

**Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt
Rapports de travail de l'Institut Suisse de Météorologie
Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia
Working Reports of the Swiss Meteorological Institute**

Zürich

No. 148

LE COMPORTEMENT DE L'AIR FROID
AU PASSAGE DES ALPES

par

Alexandre Piaget
Zurich

Juillet 1988

Passage des Alpes par l'air froid

551.515.83(234.3)

Résumé

Un aperçu des théories de la cyclogénèse en Méditerranée au passage des Alpes par l'air froid précède l'étude descriptive de deux cas représentatifs. Il en ressort que le déplacement de la masse d'air froid n'est pas essentiellement affecté par les Alpes. Par exemple, le régime des pluies accompagnant la zone frontale ne subit pas de modification, ni n'est retardé au passage de celles-ci. L'action des Alpes reste secondaire, marquée par une augmentation des nuages inférieurs au vent de la chaîne et par la présence d'une éclaircie sous le vent. La pénétration de l'air froid dans les vallées alpines va dépendre de l'air qu'il remplace. Il n'atteindra le fond des vallées, plus par subsidence que par remontée de celles-ci, que lorsqu'il est potentiellement plus froid que l'air primitif.

Zusammenfassung

Nach einem Ueberblick über die Theorien der Zyklogenese im Mittelmeerraum, im Zusammenhang mit der Alpenüberquerung von Kaltluft, werden zwei repräsentative Fälle untersucht. Es zeigt sich, dass die Verlagerung einer Kaltluftmasse nicht wesentlich durch die Alpen beeinflusst wird. Z.B. wird das Niederschlagsverhalten an einer Frontalzone weder verändert noch durch die Alpenüberquerung verzögert. Die Wirkung der Alpen ist von sekundärer Art; sie zeigt sich in einer Vermehrung der unteren Wolken im Luv der Gebirgskette und im Auftreten eines Aufhellungsgebietes im Lee. Das Eindringen der Kaltluft in die Alpentäler hängt von der Luft ab, die sie ersetzt. Die Kaltluft erreicht den Talgrund nur, wenn sie potentiell kälter als die ursprüngliche Luft ist, wobei dort Absinken gegenüber Aufsteigen vorherrscht.

Riassunto

Lo studi descrittivo di due casi rappresentativi è preceduto da un compendio delle teorie sulla ciclogenese nel Mediterraneo con il passaggio delle Alpi di una massa di aria fredda. Ne risulta che lo spostamento della massa d'aria non viene particolarmente influenzato dalla catena alpina. Per esempio, il regime delle precipitazioni che accompagnano la zona frontale, non subisce alcuna modifica e non è ritardato al passaggio delle Alpi stesse. L'azione delle Alpi resta secondaria. Essa è marcata da un aumento della nuvolosità sopravvento alla catena e dalla formazione di una schiarita sottovento. La penetrazione dell'aria fredda nelle vallate alpine dipende dalle caratteristiche dell'aria già presente. L'aria fredda infatti, raggiunge i fondovalli, più per sussidenza che per avvezione, solo quando è potenzialmente più fredda dell'aria alla quale si sostituisce.

Abstract

A short survey of the theories on Mediterranean cyclogenesis occurring in connection with the crossing of the Alps by cold air precedes the descriptive study of two representative cases. It comes out that the motion of the cold air mass is not essentially affected by the Alps. For example, the precipitations associated to the frontal zone undergo no modification and are not retarded when crossing the Alps. The effects of the Alps remain secondary, only marked by an increase of the lower cloudiness on the windward side of the massif and by the presence of a clearance on the lee side. The penetration of the cold air in the alpine valleys depends on the air it replaces. It only reaches the valley bottoms when it is potentially colder than the initial air and it does it more by subsidence than by climbing up the valleys.

Le comportement de l'air froid au passage des Alpes

1. Introduction

L'influence de l'orographie sur la circulation atmosphérique à grande échelle reste encore un des problèmes de la météorologie non résolu de façon satisfaisante. Les modèles numériques se sont de plus en plus affinés, mais se heurtent toujours à la modélisation des montagnes. Comparées aux grandes chaînes montagneuses, les Alpes restent d'extension modeste. De plus, l'extension d'une masse d'air en déplacement dépasse largement celle des Alpes.

Par rapport à la circulation active des latitudes moyennes, les Alpes ont une position relativement marginale. De plus, elles s'allongent dans le sens du courant atmosphérique moyen. Cette position correspond à leur latitude à la région où débute la coupure de l'air froid de sa source. C'est-à-dire, qu'à leur voisinage, des gouttes d'air froid sont assez fréquemment observées.

L'expérience GARP/ALPEX, principalement sa période d'observation intensive (SOP) de mars et avril 1982, a provoqué un regain d'activité dans l'étude de l'influence des Alpes, plus que des montagnes en général, sur la circulation atmosphérique à leur voisinage. Les premiers efforts ont avant tout porté, sur le plan synoptique, sur la cyclogénèse au-dessus du Golfe de Gênes, à l'échelle de la circulation régionale, sur la bora, le foehn ayant "boudé" cette période. Les sujets moins brillants, mais plus importants pour les météorologistes actifs dans la région, ont été moins touchés. Le rythme de leur étude n'a pas été réellement modifié. Néanmoins, cette recherche reste active au sein des Services météorologiques concernés.

Sans vouloir présager ici de leurs causes, il est possible schématiquement de ranger l'évolution des mouvements de l'air froid dans trois catégories:

- La première correspond au passage direct des Alpes. Le courant est dirigé le plus souvent du nord-ouest au sud-est. Ce développement conduit généralement à un "barrage" au nord des Alpes et se manifeste par un temps clair au sud.
- La seconde comprend l'évolution d'air froid ayant pénétré en Méditerranée plus à l'ouest et entraîné dans un mouvement de dérive vers l'est traverse les Alpes ensuite. L'arrivée de l'air froid est souvent précédée d'un "barrage" au sud des Alpes, le foehn soufflant sur le versant nord.
- La troisième est une suite de l'étalement de l'air froid caractérisant son flanc occidental. Son extension verticale devient finalement inférieure à celle des Alpes. La présence d'une goutte d'air froid au-dessus de la Méditerranée centrale conduit alors à la formation de la bise au nord des Alpes, celle-ci accompagnée de stratus bas dans la moitié hivernale de l'année.

Si l'évolution de l'air froid a lieu en dehors des Alpes, le temps y reste au beau avec des brouillards automnaux ou hivernaux.

Lorsque l'air froid aborde directement les Alpes, son extension verticale s'étend jusque dans la basse stratosphère. Ainsi qu'il fut précédemment remarqué, son étendue horizontale est largement plus grande que celle des Alpes. Dans ces conditions l'imagerie reçue des satellites montre que le déplacement général de l'air froid n'est aucunement perturbé par la chaîne alpine. Par contre, elle décèle que le temps de chaque côté de la chaîne est profondément affecté. Une nébulosité importante continue de recouvrir le côté nord, tandis qu'au versant sud l'éclaircie est quasi-immédiate. Le champ isobarique est modifié en ce sens qu'une faible crête de haute pression s'établit au nord, tandis qu'un couloir dépressionnaire plus ou moins marqué se développe au sud, au-dessus de la Plaine du Pô. Généralement les modifications du champ isobarique ne dépassent pas ce stade. Quelques fois une cyclogénèse s'observe au-dessus du Golfe de Gênes, plus exactement au-dessus de la Mer Ligurienne, plus rarement au-dessus de l'Adriatique. Dans ces circonstances, il y a coupure de l'air froid et formation d'une goutte d'air froid.

Bien souvent, les avances d'air froid se produisent au-dessus des régions sises à l'ouest des Alpes. Leur déplacement subséquent vers l'est finit par affecter la région alpine. Ici de même, l'imagerie satellitaire montre que cette évolution n'est pas modifiée de façon notable par la présence des Alpes. A l'avant de l'air polaire, le courant va du sud au nord. Les mêmes déformations du champ isobarique dans les couches inférieures, mais inversées par rapport aux précédentes, s'observe. Par contre, cette circulation ne conduit pas à une cyclogénèse au Nord des Alpes. Il convient néanmoins de mentionner que Kurz (1984) cite un cas où une dépression se serait formée suite à une telle évolution. Il apparaîtrait plutôt que ce développement soit la suite des évolutions de la circulation sur le nord des Alpes, peut-être favorisé par la présence de ces dernières.

Le flanc occidental de l'air froid s'étale par un mouvement diffluent. Son épaisseur diminue progressivement pour n'être finalement plus que de 1-2 km. Lorsque cette partie de l'air aborde les Alpes, elle s'écoule le long de celles-ci. La pénétration de cet air dans les vallées alpines va dépendre des différences thermiques entre celui-ci et l'air, généralement stagnant, occupant à ce moment là les vallées.

Le problème de la cyclogénèse en Méditerranée n'a pas encore de solution. Ainsi qu'il fut déjà remarqué, ce phénomène ne se produit pas à chaque passage des Alpes par l'air froid. De plus, il s'observe ailleurs en Méditerranée. Buzzi et Sperenza (1982) remarquent: "Only a limited number (not more than 5-6 a year) develop into deep cyclones extending throughout the whole troposphere" et plus loin "It is presently clear from numerical modeling that not all of the lows forming in the region in question are strictly "Alpine", in the sense that they would not exist were the Alps not there". Les auteurs soulignent également, ce qui fut déjà précédemment noté, que la Méditerranée est située dans une région où le développement de dépressions suite à la coupure de l'air froid a une forte probabilité. Tosi et al. (1984) remarquent que "during the two months field programme of ALPEX a number of cyclone events, which might loosely be classified as Gulf of Genua cyclones, occurred. When looked at it in any detail, these include a wide variety of different phenomena, including pre-existing environments, genesis mechanisms, and final structures".

Chacune des dépressions engendrées, de quelque importance, reste finalement la trace isobarique d'une goutte d'air froid. En principe, cette cyclogénèse reste liée à une coupure de la partie méridionale de l'air froid en déplacement. Mais, toute la côte nord de la Méditerranée étant bordée de chaînes de montagnes d'élévations diverses, le problème du rôle de l'orographie reste ouvert. Un bon, mais court résumé des théories actuelles de la cyclogénèse en Méditerranée, plus particulièrement du Golfe de Gênes, est donné par Schär (1986).

Dans la suite, deux cas de passage des Alpes par l'air froid sont présentés et discutés. Avec d'autres exemples considérés, ils permettront de dégager quelques généralités et particularités du comportement de cet air froid au cours de cette action.

2. Le matériel utilisé

L'étude des divers cas considérés a bénéficié de l'utilisation combinée de l'imagerie satellitaire, avec pour celle en provenance de METEOSAT d'une triplette chaque demi-heure, et des données du réseau suisse ANETZ avec sa série de mesures effectuée à chaque station toutes les dix minutes. L'interprétation de ces données permet une meilleure interprétation de celles obtenues des stations d'observation classiques.

Pour ce genre d'études, une image chaque demi-heure est suffisante, bien que parfois une cadence plus élevée permettrait d'aller plus en avant dans le détail. Par contre, la résolution spatiale de l'imagerie de METEOSAT reste à la limite inférieure de ce qui serait désirable. L'imagerie des NOAA ajuste le détail lorsqu'elle est disponible.

Pour faciliter à la fois l'interprétation de l'ensemble des données d'une station ASTA du réseau ANETZ durant la période considérée et leur comparaison avec celles d'autres stations ASTA, une représentation graphique (Bantle et al., 1987) fut développée. L'homogénéité du matériel est remarquable (voir par exemple Heimo, 1985). La densité des stations, 63 depuis 1986, permet de suivre finalement le passage de l'air froid au-dessus des Alpes et sa pénétration subséquente dans les vallées alpines.

3. Cas du 27 novembre 1983

Ce cas est caractérisé par les passages successifs des Alpes de deux masses d'air polaire de différentes origines. La première, en un rapide déplacement d'ouest en est au-dessus de l'Europe, a débordé les Alpes dans la matinée du 27 novembre 1983. A son arrière, suite au mouvement tourbillonnaire qu'elle a déclenché, un second air polaire a traversé également les Alpes. Le déplacement de ce dernier s'est effectué, cette fois-ci, selon une direction orientée nord-ouest à sud-est.

Des vents d'ouest tempétueux, atteignant parfois 140 km/h dans les rafales au-dessus du Plateau suisse, voire même 200 km/h sur les crêtes du Jura, marquèrent le premier passage.

3.1 L'évolution météorologique au-dessus de l'Atlantique et de l'Europe

Le 26 novembre 1983, la calotte d'air polaire s'étend, au-dessus des régions considérées ici, jusqu'au parallèle 50°N. Deux grands tourbillons résiduels y sont présents, l'un centré par 58°N/28°W, l'autre par 58°N/20°E. Tous deux sont animés d'un léger mouvement de dérive vers l'est. Si aux niveaux inférieurs leur trace isobarique est donnée par une dépression, aux niveaux supérieurs, c'est-à-dire dans la haute troposphère et la basse stratosphère, ils ne sont indiqués que par un couloir dépressionnaire. Le long de leur bordure méridionale, entre les parallèles 45°N et 50°N, règne une circulation active allant d'ouest en est.

L'évolution météorologique traitée dans cet exemple est déclenchée par l'avance d'un air polaire originaire des régions atlantiques au large du Groenland. Le 26 novembre 1983, à 12 h, sa partie frontale approche le 20°W de longitude, c'est-à-dire qu'il glisse en marge du flanc méridional du tourbillon résiduel atlantique. Cet air est aisément reconnaissable dans l'image prise à cette heure par METEOSAT 2 (fig.1) grâce à la structure cellulaire caractéristique des nuages qui s'y trouvent. A son avant, la partie nordique est entraînée dans le mouvement tourbillonnaire de la dépression atlantique. Par contre, sa partie méridionale est animée d'un mouvement propre dirigé vers l'est.

Ce déplacement se reflète non seulement dans l'organisation des nuages inférieurs, mais également au niveau des cirrus. Donc,



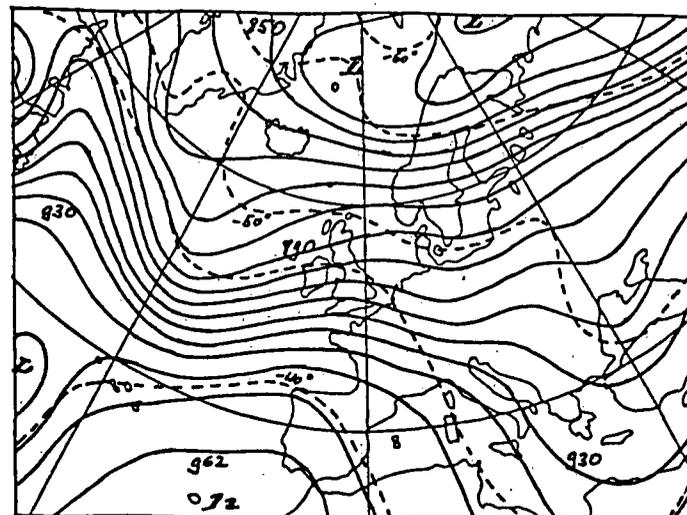
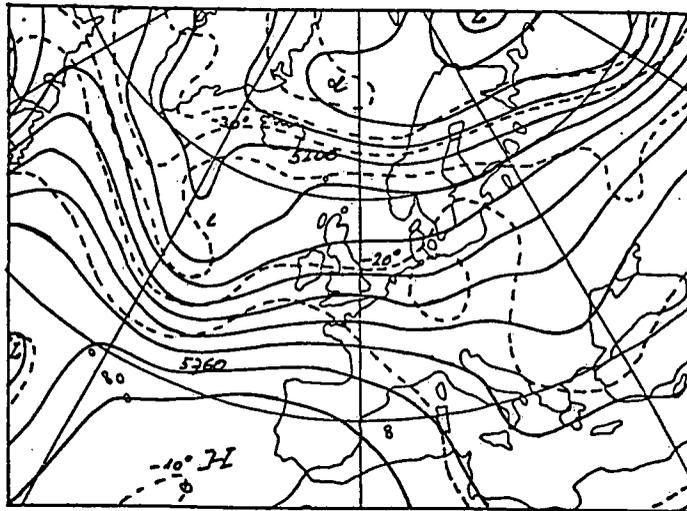
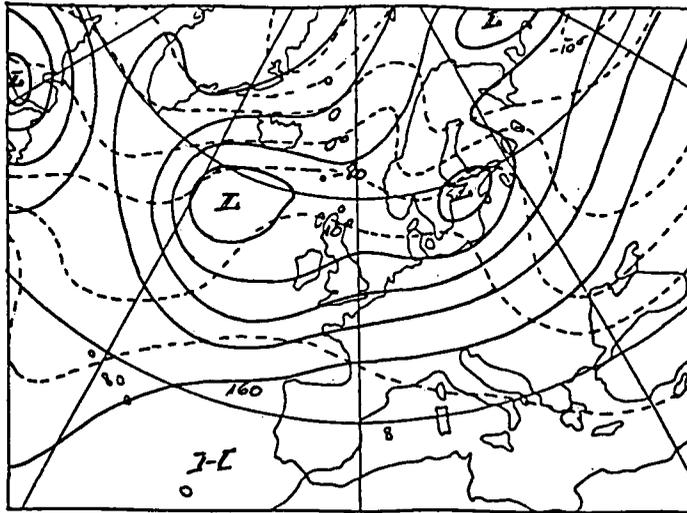
Fig. 1 Situation le 26 novembre 1983 à 12 h
Légende:

isohypses (en décimètres, espacement 80 décimètres)
isothermes (en °C, espacement 5°C)
image IR reçue de ESA/METEOSAT

Afin de ne pas surcharger l'imagerie reçue de METEOSAT 2, les indications géographiques ont été fortement réduites. Les croix représentent les intersections des longitudes avec les latitudes, avec un espacement de 10°. La lettre "a" est placée là où se trouve la partie centrale de l'arc alpin.

Le rendu des tons gris a été choisi pour obtenir un maximum de tons gris dans les nuages. Malheureusement, en contre-partie, la géographie est quasi effacée.

Le début de la poussée d'air polaire qui conduira finalement au vaste mouvement tourbillonnaire au-dessus de l'Europe dans le courant des prochaines 18 heures, a déjà débuté. C'est ce qu'indique la courbure anticyclonique des cirrus du jet stream entre 41°N/22°W et 50°N/12°W. C'est ce que décèle également la nébulosité des nuages de l'étage inférieure à l'ouest de cette ligne. L'arc alpin est partiellement reconnaissable par l'éclaircie au-dessus de la Plaine du Pô typique de la circulation d'ouest-nord-ouest que règne à ce moment là.



MET2 26-NOV-1983 18:00 IR1 LLH: (31N,33W) V:14W X:0.50

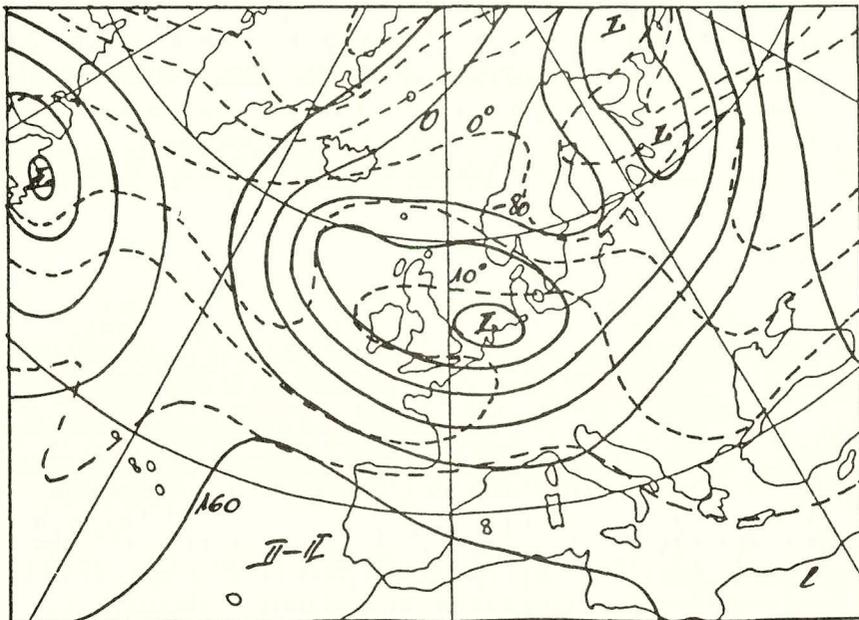
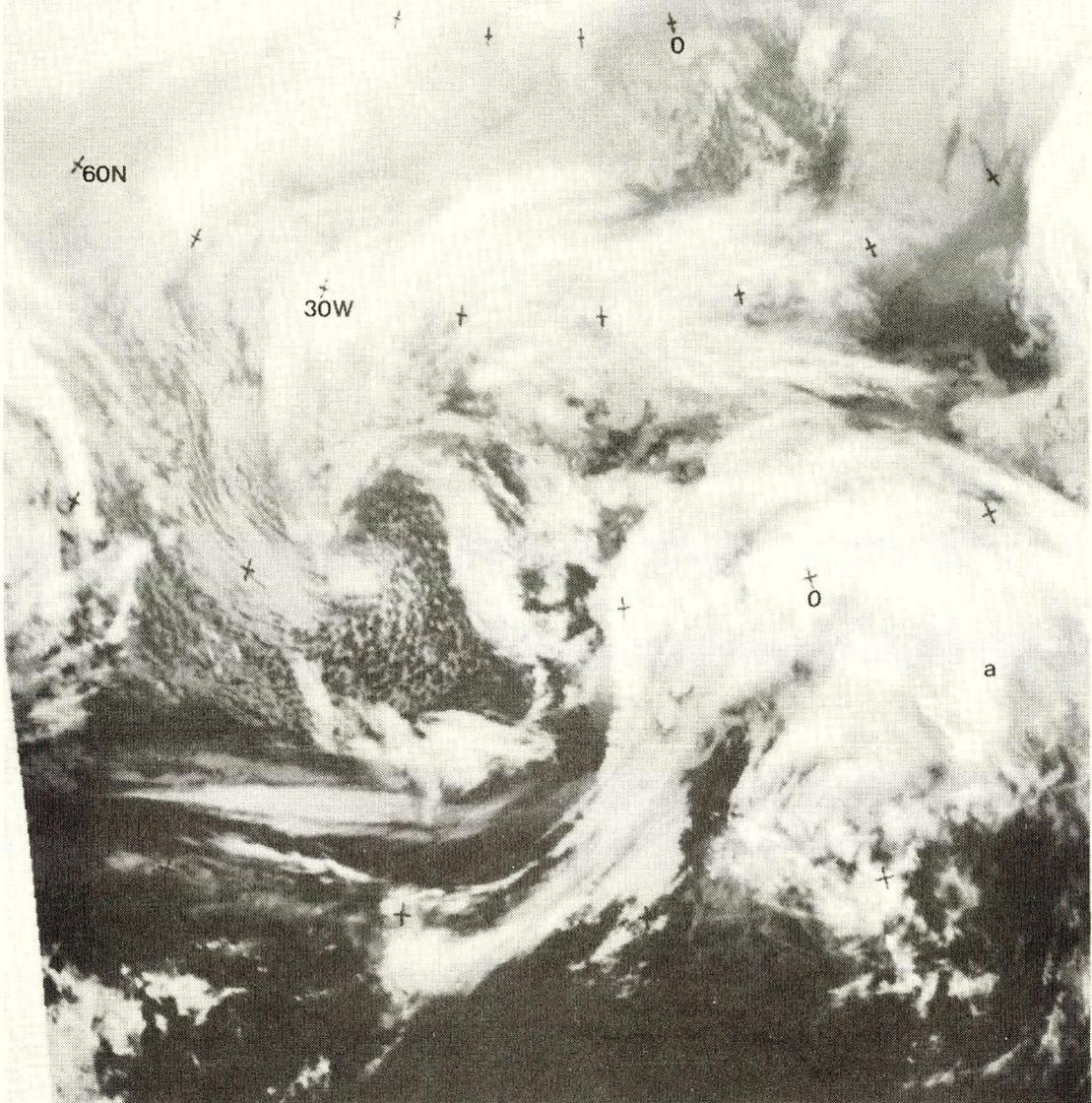


Fig. 2 Situation le 26 novembre 1983 à 18 tuc
Légende voir Fig. 1

le mouvement s'étend à toute la troposphère et à la basse stratosphère. Dans l'image du 26 novembre 1983, 12 tuc, les cirrus présentent entre 40°N et 50°N, par 20°W, la courbure anticyclonique typique d'un nouveau développement, précisément l'avance de l'air polaire vers l'est.

Le bord gauche des cirrus, en regardant dans le sens du courant, représente la limite entre l'air chaud à droite et la basse stratosphère polaire à gauche.

La description de l'évolution se restreindra à l'exposé des grands traits. Elle s'appuiera fortement sur les transformations et déformations du champ de cirrus associé.

L'avance rapide de l'air polaire est illustrée par le déplacement de la bordure des cirrus qui, six heures plus tard, se situe près du 10°W de longitude (Fig. 2, 26 novembre 1983, 18 tuc). La courbure est devenue cyclonique à l'avant de la poussée. Au nord du 50°N de latitude, la limite du champ de cirrus a peu varié, suivant en cela le faible mouvement de dérive des deux tourbillons résiduels. Au niveau des nuages inférieurs, la séparation entre les deux composantes s'est accentuée. La partie septentrionale engagée dans le mouvement tourbillonnaire résiduel a peu évolué. Elle reste néanmoins encore clairement identifiable.

A 00 tuc, le 27 novembre 1983 (fig. 3), l'air polaire a déjà envahi la Bretagne et le Cotentin. Au niveau des nuages inférieurs, la branche septentrionale s'est complètement effacée et seule persiste le mouvement de la partie méridionale. Le recul plus prononcé des cirrus sur le front de l'air polaire que ceux au-dessus de la Mer du Nord conduit à une structure ayant déjà l'aspect d'une ébauche de spirale. Il est intéressant de constater que jusqu'à cette heure, la bordure septentrionale au-dessus de l'Europe n'a pas dépassé la latitude 55°N.

Dès ce moment, l'avance de l'air polaire se ralentit quelque peu. Ceci est une suite de l'amorce du mouvement tourbillonnaire entre l'air polaire atlantique et l'ancien air polaire quasi-stagnant au-dessus de la Grande-Bretagne et de la Mer du Nord. En effet, ce n'est qu'à cette heure que débute à l'avant de l'air froid un changement cyclonique de direction.

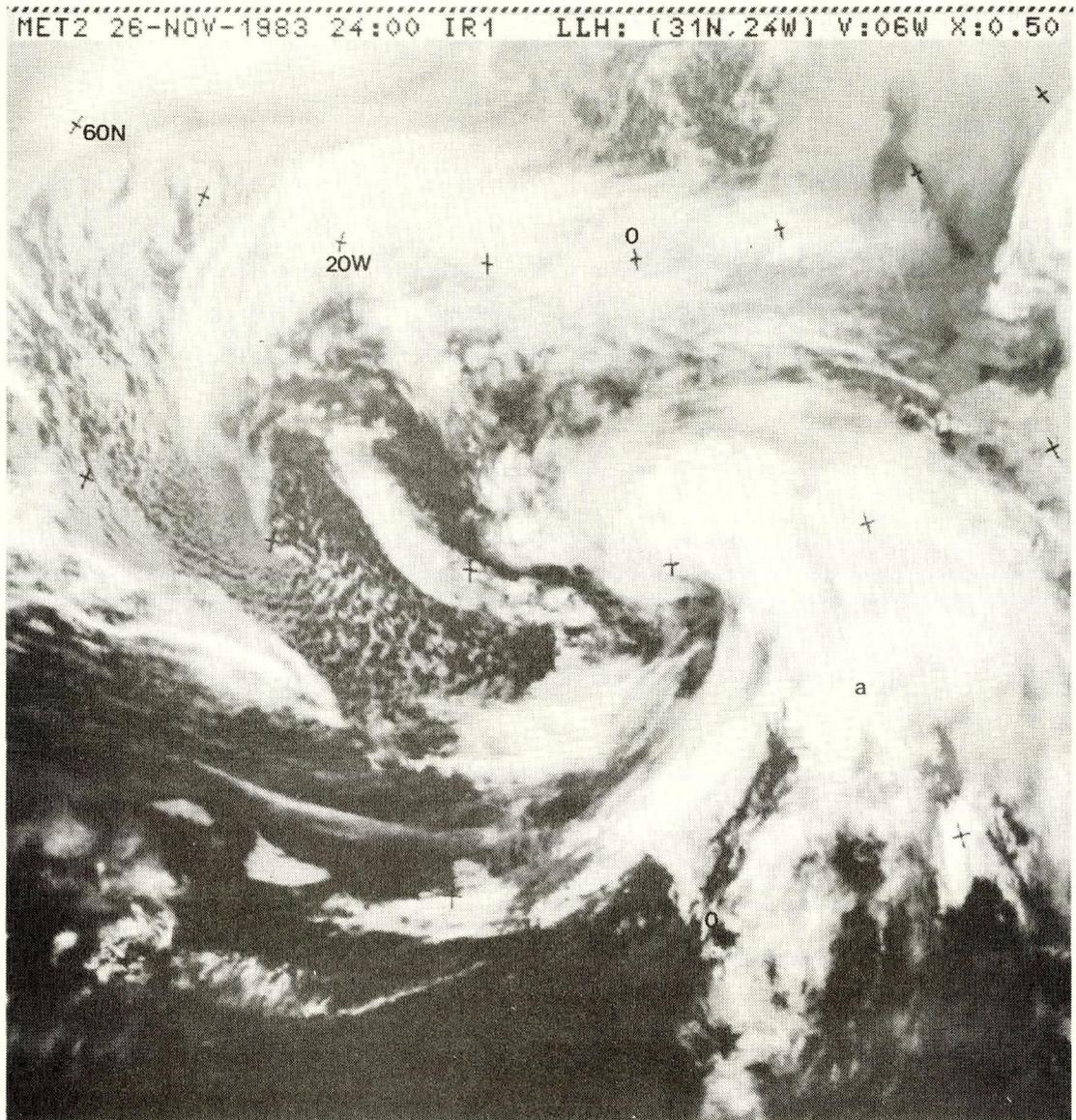


Fig. 3 Situation le 27 novembre 1983 à 00 tuc

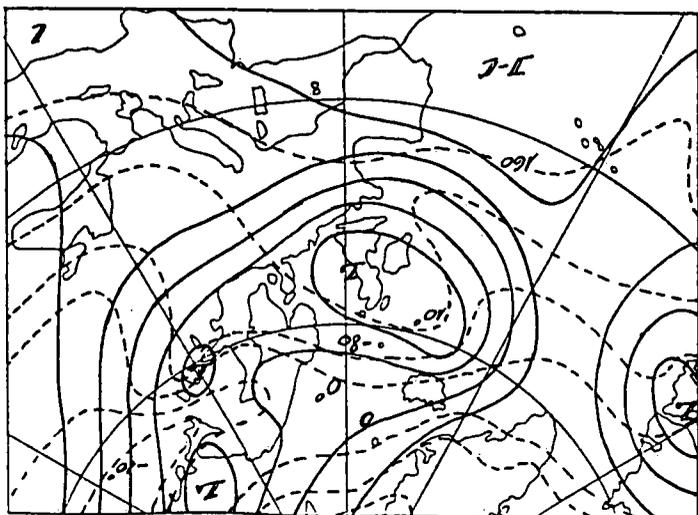
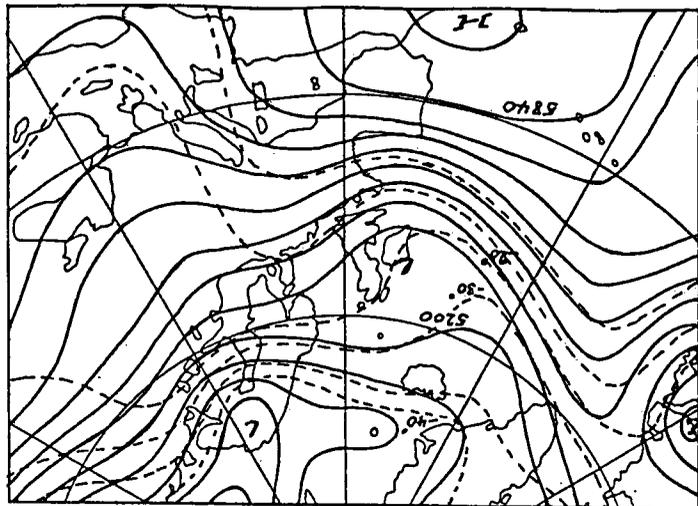
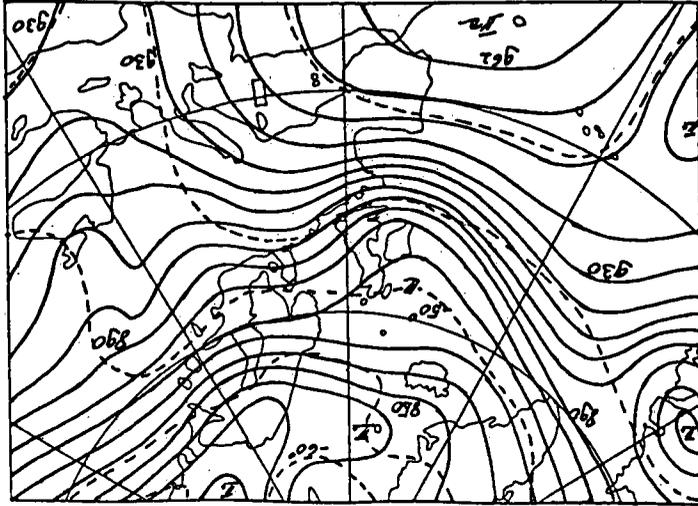
Légende voir Fig. 1

L'affaiblissement du mouvement tourbillonnaire au-dessus de l'Atlantique (vers 52°N/27°W) est indiqué par la dégradation de l'organisation en spirale des nuages.

L'impétuosité de la poussée d'air polaire est illustrée par la déformation caractéristique dans le sens du courant qui peut être observée dans les nuages organisés en forme de cellules. Celles-ci paraissent "éclater".

Le fait que ce mouvement s'étend à toute la topographie est dessiné par la configuration des cirrus à son avant. L'apparence d'une ébauche de spirale que prennent ces nuages provient de la forte courbure anticyclonique qu'a le jet stream dans cette région.

L'arc alpin reste toujours reconnaissable grâce à l'opposition nuage de barrage au nord, éclaircie au sud, le courant n'ayant pas encore changé.



MET2 27-NOV-1983 6:00 IR1 LLH: (30N,16W) V:00E X:0.50

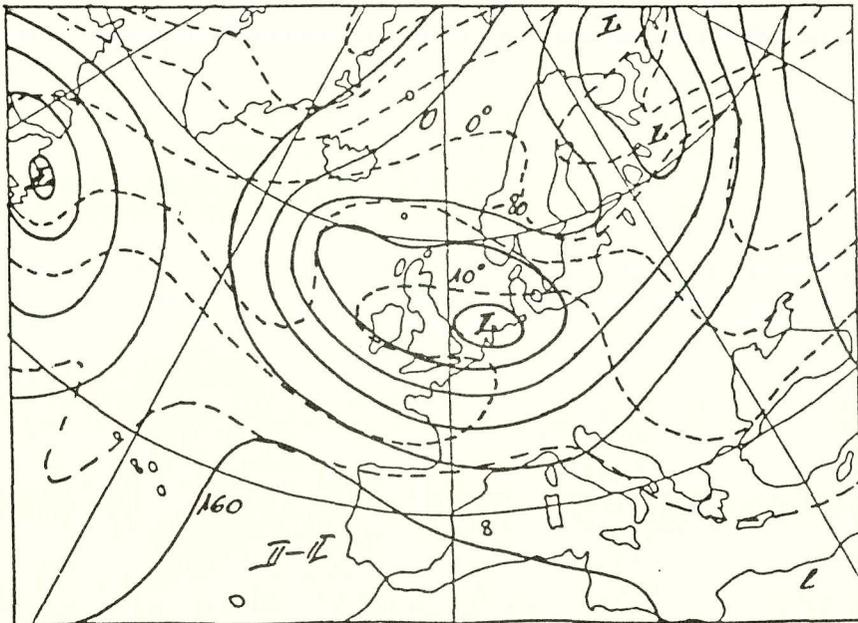
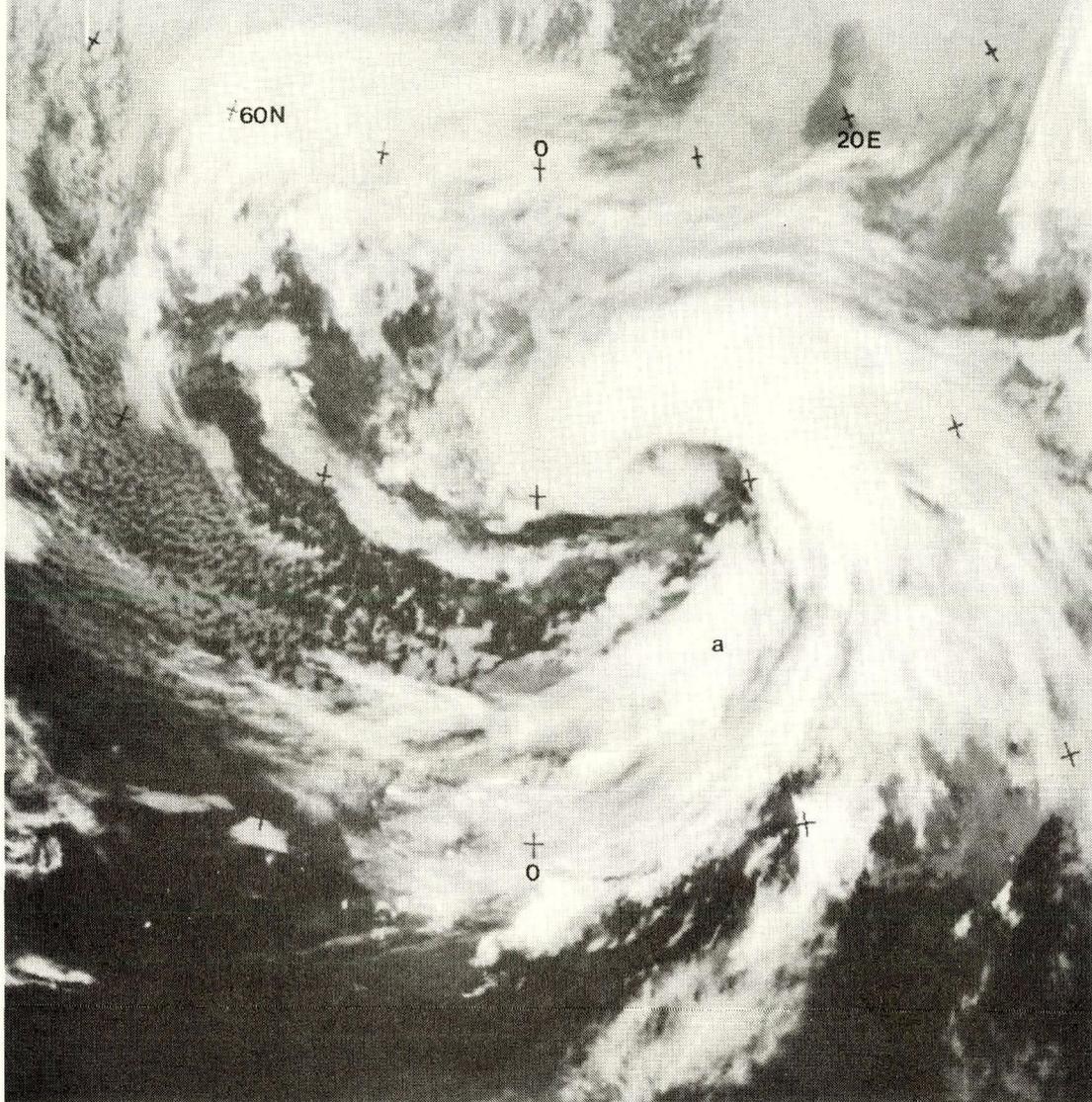


Fig. 4 Situation le 27 novembre 1983 à 06 tuc
Légende voir Fig. 1

Dans l'intervalle qui suit, une évolution semblable à celle remarquée le 26 novembre 1983, 12 tuc, devient perceptible. La partie méridionale acquiert un déplacement qui s'oriente légèrement en direction de l'est-sud-est, par suite différent de celui de la partie nordique. Dans l'évolution qui suivra, l'influence du mouvement tourbillonnaire nouvellement créé deviendra dominante. Ce développement est illustré par l'image de METEOSAT 2 du 27 novembre 1983, 06 tuc (fig. 4).

A 12 tuc, le 27 novembre 1983, (fig. 5) la genèse du tourbillon est terminée. L'ancien air polaire entraîné vers le sud a déjà bien dépassé la latitude 50°N. La progression de l'air polaire s'est fortement ralentie dans sa partie septentrionale, tandis que la partie méridionale poursuit son avance en direction de la Méditerranée.

A 18 tuc, le 27 novembre 1983 (fig. 6), le nouveau tourbillon a peu évolué. L'ancien air polaire a lui-même atteint la Méditerranée dans la région du Golfe de Gênes et celle de l'Adriatique. Suite à cette évolution, la partie méridionale repoussée vers les latitudes inférieures provoque l'annonce d'une onde au-dessus de la Méditerranée centrale. Celle-ci se développera ultérieurement sans toutefois conduire à la formation d'un tourbillon secondaire.

Cette avance impétueuse de l'air polaire peut être suivie synoptiquement, quoique moins bien dans son individualité. Elle conduit à la formation quasi-explosive d'une dépression. La pression au centre s'abaissera jusqu'à 954 hPa peu après 09 tuc le 27 novembre 1983 (fig. 7) Le creusement fut de 39 hPa en 23 heures avec une baisse maximum de 3hPa/heure vers 22 tuc, le 26 novembre 1983. Le maximum de baisse observé aux stations est évidemment plus important ("app" de -12 à -13 hPa entre 22 tuc, le 26, et 04 tuc, le 27) par suite du mouvement de dérive de la dépression.

Tant que l'air polaire avance, la baisse de pression s'observe uniquement dans l'air en retraite. Dès que le mouvement tourbillonnaire est engagé, elle s'étend également à la partie de l'air polaire y participant. En s'élargissant, la baisse de pression s'affaiblit. Dès que le tourbillon est bien formé, c'est-à-dire dès que la dépression devient symétrique (gradient de pression indépendant de la direction et de la position par rapport au centre), le comblement débute (vers 10 tuc, le 27 novembre 1983).

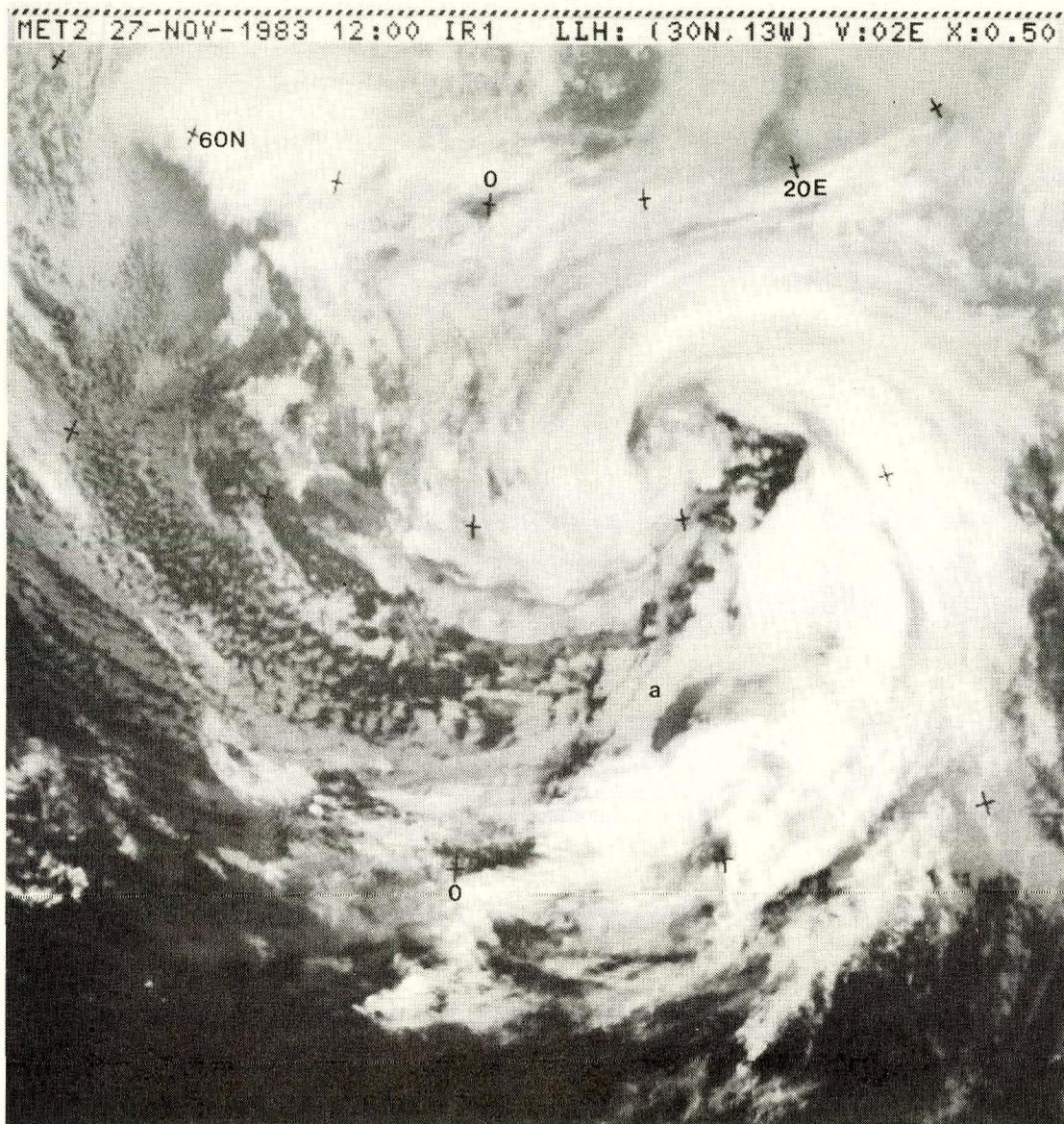
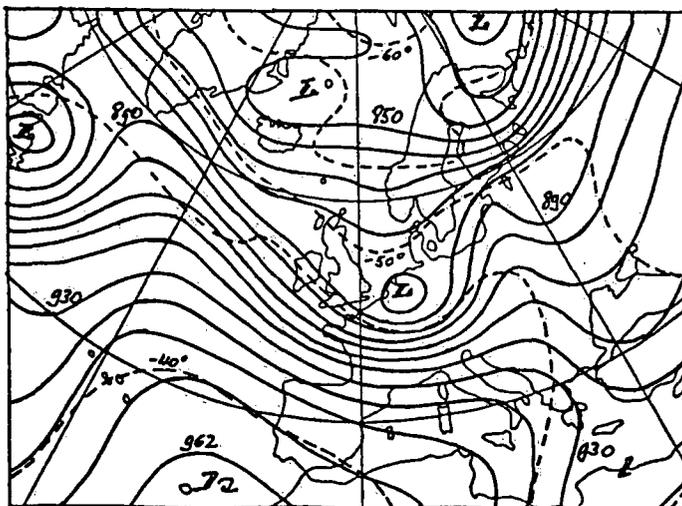
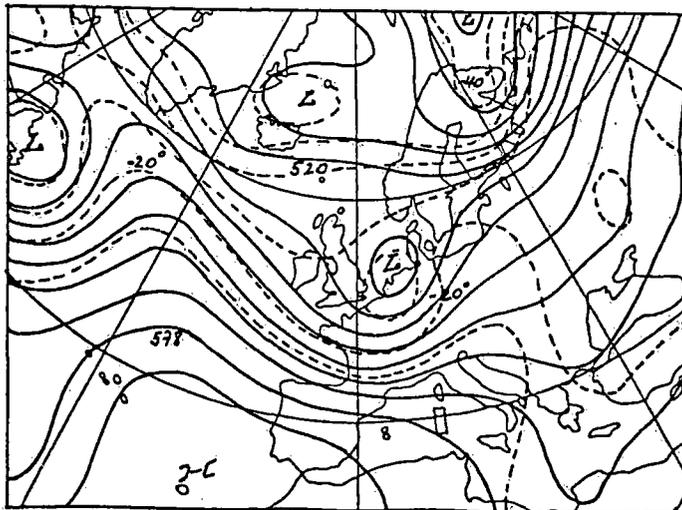
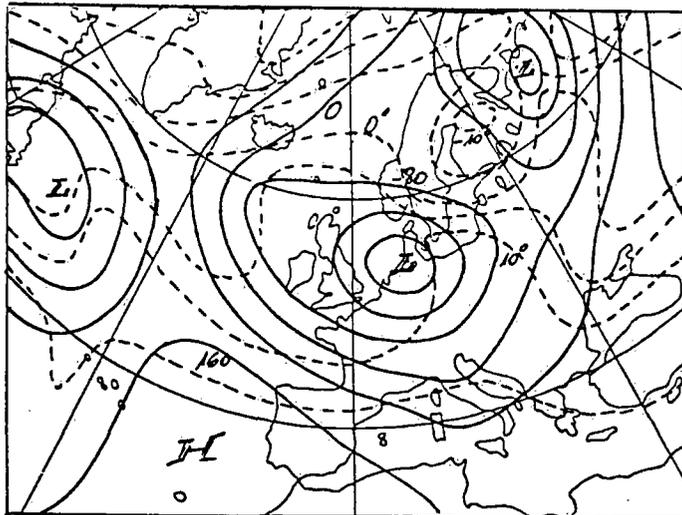


Fig. 5 Situation le 27 novembre 1983 à 12 tuc

Légende voir Fig. 1

La répartition des nuages au niveau des cirrus ne reflète aucune modification primaire qui puisse être rattachée uniquement à l'influence des Alpes sur le déplacement de l'air froid (voir également fig. 4). Par contre, au niveau des nuages inférieurs, l'effet des Alpes est caractéristique et bien connu. La couverture nuageuse est renforcée au nord des Alpes, la bordure de l'éclaircie sous le vent suivant la courbure de l'arc alpin. La distribution des nuages inférieurs au-dessus du Golfe de Gascogne et de la Péninsule ibérique révèle que dans cette région, l'air polaire avance en direction de la Méditerranée. Le même développement que celui observé le 26 novembre 1987 à 12 tuc se reproduit ici, quoique sous une forme atténuée.



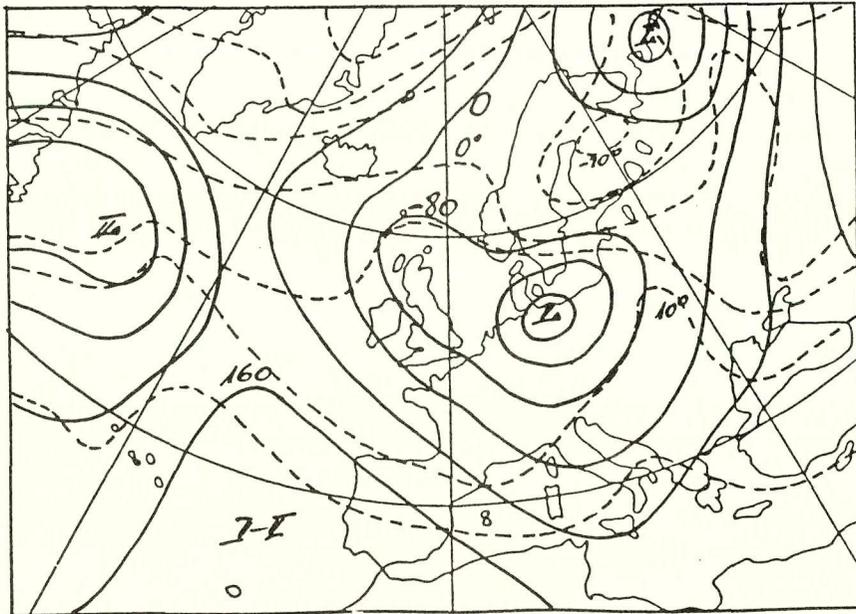
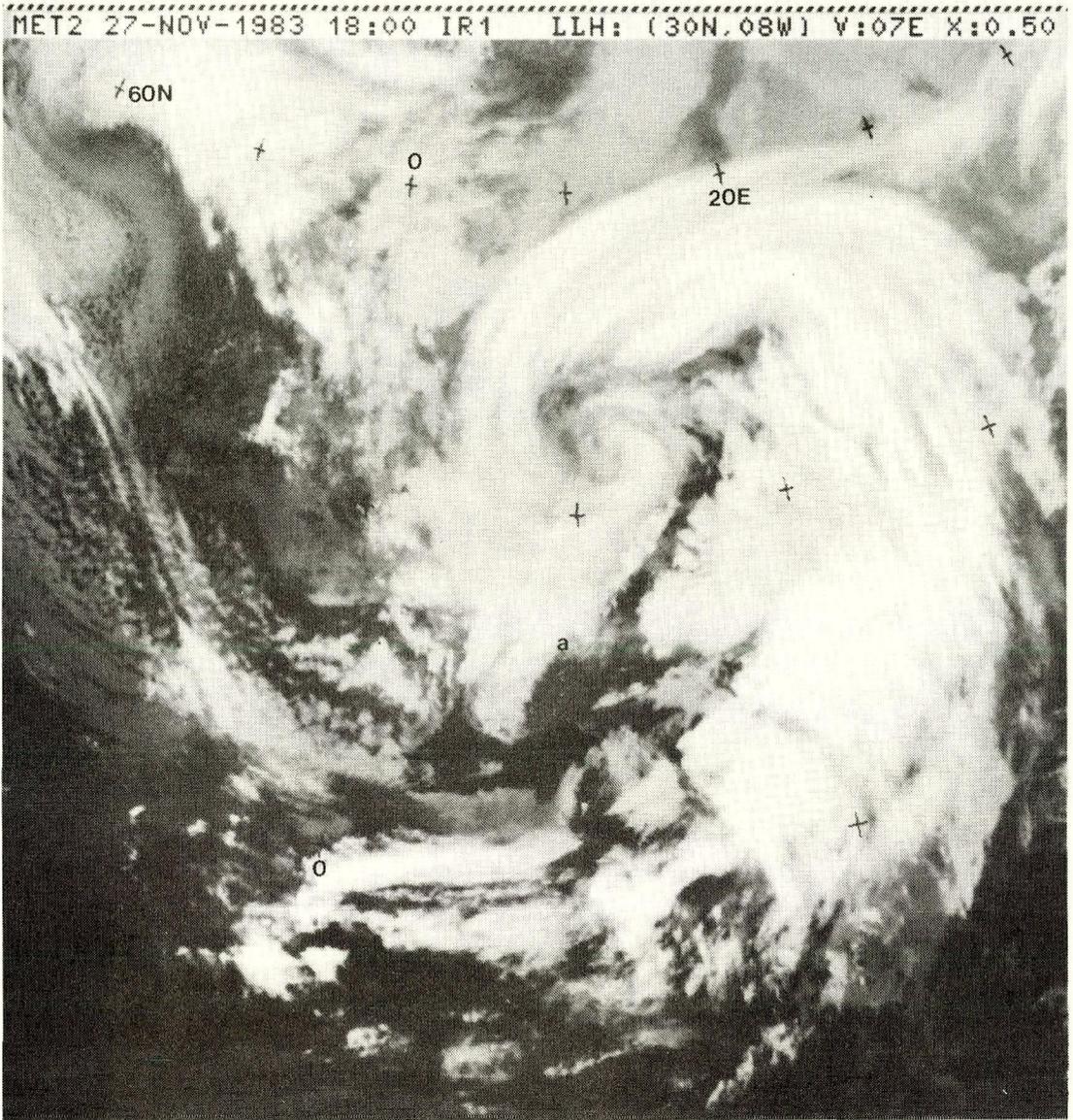


Fig. 6 Situation le 27 novembre 1983 à 18 tuc
Légende voir Fig. 1

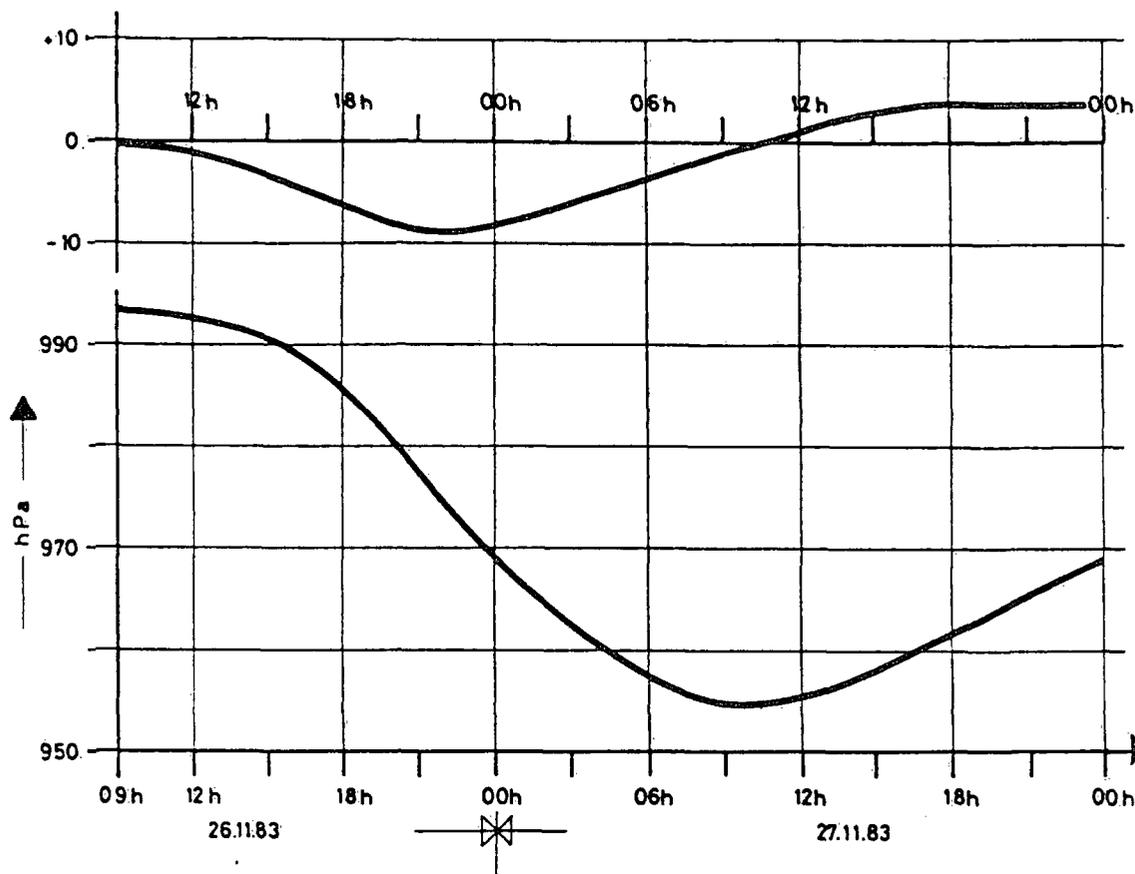


Fig. 7 Courbe supérieure: Variation du degré de creusement de la dépression, en hPa/3 heures.

Courbe inférieure: Variation de la pression au centre de la dépression, en hPa

En effet, tant que l'air polaire avance le gradient de pression, reflétant les mouvements respectifs, est prononcé dans l'air polaire, mais faible dans l'air quasi-stagnant au-dessus de la Grande-Bretagne et de la Mer du Nord. Ce dernier augmente au prorata du degré d'entraînement dans le tourbillon engendré. Cette égalisation qui débute dans les couches inférieures de la troposphère s'étend progressivement aux couches supérieures jusque dans la basse stratosphère. Ce n'est que dans la matinée du 27 novembre 1983 que s'observeront des dépressions fermées aux niveaux de 500 hPa et 300 hPa. Les positions successives du front de l'air polaire et de l'ancien air polaire engagé dans le mouvement tourbillonnaire sont reportées à la figure 8.

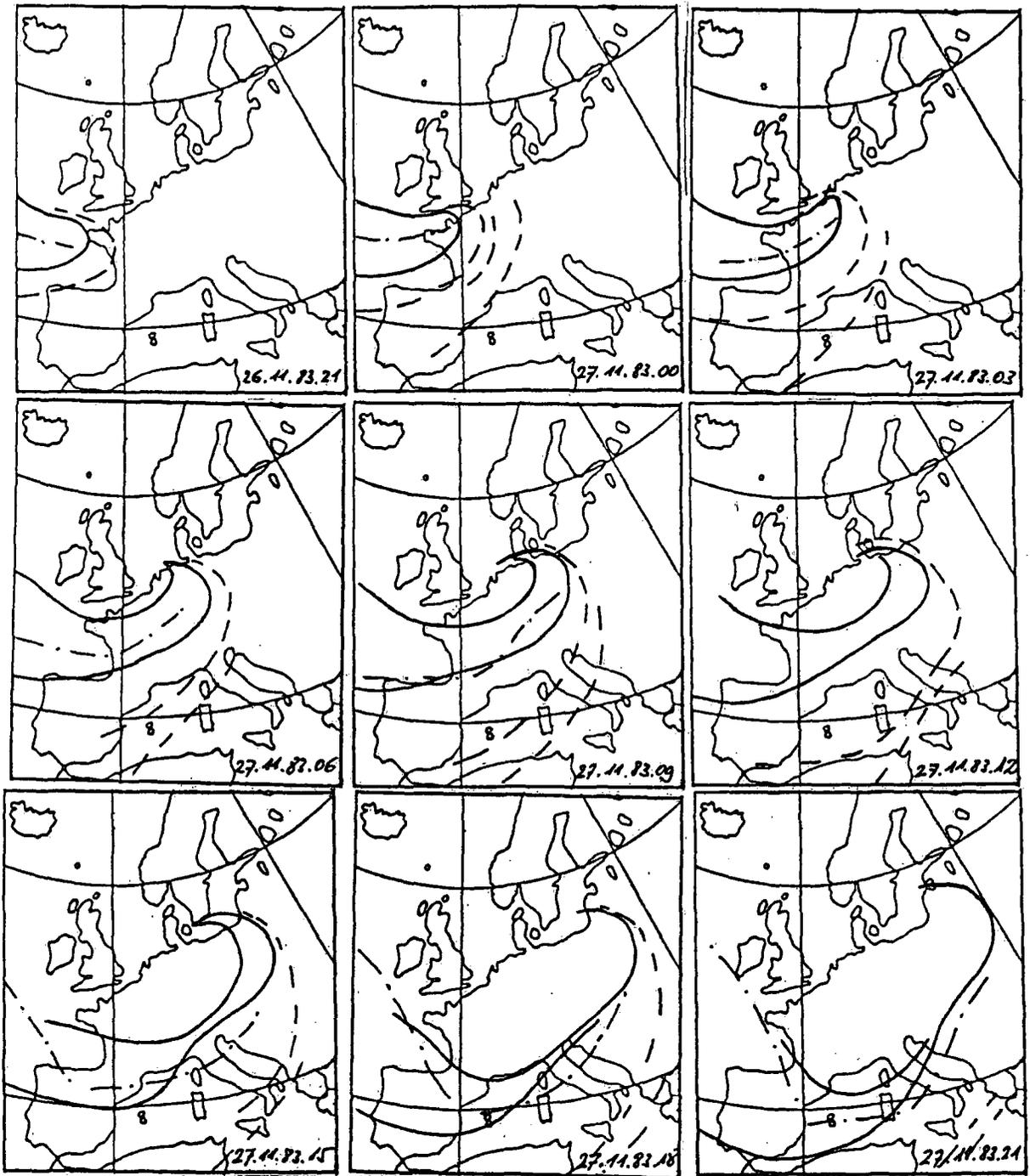


Fig. 8 Positions, chaque 3 heures, de la poussée d'air polaire à partir du moment où elle atteint l'Europe le 26 novembre 1983 à 21 h.

3.2 Le débordement des Alpes par l'air polaire atlantique

L'exposé présenté ici tient implicitement compte de la structure feuilletée de l'atmosphère (voir p.ex. Piaget, 1971). L'air polaire, de fait toutes les masses d'air, n'a pas une structure verticale uniforme. Il peut être considéré comme une superposition de dômes d'air homogène, c'est-à-dire que là où il n'y a pas condensation, la décroissance de la température avec l'altitude est adiabatique. Chacun de ces dômes est potentiellement plus chaud que ceux qu'il surmonte. Ils sont séparés les uns des autres par une couche de transition d'épaisseur variable.

La structure feuilletée fine de l'atmosphère est effacée par la façon de faire les sondages et par le codage de leurs mesures. Seules les grandes inversions se retrouvent au décodage du message et le gradient de température prend des valeurs moyennes. Ceci provient d'une part de la vitesse ascensionnelle du ballon, choisie de telle façon que la durée du sondage ne s'étende pas trop dans le temps. D'autre part, le codage des données doit être fait de manière à ce que les messages n'exigent pas des temps de transmission trop longs.

De ce fait, le passage d'une masse d'air à une station se marquera par une suite de baisses de température plus ou moins abruptes. Pour faciliter la comparaison des évolutions aux diverses stations et en tenant compte des mouvements verticaux conduisant soit à la formation de nuages, soit à leur dissolution, la température pseudo-potentielle du thermomètre mouillé (voir Bantle et al. 1987) est utilisée. Celle-ci est une valeur conservative de la masse d'air. Son emploi est particulièrement indiqué pour étudier la circulation au passage d'une chaîne montagneuse par une masse d'air avec l'effet de barrage au versant au vent et le foehn au versant sous le vent.

La succession des images reçues de METEOSAT 2 montre que les Alpes n'ont aucunement perturbé le déplacement de l'air polaire. Par contre, elles ont engendré d'importantes modifications dans la masse nuageuse. Mais ces modifications restent de nature secondaire bien qu'elles s'étendent à l'ensemble de la troposphère et à la basse stratosphère. Elles n'ont aucunement affecté le déplacement de l'air polaire.

Au voisinage des Alpes, l'arrivée de l'air polaire se remarque en altitude, le 27 novembre 1983 à 00 tuc, par la présence d'une

éclaircie au-dessus de la vallée du Rhin (vers 8°E de longitude). Son extension en direction de la Méditerranée est aisément reconnaissable. Dans la carte synoptique correspondante, cette limite correspond à l'axe de la dorsale anticyclonique. Il est intéressant de remarquer que les différents champs de cirrus reflètent et illustrent la structure feuilletée de l'atmosphère à ces niveaux. Par la suite, la progression de cette séparation peut être suivie au-delà des Alpes sans qu'aucune altération apparaisse. Les modifications observables sont une suite de la cyclogenèse engendrée et de l'orientation de la poussée de la partie méridionale vers la Méditerranée.

Au moment où les couches inférieures de l'air polaire arrivent au voisinage des Alpes, la direction de leur déplacement est quasi-parallèle à l'orientation de celles-ci à l'est du Mont Blanc. Suite aux développements précédemment mentionnés, la direction de l'avance de l'air polaire va changer tout d'abord de ouest-est à nord-ouest-sud-est (fig. 5 et fig. 6). Dans les images reproduites ici, quelques ondulations mineures s'observent le long de la bordure méridionale de l'air froid.

L'évolution du temps en Suisse engendrée par cet afflux d'air polaire peut être suivie en détail, dans les couches inférieures, grâce aux données reçues des stations automatiques du réseau suisse ANETZ. La discussion suivante se limitera à la Suisse. Mais les déductions faites restent valables pour l'ensemble de la région alpine, les observations synoptiques des stations étrangères les vérifiant.

Trois vagues d'air polaire se succéderont dans la journée du 27 novembre 1983. Les deux premières font partie de l'air polaire atlantique originaire des régions au large du Groenland. La troisième comprend l'air polaire stagnant auparavant au-dessus de la Grande-Bretagne et la Mer du Nord, entraîné ensuite par le mouvement tourbillonnaire engendré par l'avance de l'air polaire atlantique.

L'air à l'avant de l'air polaire atlantique, un air polaire modifié, appelé par la suite air maritime pour le différencier de ce dernier, pénètre en Suisse dans l'après-midi du 26 novembre 1983. Potentiellement plus chaud que les airs qu'il va remplacer, il surmonte pour un court instant celui-ci au-dessus du Plateau suisse. Ceci se remarque par un retard dans la hausse de température aux

stations de plaine par rapport à celles de montagne (fig. 9). Son arrivée à une station se remarque par une hausse progressive ou par paliers (structure feuilletée) de la température pseudopotentielle du thermomètre mouillé. Cet air ne descendra pas profondément à l'intérieur des Alpes où il ne se retrouve qu'au-dessus de 2500 m/M. Peu avant l'arrivée de la première vague d'air polaire, il s'abaissera par endroit jusque vers 1500 m/M (voir p. ex fig. 20).

Partout au-dessus de l'Europe, cette avance impétueuse de l'air polaire a causé d'importants dégâts par la violence du vent. En Suisse, les arbres cassés ou déracinés obstruèrent localement les voies de communication, en plus de mâts électriques cassés et de toitures enlevées. Sur les crêtes du Jura, la vitesse du vent atteignit parfois 200 km/h dans les rafales. Sur le Plateau suisse des pointes de 140 km/h furent mesurées.

L'activité frontale des deux vagues fut forte et des averses orageuses se sont produites aux deux passages, non seulement au nord des Alpes, mais également à l'intérieur de celles-ci. Le régime des précipitations présente deux pointes diversement marquées aux différentes stations et ceci à toutes les stations du réseau ANETZ (voir p.ex. fig. 11, fig. 16, fig. 19 et fig. 24).

La progression des deux premières vagues de l'air polaire se fait d'une façon régulière au travers de la Suisse. De part la direction de son avance, il est plus propre de dire que cet air polaire déborde les Alpes plutôt qu'il ne les traverse. Ce ne sera que la troisième vague qui franchira les Alpes dans un déplacement perpendiculaire à celles-ci. Quelques variations locales, celles-ci reflétant partiellement les faibles ondulations mentionnées précédemment et observées dans la partie méridionale de l'air polaire, se remarquent. Les cartes établies pour chaque heure des hauteurs de précipitations tombées durant l'heure précédente montrent un ruban de maxima longeant la position du front à l'heure choisie.

Les positions successives du front de la première vague, établies pour chaque heure, sont reportées à la figure 10. Il en ressort clairement l'avance régulière, non perturbée, de cette première vague. Il en ira de même du front de la deuxième vague qui passera quelques heures plus tard. Si au-dessus du Jura, sur le Plateau, dans les Préalpes et aux stations de montagne ces passages sont également enregistrés par les variations de température, seul le régime de précipitations suit cette progression dans les Alpes. Sur le versant sud, l'air polaire passe au-dessus des couches basses.

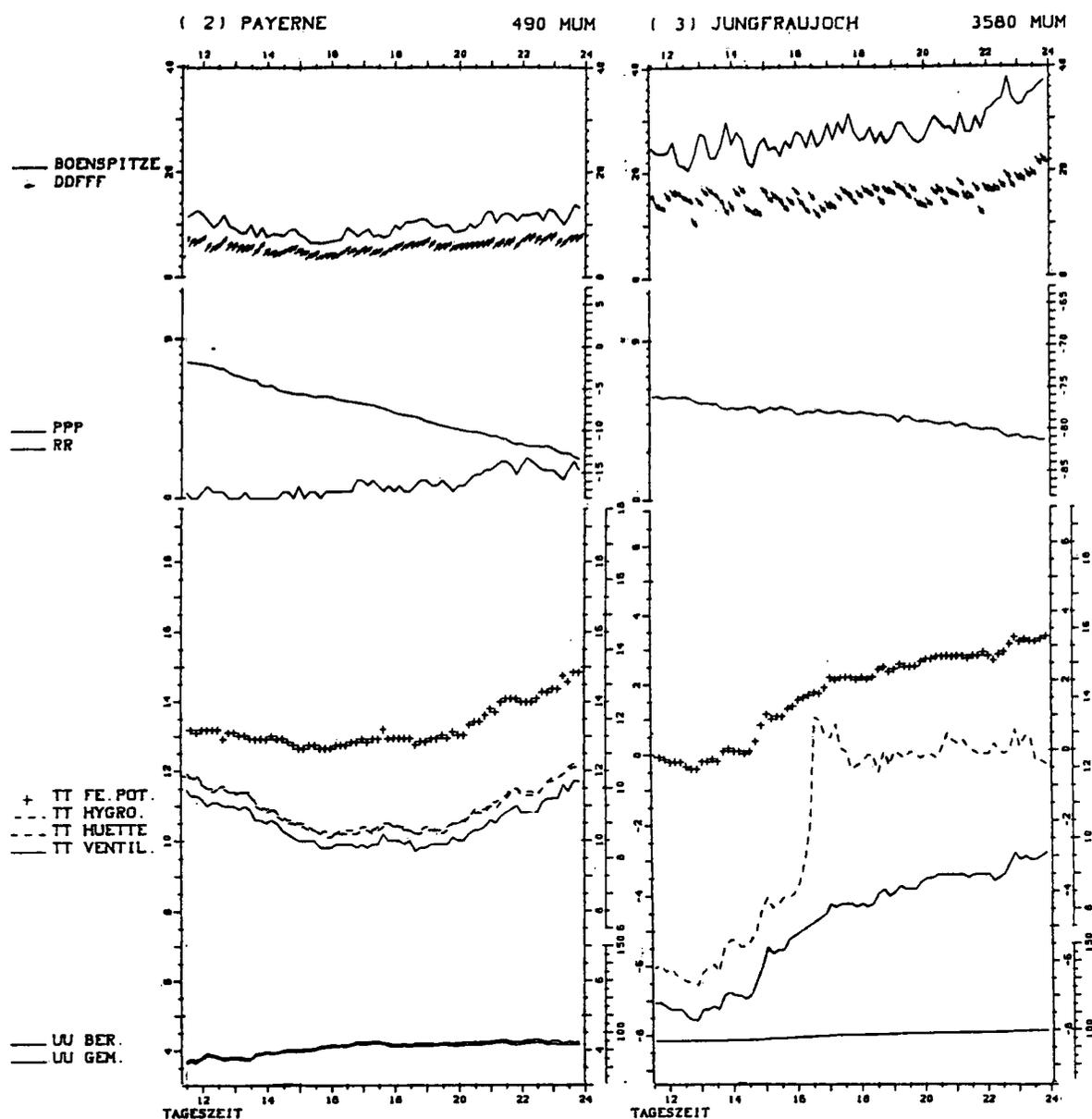


Fig. 9 Partie des diagrammes de Payerne et du Jungfrauoch du 26 novembre 1983

Légende:

Bodenspitze variation des rafales et du vent moyen, en m/sec et DDDFF

PPP variation de la pression, en hPa (échelle de droite)

RR Variation de la hauteur des précipitations, en mm (échelle de gauche, logarithmique)

TT FE.POT. Variation de la température pseudo-potentielle du thermomètre mouillé, en °C (2e échelle de droite)

TT HYGRO Variation des diverses températures mesurées, en °C

TT HUETTE (échelle de gauche et le échelle de droite)

TT VENTIL TT VENTIL est utilisée pour le calcul de TTFE.POT.

UU BER. Variation de l'humidité, en % (2e échelle de droite)

UU GEM UU GEM est utilisée pour le calcul de TT FE.POT.

Les variations sont établies à partir des valeurs obtenues chaque 10 minutes.

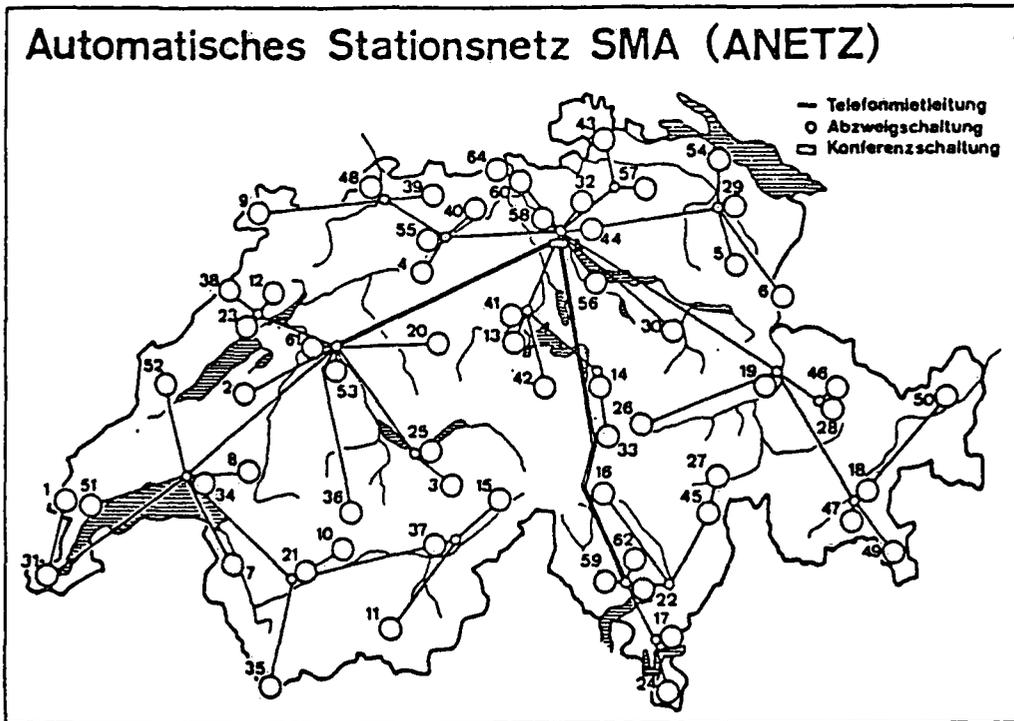
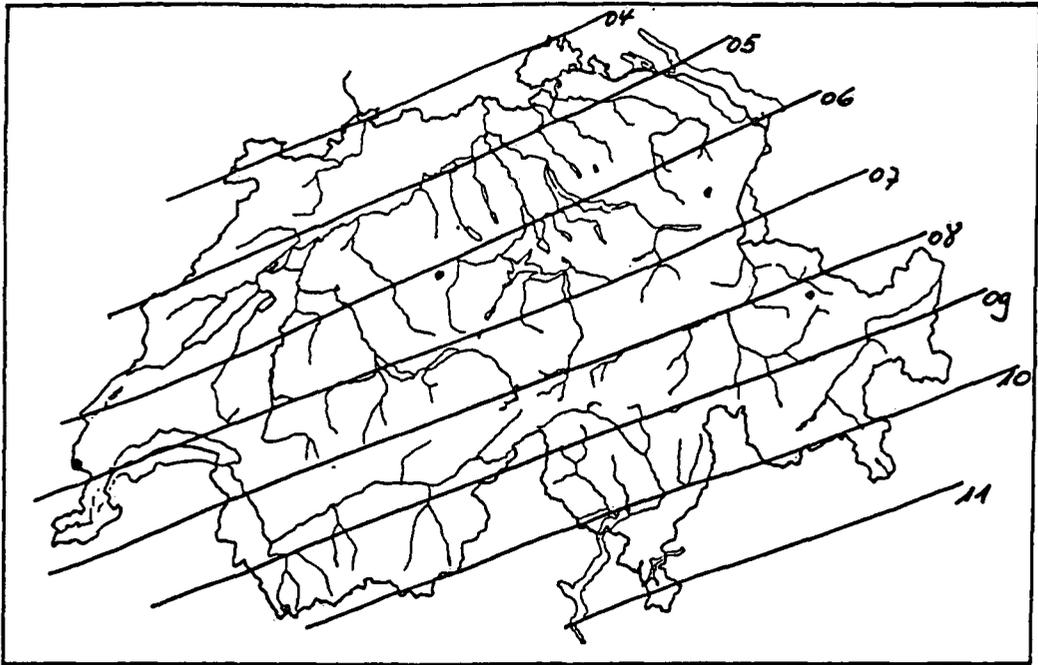


Fig. 10 Avance du front de la première vague d'air polaire
et
Carte des positions géographiques des stations automatiques du
réseau ANETZ

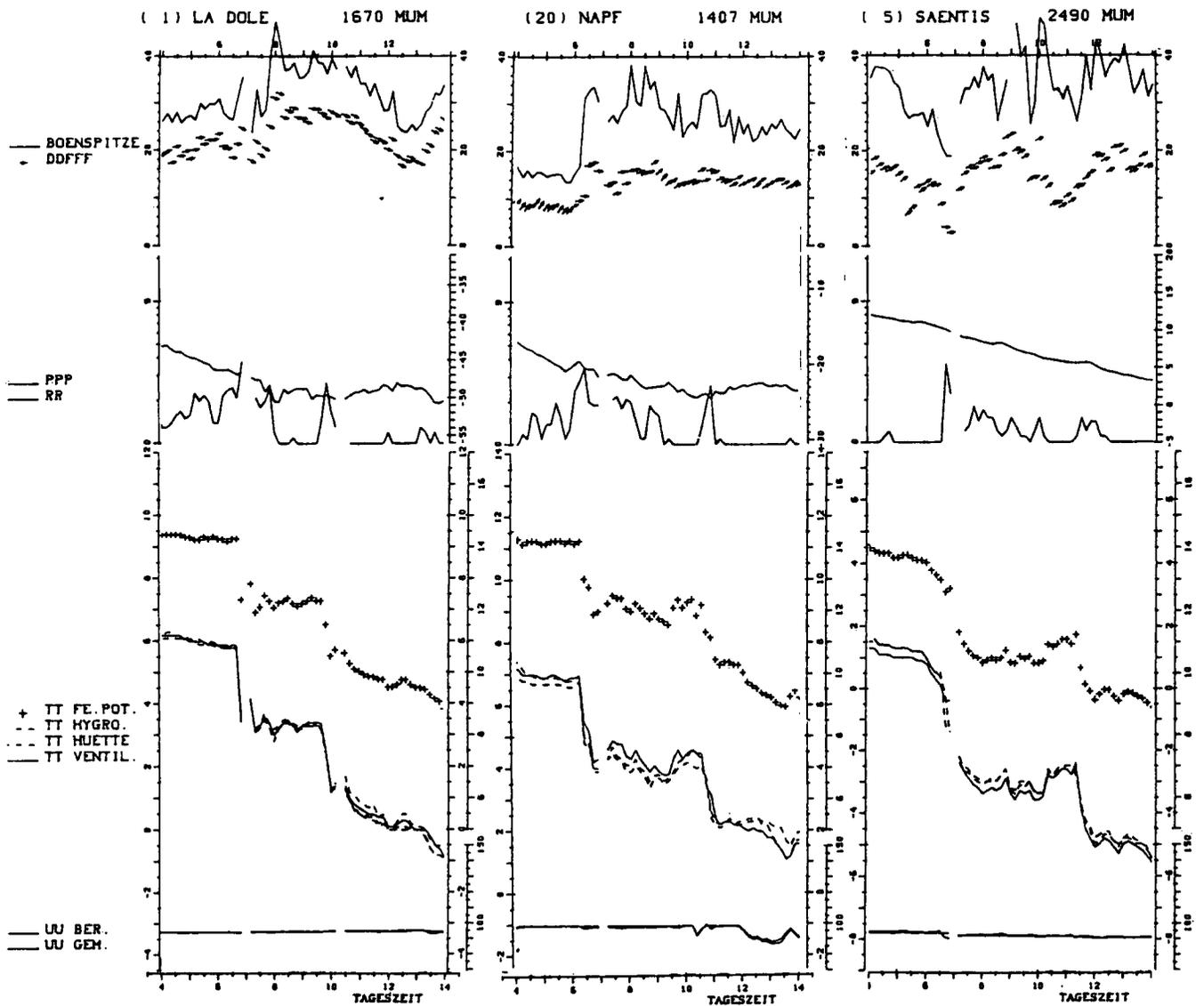


Fig. 11 Partie des diagrammes de la Dôle, du Napf et du Säntis
du 27 novembre 1983
Légende voir Fig. 9

Dans les Préalpes et les Alpes, seules les stations du Moléson, du Pilate, du Säntis, du Weissfluhjoch (malgré son nom) et du Corvatsch sont situées au sommet d'une montagne ou dans son voisinage immédiat. Les autres stations alpines sont situées sur un col, sur une pente ou dans une vallée.

Aux stations de montagne, le passage des deux premières vagues d'air polaire est bien marqué par un changement brusque au nord des Alpes, graduel dans celles-ci, de la température et de la température pseudo-potentielle du thermomètre mouillé. (fig. 11 et fig. 12). Il est intéressant de noter que les petites oscillations mentionnées auparavant se reflètent dans les diagrammes. Le premier passage à la Dôle est observé peu avant 07 tuc, c'est-à-dire quelque 30 minutes

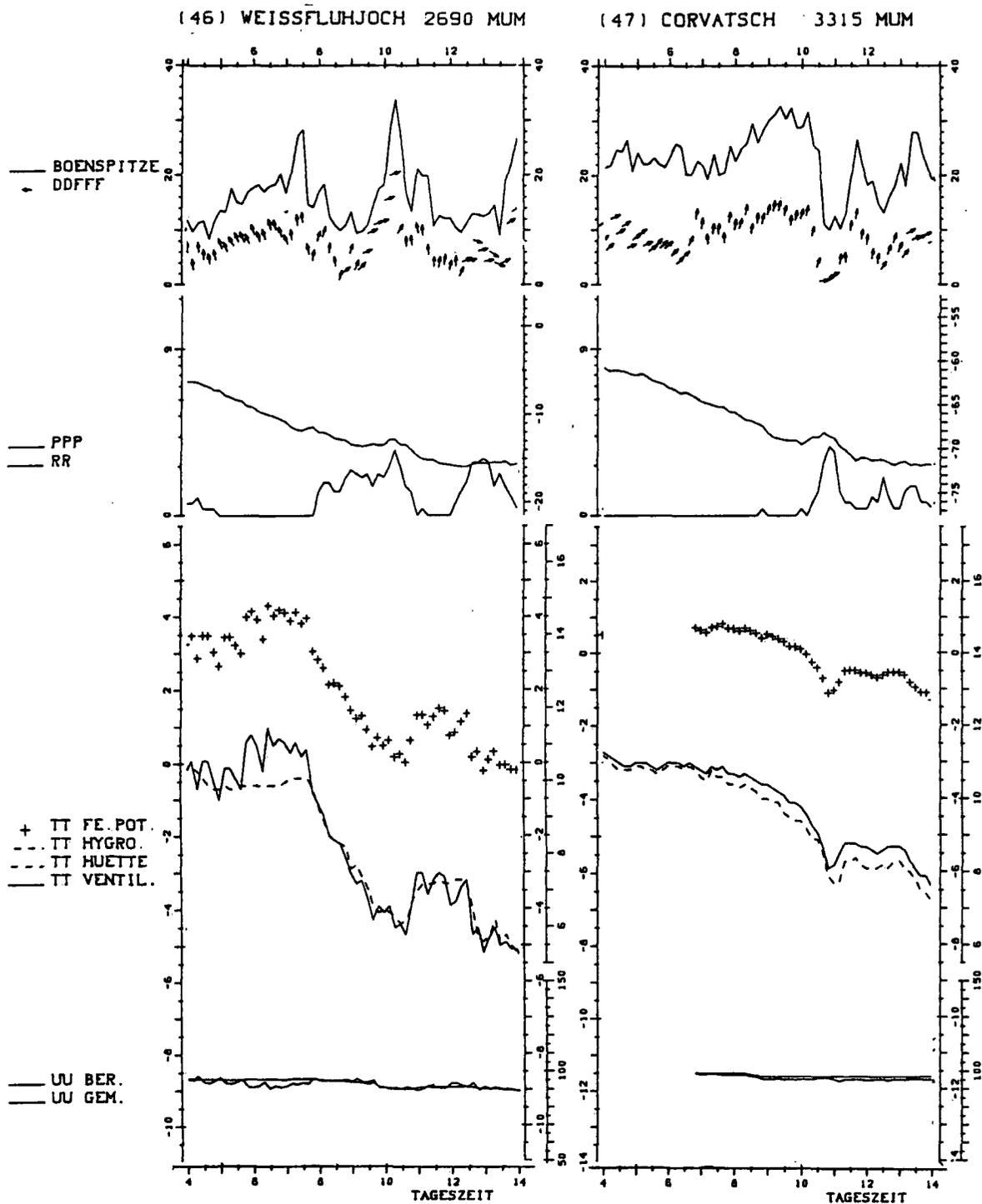


Fig. 12 Partie des diagrammes du Weissfluhjoch et de Corvatsch
 du 27 novembre 1983
 Légende voir Fig. 9

après celui du Napf. Par contre, la deuxième vague atteindra la Dôle
 environ 40 minutes plus tôt que le Napf. Au nord des Alpes, le vent
 se renforce au passage de la première vague. Aux stations de mon-
 tagne ce renforcement s'observe généralement au second passage.

Ce type de circulation entraîne dans les Alpes un appel d'air qui se marque en altitude par une forte composante sud du vent, tel que l'illustre les diagrammes de vent du Weissfluhjoch et de Corvatsch. Du reste, ainsi qu'il sera remarqué plus loin, cet effet se retrouve également aux autres stations alpines. Le passage des deux vagues ne provoque à ces deux stations de sommet qu'une rotation momentanée des vents au secteur sud-ouest et, à l'inverse des stations de montagne des Préalpes et du Jura, conduit à un affaiblissement momentané du vent.

Les diagrammes de la température et de la température pseudopotentielle du thermomètre mouillé montre bien ce passage quasi-régulier de l'air polaire au-dessus des Alpes, confirmé par l'allure des précipitations au sud de celles-ci (voir p.ex. Lugano, fig. 24).

Sur le Plateau suisse, le passage de chacune des deux premières vagues est reconnaissable par les baisses successives plus ou moins prononcées de la température pseudo-potentielle du thermomètre mouillé. Les deux exemples extrêmes de Genève-Cointrin avec deux chutes brusques et de Zurich-Kloten en ondulations sont reportés à la figure 13. Par contre l'effet des précipitations sur la température est important. Celle-ci présente une série d'oscillations. Cette allure particulière s'observe à toutes les stations du Plateau. Les précipitations ont conduit également à des refroidissements momentanés de l'air au voisinage du sol.

Hormis les précipitations, ce débordement régulier des Alpes ne va pas se faire de façon homogène dans les vallées alpines. Malgré la violence de la circulation, l'air présent ne sera pas remplacé par l'air polaire, potentiellement nettement plus chaud. Ce dernier glissera tout d'abord au-dessus du premier. Sa progression vers le bas va être diverse selon l'orographie régionale. De fait, il n'atteindra le fond des vallées que dans leur partie supérieure et ceci seulement par endroit. Au sud des Alpes, l'air polaire ne descendra pas au-dessous de 1000 m/M.

Les deux passages de l'air froid au Jungfrauoch (fig. 14) sont accompagnés tous deux d'une chute rapide tout aussi bien de la température pseudo-potentielle du thermomètre mouillé que de la température. Par contre, il peut paraître surprenant à première vue que

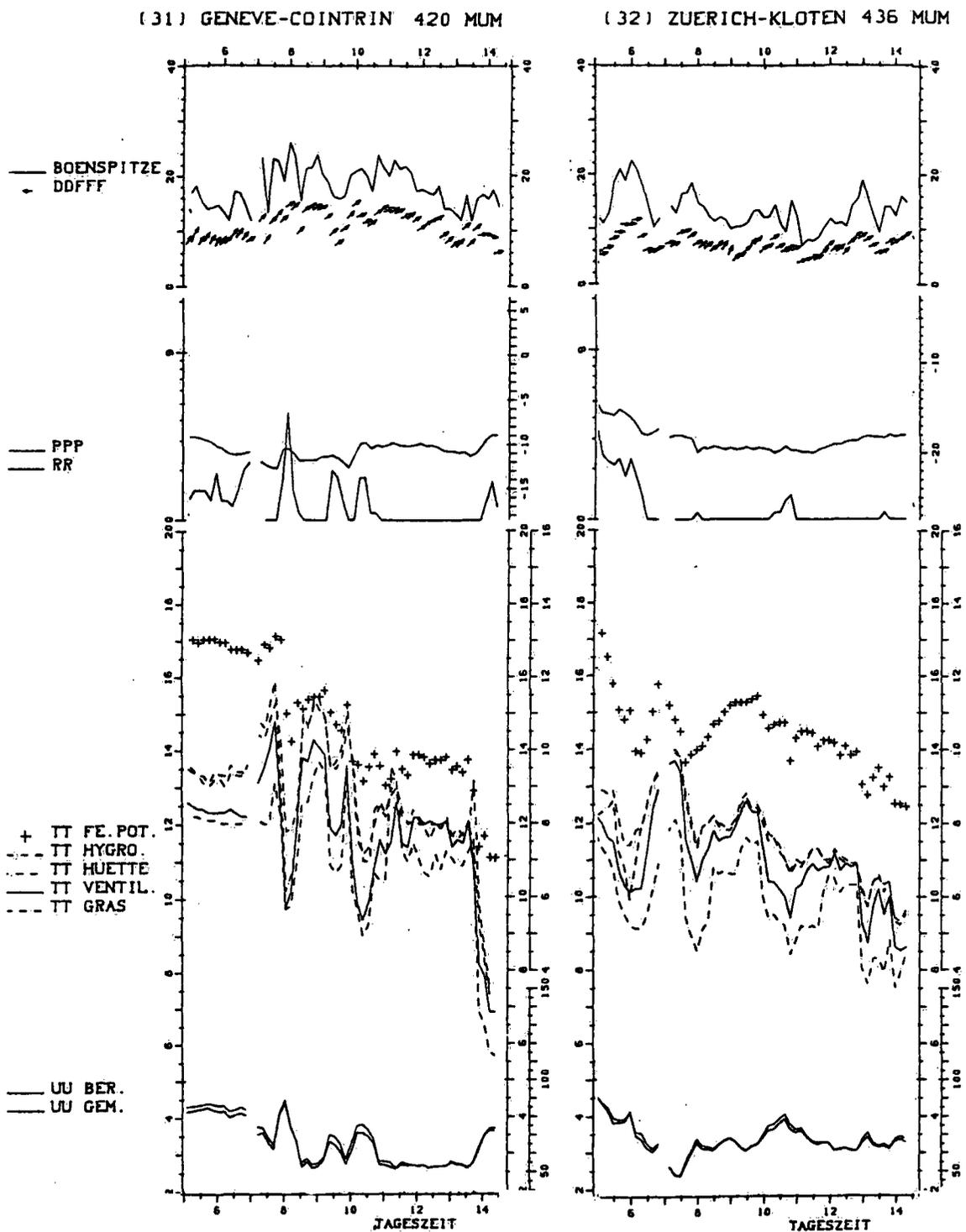


Fig. 13 Partie des diagrammes de Genève-Cointrin et de Zurich-Kloten du 27 novembre 1983
Légende voir Fig. 9

les vents soufflent du nord-ouest alors qu'aux autres stations alpines du nord des Alpes, l'appel d'air, dont il a été fait mention auparavant, conduit à une composante sud du vent à ces stations. Ceci est une suite de l'orographie particulière de cette station avec une

chaîne orientée ouest-nord-ouest à est-nord-est à l'ouest et de sa position en balcon. Au Gütsch (fig. 14), la première vague d'air polaire passe au-dessus de la station. La baisse de température qui se produit avant 08 h, le 27 novembre 1983, peu avant l'arrivée de la première vague, reflète un changement dans les airs recouvrant les régions du sud des Alpes et de la Plaine du Pô. Le passage de la deuxième vague est mieux marqué que le premier et apporte un changement de direction du vent qui passe du sud au nord. Les fines variations dans l'allure des températures et dans celle du vent après le passage de la seconde vague donnent un exemple de la structure feuilletée fine de l'air polaire.

Dans la partie méridionale des Alpes, la première vague d'air polaire passe au-dessus des stations sises à une altitude inférieure à 2500 m/M, ce que montre l'exemple du Grand Saint Bernard (fig. 15). Egalement à cette station du fait de son orographie particulière, le vent n'est pas représentatif, les directions est et ouest étant quasi les seules possibles. Par contre au Grand Saint Bernard, l'horizon est moins dégagé qu'au Jungfrauoch. A Samaden (fig. 15), les deux premières vagues d'air polaire passent au-dessus de la station. Les variations de température reflètent un changement dans l'air au sud des Alpes entraîné par l'aspiration due à la violente circulation au-dessus de l'Europe.

La pénétration de l'air polaire dans les vallées ne représente qu'un effet local, ayant de plus peu d'influence sur le temps, la forte nébulosité et les précipitations ayant été liées aux passages des deux vagues d'air polaire. Néanmoins, il est intéressant de surveiller la façon dont cet air pénètre ou ne pénètre pas dans les vallées alpines. Il ne s'agira donc que d'effets secondaires. La discussion suivante traitera tout d'abord des variations enregistrées à l'entrée des grandes vallées transversales du nord des Alpes, puis dans leur partie supérieure. Elle sera étendue ensuite aux vallées longitudinales du Rhône et du Rhin.

Malheureusement, Aigle (fig. 16) n'étant pas équipé d'un baromètre, les variations de la température pseudo-potentielle du thermomètre mouillé manque. Néanmoins les valeurs estimées qui oscillent entre 9° et 10° C montrent que les deux vagues d'air polaire passent au-dessus de la station, accompagnées du régime caractéristique des

(3) JUNGFRAUJOCH 3580 MUM

(33) GUETSCH 2282 MUM

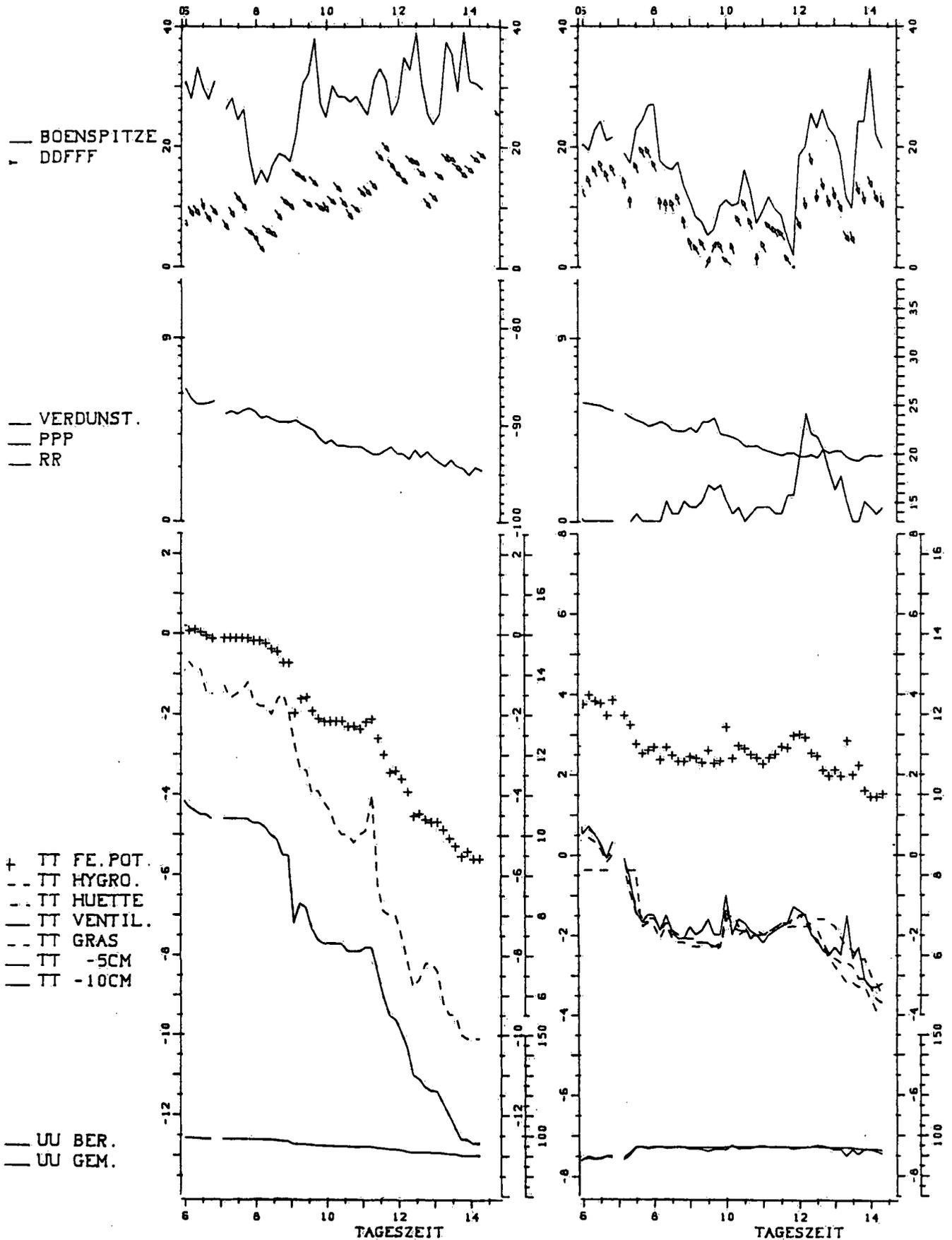


Fig. 14 Partie des diagrammes du Jungfrauoch et du Gütsch
 du 27 novembre 1983
 Légende voir Fig. 9

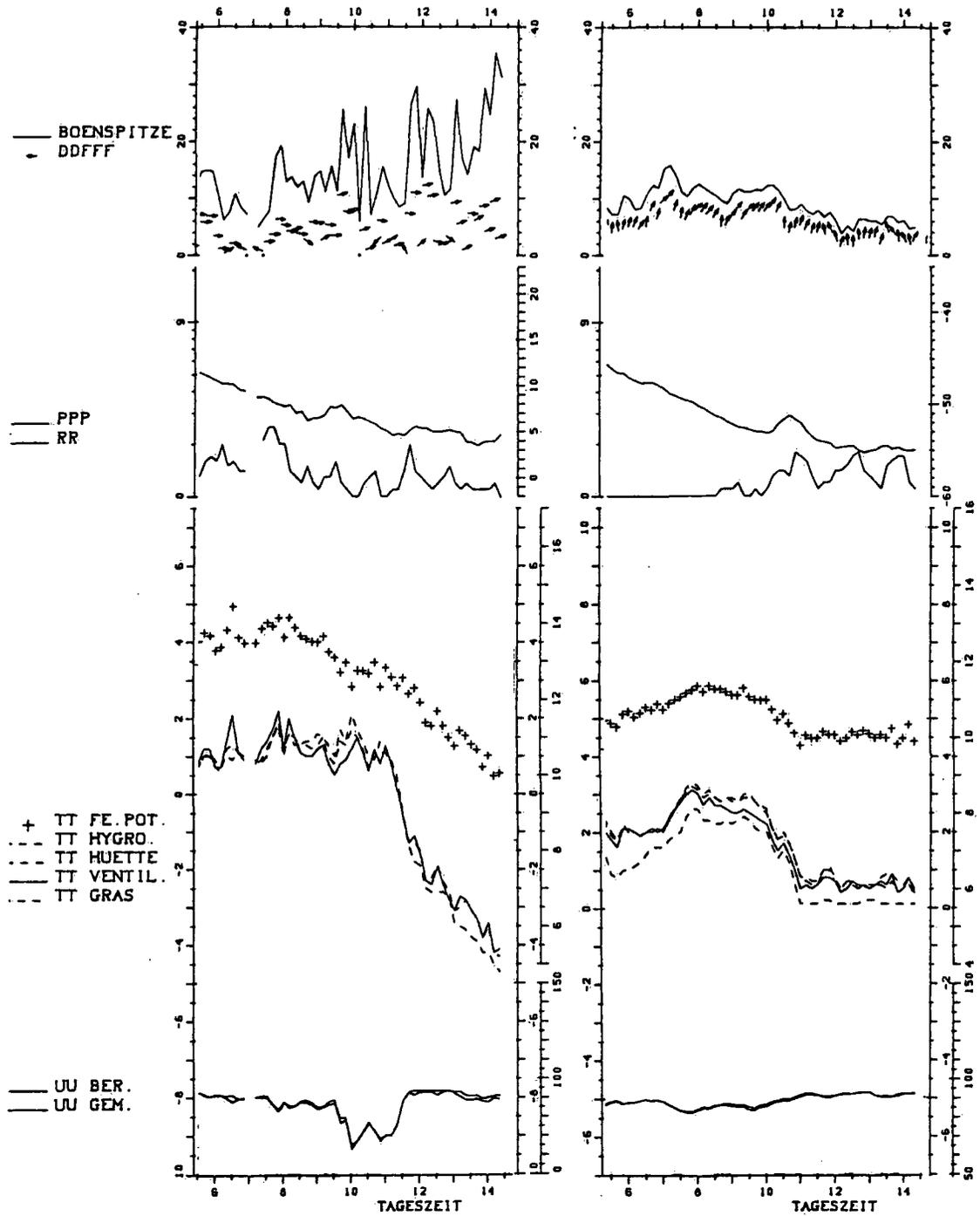


Fig. 15 Partie des diagrammes du Grand Saint Bernard et de Samaden
du 27 novembre 1983
Légende voir Fig. 9

précipitations. Une partie de l'air précédant l'air polaire est entraîné et paraît remonter la vallée du Rhône au moins jusqu'à Aigle qu'il atteindrait en même temps que passe au-dessus de cette station le front de la première vague. Par la suite, ce courant, se maintient. L'évolution à Interlaken (fig. 16) à la sortie de la vallée de la Lütschinen n'est guère différente. La hausse passagère de la

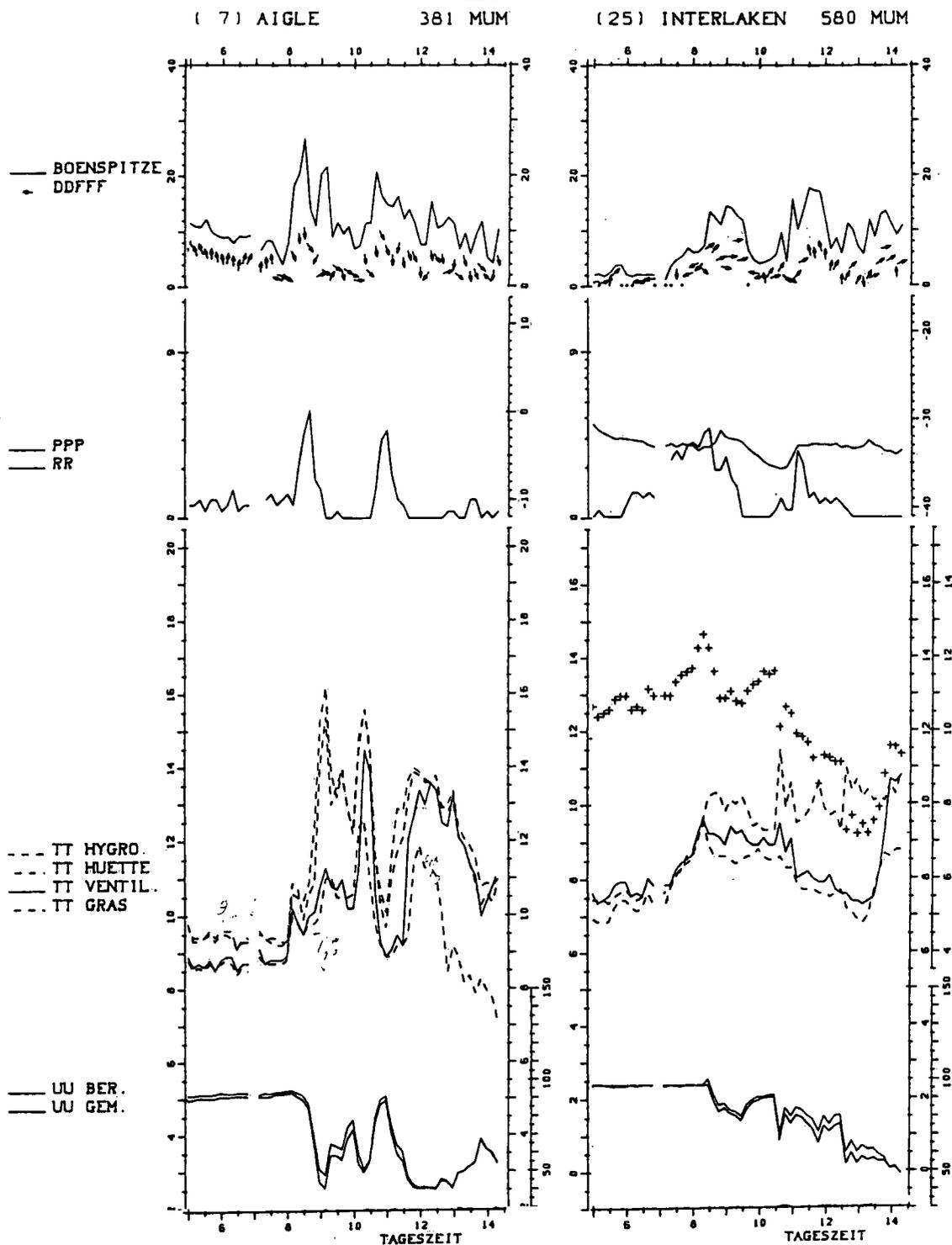


Fig. 16 Partie des diagrammes d'Aigle et d'Interlaken
du 27 novembre 1983
Légende voir Fig. 9

température pseudo-potentielle du thermomètre mouillé vers 08 tuc, le 27 novembre 1983, provient de ce que l'hygromètre est resté saturé, un phénomène qui avec le type d'appareil utilisé à cette époque était fréquent. L'écoulement de l'air est influencé par le passage des deux vagues au-dessus de la station. Ces passages se remarquent dans les variations du vent. Les mêmes observations peuvent être

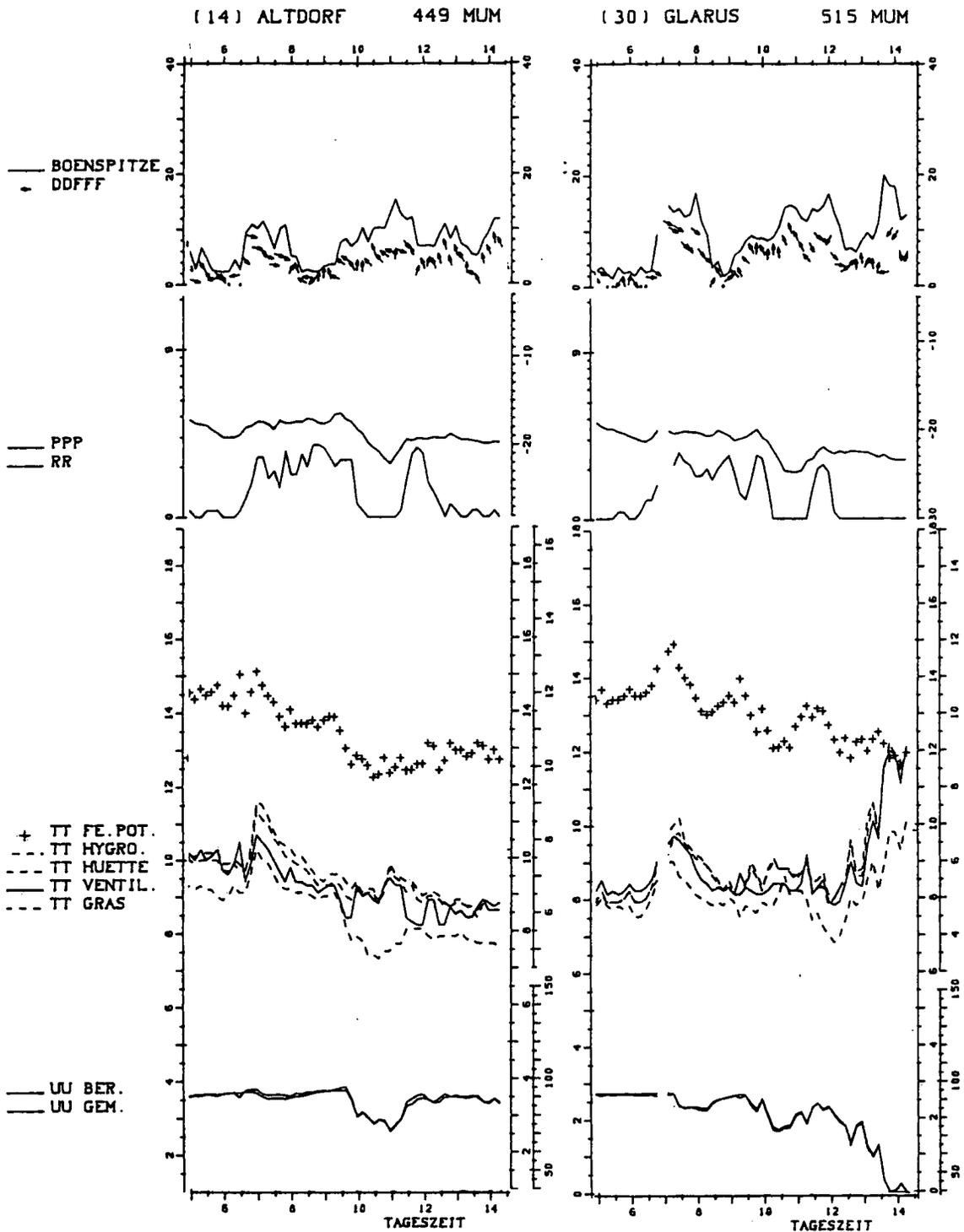


Fig. 17 Partie des diagrammes d'Altdorf et de Glaris
du 27 novembre 1983
Légende voir Fig. 9

faites aux sorties des vallées de la Reuss et de la Linth (fig. 17). Ici également les deux vagues passent au-dessus de la station et induisent des variations dans l'écoulement de l'air primitif. A Glaris, l'inertie de l'hygromètre introduit vers 07 huc, comme il fut déjà mentionné auparavant, une fausse élévation de la température du thermomètre mouillé. La hausse de la température est par

contre réelle et eut dû être accompagné d'une baisse correspondante de l'humidité. Le vent foehnique qui provoque cette hausse de température s'observe généralement simultanément avec des précipitations (dans les autres exemples, l'humidité s'abaisse au rythme de l'élévation de température) et représente une particularité de cette station.

De même, les deux premières vagues d'air polaire passent au-dessus des stations sises dans la vallée du Rhin (fig.18). La partie du diagramme de Saint Gall incluant la période du passage net de la première vague ayant conduit à une baisse brusque de la température et une saute du vent, est ajouté à titre de comparaison aux deux diagrammes de Vaduz et de Coire. Il y a une certaine similitude entre les enregistrements de Vaduz et d'Aigle. A Vaduz, l'appel d'air est nettement indiqué. Le bref changement de direction du vent vers 12 h, le 27 novembre 1983, doit être lié à la circulation induite par les grandes cellules convectives accompagnant le passage du front de la deuxième vague. Ici, encore les deux avancées passent au-dessus des stations et l'air polaire n'atteint pas le fond des vallées.

Comme il fut déjà précédemment mentionné l'air maritime qui envahit la Suisse dans l'après-midi du 26 novembre 1983 n'est pas observé dans les Alpes au-dessous de 2000 m/M sauf peu avant l'arrivée de la première vague où il s'abaisse sur le versant nord parfois jusque vers 1300/1600 m/M comme c'est le cas à Adelboden, mais non à Davos (fig. 19). A Adelboden, les deux vagues d'air polaire touchent la station et les variations de la température et celles de la température pseudo-potentielle du thermomètre mouillé sont tout à fait semblables à celles observées aux stations de montagne du nord des Alpes. A Davos, le passage de la première vague engendre un changement dans l'air primitif avec l'arrivée d'un air potentiellement plus froid. Les vents tournent également à nord. La seconde vague touche Davos, mais ne se remarque que peu dans la température, cet air étant potentiellement semblable au précédent. Les autres stations ayant une location semblable n'indiquent pas de modifications essentielles. A bien des endroits, l'air polaire passe au-dessus des stations, comme à Hinterrhein dont le diagramme n'est pas reproduit ici.

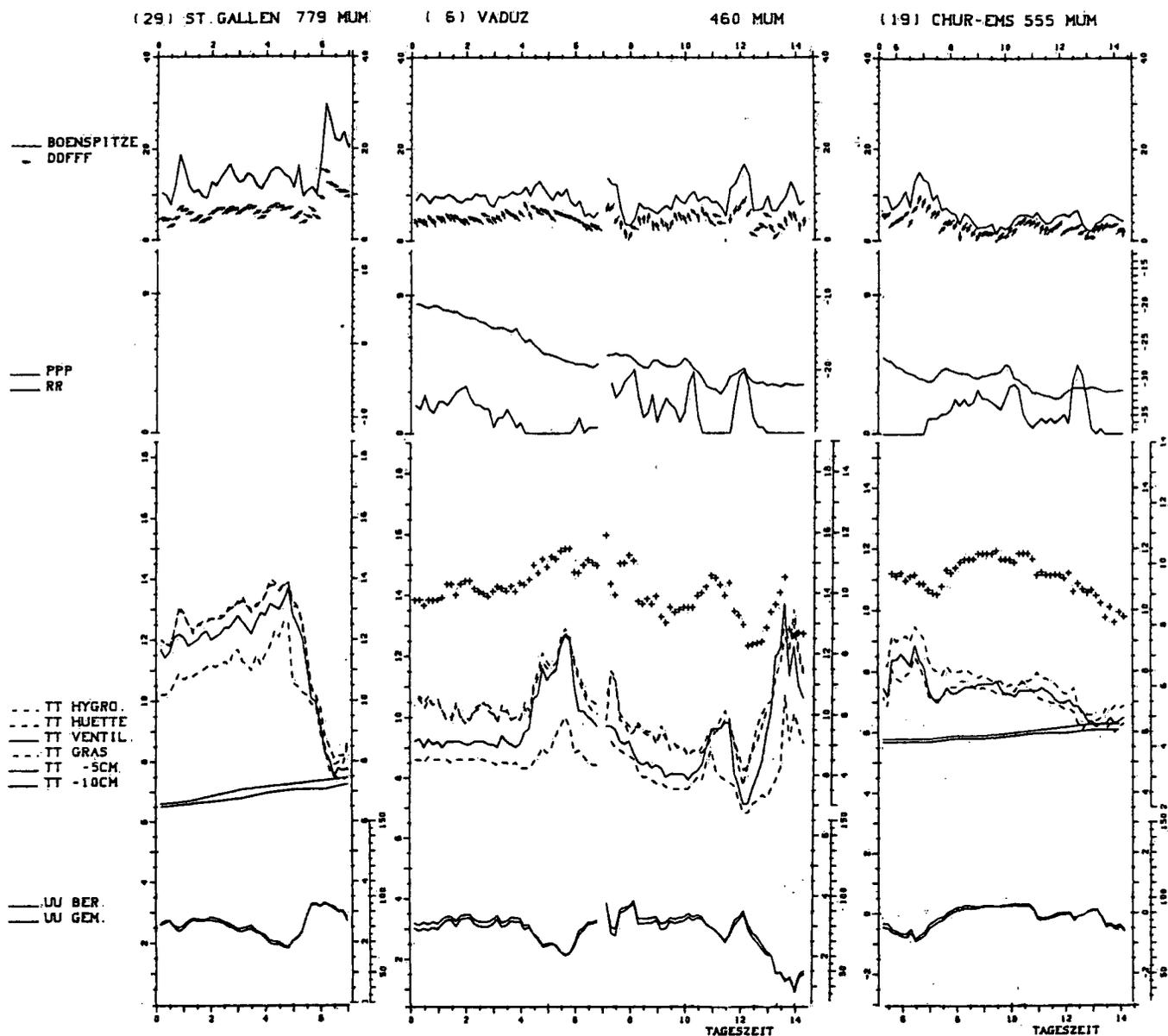


Fig. 18 Partie des diagrammes de St Gall, de Vaduz et de Coire
du 27 novembre 1983
Légende voir Fig. 9

En Valais, l'air maritime ne s'abaisse au-dessous de 1600 m/M qu'au cours de la nuit du 26 au 27 novembre 1983. Il touche Montana vers 02 tuc et Zermatt vers 07 tuc (fig. 20). Les deux vagues d'air polaire touchent les deux stations avec un léger retard par rapport au passage en altitude. Si la forme de paliers de la baisse de température s'observe à Montana, station située sur un plateau bien dégagé, à Zermatt, en fin de vallée et entouré de hautes montagnes, la température baisse graduellement. Dans ce site aux trois-quarts fermé, les vents restent faibles, mais reflètent tout de même les deux passages. L'appel d'air reste prédominant et les vents continuent après les passages de descendre la vallée.

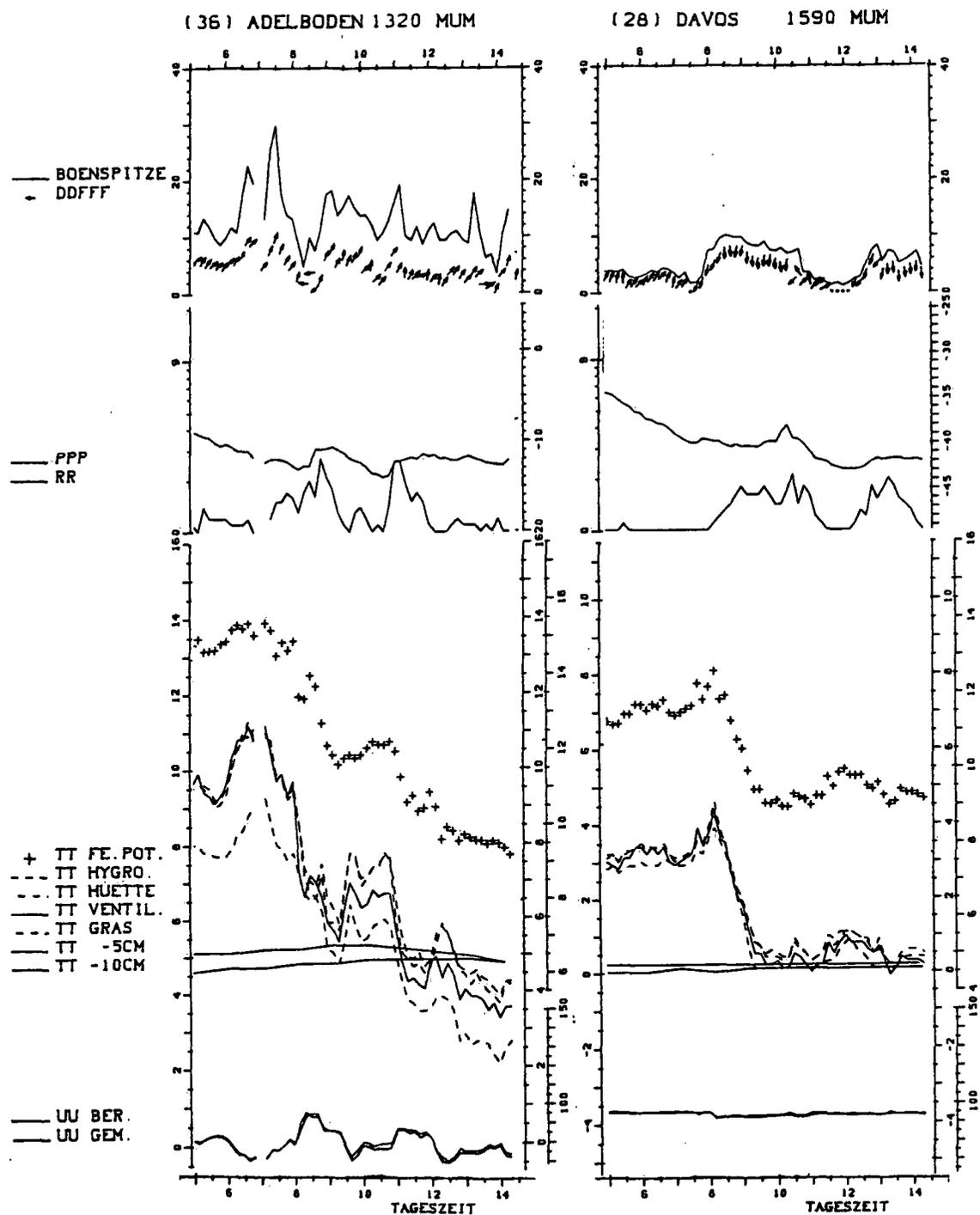


Fig. 19 Partie des diagrammes d'Adelboden et de Davos
du 27 novembre 1983
Légende voir Fig. 9

L'air polaire n'atteindra pas le fond de la Vallée du Rhône et ceci sur toute sa longueur. En effet, les diagrammes de température des stations de Sion, de Viège et d'Ulrichen (fig. 21) resteront toujours dans l'air primitif. Par contre, chacune des vagues entraî-

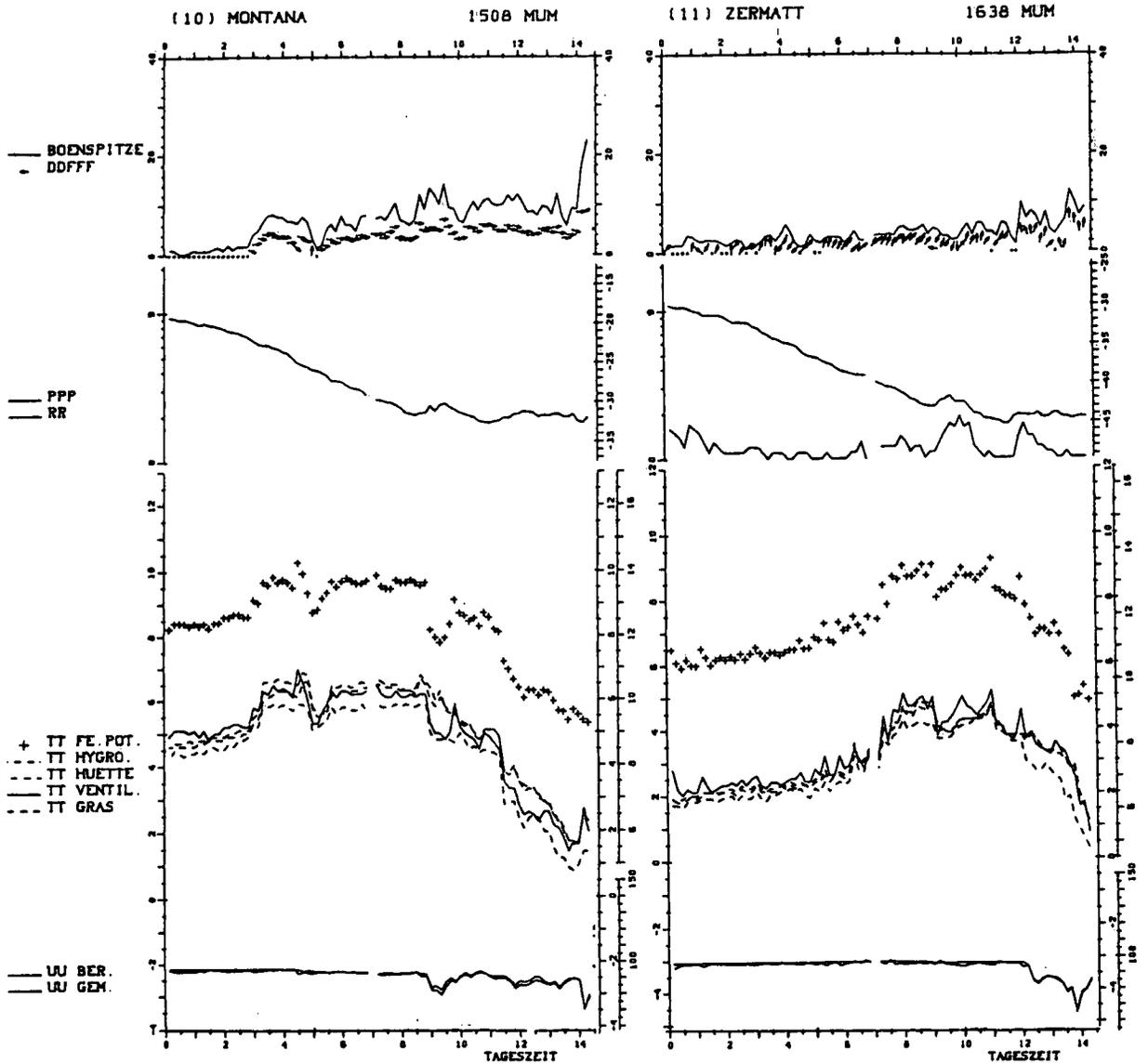


Fig. 20 Partie des diagrammes de Montana et de Zermatt
du 27 novembre 1983
Légende voir Fig. 9

ne avec elle la couche de l'air primitif immédiatement au-dessous. Curieusement ce mouvement se remarquera à Sion et à Viège, mais non à Ulrichen. Etant plus sec, l'arrivée de ces couches se signale à la fois par une hausse de la température et un renforcement des vents. Cette levée du vent ne correspond pas à l'arrivée à la station de l'air polaire de la seconde vague, car les valeurs de la température potentielle observée ensuite sont caractéristiques de l'air primitif. La hausse momentanée de la température pseudo-potentielle du thermomètre mouillé observée à Sion peu avant midi et qui eut été également observée à Viège si cette station eut été équipée d'un

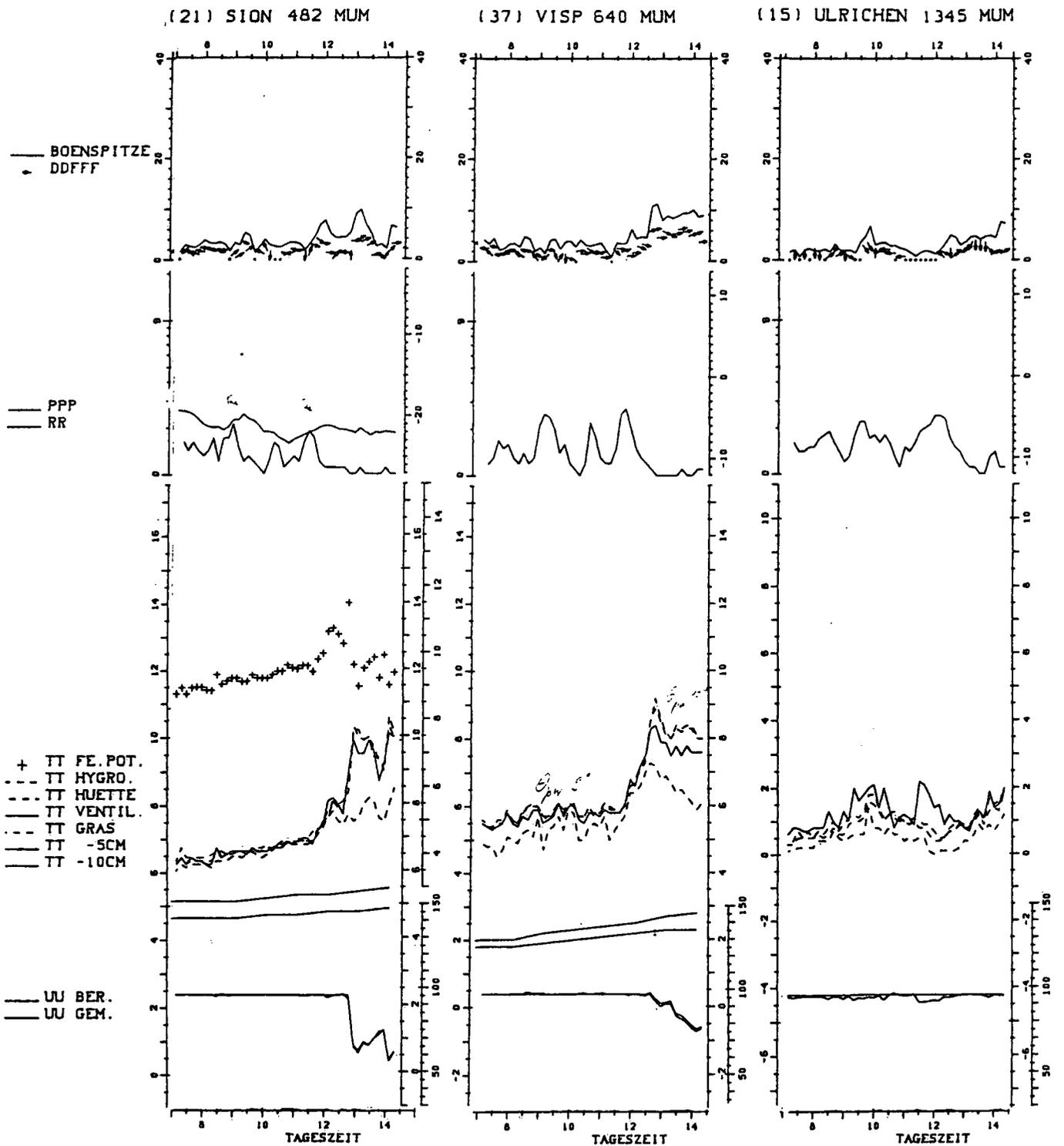


Fig. 21 Partie des diagrammes de Sion, de Viège et d'Ulrichen
 du 27 novembre 1983
 Légende voir Fig. 9

baromètre est erronée et provient du fait, déjà mentionné, que l'hy-
 gromètre reste tout d'abord bloqué à 100%. Le renforcement se fait
 quasi simultanément à Sion et à Viège, deux stations séparées de
 quelque 40 km. Donc l'air ne remonte pas la vallée, mais s'abaisse

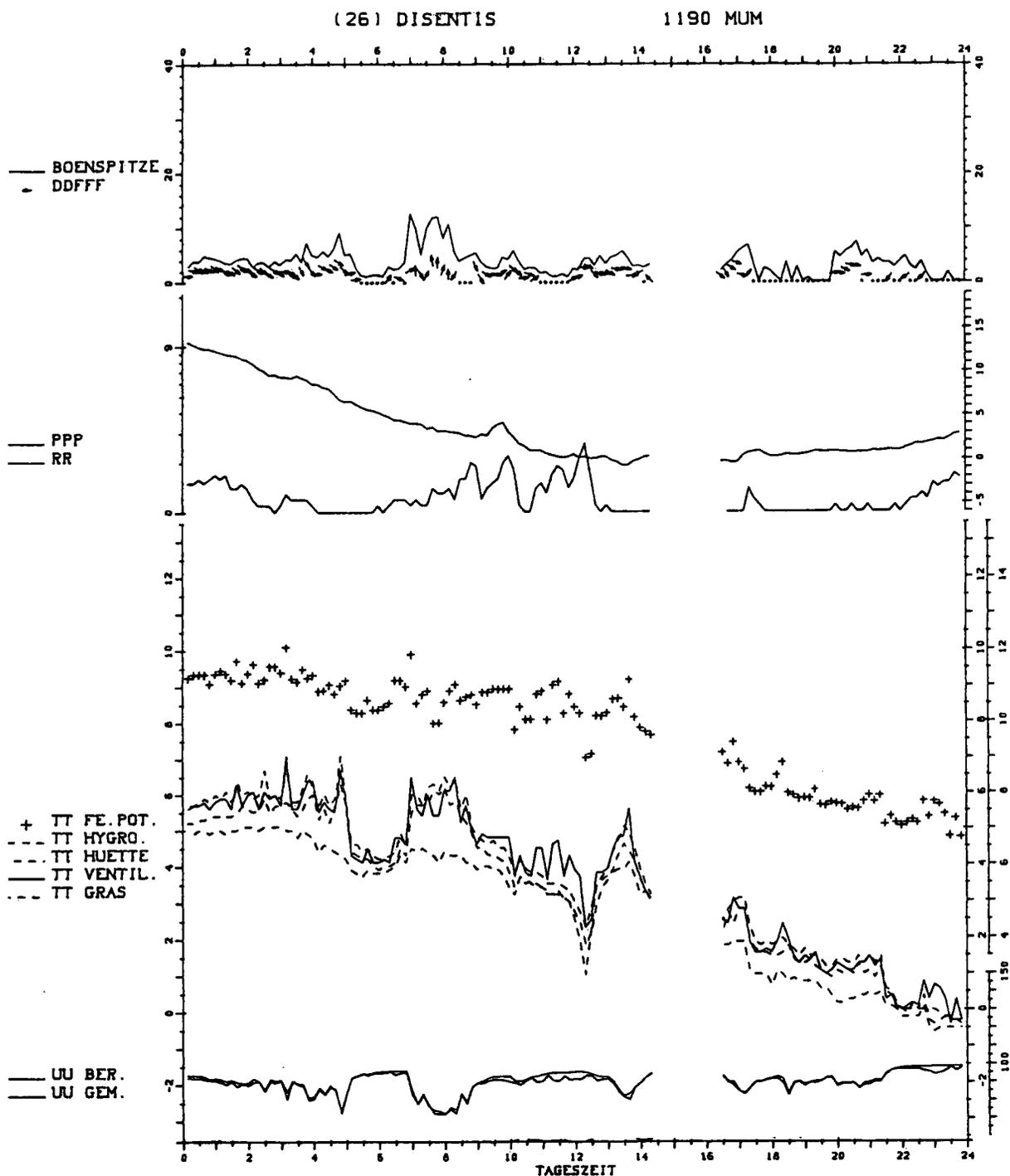


Fig. 22 Partie du diagramme de Disentis
du 27 novembre 1983
Légende voir Fig. 9

progressivement dans celle-ci. Cet abaissement lorsque l'air polaire est potentiellement plus chaud n'atteint pas le fond des vallées, tout au moins dans les cas de débordement des Alpes par l'air polaire étudiés jusqu'ici, dont l'évolution de la journée du 27 novembre 1983 est un exemple.

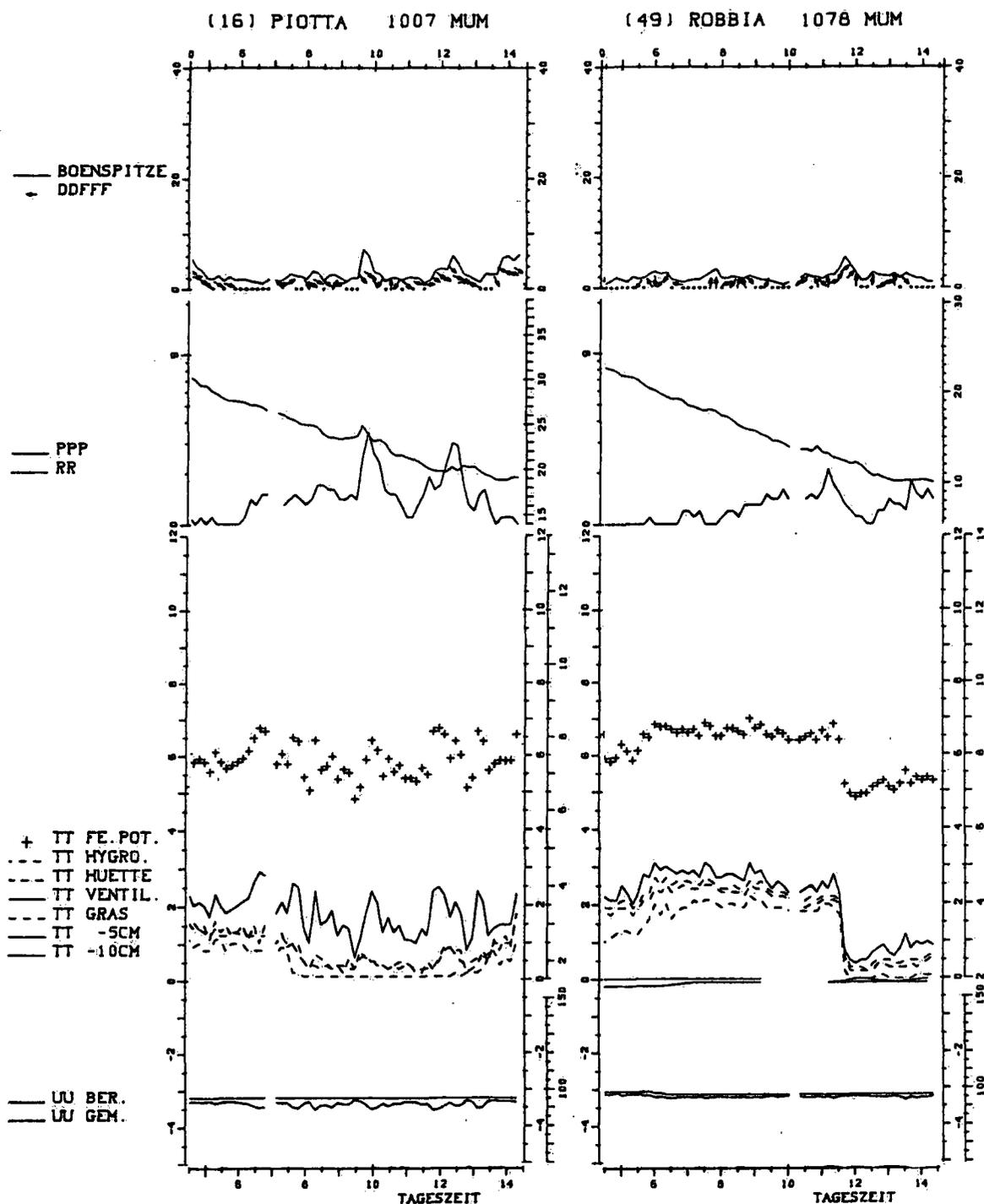


Fig. 23 Partie des diagrammes de Piotta et de Robbia
du 27 novembre 1983
Légende voir Fig. 9

La situation n'évolue pas différemment dans la vallée du Rhin en amont de Coire. Ici également, les deux vagues d'air polaire ne touchent pas le fond de la vallée tel que l'illustre le diagramme de Disentis (fig. 22). L'évolution locale entre 05 tuc et 09 tuc, du 27 novembre 1983, indépendante de l'évolution traitée ici est intéressante. Elle s'y observe souvent. De même, pareilles variations ne sont pas rares dans la Vallée de Conches.

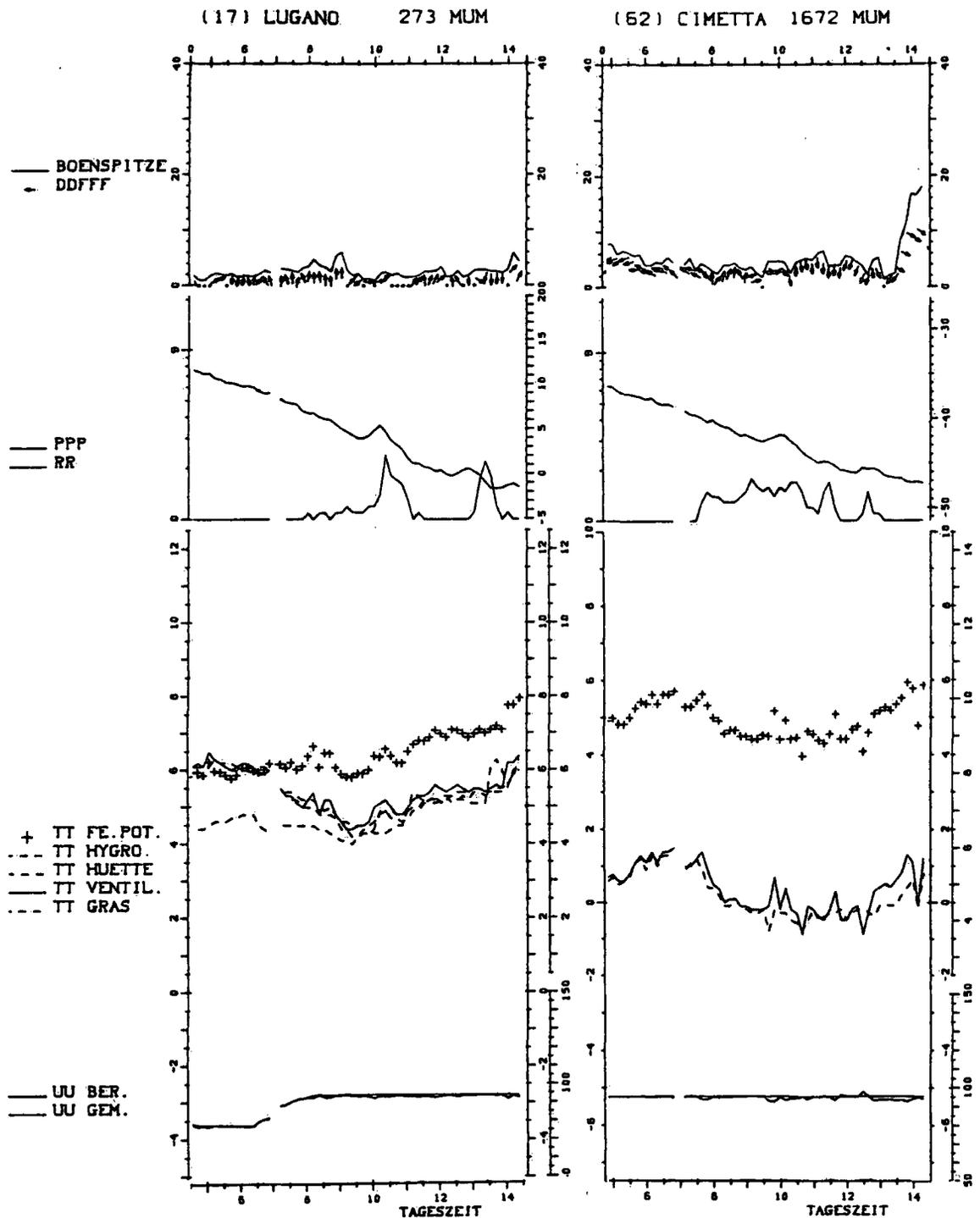


Fig. 24 Partie des diagrammes de Lugano et de Cimetta
du 27 novembre 1983
Légende voir Fig. 9

Le développement de la situation au sud des Alpes n'est pas différent de ce qui fut observé dans les Alpes. Les deux vagues d'air froid passent au-dessus des stations (fig. 23 et fig. 24). Ainsi qu'il fut déjà observé à d'autres stations, elles entraînent parfois un changement dans les couches de l'air primitif, tel que l'illustre le diagramme de Robbia. L'air polaire de la seconde vague s'abaisse

au-dessous de 1700 m/M peu après son passage en altitude. Son arrivée à Cimetta est indiquée par l'augmentation brusque des vents et une légère hausse de la température. L'élévation de la température pseudo-potentielle est trop marquée, suite à l'inertie de l'hygromètre.

Malheureusement, le franchissement des Alpes par l'air polaire ancien, stationnant au-dessus de la Grande Bretagne et de la Mer du Nord et entraîné par le tourbillon généré par l'air polaire atlantique, ne peut être suivi car son passage au-dessus de la Suisse correspond à la période où fut enregistrée une panne de la station centrale. Ce franchissement s'est fait en quelque 3 heures, alors que le débordement des Alpes par les deux premières vagues a duré pour chacune 7 heures environ. Cet air potentiellement plus froid que l'air polaire atlantique et comparable à l'air primitif descendra plus profondément dans les vallées. Il ne s'observera aux stations de plaine du sud des Alpes qu'en début de matinée le 28 novembre 1983.

4. Cas du 11 et 12 janvier 1987

L'évolution de la situation météorologique au-dessus de l'Europe durant les journées du 11 et du 12 janvier 1987 est dominée par la dérive vers l'ouest d'une masse inactive d'air froid. Son centre, situé par $56^{\circ}\text{N}/15^{\circ}\text{E}$ le 11 janvier 1987 à 12 tuc, se retrouve 24 heures plus tard par $53^{\circ}\text{N}/3^{\circ}\text{E}$ (fig.25). A sens inverse, le long de son flanc sud, un air maritime polaire s'avance en direction des Balkans. La première masse d'air ne laisse sa trace que dans les cartes en altitude et s'identifie nettement dans la topographie relative 1000-500 hPa. Par contre, la seconde, plus active au point de vue du temps, est indiquée par la présence d'une dépression dans les basses couches, mais seul par un couloir dépressionnaire au-dessus. Les images reçues de METEOSAT 2 (fig. 26) illustrent par la présence et la répartition des champs nuageux ces différences.

Ces deux masses d'air sont engagées dans un vaste mouvement giratoire commun. La giration de la masse d'air méditerranéenne est plus marquée que celle de l'air au nord, plus important en extension. Cette évolution conduit à un faible débordement des Alpes occidentales par

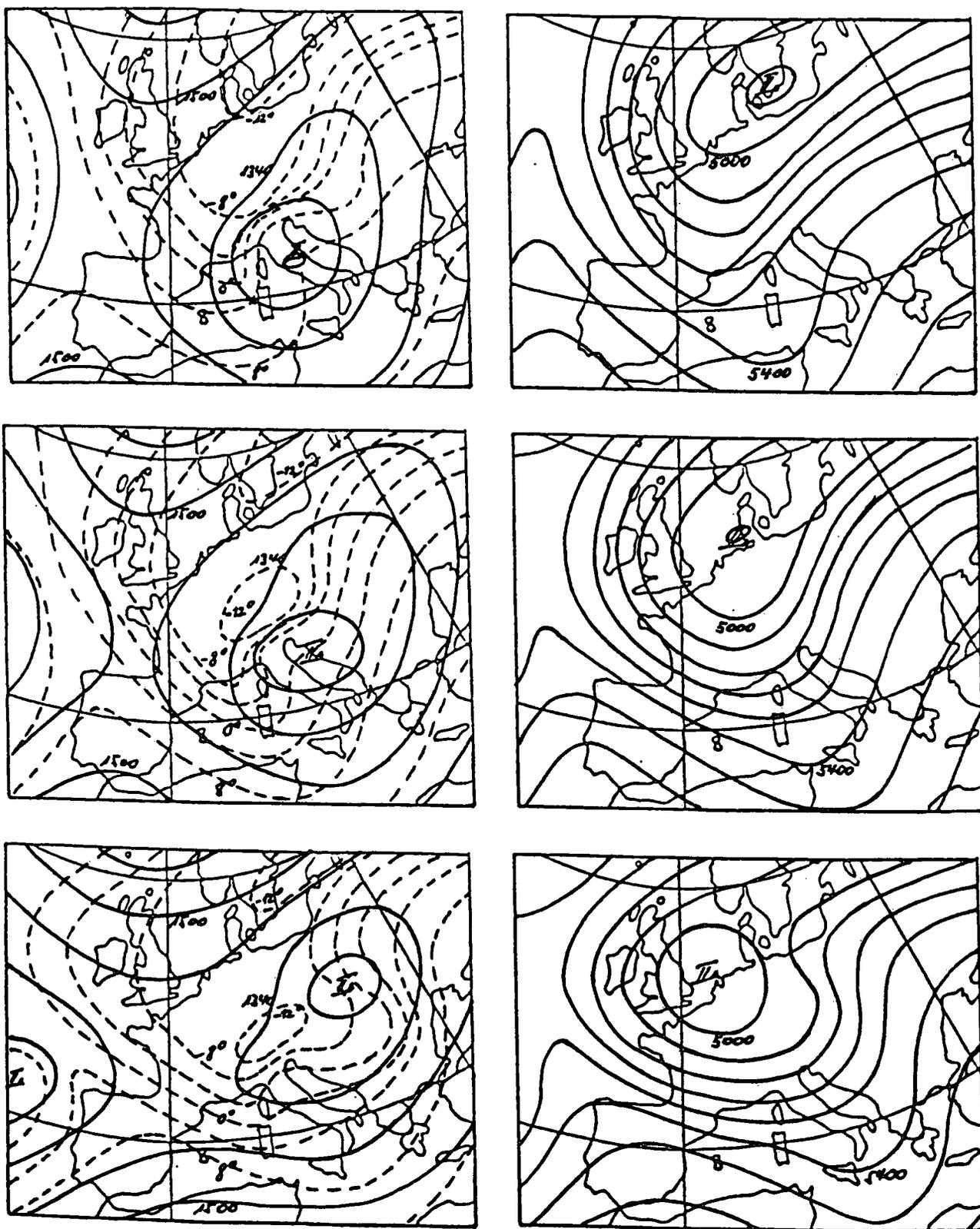


Fig. 25 Situations synoptiques du 11 janvier 1987, 12 tuc (haut), du 12 janvier 1987, 00tuc (milieu) et du 12 janvier 1987, 12 tuc (bas)
Légende:

850 hPa à gauche 1000/500 hPa à droite
isohypses (en décimètres, espacement 80 décimètres)
isothermes (en °C, espacement 4°C)

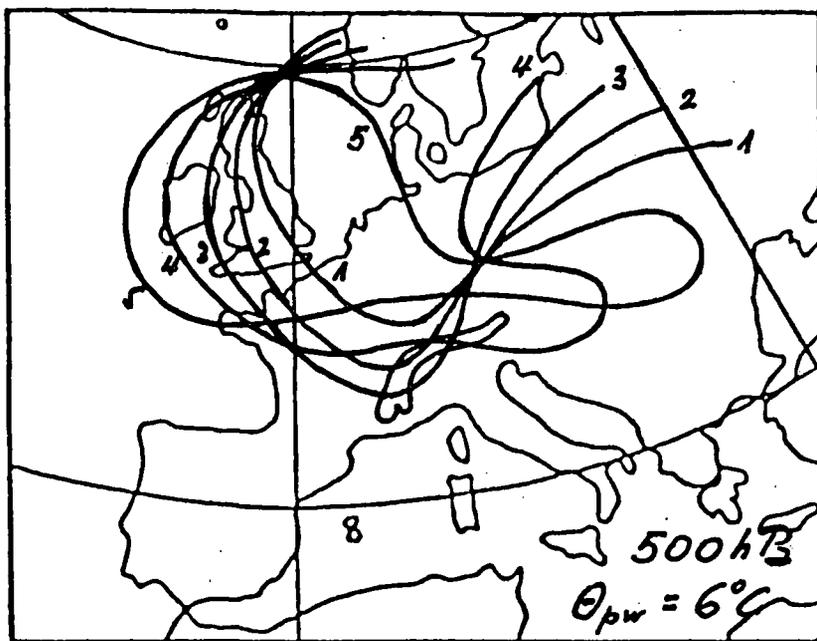


Fig. 28 Variation de l'isotherme 6°C, à 500 hPa, de la température pseudo-potentielle du thermomètre mouillé.

Positions le 11.1.1987.00 tuc (1), le 11.1.1987.12 tuc (2),
le 12.1 1987.00 tuc (3), le 12.1 1987.12 tuc (4),
le 13.1.1987.00 tuc (5)

les couches moyennes du flanc méridional de cette dernière. Ce débordement peut être saisi par la variation de l'isotherme 6°C de la température pseudo-potentielle du thermomètre mouillé au niveau de 500 hPa (fig.28). Ce débordement ne s'étendra pas au-dessus de 400 hPa. Ceci est une suite de la forme en dôme affaissé au centre (en ne considérant que la troposphère) qu'a chaque masse d'air polaire. Ce développement entraîne, de plus, par l'effet de barrage que forment les Alpes au déplacement des couches basses une augmentation de leur épaisseur. C'est également ce que révèlent les résultats théoriques (p.ex. Schubiger et al., 1987). Cet épaissement se remarque par l'apparition dans l'après-midi du 11 janvier 1987 d'une isotherme -12°C de la température pseudo-potentielle du thermomètre mouillé au niveau de 850hPa (fig. 25). Elle s'effacera dans la journée du lendemain suite à un étalement de la masse d'air. Le sommet des couches les plus froides ne dépassera pas au voisinage des Alpes l'altitude de 1900 m/M. L'inversion qui les surmonte ira en s'accroissant et avec le changement de masse d'air en altitude persistera plusieurs jours.

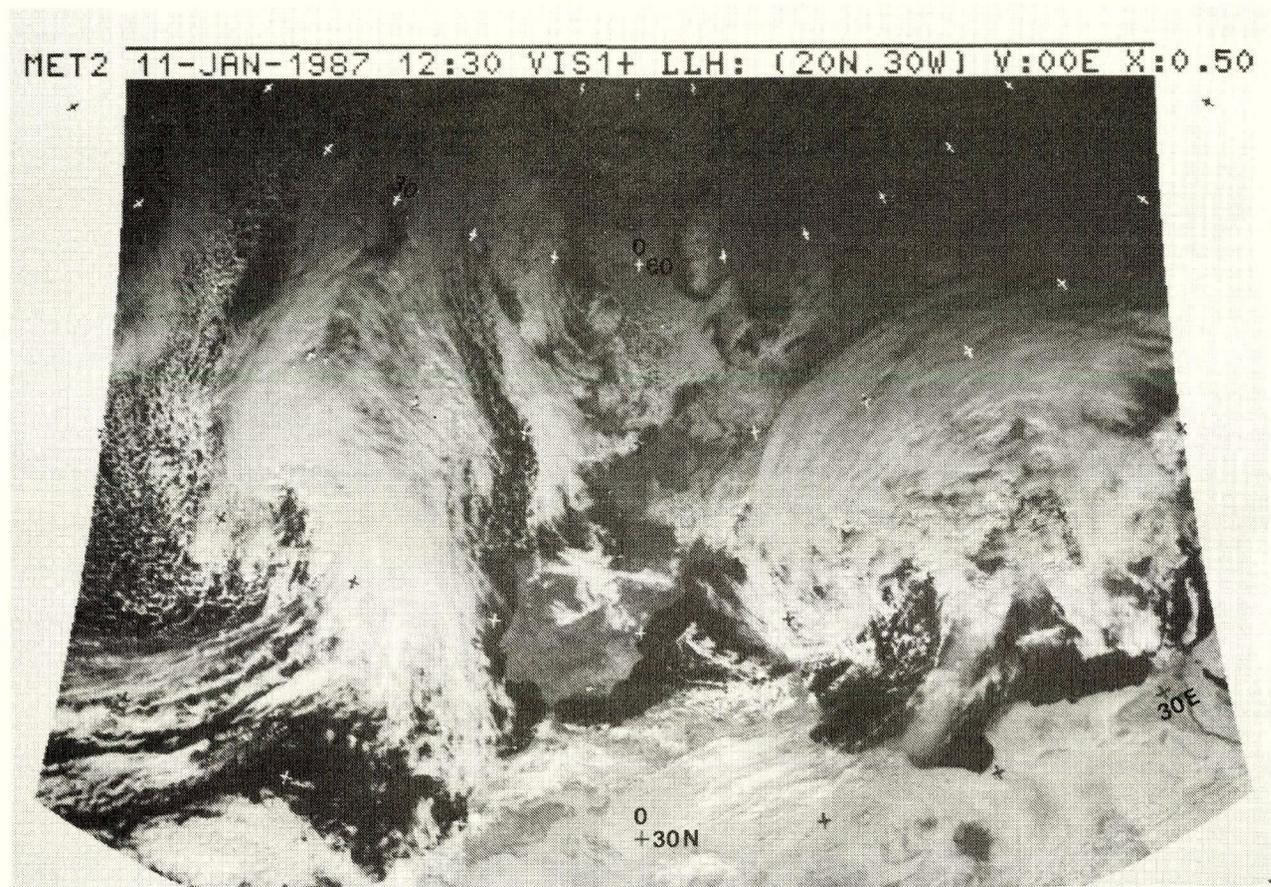
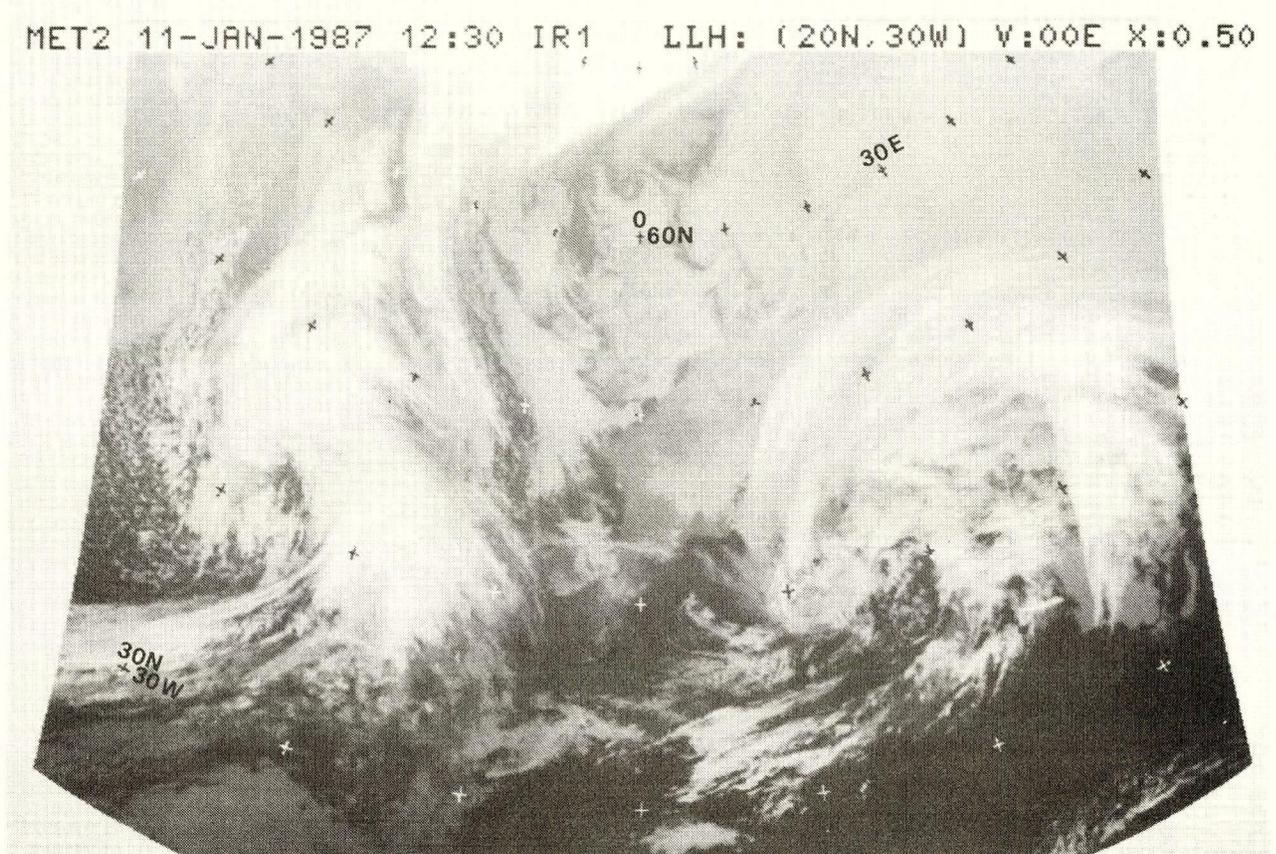


Fig. 26 De même que dans les images reçues de METEOSAT 2 des figures 1 à 6, les croix représentent les intersections des longitudes et des latitudes. L'espacement est également de 10° . Seul un minimum de valeurs des coordonnées est donné afin de ne pas charger les images.

La principale masse d'air polaire, centrée au-dessus du sud de la Scandinavie et recouvrant le nord de l'Europe, n'est identifiable que par les champs de cirrus que l'entourent. Au nord, seule visible dans l'image IR du fait de la nuit polaire, leur bordure va de $62^\circ\text{N}/18^\circ\text{W}$ au nord de la Norvège. Le bord ouest est délimité par les cirrus du jet stream du nord-ouest s'écoulant le long du flanc occidental de cet air polaire. Leur structure en filaments orientés NW-SE est typique de ces jets stream qui, en opposition à ceux du sud-ouest, possèdent une composante descendante de plusieurs centimètres par seconde. La bordure sud n'est pas accompagnée de nuages. Le bord net des cirrus du jet



stream du sud-ouest au-dessus de l'Europe centrale marque sa bordure sud-est. Ce dôme d'air polaire n'est pas encore séparé de celui plus important recouvrant la Sibérie. Dans la haute troposphère, aucune intrusion d'air chaud ne s'est encore produite entre ces deux dômes. Par suite, cette zone reste libre de nuages.

Dans les couches basses de la troposphère, le courant d'est qui y règne est reconnaissable au-dessus de la mer par les nuages qui s'y sont formés. Les rues de nuages décèlent la rotation anticyclonique graduelle de ce courant dans sa progression à l'ouest. Il prend finalement une direction sud-nord au-dessus de la Grande-Bretagne et du proche Atlantique.

La deuxième masse d'air polaire est aisément identifiable grâce à l'organisation des nuages impliqués dans le mouvement tourbillonnaire. La courbure anticyclonique du champ de cirrus au nord complète, trompeusement, la forme spirale des nuages inférieurs.

MET2 12-JAN-1987 12:30 VIS1+ LLH: (20N,30W) V:00E X:0.50

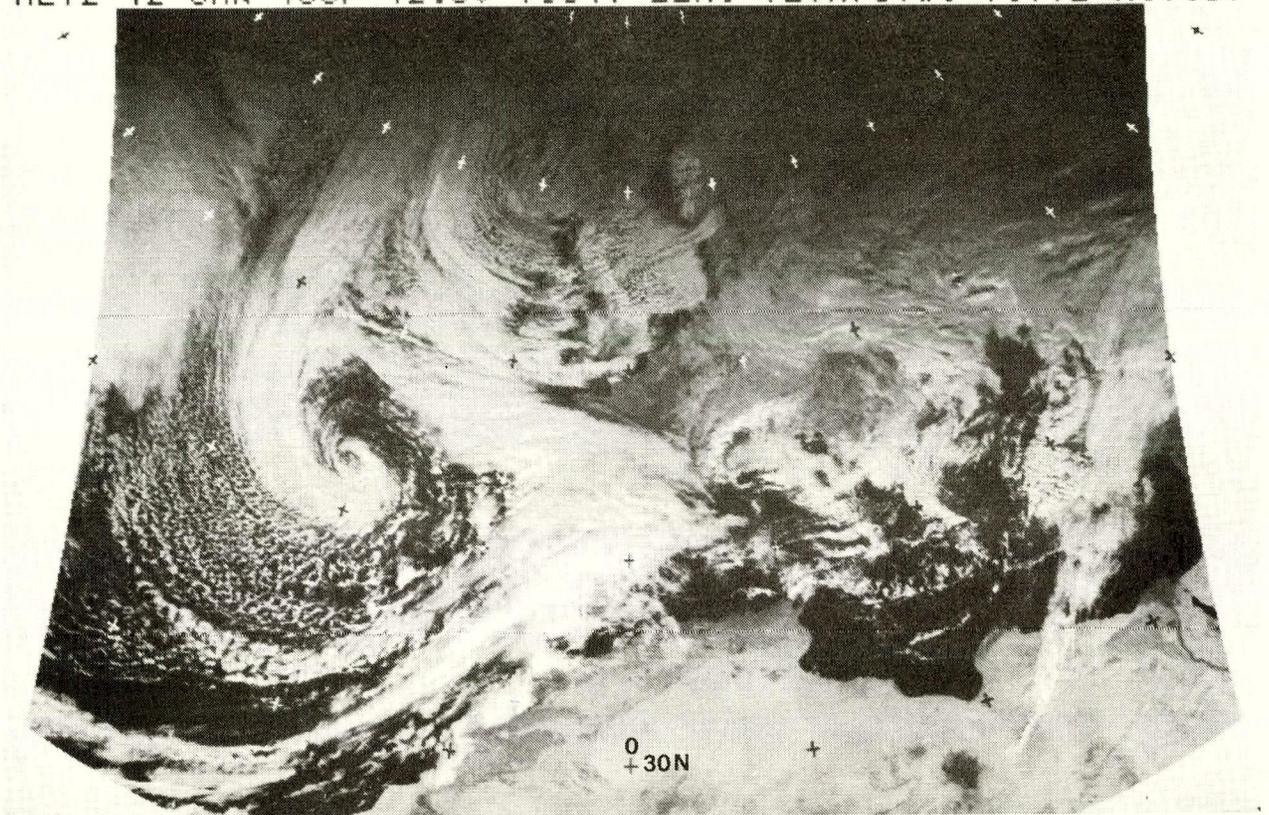
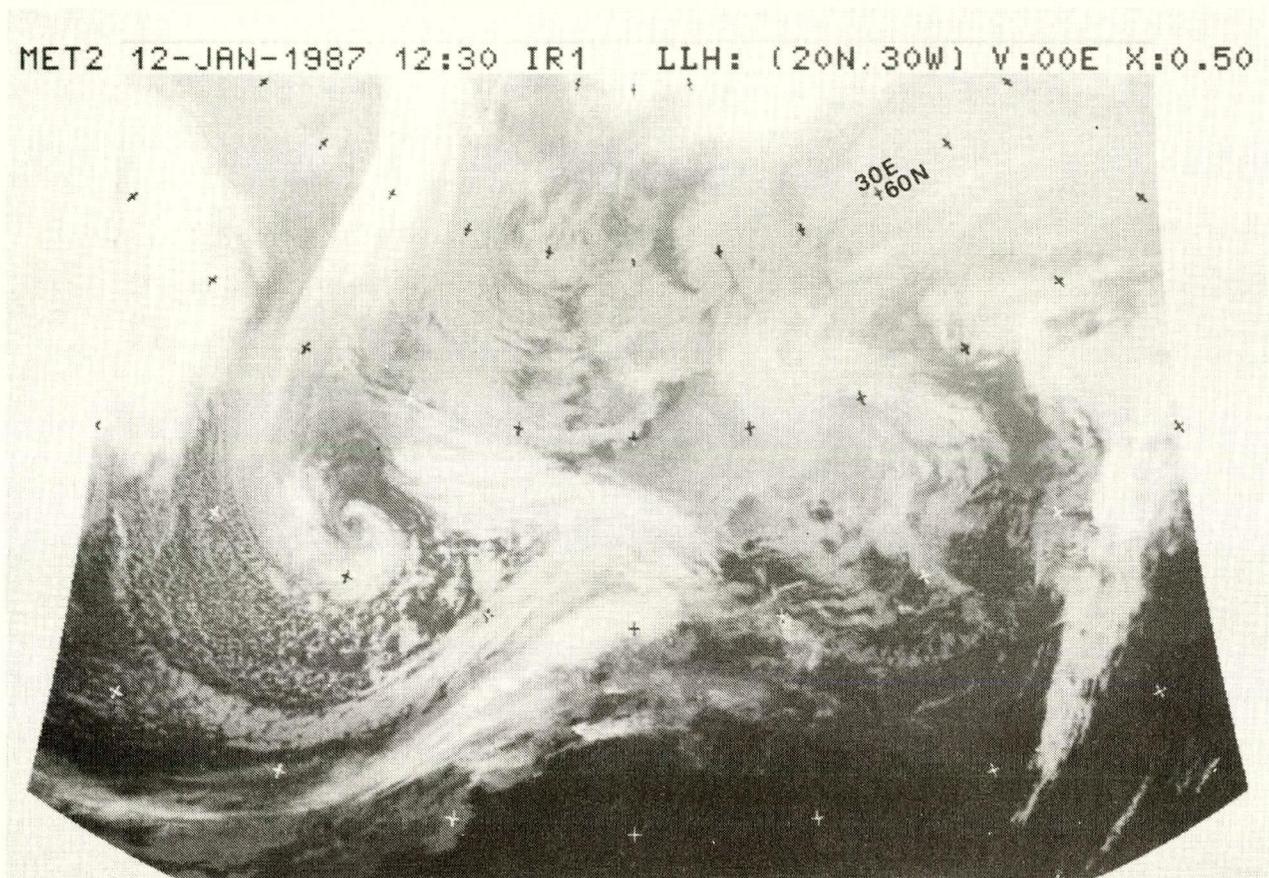


Fig. 27 Tout comme dans la précédente figure, les deux masses d'air polaire en interaction peuvent être identifiées de la même façon. La séparation du dôme d'air polaire du nord de l'Europe de la masse principale sibérienne a progressé. C'est ce qu'indique le rapprochement des deux champs de cirrus qui le borde au nord et au sud-est. L'identité de cette masse d'air est soulignée par l'évolution du tourbillon atlantique centré par $43^{\circ}\text{N}/21^{\circ}\text{W}$ ($42^{\circ}/26^{\circ}\text{W}$ le jour précédent). L'avance de l'air polaire atlantique se fait le long de son flanc sud-ouest. Le bloc qu'il représente conduit à la forme typique que forment vers le Golfe de Gascogne les nuages dans la masse d'air en avance et le renforcement des cirrus au nord de celle-ci.



Il est intéressant de remarquer que la configuration des strato-cumulus au-dessus du Skagerrak et de la Mer du Nord est identique à celle d'hier, montrant en plus la persistance du courant d'est dans les basses couches. Avec le déplacement vers l'Atlantique du dôme d'air polaire, la rotation anticyclonique du vent s'est déplacée vers l'ouest. Elle s'observe au-dessus du proche Atlantique.

La structure spirale de la masse d'air polaire précédemment au-dessus de la Méditerranée, maintenant sur les Balkans, s'est atténuée.

Les oscillations de la limite supérieure de l'air froid conduiront alors à des changements brusques et spectaculaires de la température aux stations sises aux altitudes voisines de cette limite supérieure comme l'illustre le diagramme d'Engelberg du 14 janvier 1987 (fig. 29

Les airs froids qui s'écoulent impétueusement dans la Vallée du Rhône en aval de Lyon proviennent des régions sises au nord de l'air glissant le long des Alpes. Cette violence est due à l'effet de canalisation de la Vallée du Rhône de l'air maritime à son passage en direction de la Méditerranée. A Marseille par exemple, le mistral atteindra dans les rafales la vitesse de 100 km/h par une température de -9°C !

Comme dans les chapitres précédents, la discussion de la pénétration de l'air polaire dans les Alpes et à leur voisinage se limitera) à la région suisse. Les observations synoptiques des stations hors des frontières montrent que l'évolution fut semblable à celle observée en Suisse.

Ainsi qu'il le fut déjà remarqué, au cours de sa dérive vers l'ouest, le flanc méridional de l'air surmontant le Nord de l'Europe déborde légèrement la partie occidentale des Alpes. Au sud des Alpes, dans cette région, l'air des couches moyennes, entre 2500 m/M et 4500 m/M se déverse dans la Plaine du Pô. Ce déversement s'effectue de façon laminaire, c'est-à-dire la structure feuilletée de l'air est maintenue durant cette action. C'est ce qu'illustre le parallélisme de la décroissance de la température pseudo-potentielle du thermomètre mouillé pour un choix de stations (fig. 30). Ce déversement n'est en soi qu'un épisode de courte durée. Par exemple, l'air le plus froid observé à Piotta ne descendra pas jusque dans la Plaine de Magadino. L'arrivée de cet air aux stations se signale par le début d'un vent foehnique. Le mot "foehnique" est préféré à foehn car la composante ascendante au vent de la montagne propre à ce dernier, manque dans cette évolution. Il n'y a ici qu'un simple déversement catabatique. Le diagramme de Lugano (fig. 31) est donné en guise d'illustration.

Seul en Lombardie, l'air subsident atteint le sol. A aucune altitude, l'est de la Plaine du Pô n'est touché par cet air. La limite est nettement tranchée. Par exemple, le vent foehnique chasse le brouillard

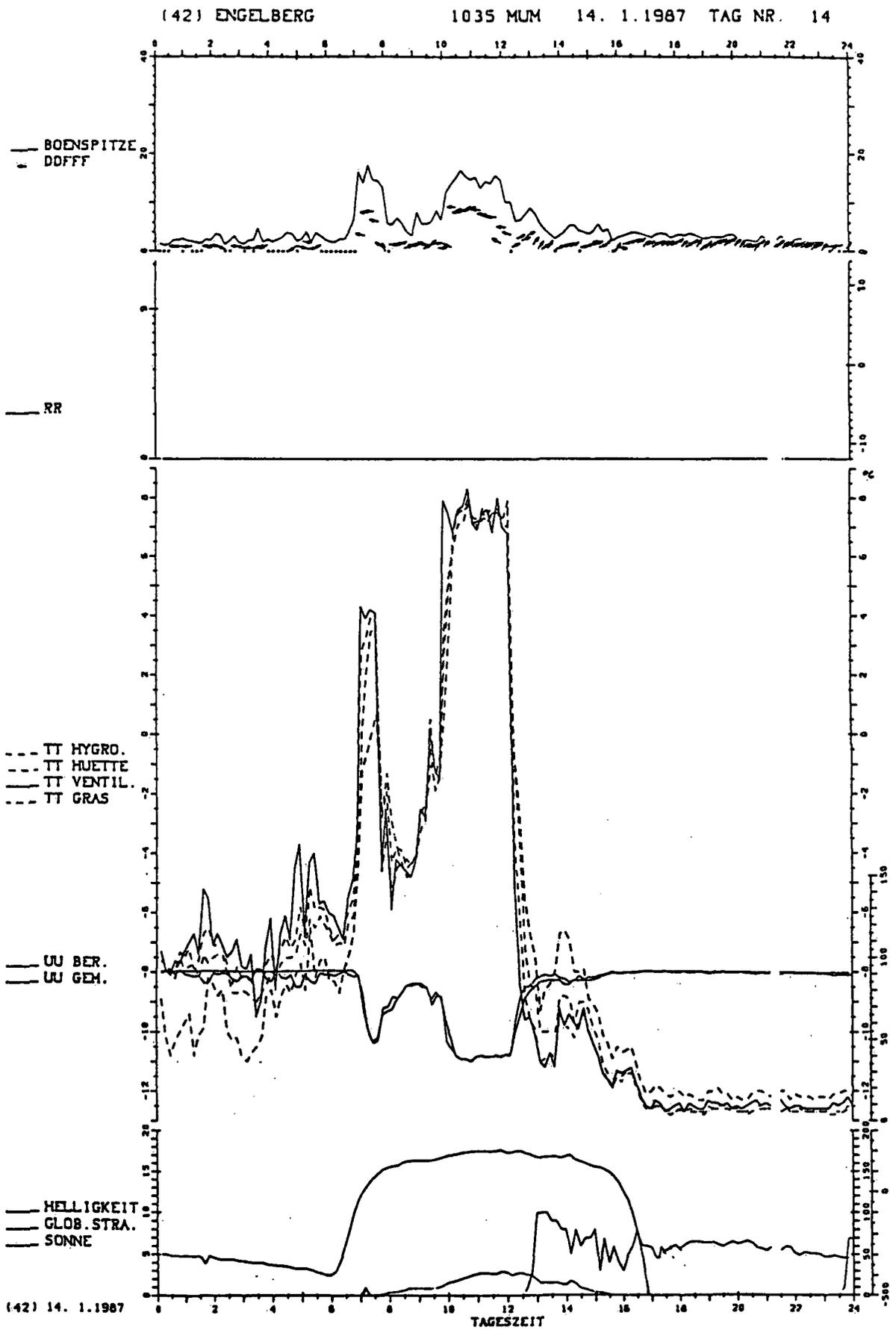


Fig. 29 Diagramme d'Engelberg du 14 janvier 1987
Légende: voir Figure 9

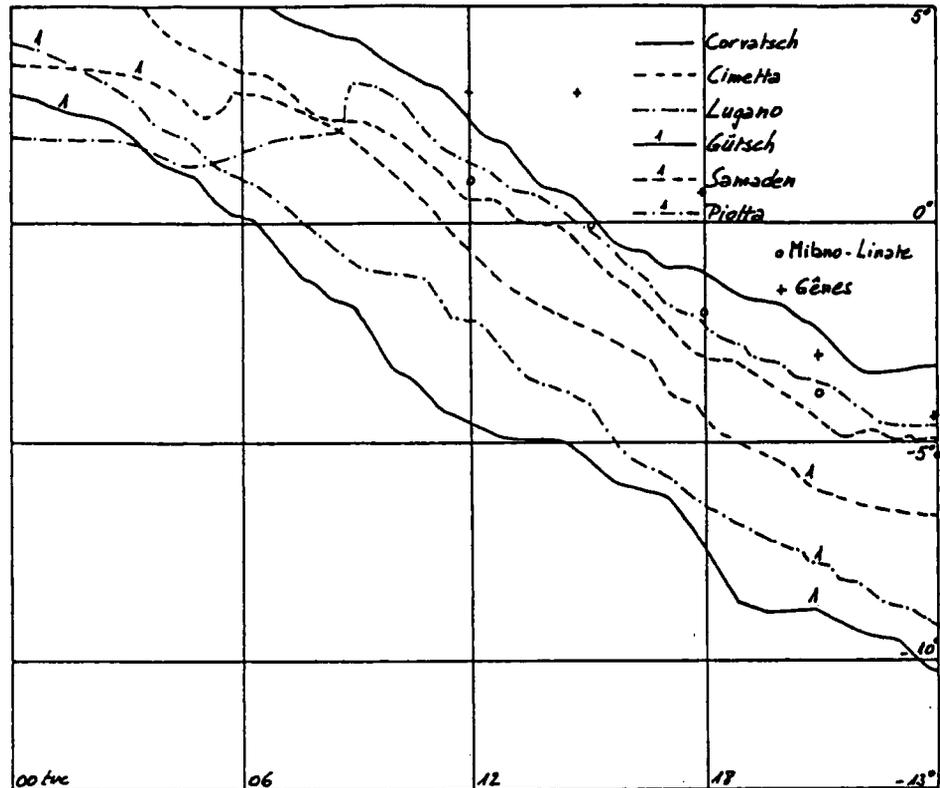


Fig. 30 Variation de la température pseudo-potentielle du thermomètre mouillé pour un choix de stations

à Milano-Linate, alors que Milano-Malpensa restera, et tout l'est de la Plaine du Pô, continuellement jusqu'au jour suivant dans le brouillard puis sous une couche de stratus. Le vent foehnique atteindra Gênes en début d'après-midi, le 11 janvier 1987.

L'avance de l'air maritime a déterminé le temps en Suisse durant toute la journée du 11 janvier 1987. De faibles chutes de neige y furent continuellement observées. Elles ne laissèrent que sporadiquement leur trace dans les enregistrements de précipitations. L'éclaircie ne débuta qu'en fin de soirée. La nuit fut claire et le jour suivant radieux. Le rayonnement nocturne n'étant pas diminué par la présence d'une couche de nuage ou de brume, la baisse de température accompagnant les changements d'air fut partiellement accentuée, bien qu'un léger vent persista durant toute la nuit.

La progression de la pellicule d'air froid fut régulière au-dessus du Plateau suisse. Son glissement vers l'ouest, faible à modéré, con-

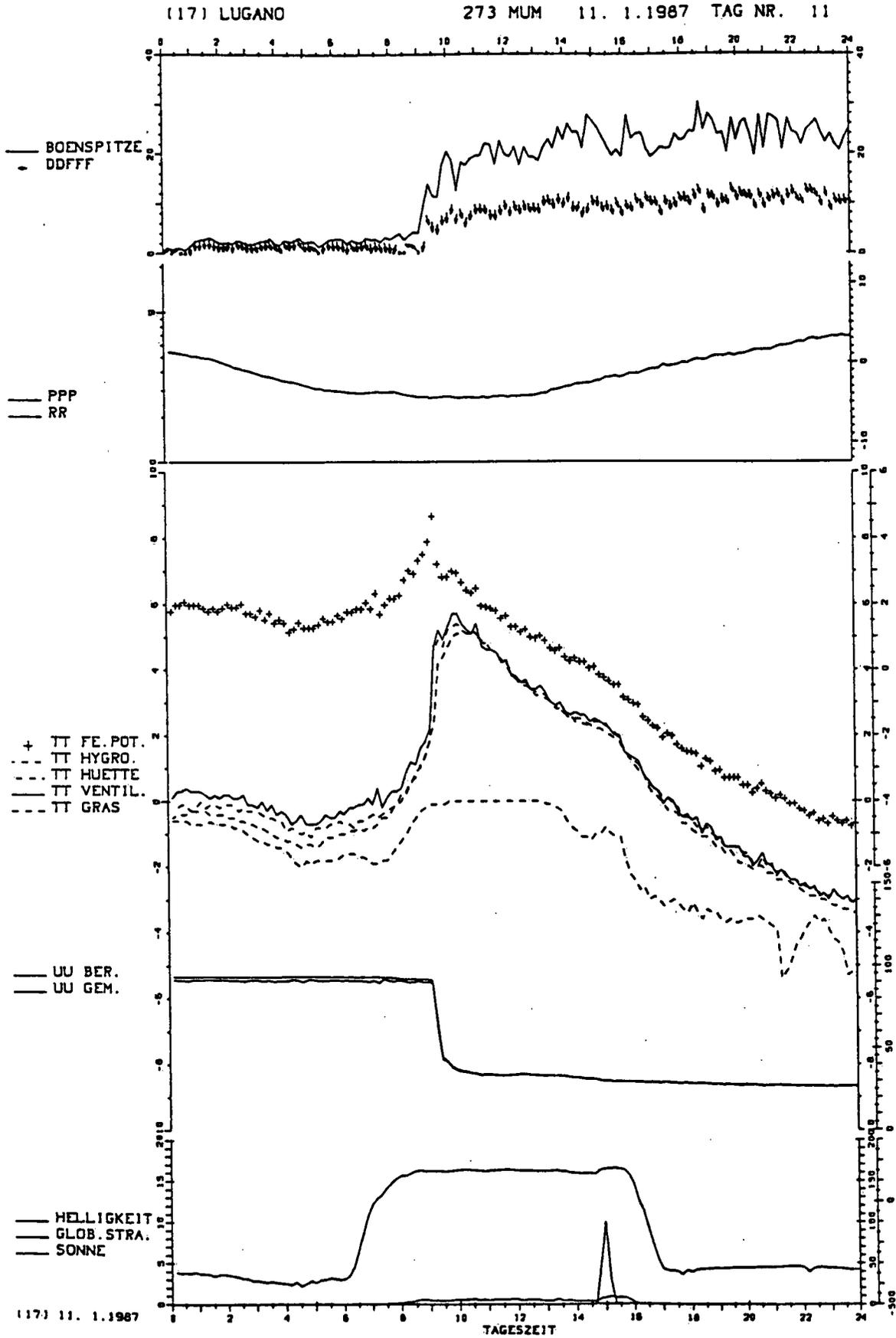


Fig. 31 Diagramme de Lugano du 11 janvier 1987
Légende: voir Figure 9

traste de façon saisissante avec l'impétuosité de l'air froid descendant la Vallée du Rhône, mentionnée auparavant. La diminution de la température et de celle pseudo-potentielle du thermomètre mouillé par paliers plus ou moins marqués selon les stations, plus nets pour les stations d'altitude, reflète en ceci la structure feuilletée de l'atmosphère. L'air le plus froid n'a touché que l'est de la Romandie. C'est ce qu'illustre les diagrammes correspondants de Genève-Cointrin et de Zurich-Kloten (fig. 32 et fig. 33) donnés ici à titre d'exemples. Le déplacement vers l'ouest de cette pellicule d'air froid est aisément discernable par les transformations des isothermes de la température pseudo-potentielle du thermomètre mouillé (fig. 34). Une correction de la contribution due au rayonnement nocturne y a été tentée.

L'air polaire pénètre, tout au plus avec un léger ralentissement dans les vallées alpines transversales du nord des Alpes, ainsi que dans celles des Grisons, sauf en Engadine puisque la limite supérieure de cet air reste en dessous de 2000 m/M. Etant potentiellement plus froid que l'air qu'il remplace, cette avance, à la différence des cas où l'air ancien est potentiellement plus chaud, se fait directement au-dessus du sol. Les diagrammes de Coire et de Disentis (fig. 35 et fig. 36) sont donnés à titre d'exemples.

De la même façon, l'air froid va pénétrer en Valais et remonter le Rhône jusque dans la région de Brigue. Par contre, un effet surprenant y est observé. Les vents sont sensiblement plus forts que la plupart de ceux observés aux stations du Plateau suisse. Dans les couches les plus basses, le vent d'ouest persistera non seulement toute la journée, mais également encore toute la nuit (fig. 37). L'exemple de Sion présenté à la figure 11 montre également la bonne isolation de la couche de neige (épaisseur de 3-4 cm), la température à -5 cm et -10 cm du sol restant constante. Ceci s'observe également à chaque station mesurant ces valeurs, quelque soit la baisse de température enregistrée. Dans les couches supérieures de la pellicule d'air froid, le vent d'ouest, c'est-à-dire la remontée de la vallée est moins régulière, mais tout aussi persistante. Dans la vallée de Conches, l'air descend la vallée. La valeur relativement basse de l'humidité relative laisse supposer un mouvement subsident de l'air froid, certainement du genre remarqué au sud des Alpes. Il ne s'agit

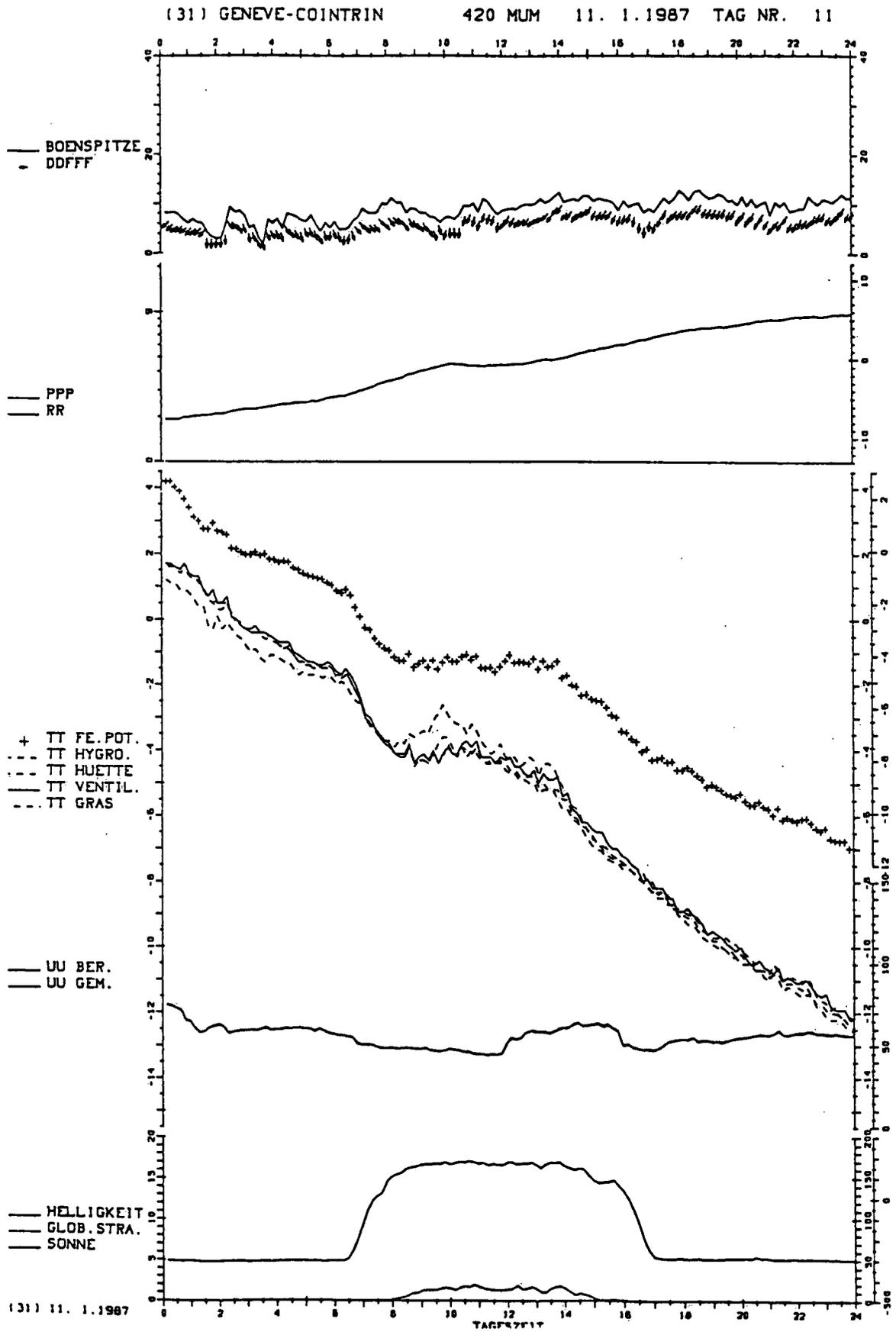


Fig. 32 Diagramme de Genève-Cointrin du 11 janvier 1987
Légende: voir Figure 9

(32) ZUERICH-KLOTEN 436 MUM 11. 1.1987 TAG NR. 11

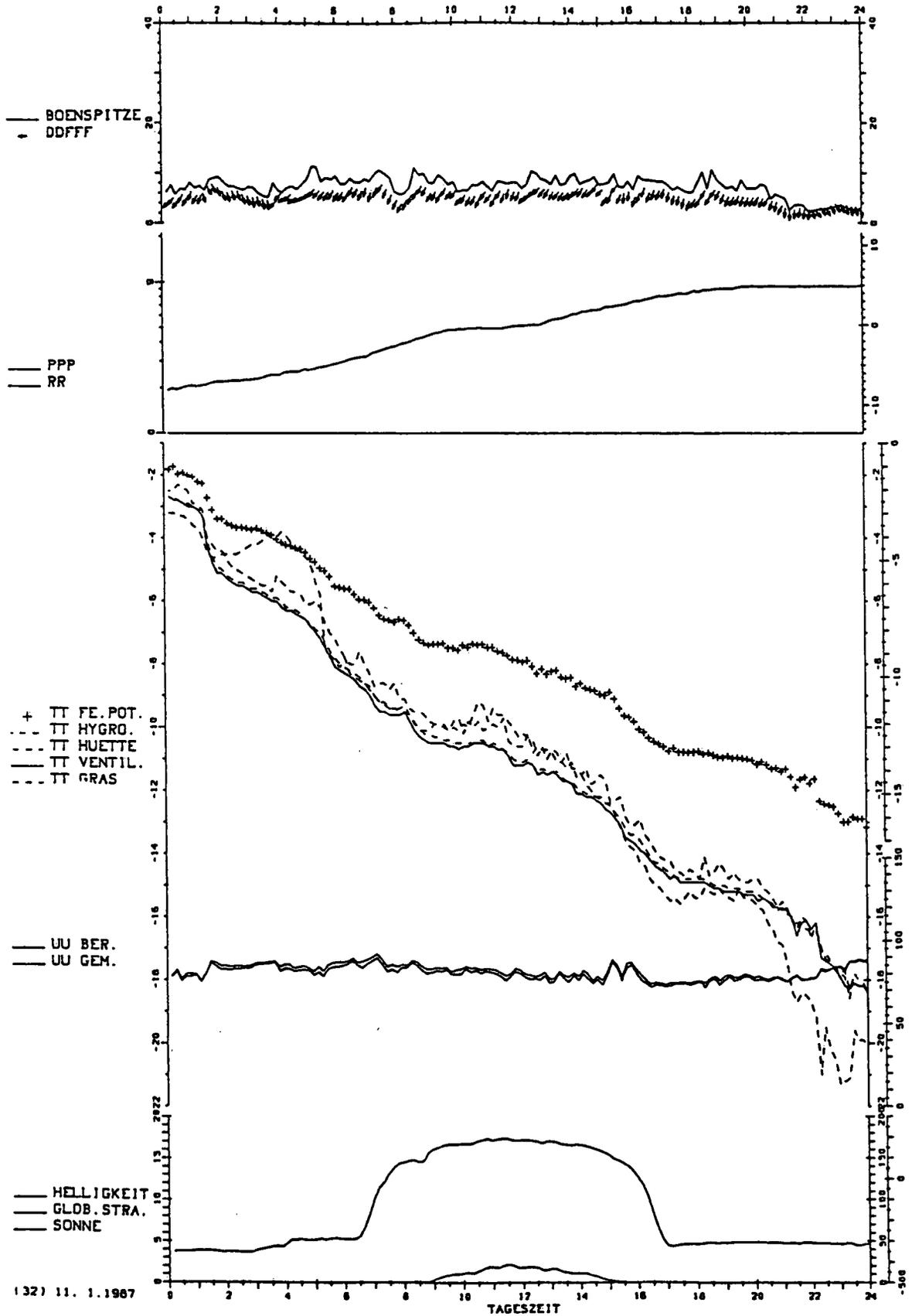


Fig. 33 Diagramme de Zurich-Kloten du 11 janvier 1987
Légende: voir Figure 9

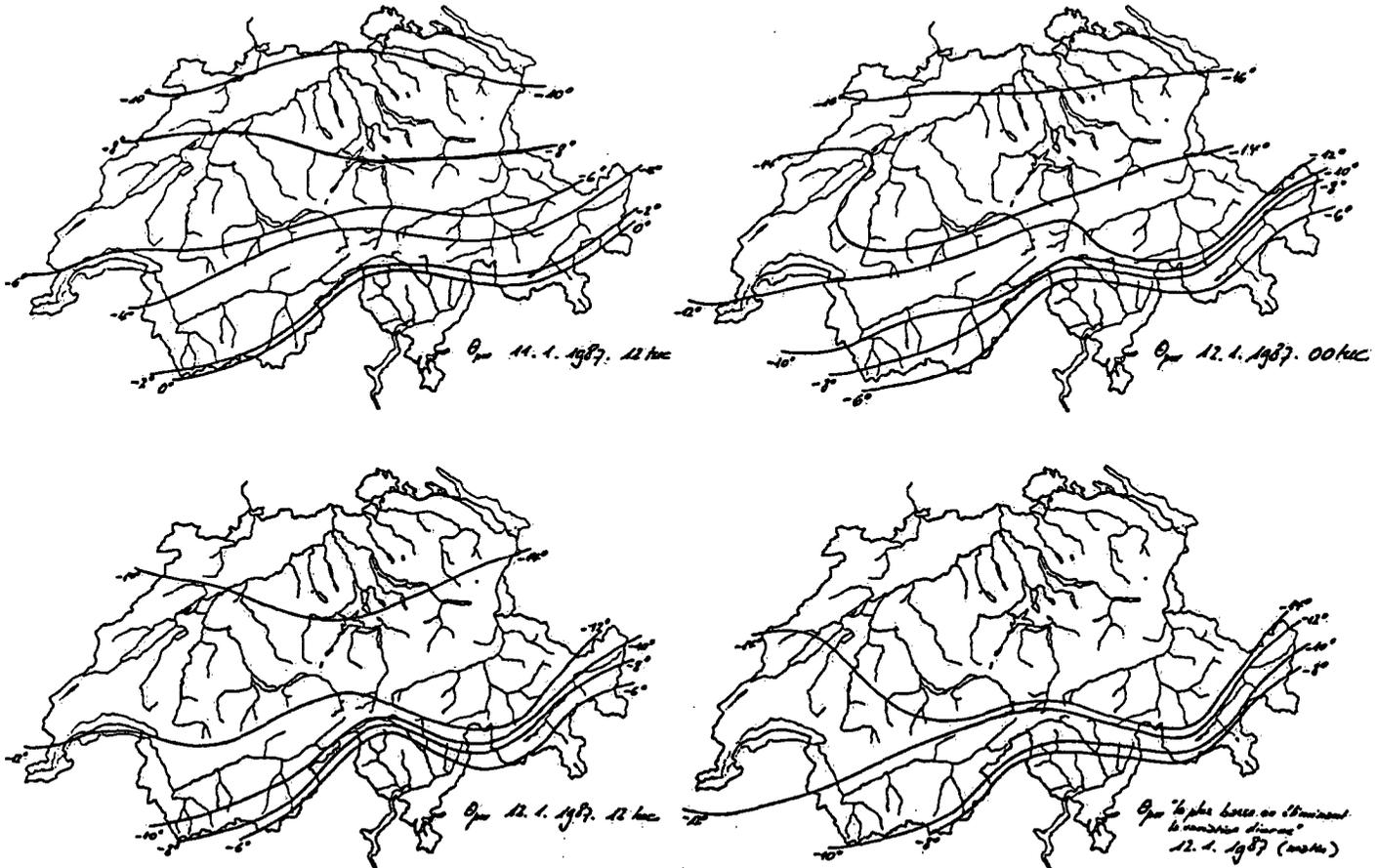


Fig. 34 Variation des isothermes, au niveau du sol, de la température pseudo-potentielle du thermomètre mouillé

en haut, à gauche	état le 11 janvier 1987, 12 tuc
en haut, à droite	état le 12 janvier 1987, 00 tuc
en bas, à gauche	état le 12 janvier 1987, 12 tuc
en bas, à droite	répartition de la valeur la plus basse en éliminant la variation diurne, atteinte le matin du 12 janvier 1987.

pas ici d'un régime de vent de vallée, la couverture nuageuse étant durant la journée restée forte et le sol étant recouvert de neige. Du reste, le lendemain, les vents resteront faibles et variables. Les calculs faits pour des conditions semblables à partir du modèle SHWAMEX (Schubiger et al., 1987) montrent qu'effectivement au début l'air entre dans la vallée, mais dès que l'état stationnaire est atteint, il a tendance à en ressortir. De toute façon, les vents du modèle n'atteignent de loin pas ces vitesses.

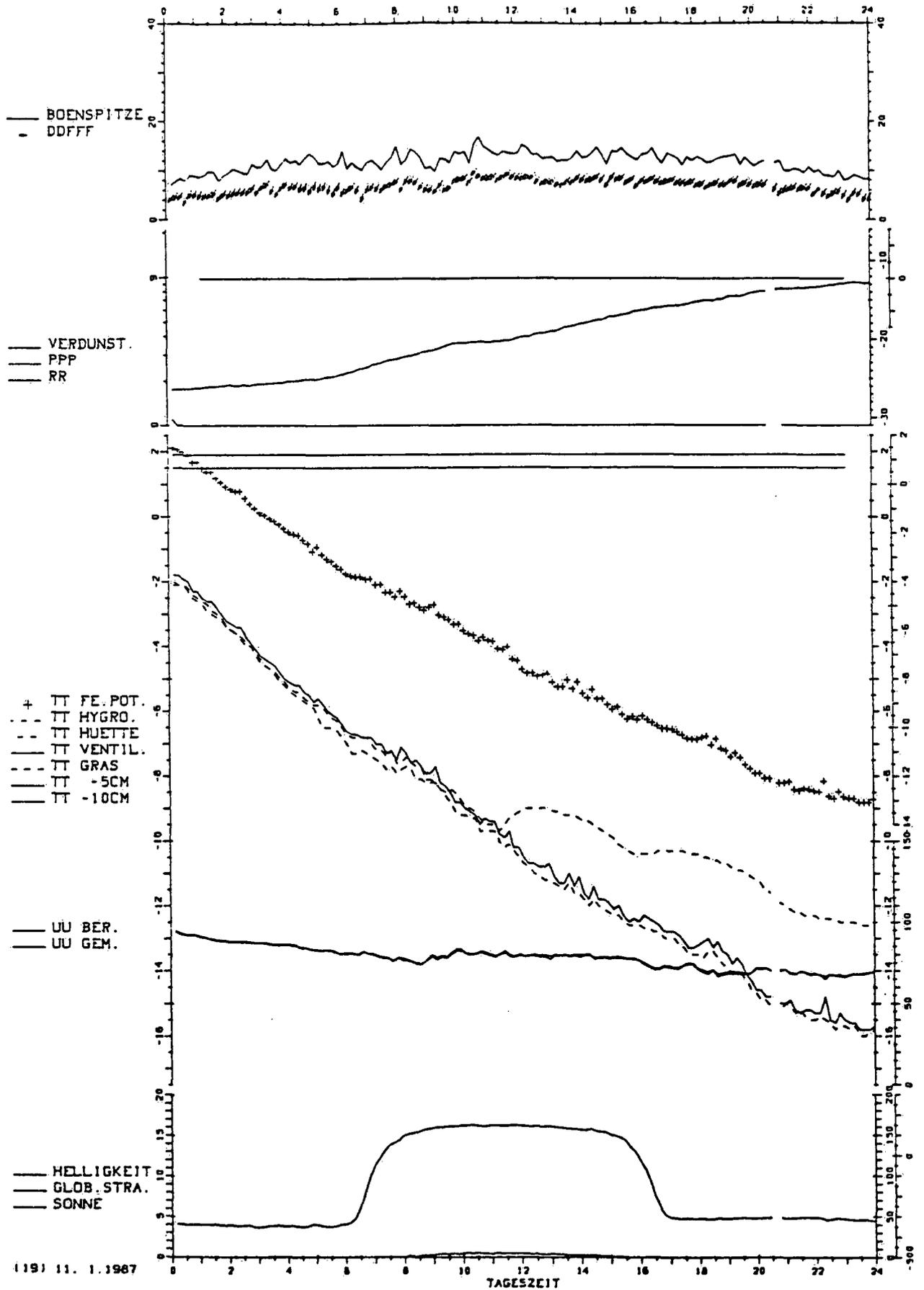


Fig. 35 Diagramme de Chur-Ems du 11 janvier 1987
Légende: voir Figure 9

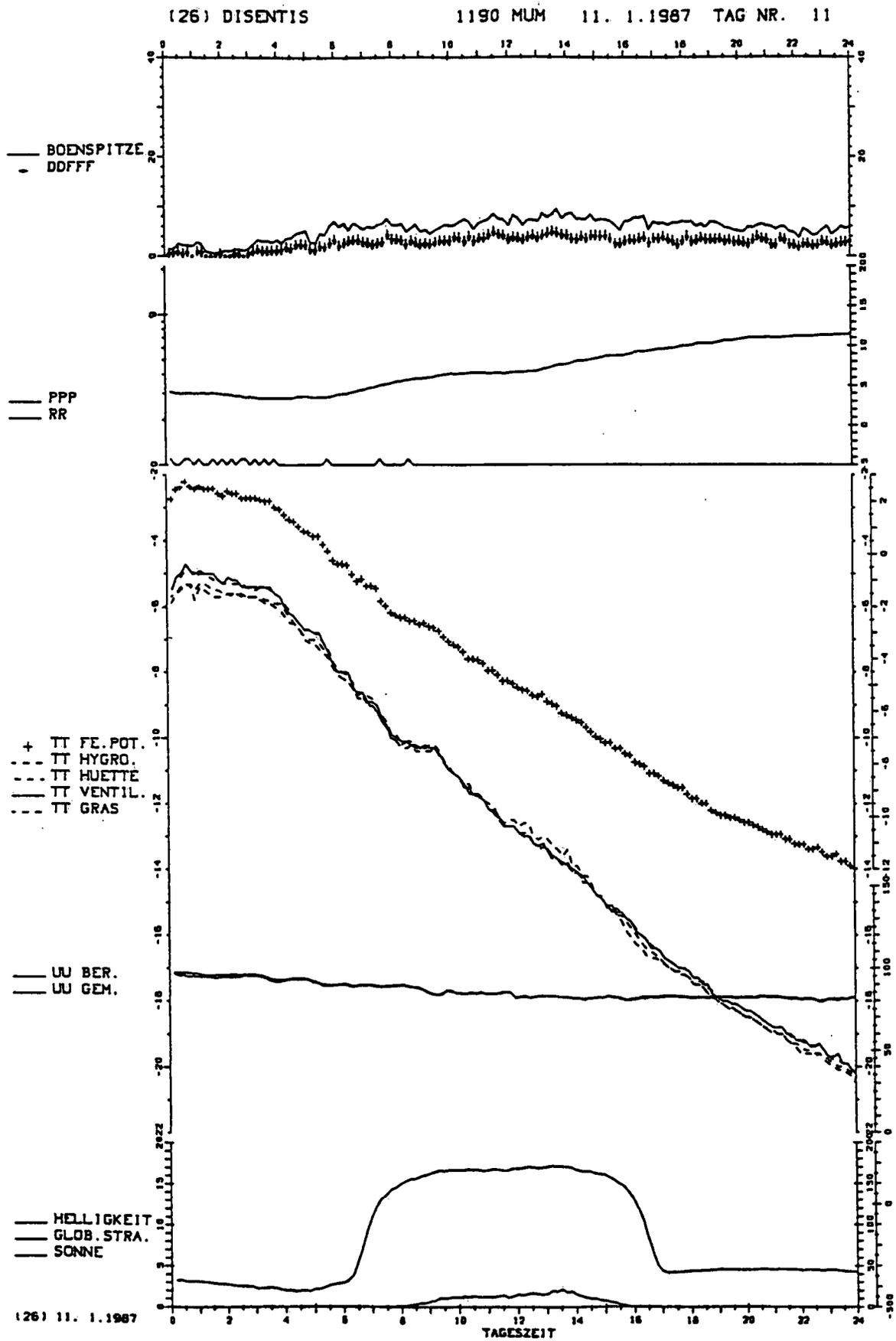


Fig. 36 Diagramme de Disentis du 11 janvier 1987
Légende: voir Figure 9

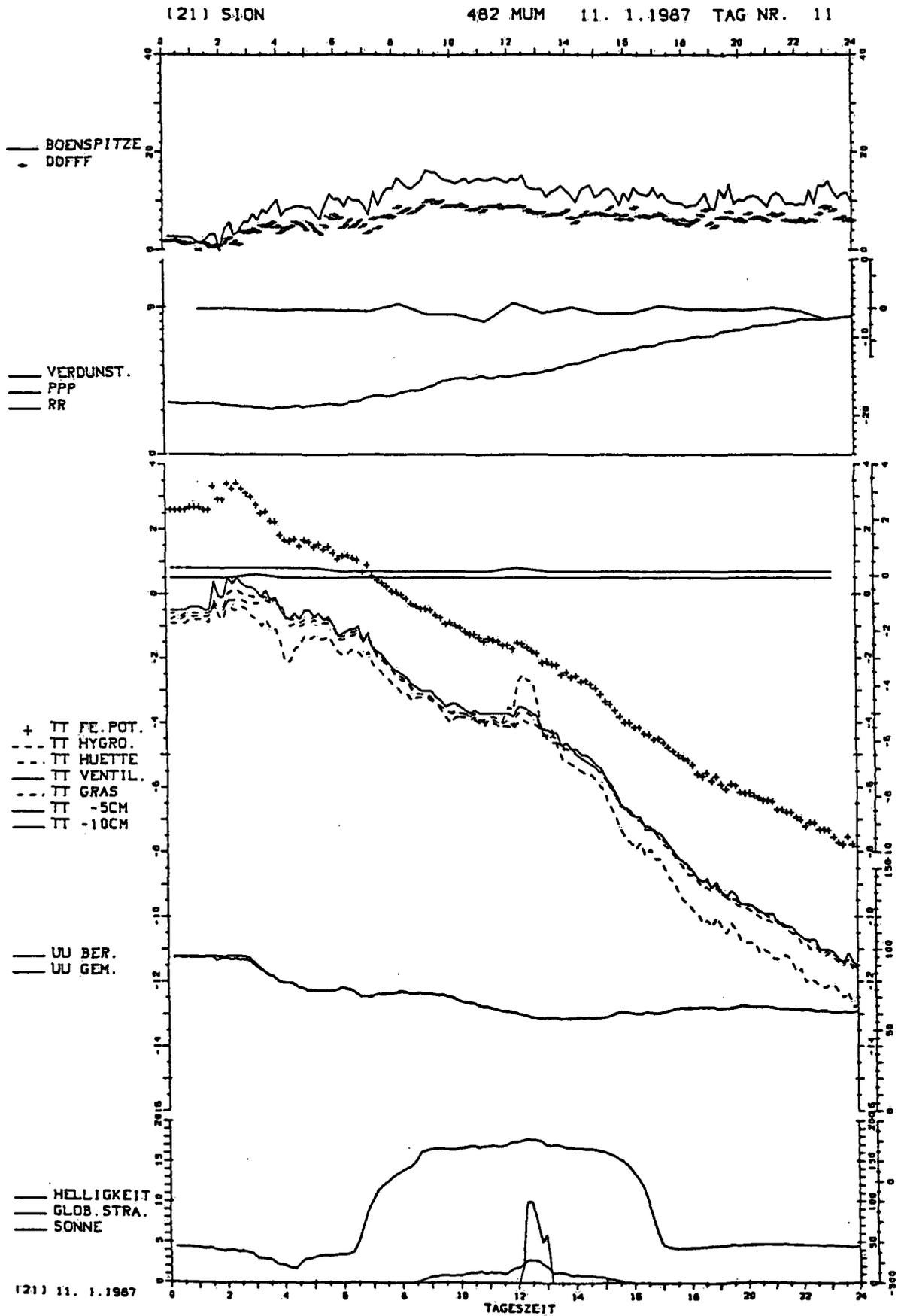


Fig. 37 Diagramme de Sion du 11 janvier 1987
Légende: voir Figure 9

5. Conclusions

Dans les deux exemples traités ici, confirmés par l'ensemble des autres cas étudiés et par l'expérience personnelle de l'auteur, les Alpes en tant que chaîne de montagnes ne perturbent aucunement le déplacement général de la masse d'air. Il a été remarqué que l'extension tri-dimensionnelle de l'air polaire en déplacement est largement supérieure à celle des Alpes. La hauteur moyenne de ces dernières voisine 3000 m/M, 3500 m/M dans les seules Alpes valaisannes et bernoises dans la région de la Blümlisalp/Jungfrau. Par contre, la partie stratosphérique de l'air polaire participe également au déplacement de celui-ci.

Tous les effets qu'ont les Alpes sont d'ordre secondaire, mais importants pour le temps dans les Alpes et à leur voisinage. Il n'est pas nécessaire d'entrer ici dans l'opposition barrage au côté au vent avec son temps généralement pluvieux et plus ou moins ensoleillé au côté sous le vent accompagné le plus souvent de foehn. Il faut tout au plus regretter la phraséologie utilisée parfois dans la rédaction des prévisions attribuant au foehn du sud le rôle de retarder l'avance de l'air polaire.

Le premier exemple traité illustre parfaitement la façon dont l'air pénètre dans les vallées alpines. Dans la majeure partie des cas, l'air primitif dans celles-ci est potentiellement plus froid que celui de la première vague d'air froid. Que la pénétration se fasse par vagues, c'est-à-dire que l'abaissement de la température se fasse par paliers est une suite de la structure feuilletée de la masse d'air, ici d'origine polaire, en déplacement. Ce n'est que l'air le plus froid, bien en arrière du "front" de l'air polaire et pour autant qu'il soit potentiellement plus froid que l'air primitif, qui finalement atteindra le fond des vallées alpines et descendra sous forme de foehn les vallées sous le vent pour atteindre ensuite la plaine. Le retard peut être de plusieurs heures, dans l'exemple du 27 novembre 1983, de quelque 18 heures pour les stations du Tessin.

Ce n'est que dans les cas relativement rares où l'air polaire nouveau est dès le début potentiellement plus froid que l'air primitif des vallées, qu'il pénètre pour ainsi dire sans retard dans les vallées alpines. C'est ce qu'illustre pour les stations du nord des Alpes l'exemple du 11 janvier 1987 et également celui du 27 novembre 1983 pour l'ensemble des stations au passage dans l'après-midi du 2e air polaire.

Bibliographie

- Bantle, H.; Piaget, A. und Quiby, J.; 1987
Die graphische Darstellung der 10-Minuten Datei der
automatischen Stationen des ANETZ. Beispiele ihrer
Anwendung und thermodynamische Betrachtungen
Arbeitsbericht Nr. 140 der SMA, Februar 1987
- Buzzi, A. and Sperenza, A.; 1982
Cyclogenesis in the lee of the Alps.
Mesoscale Meteorology-Theories, Observations and
Models Ed. by Lilly, D.K. and Gal-Chen, T. NATO ASI
Series
- Heimo, A.; 1985
Quality control of the Swiss network radiation data
Working Reports No. 134 of the Swiss Meteorological
Institute, Zurich.
- Kurz, M.; 1984
Frontogenese und Zyklone nördlich der Alpen
Proceedings of the XVIII. International Conference for
Alpine Meteorology, Opatija 1986 dans Zbornik 10
Beograd 1984
- Schär, C.; 1986
The Scientific Conference-Impressions of a Newcomer
ALPEX-Regional Bulletin No. 6
(Report on "Scientific Conference on the Results of
the Alpine Experiment" at Venice Nov. 1985)
- Schubiger, F.; de Morsier, G. and Davies, H.C.; 1986
Numerical Studies of mesoscale motion in a mixed layer
over the Northern Alpine Foreland
to be published in Boundary layer meteorology (special
item ICEA)
- Tosi, E.; Smith, R.B. and Bradford, M.L.; 1984
Aerial observations of a Gulf of Genoa cyclone.
Proceedings of the XVIII. International Conference for
Alpine Meteorology, Opatija 1986 dans Zbornik 10
Beograd 1984

Adresse de l'auteur

Dr. Alexandre Piaget
Leisibühl 30
CH-8484 Weisslingen

