7-11-78 06 GMT

FIG. 9

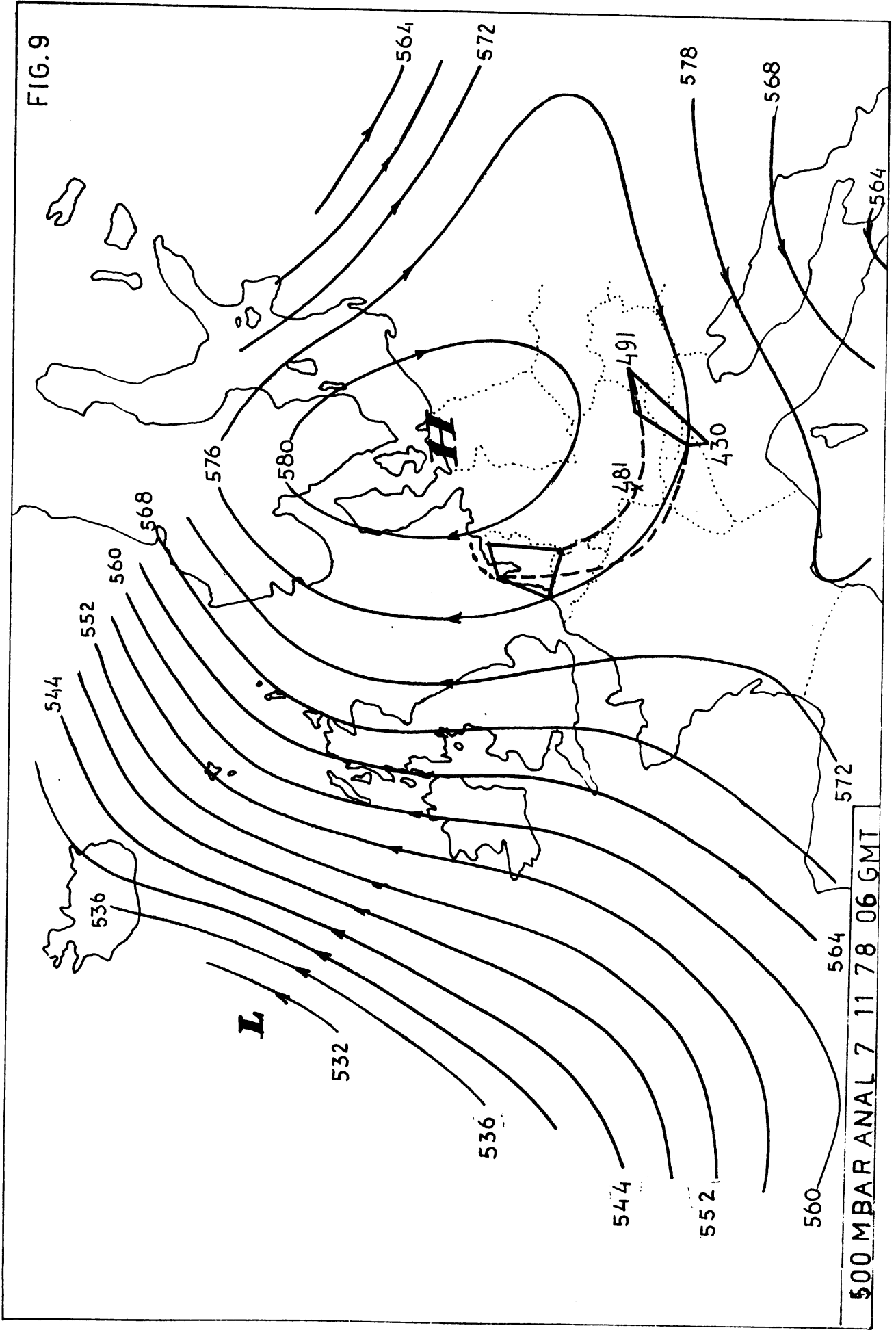
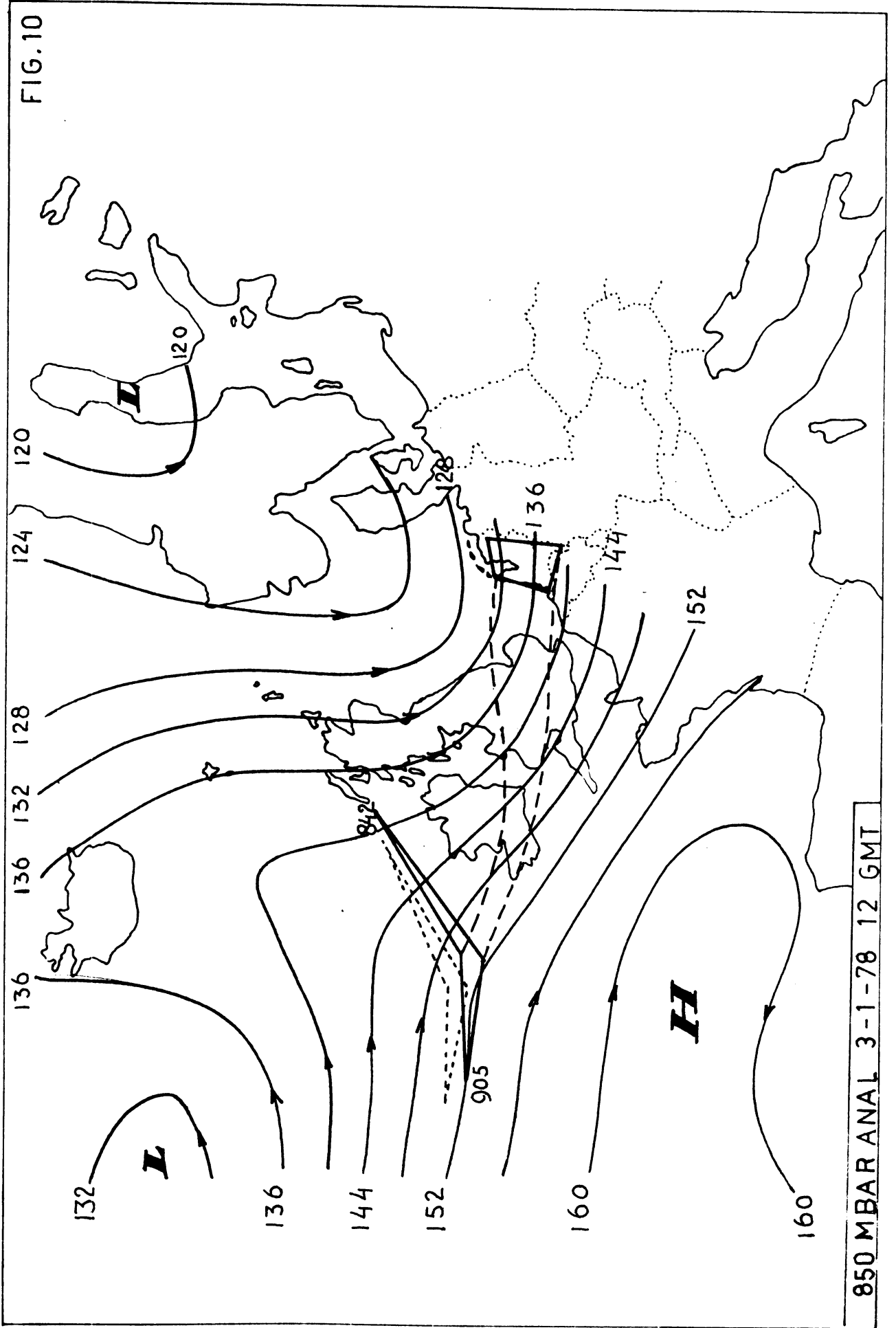


FIG. 10



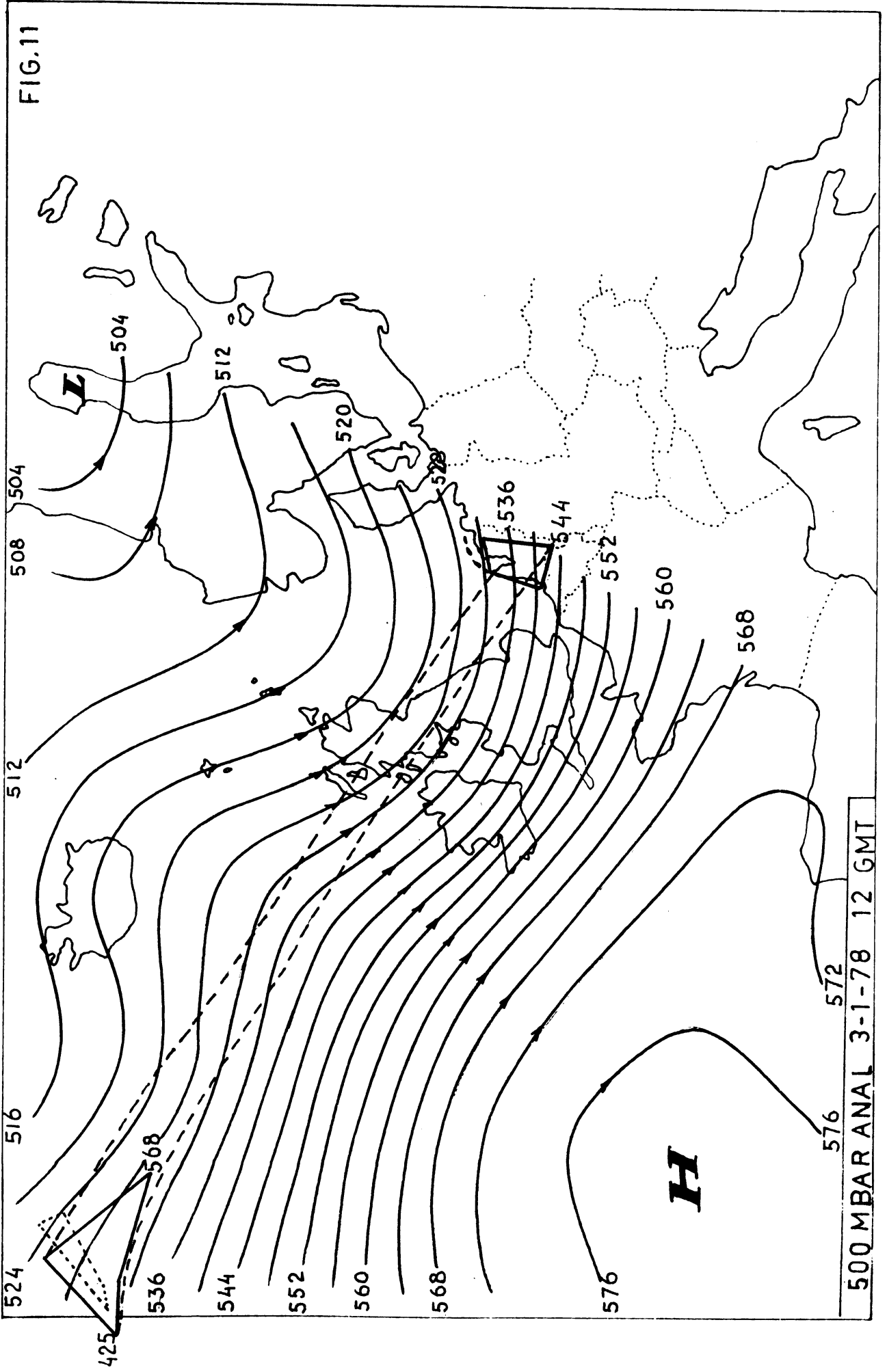
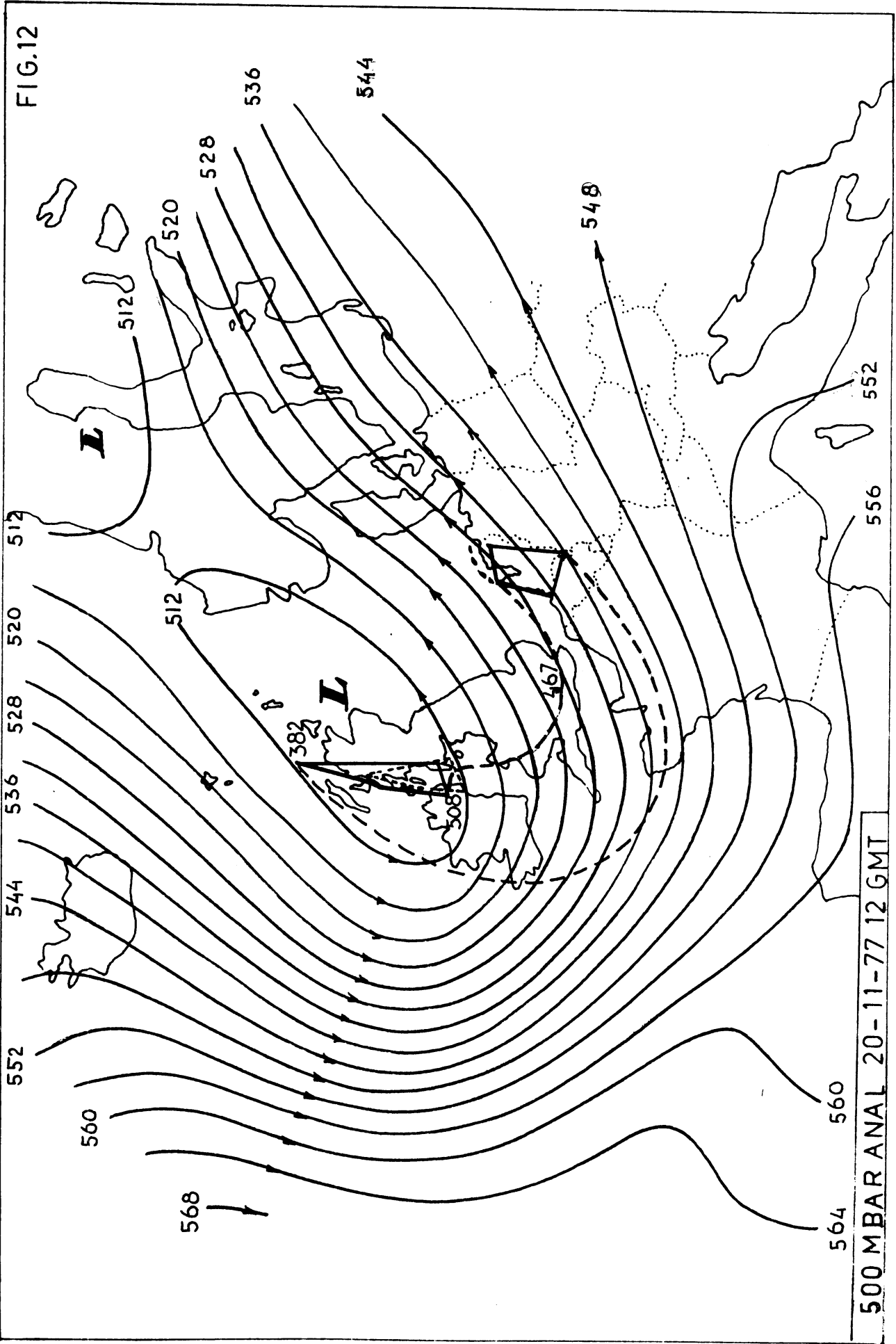


FIG.11

FIG.12



500 MBAR ANAL 20-11-77 12 GMT

FIG.13

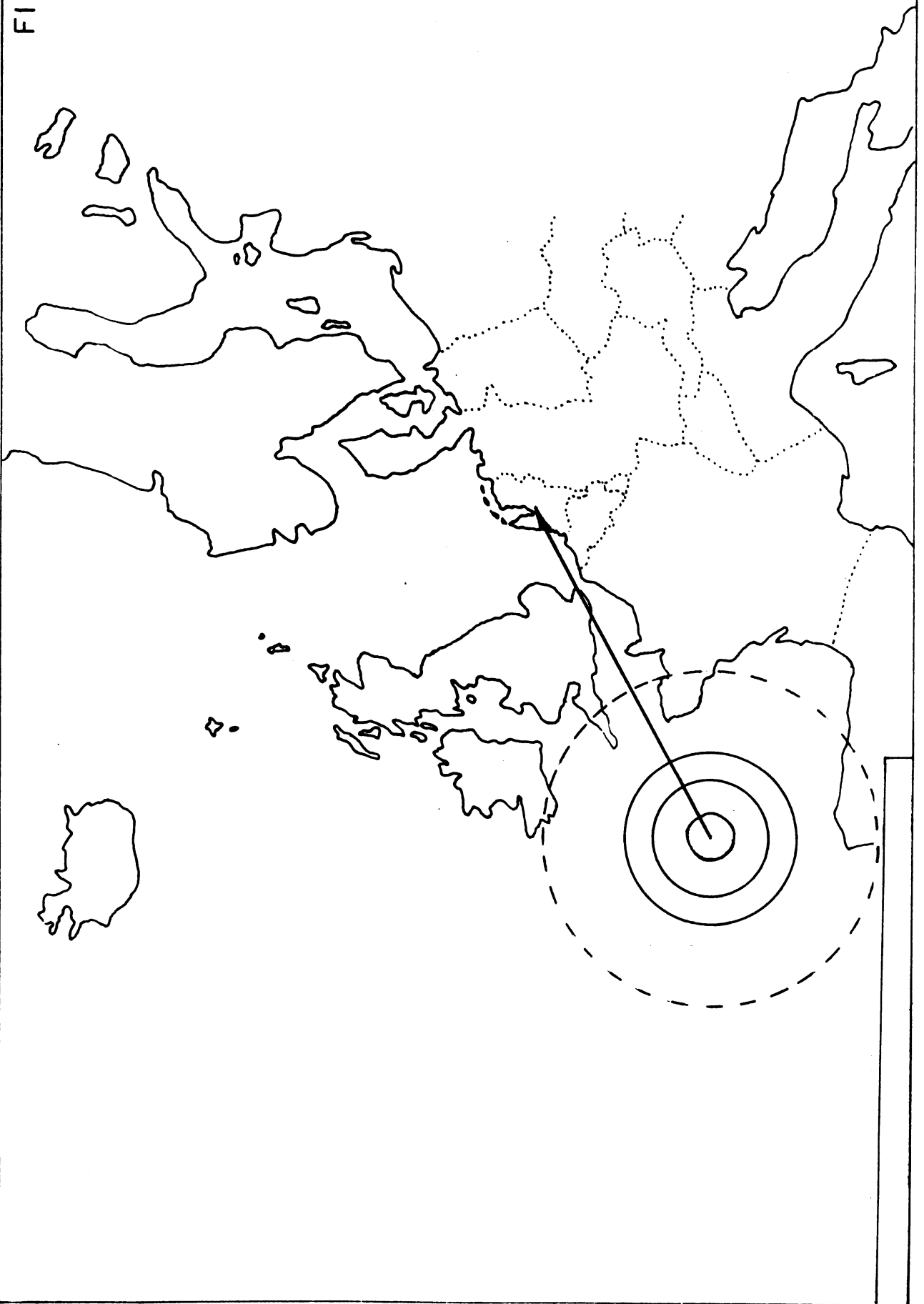
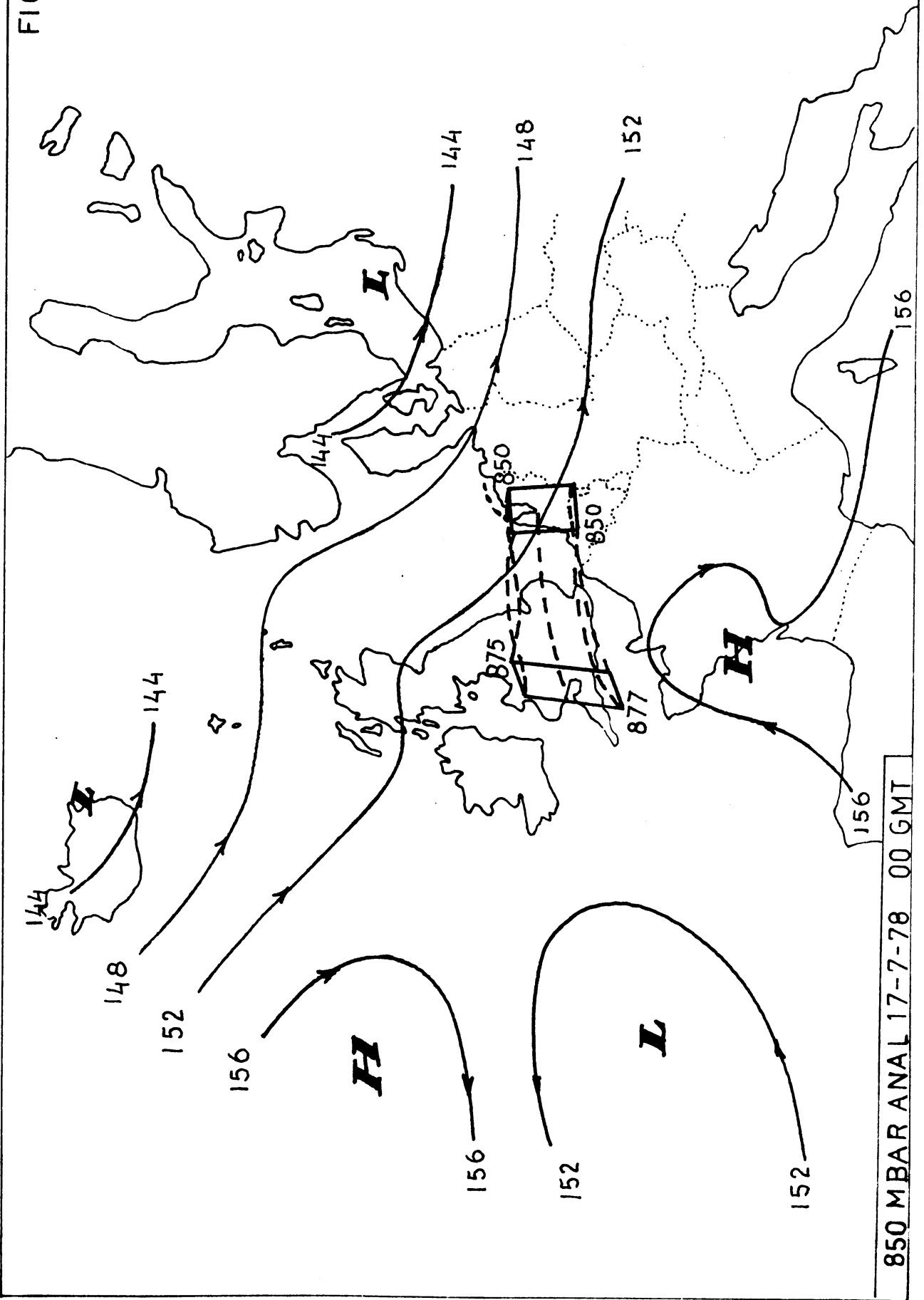
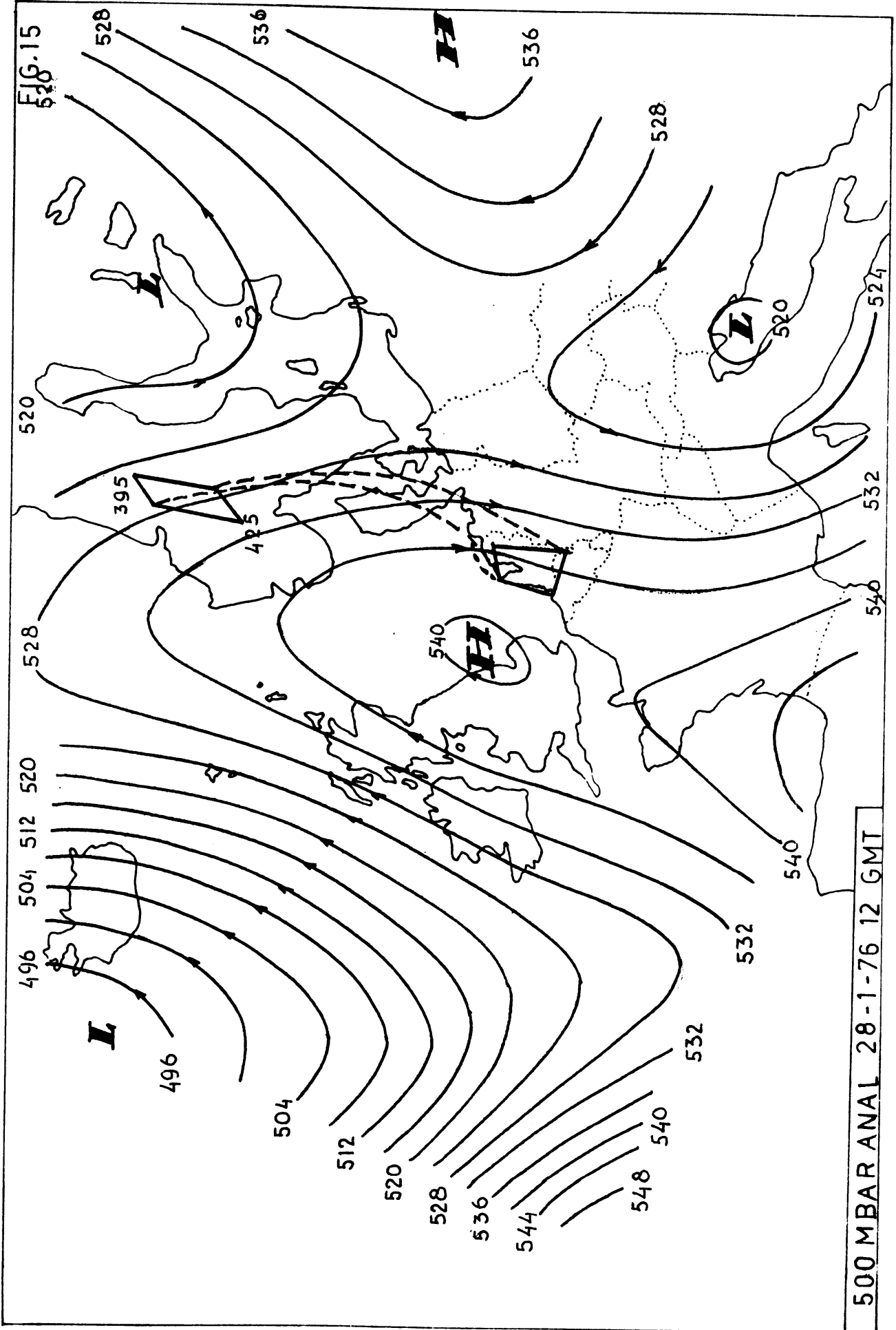


FIG.14





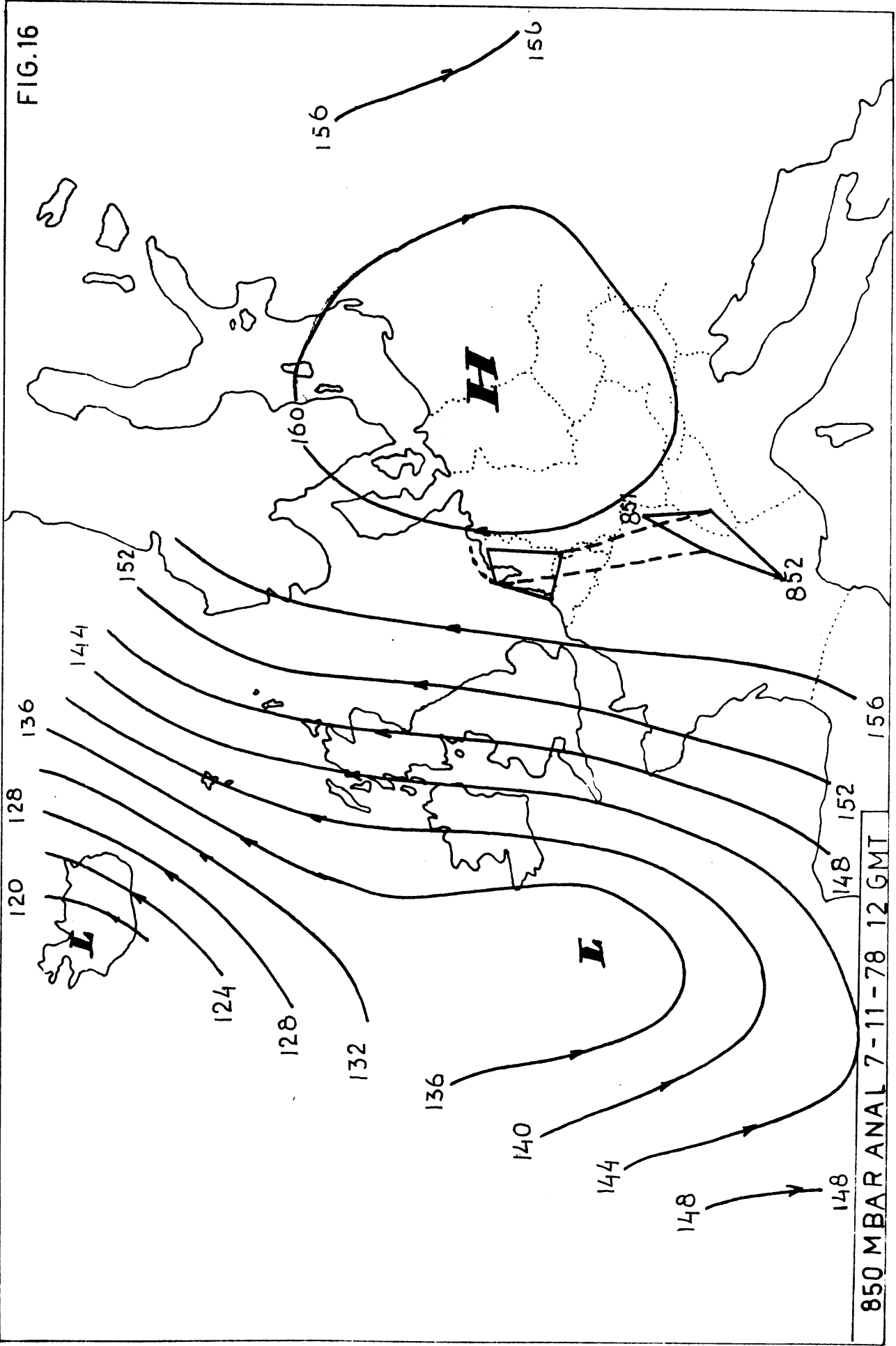
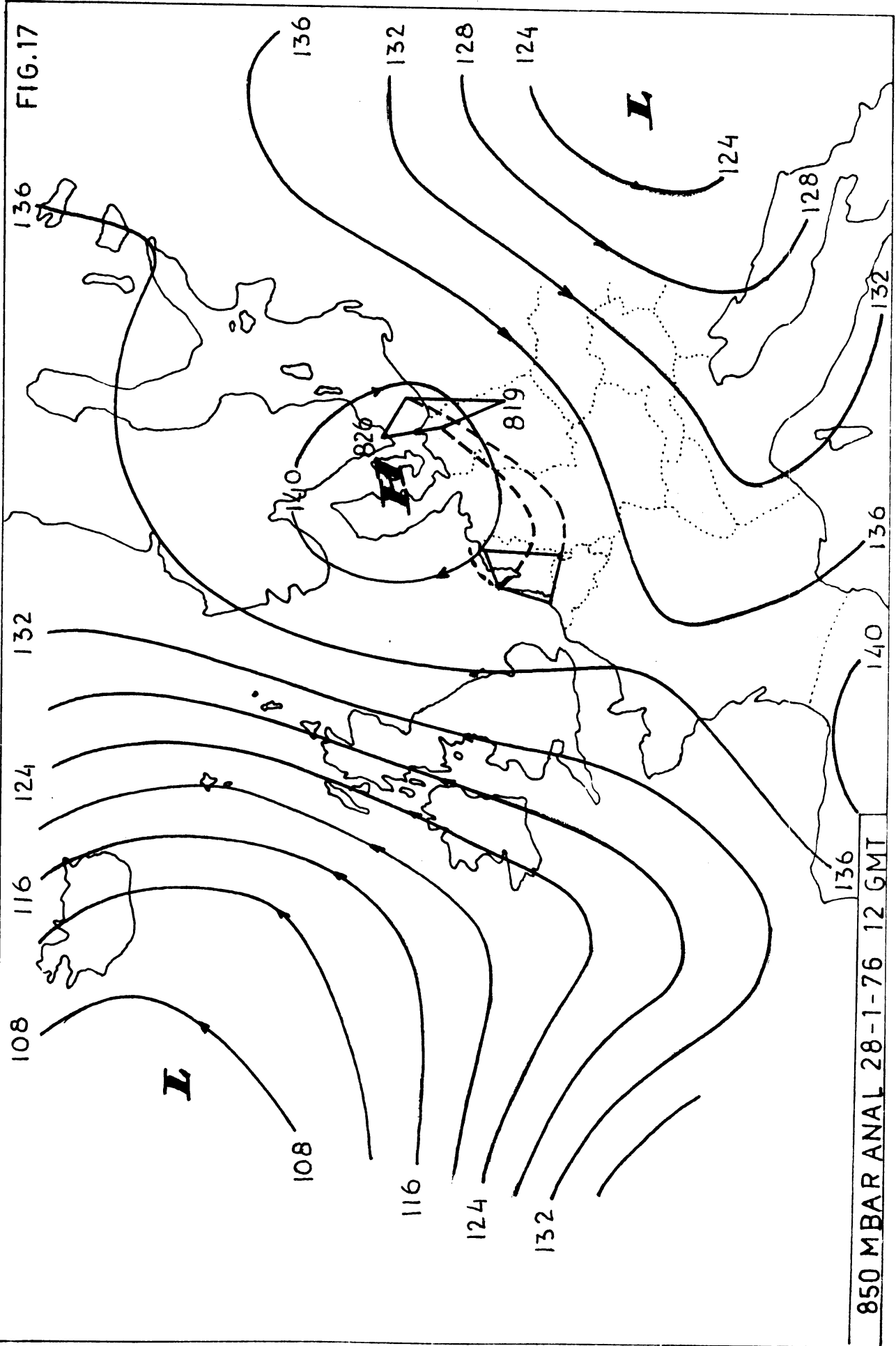


FIG.16

850 MBAR ANAL 7-11-78 12 GMT

FIG.17



850 MBAR ANAL 28-1-76 12 GMT