

ANNEXE I

RESULTATS BRUTS DE L'ANALYSE DES PLUIES

Conditions du prélèvement des pluies.

P85 nuit du 21 au 22 octobre 1985
P186 nuit du 21 au 22 mars 1986
P286 matin du 7 avril 1986, de 5h30 à 9h30
P386 le 8 avril 1986, de 10h00 à 14h15
P486 le 8 avril 1986, de 15h40 à 17h00
P586 le 9 avril 1986, de 6h30 à 9h30
P686 le 9 avril 1986, de 21h30 à 1h00 le lendemain.
P786 le 18 avril 1986, de 5h à 6h
P187 le 22 octobre 1987, de 3h00 à 6h00
P287 le 22 octobre 1987, de 3h50 à 6h00
P387 le 29 octobre 1987, de 7h00 à 10h00
P487 le 29 octobre 1987, de 10h00 à 16h30
P587 le 29 octobre 1987, de 16h45 à 19h15

Analyse élémentaire des pluies, résultats bruts (- signifie "Inférieur à"):

	P1 86	P2 86	P3 86	P4 86	P5 86	P6 86	P7 86	P 85	P1 87	P2 87	P3 87	P4 87	P5 87	Bianc 1	Bianc 2
Dates	22/03/86	7/04/86	8/04/86	8/04/86	9/04/86	9/04/86	18/04/86	22/10/85	22/10/87	22/10/87	29/10/87	29/10/87	29/10/87	6/11/87	
Volume(l)	.0334	.3950	.4934	.2143	.3820	.2180	.1213	.6600	.1070	.0296	.1159	.2861	.1869	.1980	.3000
pH	4.03	6.88	6.55	5.76	4.61	4.39			6.30	6.08	5.84	4.94	4.63	4.50	

Quantité d'élément insoluble (µg)

Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg	1.1	322	183	13.1	2.5	.7	20.5	2.4	41.3	17.4	15.1	12.9	2.8	-2	-2
Al	3.5	680	470	89	11.9	3.2	94	19.9	134.9	88	93.3	95	24.7	-1	-1
Si	9.7	1580	1080	181	29.7	8.9	216.7	55.7	295.5	184.6	191	188.4	52	-1	-1
P	.15	8.70	4.60	3.75	.15	.03	1.30	.28	1.55	.82	.77	.66	.16	.03	-0.02
S	.43	6.08	3.50	.74	.36	.25	2.03	1.22	1.39	.86	.60	.71	.18	.65	.17
Cl	2.89	1.85	1.81	-1.0	.34	.36	4.87	.64	6.29	2.50	4.08	.88	.12	1.33	.25
K	.76	137.30	62	17.20	1.91	21.50	.42	4.01	1.55	.82	.77	.66	.16	.03	-0.02
Ca	.42	173.40	94.40	4.64	.39	12.43	.26	6.48	16.69	9.37	8.70	2.69	.41	.14	-1.0
Mn	.05	6.24	3.60	.30	-0.04	.04	.47	.24	1.07	.49	.56	.43	.09	-0.01	-0.01
Fe	2.4	520	303	45	7.4	2.3	59.5	11.7	94.1	48.6	46.6	48.3	11.7	-0	-0
Cu	.045	1.147	.850	.113	.050	.012	.650	.065	.250	.064	.089	.047	.016	10	.011
Zn	.084	8.400	3.950	.237	-1.00	.721	-0.050	.300	2.640	.494	.520	.229	.098	-0.030	-0.030
Pb	.032	9.470	6.400	.417	.070	-0.016	2.940	2.410	.890	.273	.523	.452	.098	-0.015	-0.017

Teneurs élémentaires en solution (µg/l):

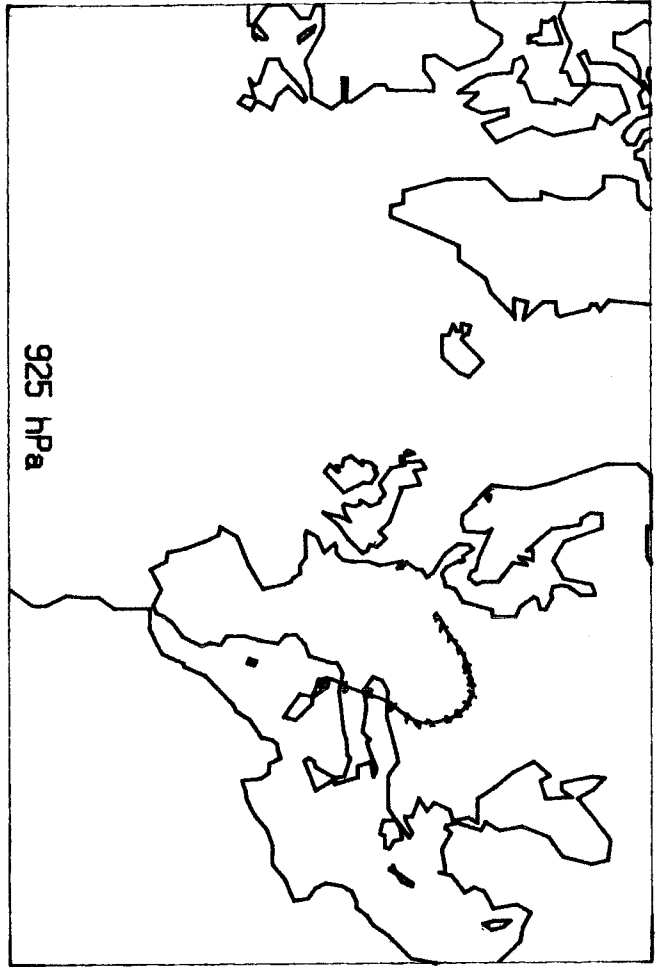
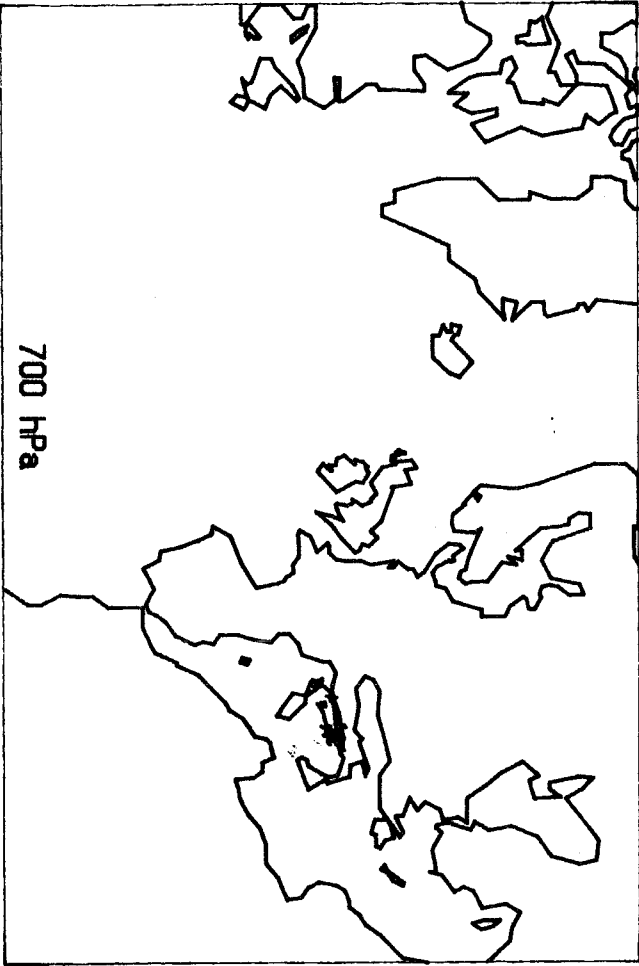
Na	37230	3587	387	1036	2139	6917	23678	1324	2570	2030	1613	2489	2103	7	0
Mg	5120	590	71	158	307	893	3544	160	408	445	435	339	262	4	5
Al	10	22	2	2	-1	-1	25	2	4	15	324	160	22	6	3
Si		170	94	233	75	75	132	12	44		87	140	33	30	8
P		6	5	11	3	3	16	-3	14	31		-3	-3	-2	-2
S	4970	2330	294	420	502	1408			1500	1739	635	875	561	0	0
Cl	80216	7810	1001	2380	4791	13000			6485	6022	2804	4716	3793	1276	0
K	1635	250	20	77	70	250	1077	127	446	1411	289	115	203	23	11
Ca	1860	4500	970	299	-80	271	3989	112	2978		1536	495	158	40	40
Mn	4.1	12.4	3.9	1.4	-1	-1	13.4	-1	24.9	21.2	9.7	9.3	1.2	-1	-1
Fe	11.5	-1.5	1.8	3.4	4	2.3	25.1	4.1	8.1	24.0	227.0	95.0	23.3	3.2	1.5
Cu	6.1	-3	-3	-3	.4	-4	3.5	-4	.4	-4	.4	-4	-4	-4	-4
Zn	158.0	4.6	2.9	13.0	26.0	16.0	371.0	9.3	80.0	7.1	19.2	7.2	8.4	1.6	.2
Pb	16.8	1.5	-1.5	-1.5	3.8	-1.5	5.6	-1.5	-1.5	1.5	5.2	2.8	3.3	-1.5	-1.5

Analyse ionique (µmol/l)

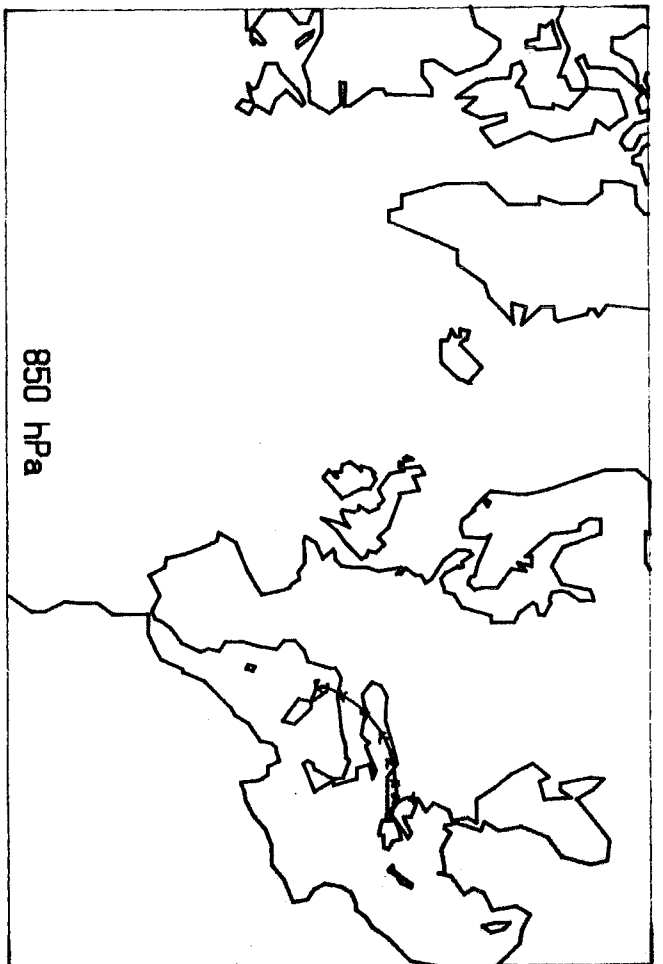
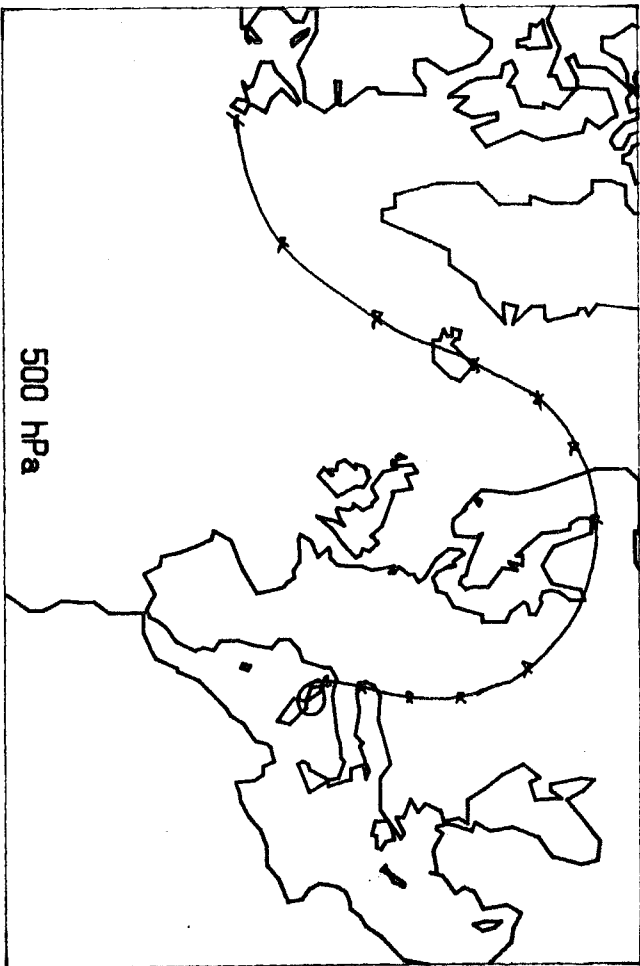
[HCO3-]	0	151.8	36.6	9	0	0			49.6		24.9	0	0	0	0
[NO3-]	96.6	33.1	3.5	6.8	9.4	13.2			55	63	23	24	15	0	0
[NH4+]	40.4	38.5	4.4	18.3	11.1	18.3	51	45.7	34.4		24.7	26.3	31.7	11.0	17.1

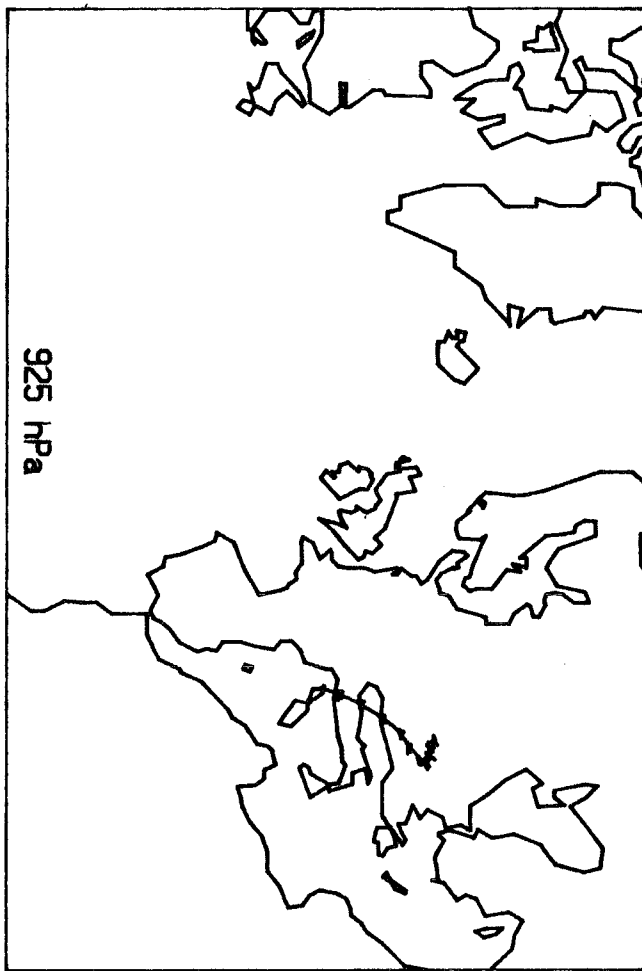
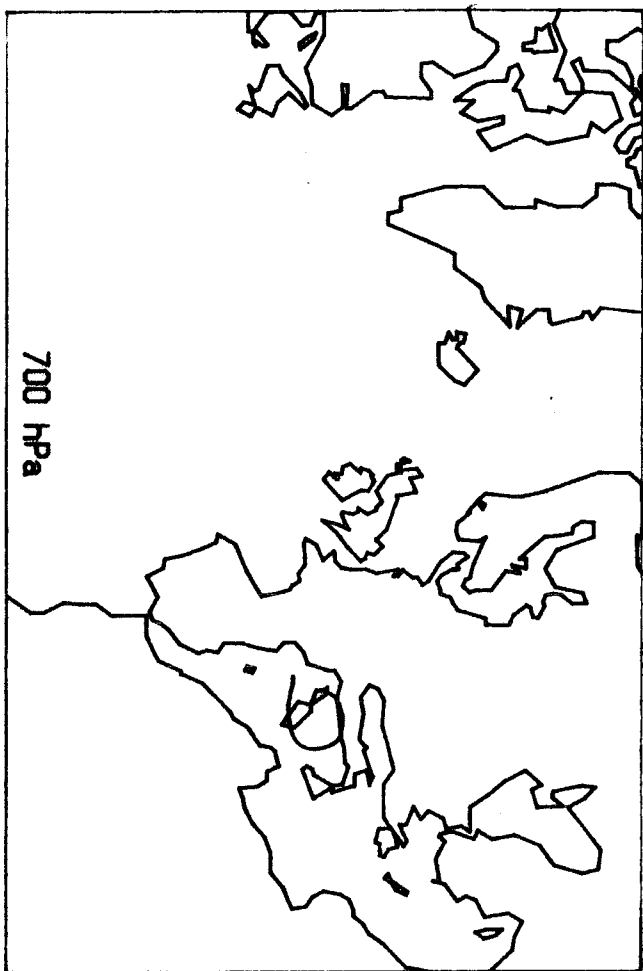
ANNEXE II

TRAJECTOIRES DES MASSES D'AIR

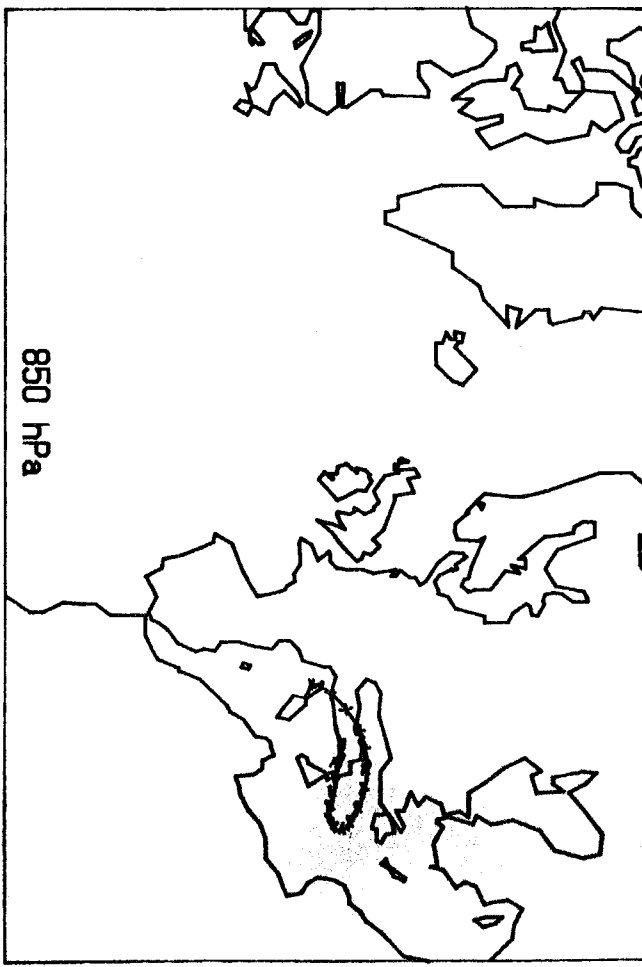
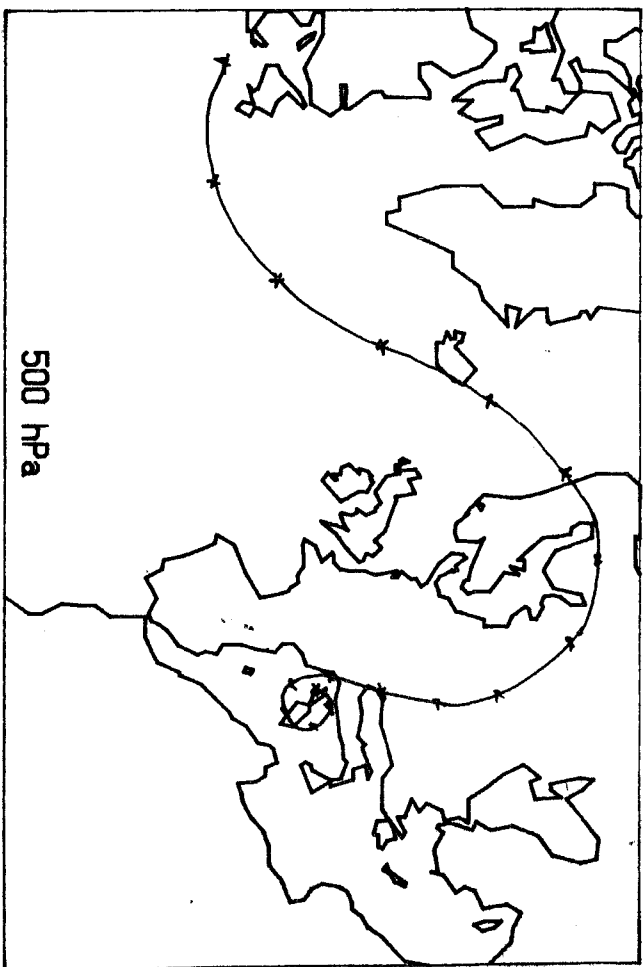


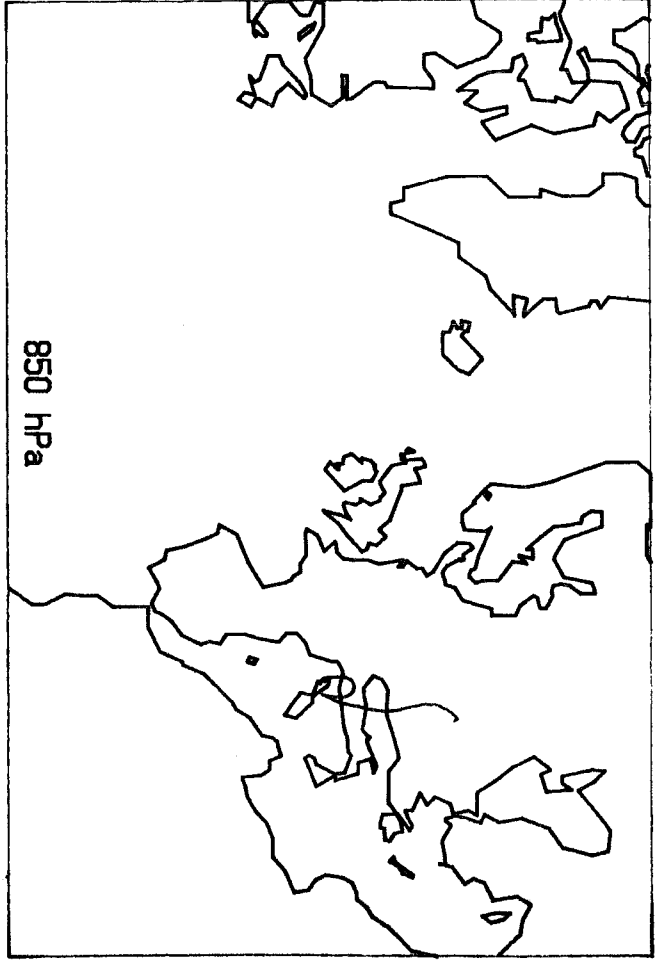
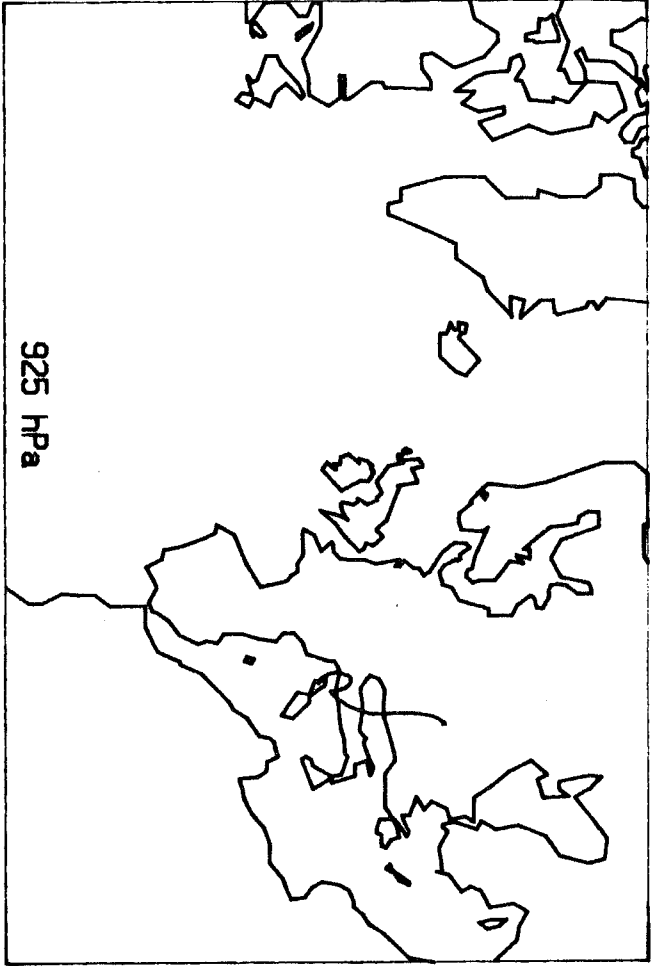
22 octobre 1985, 0h.



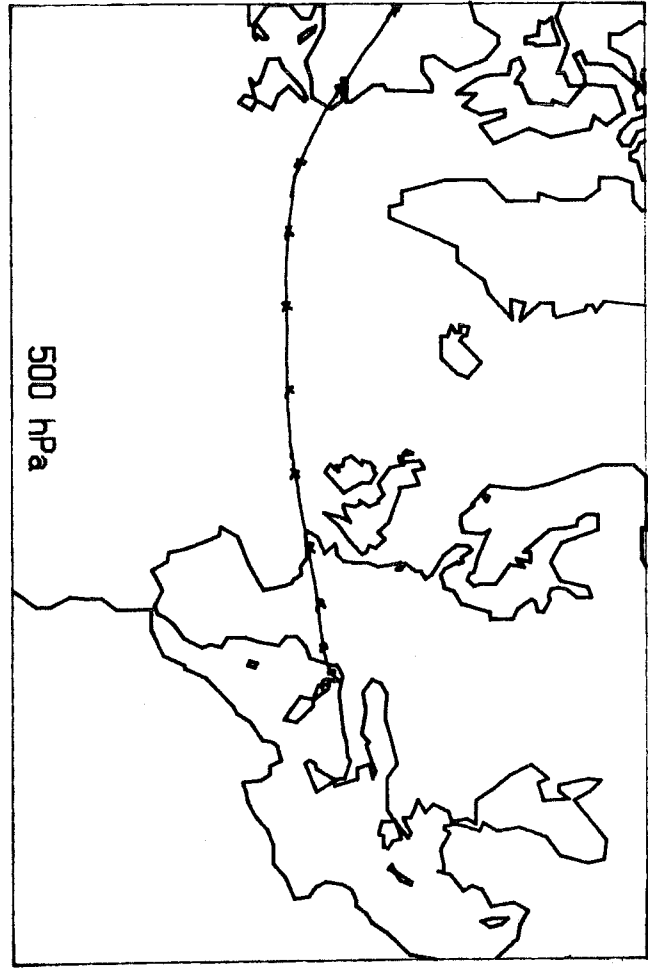
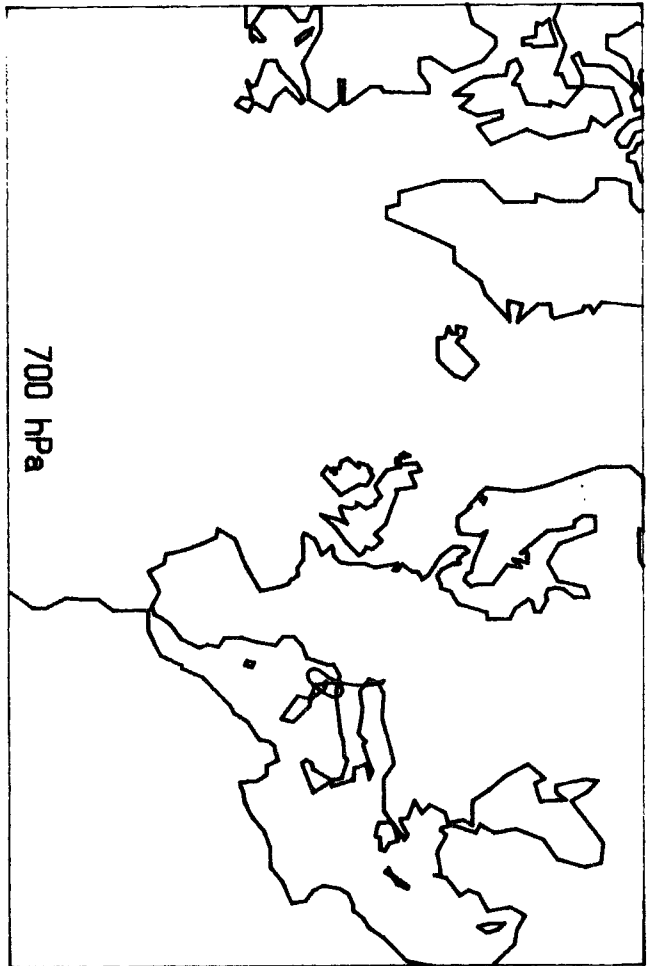


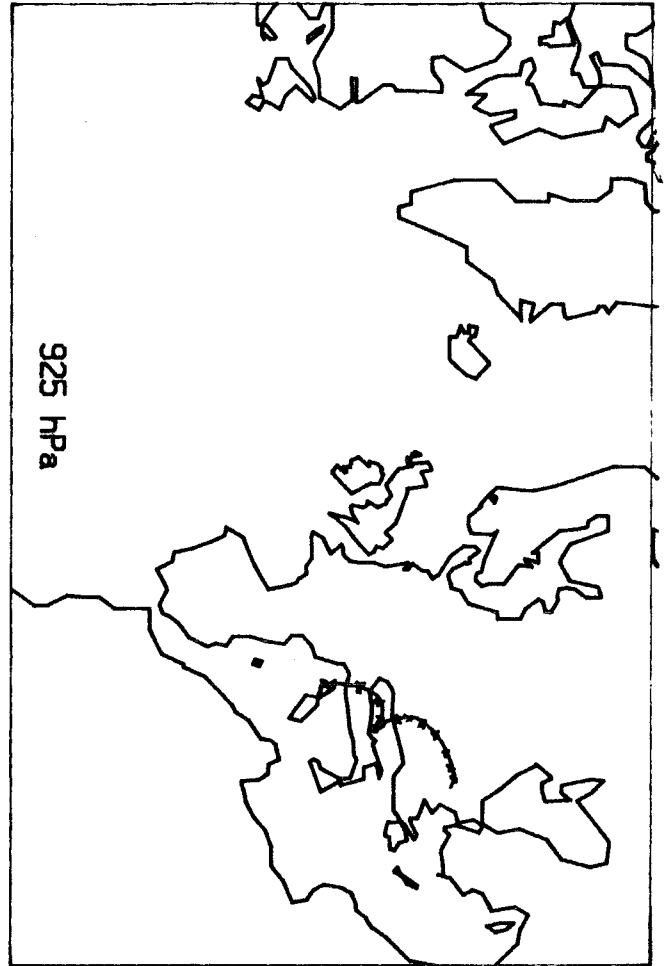
22 octobre 1985, 6h.



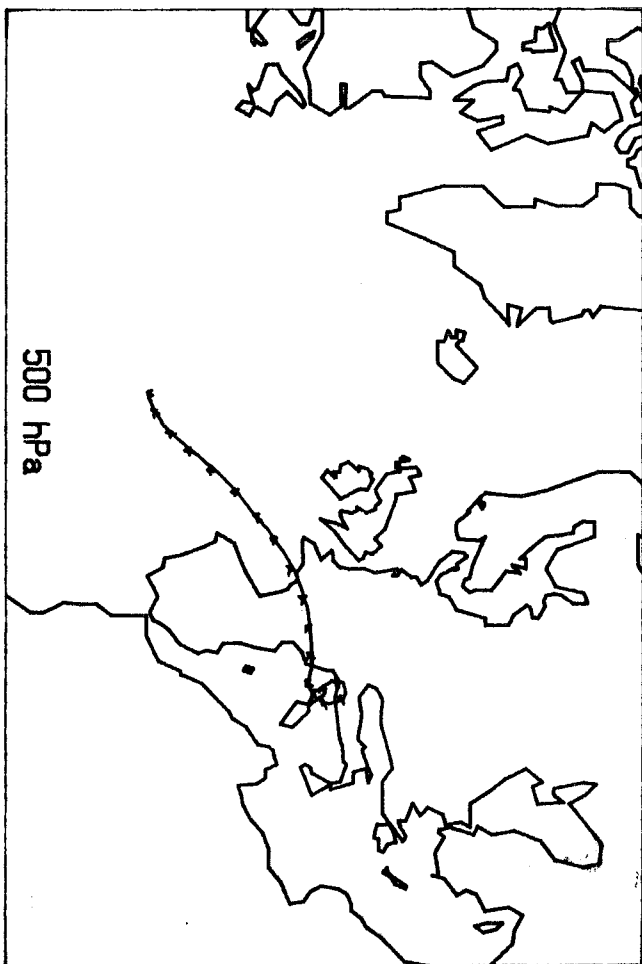
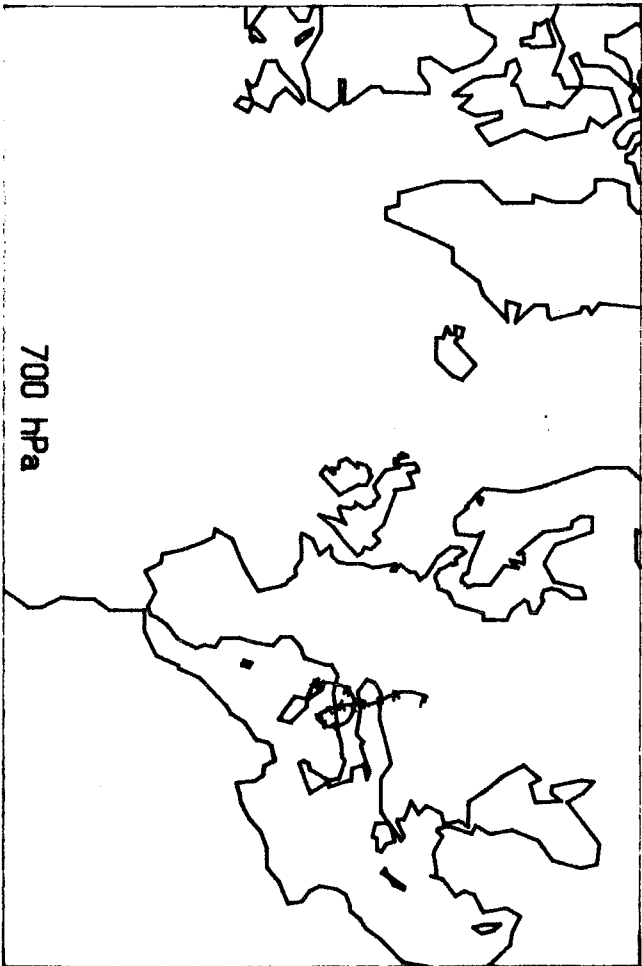
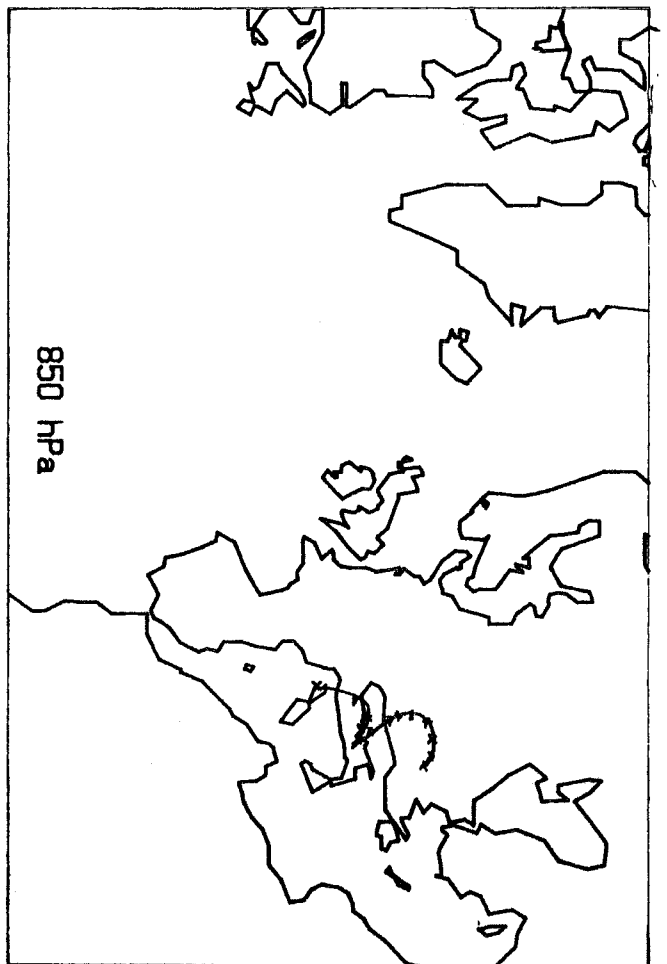


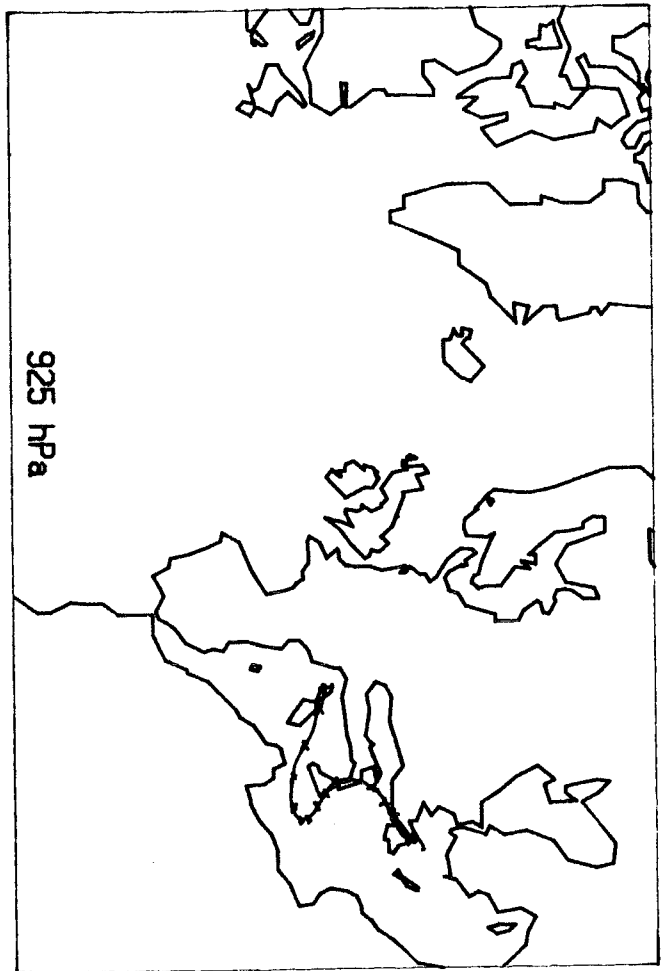
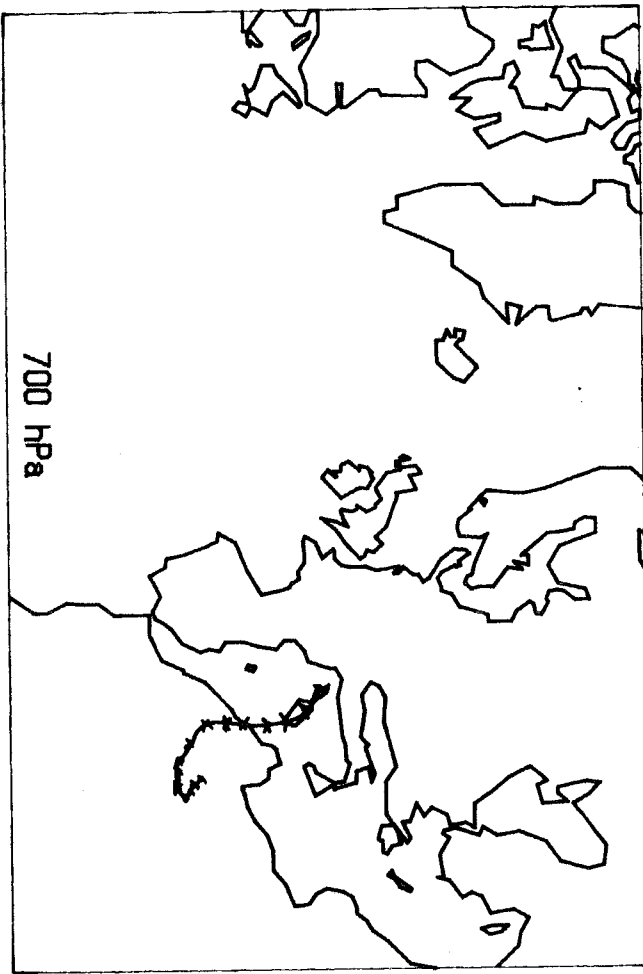
22 marts 1986, 0h



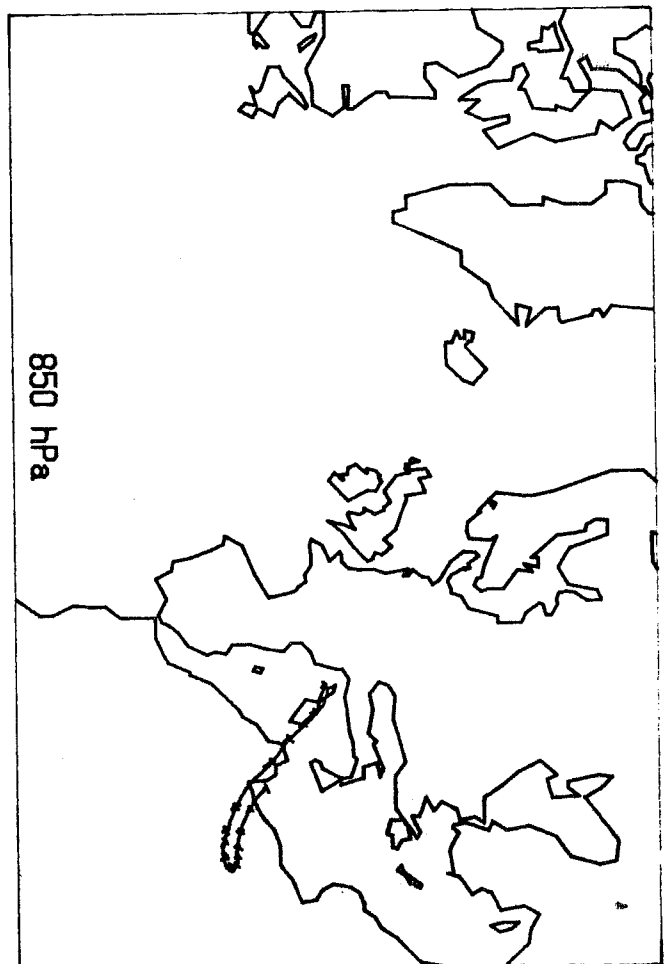
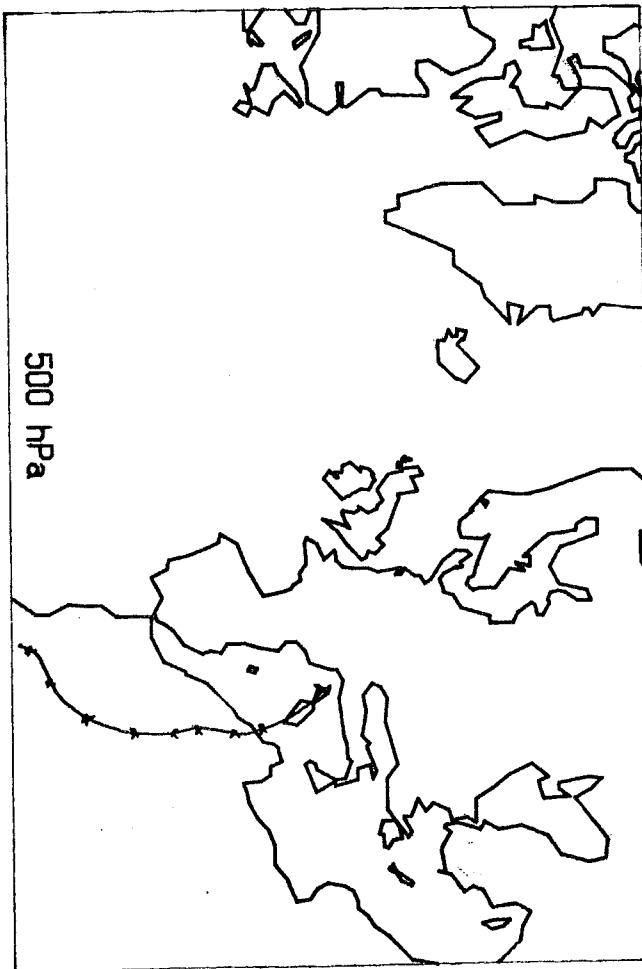


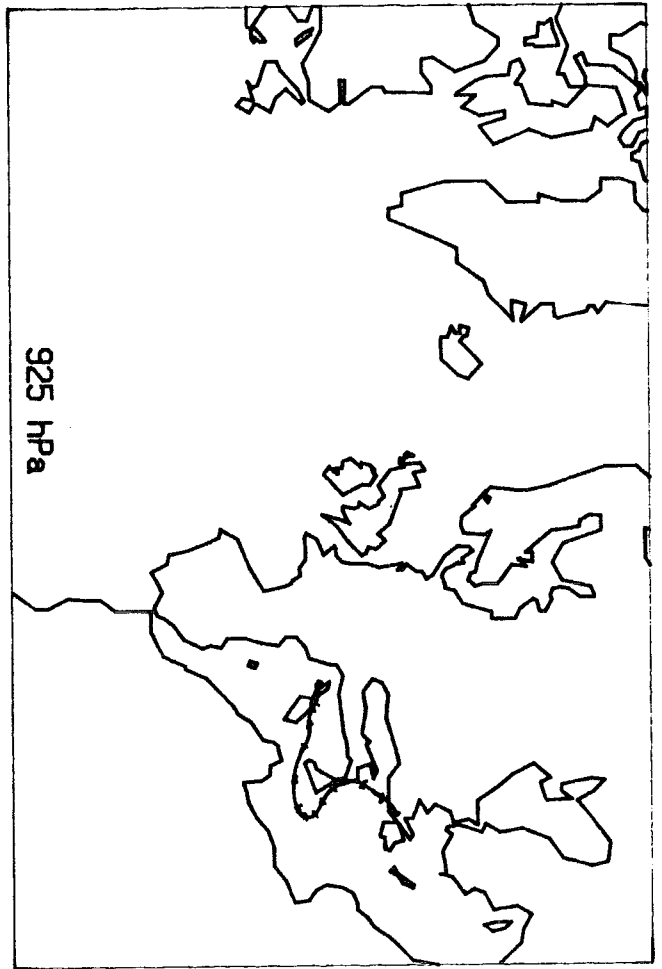
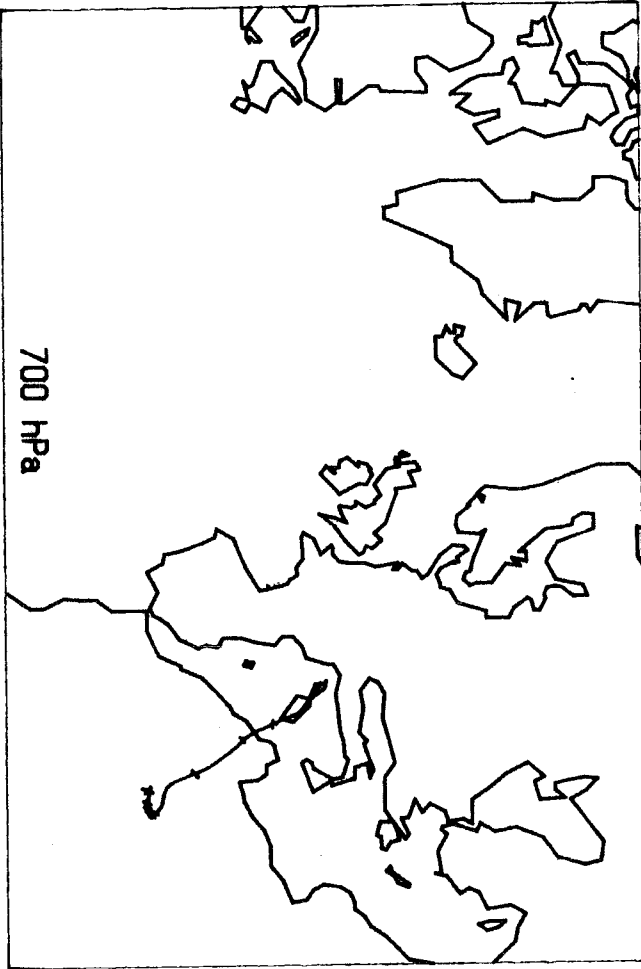
22 mars 1986, 6h.



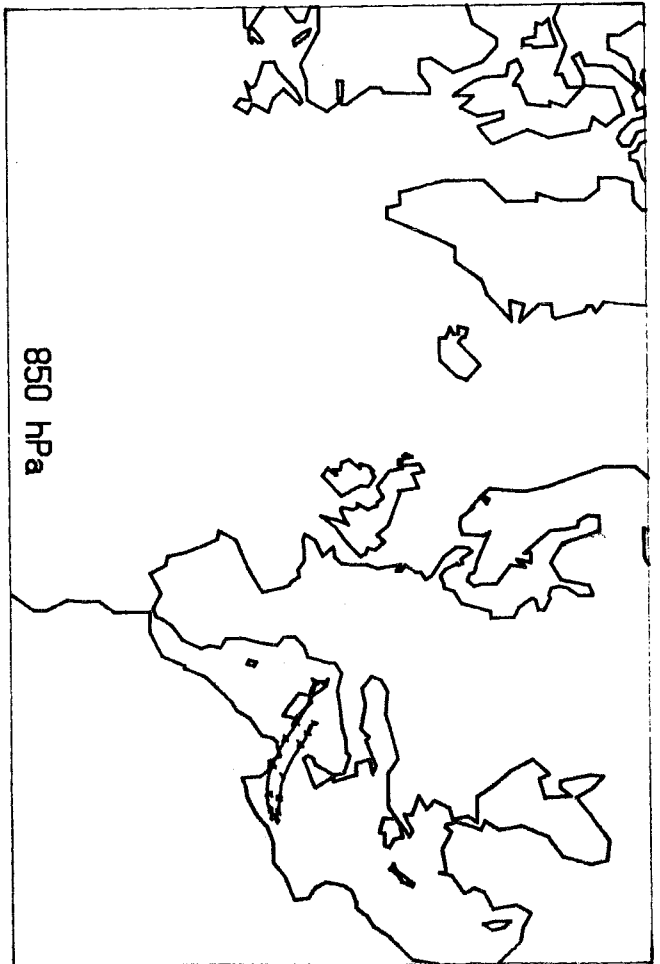
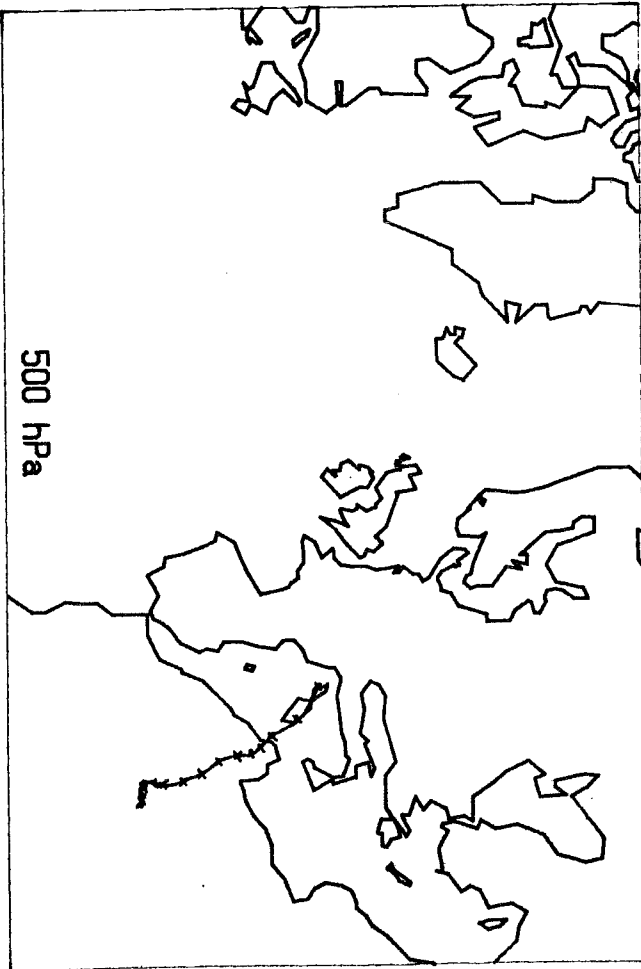


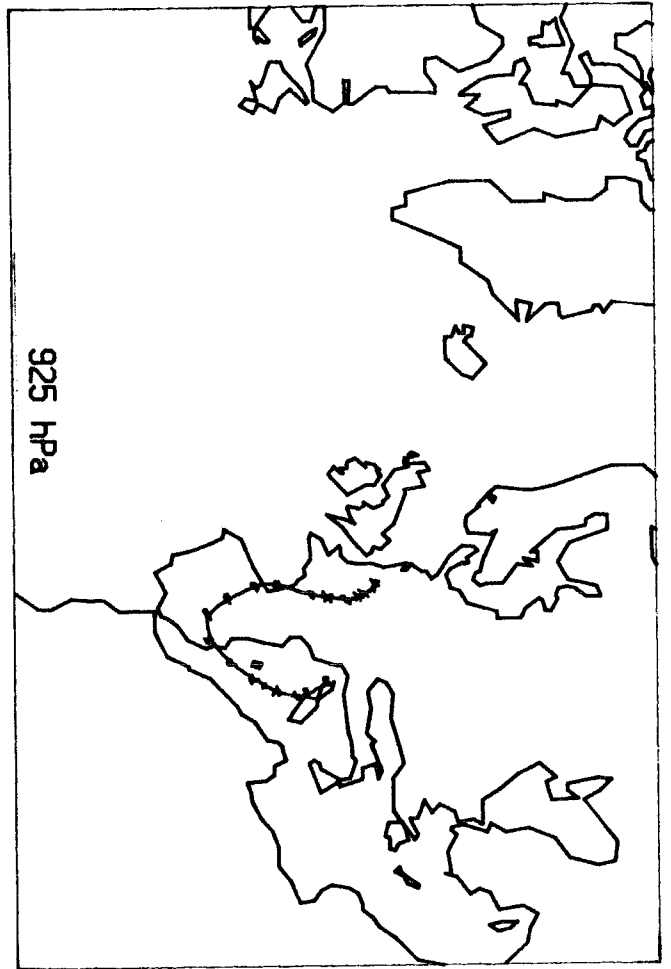
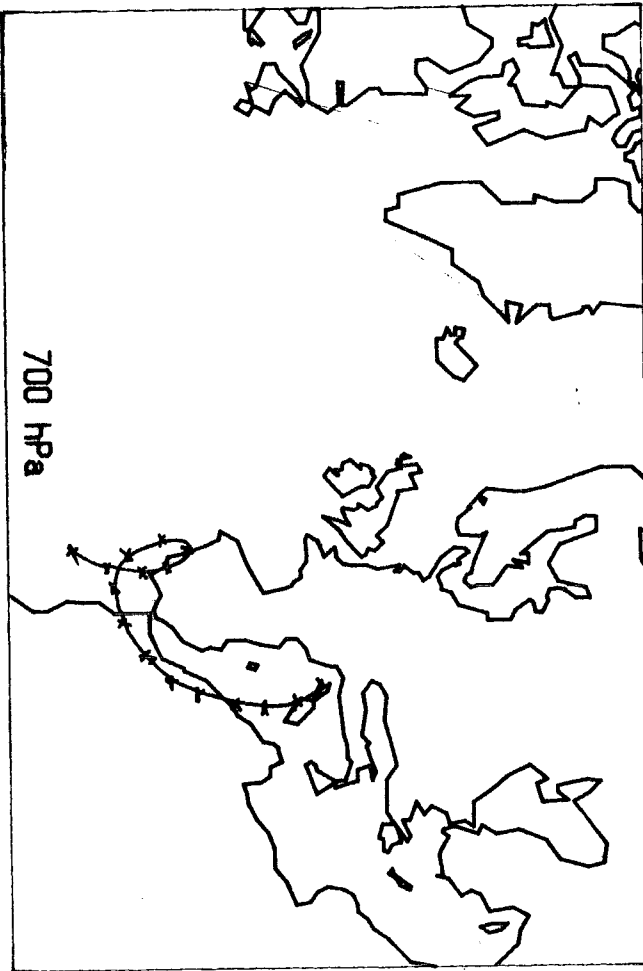
8 avril 1986, 6h.



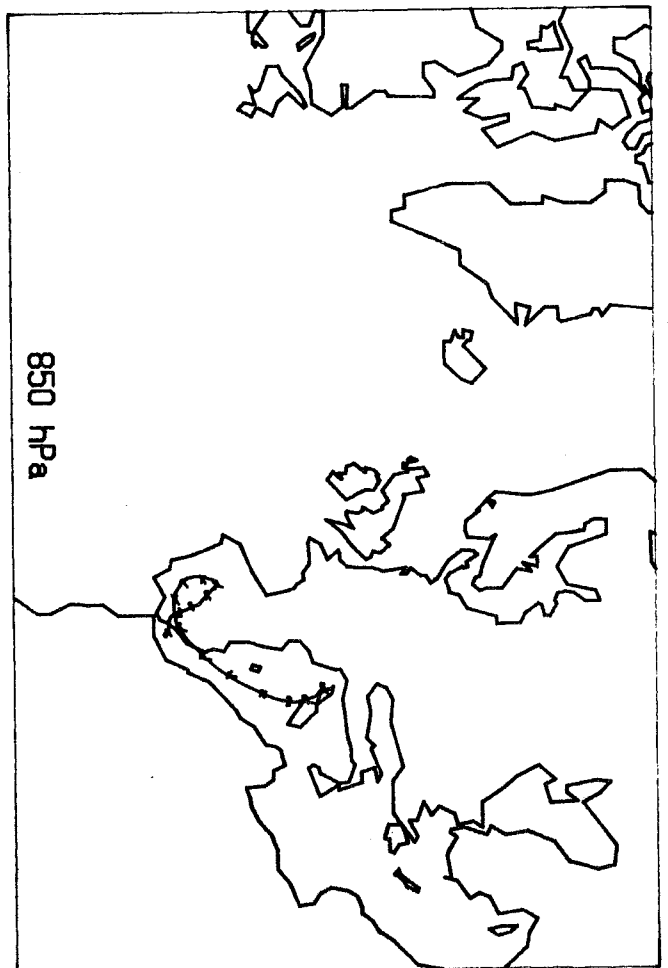
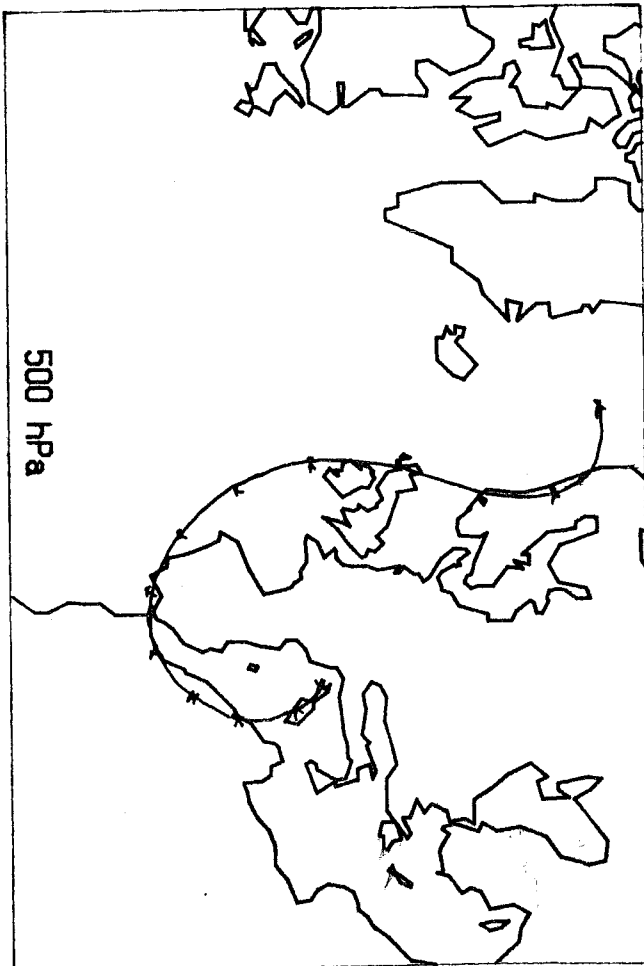


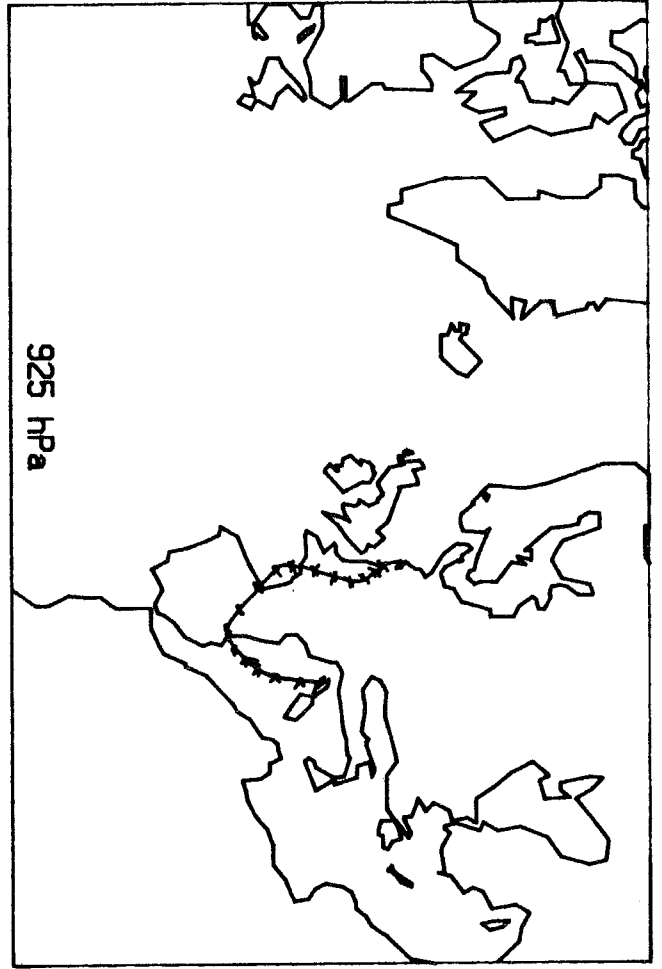
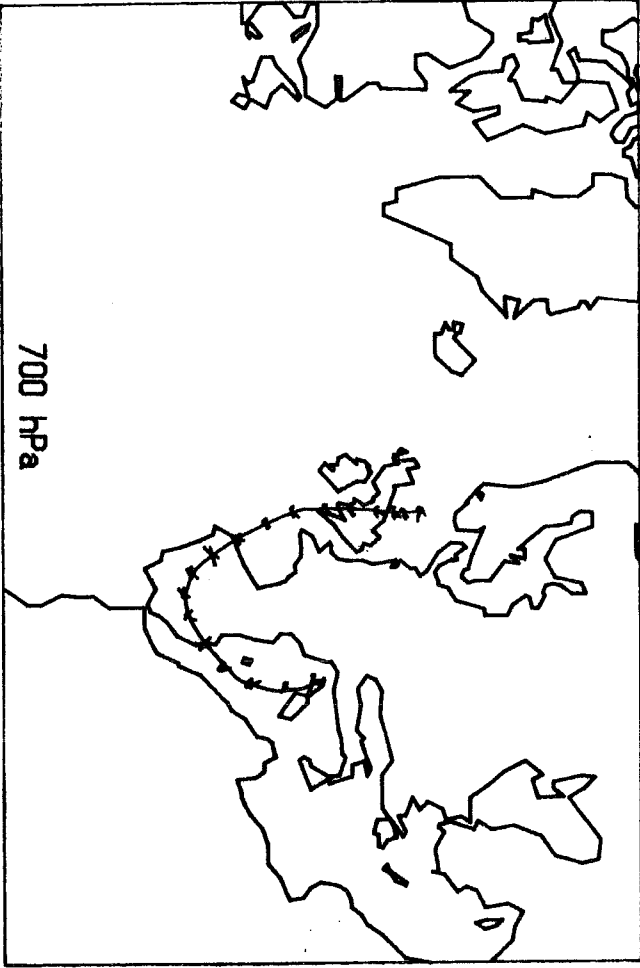
8 avril 1986, 12h.



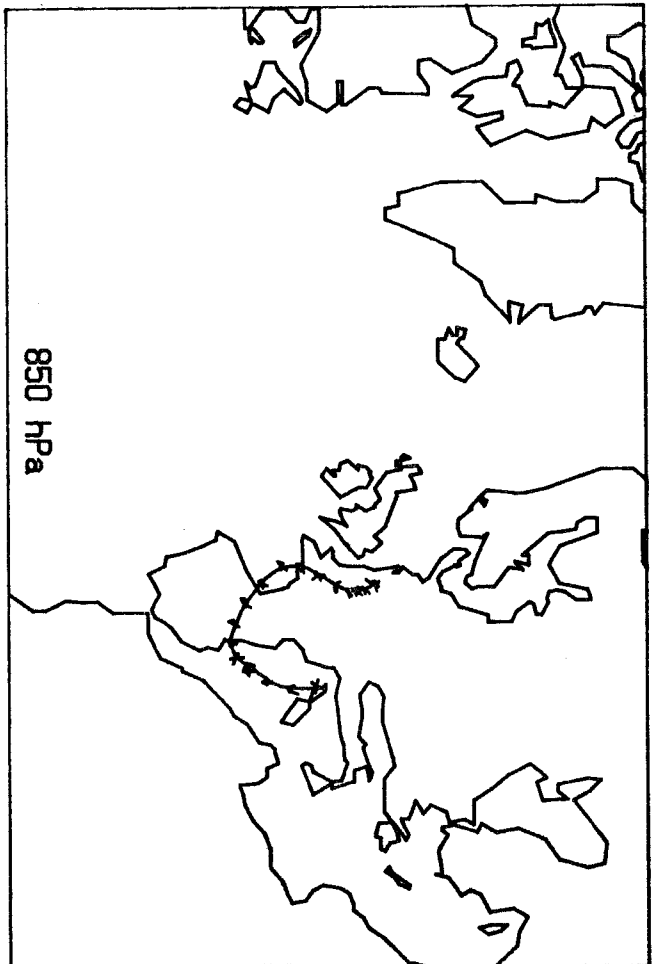
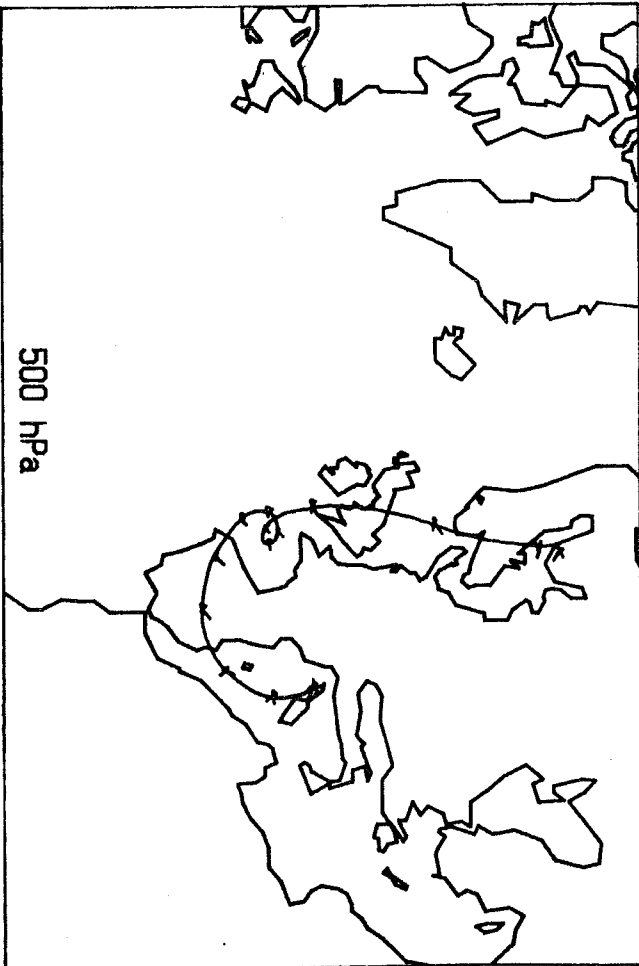


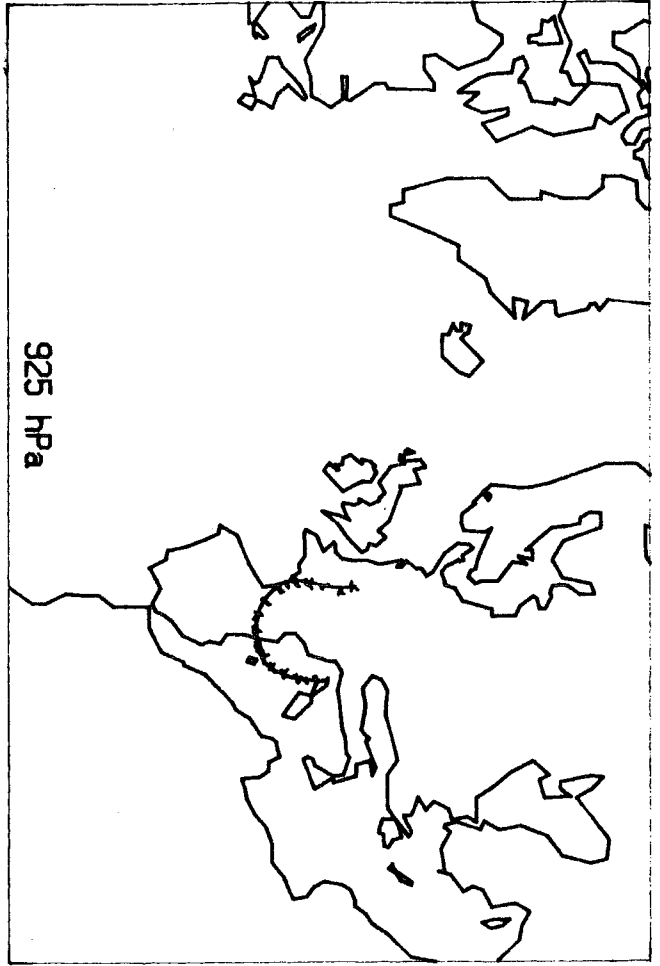
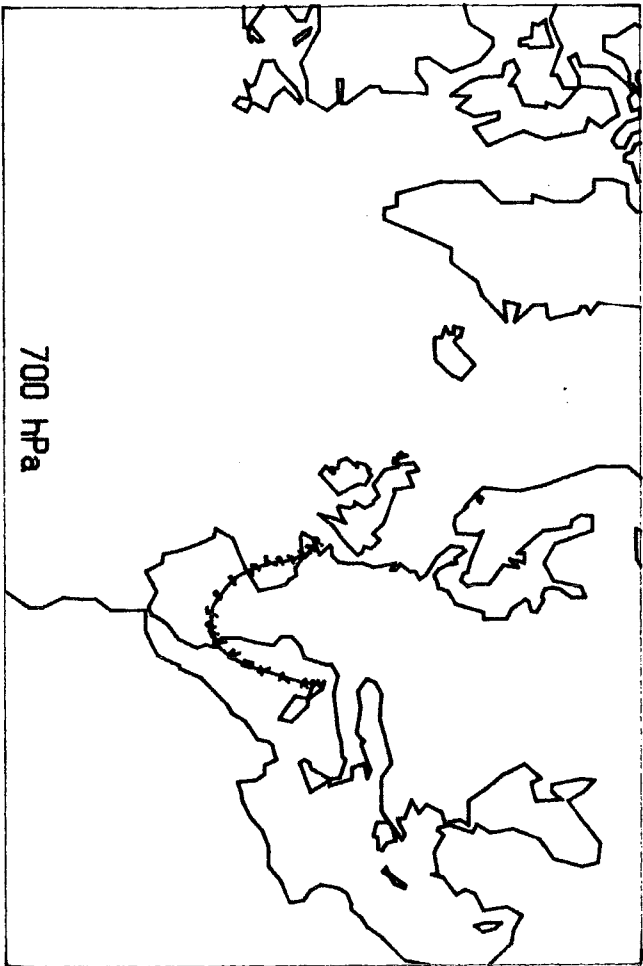
8 avril 1986, 18h.



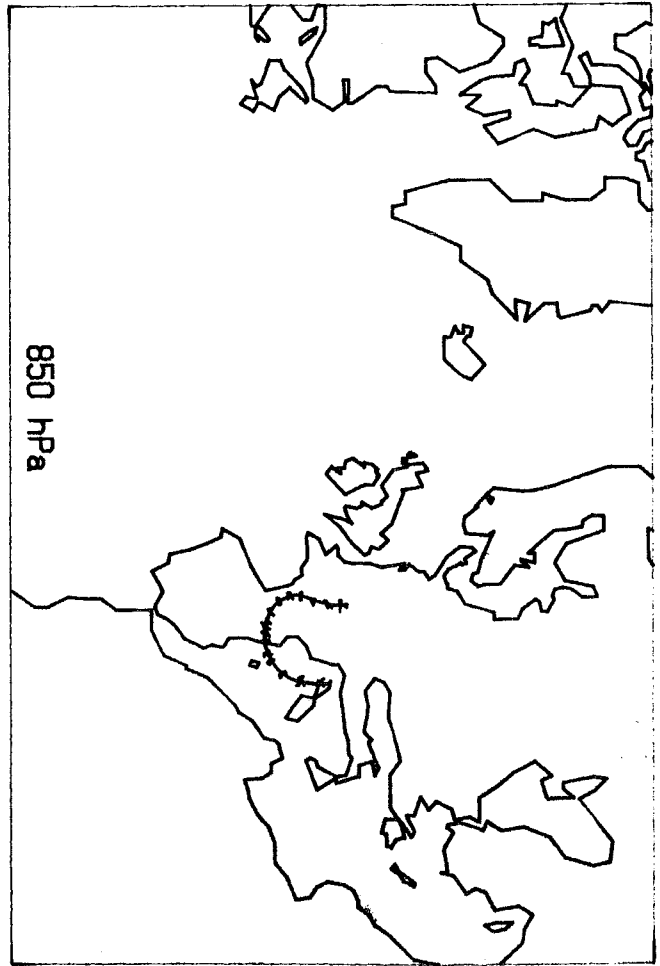
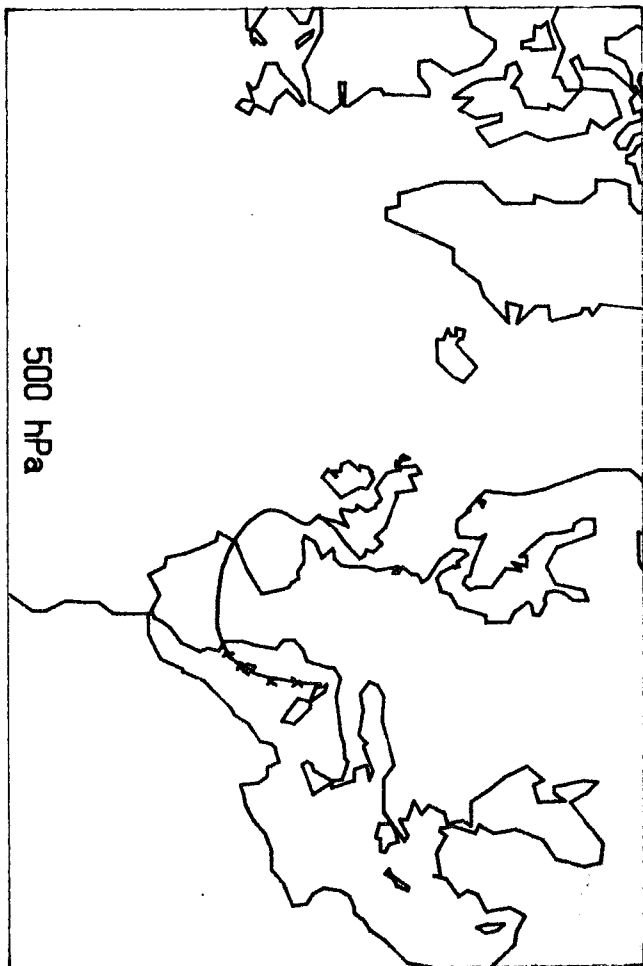


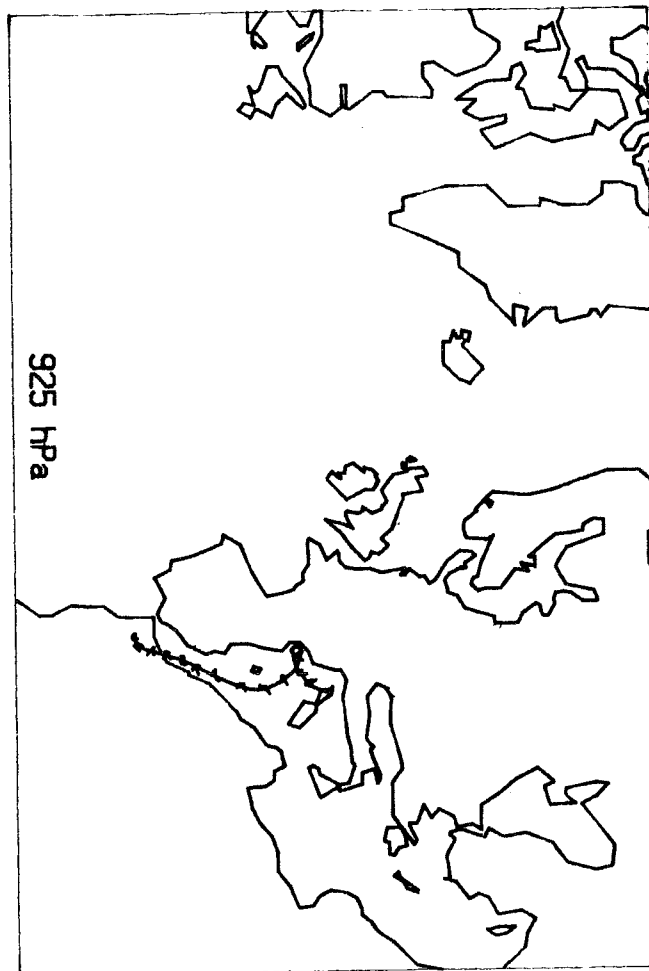
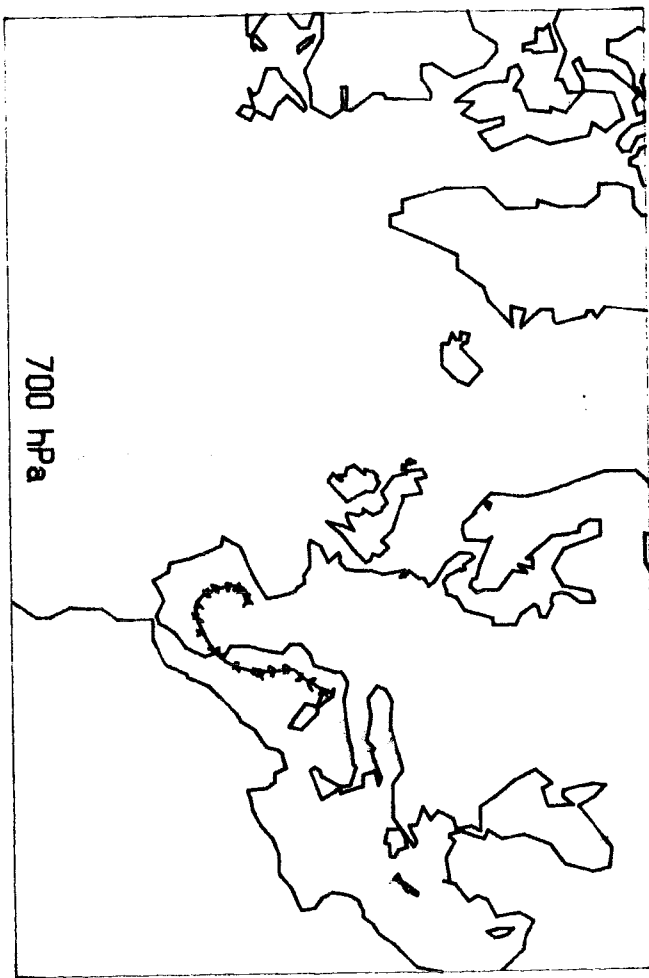
9 avriil 1986, 6h.



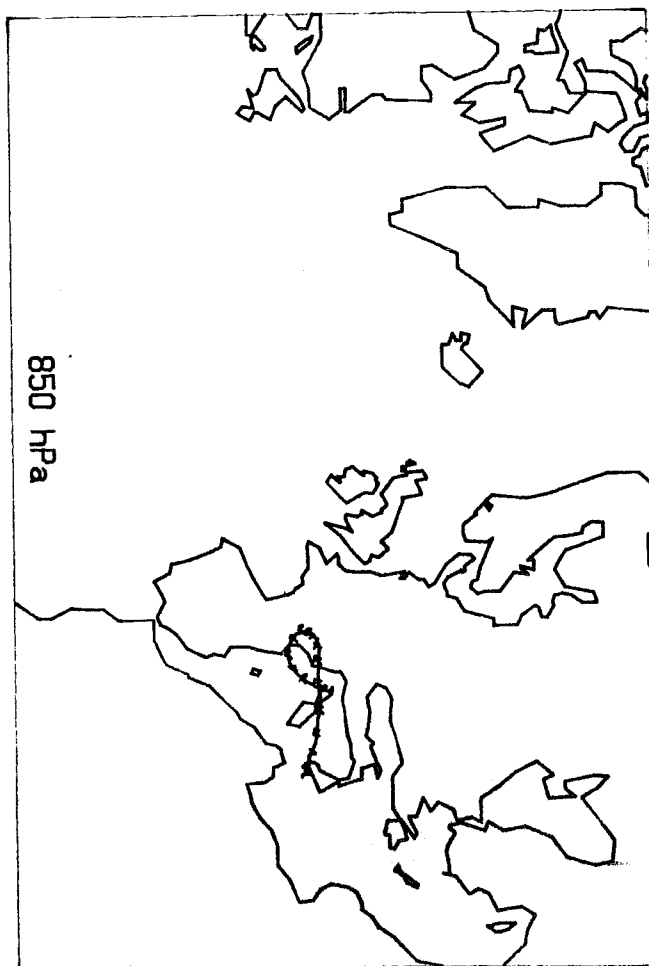
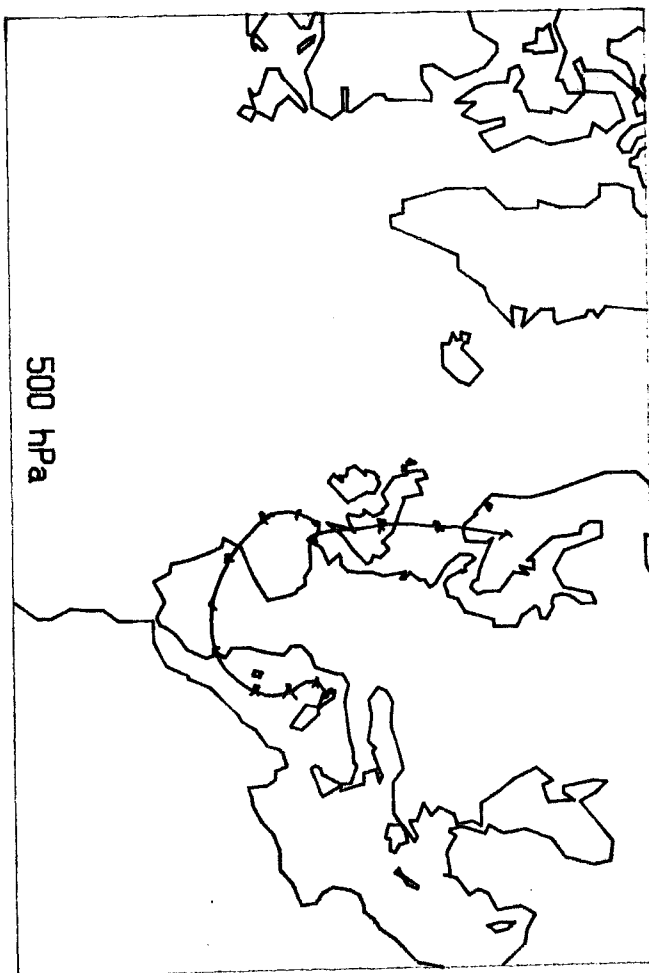


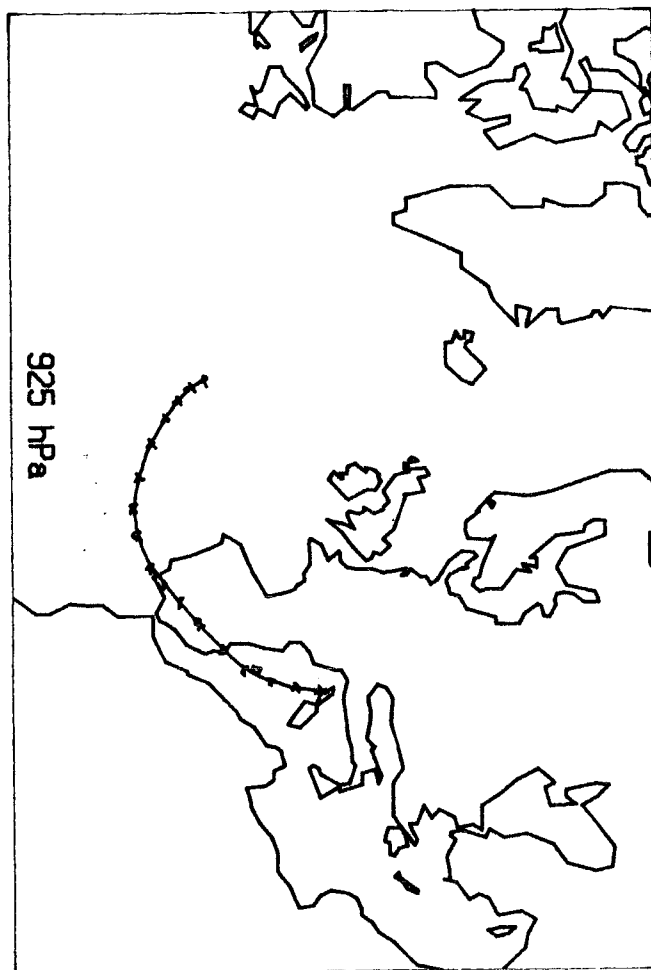
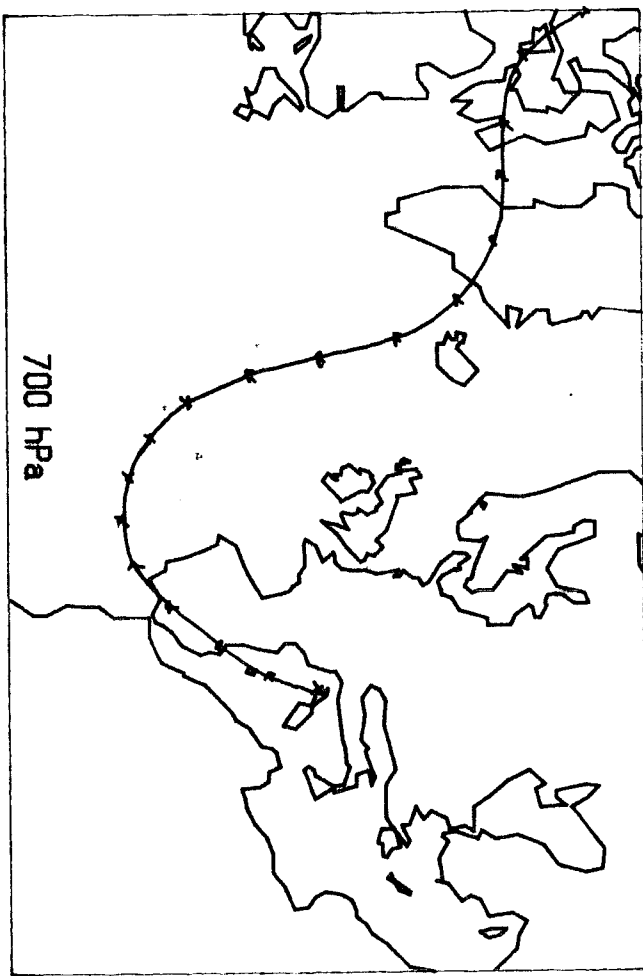
9 avril 1986, 12h.



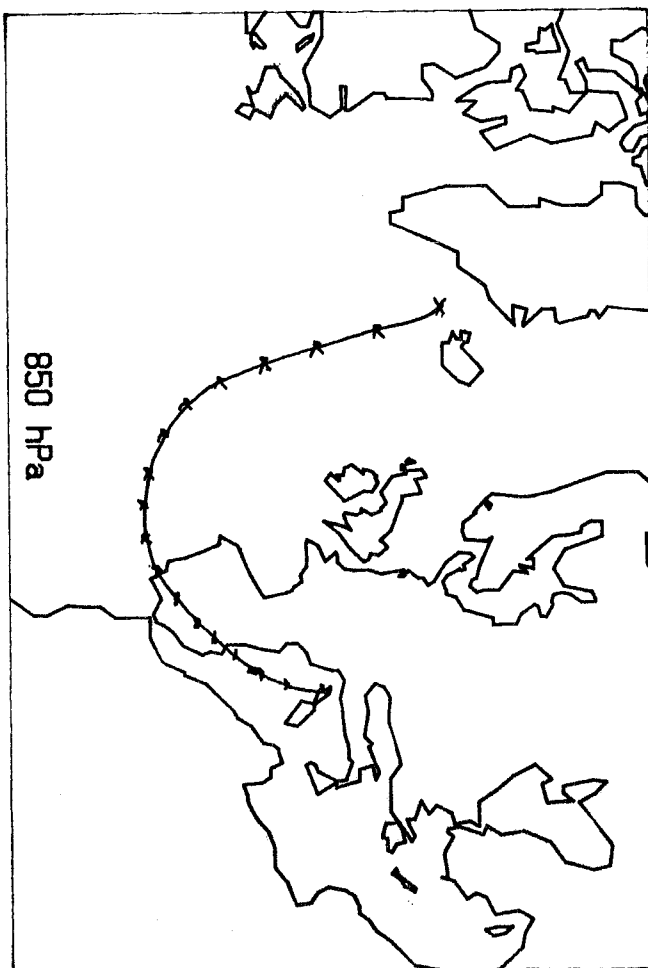
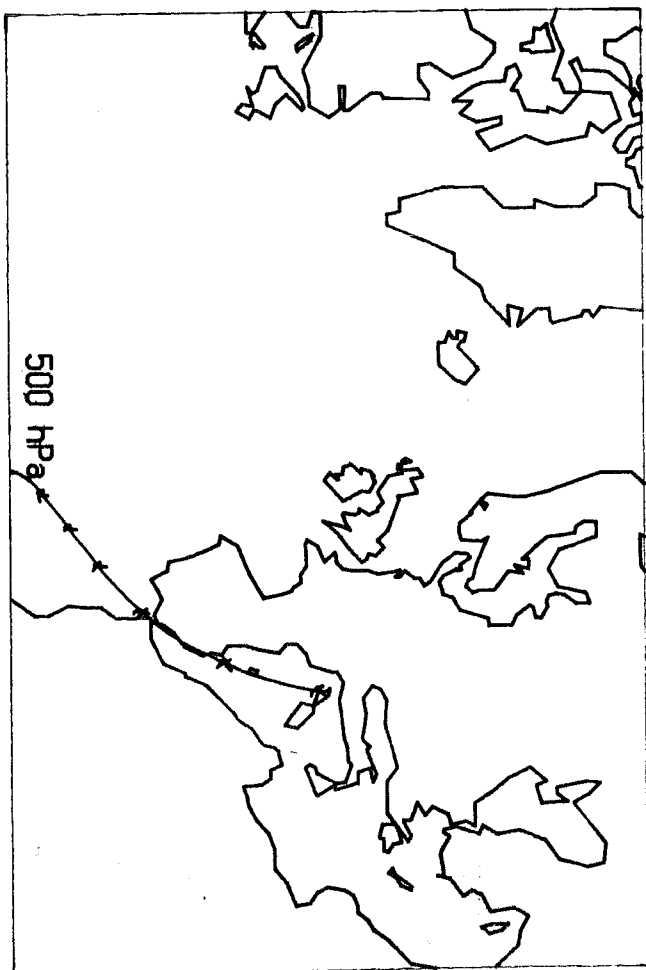


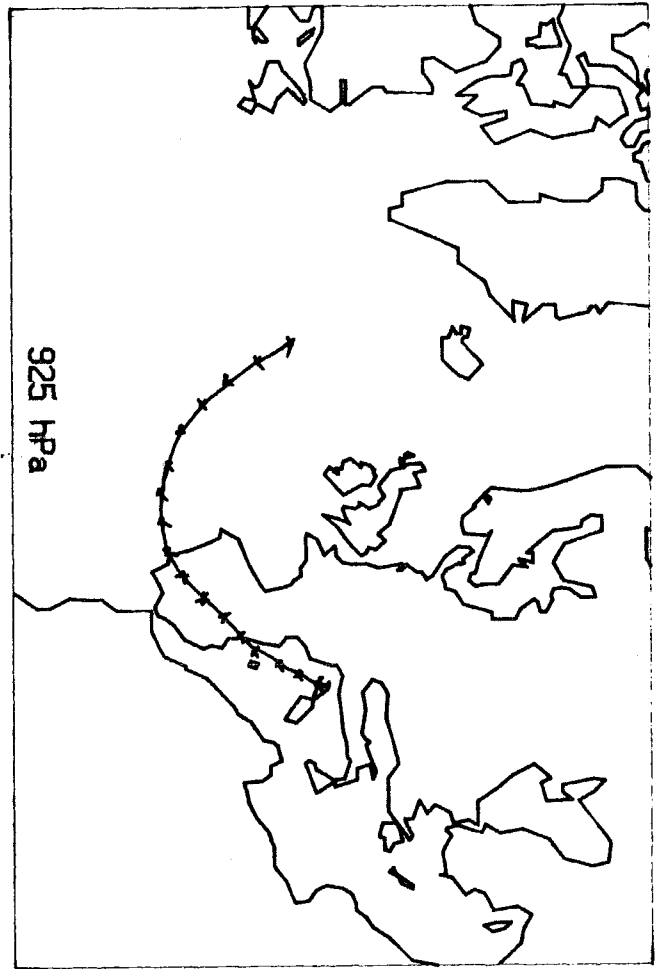
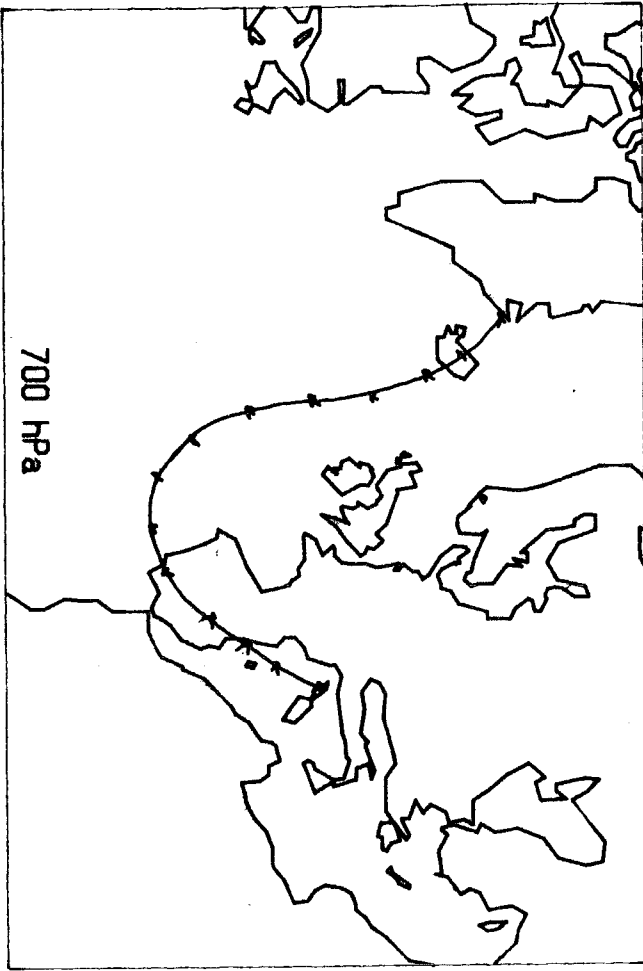
9 avril 1986, 18h.



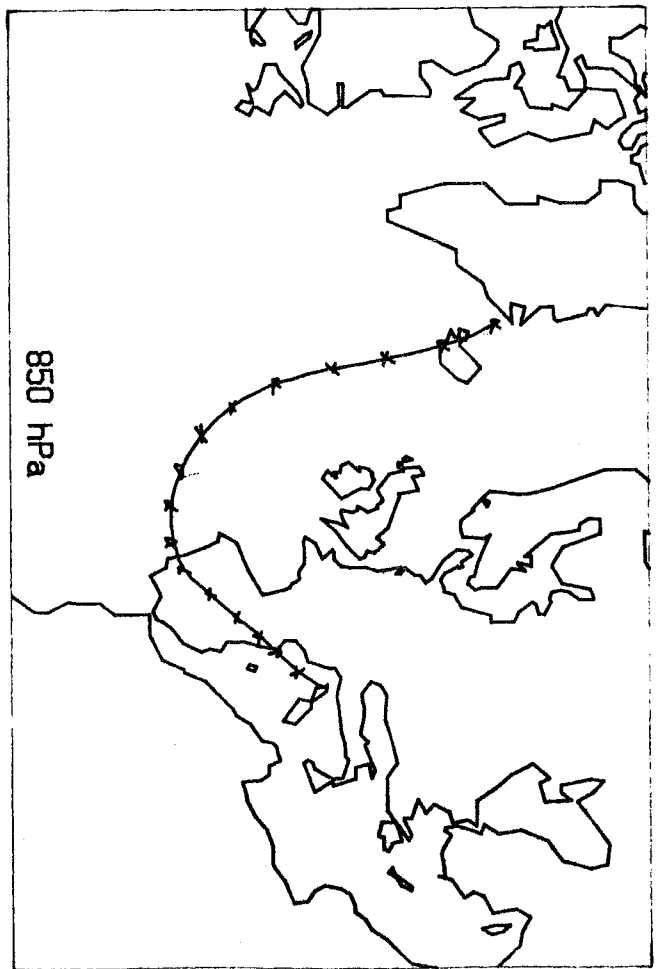
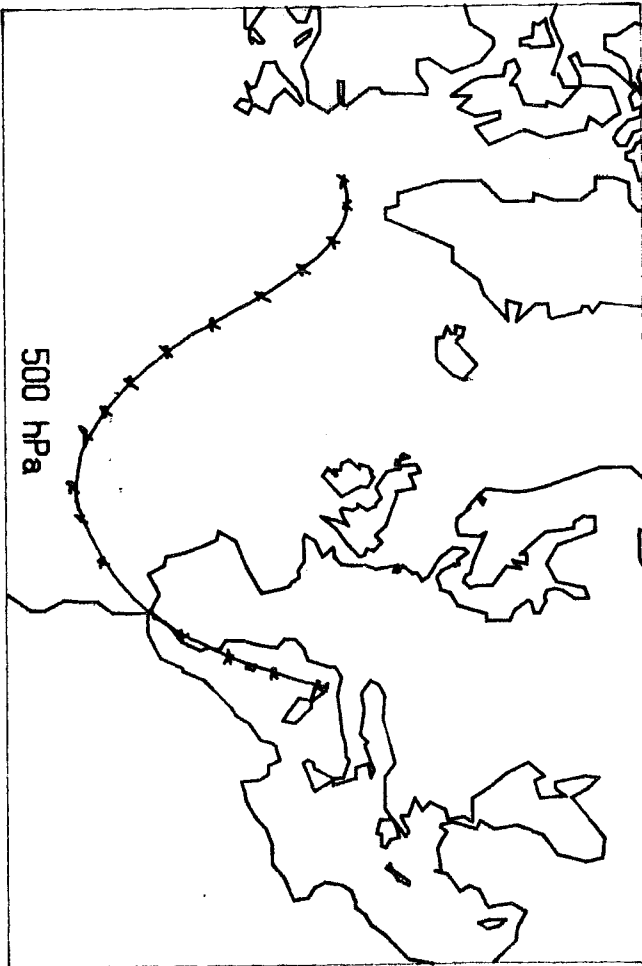


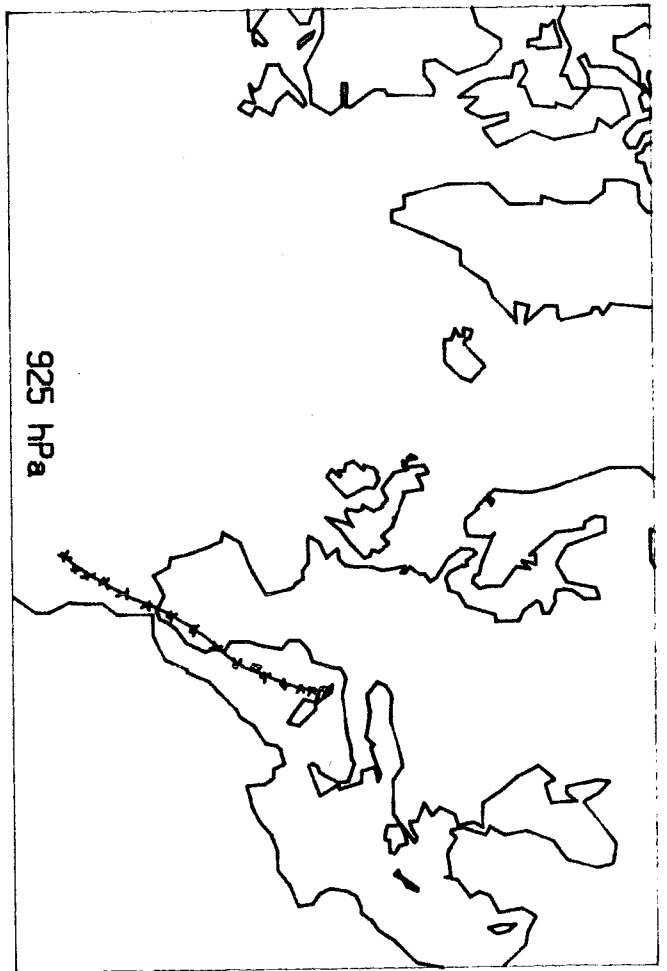
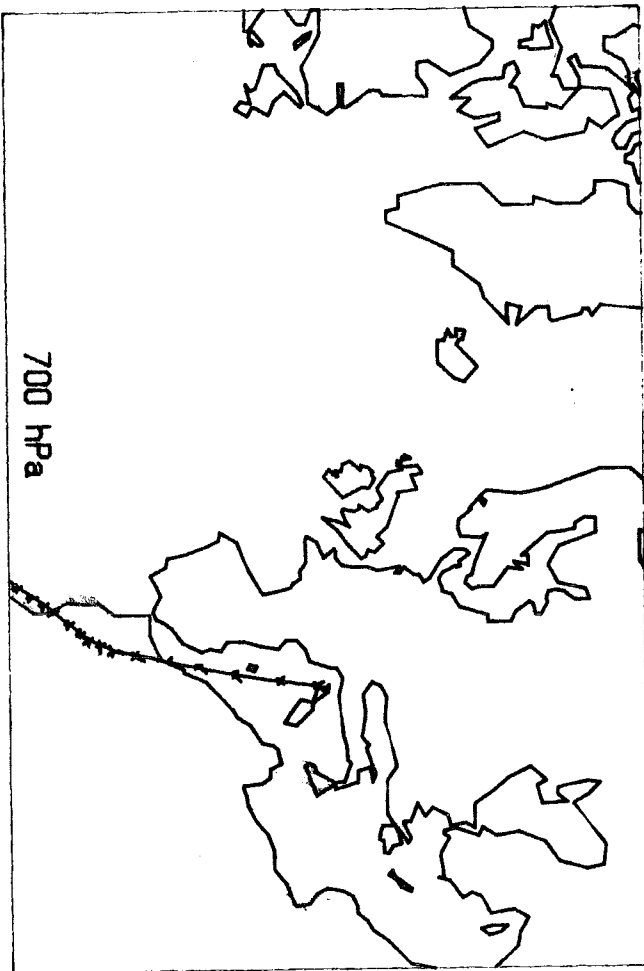
18 avriil 1986, 0h.



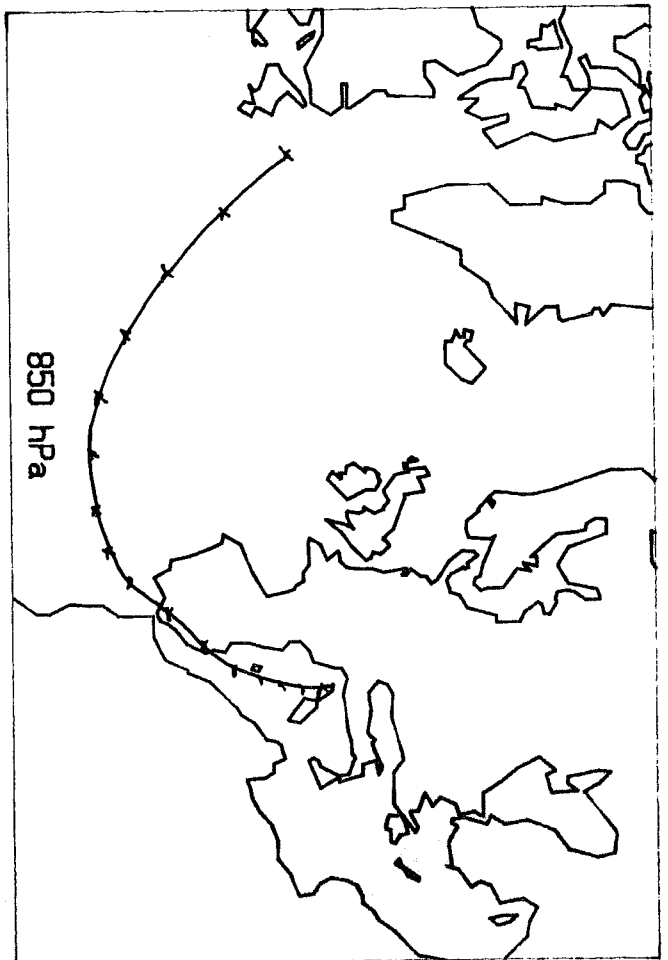
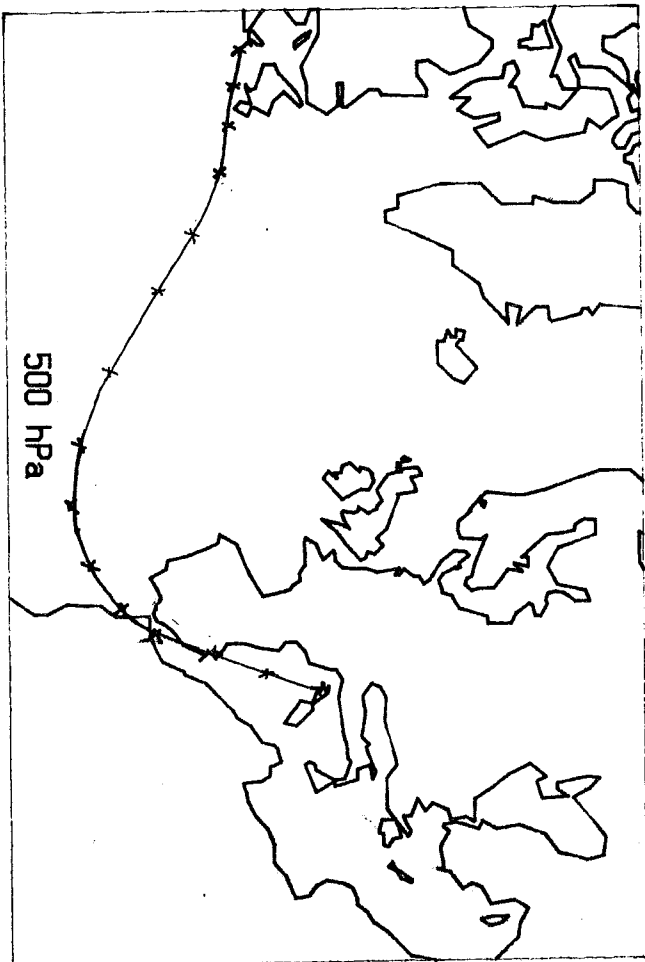


18 avriil 1986, 6h.

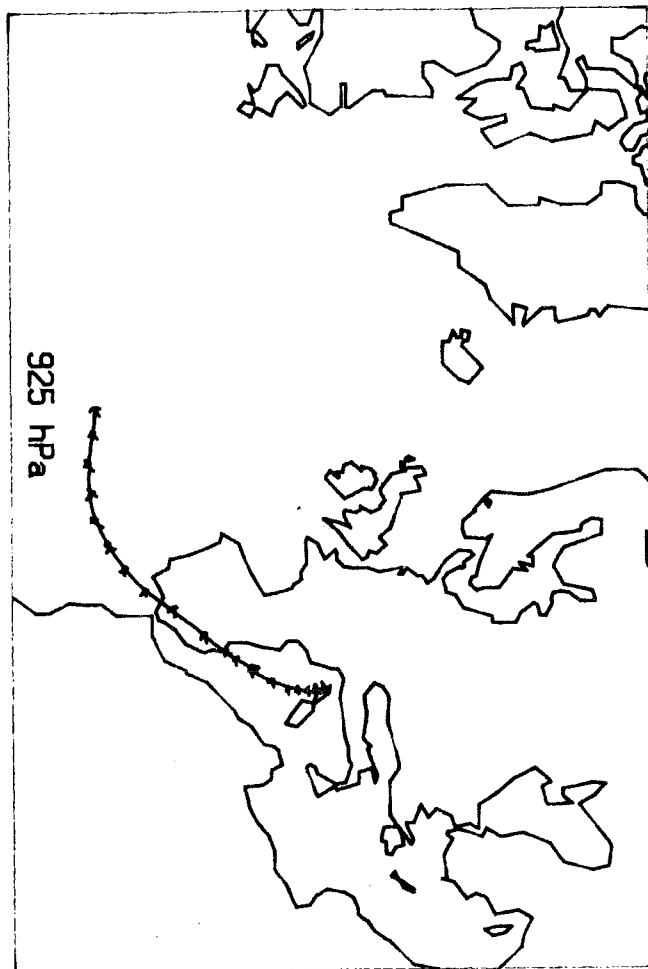




22 octobre 1987, 0h.

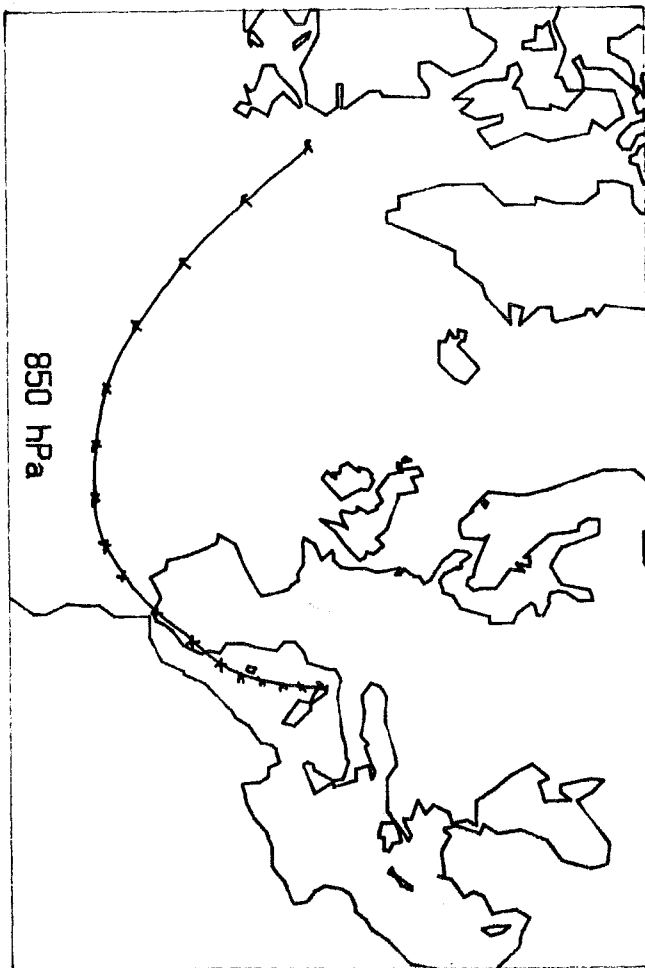


22/10/87
06h

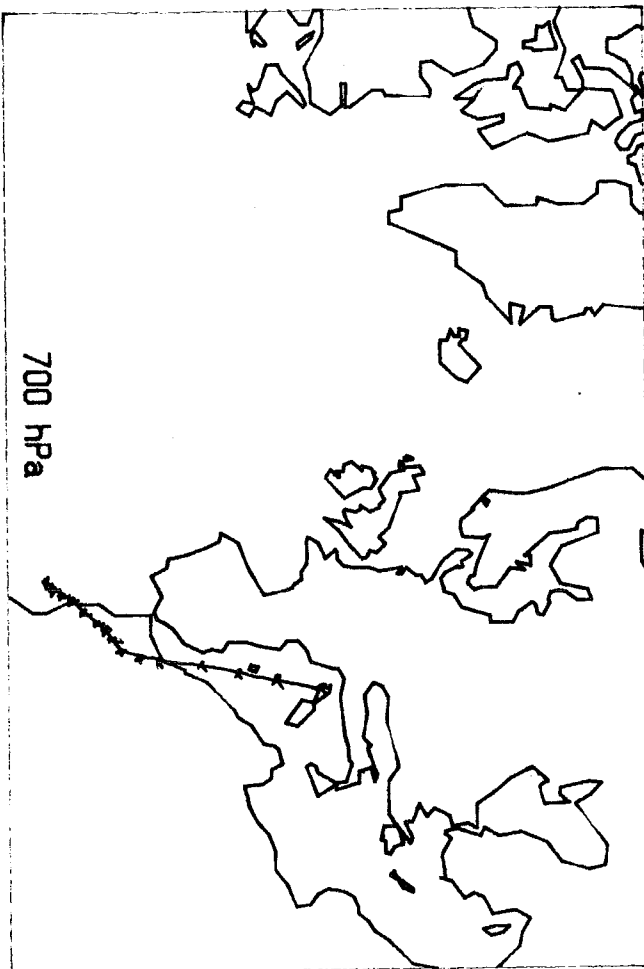


925 hPa

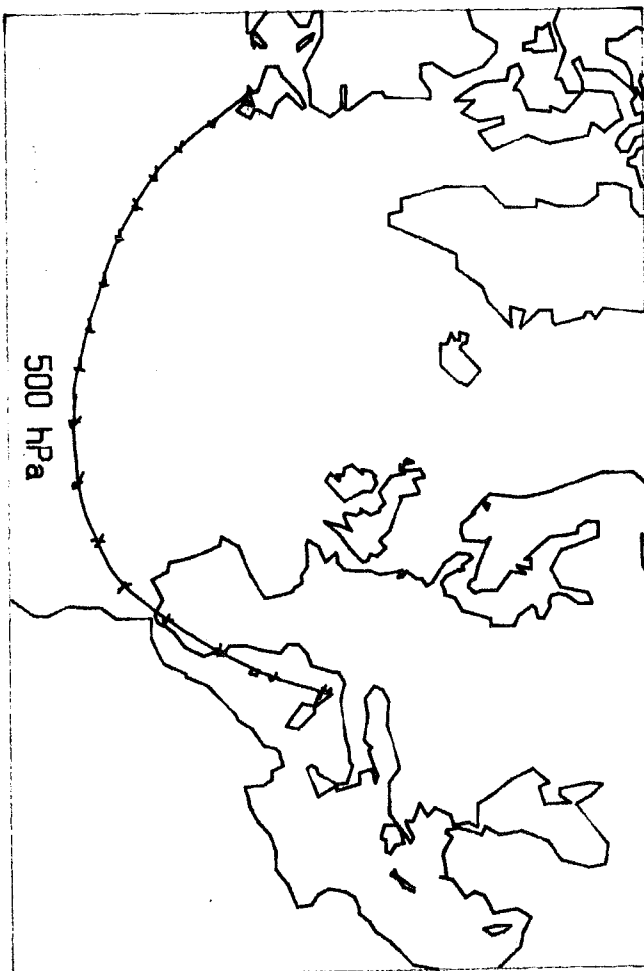
22 octobre 1987, 6h



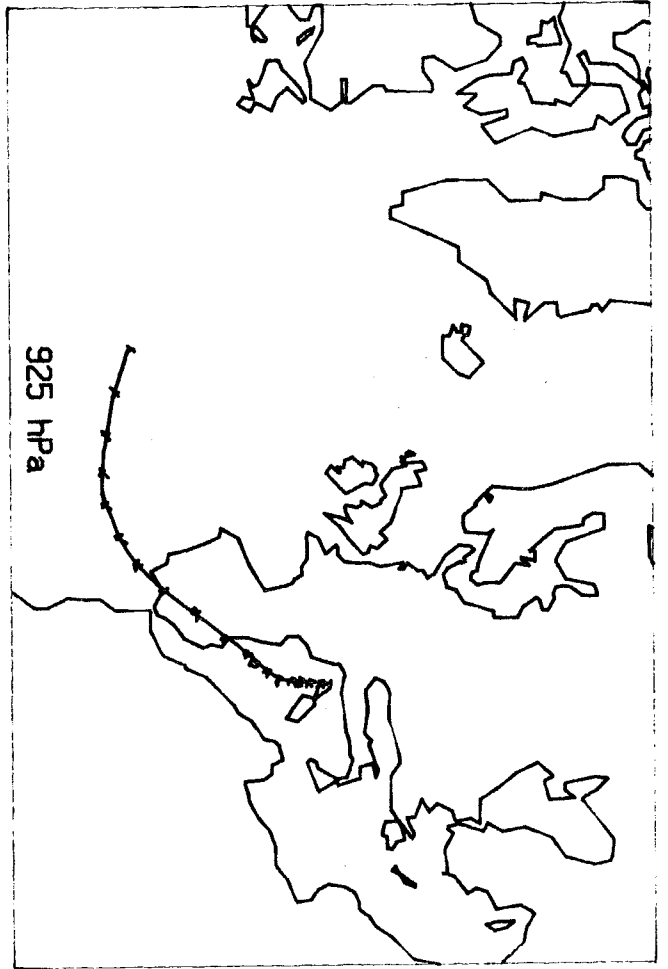
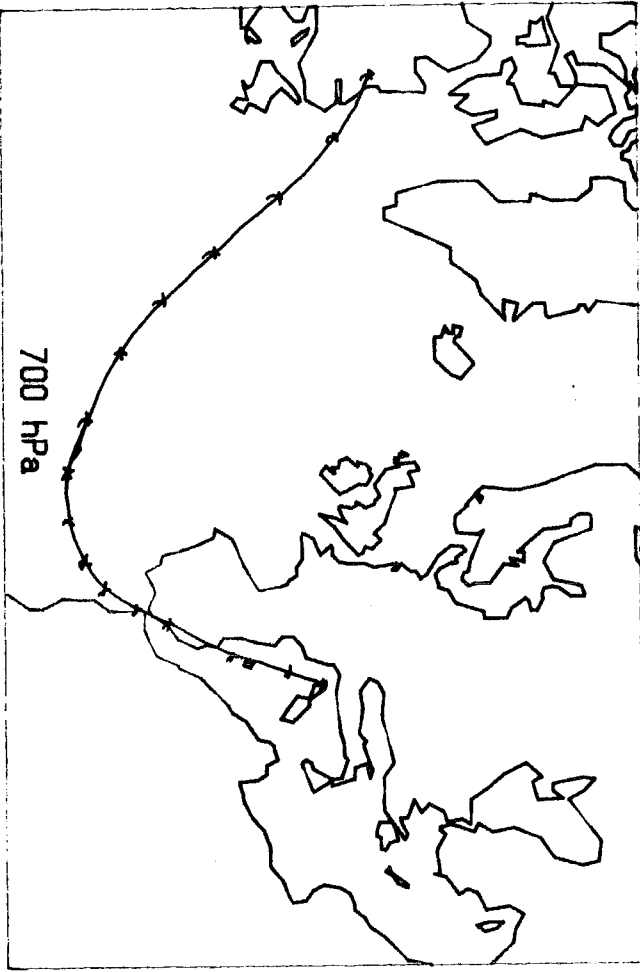
850 hPa



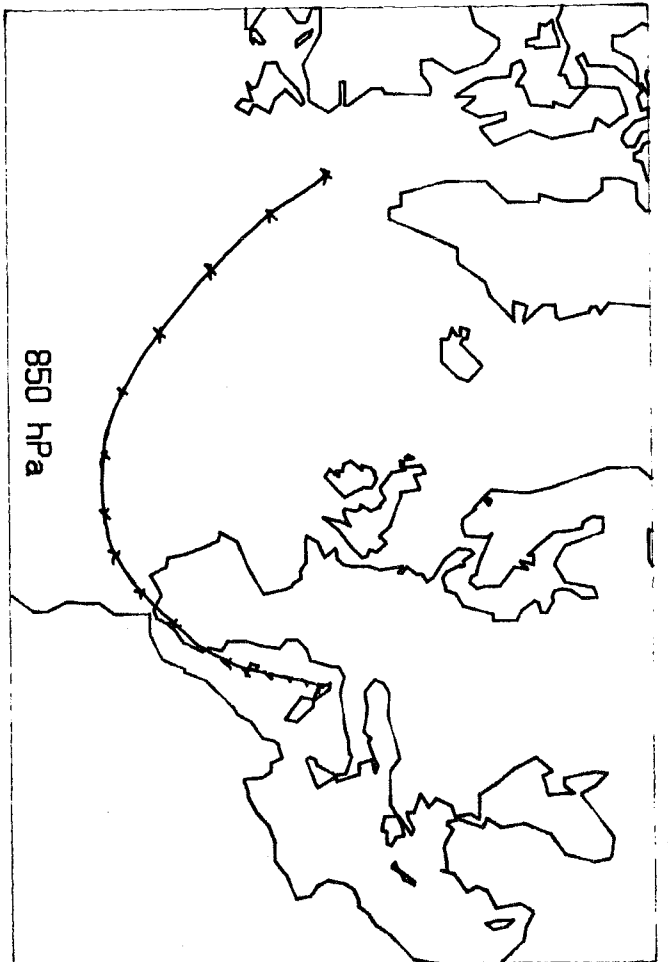
700 hPa

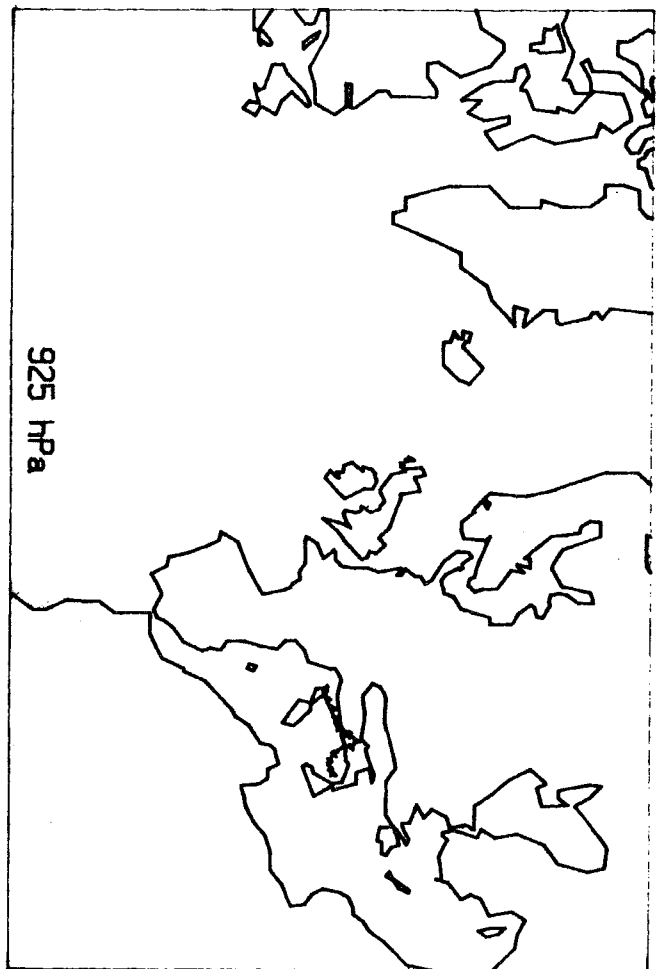
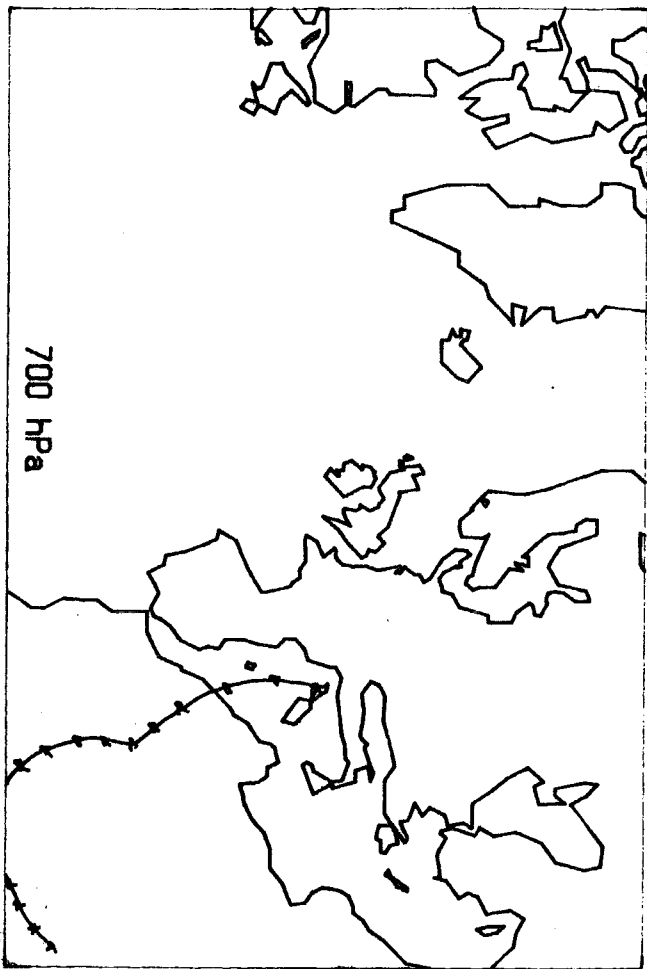


500 hPa

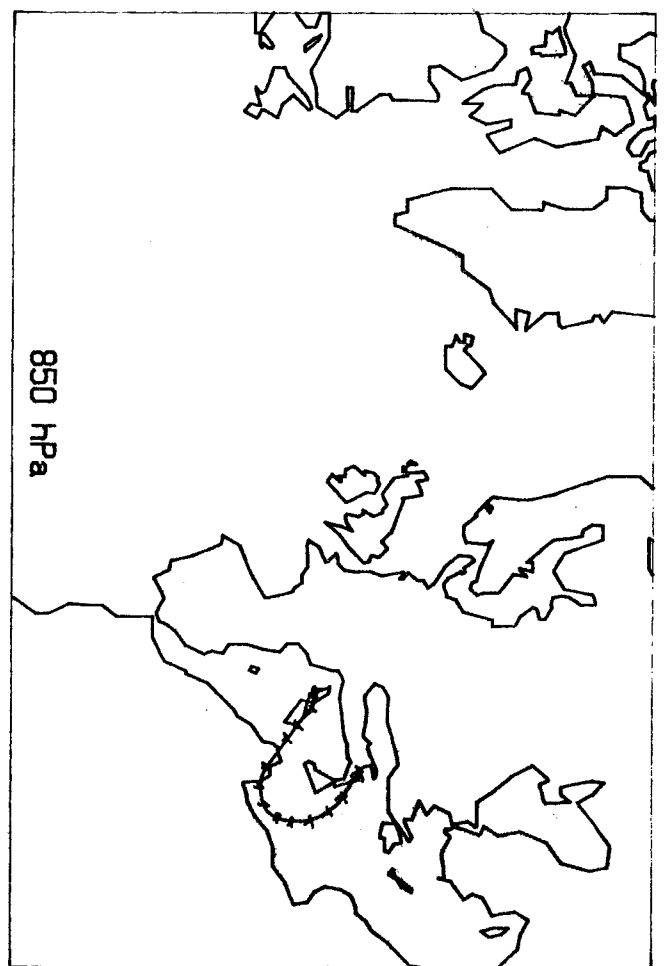
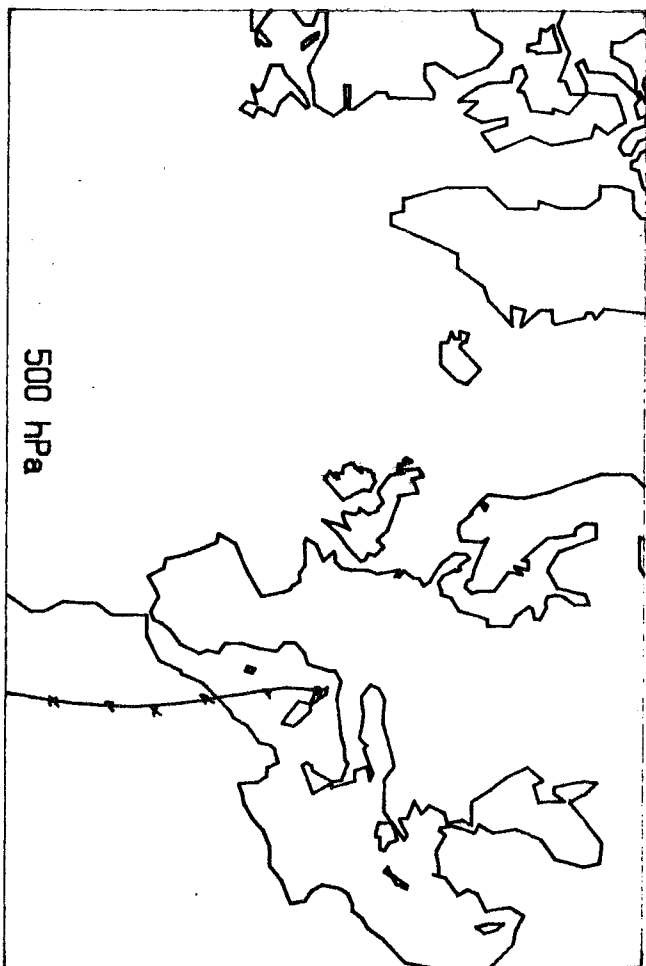


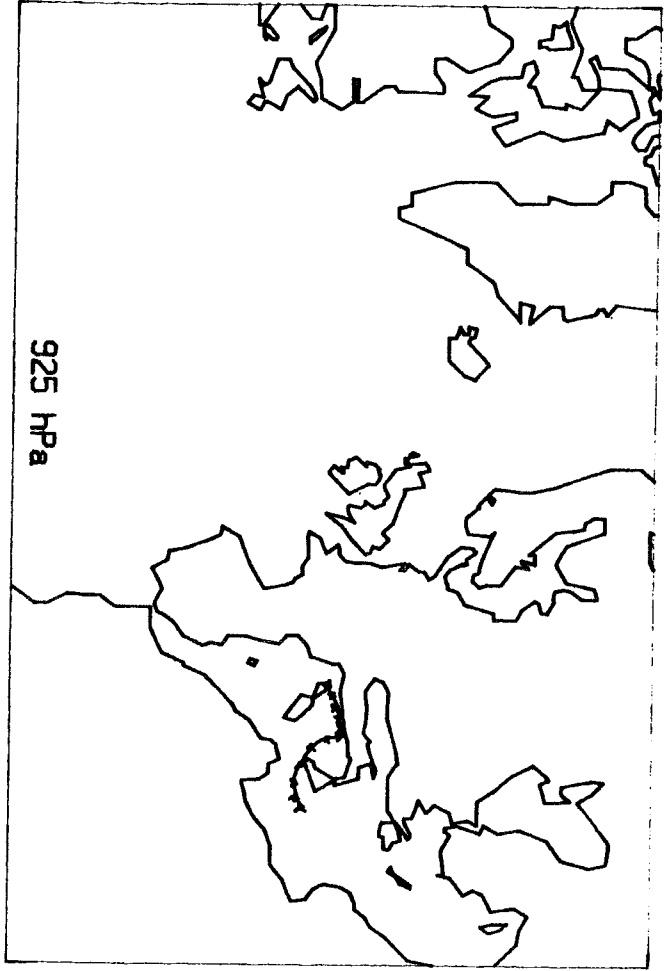
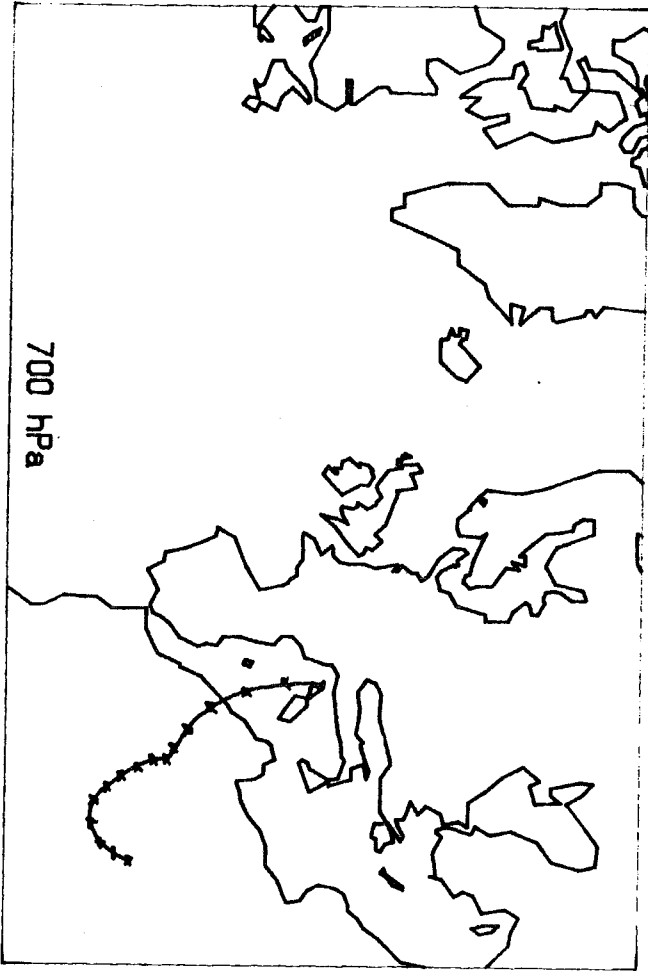
22 octobre 1987, 12h.



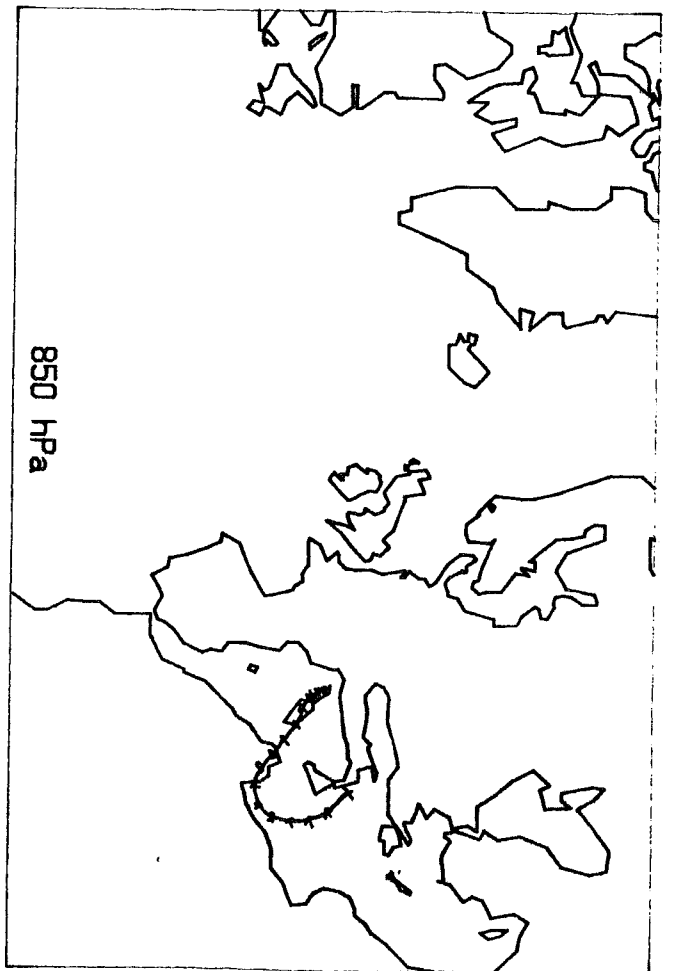
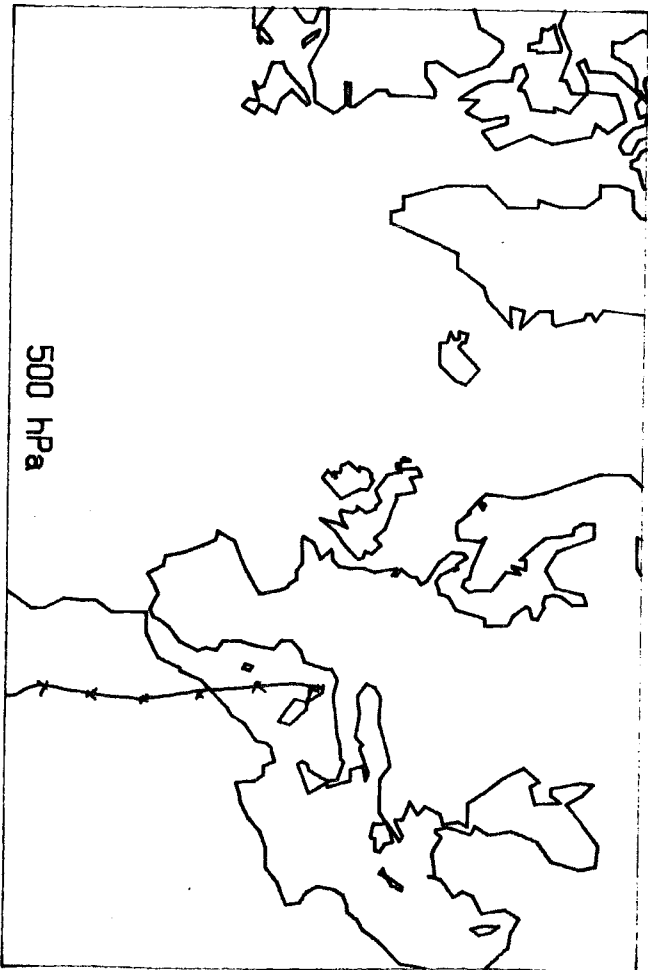


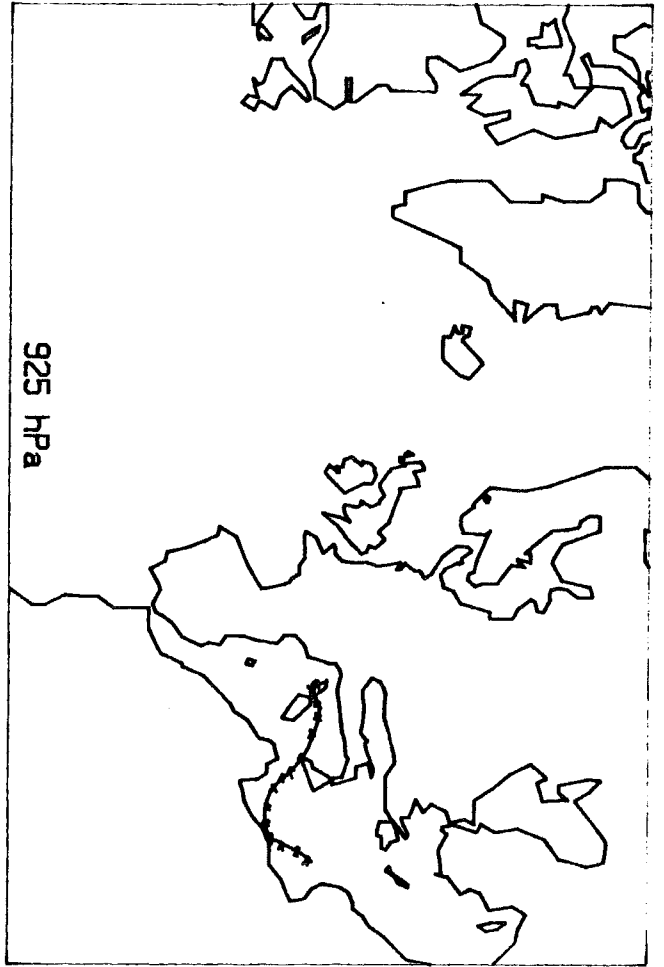
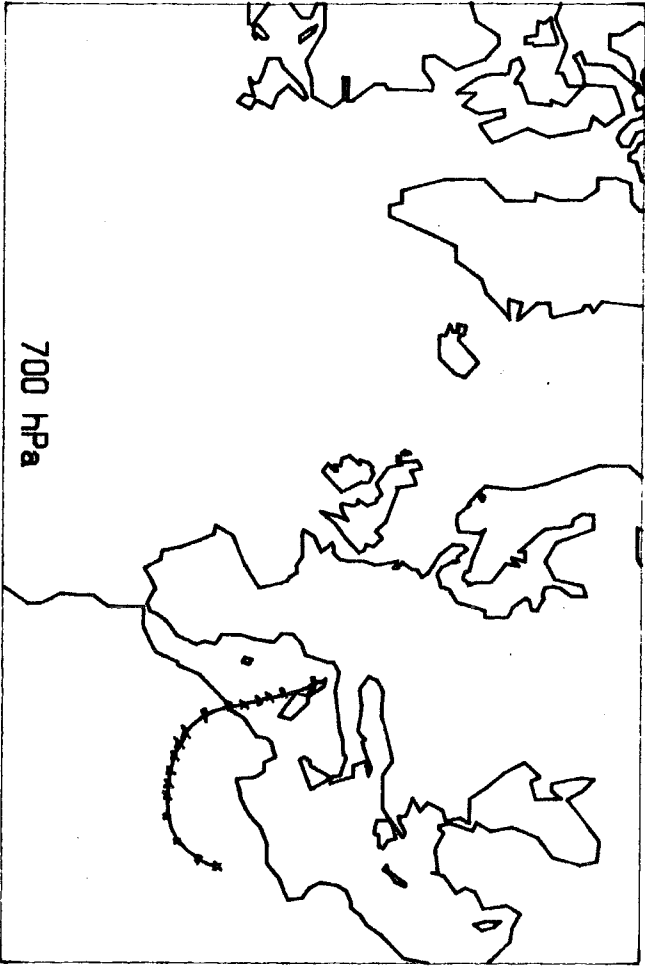
29 octobre 1987, 0h.



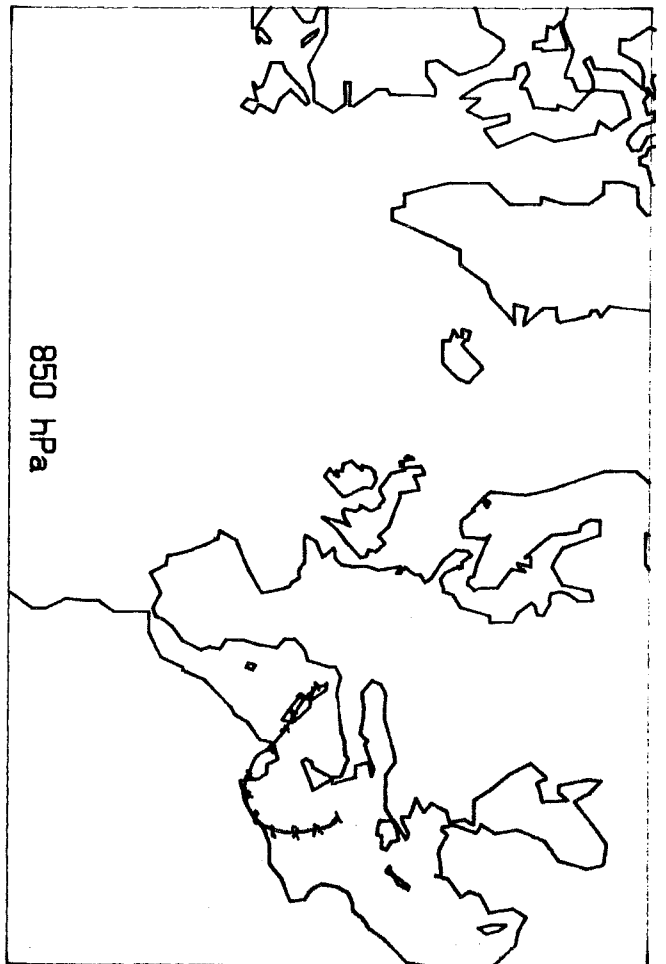
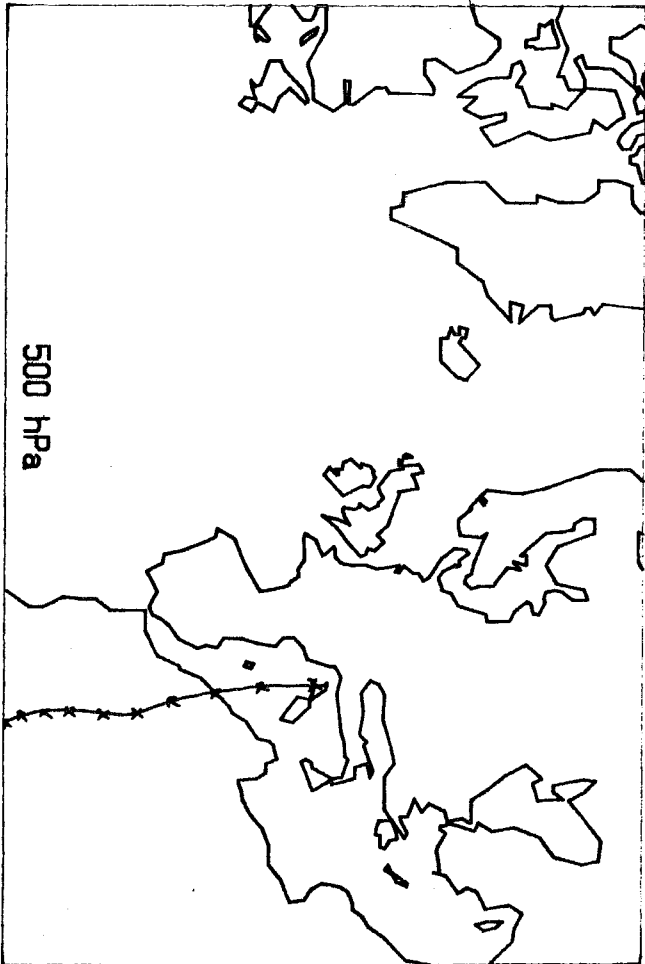


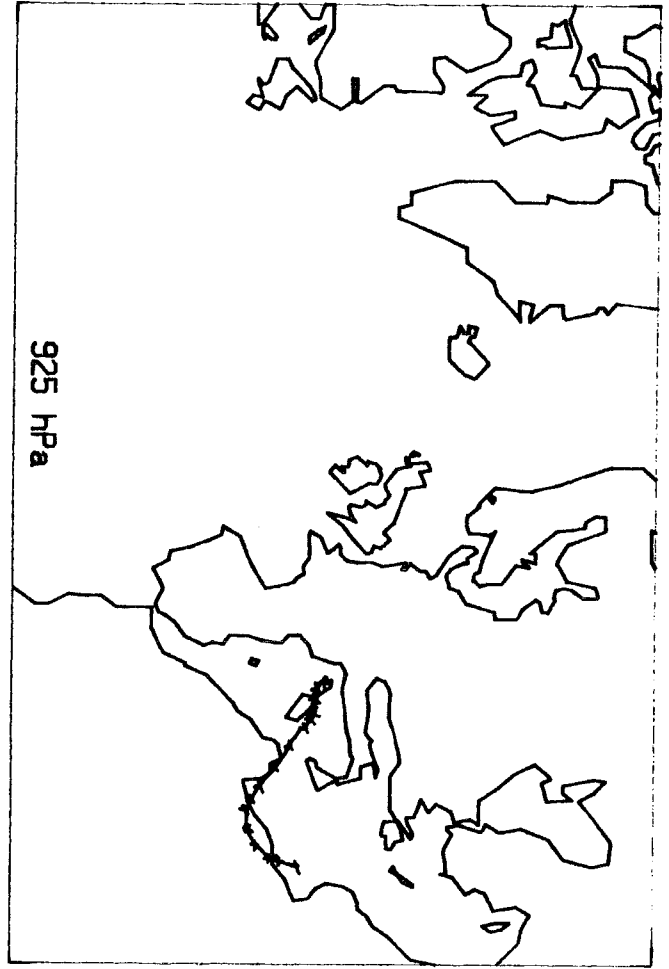
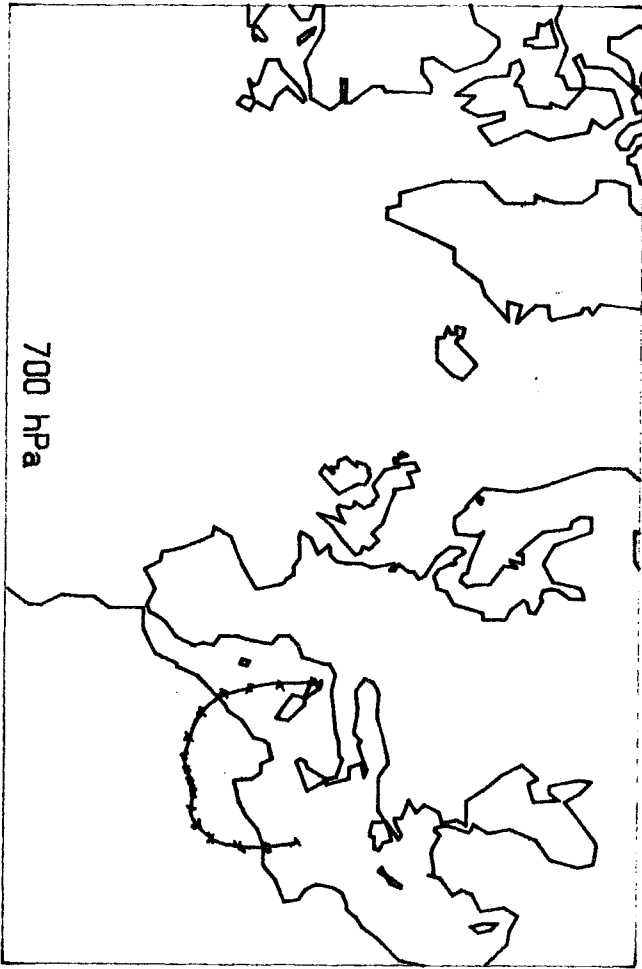
29 octobre 1987, 6h.



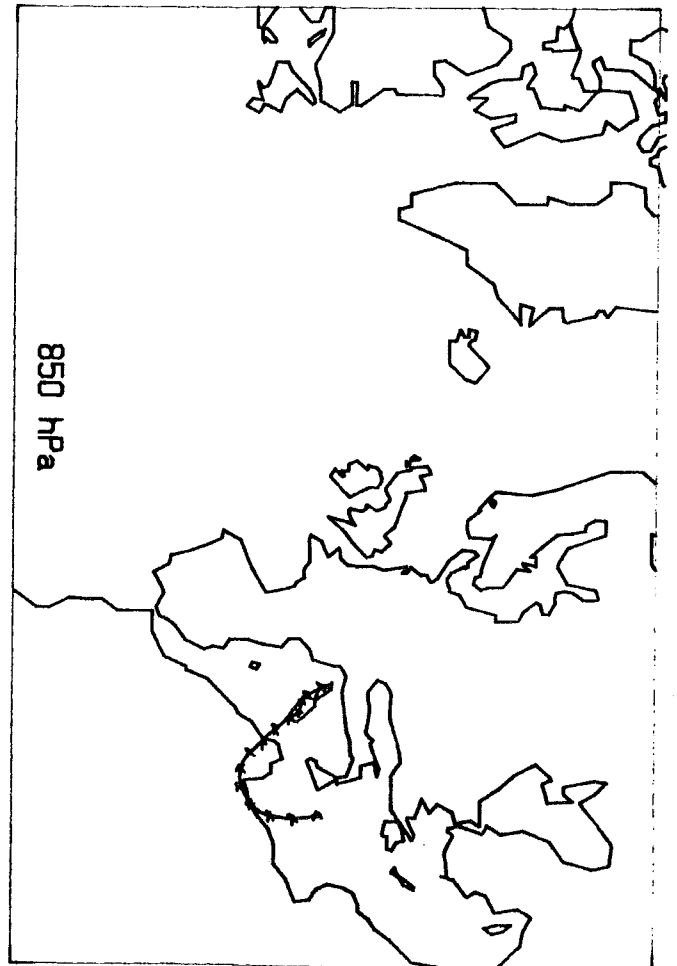
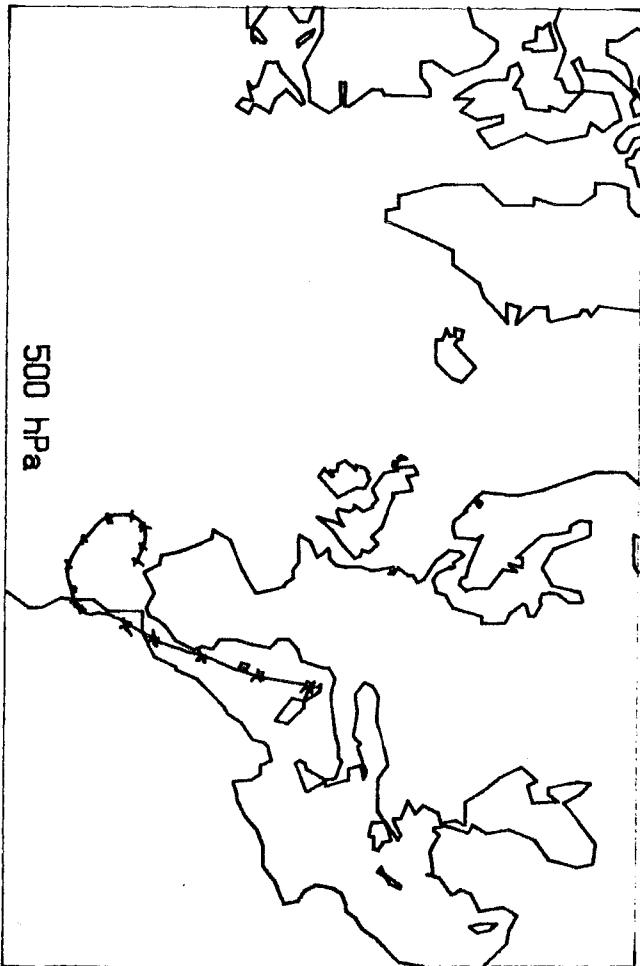


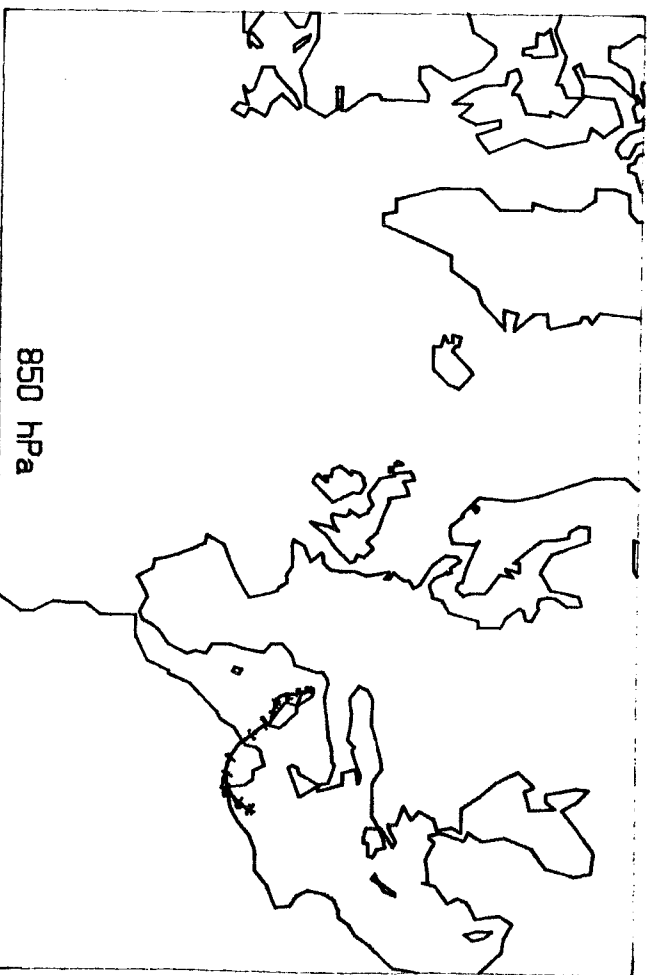
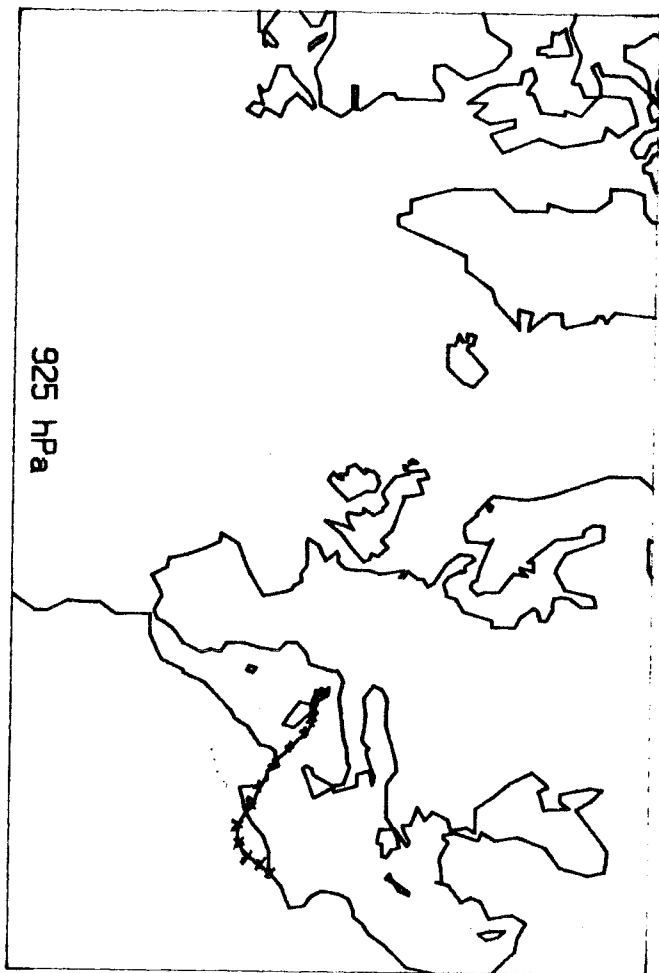
29 octobre 1987, 12h.



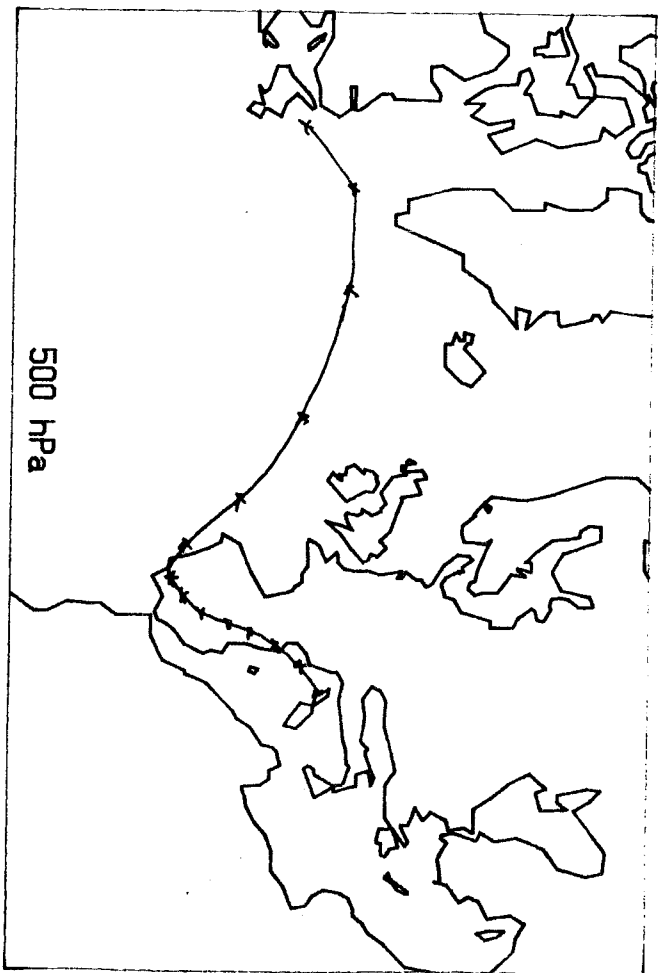
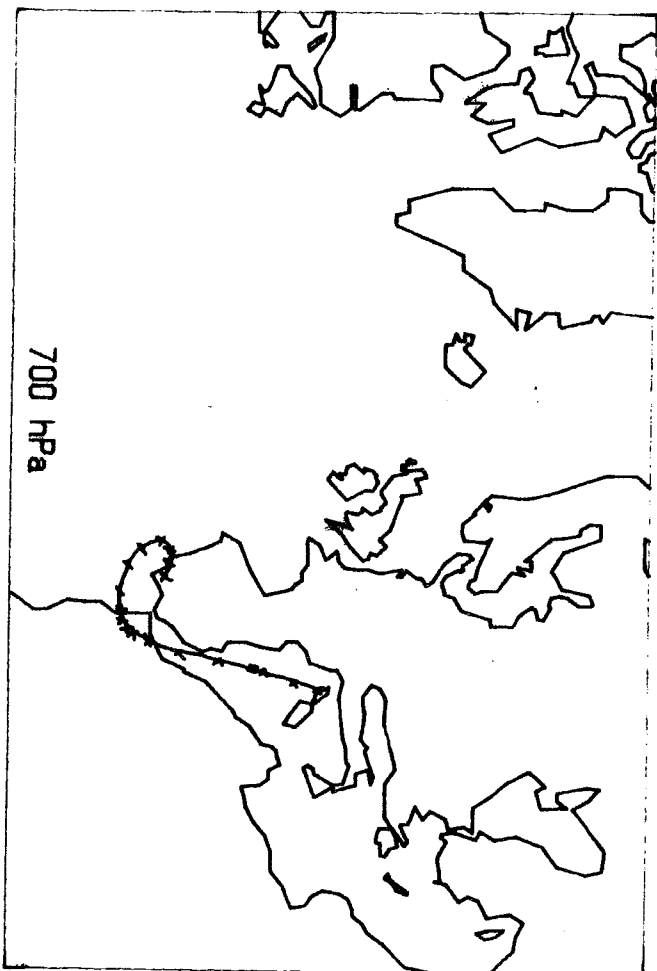


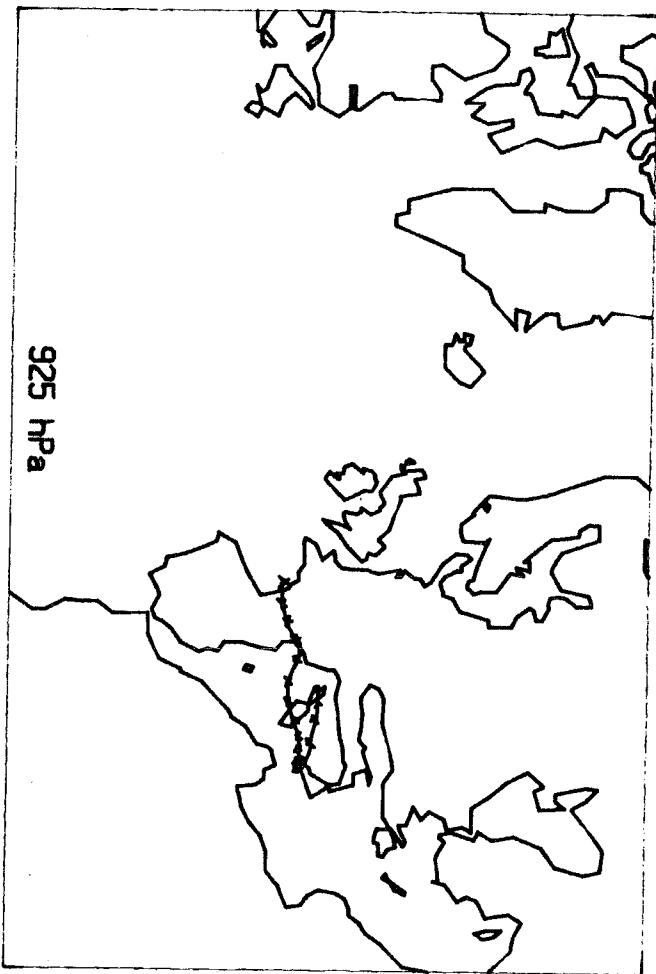
29 octobre 1987, 18h.



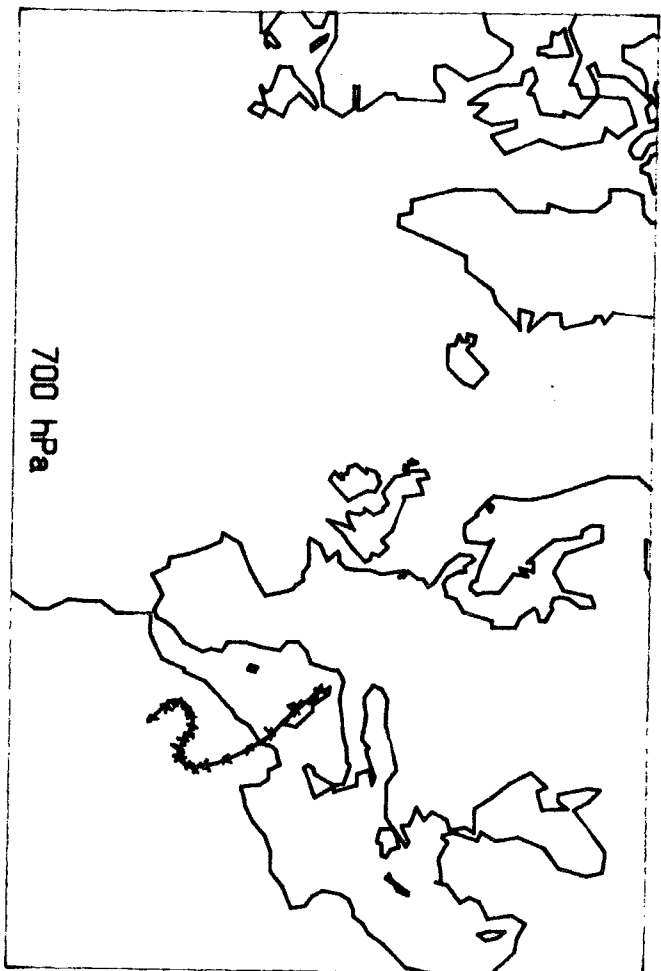


30 octobre 1987, 0h.

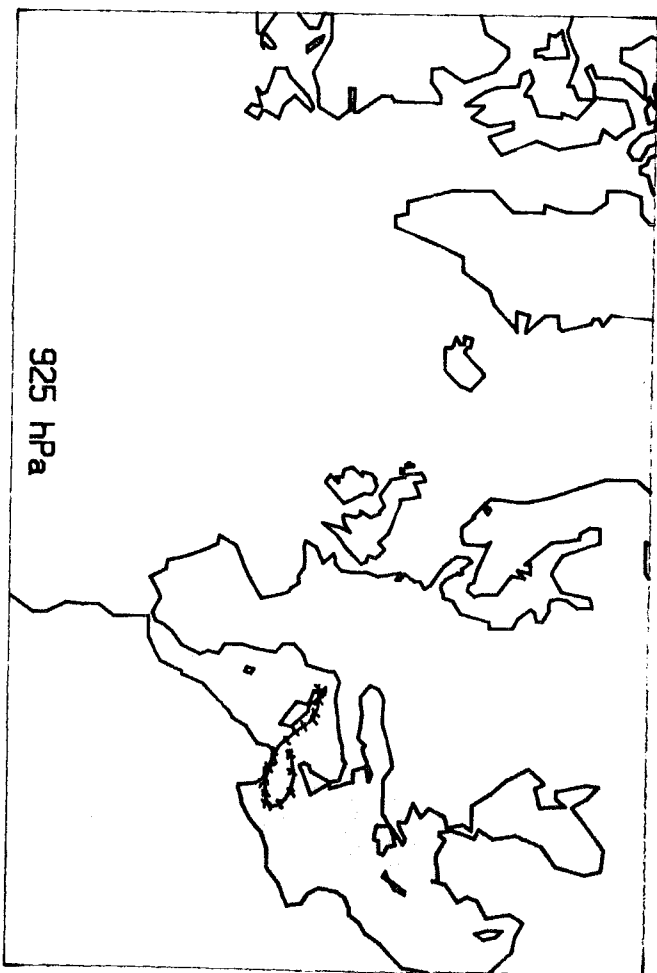




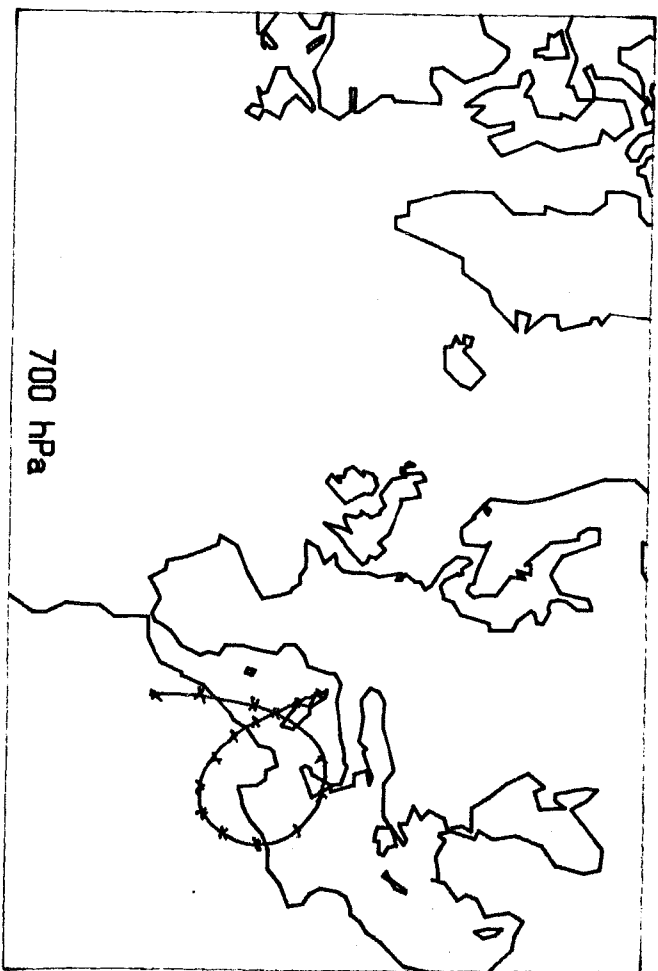
7 avril 1986, 0h.



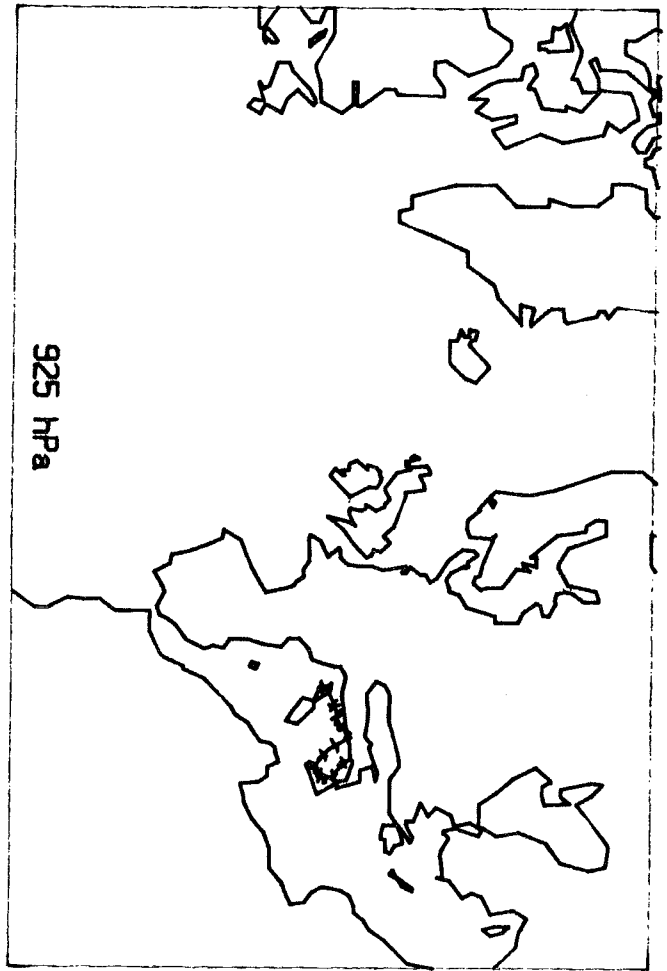
700 hPa



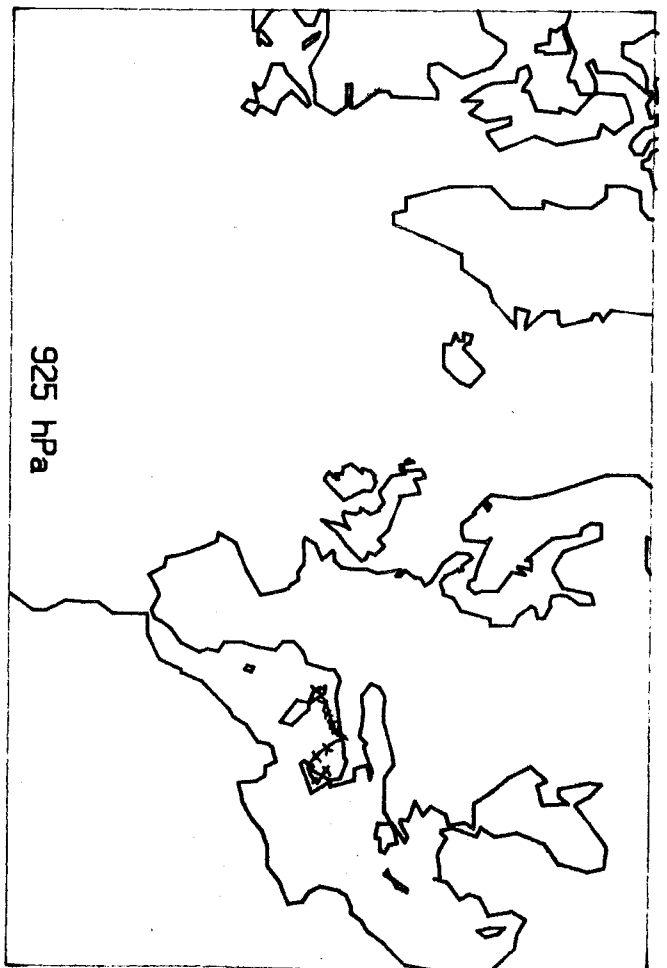
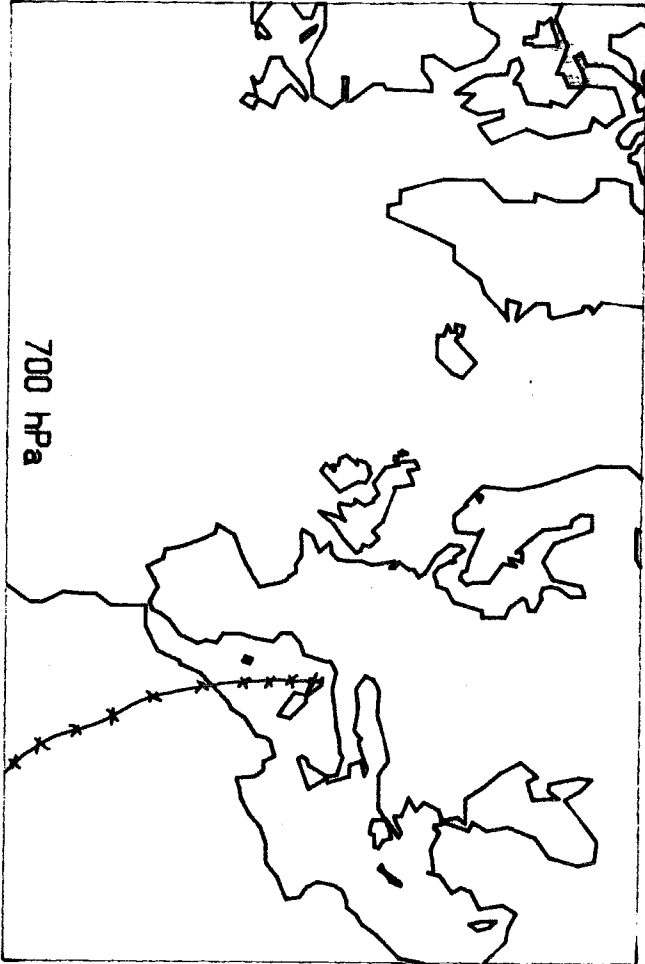
27 octobre 1987, 12h.



700 hPa



28 octobre 1987, 12h.



28 octobre 1987, 18h.

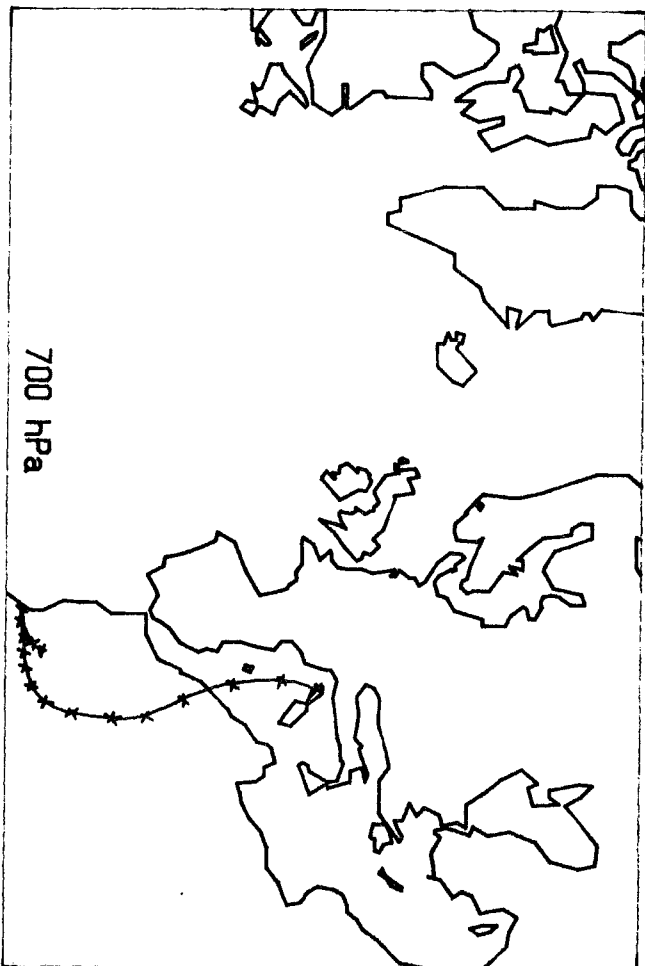


TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE

: INTRODUCTION.	4
 A: ELABORATION DES DONNEES.	 7
<u>I) Chimie des précipitations</u>	8
1/ Relations avec la littérature	8
2/ Principaux facteurs gouvernant la partition soluble-insoluble	10
<u>II) Méthodologie</u>	15
1/ Définition des quantités à mesurer	15
2/ Choix du site de prélèvement	18
3/ Matériel et conditions de prélèvement	20
<u>III) Collecte des échantillons</u>	23
1/ Conditions de propreté	23
2/ Préparation du matériel de prélèvement, protocole de lavage	23
3/ Protocole de collecte des échantillons d'eau de pluie	26
4/ Prélèvement de l'aérosol	28
5/ Contrôle de contamination	28
<u>IV) Analyse de la fraction soluble des précipitations</u>	29
1/ Mesures sur le terrain	29
2/ Analyse des carbonates par titration acide	29
3/ Analyse des anions chlorure, nitrate et sulfate par chromatographie ionique	33
4/ Dosage colorimétrique de l'ammonium, des phosphates et de la silice dissoute	34
5/ Dosage en absorption atomique de flamme des cations majeurs	38
6/ Dosage en absorption atomique en four des éléments traces	39
7/ Conclusion sur l'analyse des solutions	42
<u>V) Analyse de la fraction insoluble des précipitations</u>	45
1/ Analyse en fluorescence X	45
2/ Analyse en absorption atomique après mise en solution	49
<u>VI) Analyse de l'aérosol</u>	52
 B: ETUDE GLOBALE DES RESULTATS OBTENUS.	 53
<u>I) Processus de formation de la pluie, abattement de l'aérosol</u>	54

1/ Aspect physique	54
2/ Interactions chimiques	59
3/ L'abattement	59
4/ Expression des résultats	64
<u>II) Composition et origine des pluies</u>	68
1/ Présentation des données	68
2/ Les sources de matière	74
3/ Etude quantitative des sources, traceurs	75
de sources	75
4/ Etude trajectographique	94
5/ Conclusion sur les sources de matière	96
<u>III) Liaison entre les pluies et l'aérosol</u>	98
1/ Etude des rapports élémentaires moyens	98
2/ Variations temporelles de l'aérosol, mise	
en évidence des fronts	108
3/ Conclusion sur l'abattement	110
<u>IV) Balances ioniques</u>	115
1/ Généralités	115
2/ Origine des ions en solution	121
3/ pH, interaction avec la balance ionique	122
C: PARTITION SOLUBLE-INSOLUBLE DANS LES PLUIES.	125
<u>I) Aspect thermodynamique</u>	126
1/ Relations entre la concentration	
élémentaire totale, la spéciation des éléments et leur	
activité	126
2/ Formation de sels insolubles, équilibres	
de solubilité	138
3/ Adsorption-désorption sur un support	
solide	150
<u>II) Mécanismes de dissolution</u>	152
1/ Eléments toujours solubles: Na, S, Cl, Ca	152
2/ Solubilité de Mg, P, K	153
3/ Solubilité de Mn	160
4/ Solubilité de Al, Si et Fe	161
5/ Cu, Zn et Pb	163
<u>III) Conclusion sur la solubilité des éléments</u>	165
: CONCLUSION.	167
: REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.	172
: ANNEXES.	
<u>AI) Données d'analyse</u>	182
<u>AII) Trajectoires des masses d'air</u>	185
: LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES.	211

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

<u>Tableau 1:</u> Précipitations dans le monde.	9
<u>Tableau 2:</u> Méthodes chimiques d'analyse élémentaire	37
<u>Tableau 3:</u> Spectrométrie d'absorption atomique de flamme.	38
<u>Tableau 4a:</u> Absorption atomique en four graphite: conditions opératoires.	41
<u>Tableau 4b:</u> Absorption atomique en four graphite: conditions analytiques.	41
<u>Tableau 5:</u> Conditions d'analyse en spectrométrie de fluorescence X.	48
<u>Tableau 6:</u> Charge totale de matière admissible sur un filtre pour le dosage en couche mince.	48
<u>Tableau 7:</u> Dosage de l'insoluble en spectrométrie d'absorption atomique.	51
<u>Tableau 8:</u> Volumes d'eau récoltés et volumes théoriques tombes.	65
<u>Tableau 9:</u> Concentrations élémentaires dans les pluies.	66
<u>Tableau 10:</u> Quantités d'éléments abattues par chaque pluie.	67
<u>Tableau 11:</u> Modèles retenus pour les sources marines et crustales.	88
<u>Tableau 12a:</u> Facteurs d'enrichissement marin.	84
<u>Tableau 12b:</u> Incertitude sur la part non marine des éléments.	85
<u>Tableau 13a:</u> Facteurs d'enrichissement crustal.	86
<u>Tableau 13b:</u> Incertitude sur la part non crustale des éléments.	87
<u>Tableau 14a:</u> Facteurs d'enrichissement crustal sur la part non marine des éléments.	91
<u>Tableau 14b:</u> Incertitudes sur les facteurs d'enrichissement du tableau 14a.	92
<u>Tableau 15:</u> "Scavenging ratio" calculés pour une pluie convective.	105
<u>Tableau 16:</u> Balances ioniques des pluies.	112
<u>Tableau 17:</u> Balances ioniques médianes (totale et non marine).	121
<u>Tableau 18:</u> Valeurs des pX élémentaires dans les pluies et valeurs de pAl ³⁺ calculées.	130

<u>Tableau 19</u> : Solubilité des éléments en pourcentage.	139
<u>Tableau 20</u> : Solubilité des parts non marines de Mg et K.	154

Figure 1: Situation du site de prélèvement.	19
Figure 2: Dispositif pour l'analyse des ions bicarbonate.	32
Figure 3: Courbes d'intercalibration A.A/Polarographie.	43
Figure 4: Dispositif pour l'analyse par spectrométrie de fluorescence X.	46
Figure 5: Rapport des pressions de vapeur saturante d'une goutte d'eau sur la pression de vapeur saturante d'un plan d'eau en fonction du diamètre de cette goutte.	56
Figure 6: "Scavenging ratio" publiés dans la littérature (Slinn, 1983).	60
Figure 7: Flux d'une pluie en fonction du temps.	62
Figures 8a,b,c,d,e,f,g: Concentrations de Na, Al, Si, P, Mn, Fe, Cu, Pb dans les pluies collectées.	69-70
Figures 9a,b,c,d,e,f,g: Flux de Na, Al, Si, P, Mn, Fe, Cu, Pb au cours de chaque évènement pluvieux collecté.	71-72
Figure 10: Médiane des concentrations atmosphériques en fonction de la médiane des concentrations dans les pluies.	99
Figure 11: Médiane des concentrations atmosphériques en fonction de la médiane des flux de retombées totales.	102
Figure 12: Trajectographie des masses d'air associées à la pluie P ⁸⁵ .	104
Figure 13: Concentrations atmosphériques de l'aluminium, du soufre et du zinc dans l'air, par pas de 12h, lors de l'arrivée d'un front saharien le 6 avril 1986.	106
Figure 14: Trajectographie associée à la pluie P286.	107
Figure 15: Evolution des concentrations atmosphériques en aérosols (Al, S, Zn) pendant le passage du front saharien du 6 avril 1986.	109
Figure 16: Conductivité calculée à l'aide des balances ioniques en fonction de la conductivité mesurée des pluies collectés.	113
Figure 17: Balance ionique médiane.	114
Figure 18: Balances ioniques des pluies collectées.	116-118
Figure 19: Balances ioniques des parts non marines des pluies collectées.	119-120
Figure 20: Solubilité du phosphore en fonction du pH.	142
Figure 21: pFe en fonction du pH des pluies.	144

- Figure 22:** pAl^{3+} en fonction du pH des pluies. 146
- Figure 23:** pourcentage de plomb, zinc et cuivre solubles en fonction du pH. 148-149
- Figure 24:** pourcentage du phosphore non crustal (phosphore en excès) en fonction du pourcentage de phosphore soluble. 156
- Figure 25:** pourcentage de manganèse soluble en fonction du pH des pluies. Facteurs d'enrichissement crustal des pluies en fonction du pH. 158
- Figure 26:** pourcentage du manganèse non crustal (manganèse en excès) en fonction du pourcentage de manganèse soluble. 159