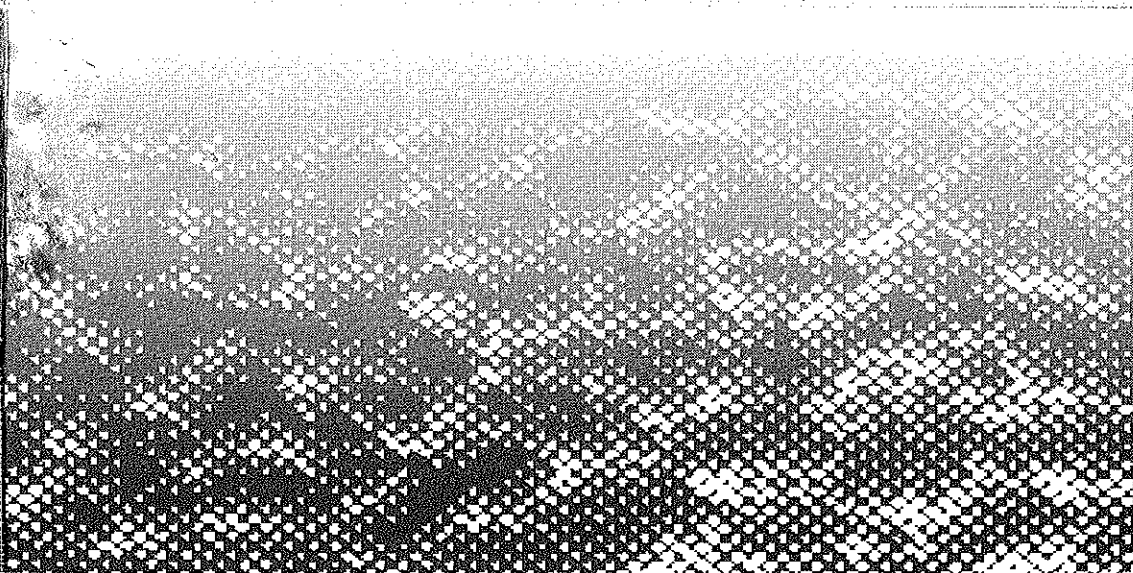




N°42
GROUPE DE METEOROLOGIE A MOYENNE ECHELLE
ATLAS DES ECOULEMENTS HYDROSTATIQUES
AUTOUR D'UN RELIEF IDEALISE

MARS 1996

Haraldur OLAFSSON

**CENTRE NATIONAL
DE RECHERCHES METEOROLOGIQUES**



METEO FRANCE



**METEO
FRANCE**

METEO-FRANCE

**CENTRE NATIONAL
DE RECHERCHES METEOROLOGIQUES**

**NOTE DE TRAVAIL
GROUPE DE METEOROLOGIE A MOYENNE ECHELLE**

N°42

**ATLAS DES ECOULEMENTS HYDROSTATIQUES
AUTOUR D'UN RELIEF IDEALISE**

Par

Haraldur OLAFSSON

MARS 1996

Atlas des écoulements hydrostatiques autour d'un relief idéalisé

Haraldur Ólafsson

RANNSÓKNASTOFA Í VEDURFRÆÐI, FYRSTA RIT

Table des matières

1	Introduction	4
2	Les paramètres directeurs	4
3	Les simulations numériques	4
3.1	Le modèle PERIDOT	4
3.2	Initialisation	5
3.3	Résolution et conditions aux limites	8
3.4	Validation des simulations	9
4	Les sorties des simulations	10
4.1	L'organisation des sorties des simulations et quelques conclusions	10
4.2	Simulations sans la force de Coriolis, sans gradient de pression et sans frottement au sol.	12
4.3	Simulations avec Coriolis, gradient de pression, mais sans frottement au sol .	36
4.4	Simulations avec Coriolis, gradient de pression, et frottement au sol	54
4.5	Quelques coupes hors des axes principaux dans les simulations avec $\hat{h} = 1.000$ et $\hat{h} = 4.545$	70
4.6	Lignes de courant en fonction du temps dans EX27P	82
5	Références	85



Abstract

The hydrostatic, primitive equation model PERIDOT has been used to simulate flow past smooth, analytic mountains. Data from these simulations is presented, together with a short description of the model, the numerical set-up and a review of the controlling nondimensional parameters. Table 1 gives an overview of the simulations. The numbers in the name of each simulation refer to the upstream value of $\hat{h}=Nh/U$, where N is the Brunt-Väisälä frequency, h is the mountain height and U is the upstream wind speed. The suffix 'P' indicates that the upstream flow is in geostrophic balance and the suffix 'PF' indicates the presence of surface friction. The horizontal sections show streamlines and wind speed at the surface, while the vertical sections show streamlines, isentropes together with turbulence kinetic energy, and horizontal wind components. The flow is down the page in the horizontal sections, from left to right in the vertical sections along the flow. Transversal vertical sections feature positive flow out of the page (towards the reader). Small schematic figures indicate the horizontal position of the section. Cross sections that do not follow the major axis of the mountain are at a distance of L_x (transversal sections) or L_y (sections along the flow) from the mountain top. The contours of turbulence kinetic energy are for every $0.5m^2s^{-2}$.

The flow in EX05 is qualitatively similar to linear theory (Smith, 1980; Phillips, 1984). The low level flow ascends the mountain and smooth, vertically propagating, mountain waves are created. The maximum wind speed is situated downstream of the mountain top. By increasing $\hat{h}$, we enter into the non-linear flow regimes. EX10 gives wave breaking on the axis of symmetry, but this has stopped before $\hat{h}$ reaches the value of 3.4 (EX34). Breaking continues however at higher values of $\hat{h}$ on each side of the axis of symmetry. The onset of wave breaking does not change the low level morphology of the flow in EX10, but at higher values of $\hat{h}$, stagnation occurs in the surface flow. Recirculation is created on the axis of symmetry above the upstream slope as well as between two stationary vortices in the lee. This regime of splitted flow places the surface wind maxima in the laterally diverted flow, on each side of the axis of symmetry. The flow is symmetric.

By introducing a pressure gradient and the Coriolis force, the symmetry is broken. The upstream blocking is moved right (facing downstream) and more flow is diverted to the left, where the maximum surface wind is to be found. Breaking of the mountain waves is also enhanced on the left side. The non-stationary lee vortices are advected downstream. By introducing surface friction, the surface wind speed is strongly reduced. The surface wind maxima are now found on the right side of the wake. Surface friction reduces the wave activity and eliminates all wave breaking.

Some scientific conclusions from these numerical experiments are presented in Ólafsson and Bougeault (1996 a and b). The transition from "flow over" to "flow around" the mountain has the character of a bifurcation where the low level morphology is radically changed by stagnation and recirculation. Surface friction smoothens this transition and shows in fact no stagnation in the upstream surface flow, although the flow is to a large extent diverted around the mountain. This is presumably related to redistribution of horizontal momentum. Similarly, surface friction slows down the increase in maximum surface wind in the laterally diverted flow, as $\hat{h}$ is increased. A comparison of EX14 and EX14P reveals that the absence of the Coriolis force and a large scale pressure gradient favours flow splitting. At $\hat{h}=1.0$ and $\hat{h}=1.4$, the simulations without surface friction give a very pronounced wave activity and high drag. For higher and increasing

$\hat{h}$, the waves as well as the drag are gradually reduced. At this stage, the presence of the dynamic sources ($EX_{xx}P$) increases the drag through greater accumulation of low level dense air above the upstream slope. Surface friction reduces the drag in the high drag regime, but increases the drag at high $\hat{h}$. The drag reduction effect of surface friction is due to its negative impact on the mountain waves, but the drag increasing effect of surface friction is related to enhanced subsidence of warm air in the lee. An interesting aspect of the flow at high $\hat{h}$, is that a significant part of it is still diverted vertically, rather than laterally. Yet, the wave activity is strongly reduced. This indicates that studying laterally and vertically diverted flow separately may not give realistic results. A possible explanation of this reduced wave activity is advection of low level dense air in the lee. Many features of the flow past an elongated mountain may be looked at as an exaggerated version of flow past a circular mountain. For instance, both the wave activity as well as the effects of flow splitting are more pronounced in the flow past the mountain ridge than in flow past the circular mountain.

1 Introduction

Ce document présente de manière extensive les résultats d'un ensemble de simulations des écoulements hydrostatiques autour d'une montagne idéalisée. Les simulations ont été effectuées en 1994 et 1995 au Centre National de Recherches Météorologiques à Toulouse avec le modèle PERIDOT de Météo-France. Elles ont été exploitées scientifiquement dans ma thèse et dans deux articles (Ólafsson et Bougeault, 1996 a et b). Il a paru intéressant de réunir ici de manière plus systématique un ensemble des sorties graphiques, pour référence et utilisation ultérieure. Pour résoudre les divers problèmes, j'ai reçu l'aide de plusieurs personnes au sein du GMME. Je tiens surtout à remercier Philippe Bougeault, Isabelle Beau, Geneviève Jaubert, Pierre Lacarrère, Yvan Lemaitre, Valéry Masson et Joël Stein. Financièrement, ce travail a été soutenu par le Conseil Scientifique Islandais, l'Institut de Recherches Météorologiques d'Islande et le Centre National de Recherches Météorologiques à Toulouse.

2 Les paramètres directeurs

Nous considérons uniquement des écoulements avec des profils amont de vent et stabilité constants dans la direction verticale. L'humidité n'est pas prise en compte.

Une analyse dimensionnelle permet de montrer que les écoulements orographiques hydrostatiques et stationnaires autour d'une montagne d'une forme donnée ne dépendent que de quelques nombres sans dimension. (voir par exemple Smith et Grønås, 1993). Les paramètres qui constituent ces nombres sans dimension sont la stabilité ou fréquence de Brunt-Väisälä $N = \frac{g\delta\theta}{\delta z}$, le vent U , la hauteur de l'obstacle h , la largeur (longueur) de l'obstacle L , (L_x dans notre cas), et le paramètre de Coriolis f . Les nombres sans dimension qui gouvernent un écoulement hydrostatique et Boussineq qui rencontre un obstacle (montagne) sont:

- La hauteur adimensionnelle $\hat{h} = \frac{Nh}{U}$
- Le nombre de Rossby $Ro = \frac{U}{fL}$
- L'allongement de la montagne $R = \frac{L_y}{L_x}$

ou L_x est la demi-largeur de la montagne dans la direction de l'écoulement, et L_y est la demi-largeur dans la direction perpendiculaire au sens de l'écoulement.

3 Les simulations numériques

3.1 Le modèle PERIDOT

Le modèle PERIDOT (Prévision à Echéance Rapprochée Integrant des Données Observées et Télédéfectées) a été développé par Météo-France pour prévoir le temps en temps réel et également pour servir comme un outil de recherche (Imbard et al., 1986).

PERIDOT utilise une coordonnée verticale définie par

$$\sigma = \frac{P}{P_s} \quad (1)$$

où P est la pression et P_s est la pression au sol.

Les équations prognostiques de PERIDOT sont

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = -\frac{1}{P_s} \left\{ \frac{\partial(P_s U)}{\partial x} + \frac{\partial(P_s V)}{\partial y} + \frac{\partial(P_s \dot{\sigma})}{\partial \sigma} \right\} - K_D(Z - Z_b) \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -U \frac{\partial T}{\partial x} - V \frac{\partial T}{\partial y} - \dot{\sigma} \frac{\partial T}{\partial \sigma} + \frac{\omega R_a}{p C_p} T + \left\{ \frac{\partial T}{\partial t} \right\}_V + \left\{ \frac{\partial T}{\partial t} \right\}_H - K_D(T - T_b) \quad (3)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -U \frac{\partial U}{\partial x} - V \frac{\partial U}{\partial y} - \dot{\sigma} \frac{\partial U}{\partial \sigma} - \frac{\partial \phi}{\partial x} + fV - R_a T \frac{\partial Z}{\partial x} + \left\{ \frac{\partial U}{\partial t} \right\}_V + \left\{ \frac{\partial U}{\partial t} \right\}_H - K_D(U - U_b) \quad (4)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -U \frac{\partial V}{\partial x} - V \frac{\partial V}{\partial y} - \dot{\sigma} \frac{\partial V}{\partial \sigma} - \frac{\partial \phi}{\partial y} - fU - R_a T \frac{\partial Z}{\partial y} + \left\{ \frac{\partial V}{\partial t} \right\}_V + \left\{ \frac{\partial V}{\partial t} \right\}_H - K_D V \quad (5)$$

Les quatre variables prognostiques sont $Z = \log P_s$, les deux composantes du vent horizontal U et V , et la température T . $\dot{\sigma}$ est la vitesse verticale en coordonnées σ , ϕ est le géopotentiel, f est le paramètre de Coriolis, et les termes indicés par V et H sont la diffusion verticale et horizontale. L'indice b indique la valeur au bord du domaine de simulation.

Le géopotentiel est calculé par la relation hydrostatique:

$$\phi = \phi_s - \int_0^{\log \sigma} RT d(\log \sigma). \quad (6)$$

On emploie un schéma de turbulence (Bougeault and Lacarrère, 1989) qui introduit une cinquième variable prognostique: l'énergie cinétique turbulente (e), suivant l'équation

$$\frac{\partial e}{\partial t} = -u \frac{\partial e}{\partial x} - v \frac{\partial e}{\partial y} - \dot{\sigma} \frac{\partial e}{\partial \sigma} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \rho \overline{w' e'} - \overline{w' u'} \frac{\partial u}{\partial z} - \overline{w' v'} \frac{\partial v}{\partial z} + \beta \overline{w' \theta'} - \epsilon \quad (7)$$

Les termes à droite représentent l'advection horizontale et verticale, le transport turbulent, la production par cisaillement vertical du vent, le terme de flottabilité et le terme de dissipation. Les coefficients K sont une fonction de l'énergie cinétique turbulente: $K = C_k l_k \sqrt{e}$. C_k est une constante et l_k est une longueur de mélange verticale.

La discrétisation horizontale emploie la grille Arakawa C que montre la figure 1. Les vitesses U et V sont calculées entre les points où est défini m (le facteur d'échelle) et on évalue q , T et ϕ . Ce décalage permet un calcul plus correct des termes de pression et d'advection horizontale.

Sur la verticale, tous les champs T , q , V et U sont calculés aux demi-niveaux, mais la vitesse verticale généralisée $\dot{\sigma}$ est évaluée aux niveaux σ .

3.2 Initialisation

La Table 1 résume les simulations qui sont présentées dans cette note. Les deux chiffres après le mot clé "EX" indiquent la valeur de $\hat{h}$, le "P" indique la présence d'un

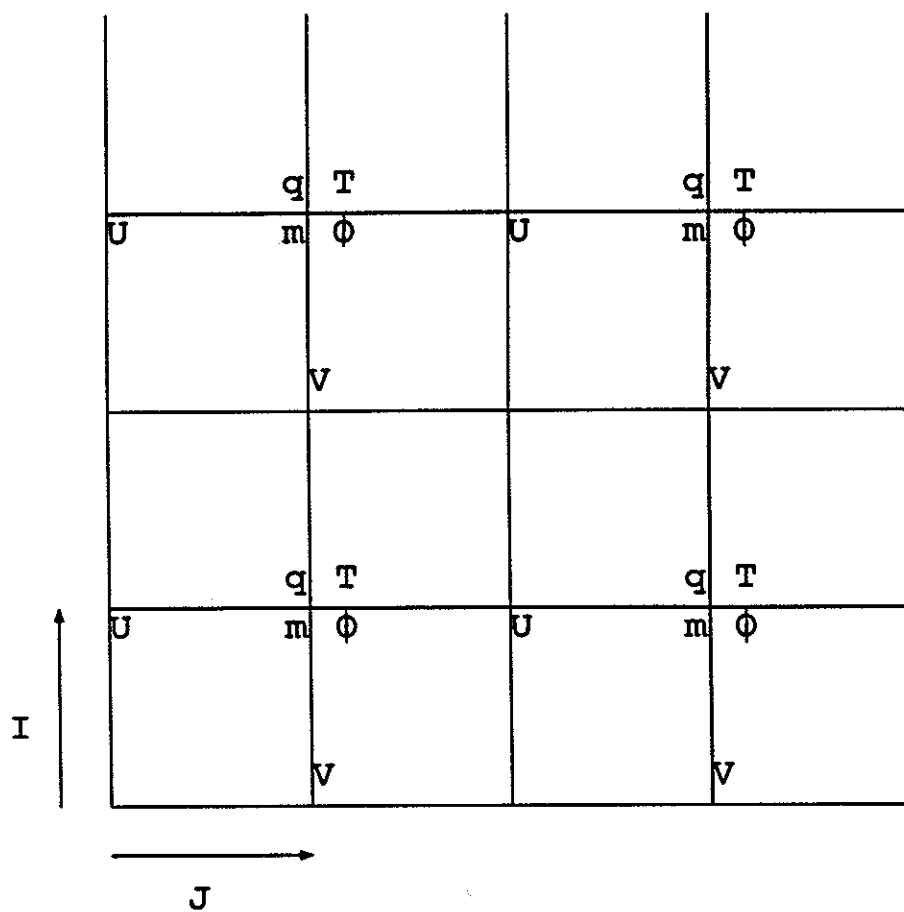


Figure 1: La grille horizontale de PERIDOT

Domaine (10 ⁴ m)	L _y (km)	L _x (km)	R	N (s ⁻¹)	h (m)	U (ms ⁻¹)	$\hat{h}$	$\nabla P = 0$ $f = 0$ free-slip	$\nabla P \neq 0$ $f \neq 0$ free-slip	$\nabla P \neq 0$ $f \neq 0$ no-slip
123 x 123	20	4	5	10 ⁻²	500	10	0.500	EX05	EX05P	EX05PF
123 x 123	20	4	5	10 ⁻²	1000	10	1.000	EX10	EX10P	EX10PF
123 x 123	20	4	5	10 ⁻²	1400	10	1.400	EX14	EX14P	EX14PF
123 x 123	20	4	5	10 ⁻²	2273	10	2.273	EX22	EX22P	EX22PF
123 x 123	20	4	5	10 ⁻²	2700	10	2.700	EX27	EX27P	EX27PF
123 x 123	20	4	5	10 ⁻²	3400	10	3.400	EX34		
123 x 123	20	4	5	10 ⁻²	4545	10	4.545	EX45	EX45P	EX45PF
123 x 123	20	4	5	10 ⁻²	4545	10	4.545	EX45NT		
123 x 123	20	4	5	10 ⁻²	6818	10	6.818	EX68		
123 x 123	20	4	5	10 ⁻²	1364	2	6.818		EX68P12	
63 x 63	4	4	1	10 ⁻²	1000	10	1.000	EX10c	EX10cP	EX10cP
63 x 63	4	4	1	10 ⁻²	2700	10	2.700	EX27c	EX27cP	EX27cP
63 x 63	4	4	1	10 ⁻²	4545	10	4.545	EX45c		

Table 1: Les simulations présentées dans cette note

forçage par un gradient de pression, en équilibre avec la force de Coriolis en absence de la montagne. La valeur de f est $10^{-4}s^{-1}$ ($Ro = 2.5$), sauf dans EX68P12 où $f = 1.4 \times 10^{-4}s^{-1}$, qui donne $Ro = 0.36$. Le "F" à la fin des noms des simulations de la dernière colonne dans table 1 indique la présence de frottement au sol. Dans toutes ces simulations, la rugosité est définie comme

$$Z_0 = \max \{0.1m, 5.556 \cdot 10^{-3}h(x, y)\} \quad (8)$$

Ainsi, le Z_0 reste proportionnel à $h(x, y)$ (la hauteur de sol) sur la montagne, ce qui est une bonne approximation de la réalité. Sur la plaine, Z_0 est fixé à $0.1m$. Il faut noter qu'avec le frottement, la $\hat{h}$ -similitude n'est plus strictement valable. Les basses couches des simulations avec frottement au sol sont initialisées avec une spirale d'Ekman. Cette spirale est obtenue de la manière suivante: Le modèle est initialisé avec une spirale d'Ekman, construite manuellement, et on effectue une simulation sur un domaine sans obstacle de 63×63 points avec une rugosité $Z_0 = 0.1m$. Cette simulation tourne jusqu'à l'écoulement arrive à un état stationnaire (environ 5 heures). Le profil vertical au milieu du domaine de l'écoulement simulé ainsi sert à initialiser nos simulations avec frottement au sol. Dans les couches supérieures, l'écoulement est géostrophique. Ceci confirme la qualité de notre technique pour initialiser et simuler un écoulement où le gradient de pression est équilibré par la force de Coriolis.

Le modèle est initialisé avec $N = 0.01s^{-1}$ (voir figure 2) et $U = 10ms^{-1}$ dans la direction x , sauf pour EX68P12 où $U = 2ms^{-1}$.

L'humidité est mise à zéro et le rayonnement est négligé.

Après 10 unités de temps adimensionnel, la plupart des paramètres de l'écoulement ont atteint une valeur qui est stationnaire ou quasi-stationnaire. Toutes les figures montrent l'écoulement à $t^* = \frac{U_t}{L_x} = 16.2$, sauf celles qui montrent l'évolution temporelle.

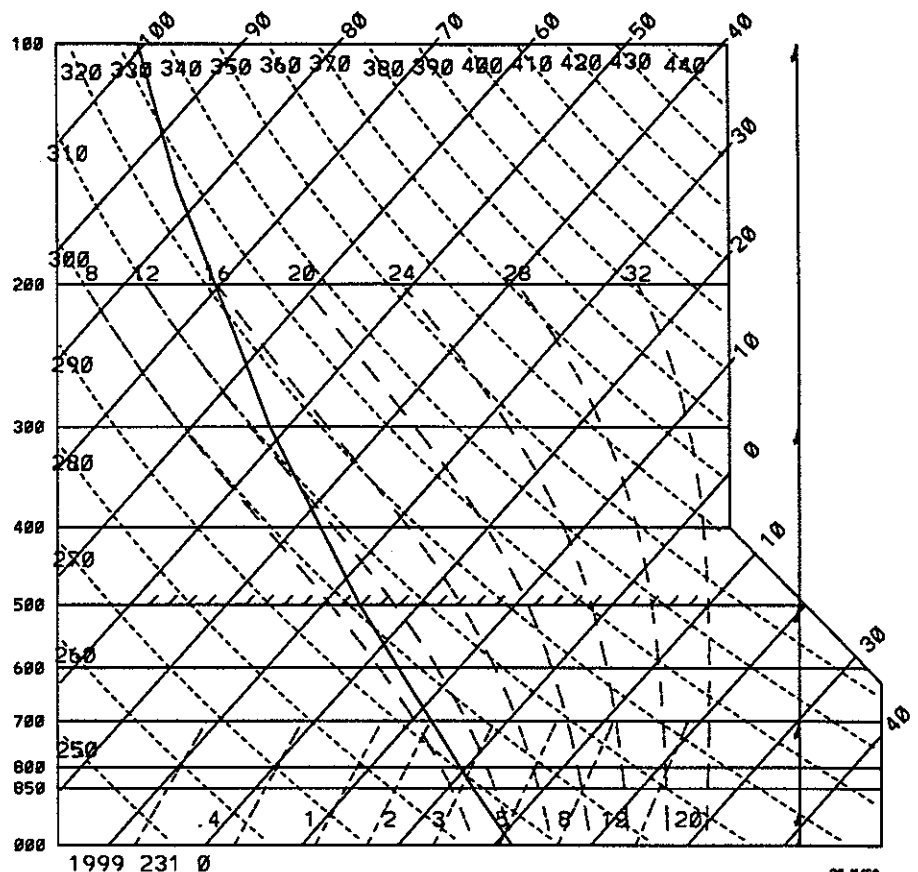


Figure 2: Le profil de stabilité où $N = 0.01s^{-1}$

Une discussion plus approfondie sur l'approximation d'un état stationnaire est donnée dans Ólafsson et Bougeault (1996a et b) et dans Stein (1992).

3.3 Résolution et conditions aux limites

La montagne est définie par

$$h(x, y) = \frac{h_{max}}{(1 + (\frac{x}{L_x})^2 + (\frac{y}{L_y})^2)^{1.5}} \quad (9)$$

$L_x=40$ km et $L_y=200$ km dans les simulations avec $R=5$. Pour $R=1$, $L_x=L_y=40$ km. h_{max} , souvent écrit h , est la hauteur maximale de la montagne.

Les simulations ont été effectuées dans un domaine de 123×123 points avec une maille horizontale de 10 km. Le calcul dans la direction verticale se fait sur 40 niveaux σ , qui figurent dans table 2. Cette résolution verticale avec les mêmes valeurs de σ à été employée dans des études de la trainée orographique et de la rugosité au sol dans le cadre de PYREX (Beau, 1992).

Au sommet du modèle, on emploie un absorbant de type Rayleigh (Klemp et Lilly, 1978) qui modifie les champs de vent et température suivant l'équation

0.033	0.039	0.044	0.051	0.058	0.066	0.074	0.083	0.094	0.105
0.117	0.130	0.144	0.160	0.176	0.194	0.213	0.234	0.257	0.280
0.306	0.333	0.363	0.394	0.427	0.463	0.501	0.541	0.584	0.629
0.677	0.728	0.782	0.840	0.889	0.928	0.959	0.982	0.995	1.000

Table 2: Les niveaux σ

$$\nu = \nu_t \sin^2 \left\{ \frac{Z - Z_b}{Z_t - Z_b} \right\}, \quad (10)$$

où ν est le facteur de modification pour chaque pas de temps et $\nu_t = \frac{5U}{L_x}$. Z_b et Z_t sont les limites en bas et en haut de la zone absorbante. On place Z_b à une hauteur de deux longueurs d'onde verticales, $2\pi U/N = 12.57$ km et Z_t à un niveau de trois longueur d'onde verticales, $3\pi U/N = 18.85$ km.

Sur les côtés, on rappelle toujours l'écoulement vers les même valeurs de U , V , et N qui servent pour initialiser la simulation en question. Ainsi, le vent sur les bords en amont et aval est géostrophique (dans les simulations avec la lettre "P" dans leur nom). Pour les simulations qui portent "PF" dans leur nom, la spirale d'Ekman, avec laquelle les simulations ont été initialisées est présente sur les bords. La relaxation de Davies et un filtre Asselin sont utilisés.

3.4 Validation des simulations

La partie adiabatique de PERIDOT à été validée pour des écoulements orographiques par Stein (1992), mais pour bien établir la qualité de nos simulations, nous avons effectué a nouveau quelques tests où nous comparons les résultats de PERIDOT avec la théorie linéaire et d'autres simulations numériques. La similitude en $\hat{h}$, avec et sans le schéma de turbulence a également été vérifiée.

- Pour le régime linéaire, on compare les résultats du calcul de Smith (1980) et Phillips (1984) avec simulations d'un écoulement qui rencontre une montagne avec $h = 50m$ et $R = 1$ et $R = 2$. Smith (1980) à montré que les ondes générées par la montagne (ou le maximum d'énergie des ondes) prennent sur une coupe horizontale, la forme d'une parabole qui s'ouvre de plus en plus avec l'altitude. Ce phénomène est bien reproduit par notre modèle et les valeurs du déplacement vertical correspondent à celles de Smith (1980). Le dipôle de pression est donné dans la table 3. On compare les valeurs simulées avec le calcul de Smith (1980) pour $R = 1$ et avec Phillips (1984) pour $R = 2$.
- Pour un écoulement bloqué ou non-linéaire, nous avons comparé les résultats de notre modèle avec Smolarkiewicz et Rotunno (1989 et 1990). On reproduit des phénomènes comparables, c'est à dire les vortex en aval, une zone bloquée en amont et une forte diminution des ondes au-dessus de la montagne pour $\hat{h} = 4.545$. Une comparaison détaillée est présentée par Ólafsson et Bougeault (1996b).
- Les simulations EX45 et EX45NT ont aussi été simulées avec une combinaison de N , h et U différente de celle décrite dans la section précédente. Avec $N = 0.01414s^{-1}$, $h = 2273m$ et $U = 7.07ms^{-1}$, la similitude est assez bien reproduite,

R	Val. théorique	Val. simulée amont	Val. simulée aval
1	0.385	0.408	0.335
2	0.454	0.429	0.409

Table 3: Les valeurs théoriques et simulées des anomalies de pression. Le pression est adimensionalisé avec $\rho_0 U N h$.

surtout pour les cas sans énergie turbulente. La plus grande partie de l'écoulement contourne la montagne et les ondes en altitude sont faibles. Les vortex en aval se reproduisent très bien et les différences de la vitesse maximale adimensionalisée au sol sont inférieures à 10%.

4 Les sorties des simulations

4.1 L'organisation des sorties des simulations et quelques conclusions

Sur les coupes horizontales, on montre les lignes de courant au sol (σ_{40}) et la vitesse du vent au même niveau. (Il faut noter que l'intervalle entre les lignes de courant n'est pas proportionnel à la vitesse dans ces graphiques). L'écoulement entre en haut et descend la page. Sur les coupes verticales alignées avec l'écoulement on montre les lignes de courant, l'énergie cinétique turbulente (avec une intervalle de $0.5m^2s^{-2}$) superposée sur le champ de la température potentielle, et les deux composantes du vent. Le sens d'écoulement est de gauche à droite. Les coupes transversales à l'écoulement montrent les deux composantes du vent. Par convention, la vitesse est positive en sortant de la page (vers le lecteur). Avec chaque coupe verticale, il y a une petite figure schématique qui montre la position de la coupe. Les coupes hors des axes principaux sont toutes faites à une distance d'une demi-largeur du sommet de la montagne (Les coupes alignées avec l'écoulement à une distance L_y et les coupes transversales à une distance L_x du sommet).

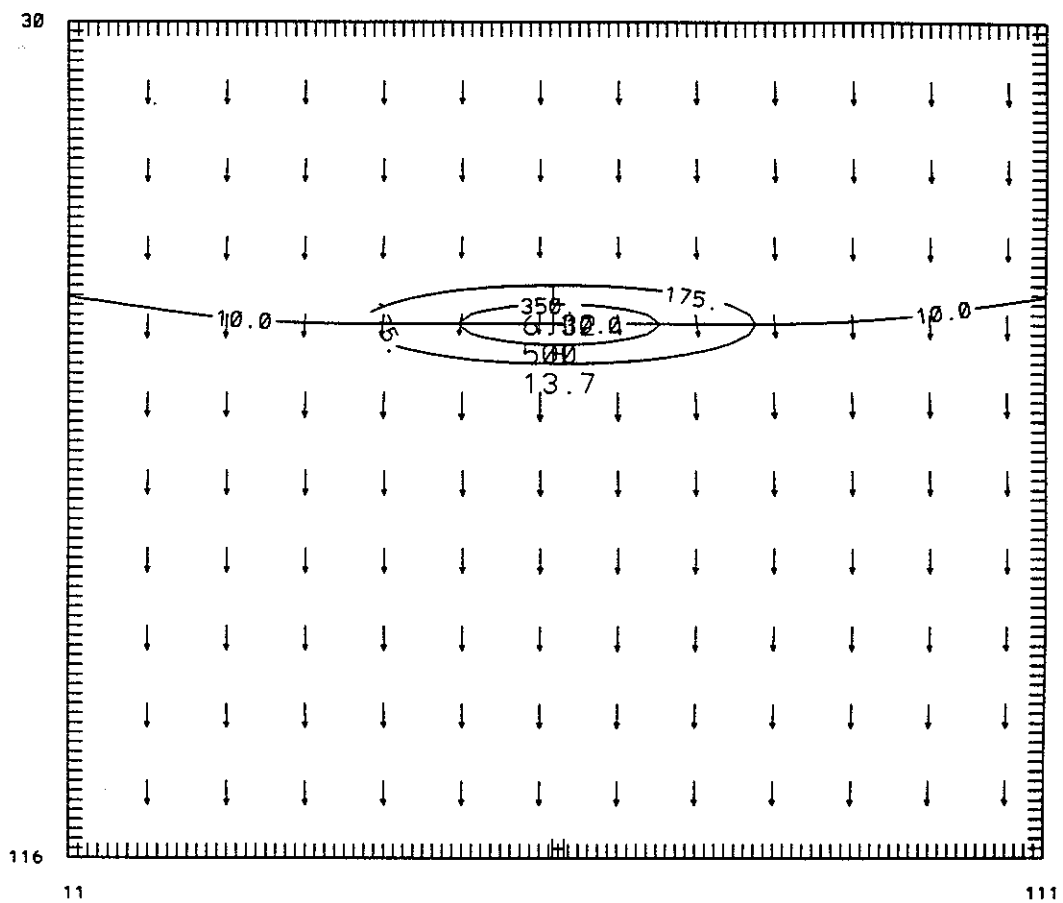
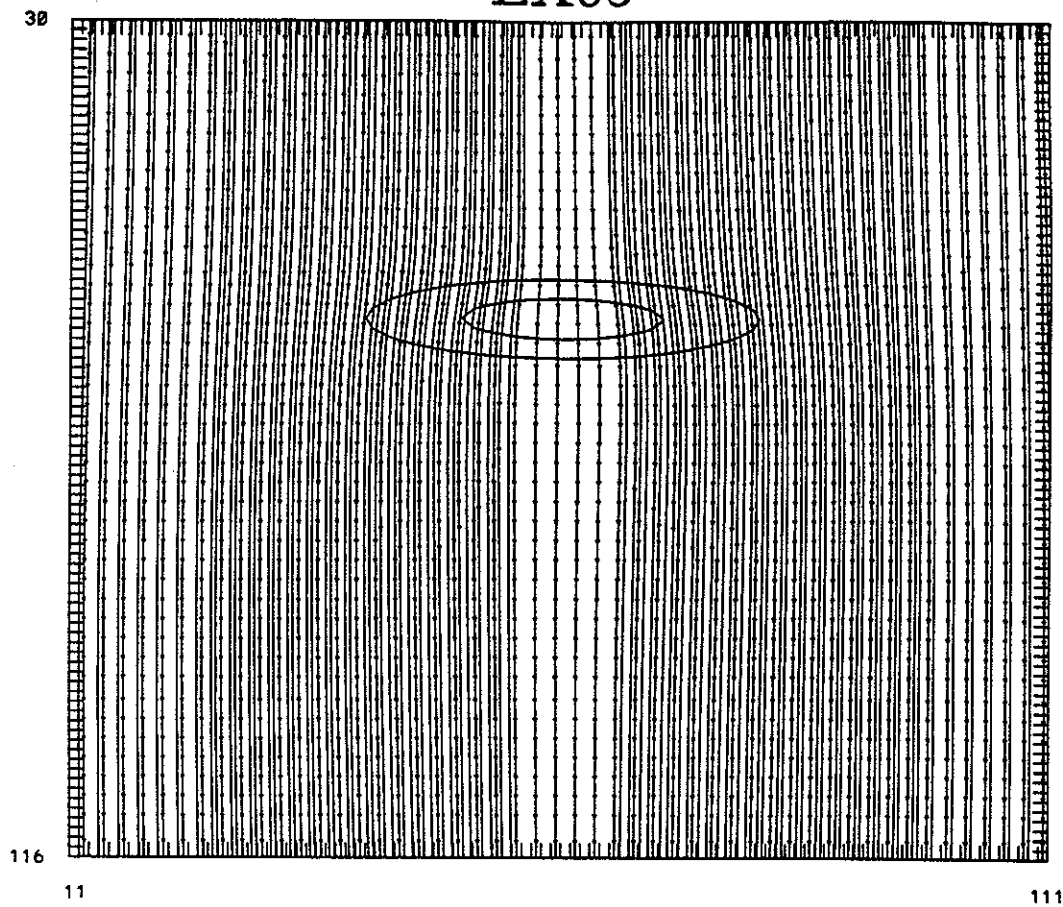
La simulation EX05 ressemble le plus aux résultats analytiques linéaires (Smith, 1980; Phillips, 1984). L'écoulement des basses couches monte la montagne, au-dessus de laquelle on trouve des ondes non-déferlantes qui se propagent verticalement. La vitesse maximale au sol est située sur la pente en aval, derrière le sommet de la montagne. En augmentant $\hat{h}$, on entre dans les régimes non-linéaires. Déjà dans EX10, l'onde déferle sur l'axe de symétrie. Pour $\hat{h} \geq 3.4$, le déferlement n'existe plus sur l'axe de symétrie, mais il en reste sur les deux côtés de cet axe. Le déferlement ne change pas la morphologie de l'écoulement près de la surface dans EX10, mais pour des valeurs plus élevées de $\hat{h}$ on observe un changement radical de celle-ci: sur les deux côtés de la montagne, en amont et aval des points d'arrêt se forment. En amont, une zone de recirculation figure sur l'axe de symétrie et en aval, une paire de vortex se forme et donne également une zone de recirculation sur l'axe de symétrie. Les maxima de la vitesse du vent au sol se trouvent maintenant sur les deux cotés de l'axe de symétrie, dans le courant qui contourne la montagne. L'écoulement est symétrique.

L'introduction d'un gradient de pression et la force de Coriolis (les simulations avec

un 'P' dans leur nom) détruit la symétrie. La zone bloquée en amont est décalée à droite (en regardant dans la direction de l'écoulement), mais la plus grande partie de l'écoulement est dirigée à gauche où se trouve la vitesse maximale du vent au sol. Le déferlement des ondes est aussi favorisé sur ce côté de la montagne. Dans cet écoulement asymétrique, les vortex en aval ne sont plus stationnaires ni symétriques: ils sont maintenant advectés avec le courant. Les simulations avec frottement au sol (avec 'PF' dans leur nom) montrent une forte réduction de la vitesse du vent dans les basses couches. La vitesse maximale au sol change de position par rapport aux simulations sans frottement, mais avec la force de Coriolis. Maintenant, elle se trouve sur le côté droit du sillage. La présence du frottement réduit considérablement l'activité ondulatoire et supprime entièrement le déferlement.

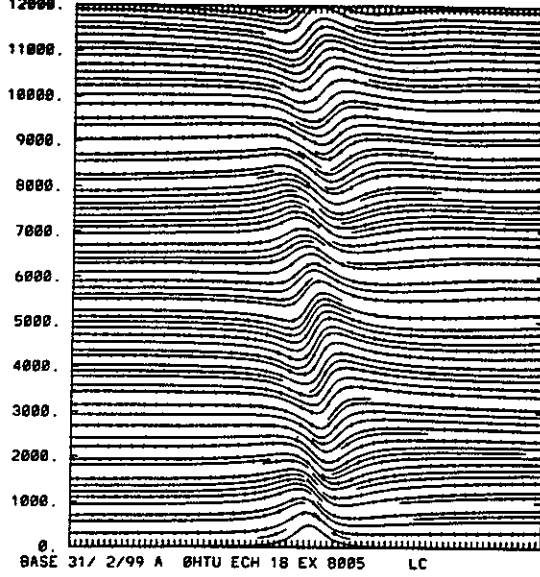
La transition entre les régimes d'écoulement autour de la montagne et au-dessus de la montagne a un caractère de bifurcation dans les simulations sans frottement au sol où se forment des points d'arrêt et des zones de recirculation. L'effet de frottement est de lisser ce changement. La morphologie à la surface en amont reste toujours la même où le frottement est présent. Ce phénomène doit être lié à une redistribution de la quantité de mouvement. L'augmentation de la vitesse maximale au sol avec une augmentation de $\hat{h}$ est aussi plus lente dans les simulations avec frottement. Une comparaison entre EX14 et EX14P montre que le régime d'écoulement bloqué est favorisé par l'absence du gradient de pression et de la force de Coriolis (les sources dynamiques). Les simulations avec $\hat{h}=1.0$ et $\hat{h}=1.4$ montrent une activité ondulatoire très prononcée avec des valeurs fortes de la traînée au sol. En augmentant $\hat{h}$, les ondes et la traînée se diminuent. Dans ce régime bloqué, les sources dynamiques (EXxxP) augmentent l'accumulation de l'air dense au-dessus de la pente amont, ce qui conduit à une augmentation de la traînée au sol. Le frottement diminue la traînée dans le régime de traînée élevée, mais augmente celle-ci dans le régime des hautes valeurs de $\hat{h}$. La diminution de la traînée est liée à la réduction de l'activité ondulatoire, mais l'augmentation de la traînée s'explique par la descente d'air chaud en aval, favorisée par le frottement. Un aspect intéressant de l'écoulement est la déviation verticale qui est toujours importante, même pour les valeurs les plus élevées de $\hat{h}$. Pourtant, les ondes au-dessus de la montagne sont très réduites. Ceci indique que des études basées sur une séparation des couches de l'écoulement qui ascendent et qui contournent la montagne, peuvent donner des résultats faux. Une explication possible de la faiblesse des ondes aux valeurs élevées de $\hat{h}$ est l'advection d'air dense dans les basses couches en aval de la montagne. La plupart des phénomènes de l'écoulement autour d'une montagne circulaire, par exemple les ondes au-dessus de la montagne et des effets du blocage amont, se reproduisent d'une manière plus prononcée dans l'écoulement autour d'une montagne elliptique.

EX05

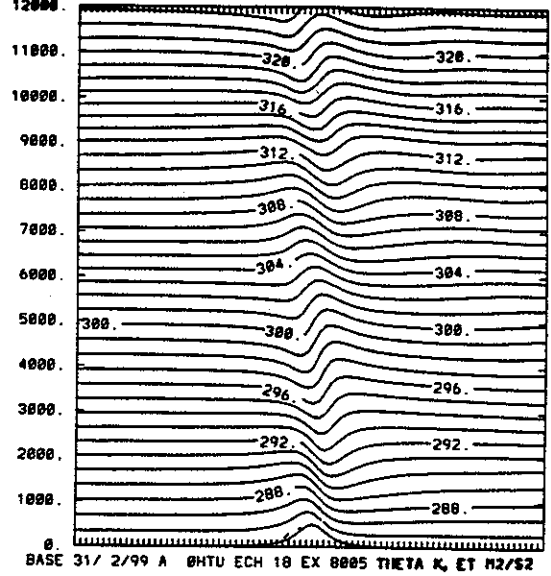


EX05

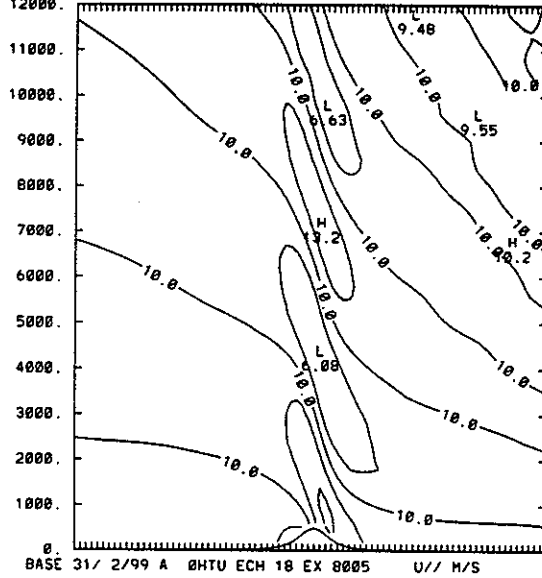
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



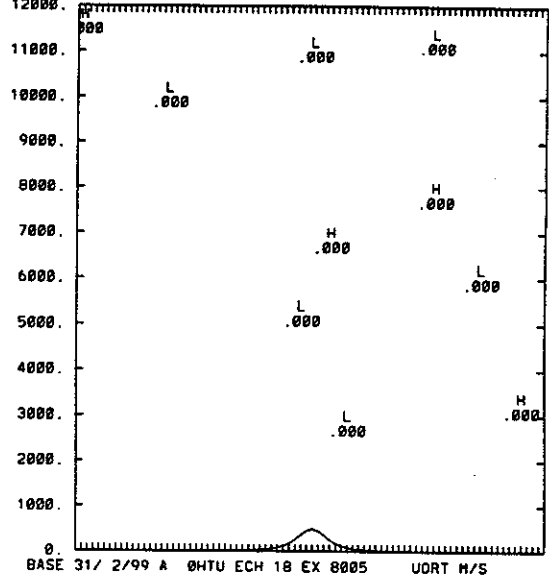
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



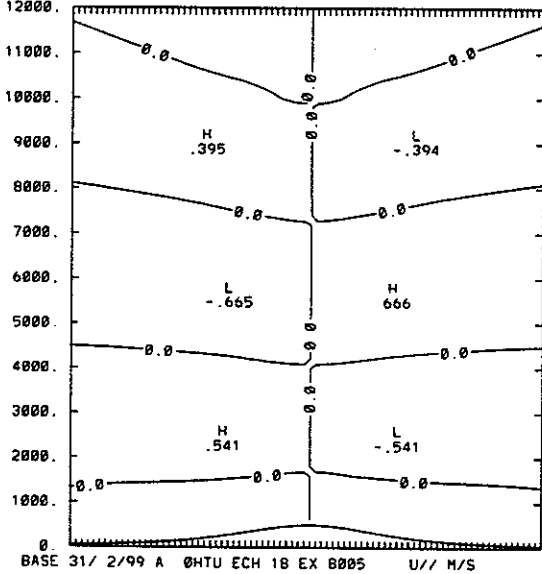
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



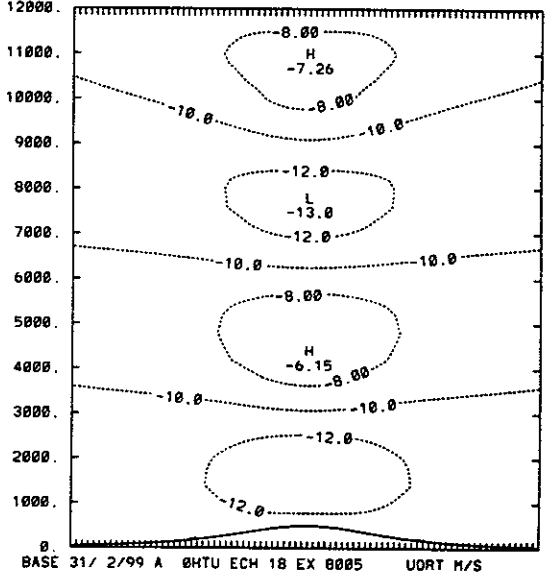
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0

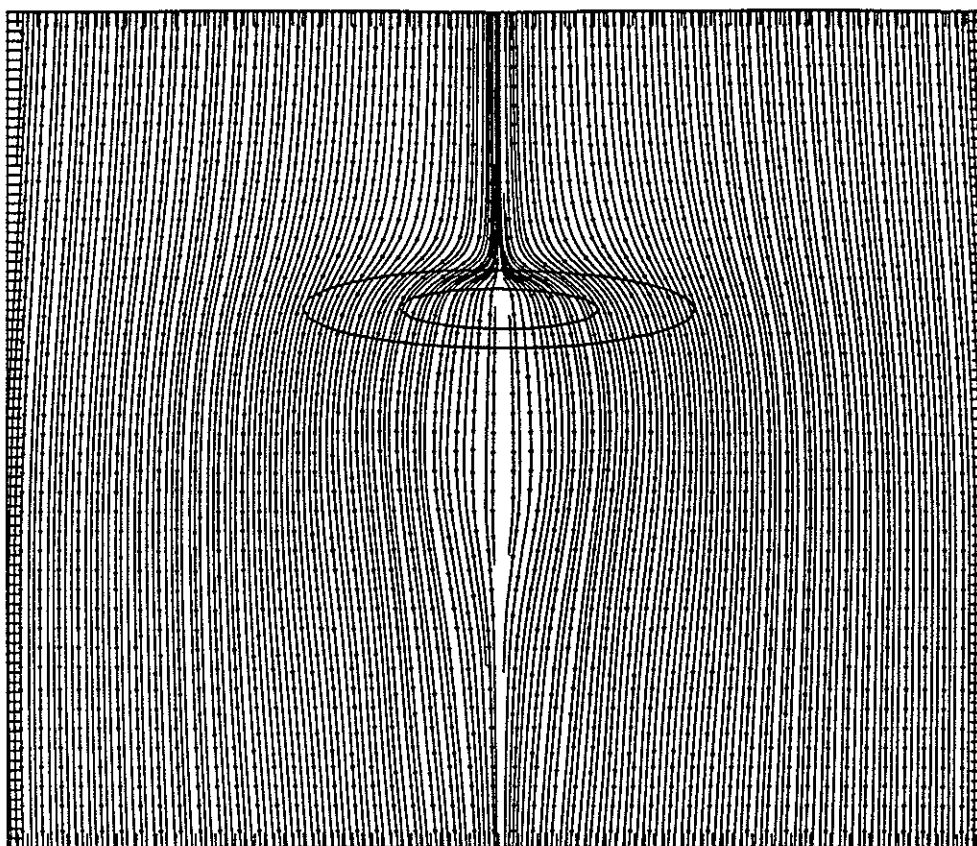


COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0



EX10

30

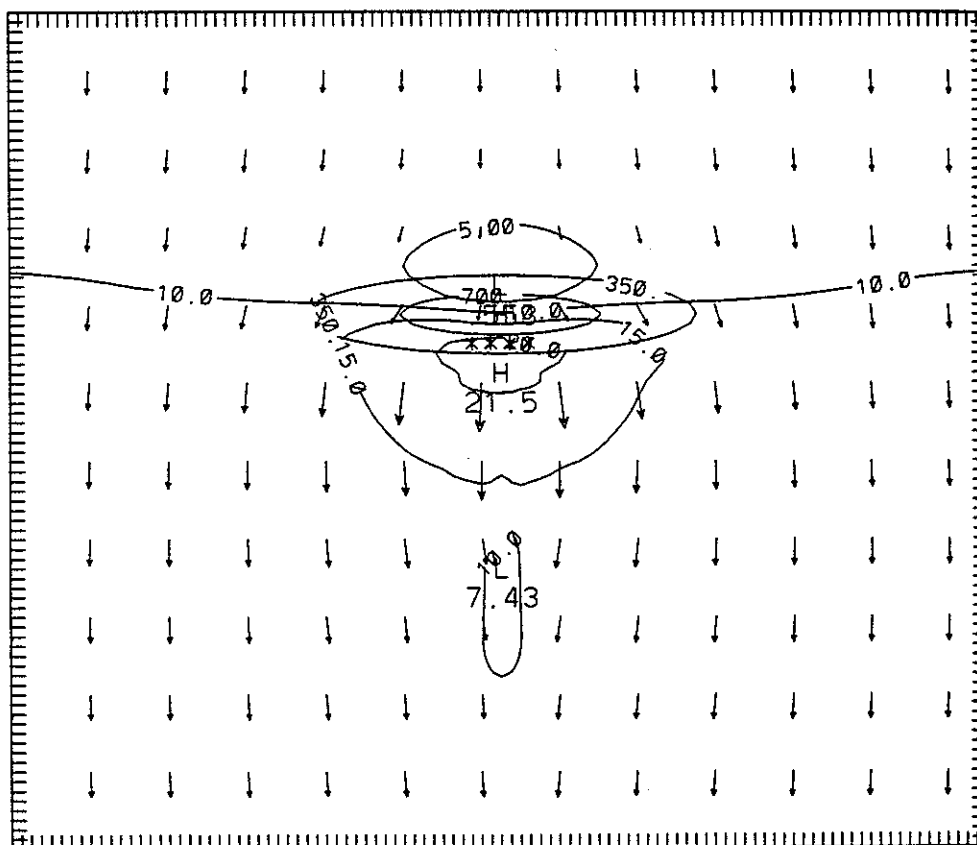


116

11

111

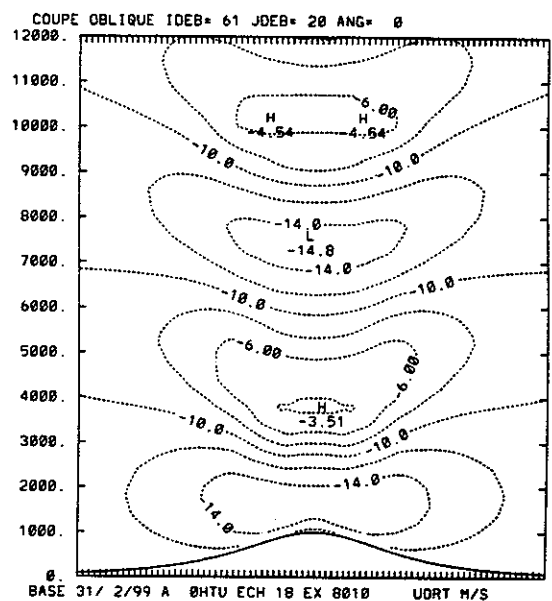
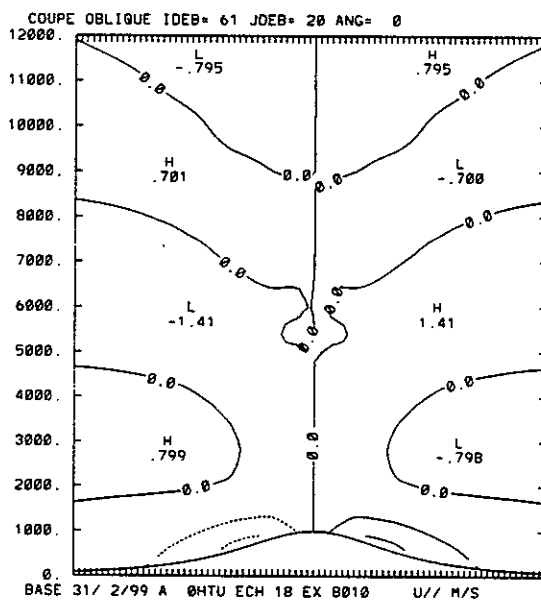
30



116

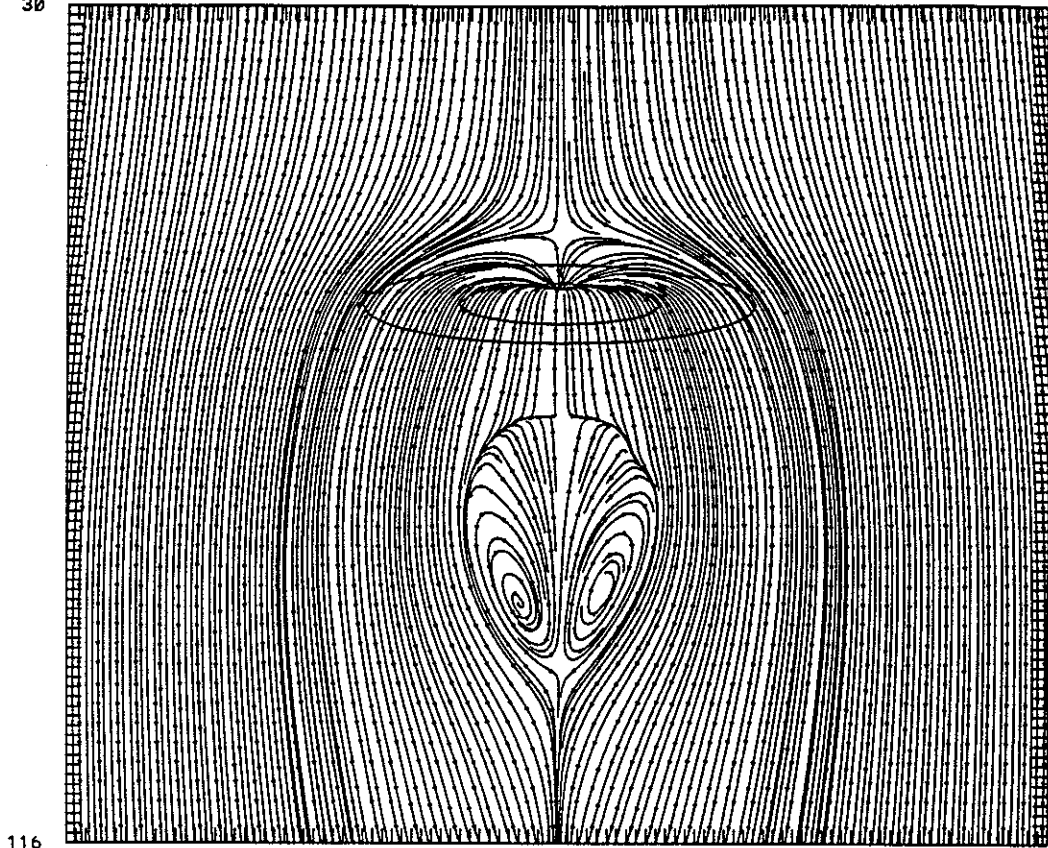
11

111



EX14

30

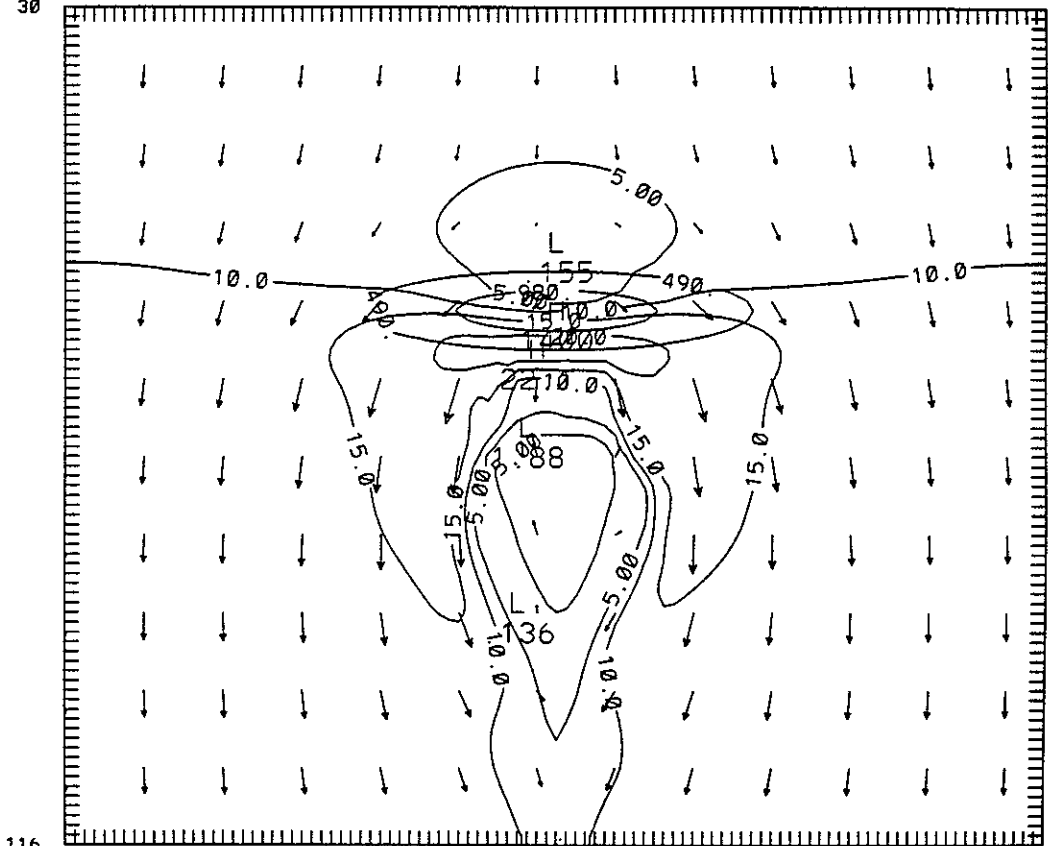


116

11

111

30



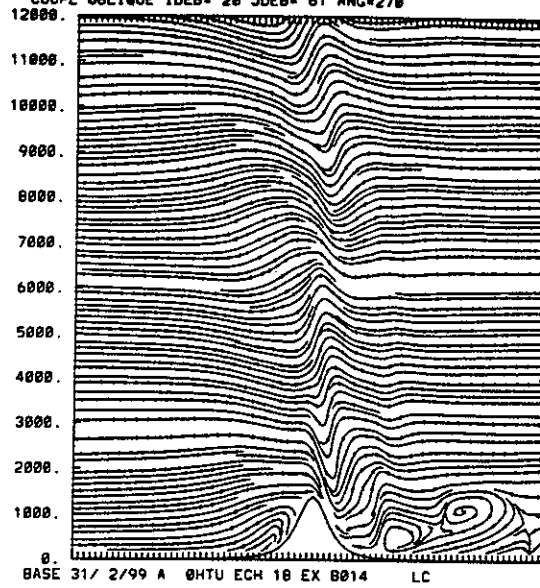
116

11

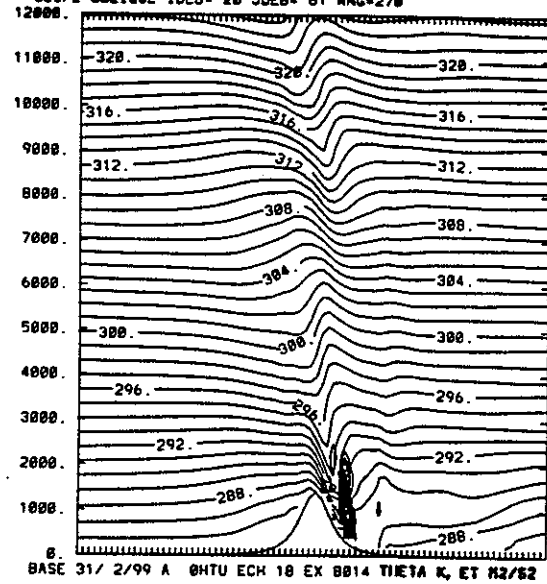
111

EX14

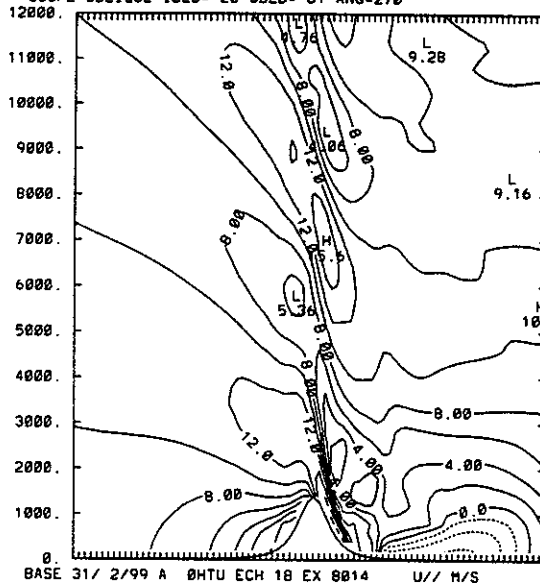
COUPE OBLIQUE IDEB= 28 JDEB= 61 ANG=270



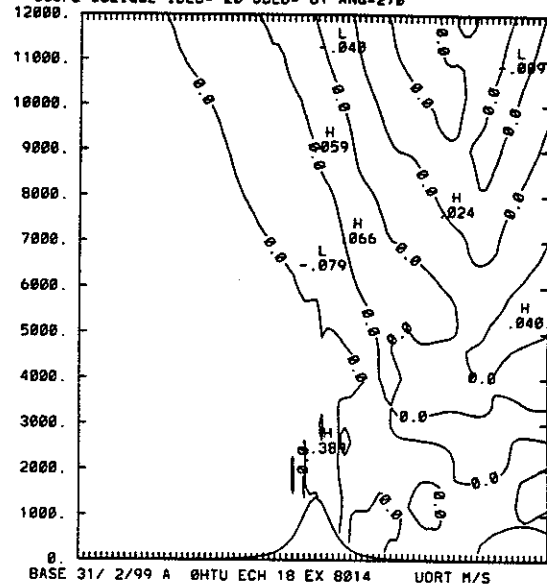
COUPE OBLIQUE IDEB= 28 JDEB= 61 ANG=270



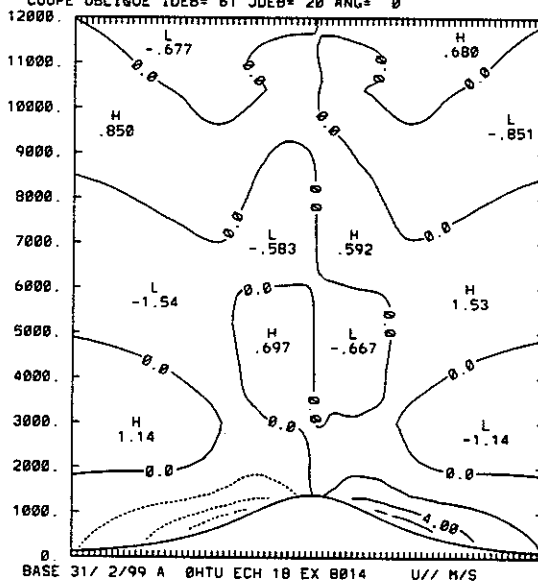
COUPE OBLIQUE IDEB= 28 JDEB= 61 ANG=270



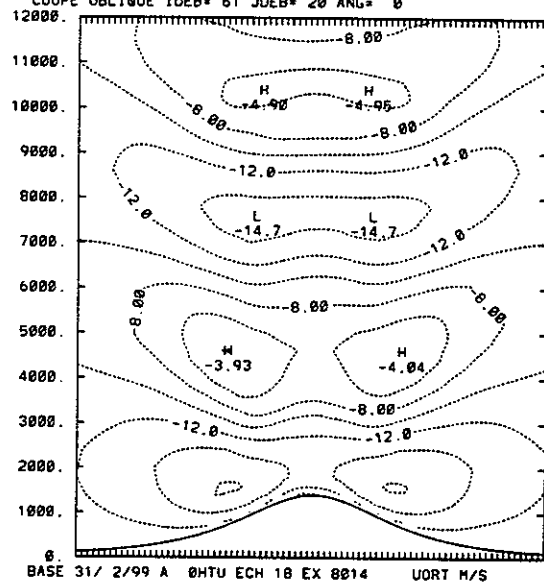
COUPE OBLIQUE IDEB= 28 JDEB= 61 ANG=270



COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0

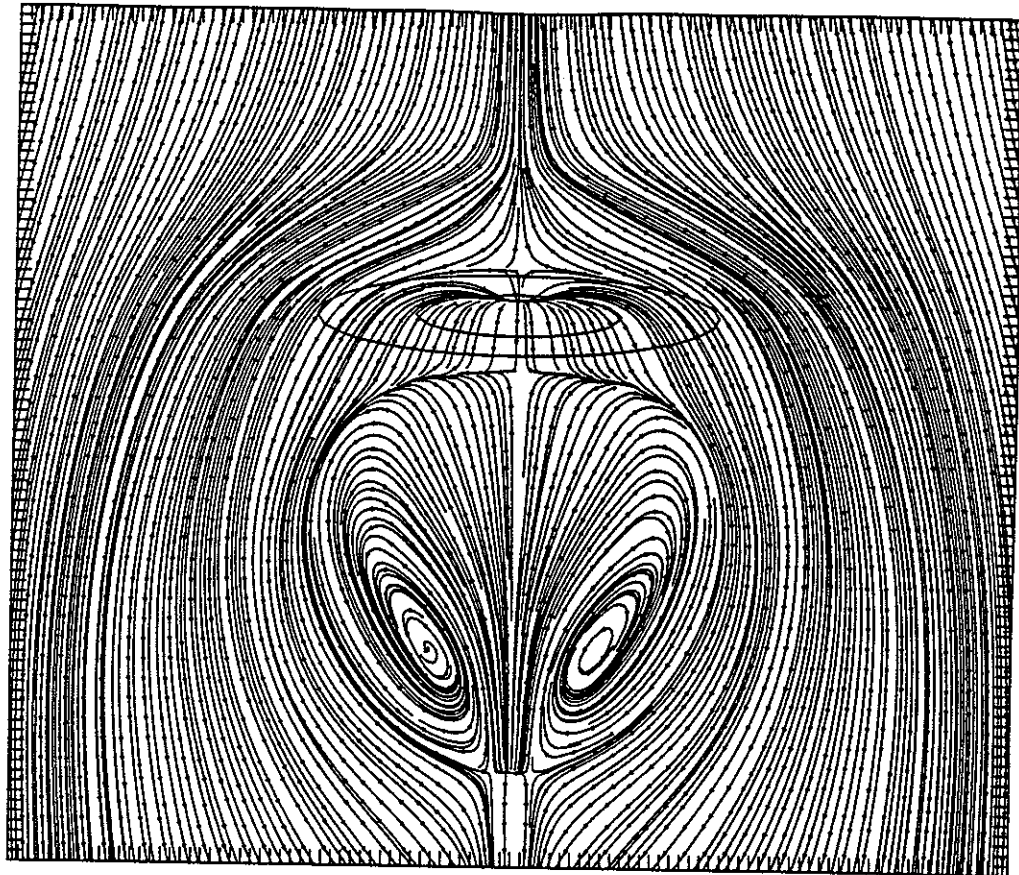


COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0



EX22

30

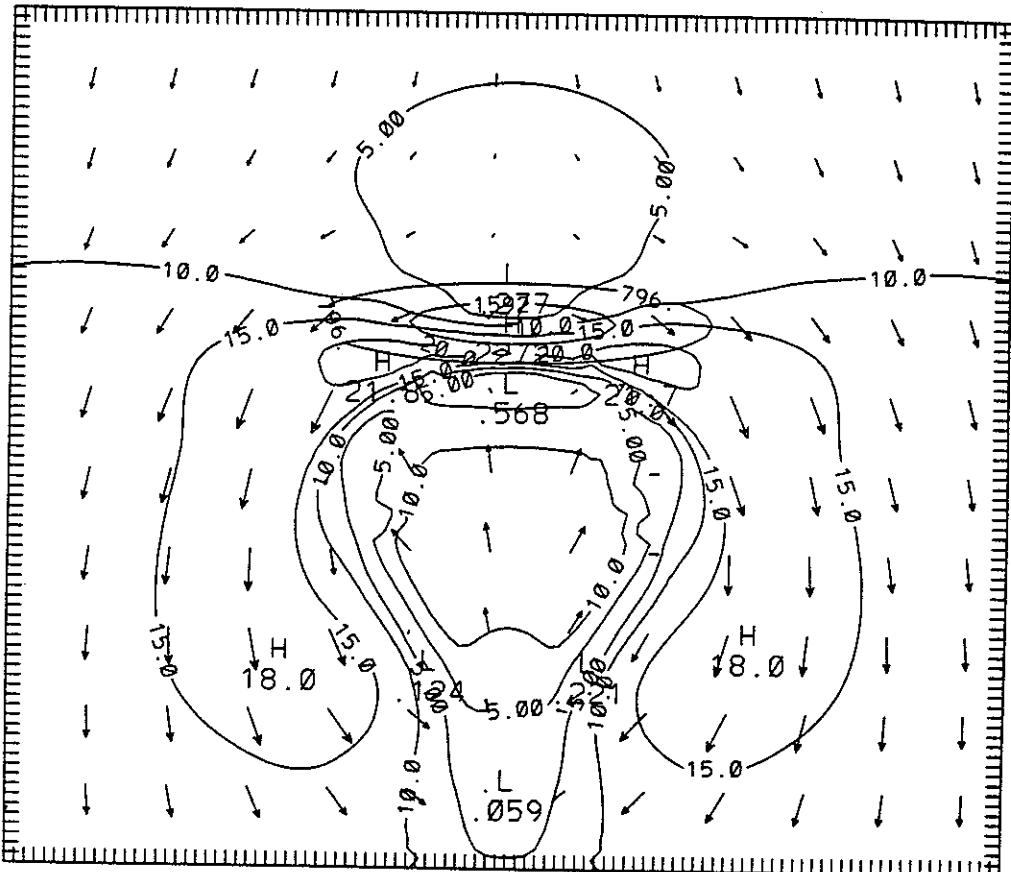


116

11

111

30



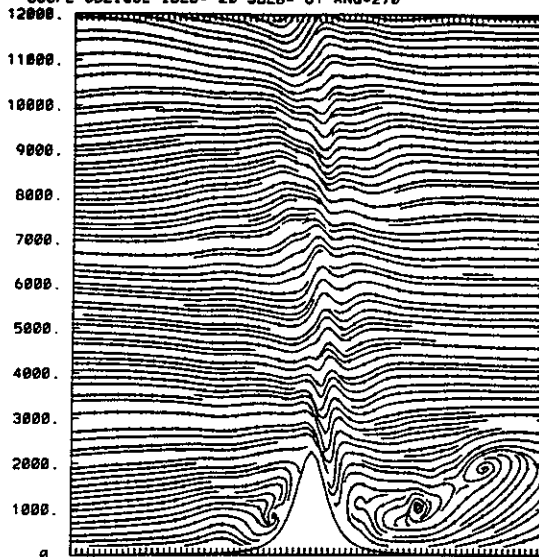
116

11

111

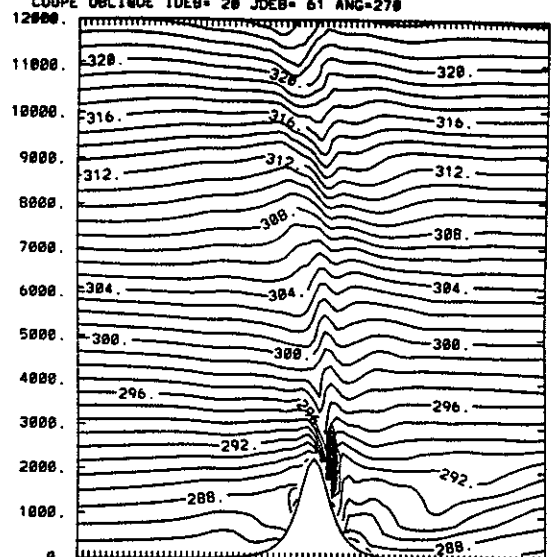
EX22

COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JOEB= 61 ANG=270



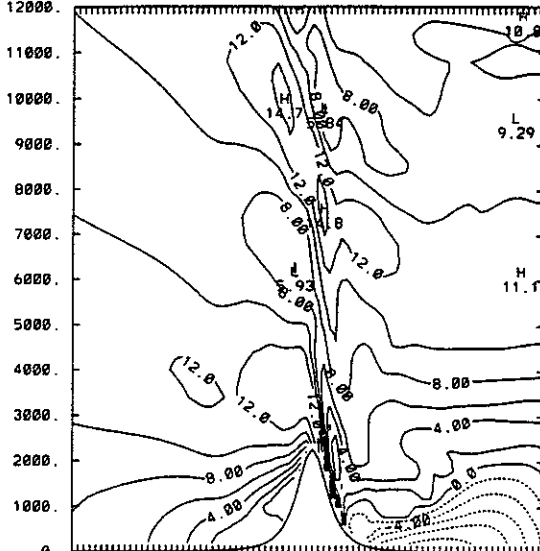
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 18 EX 8022 LC

COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JOEB= 61 ANG=270



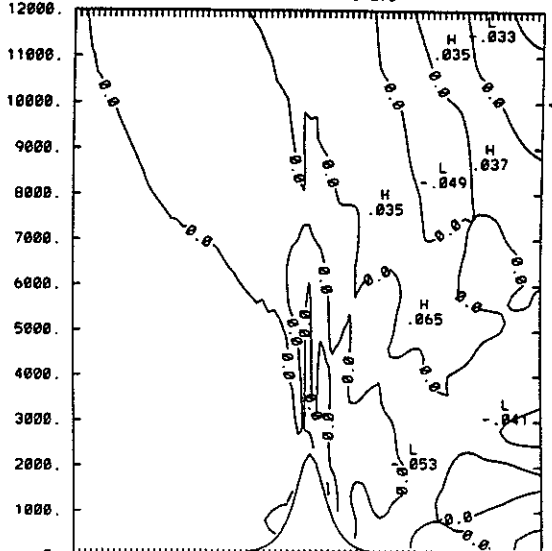
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 18 EX 8022 TIETA K, ET M2/S2

COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JOEB= 61 ANG=270



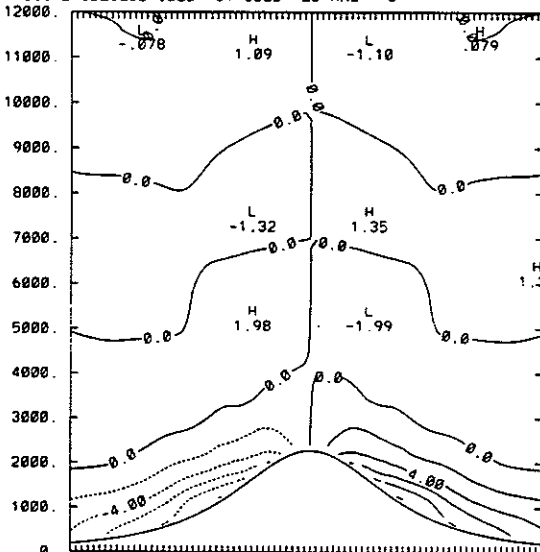
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 18 EX 8022 U// M/S

COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JOEB= 61 ANG=270



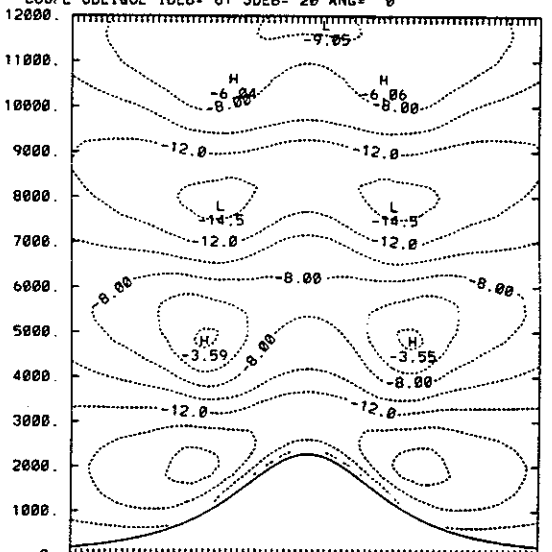
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 18 EX 8022 UORT M/S

COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JOEB= 20 ANG= 0



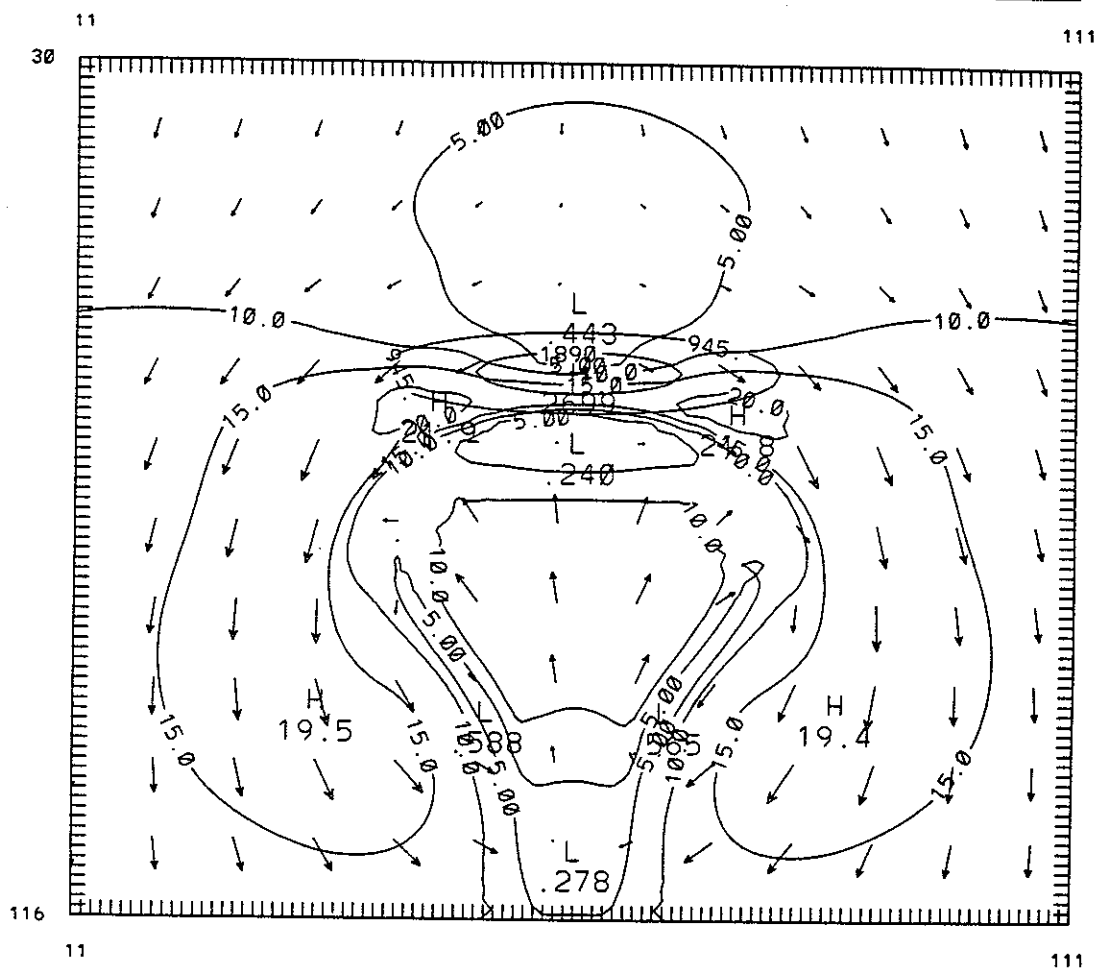
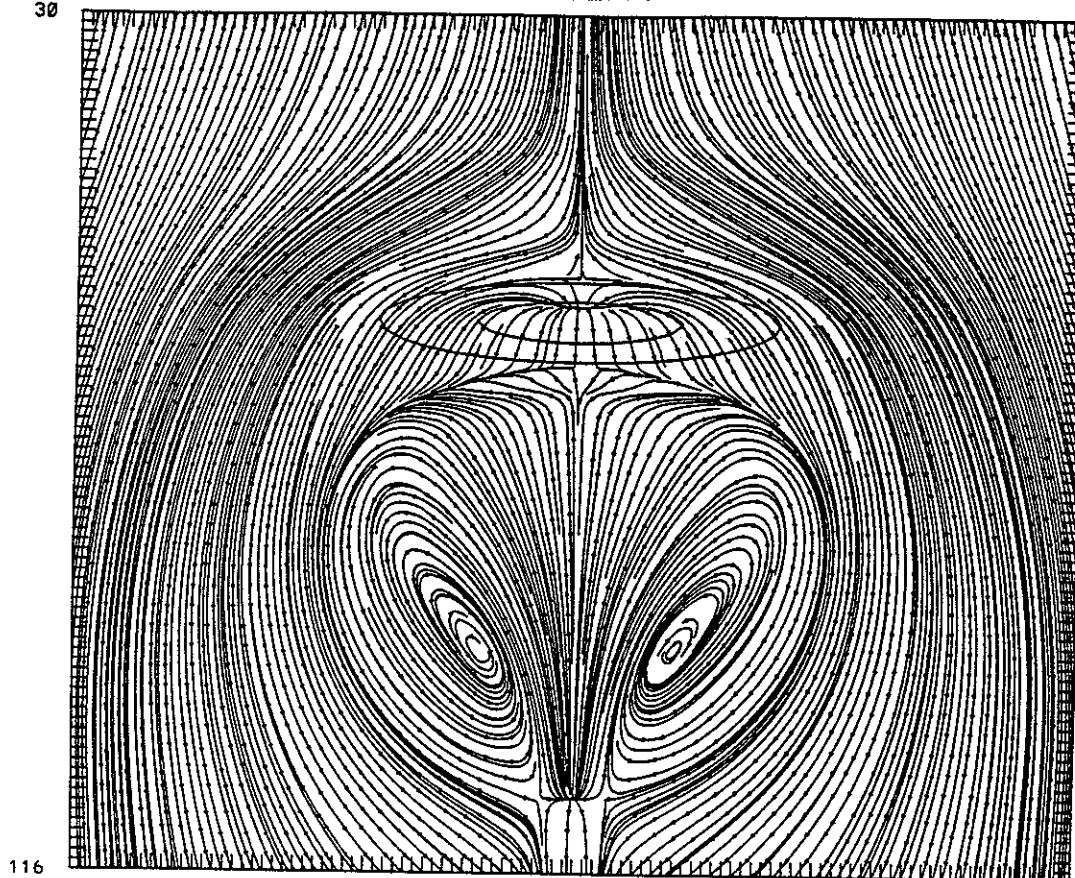
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 18 EX 8022 U// M/S

COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JOEB= 20 ANG= 0



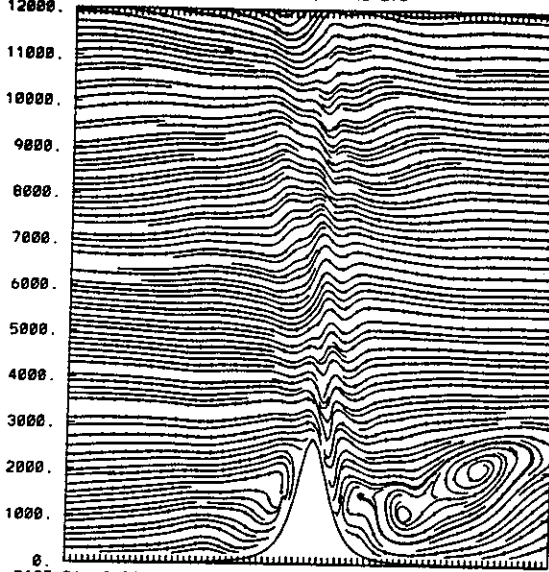
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 18 EX 8022 UORT M/S

30

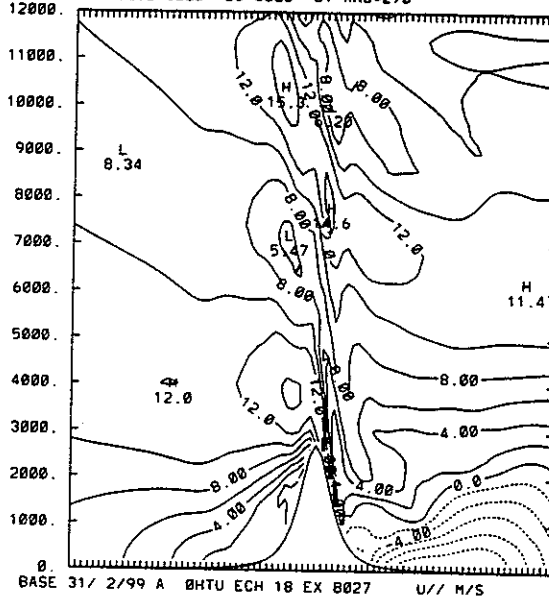


EX27

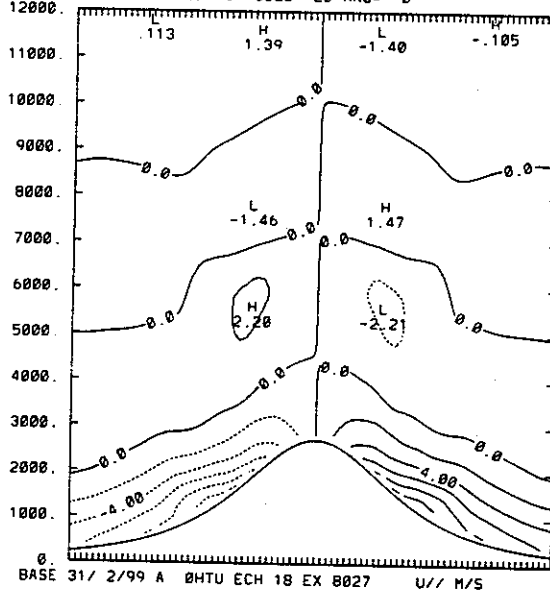
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



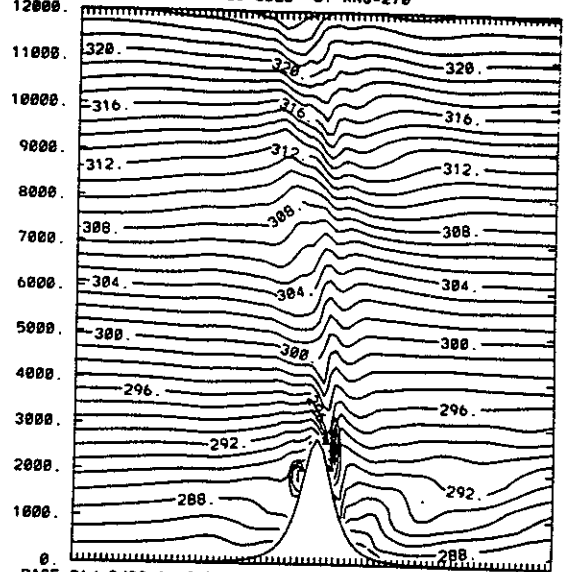
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



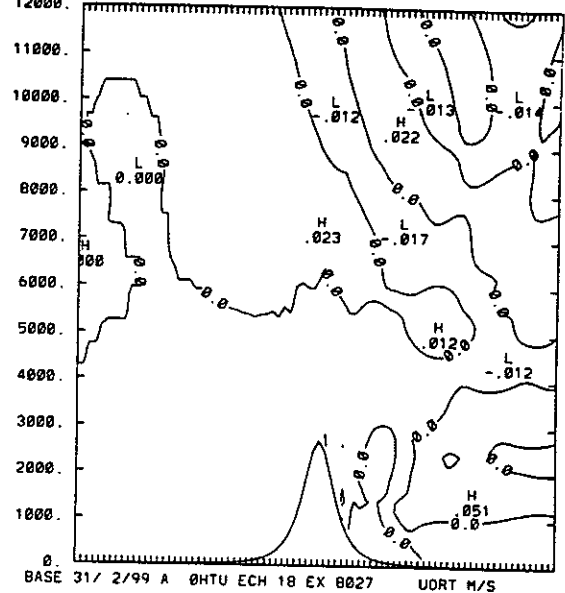
COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0



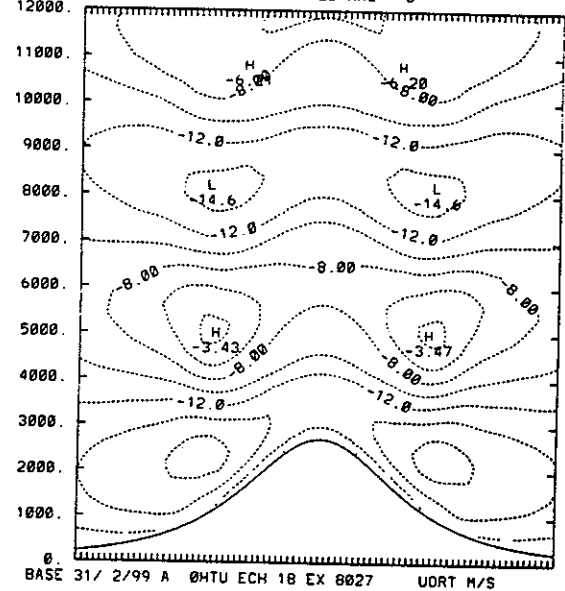
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270

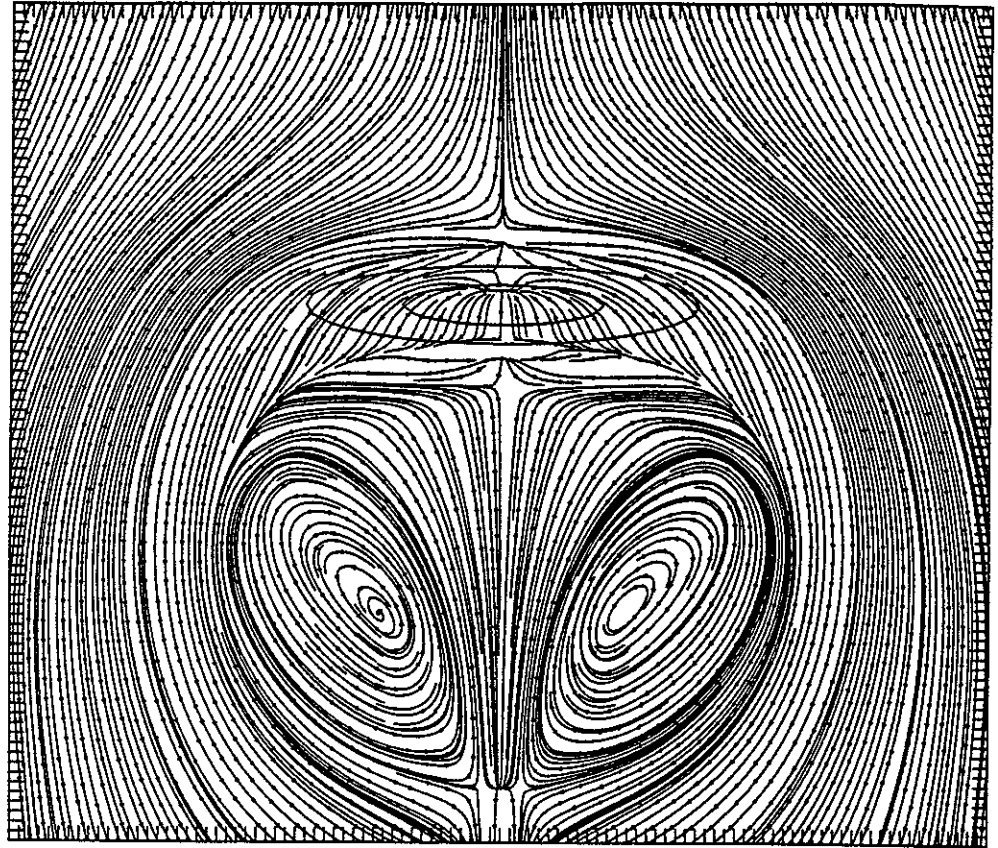


COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0



EX34

30

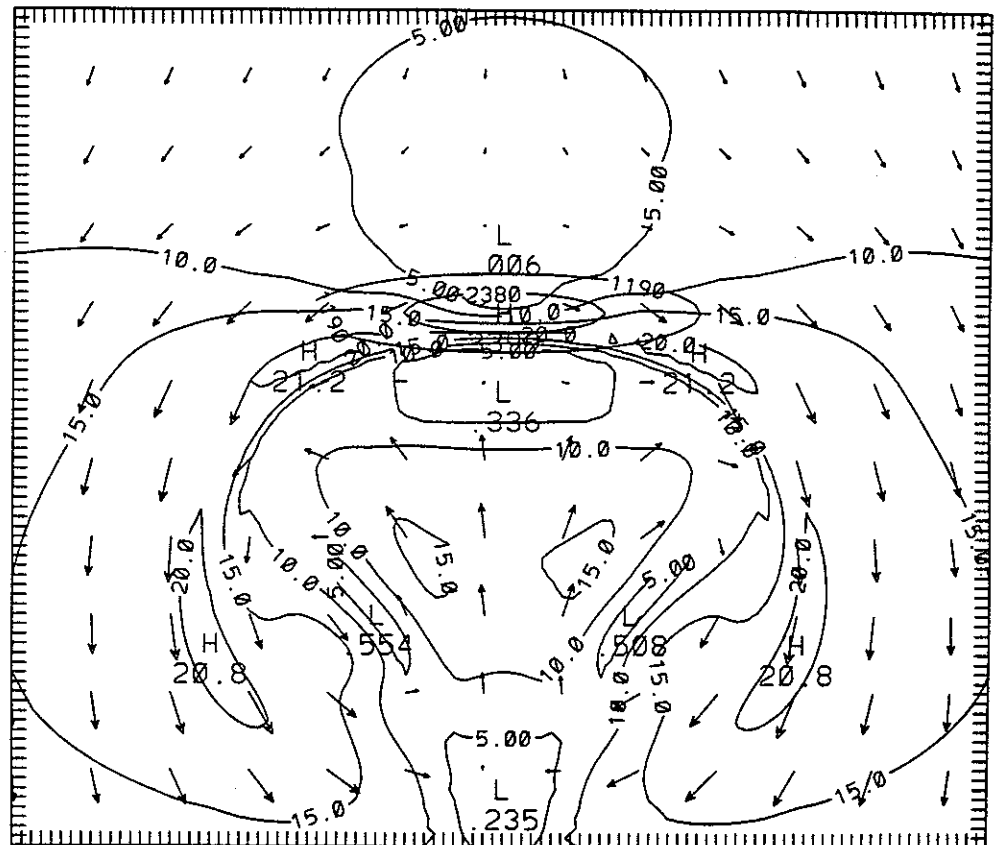


116

11

111

30



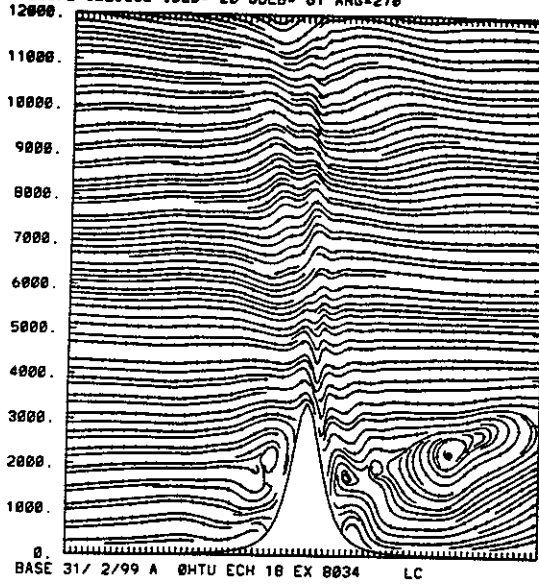
116

11

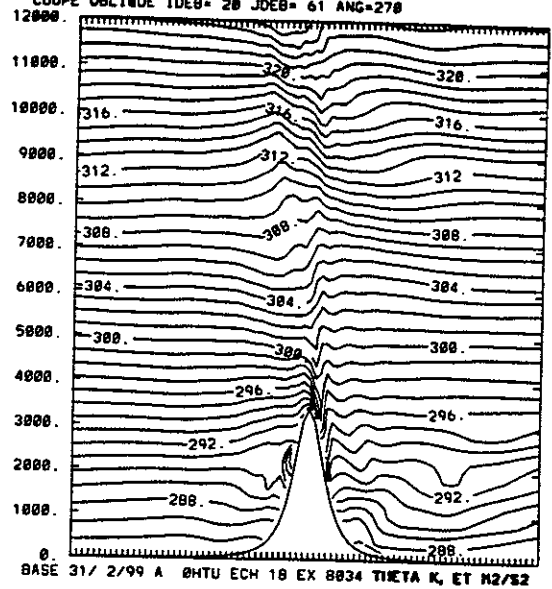
111

EX34

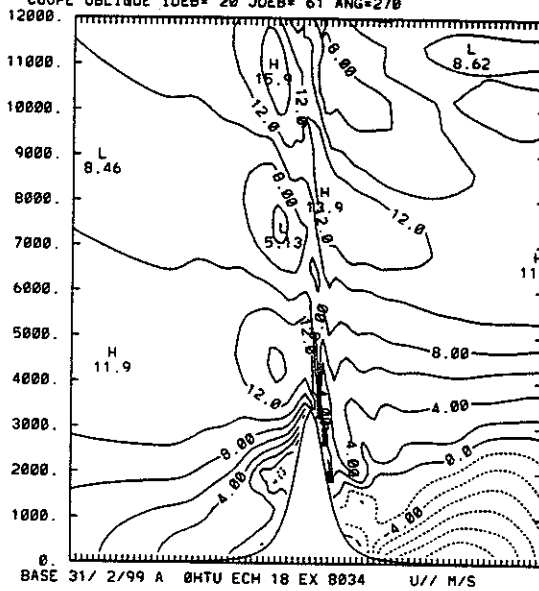
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JOEB= 61 ANG=270



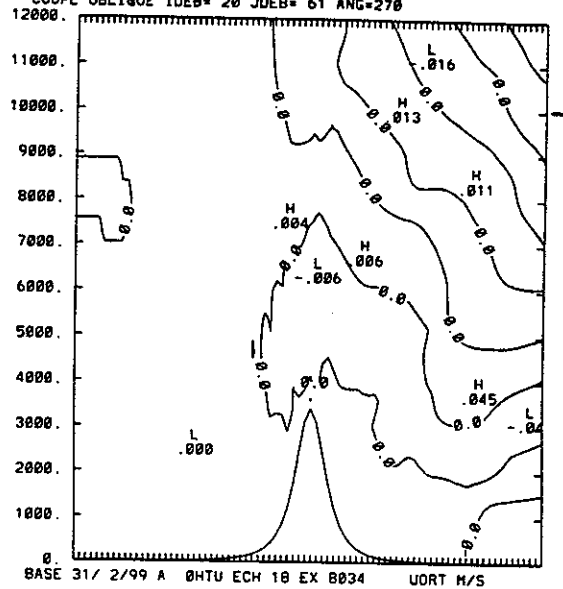
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JOEB= 61 ANG=270



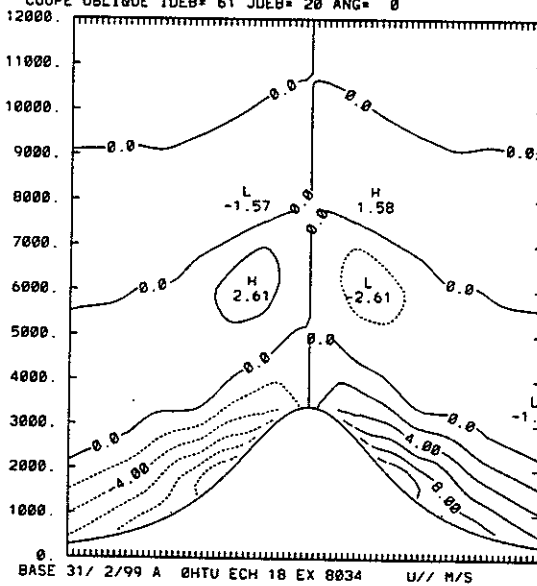
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JOEB= 61 ANG=270



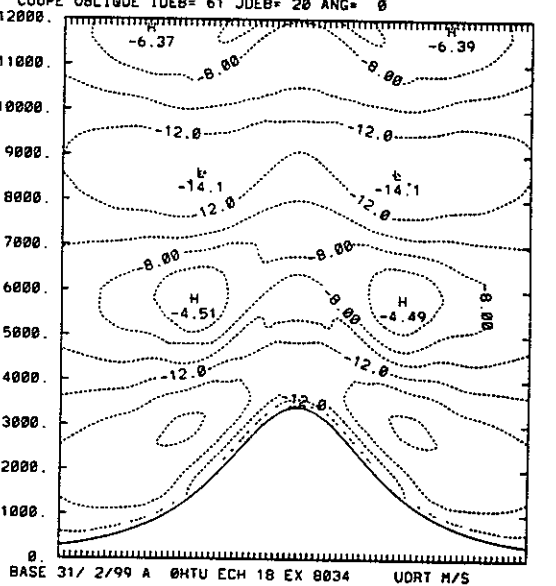
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JOEB= 61 ANG=270



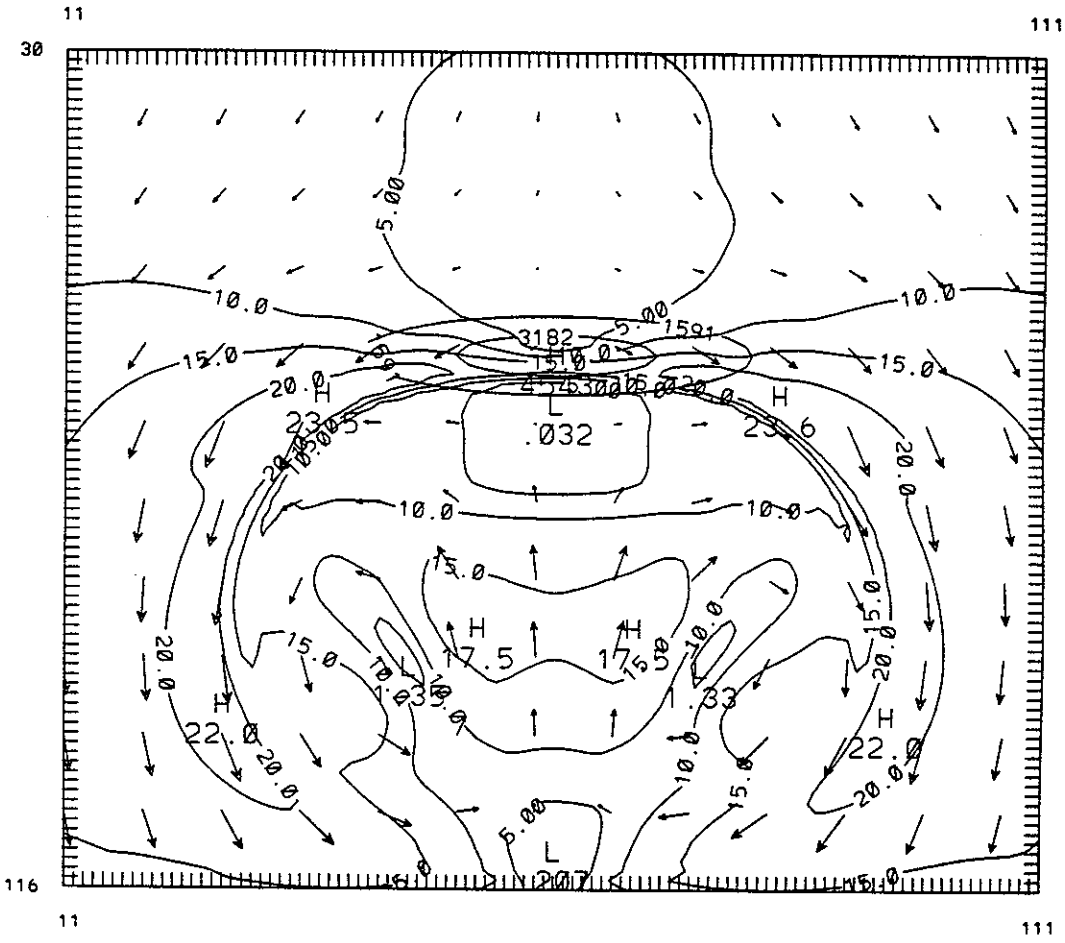
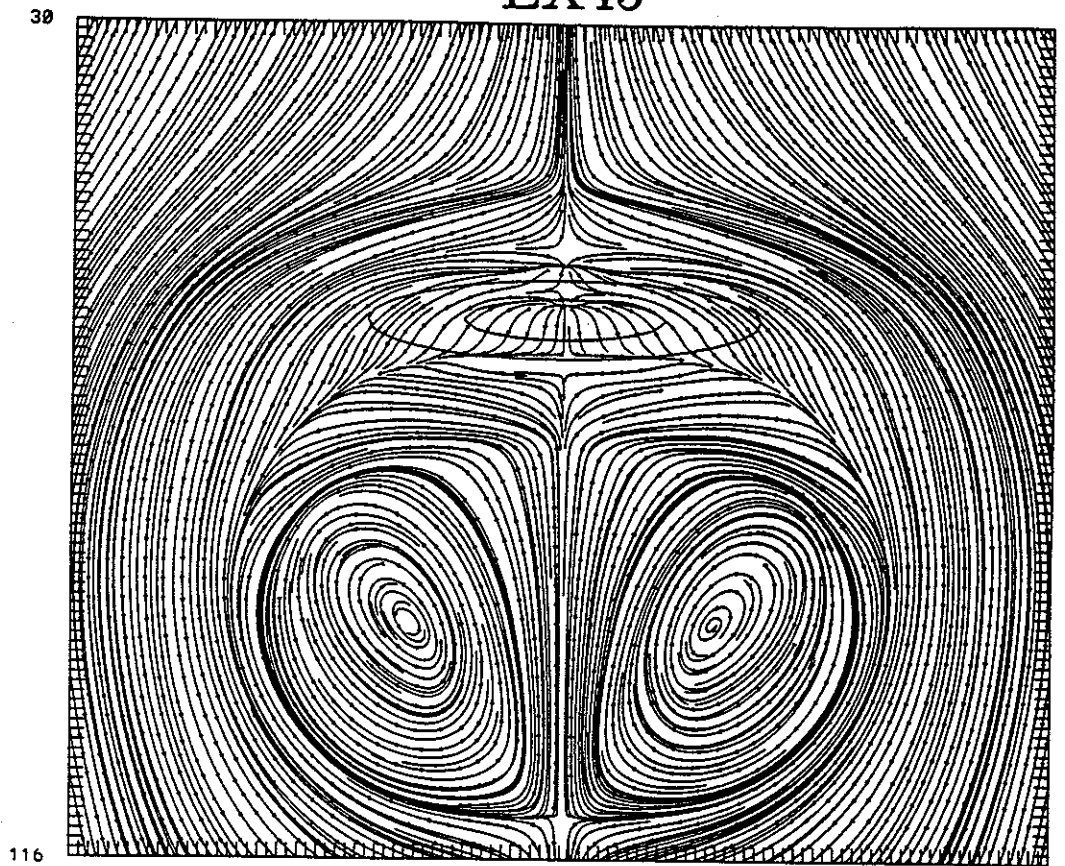
COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JOEB= 20 ANG= 0



COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JOEB= 20 ANG= 0

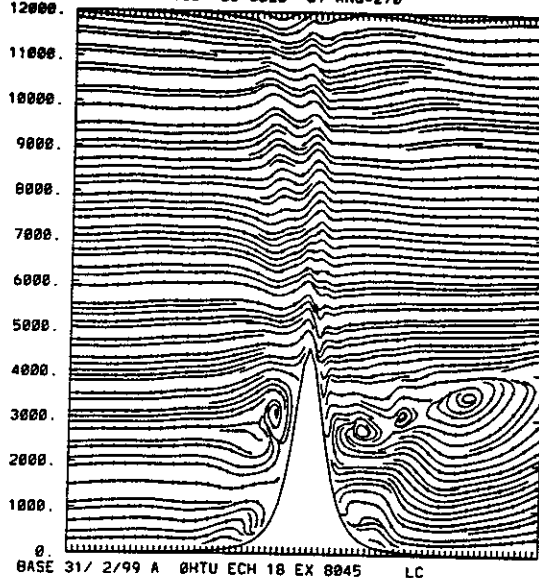


EX45

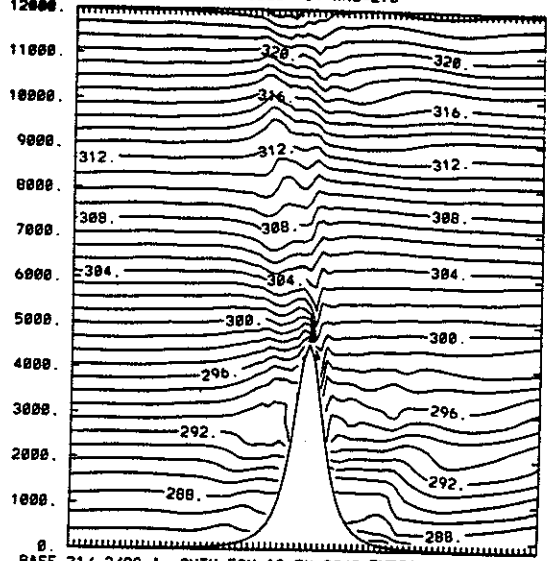


EX45

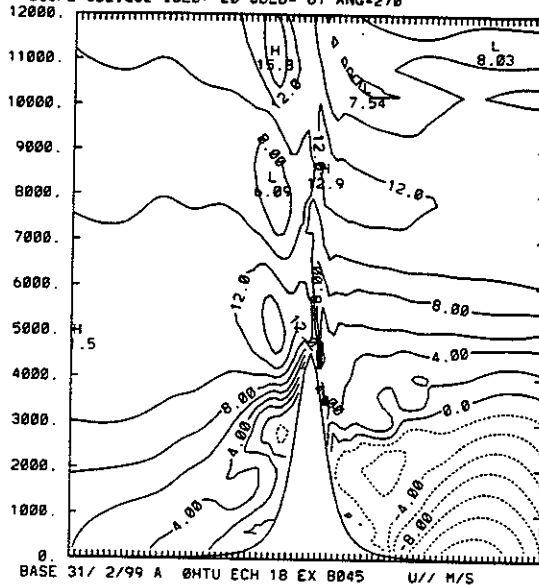
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



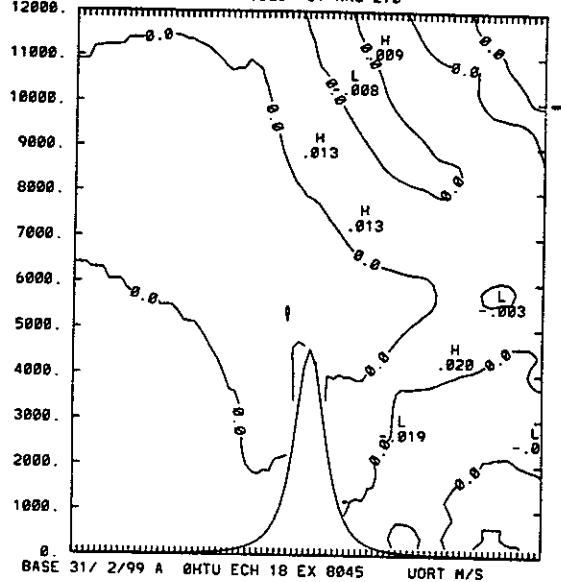
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



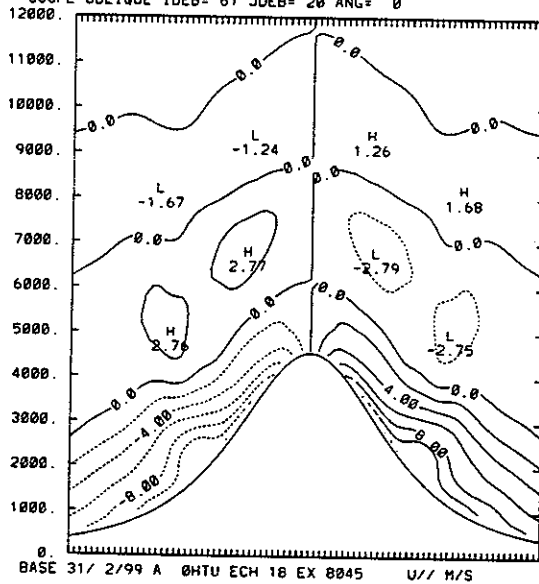
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



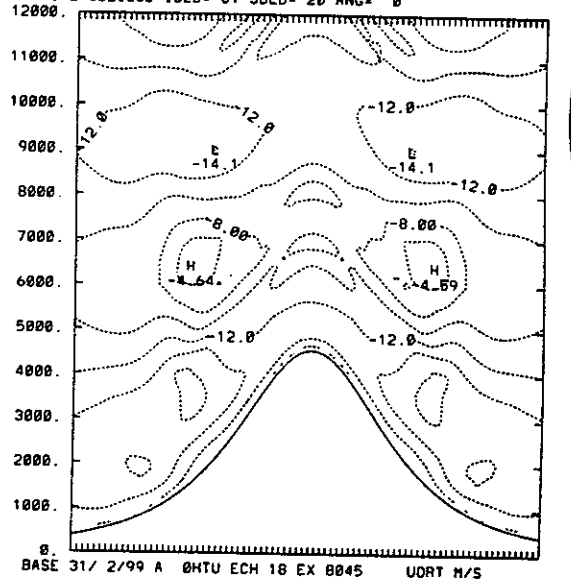
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



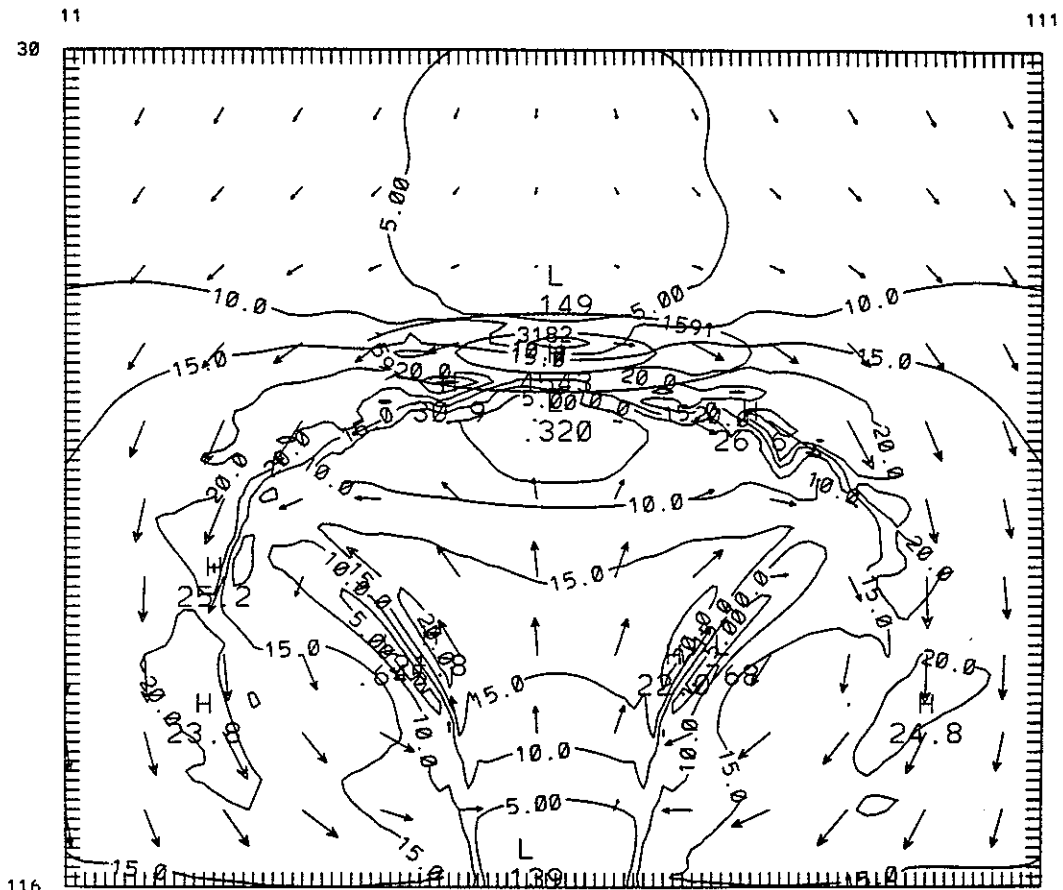
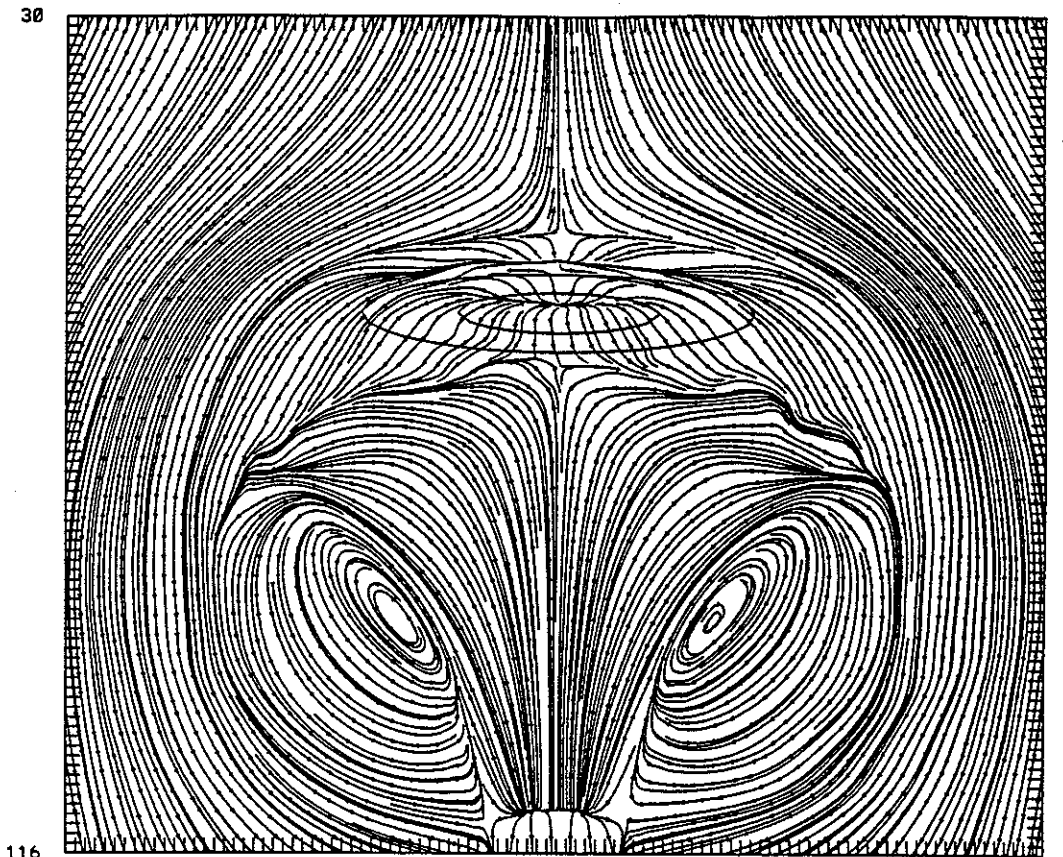
COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0



COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0

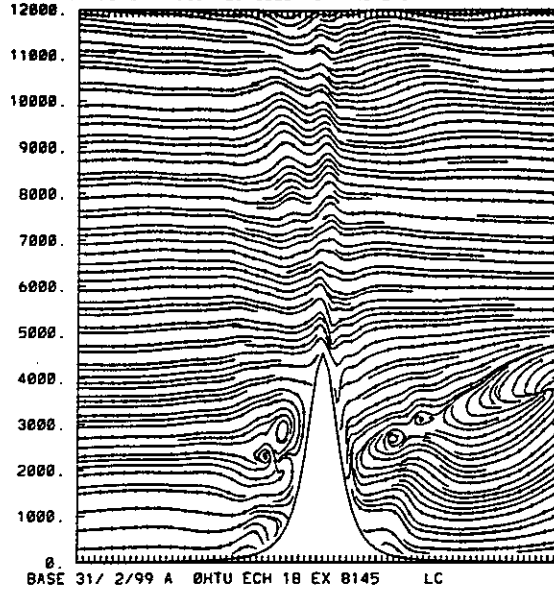


EX45NT

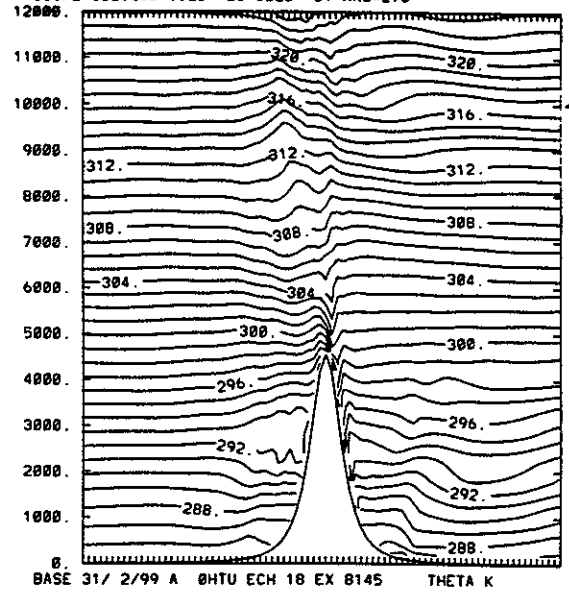


EX45NT

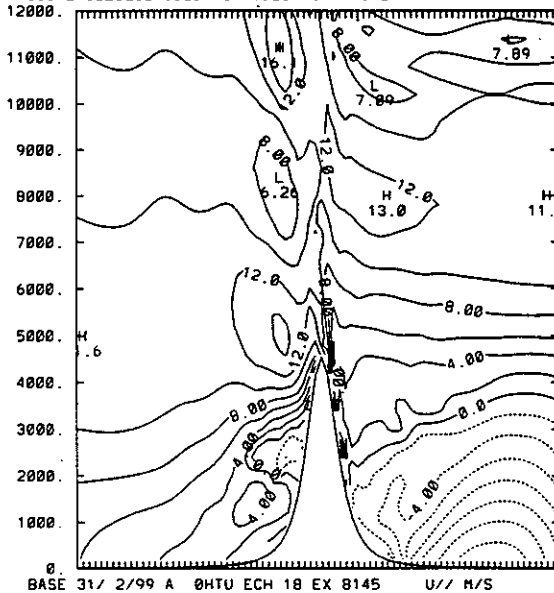
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



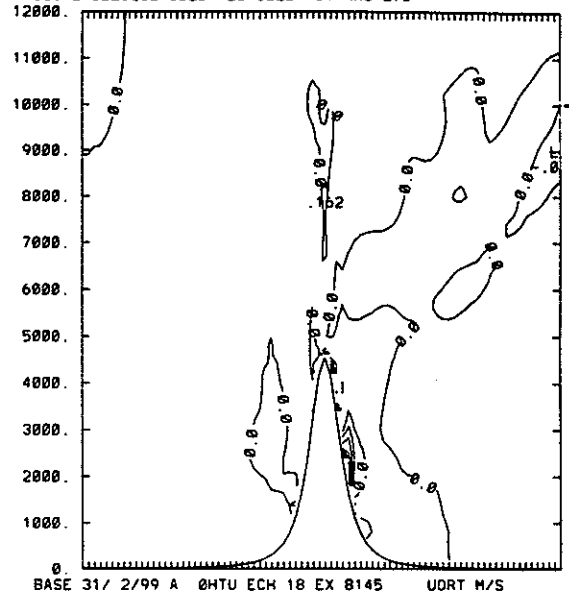
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



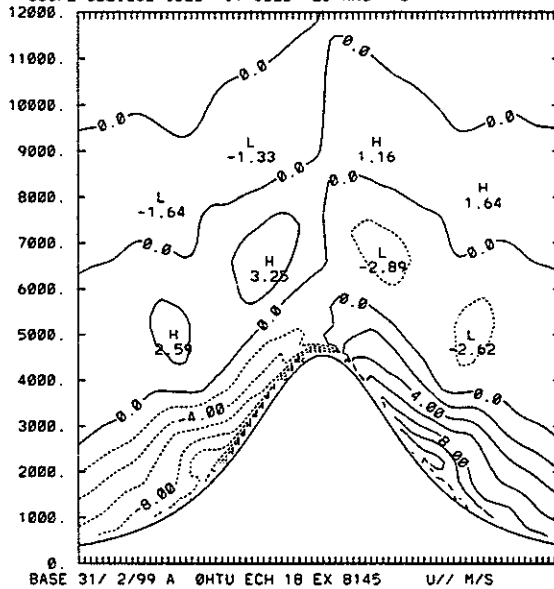
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



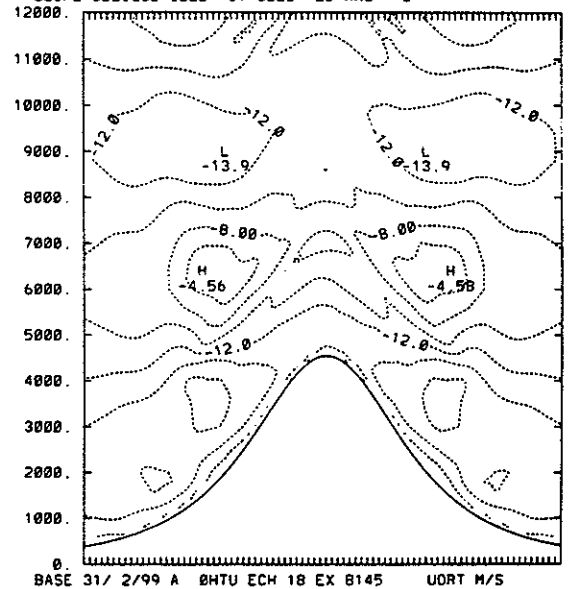
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



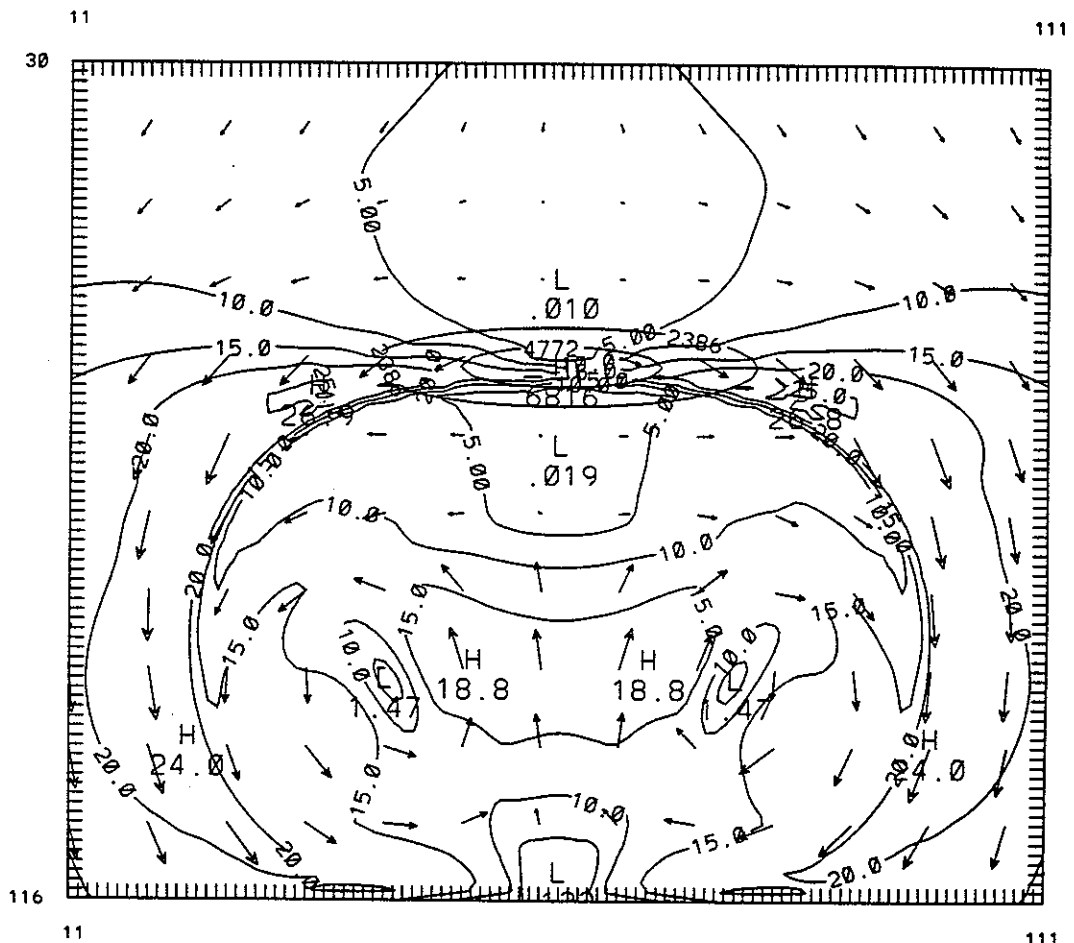
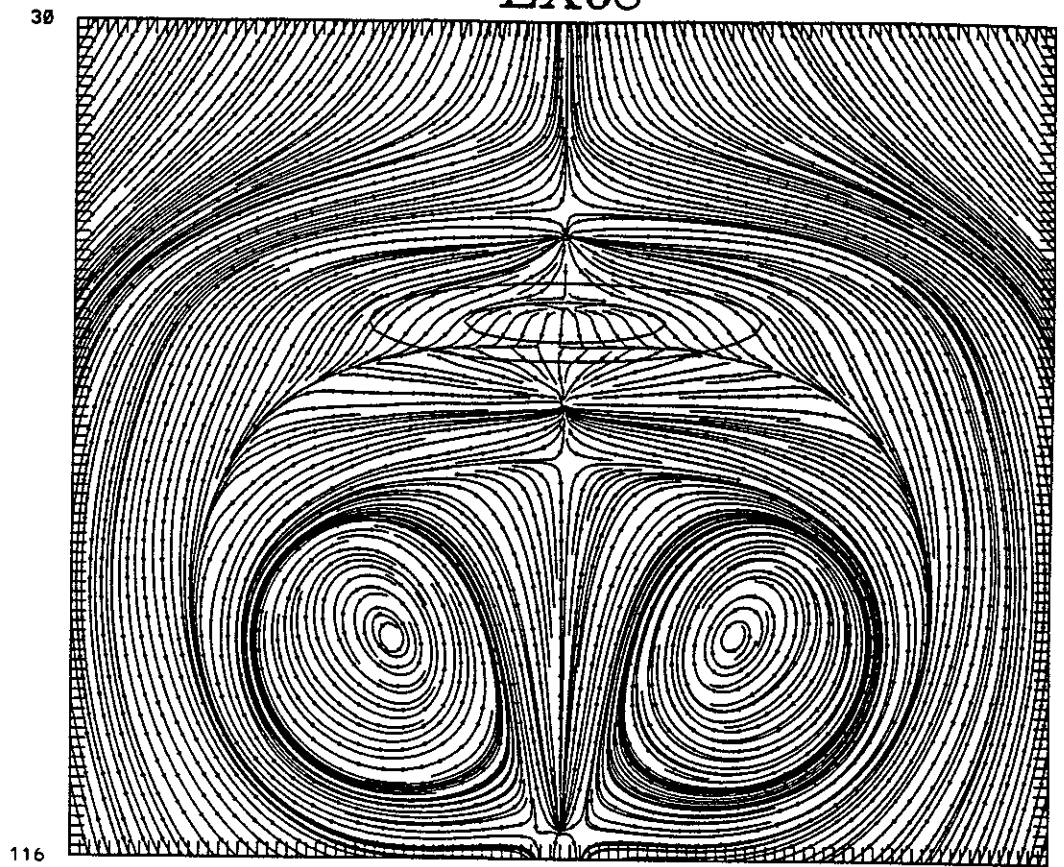
COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0



COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0

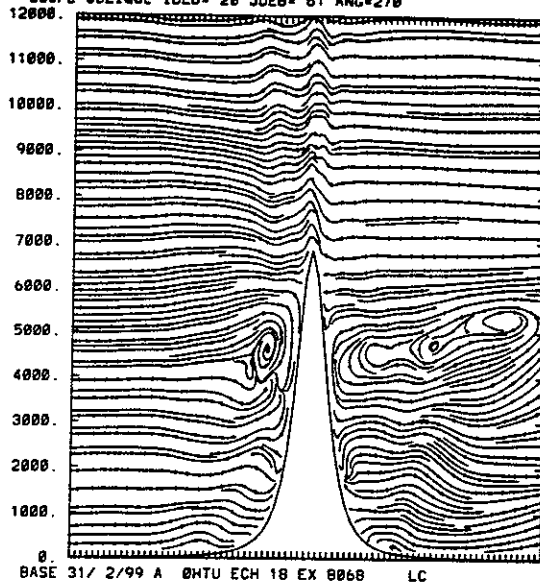


EX68

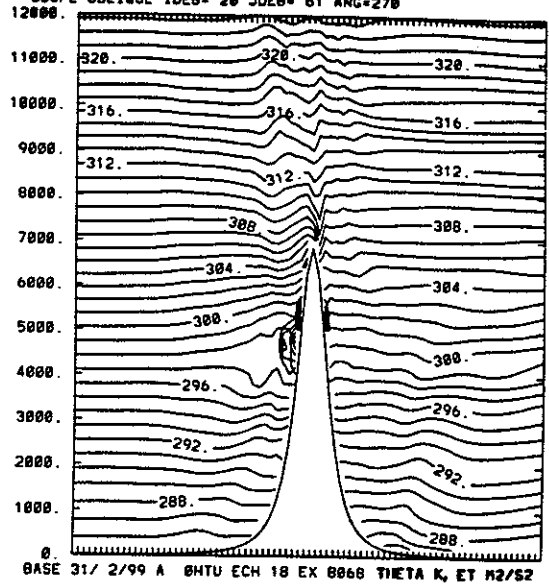


EX68

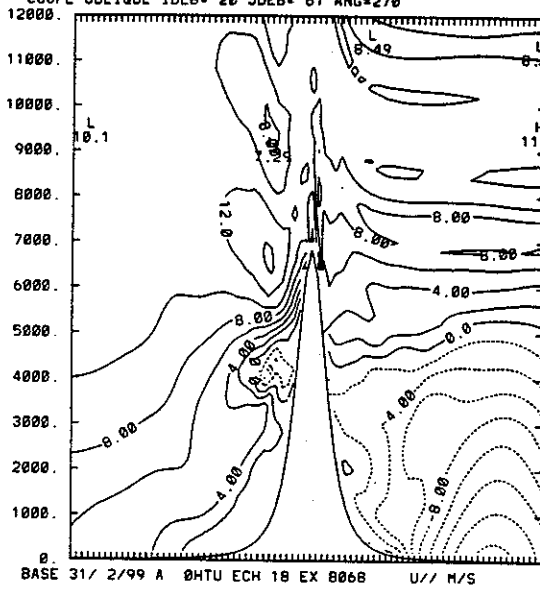
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



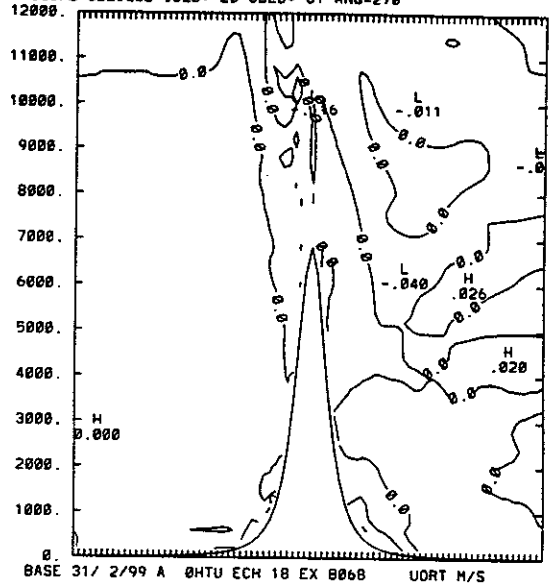
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



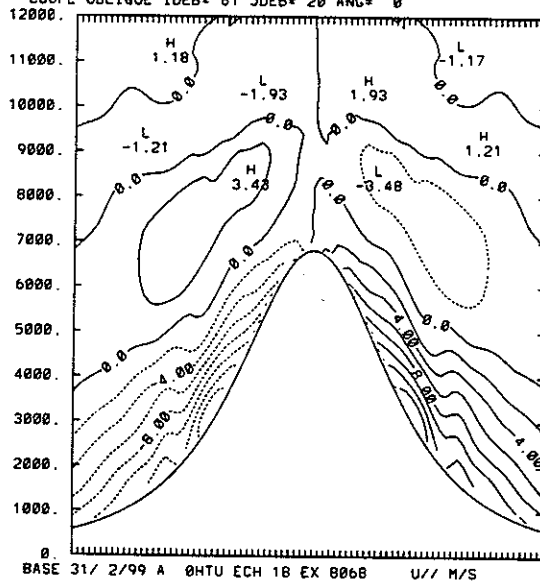
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



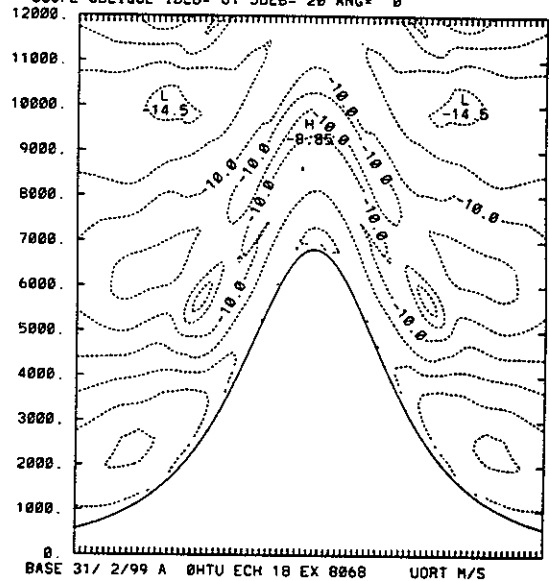
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0



COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0

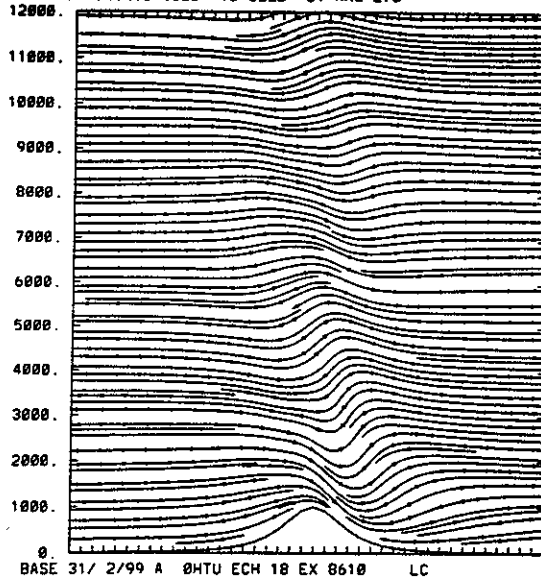


10

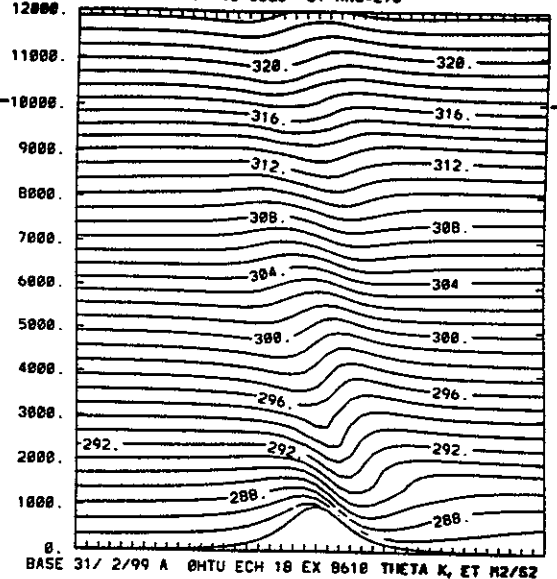


EX10c

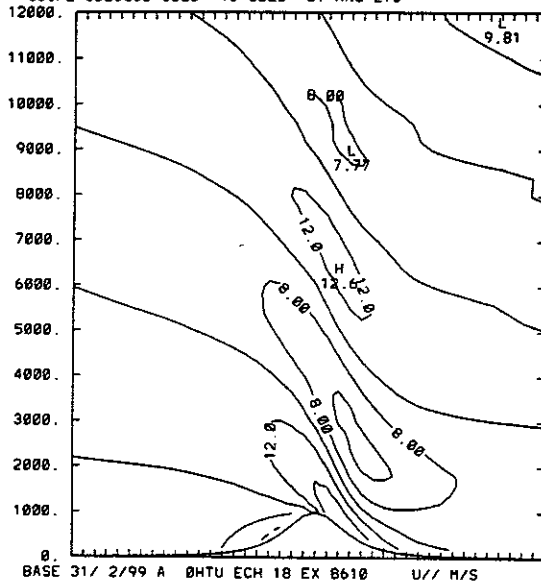
COUPE OBLIQUE IDEB= 18 JDEB= 31 ANG=278



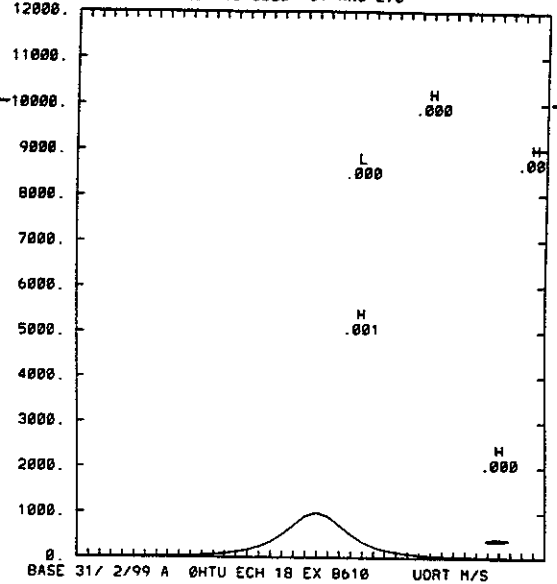
COUPE OBLIQUE IDEB= 18 JDEB= 31 ANG=278



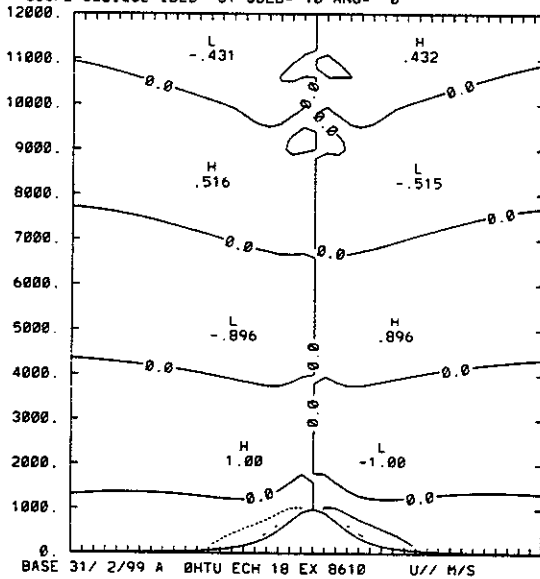
COUPE OBLIQUE IDEB= 18 JDEB= 31 ANG=278



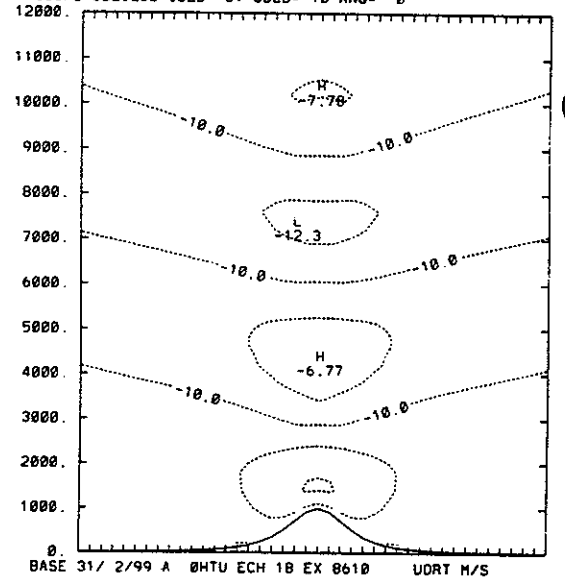
COUPE OBLIQUE IDEB= 18 JDEB= 31 ANG=278



COUPE OBLIQUE IDEB= 31 JDEB= 18 ANG= 0

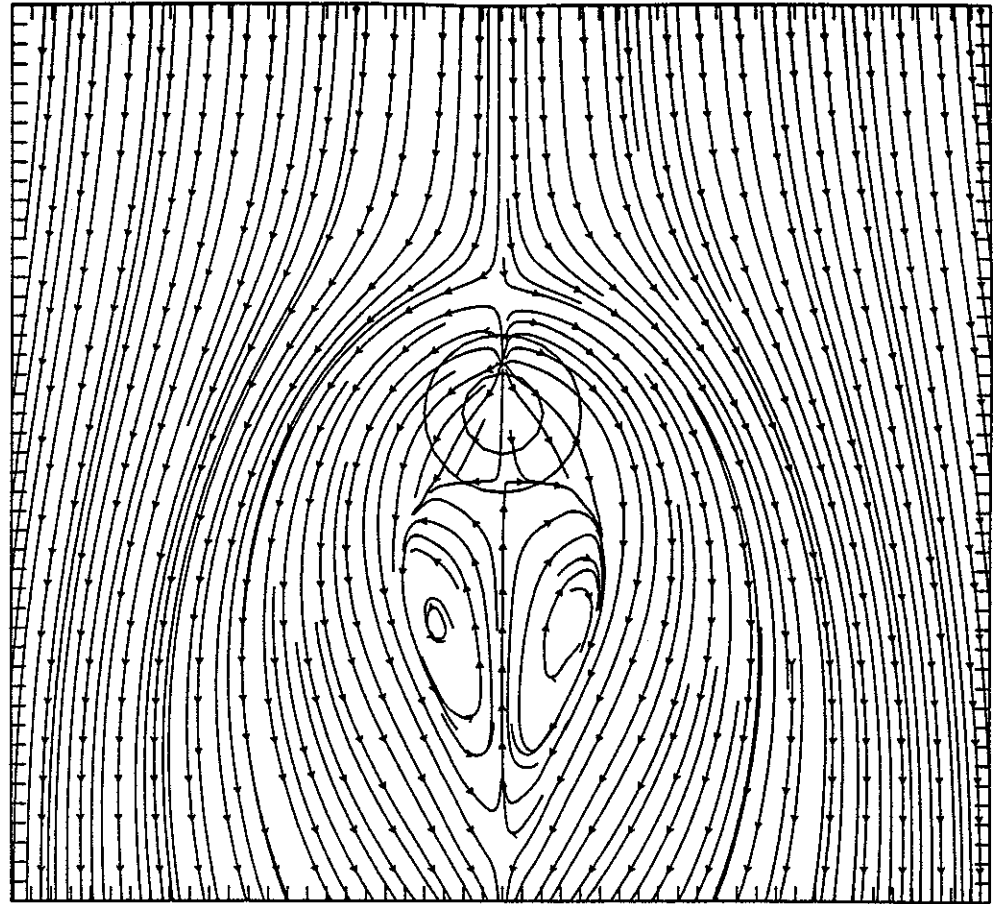


COUPE OBLIQUE IDEB= 31 JDEB= 18 ANG= 0



EX27c

10

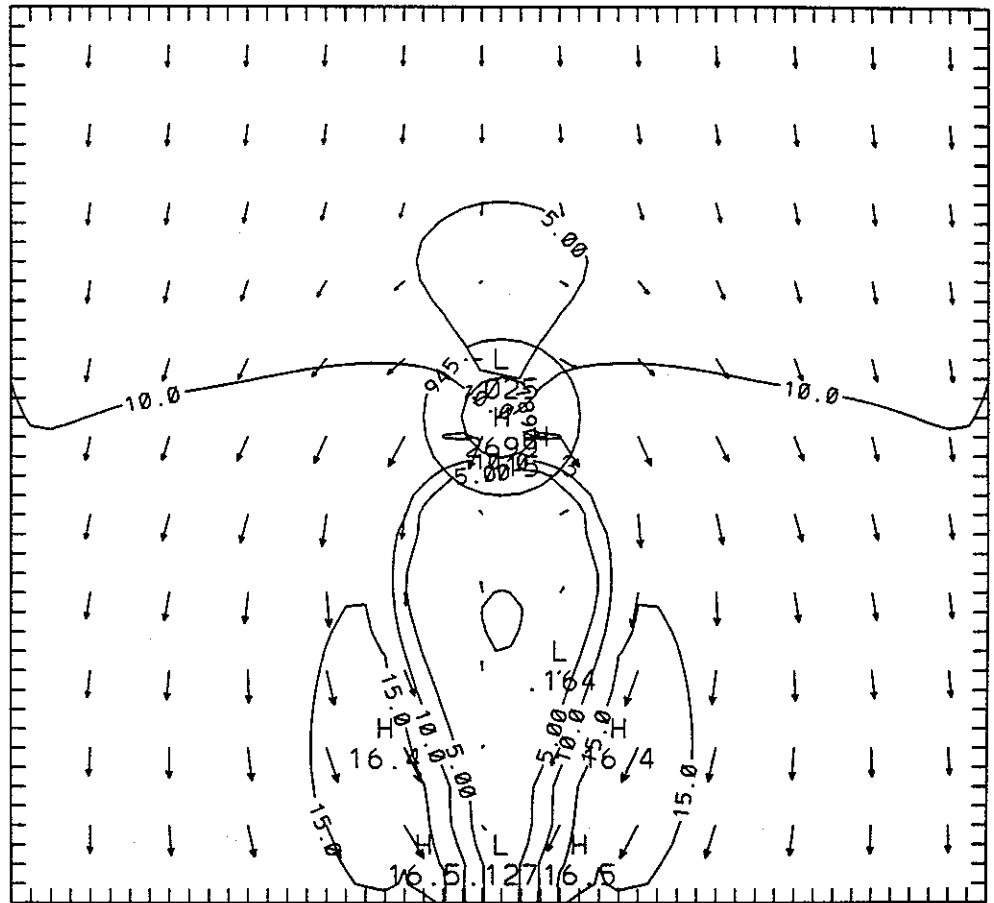


56

6

56

10

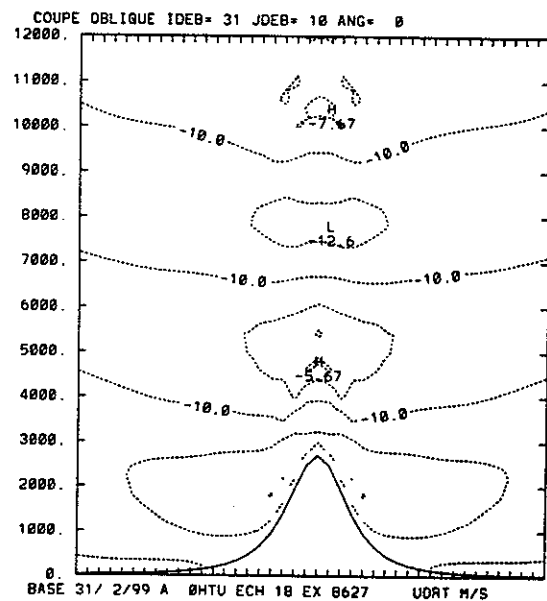
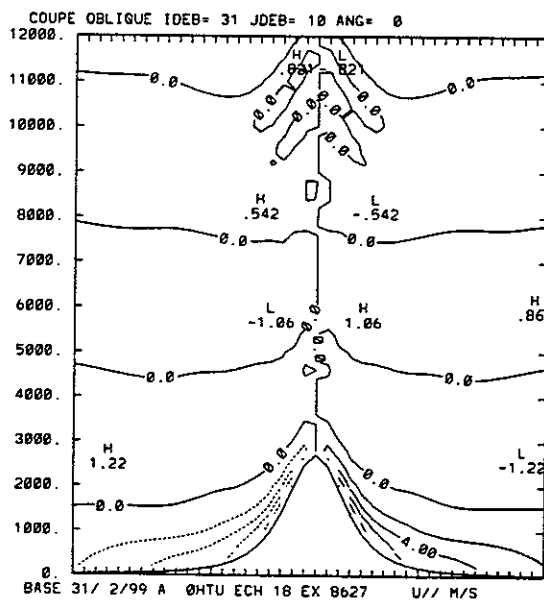
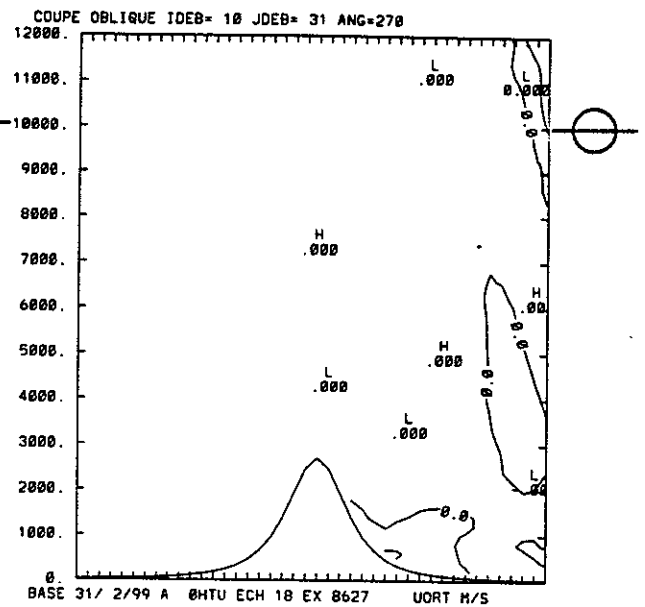
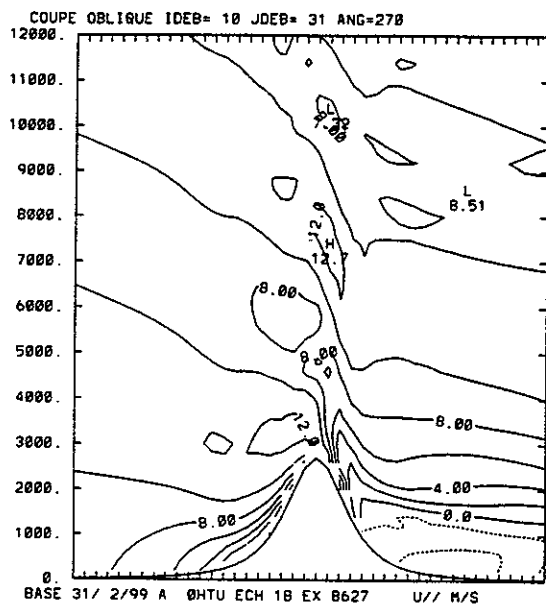
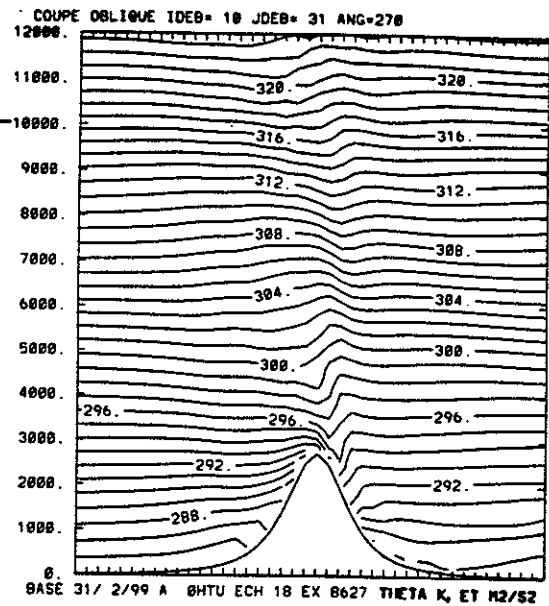
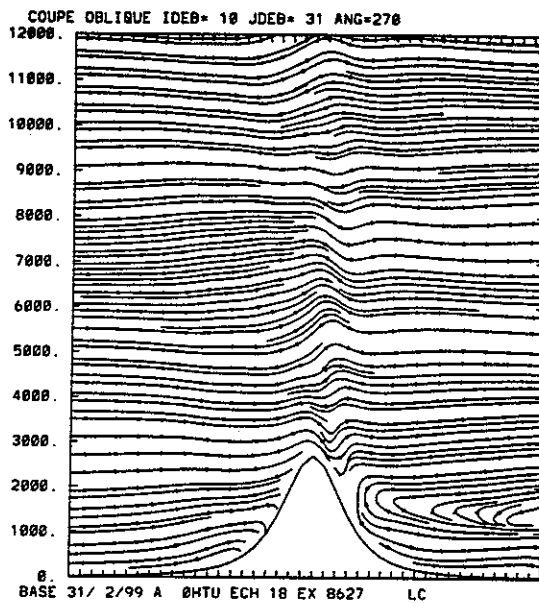


56

6

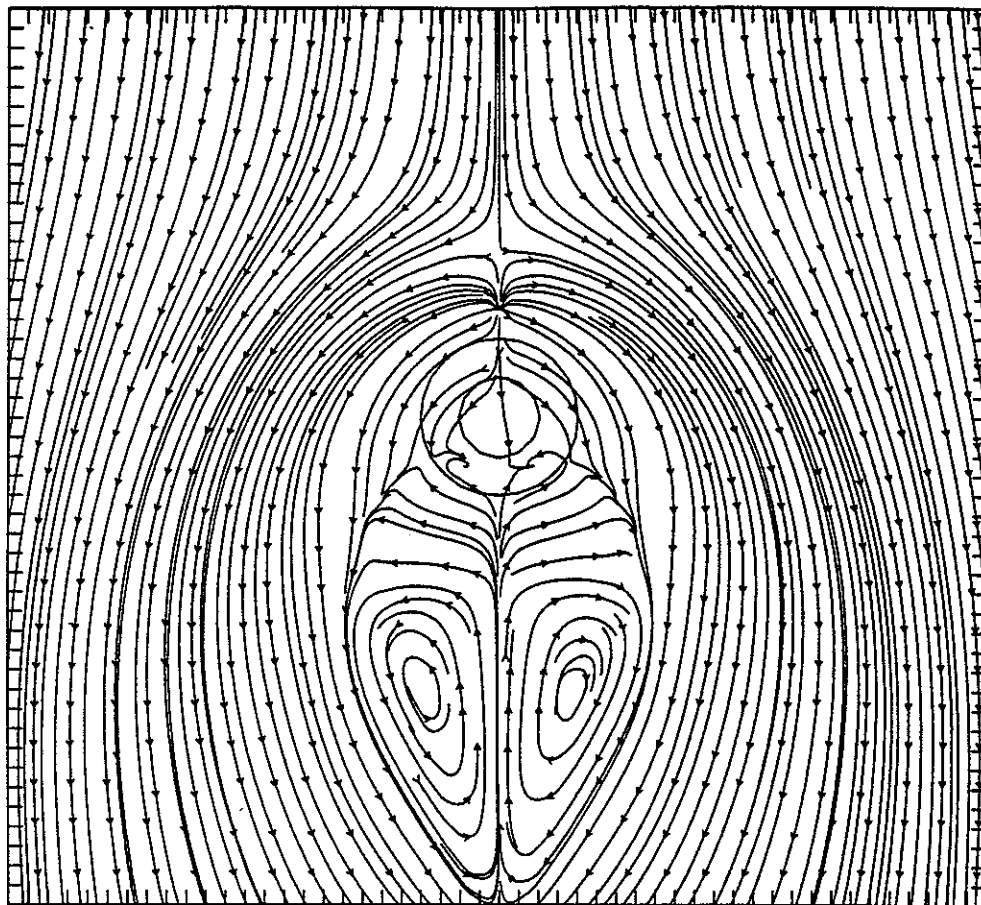
56

EX27c

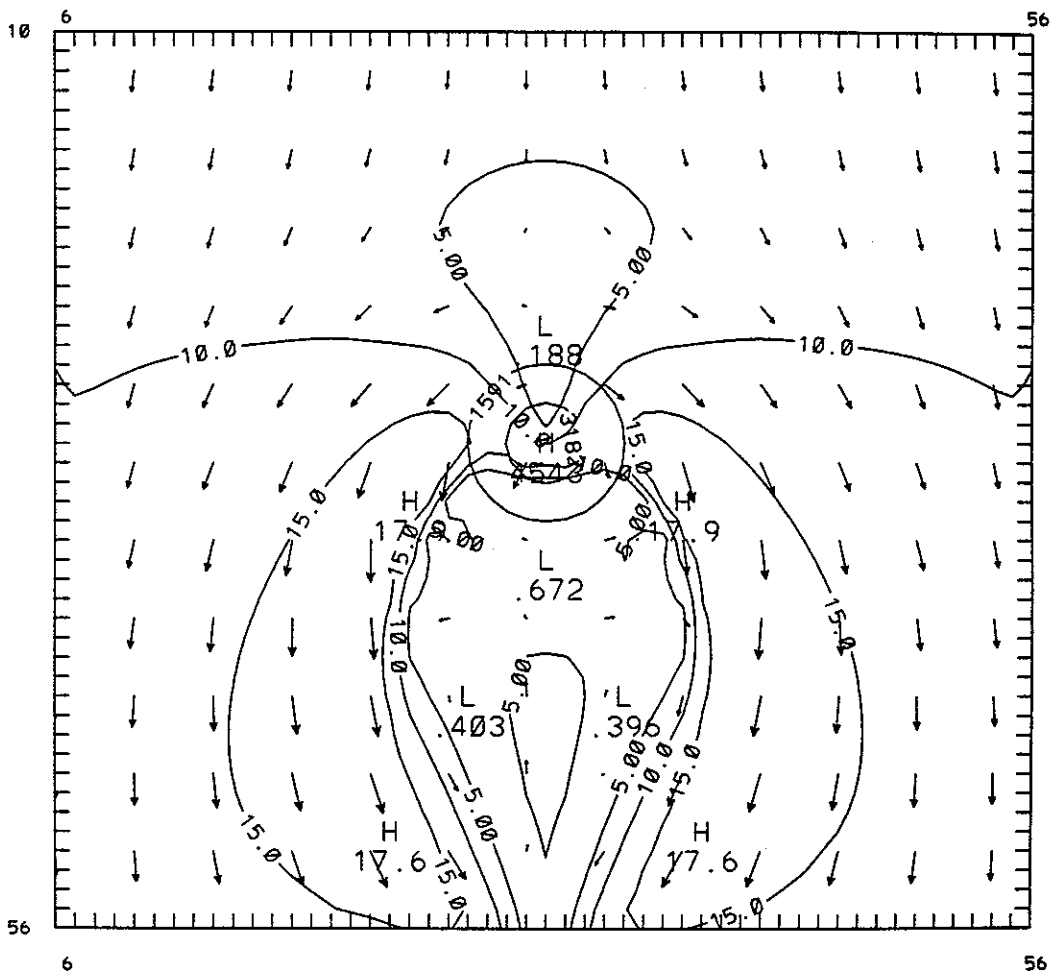


EX45c

10



56

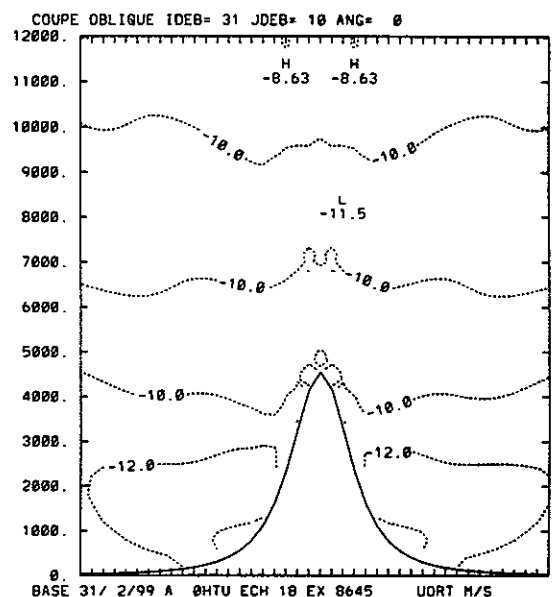
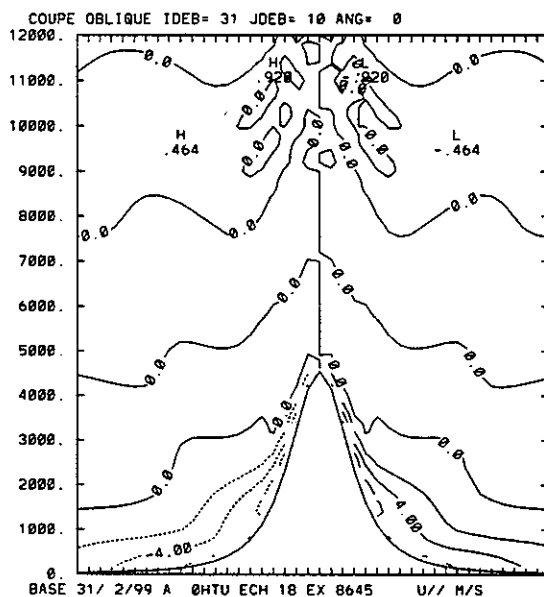
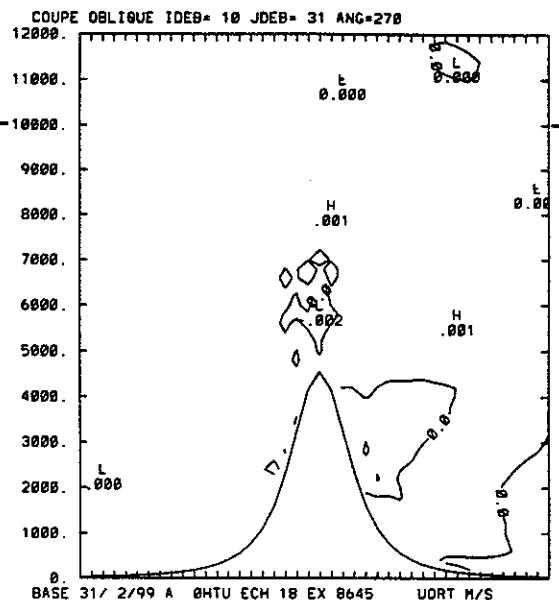
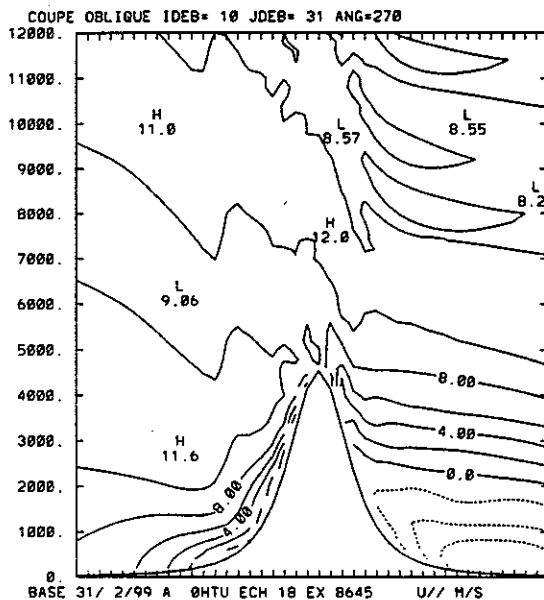
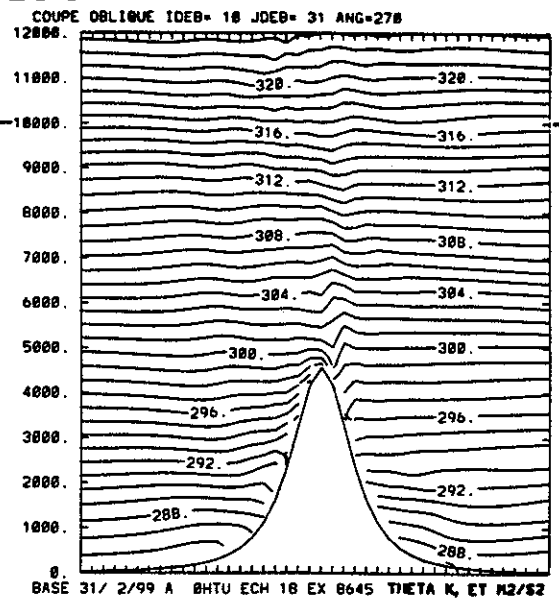
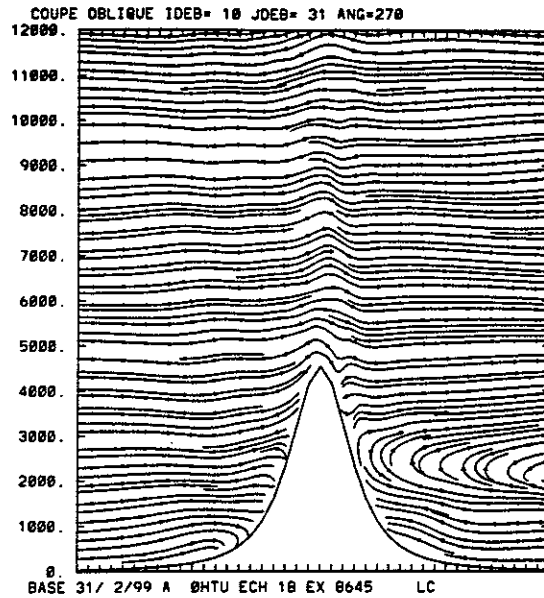


56

6

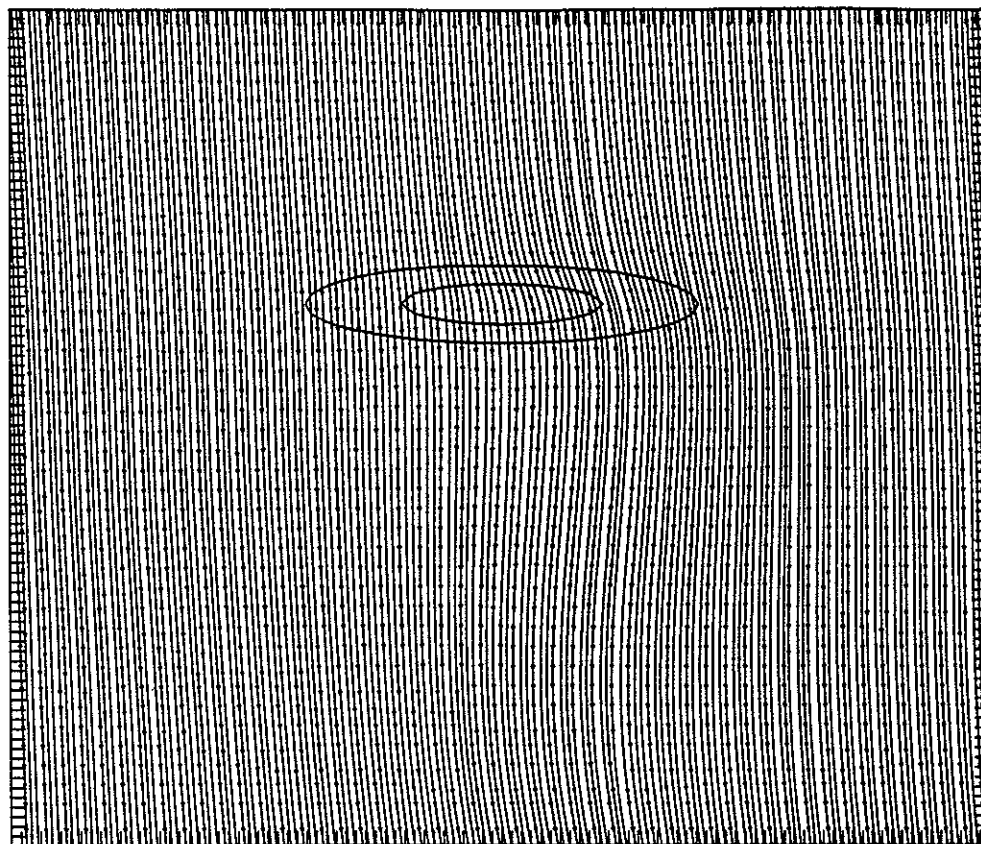
56

EX45c



EX05P

30

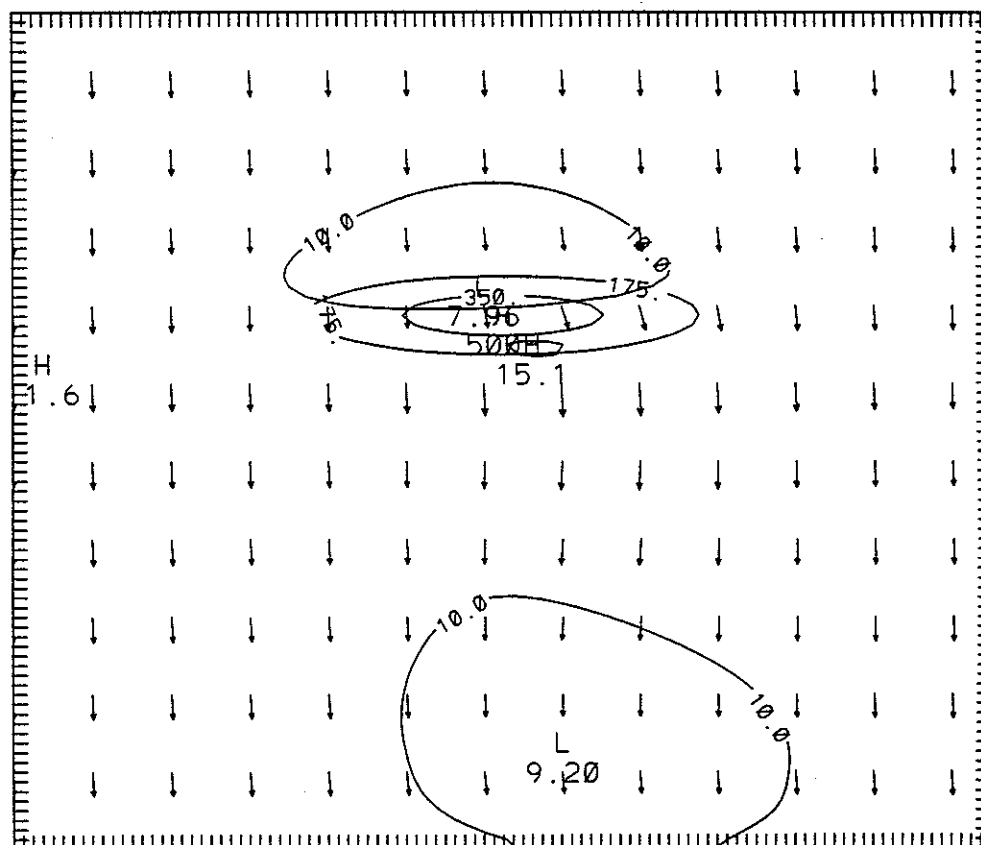


116

11

111

30



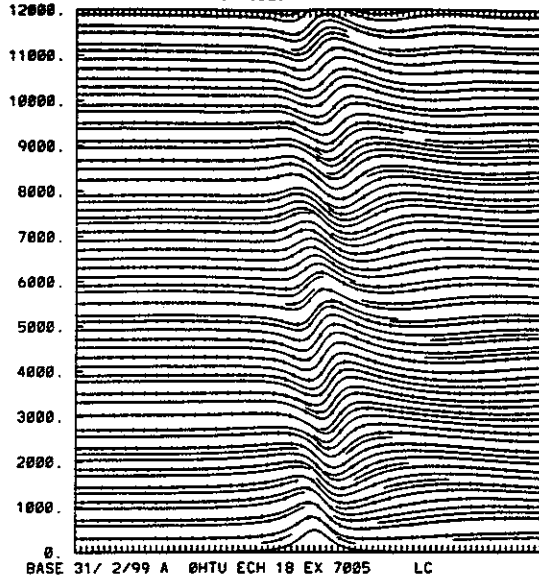
116

11

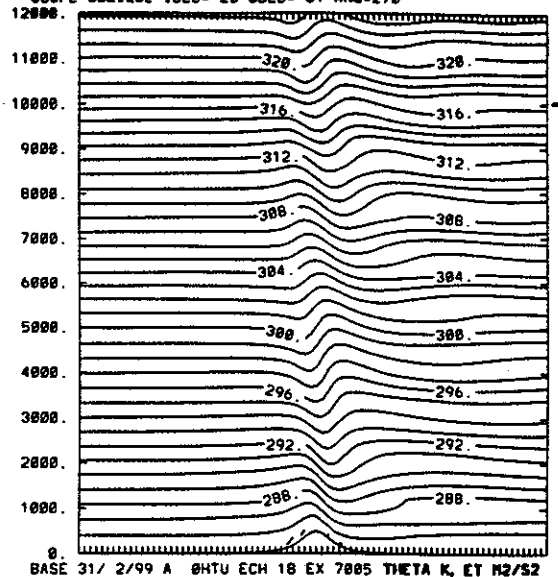
111

EX05P

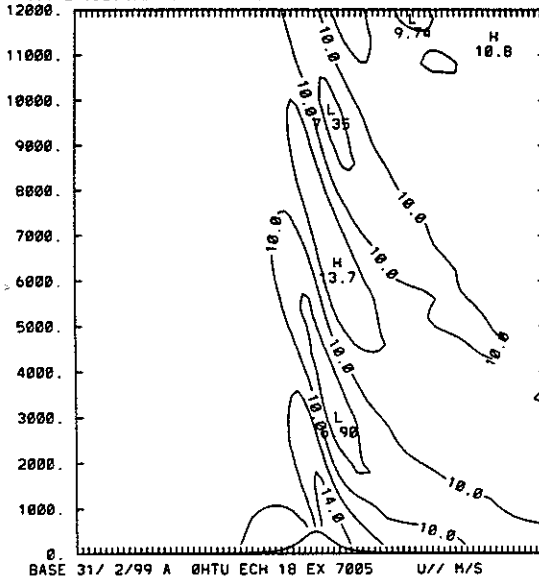
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=278



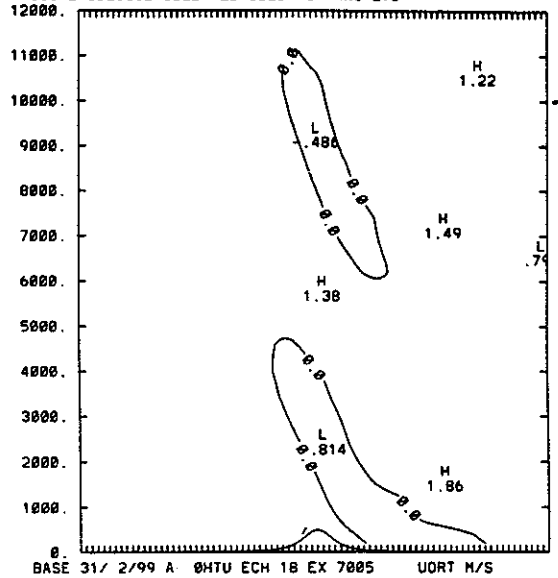
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=278



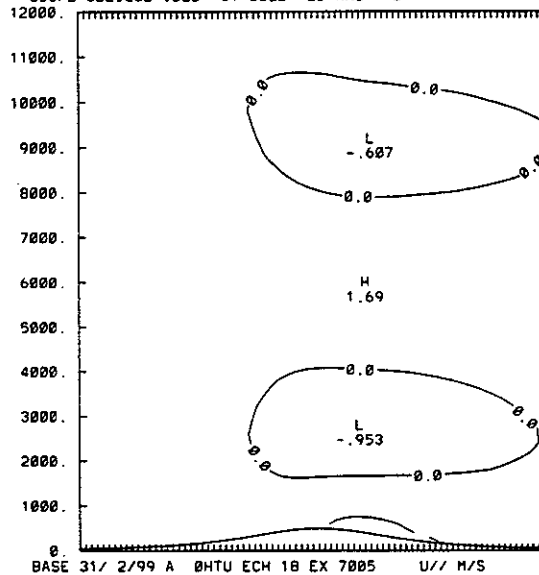
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=278



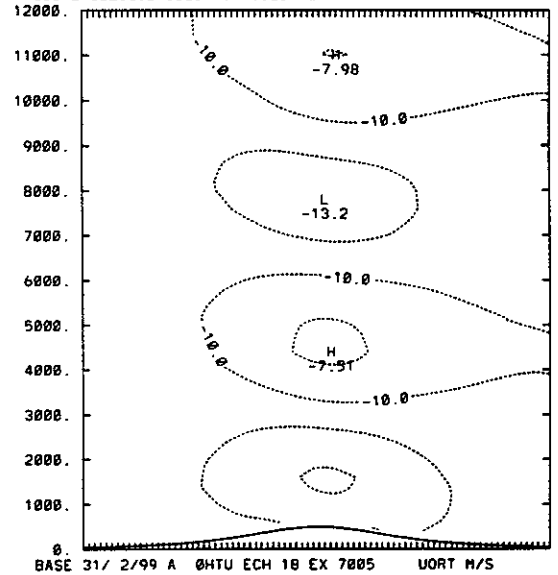
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=278



COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0



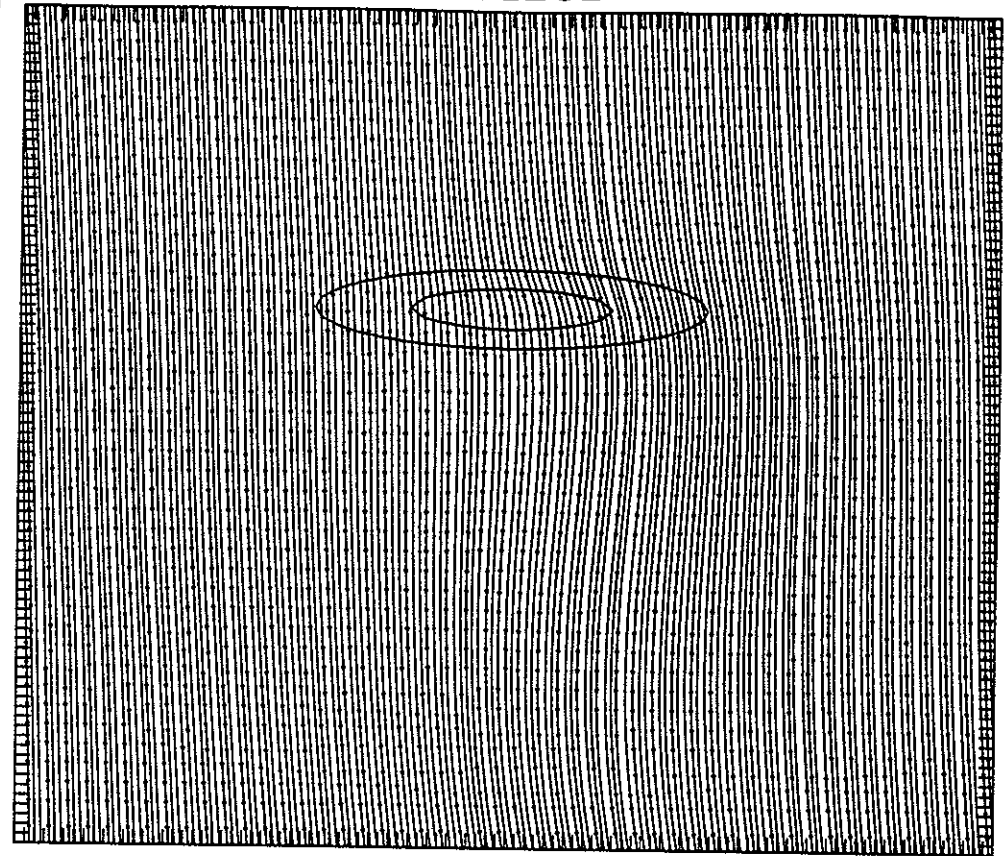
COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0



EX10P

30

116

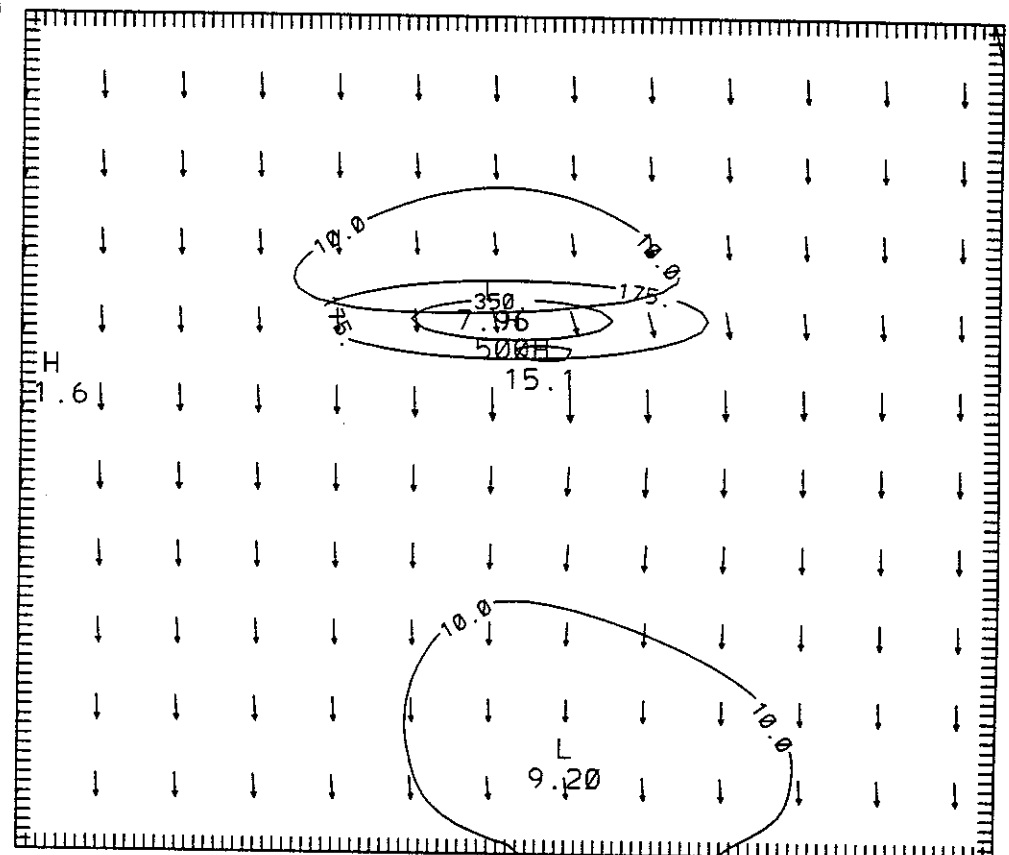


11

111

30

116

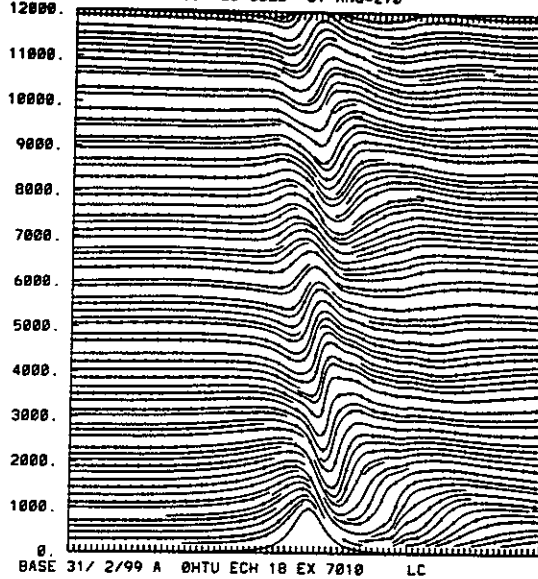


11

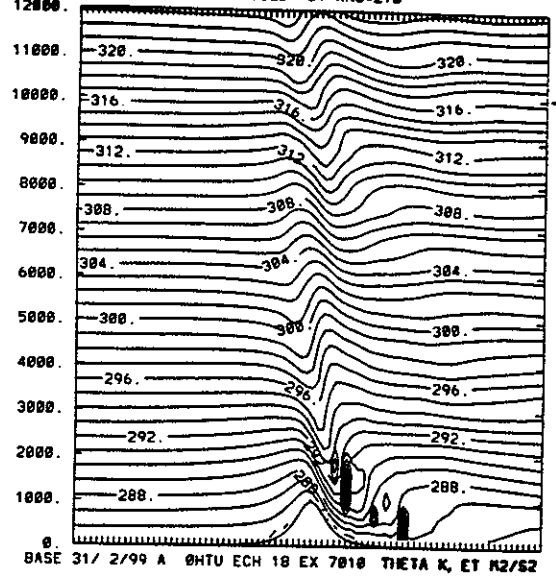
111

EX10P

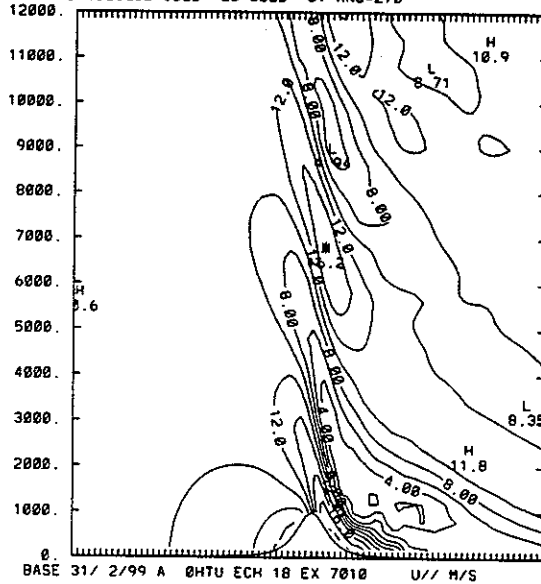
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JOEB= 61 ANG=270



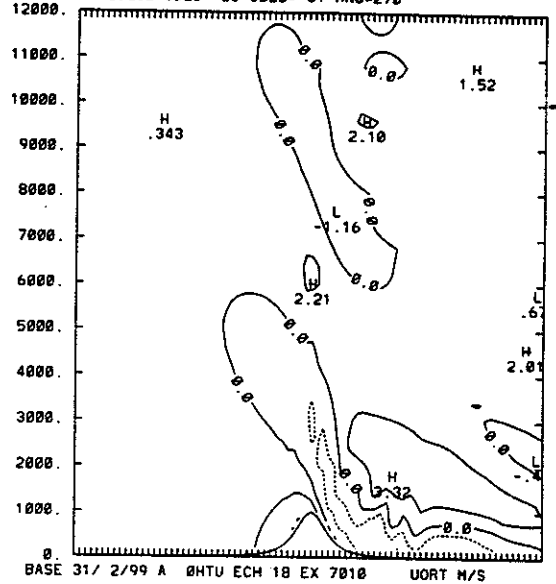
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JOEB= 61 ANG=270



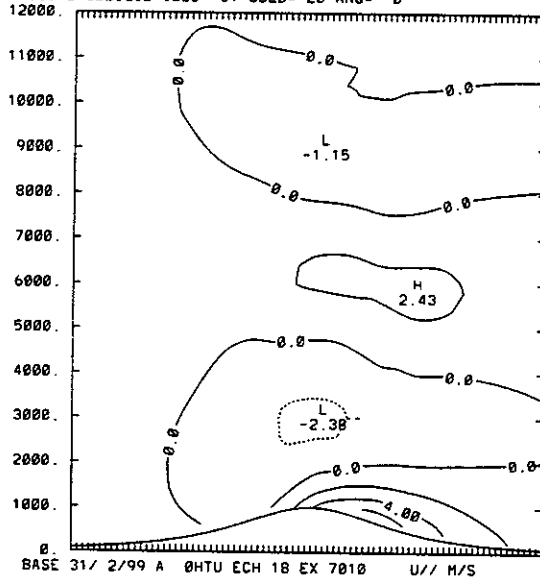
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JOEB= 61 ANG=270



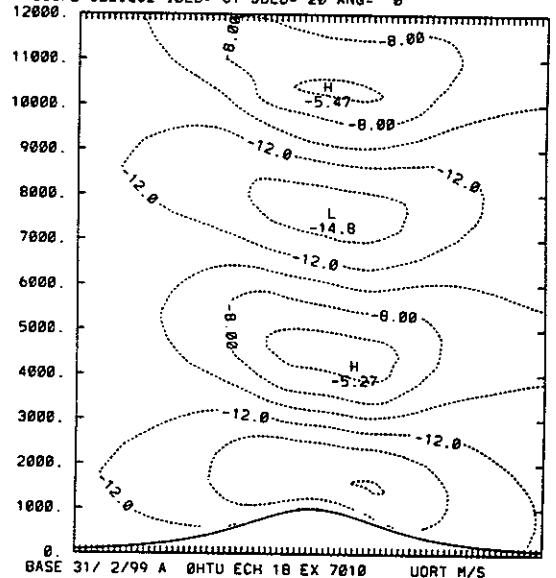
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JOEB= 61 ANG=270



COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JOEB= 20 ANG= 0

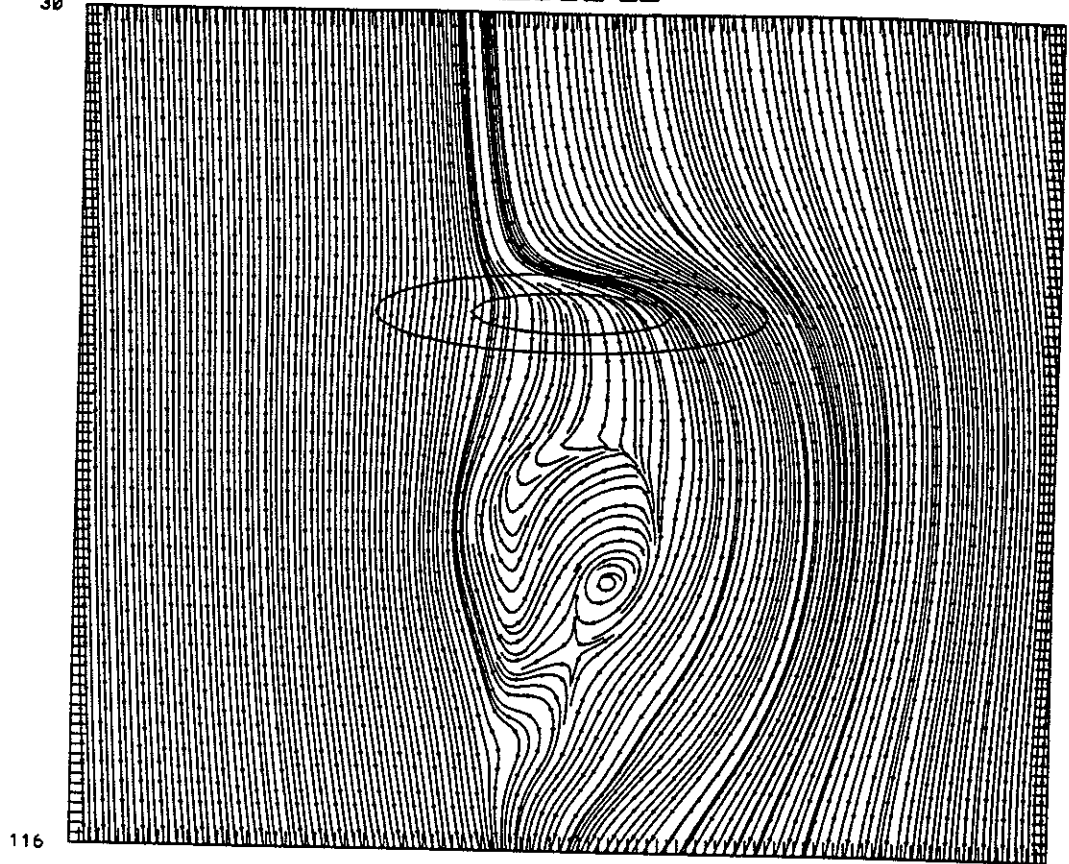


COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JOEB= 20 ANG= 0



EX14P

30

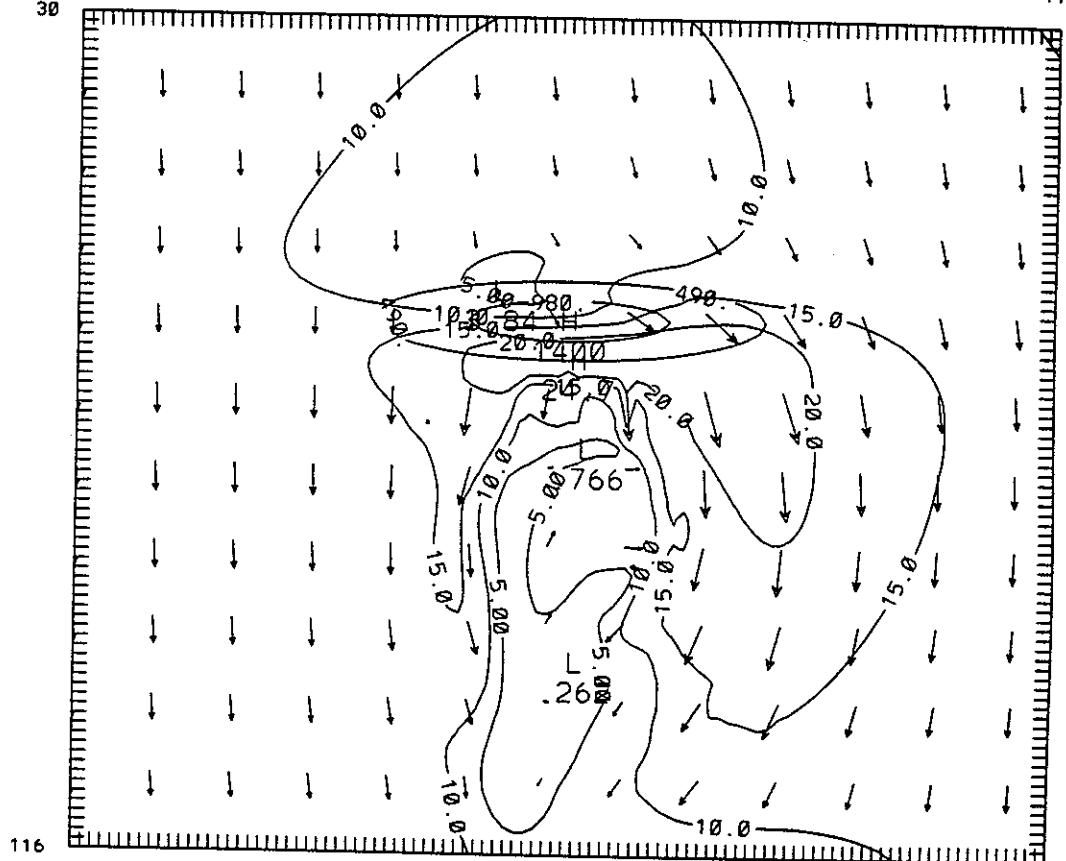


116

11

111

30



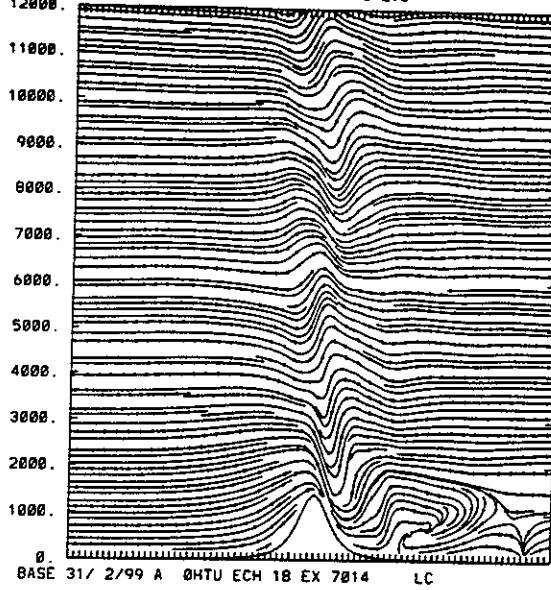
116

11

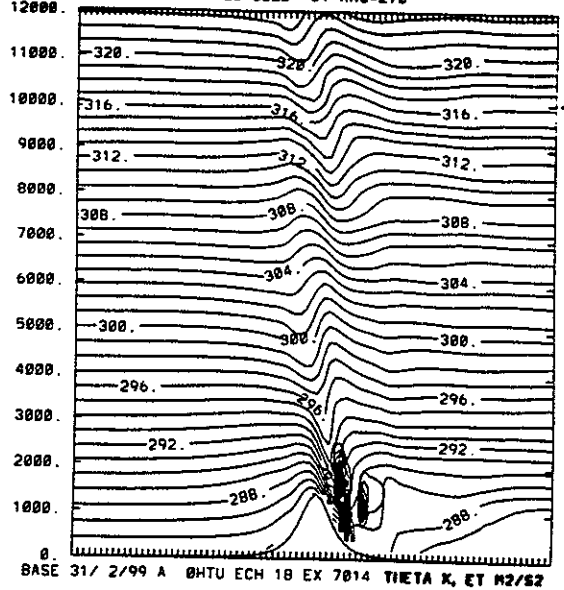
111

EX14P

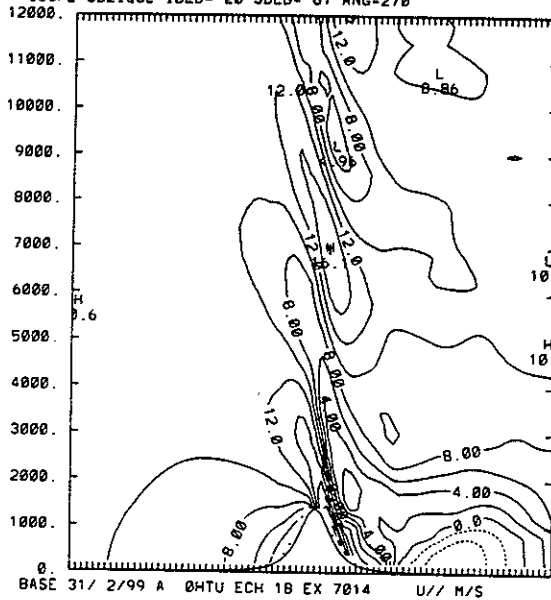
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



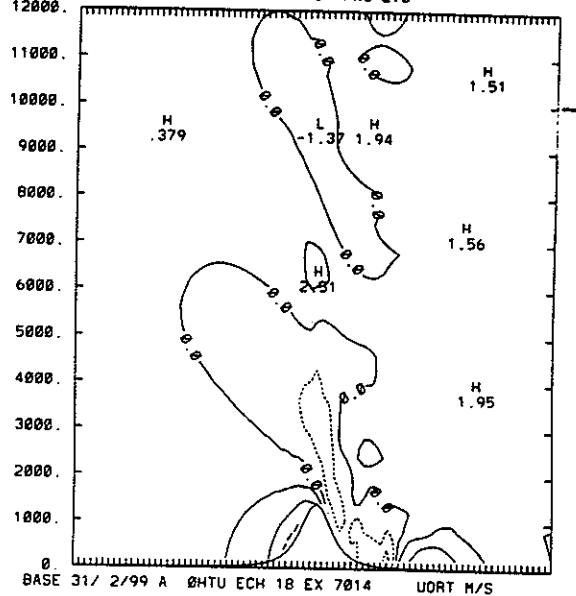
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



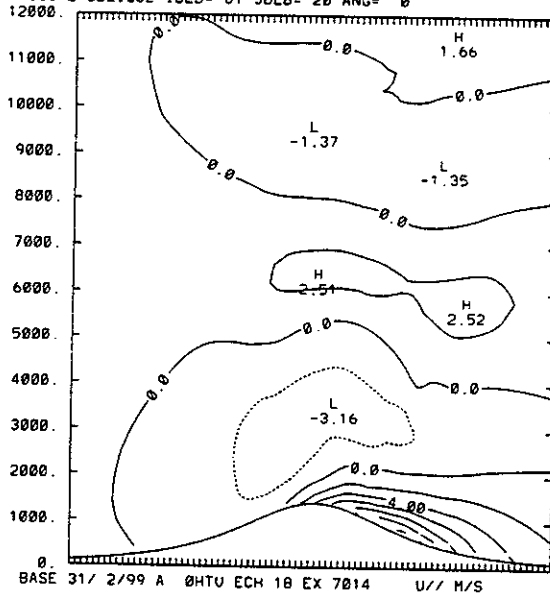
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



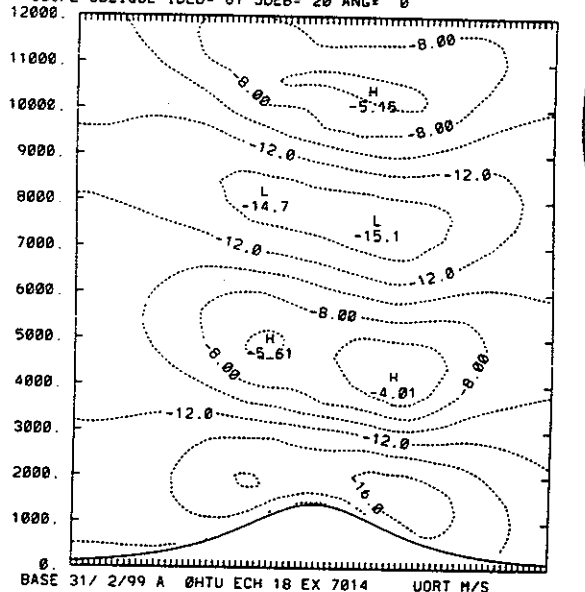
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



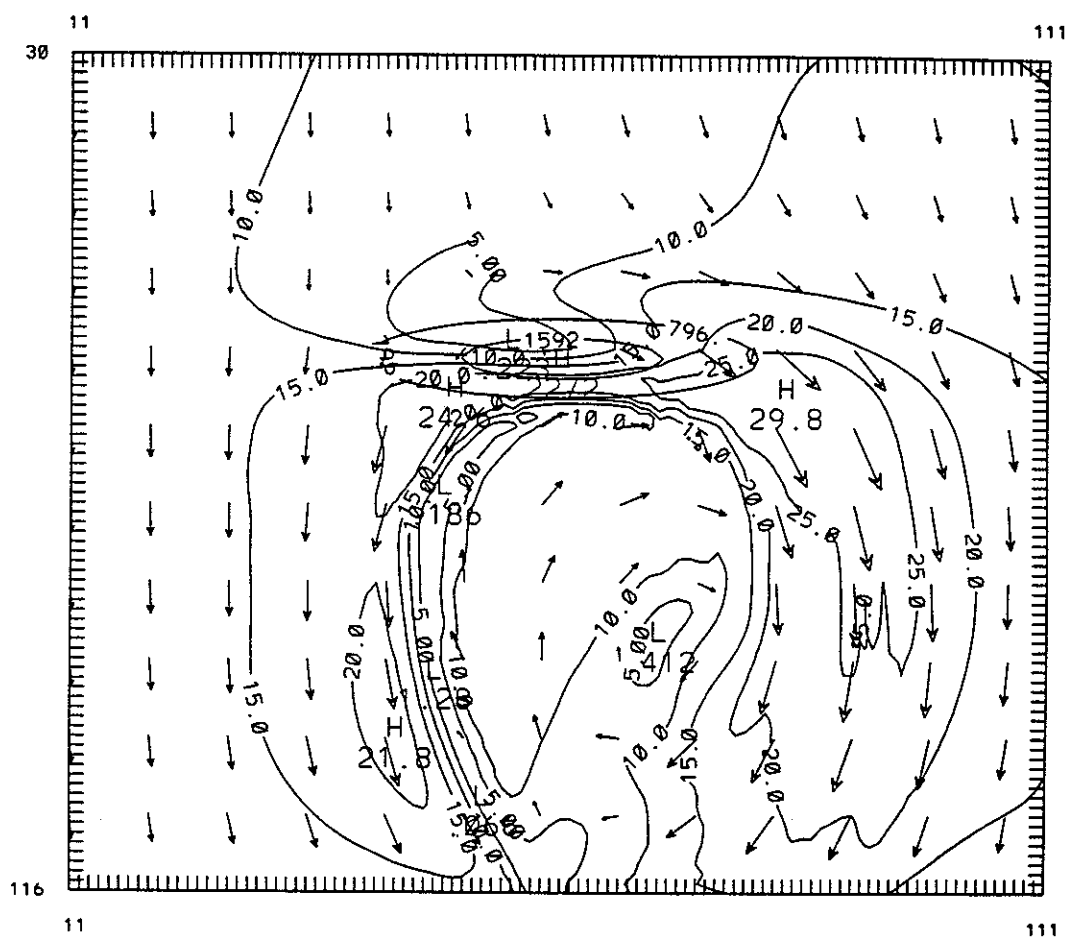
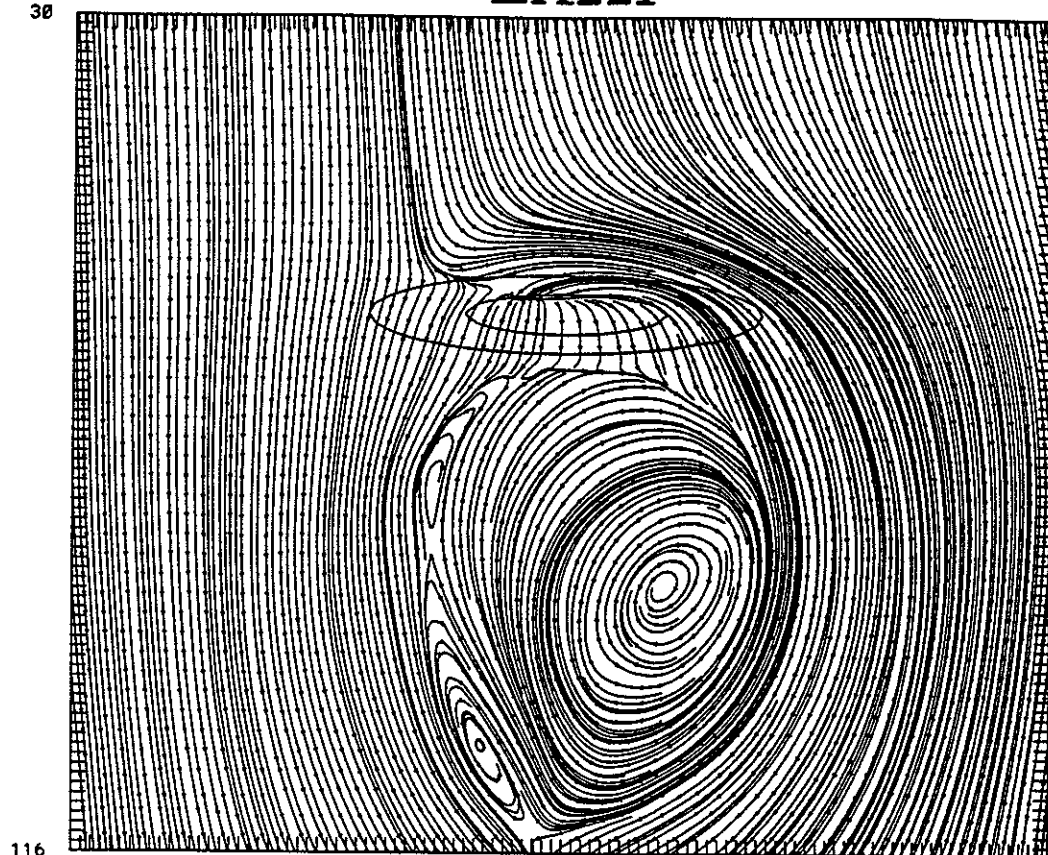
COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0



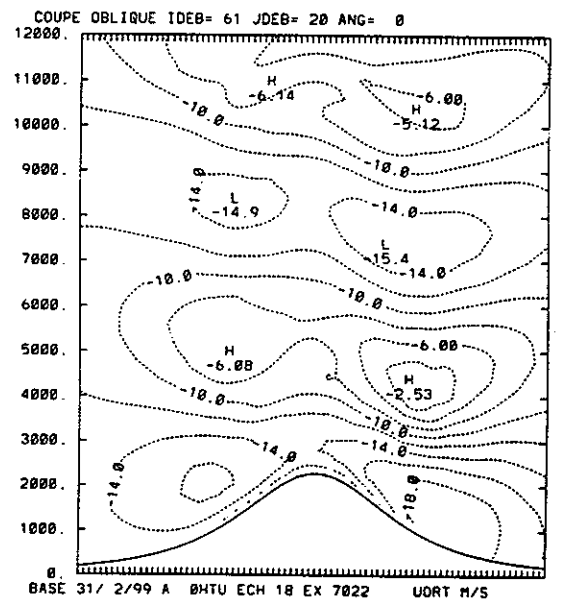
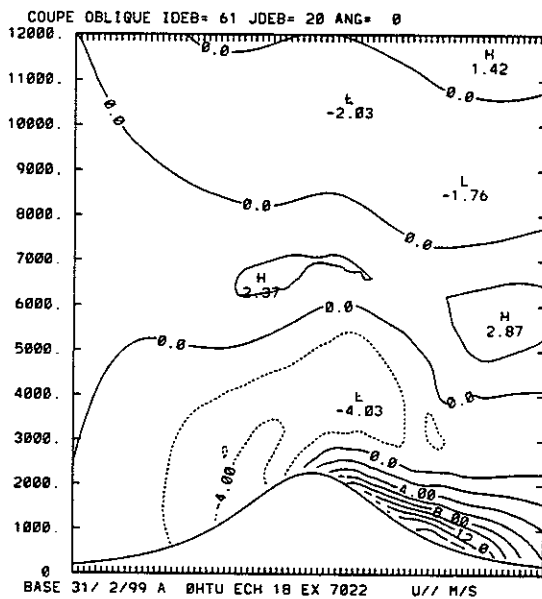
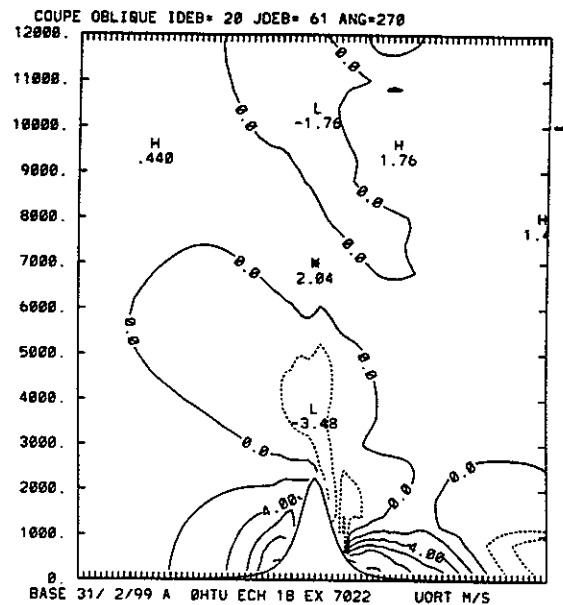
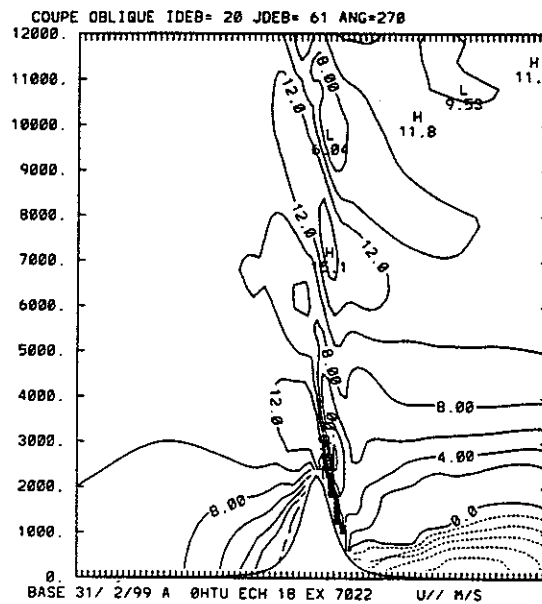
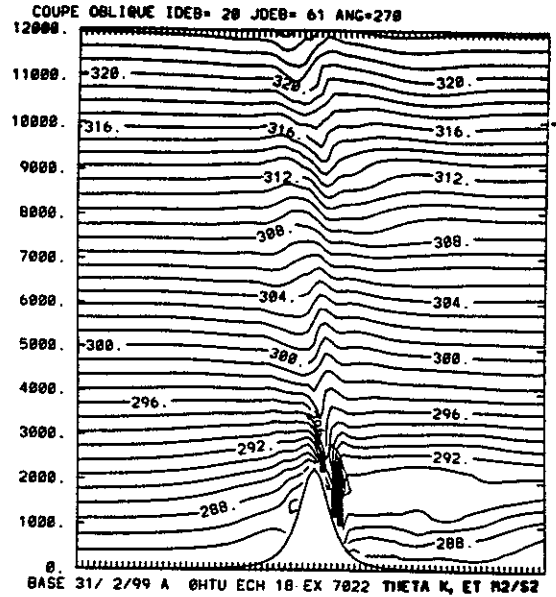
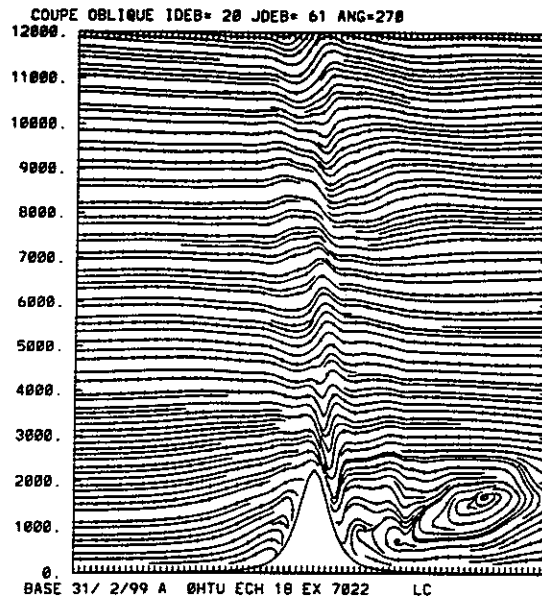
COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0



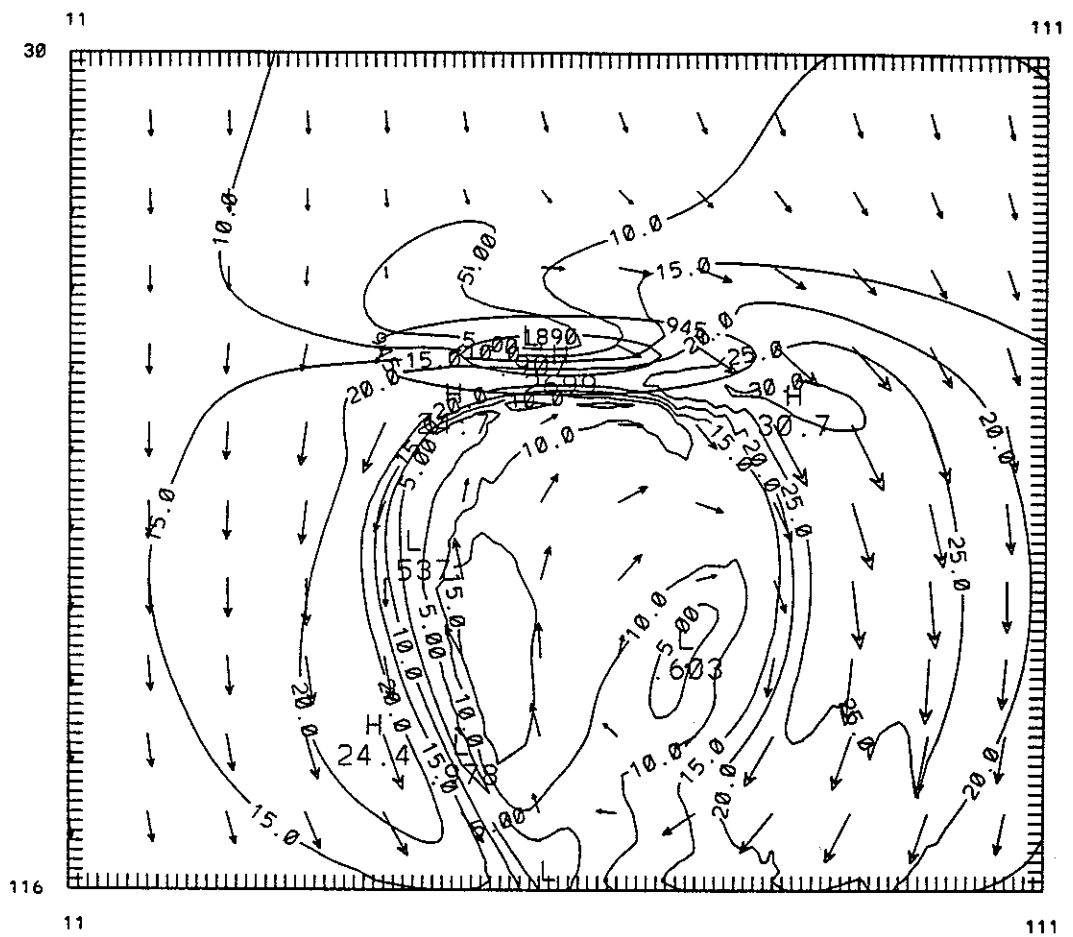
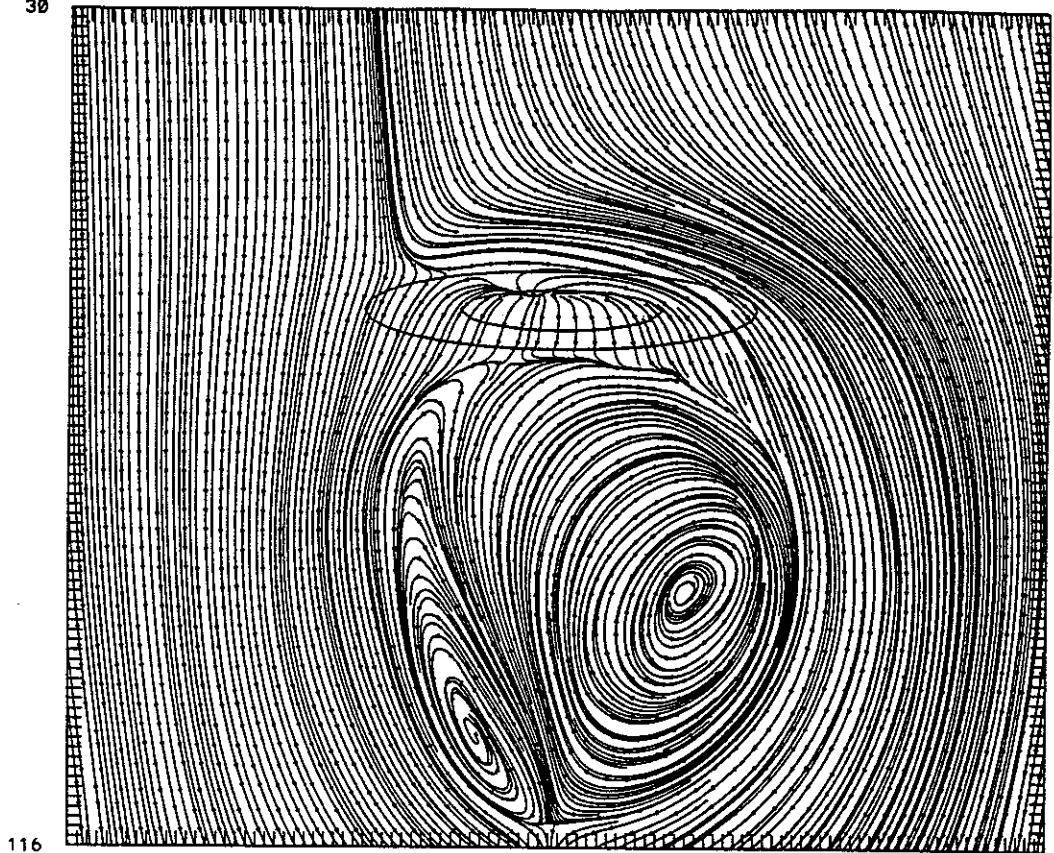
30



EX22P

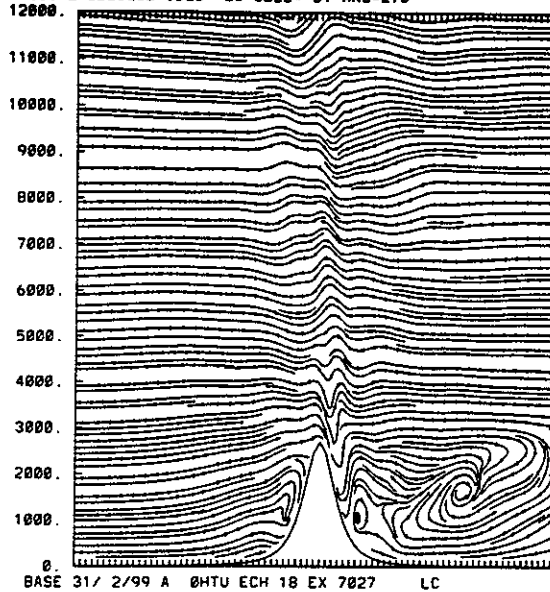


30

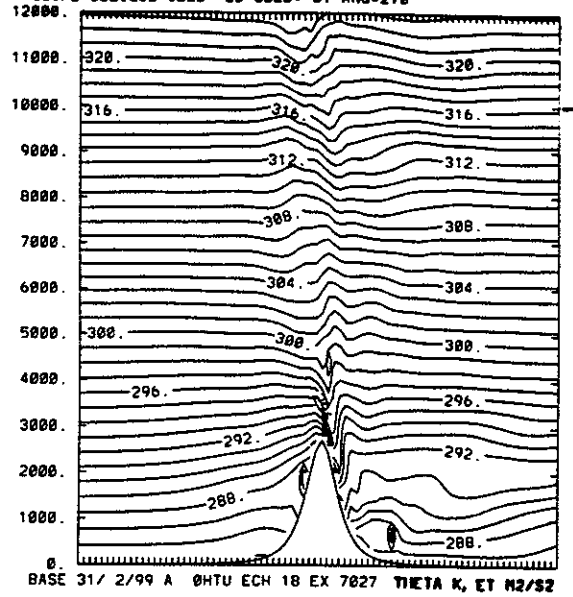


EX27P

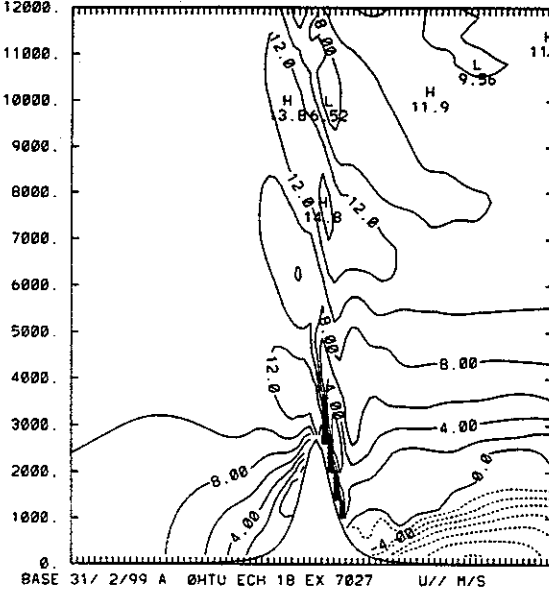
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



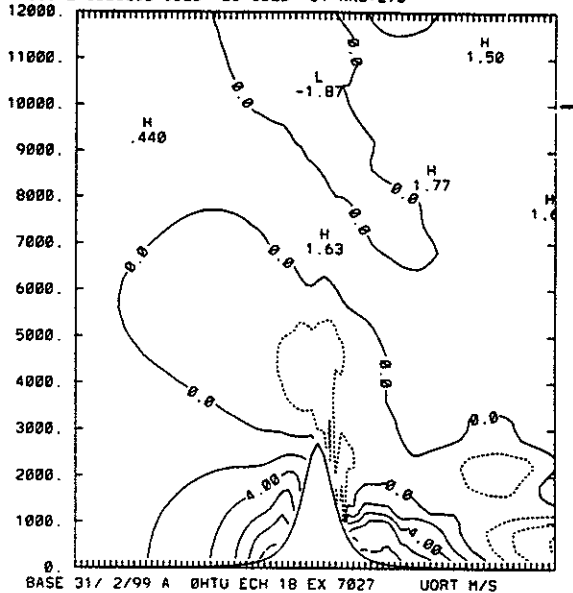
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



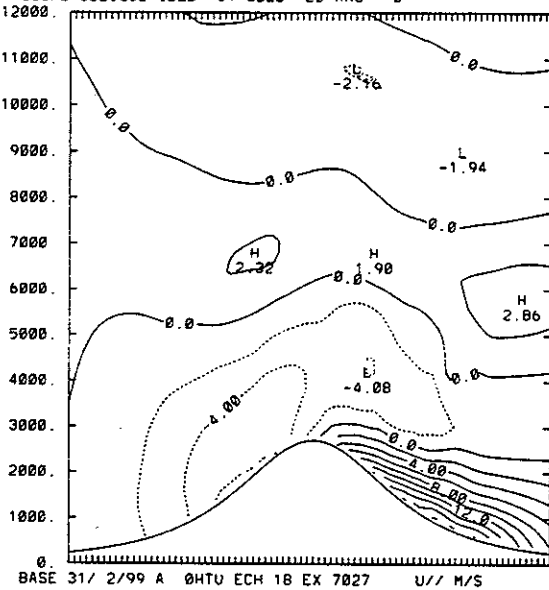
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



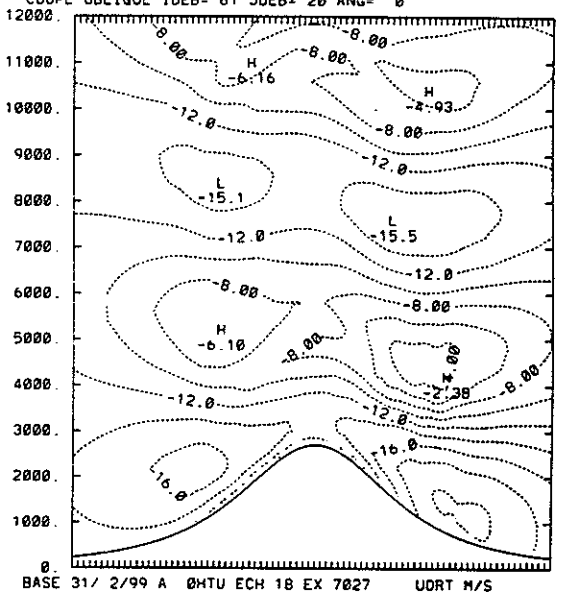
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0



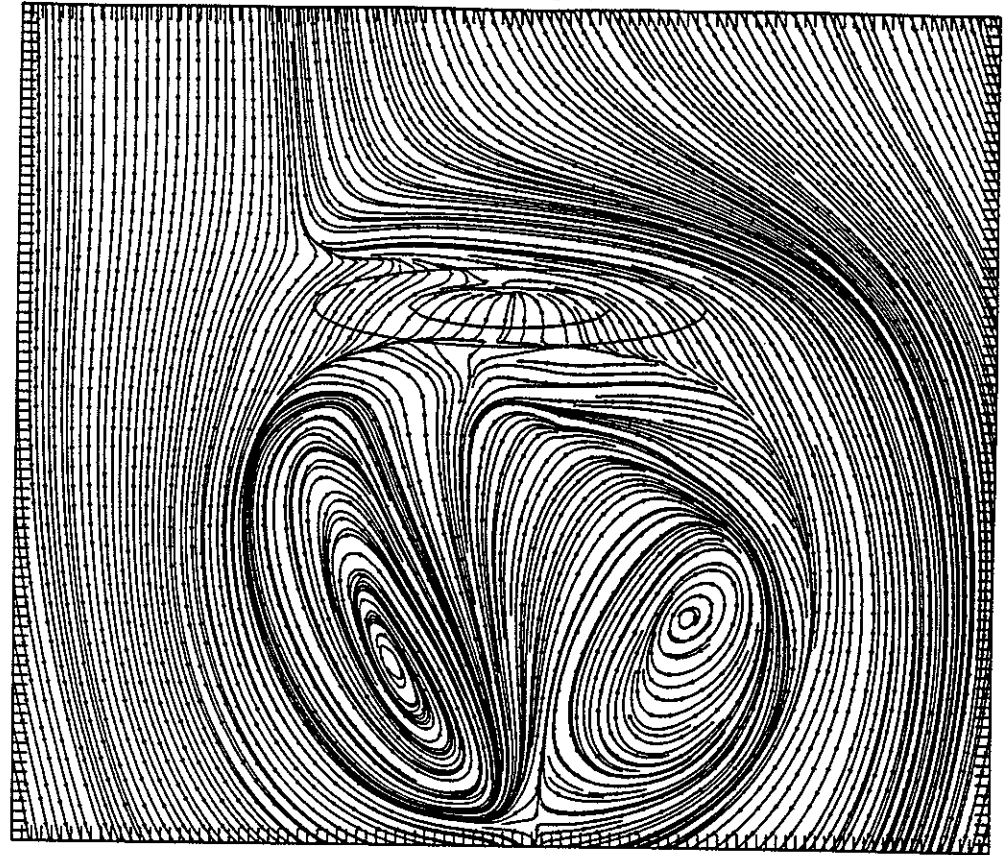
COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0



EX45P

30

116

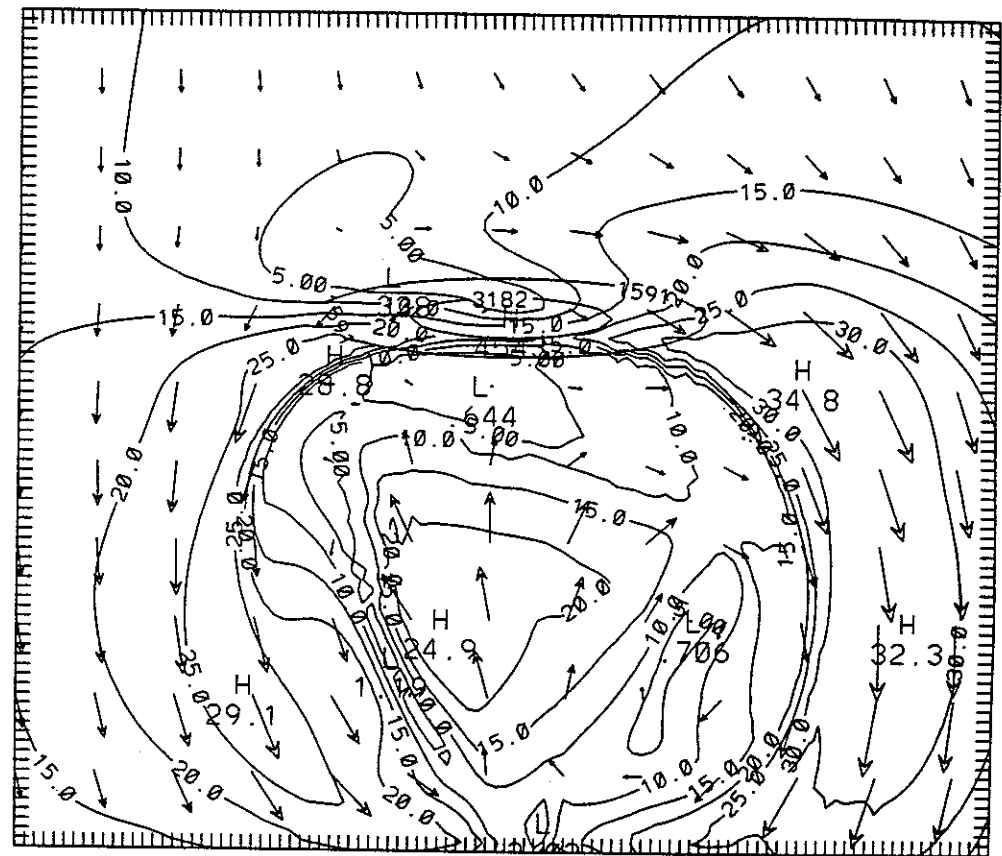


11

111

30

116

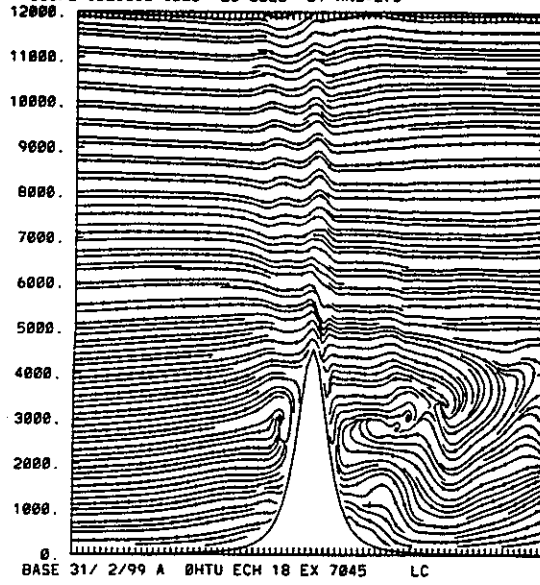


11

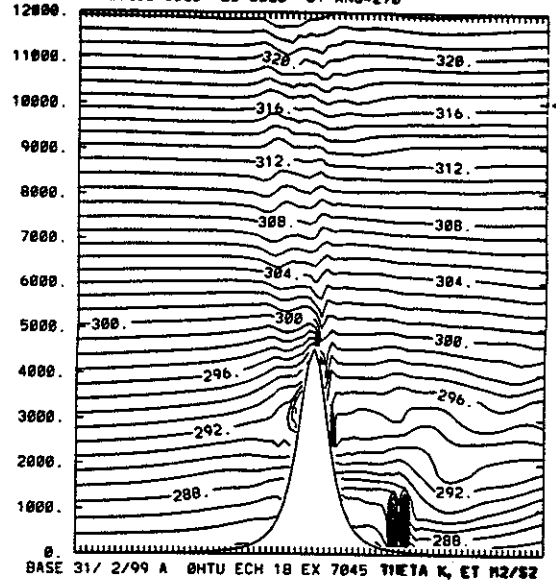
111

EX45P

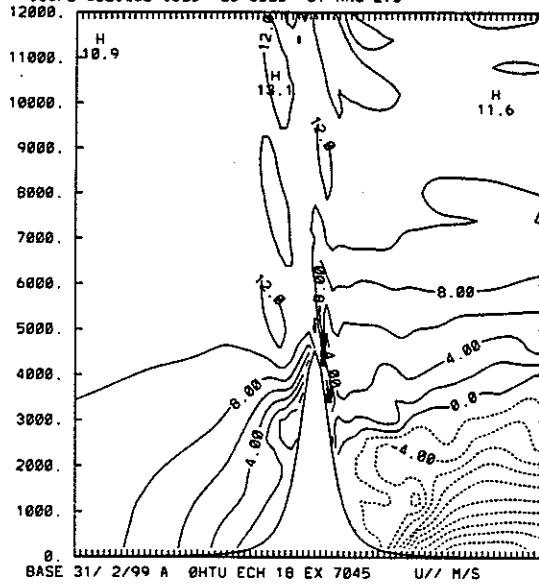
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



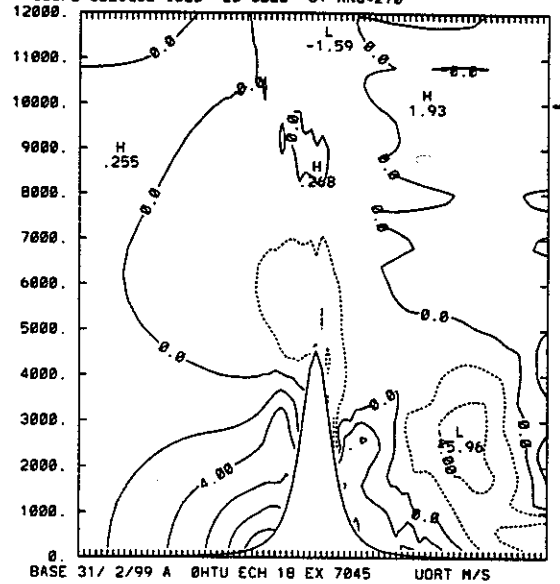
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



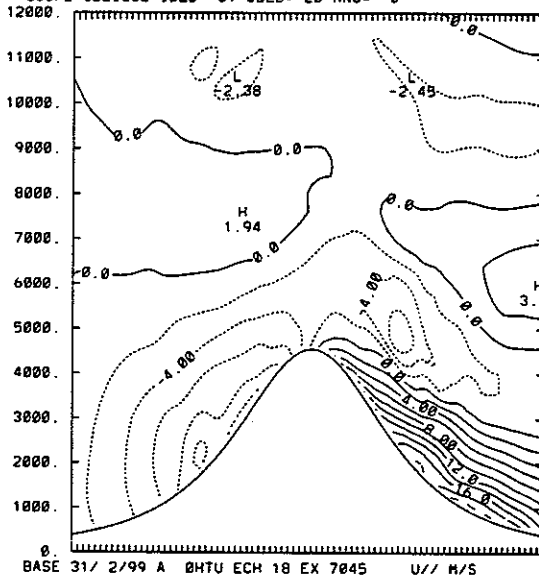
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



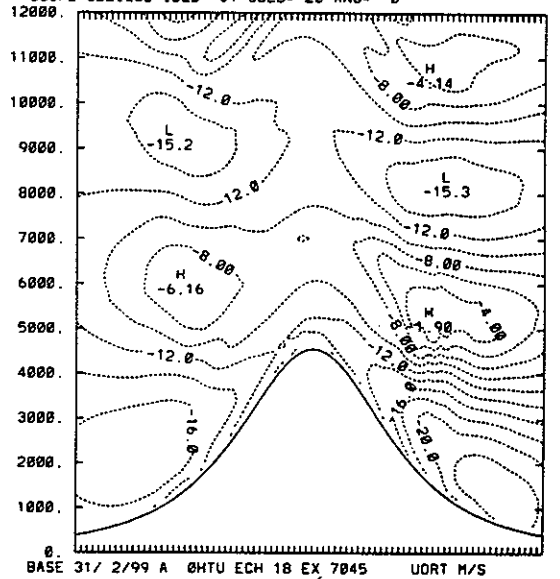
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0

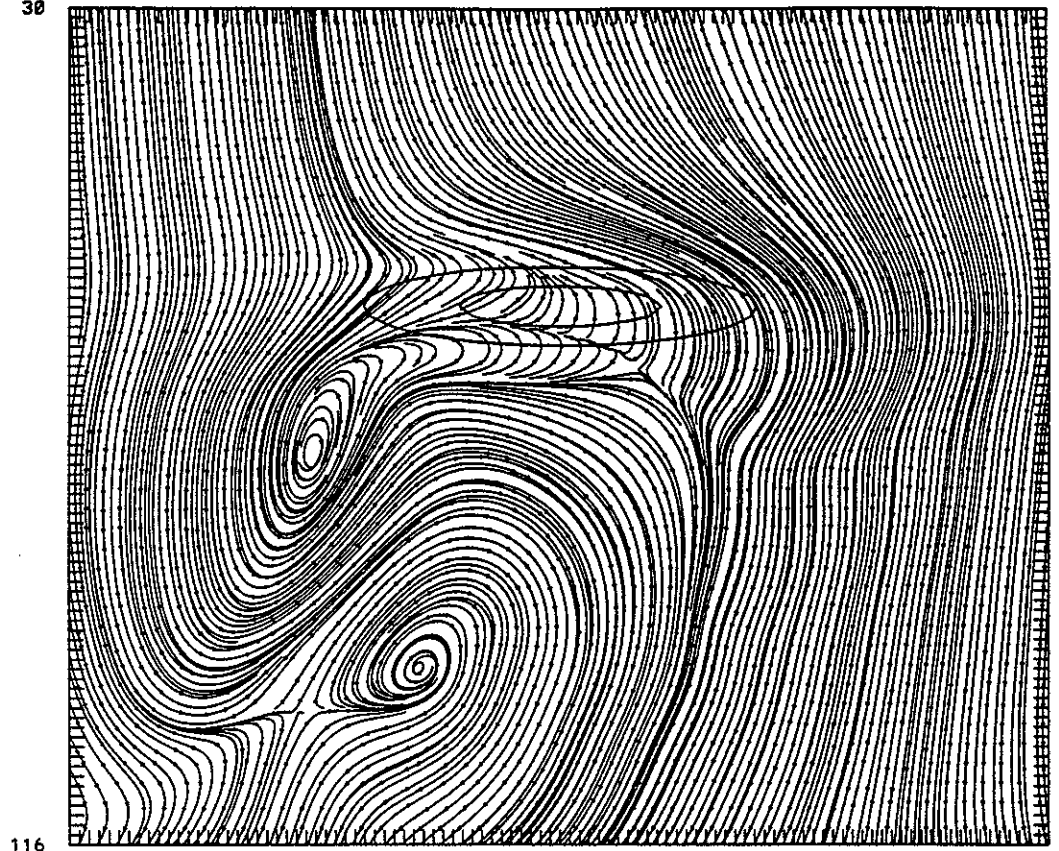


COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0



EX68P12

30

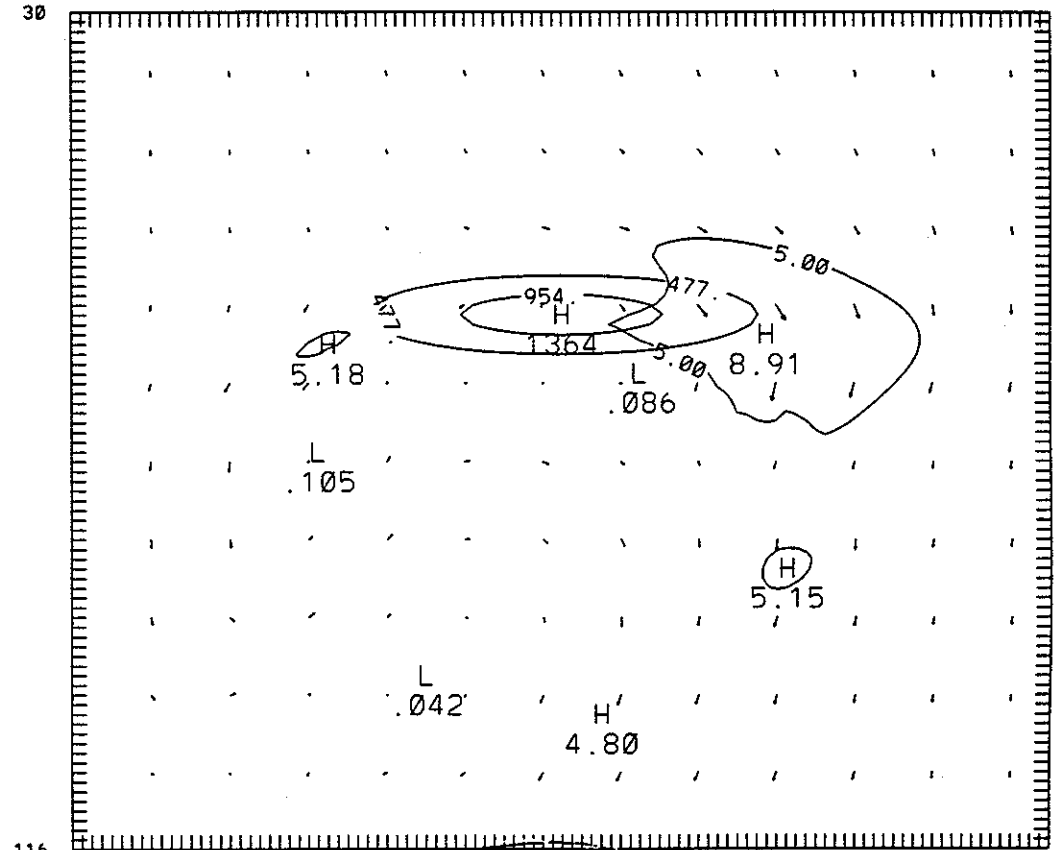


116

11

111

30



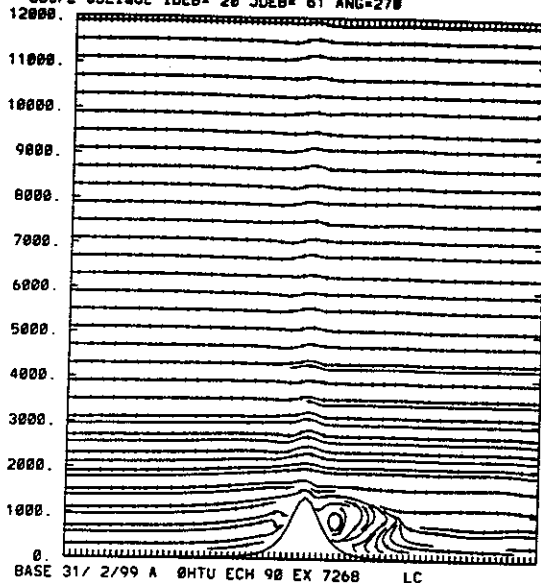
116

11

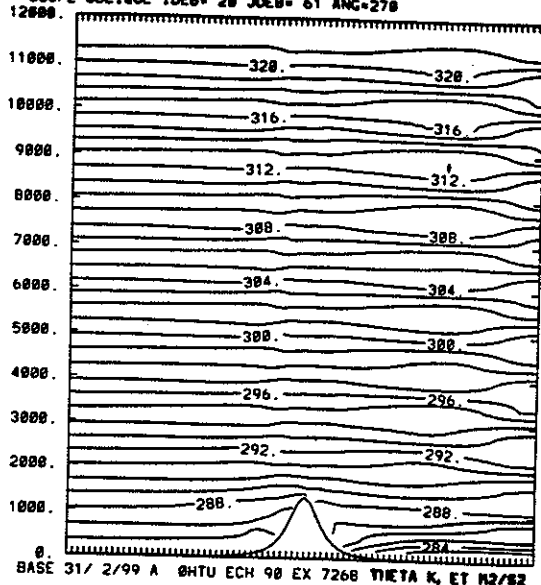
111

EX68P12

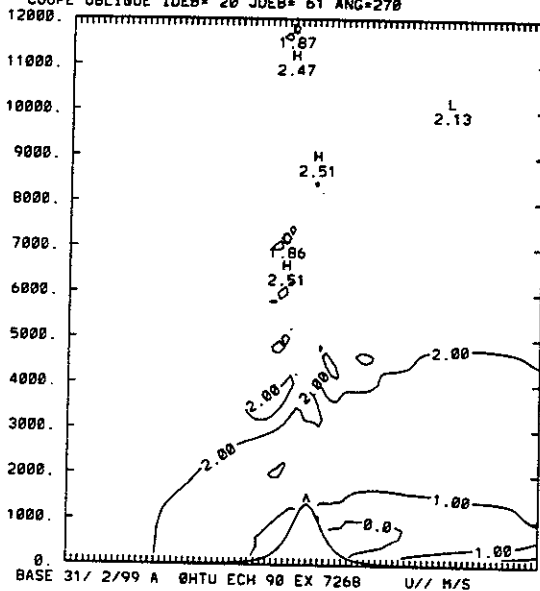
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



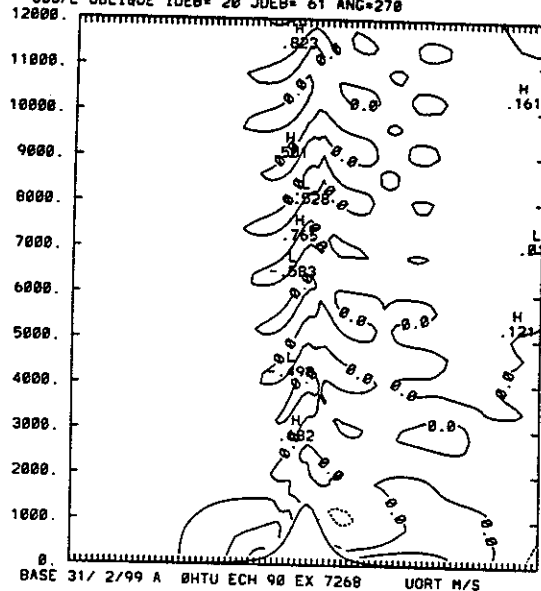
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



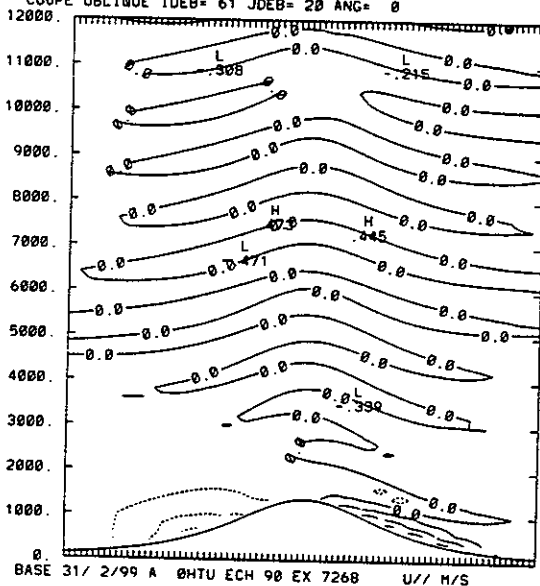
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



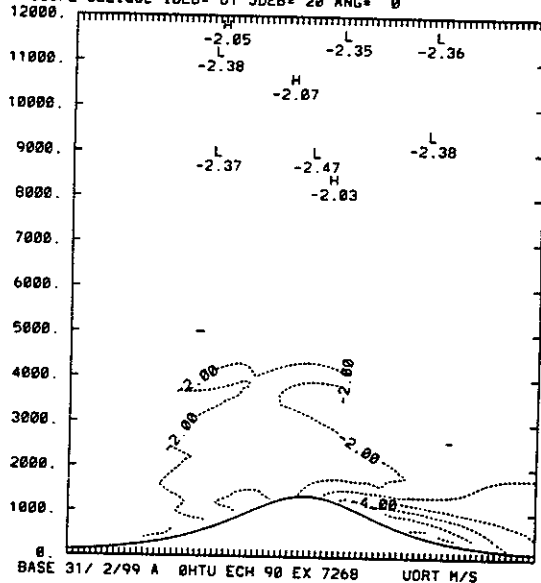
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0

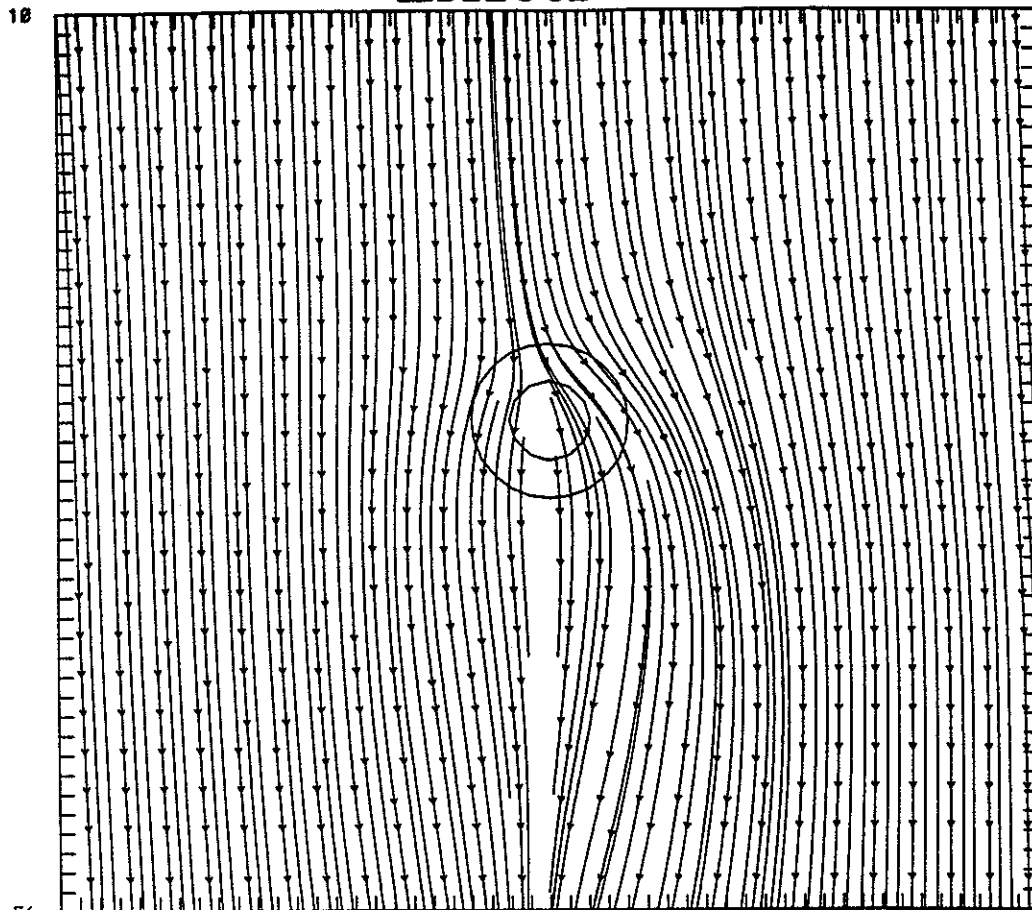


COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0

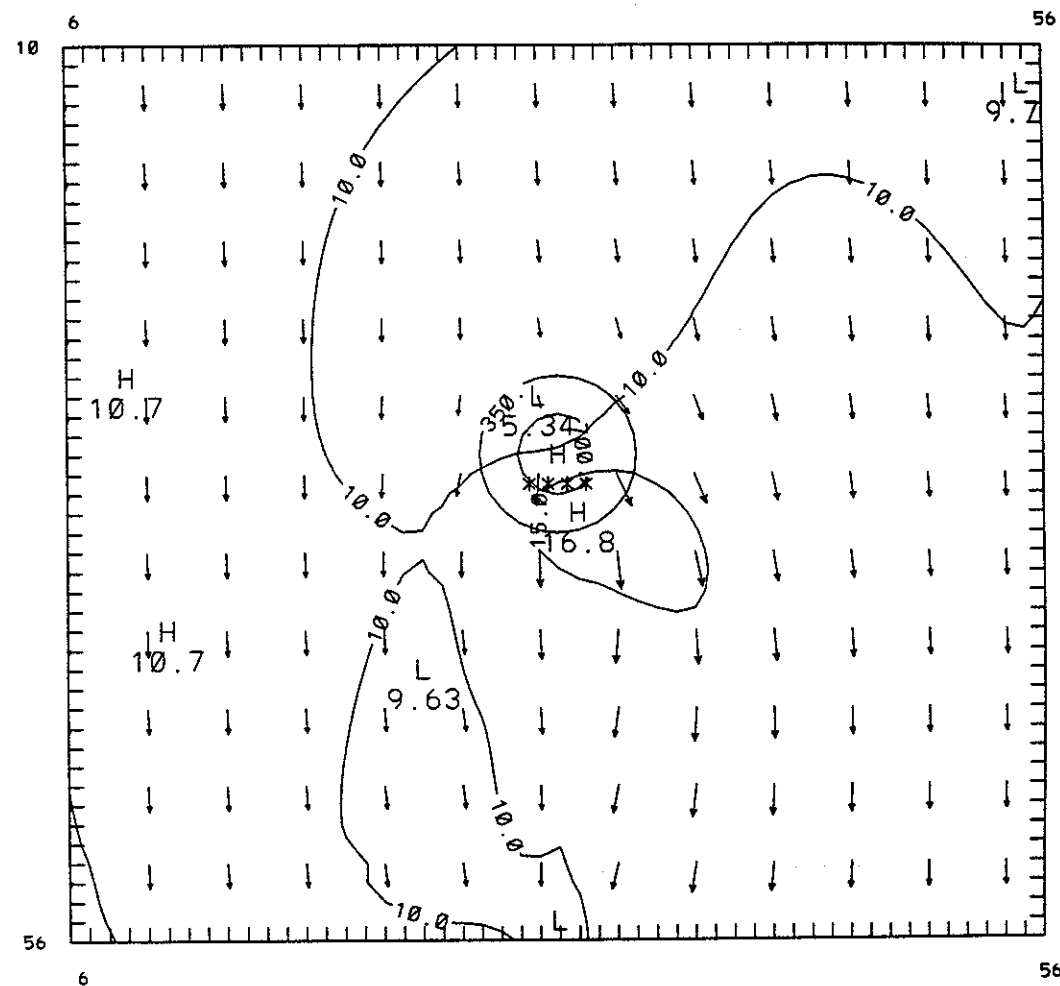


EX10cP

18



56



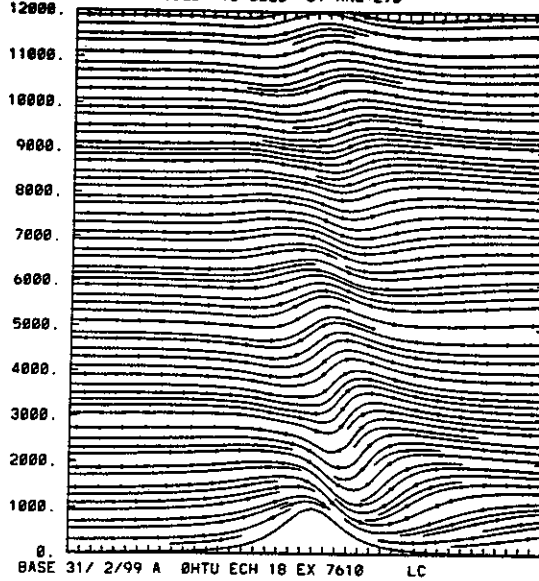
56

6

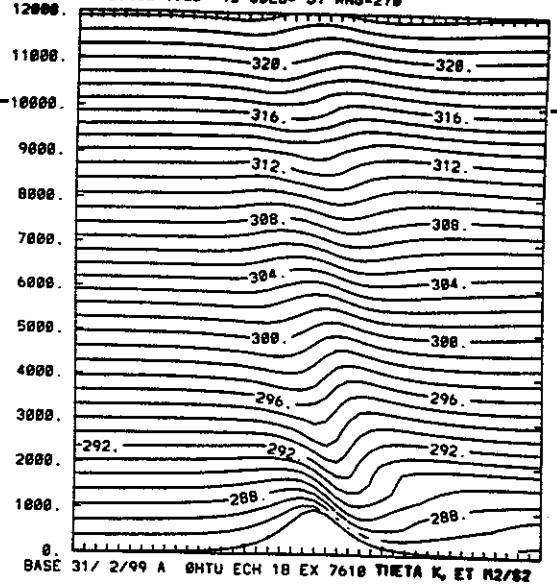
56

EX10cP

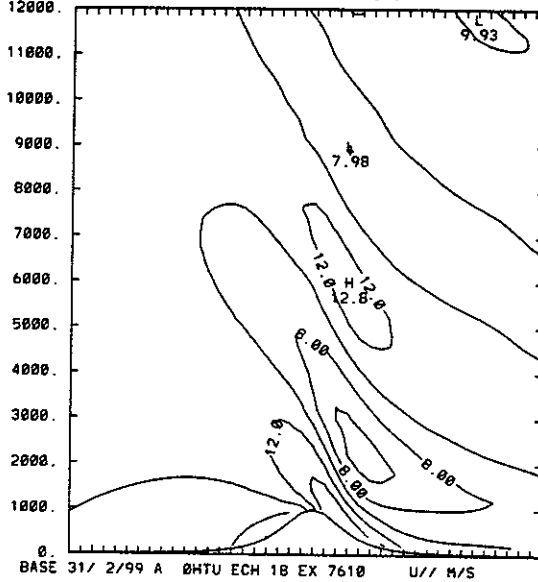
COUPE OBLIQUE IDEB= 10 JDEB= 31 ANG=270



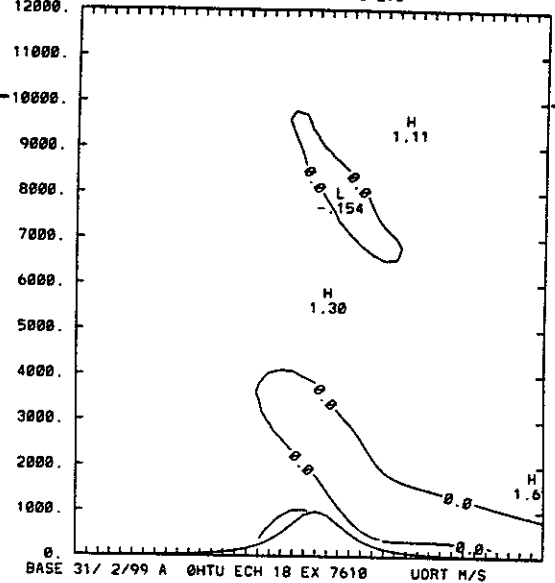
COUPE OBLIQUE IDEB= 10 JDEB= 31 ANG=270



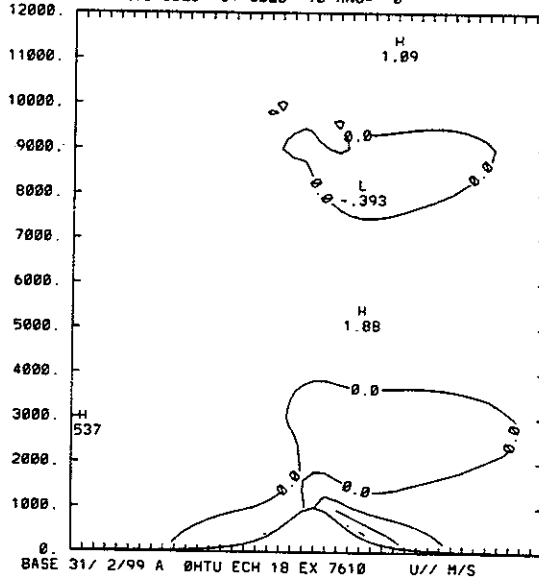
COUPE OBLIQUE IDEB= 10 JDEB= 31 ANG=270



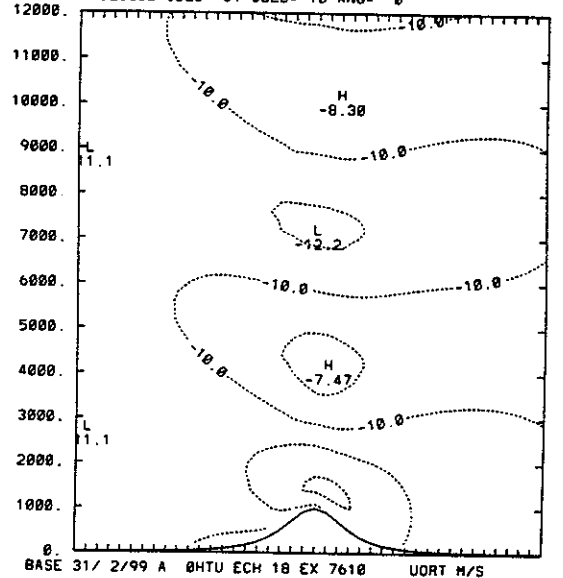
COUPE OBLIQUE IDEB= 10 JDEB= 31 ANG=270



COUPE OBLIQUE IDEB= 31 JDEB= 10 ANG= 0



COUPE OBLIQUE IDEB= 31 JDEB= 10 ANG= 0

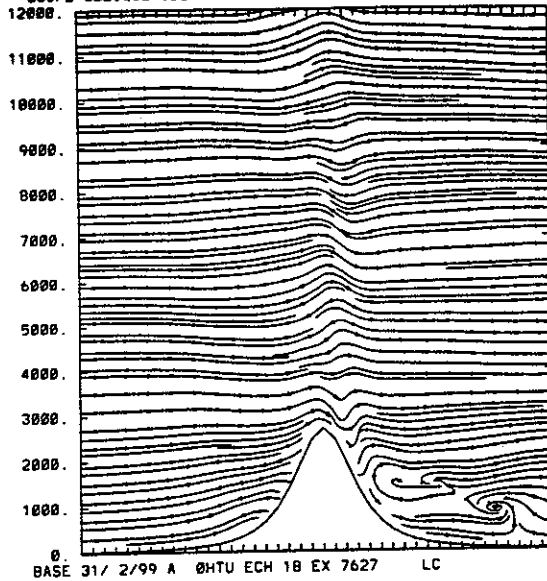


18

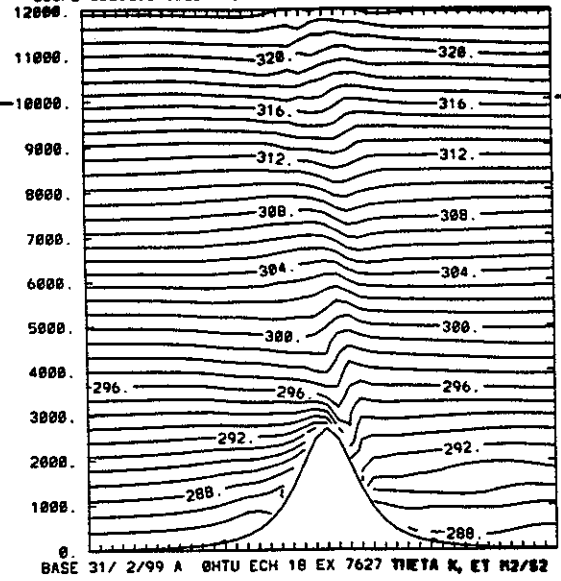


EX27cP

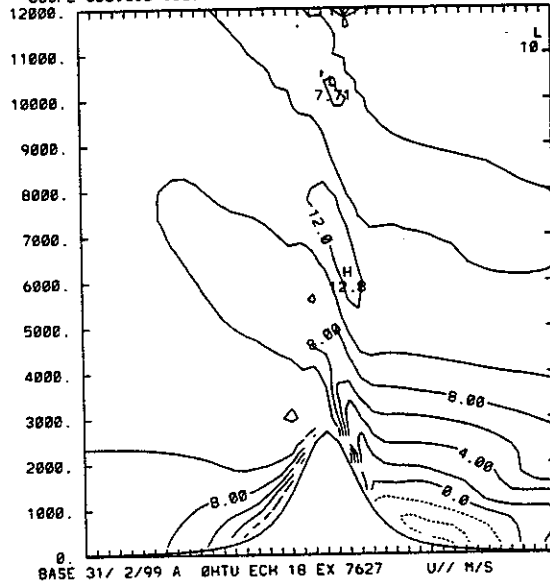
COUPE OBLIQUE IDEB= 10 JDEB= 31 ANG=270



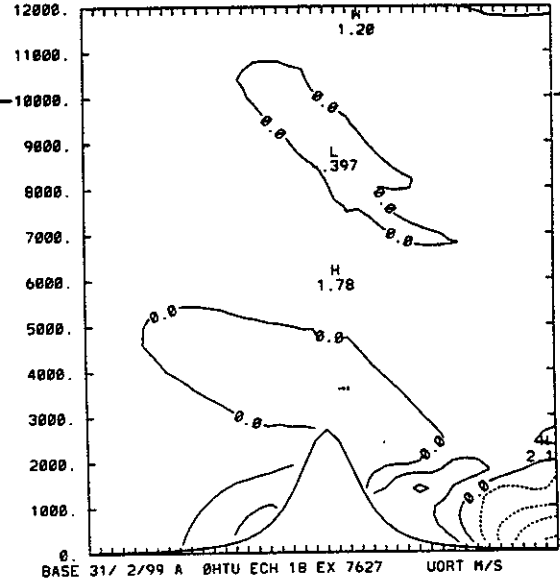
COUPE OBLIQUE IDEB= 10 JDEB= 31 ANG=270



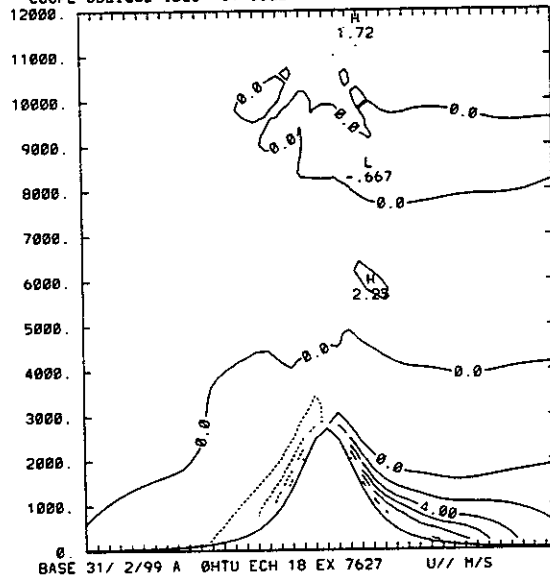
COUPE OBLIQUE IDEB= 10 JDEB= 31 ANG=270



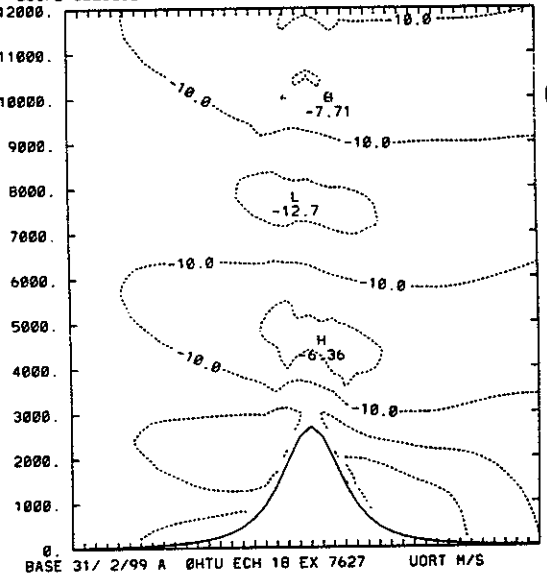
COUPE OBLIQUE IDEB= 10 JDEB= 31 ANG=270



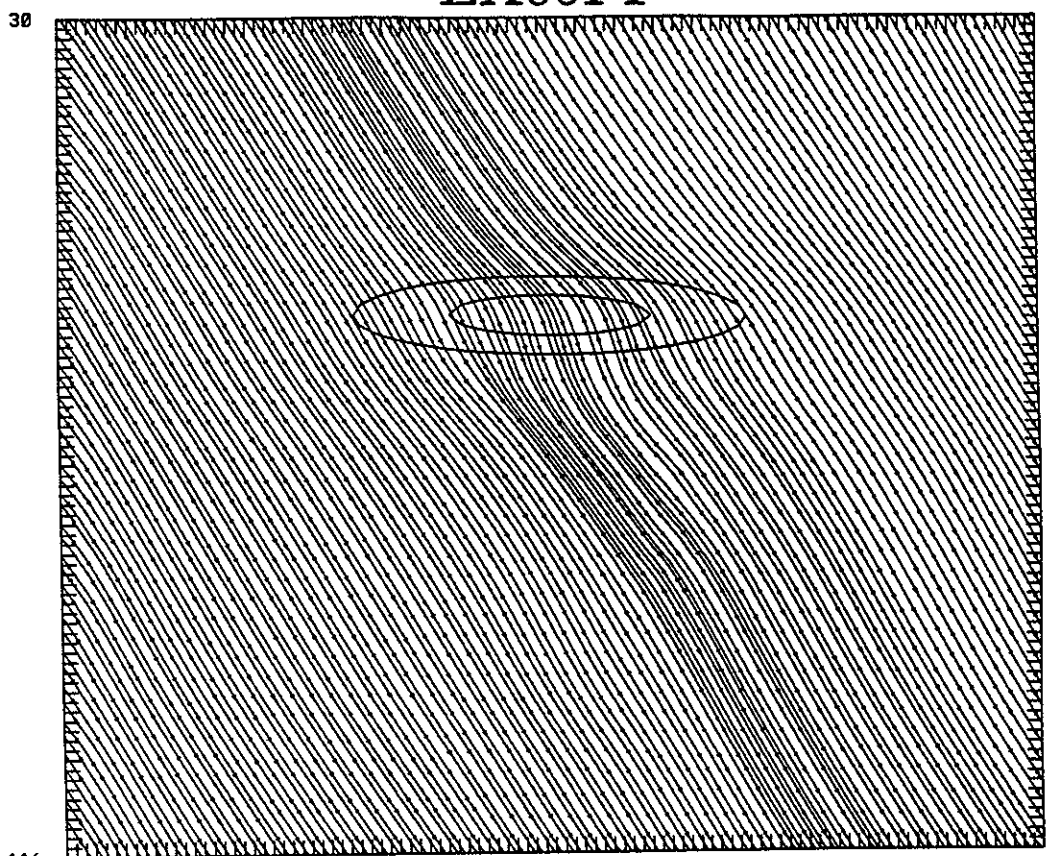
COUPE OBLIQUE IDEB= 31 JDEB= 10 ANG= 0



COUPE OBLIQUE IDEB= 31 JDEB= 10 ANG= 0

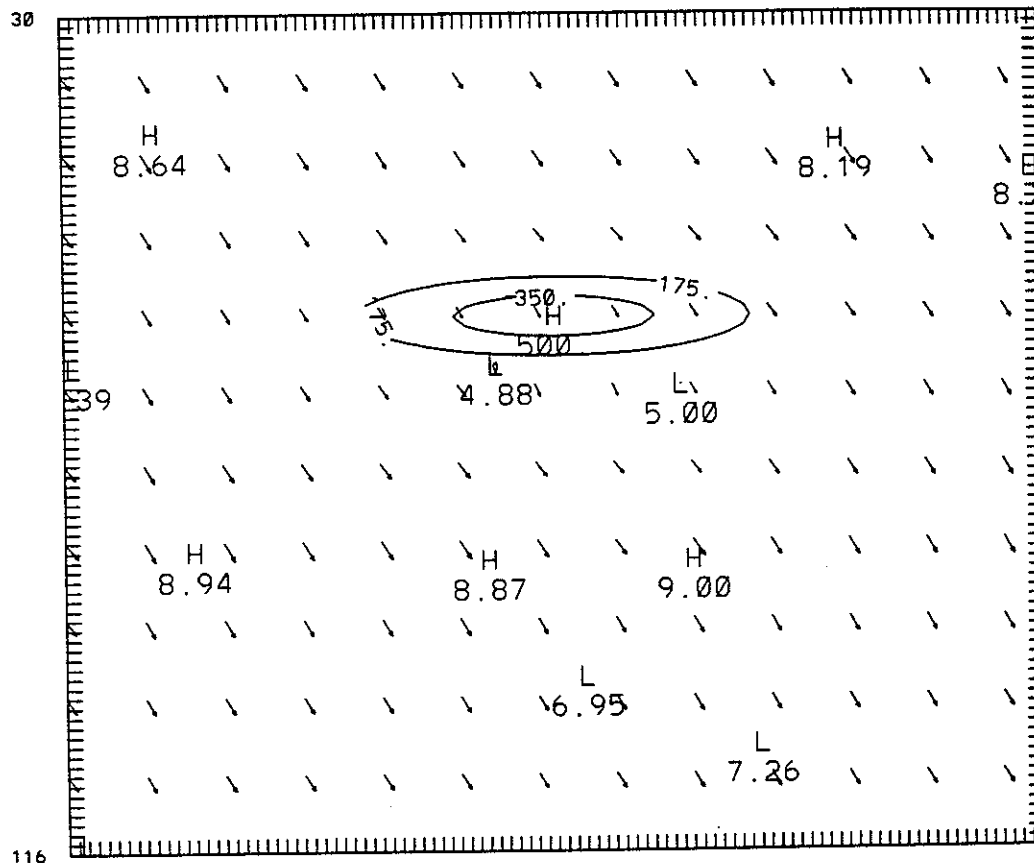


EX05PF



11

111

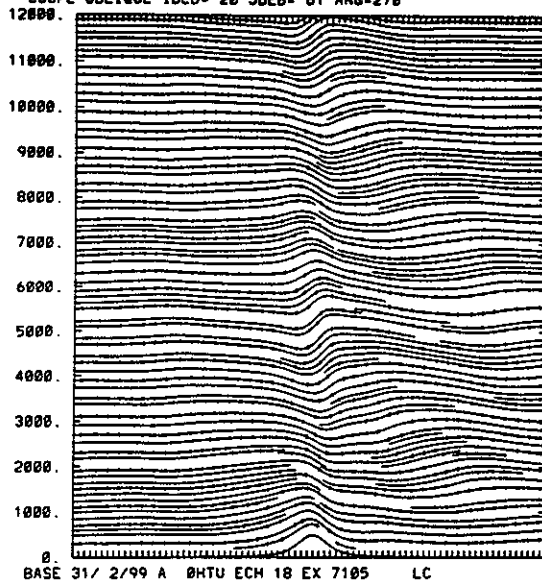


11

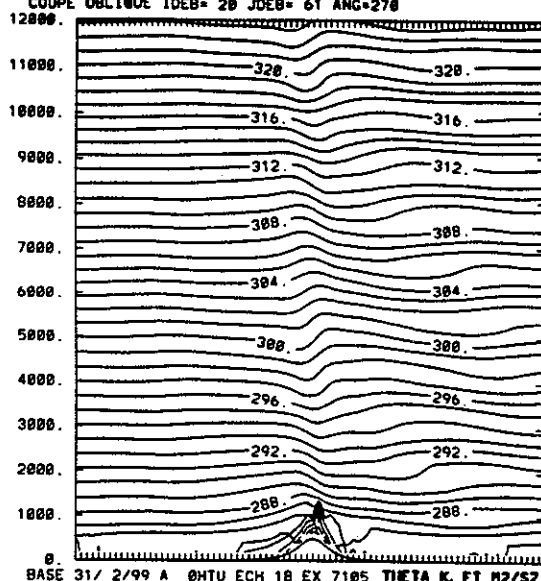
111

EX05PF

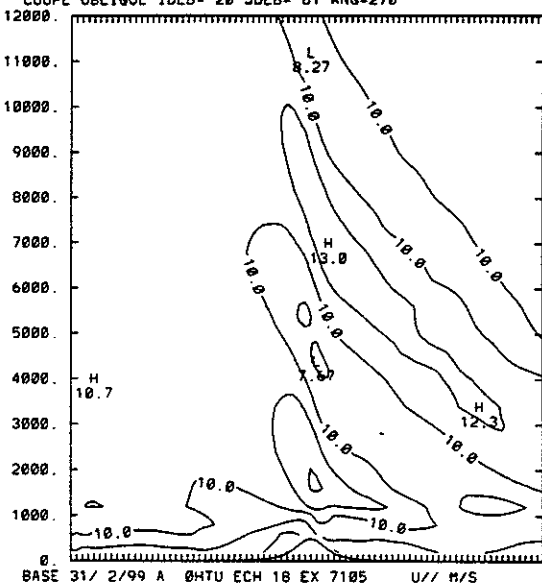
COUPE OBLIQUE IDEB= 28 JOEB= 61 ANG=278



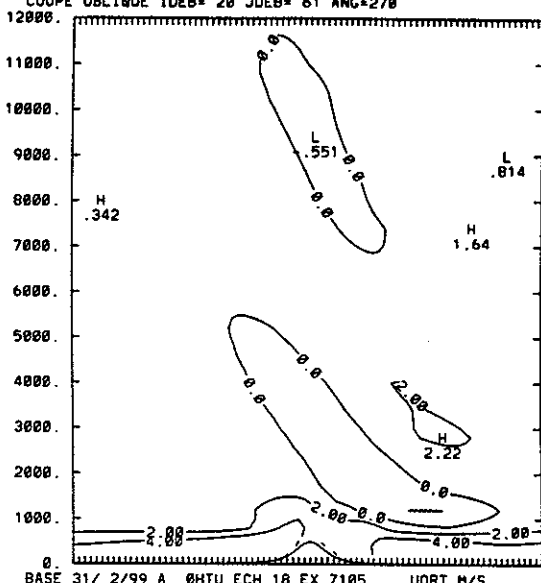
COUPE OBLIQUE IDEB= 28 JOEB= 61 ANG=278



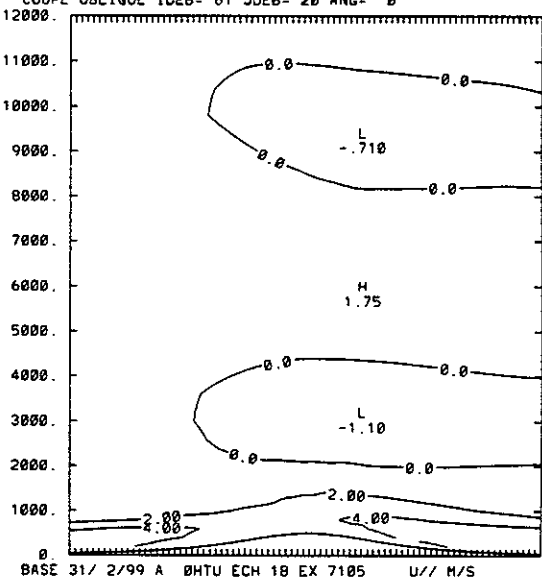
COUPE OBLIQUE IDEB= 28 JOEB= 61 ANG=278



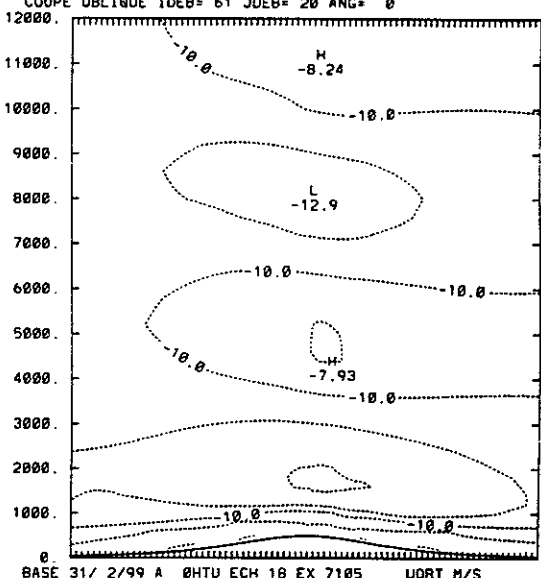
COUPE OBLIQUE IDEB= 28 JOEB= 61 ANG=278



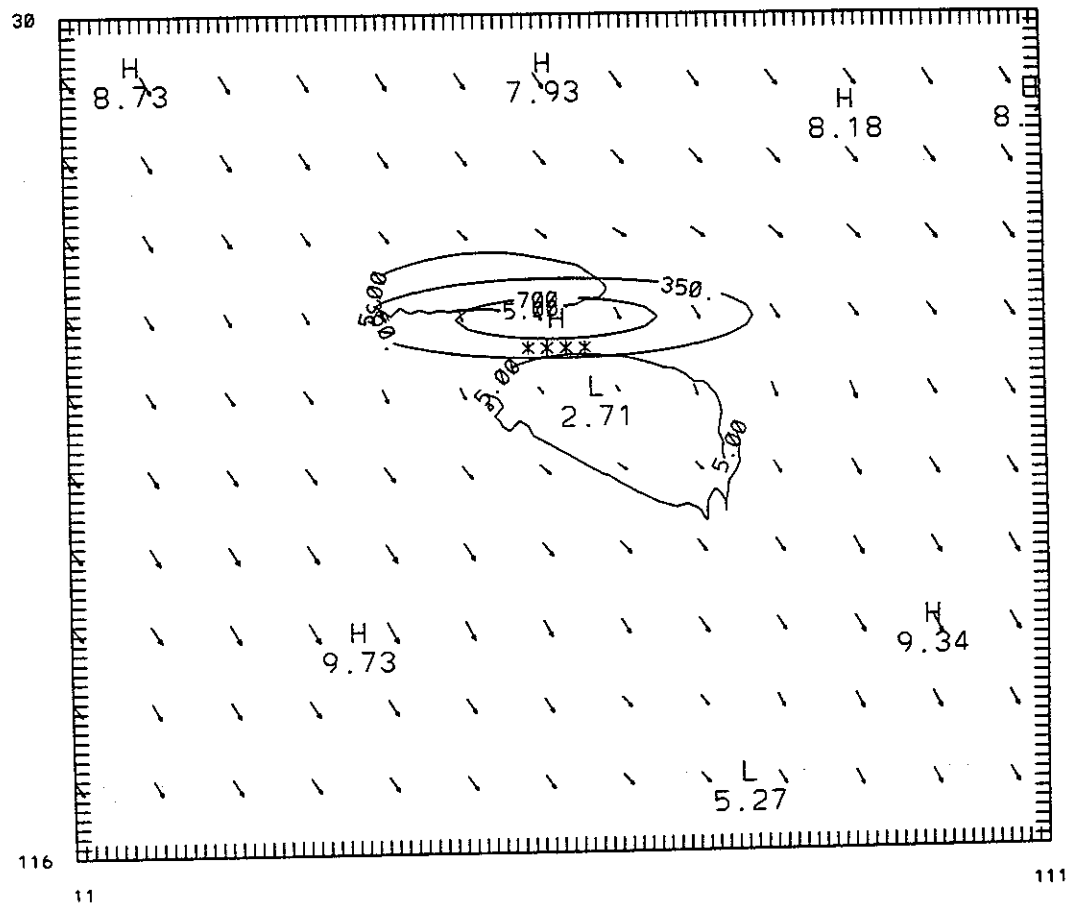
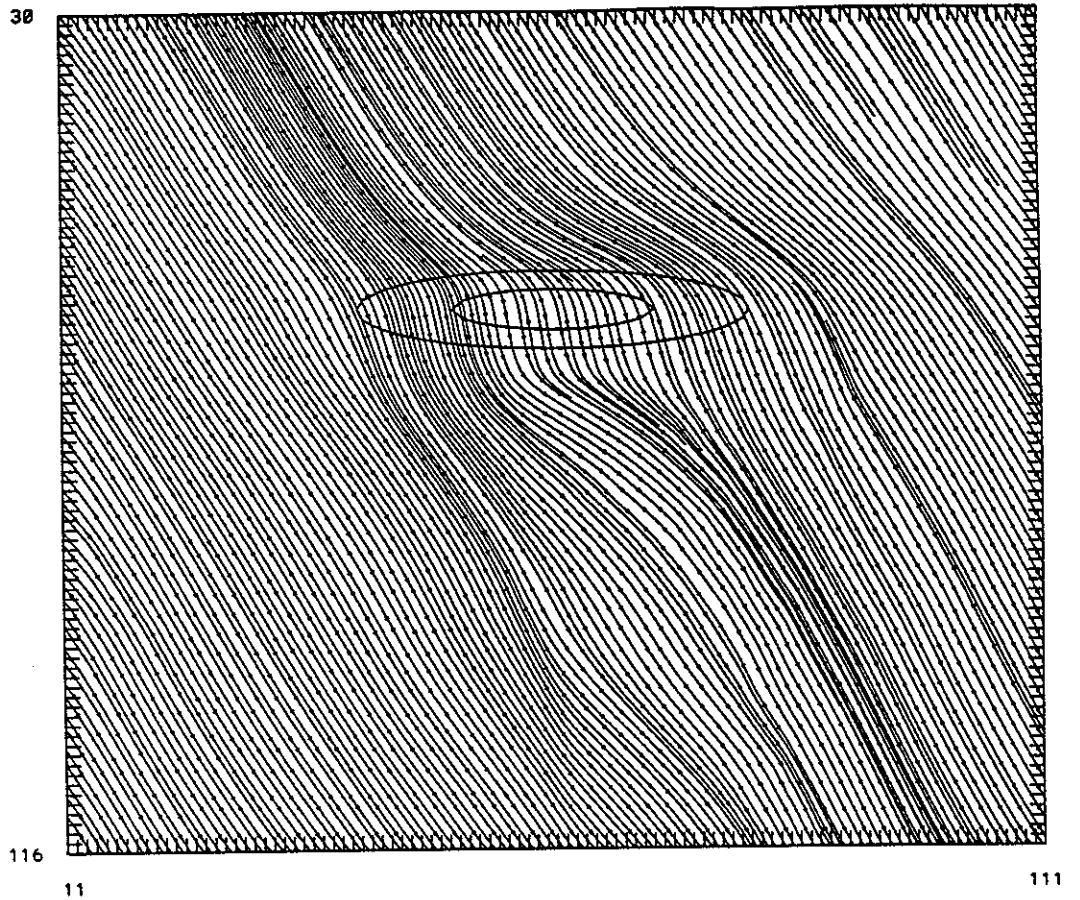
COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JOEB= 20 ANG= 0



COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JOEB= 20 ANG= 0

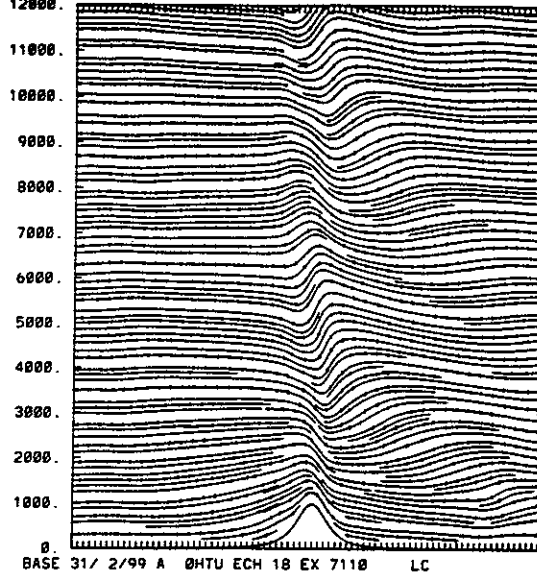


EX10PF

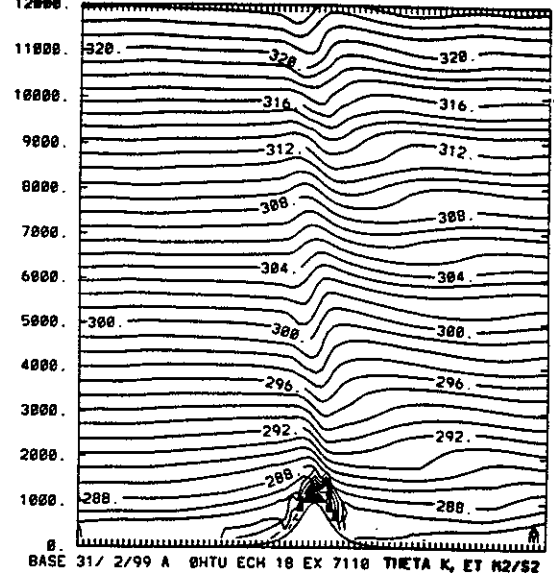


EX10PF

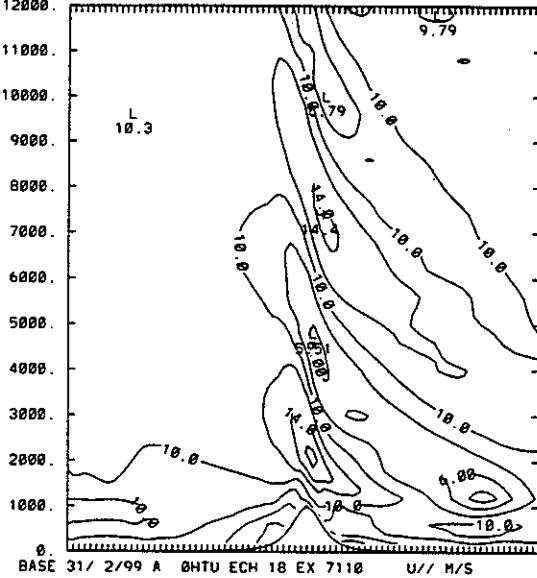
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



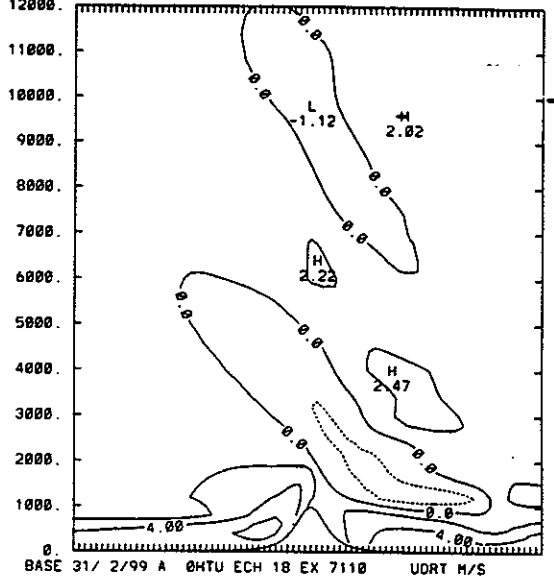
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



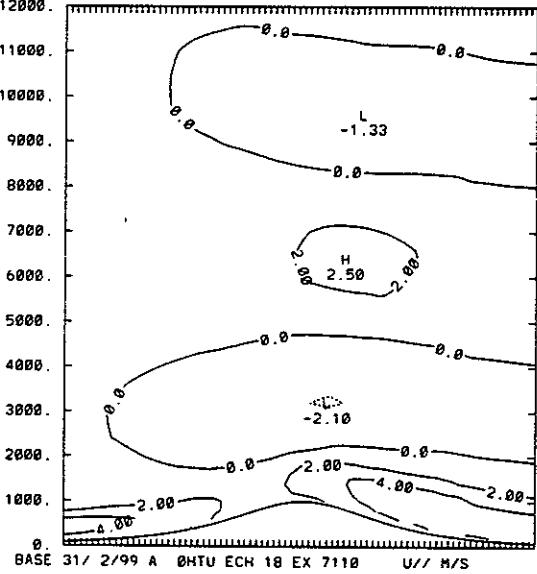
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



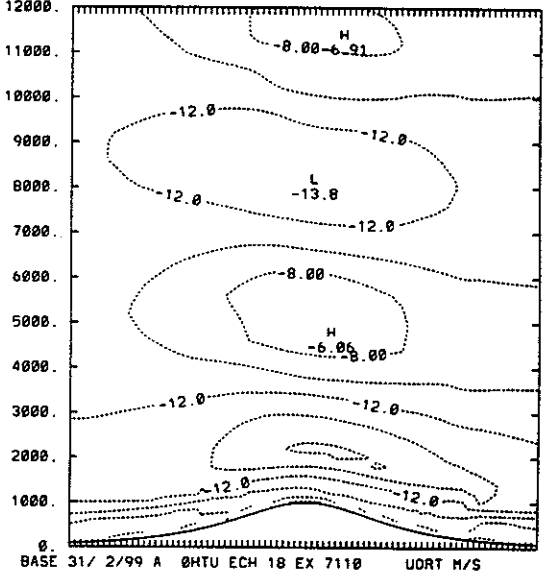
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0

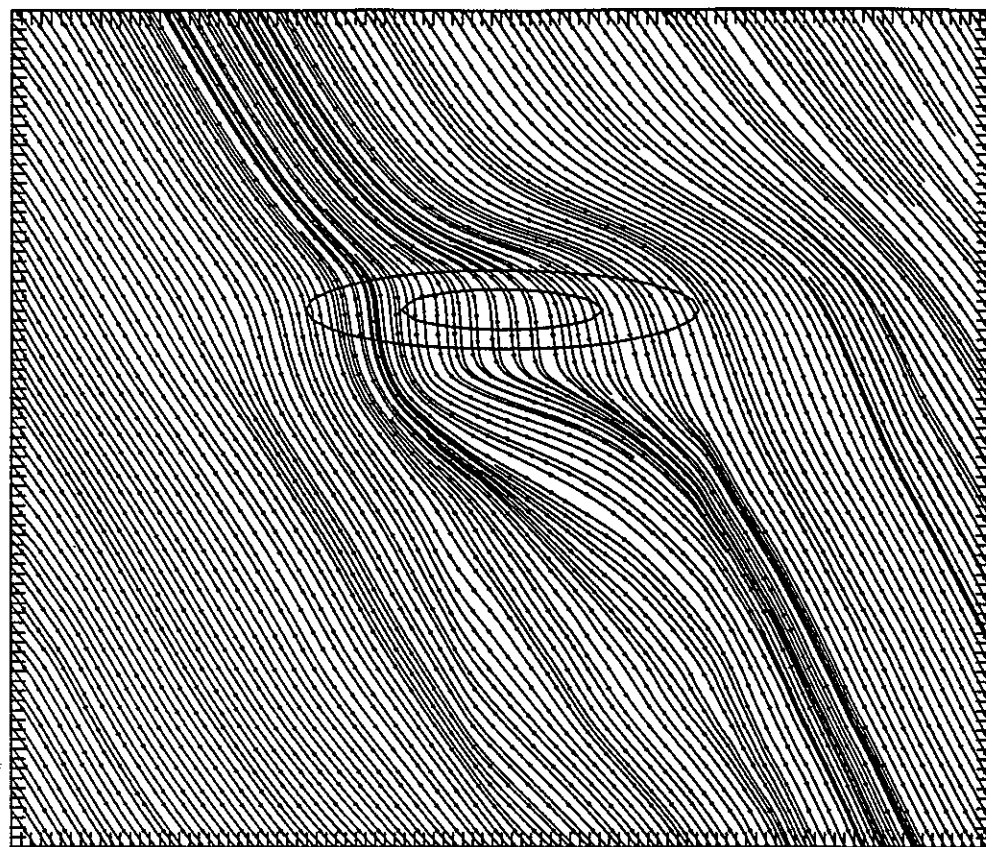


COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0



EX14PF

30

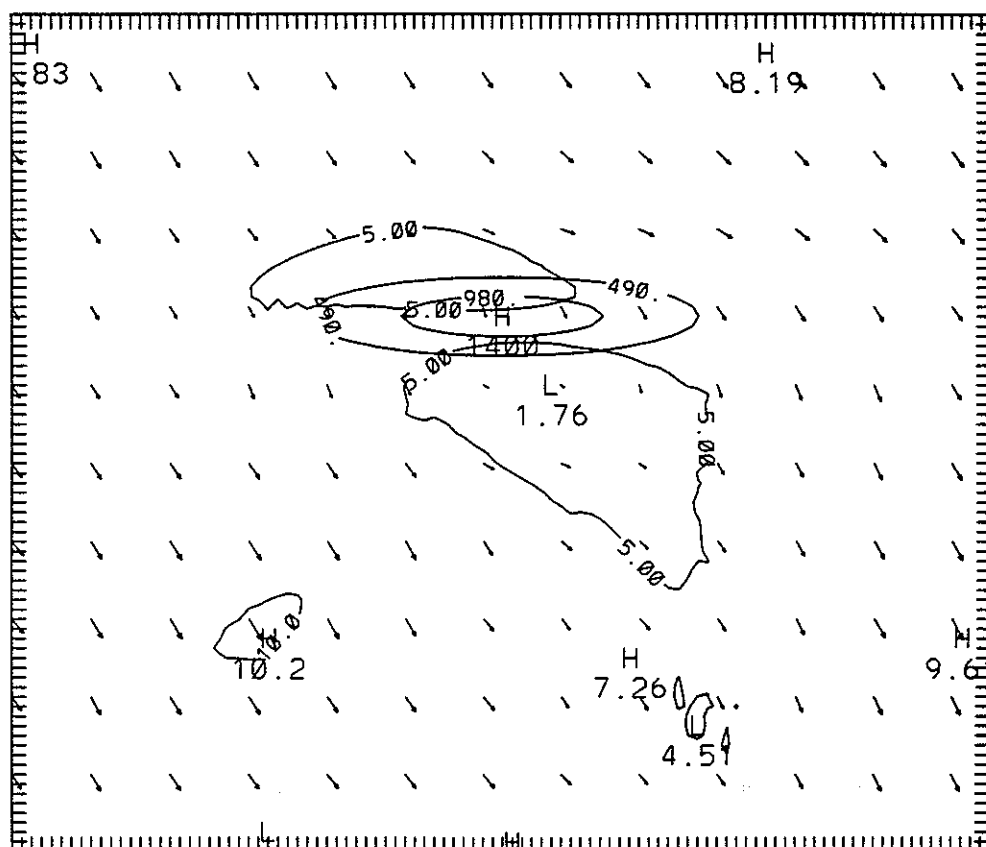


116

11

111

30



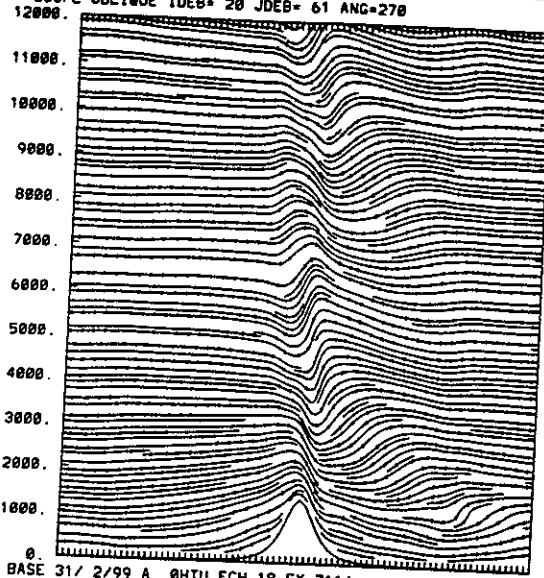
116

11

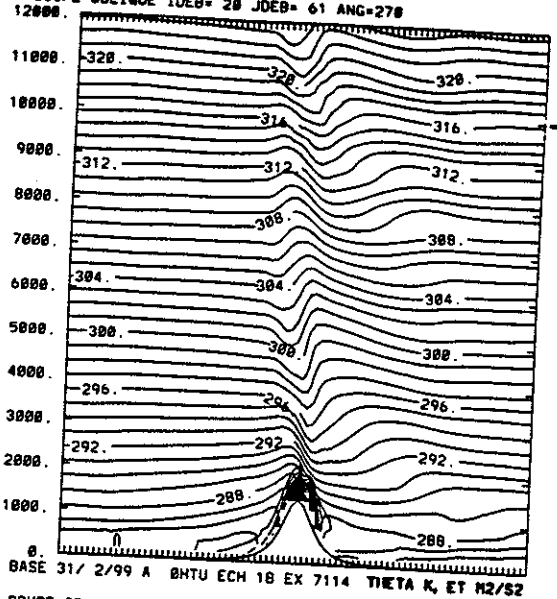
111

EX14PF

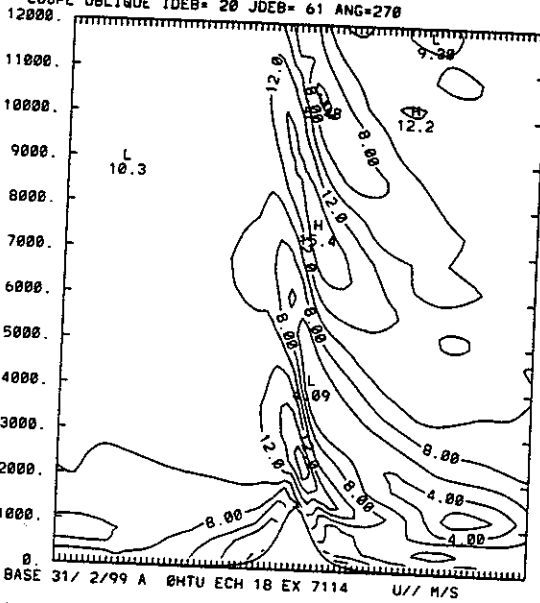
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



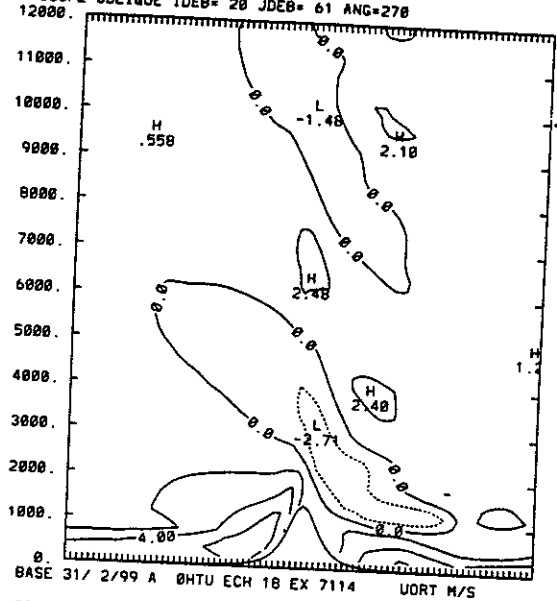
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



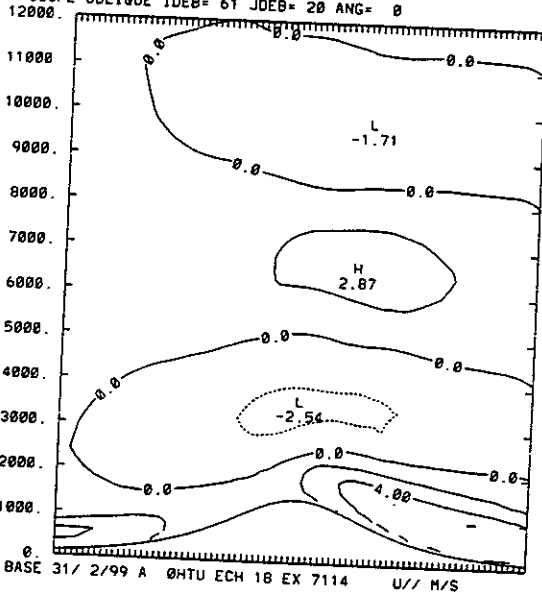
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



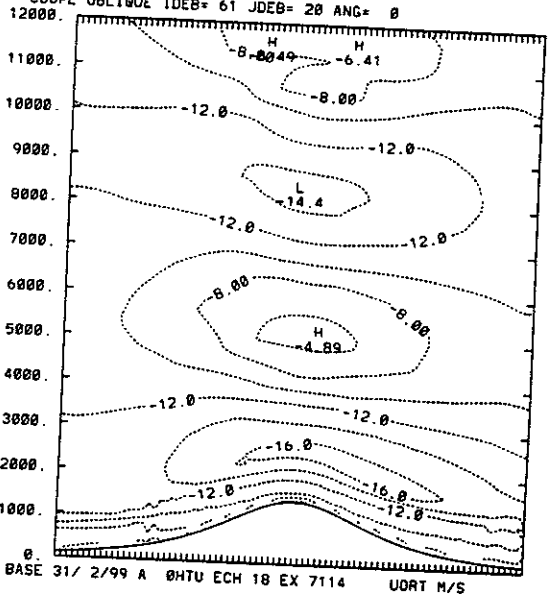
COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0

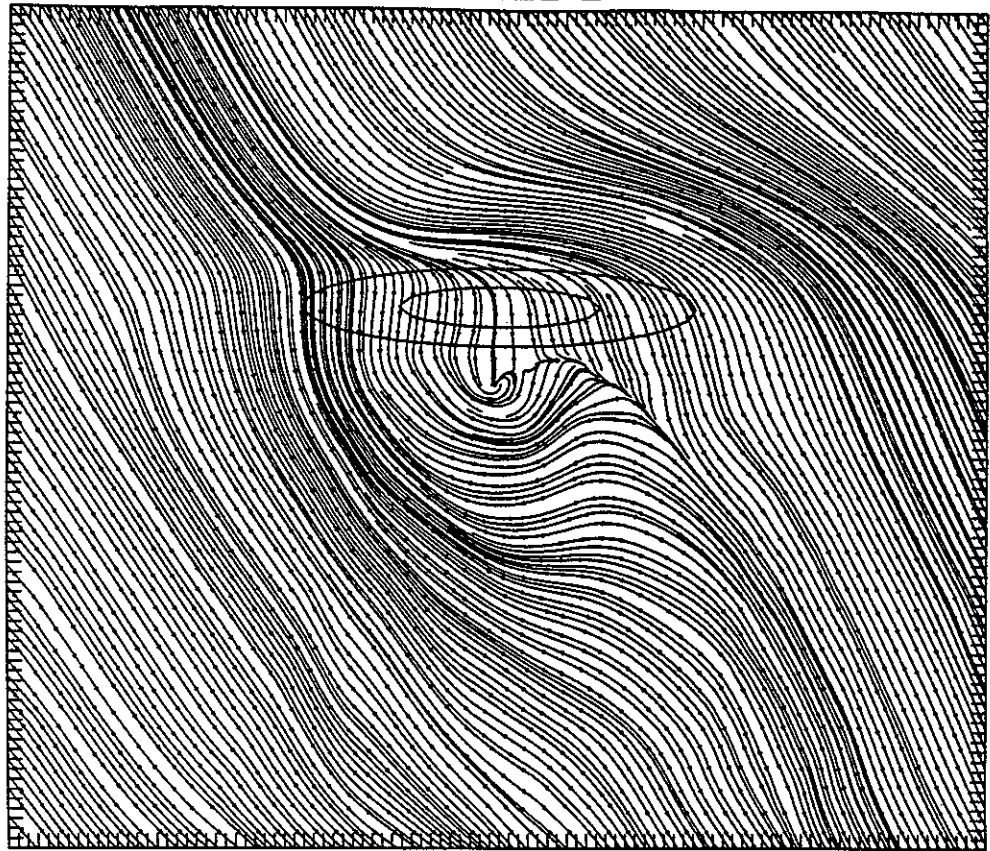


COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0



EX22PF

30

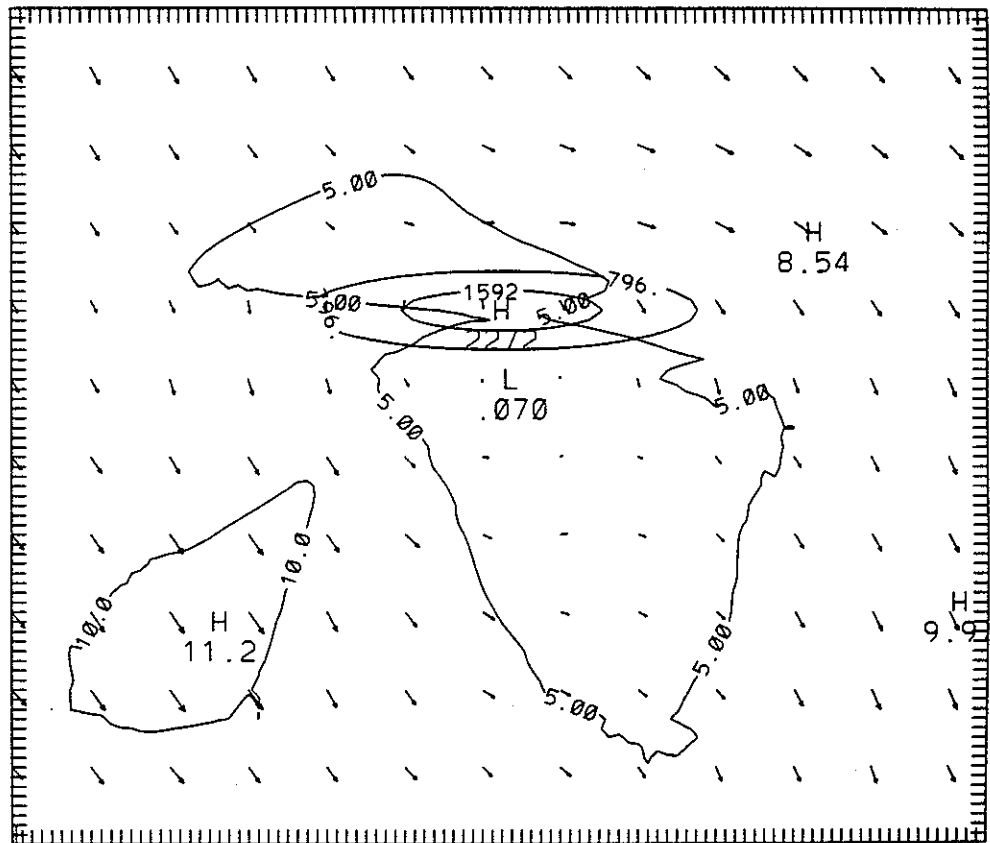


116

11

111

30

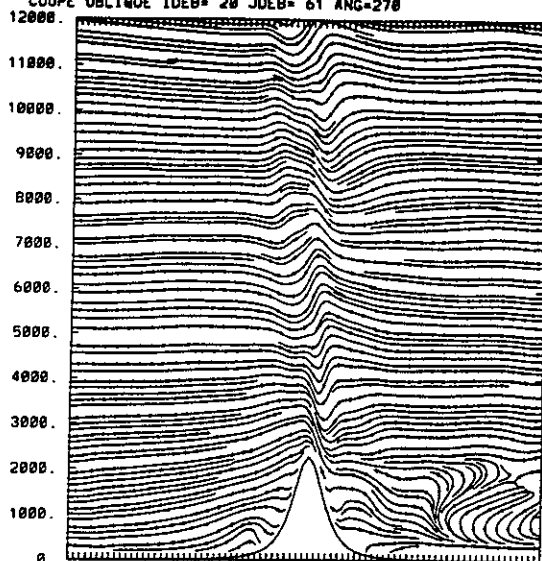


116

11

111

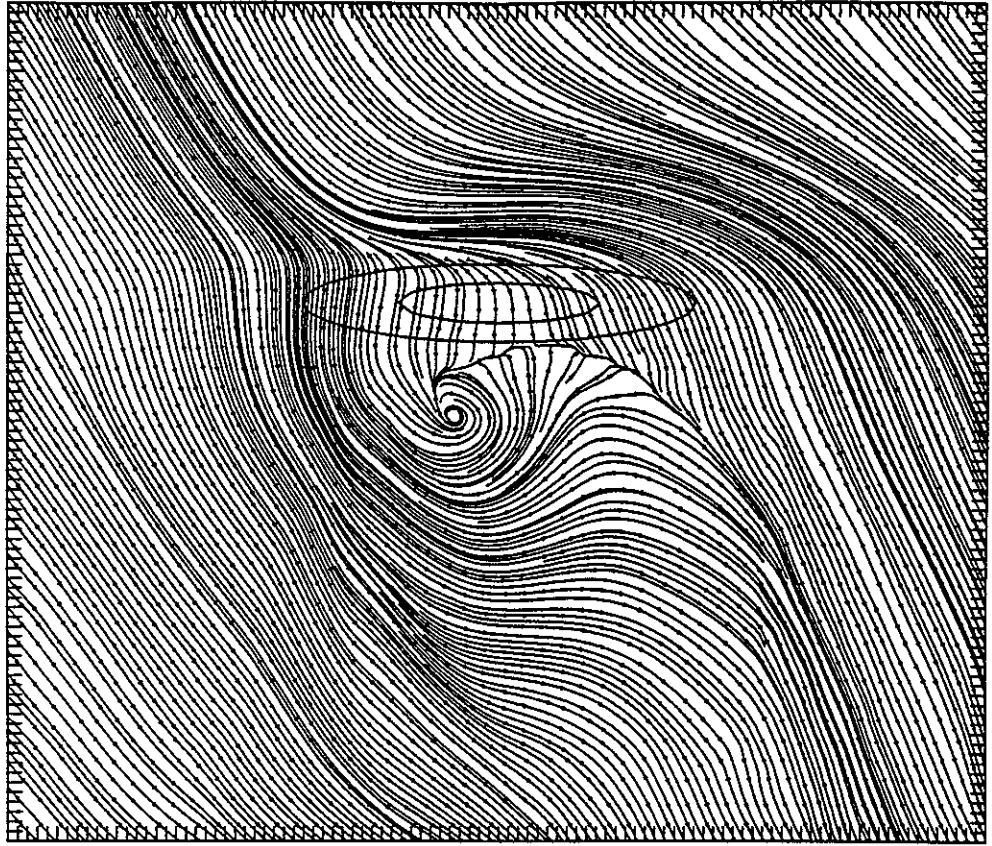
THE

[illegible]

BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 18 EX 7122 UORT M/S

EX27PF

30

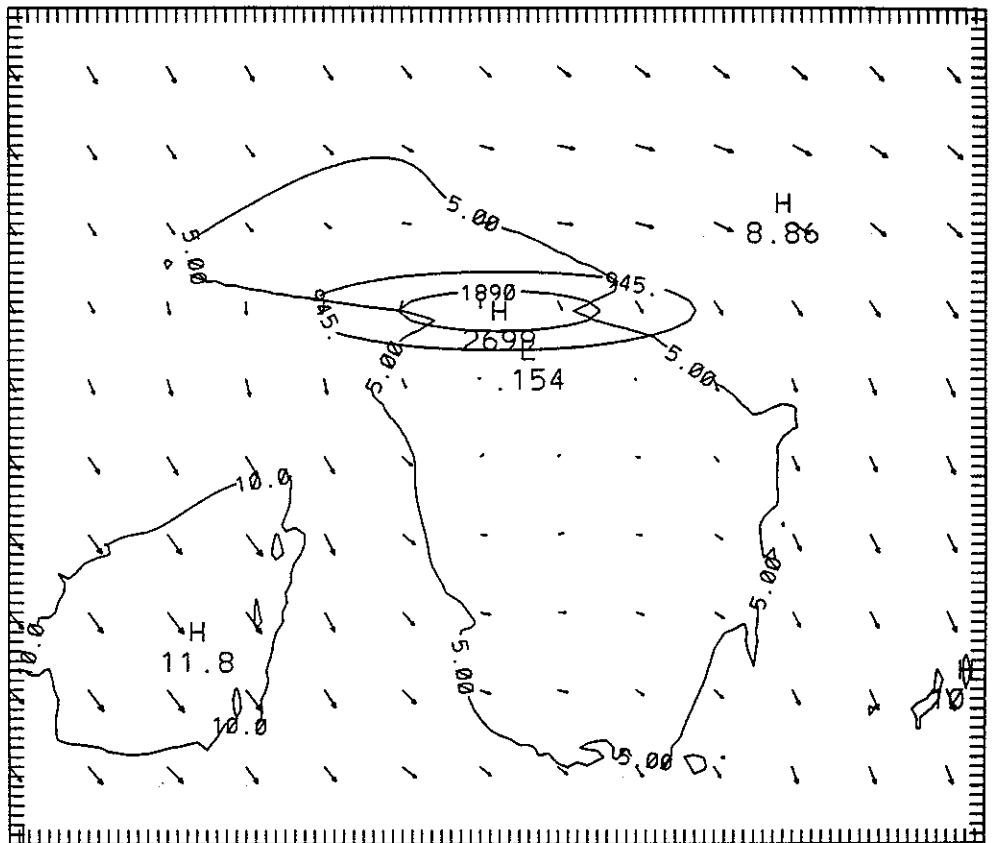


116

11

111

30



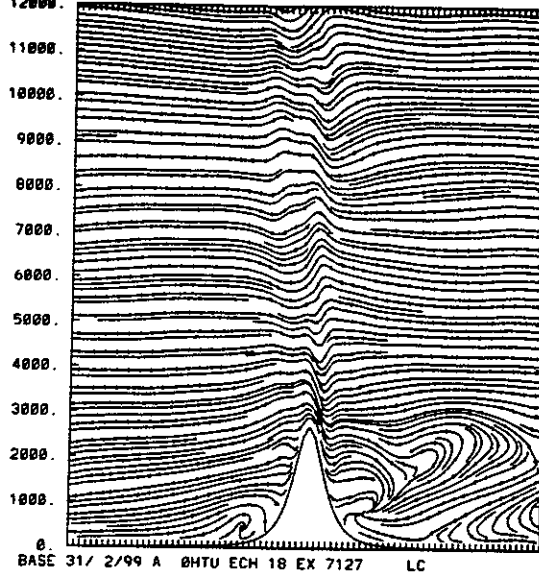
116

11

111

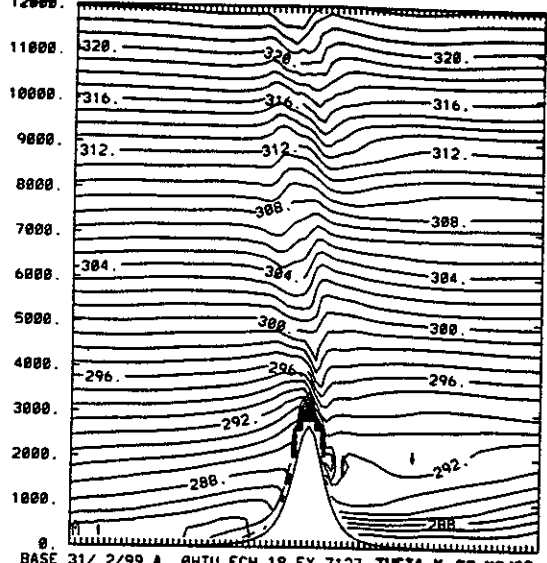
EX27PF

COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



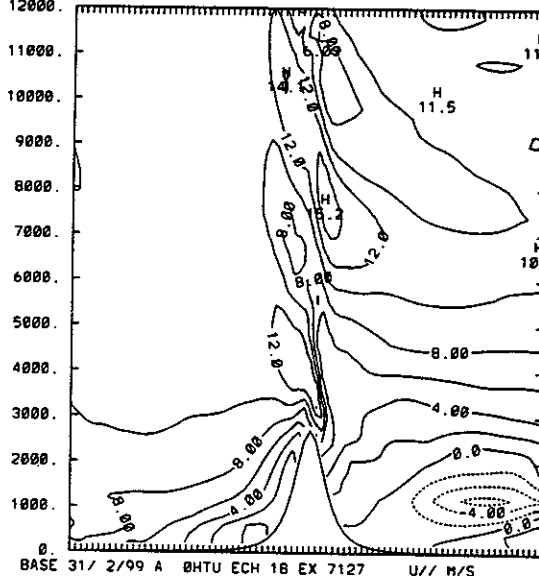
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 18 EX 7127 LC

COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



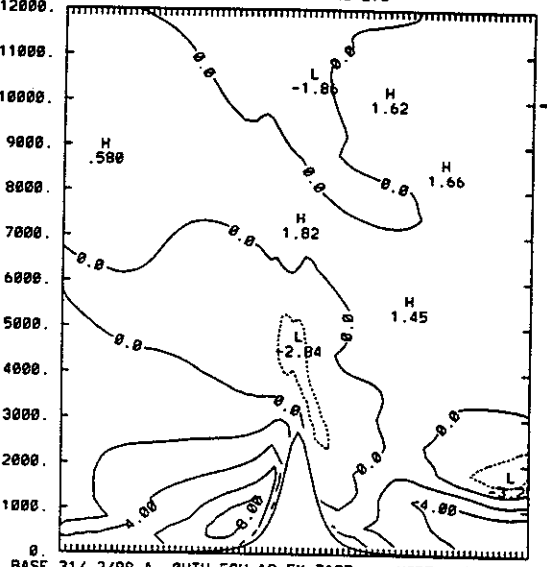
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 18 EX 7127 TIETA K, ET M2/S2

COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



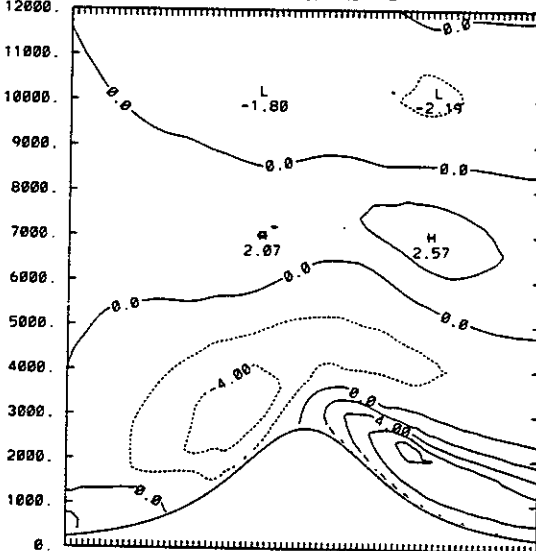
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 18 EX 7127 U// M/S

COUPE OBLIQUE IDEB= 20 JDEB= 61 ANG=270



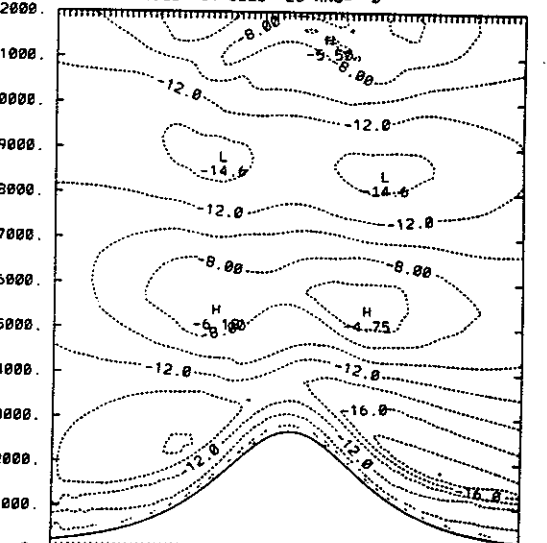
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 18 EX 7127 UORT M/S

COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0



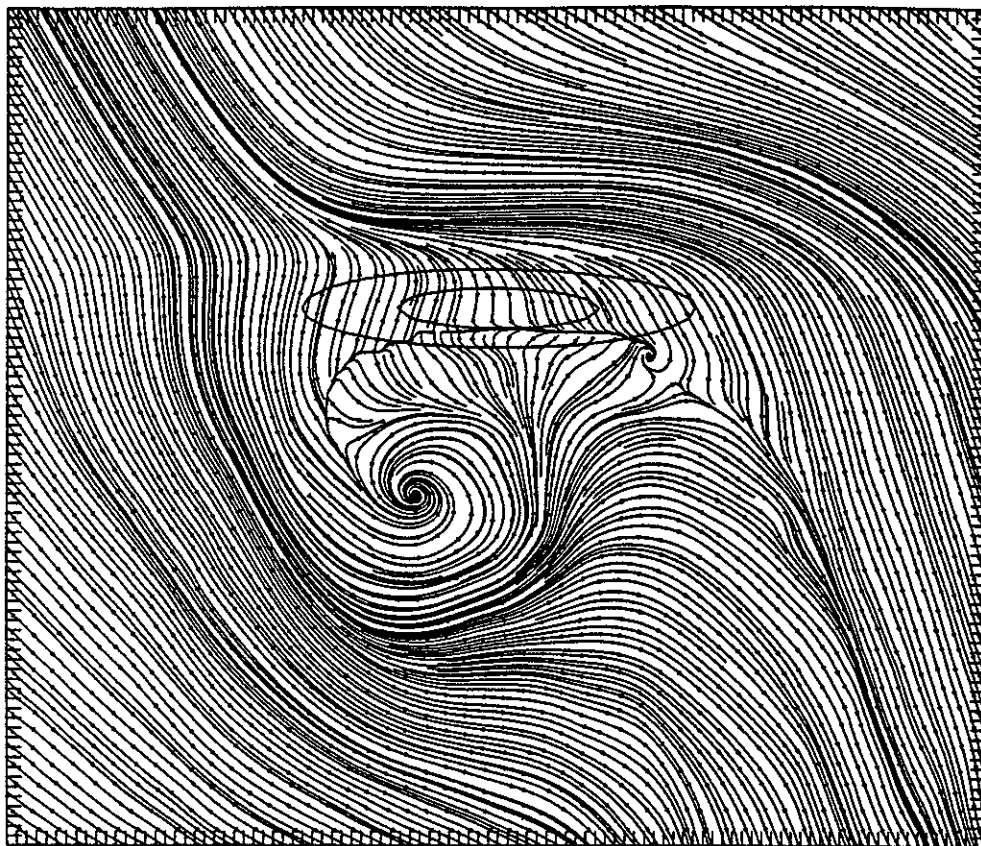
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 18 EX 7127 U// M/S

COUPE OBLIQUE IDEB= 61 JDEB= 20 ANG= 0



BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 18 EX 7127 UORT M/S

30

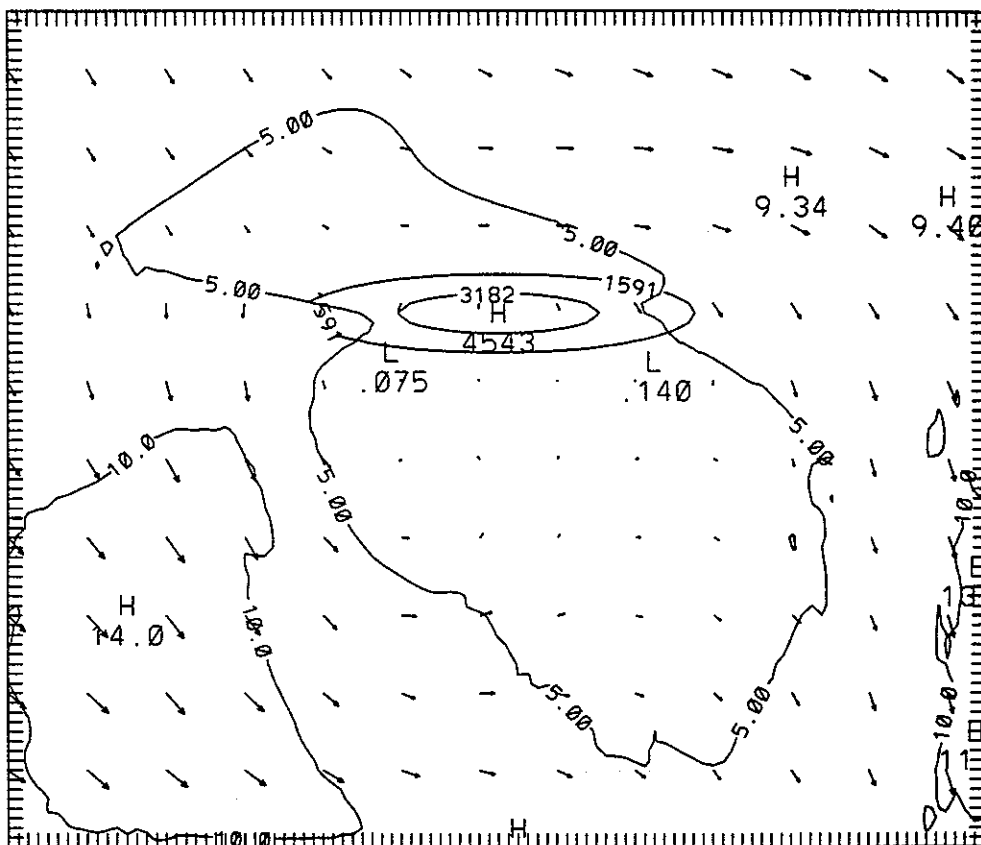


116

11

111

30

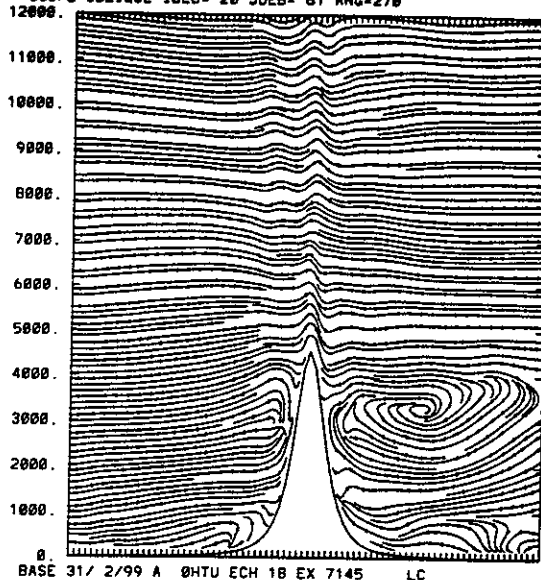


116

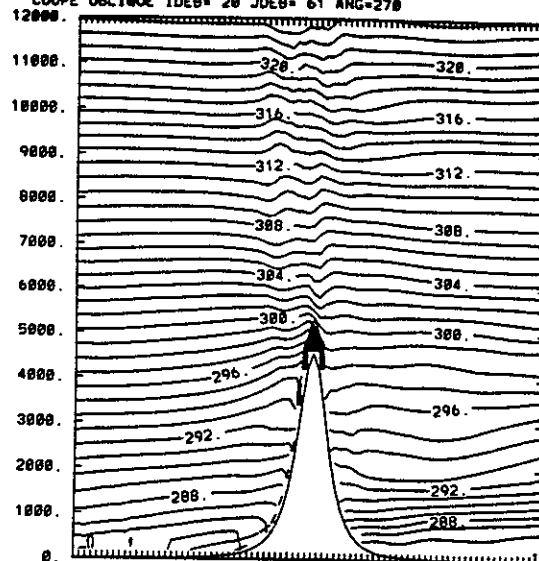
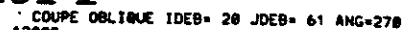
11

111

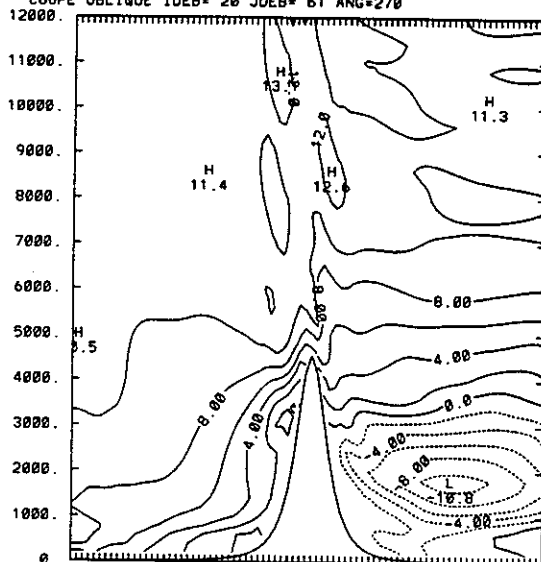
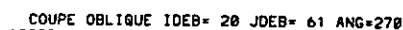
EX45PF



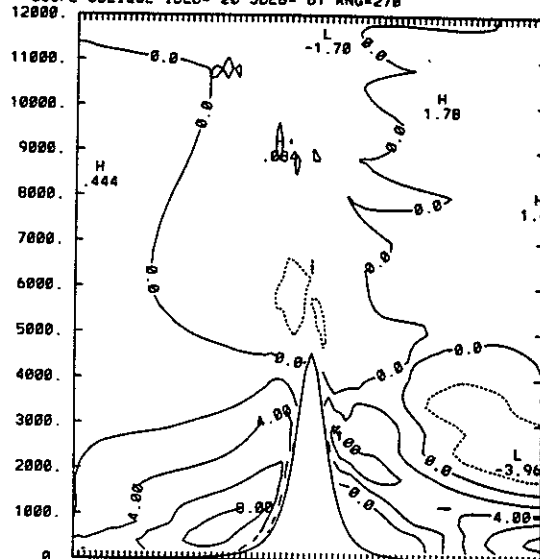
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 1B EX 7145 1C



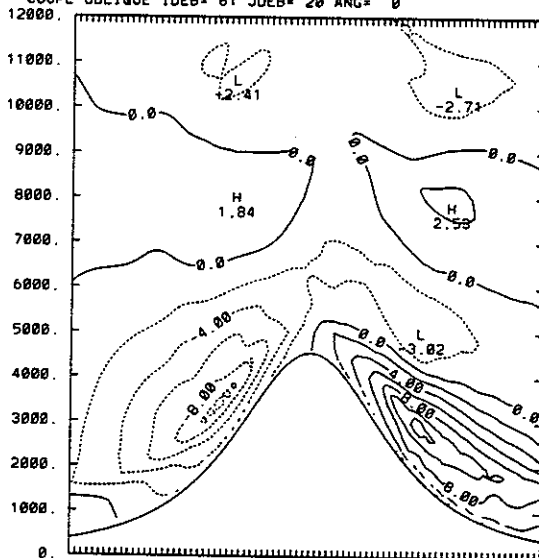
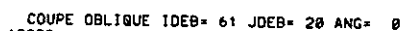
BASE 31/ 2/99 A 0HTU ECH 18 EX 7145 THETA K, ET M2/S2



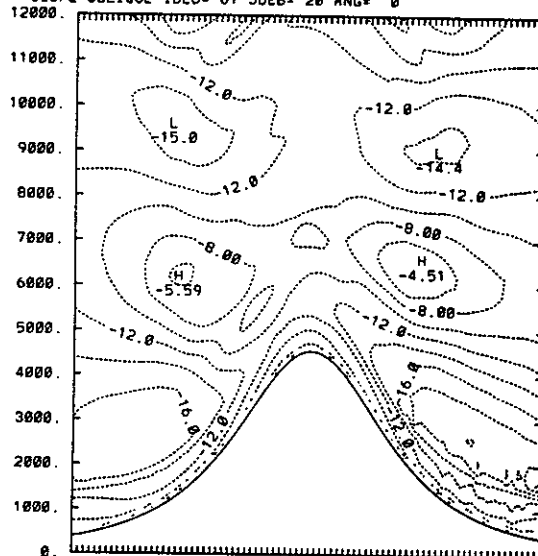
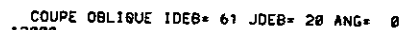
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 18 EX 7145 U// H/S



BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 18 EX 7145 UORT M/S



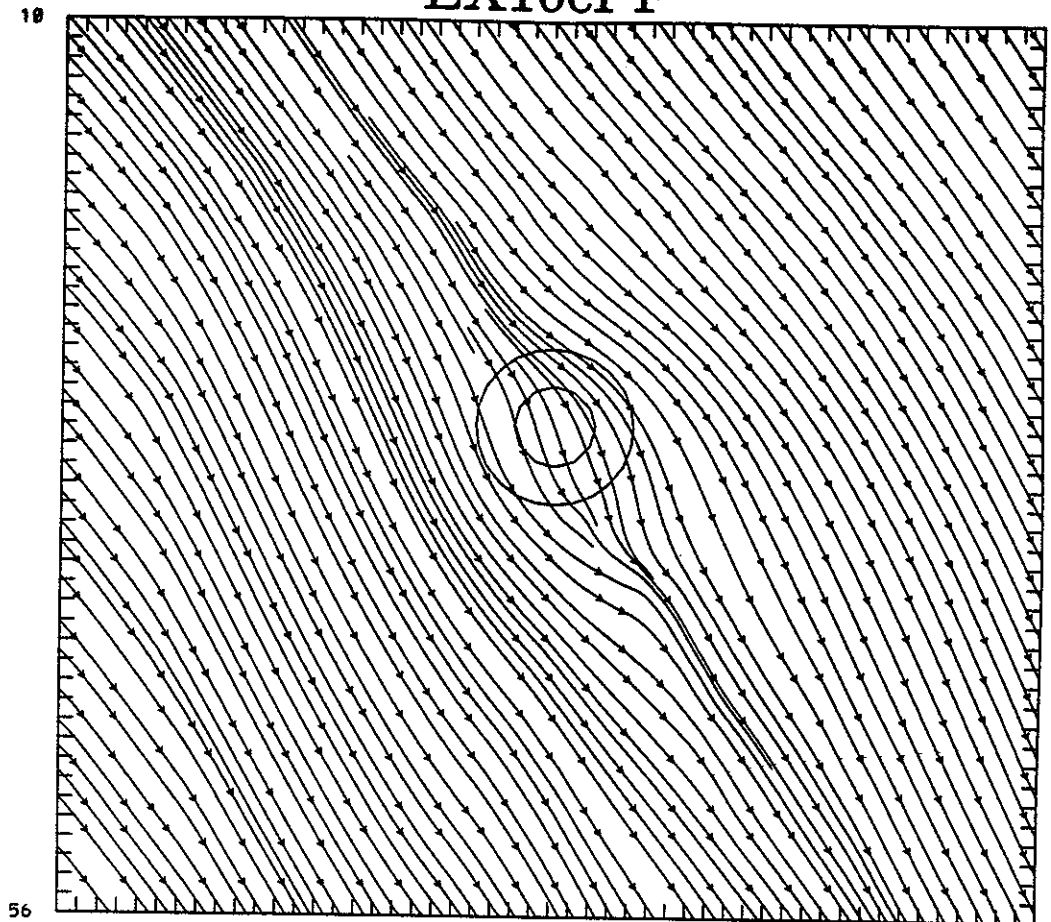
BASE 31/ 2/99 A 0HTU ECH 18 EX 7145 U// M/S



BASE 31/ 2/99 A 0HTU ECH 18 EX 7145 UORT H/S

EX10cPF

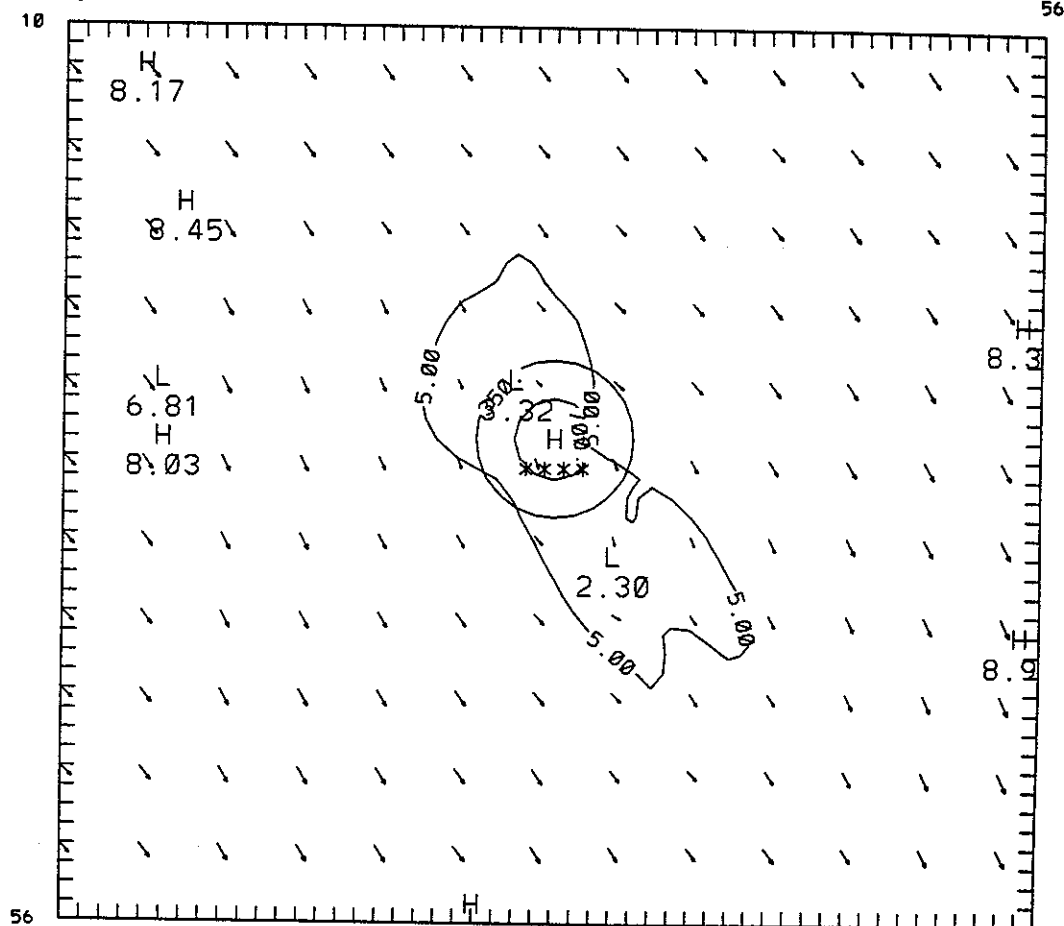
10



56

6

10



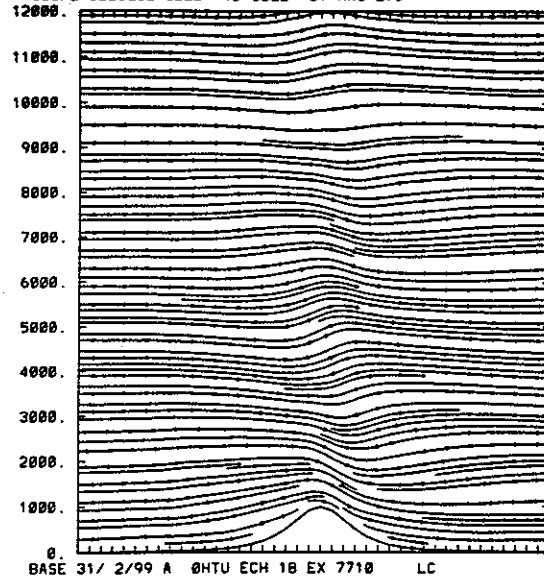
56

6

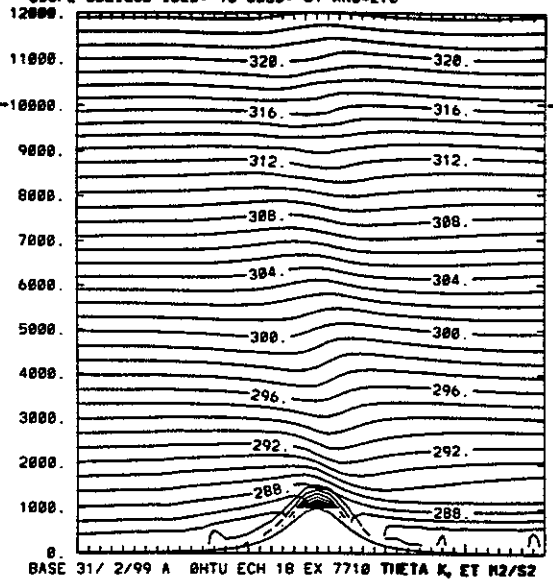
56

EX10cPF

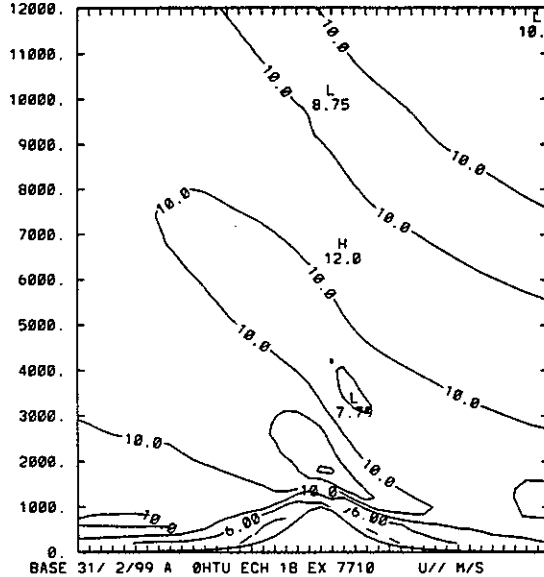
COUPE OBLIQUE IDEB= 18 JDEB= 31 ANG=270



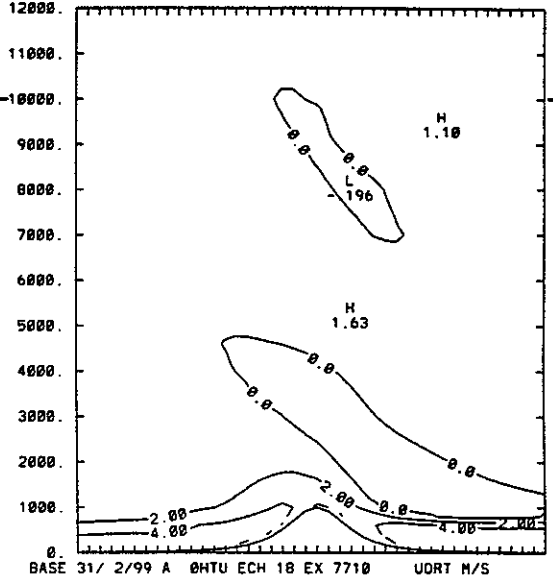
COUPE OBLIQUE IDEB= 18 JDEB= 31 ANG=270



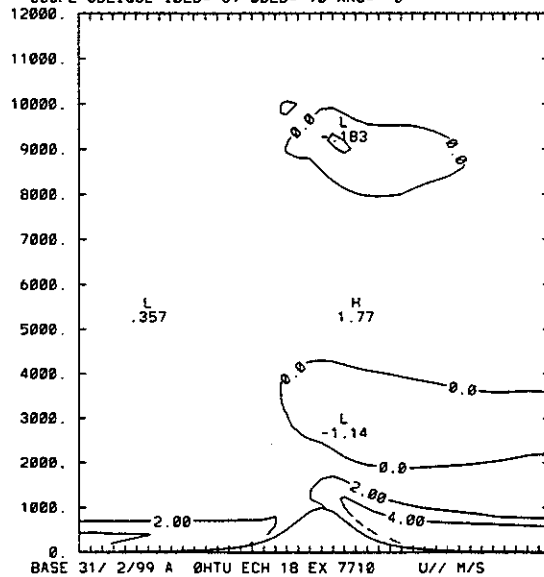
COUPE OBLIQUE IDEB= 18 JDEB= 31 ANG=270



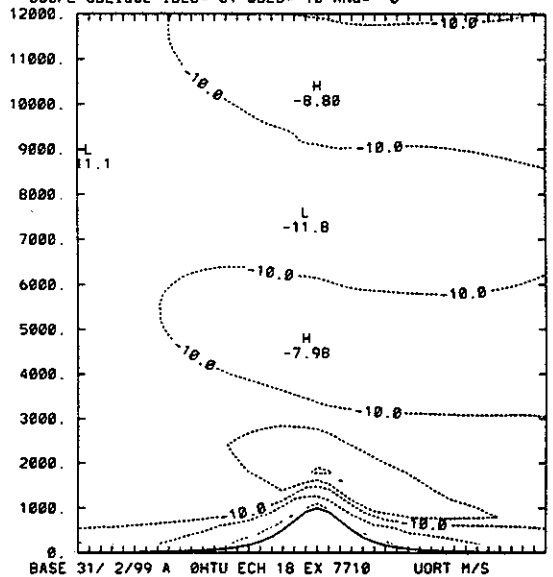
COUPE OBLIQUE IDEB= 18 JDEB= 31 ANG=270



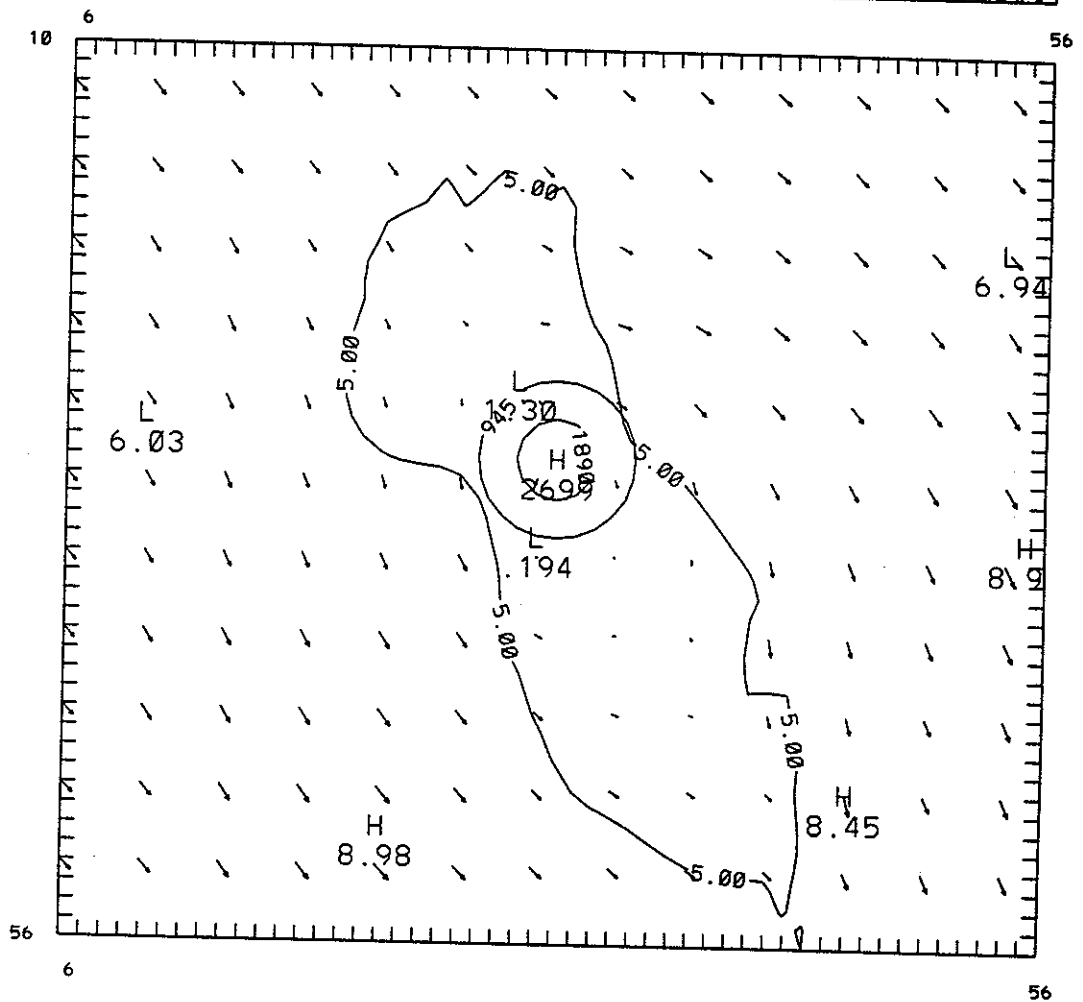
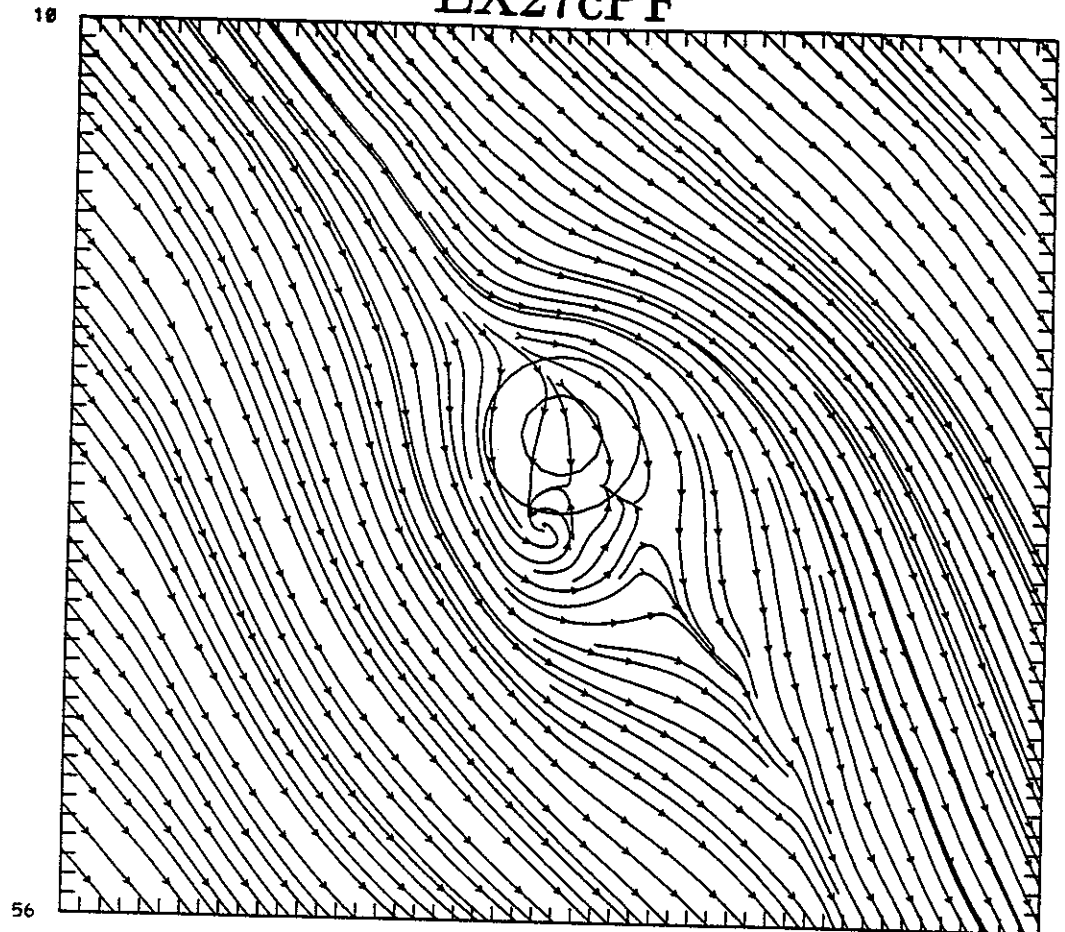
COUPE OBLIQUE IDEB= 31 JDEB= 10 ANG= 0



COUPE OBLIQUE IDEB= 31 JDEB= 10 ANG= 0

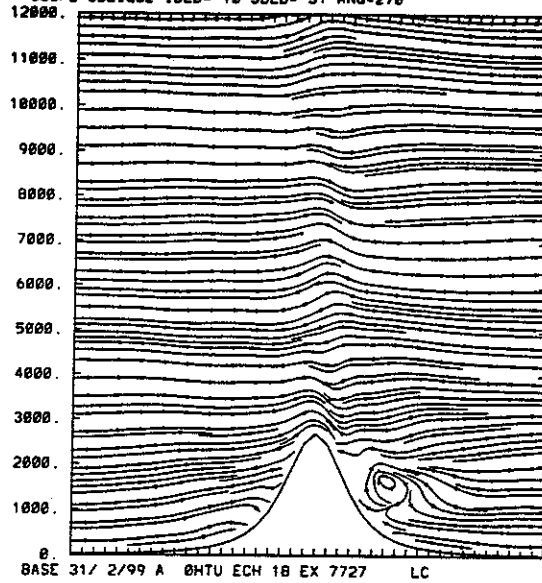


EX27cPF

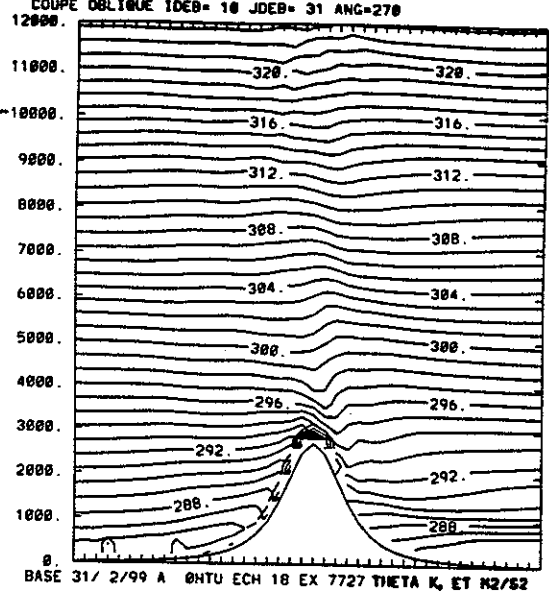


EX27cPF

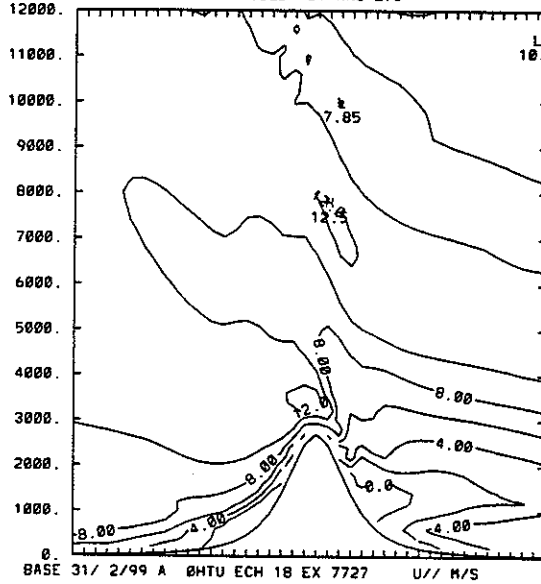
COUPE OBLIQUE IDEB= 10 JDEB= 31 ANG=270



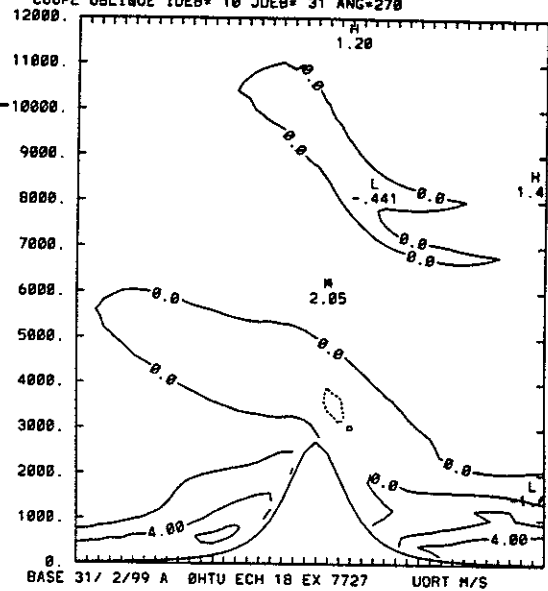
COUPE OBLIQUE IDEB= 10 JDEB= 31 ANG=270



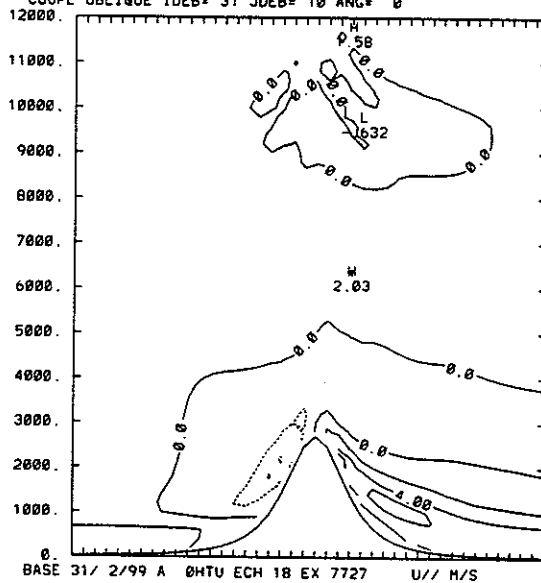
COUPE OBLIQUE IDEB= 10 JDEB= 31 ANG=270



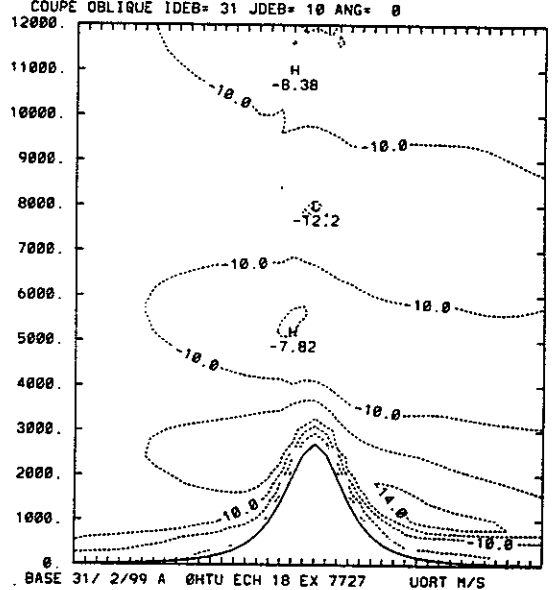
COUPE OBLIQUE IDEB= 10 JDEB= 31 ANG=270



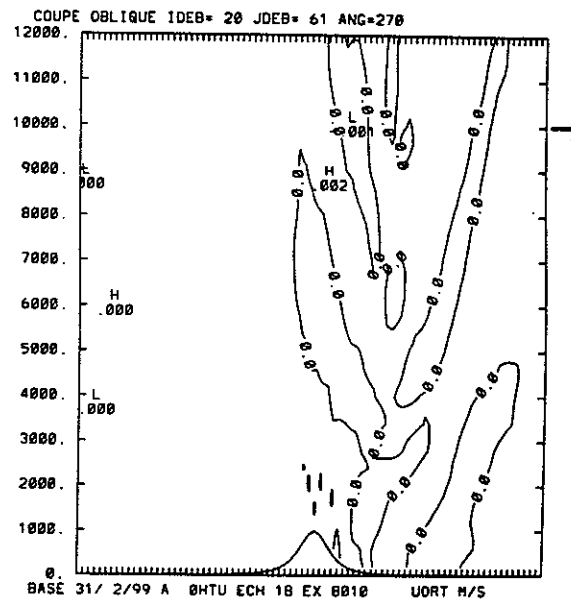
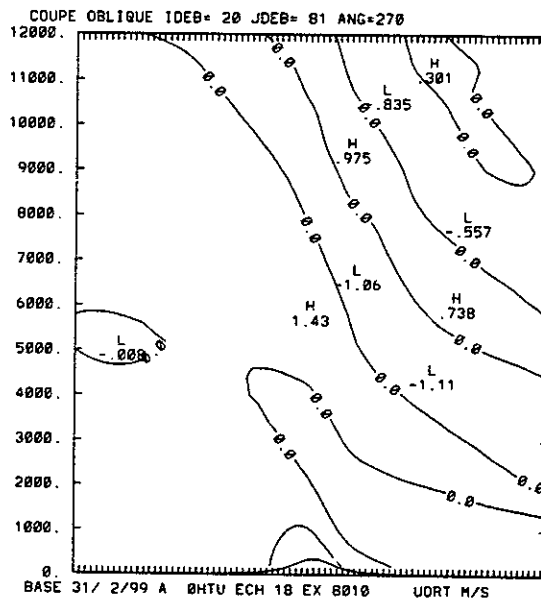
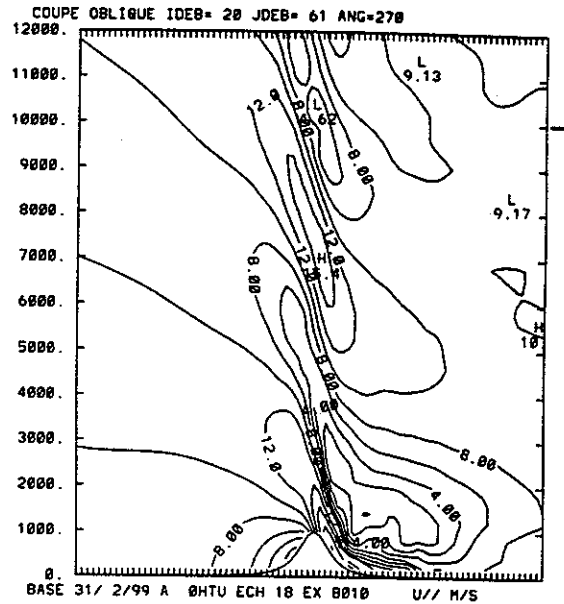
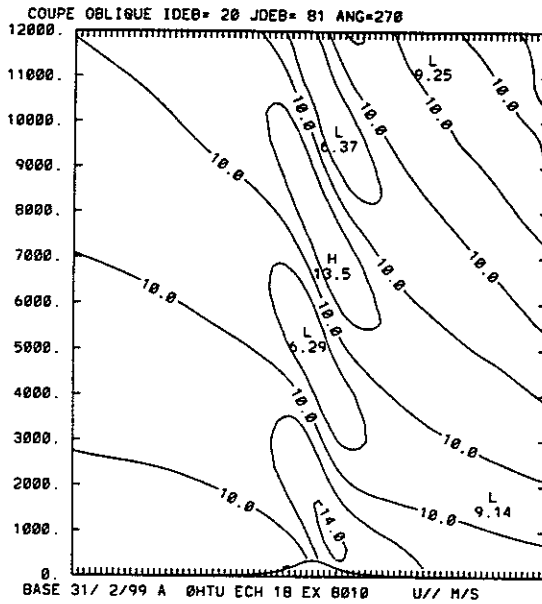
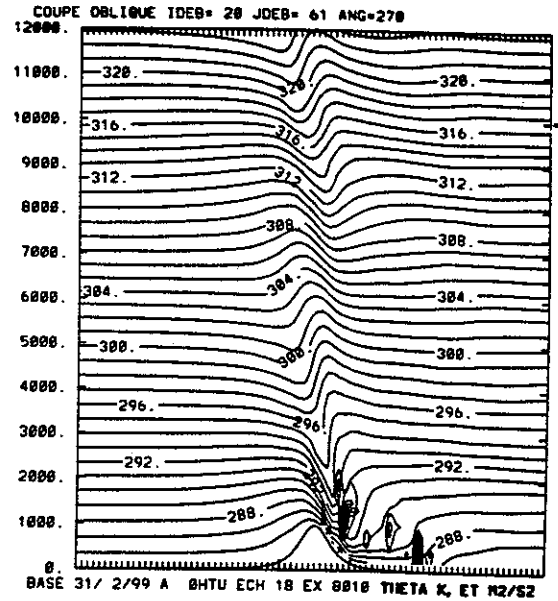
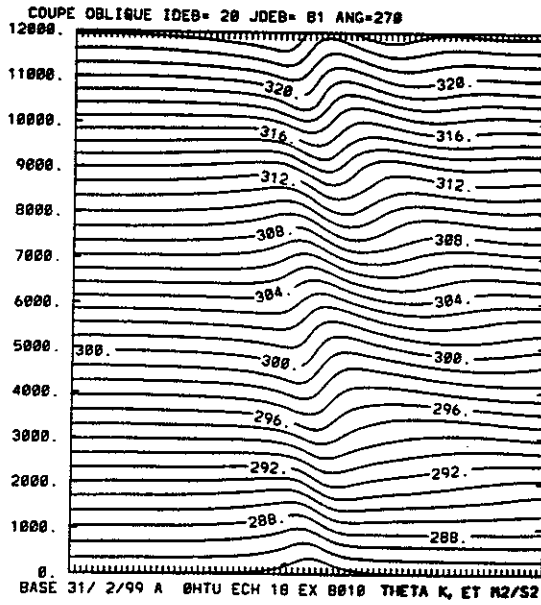
COUPE OBLIQUE IDEB= 31 JDEB= 10 ANG= 0



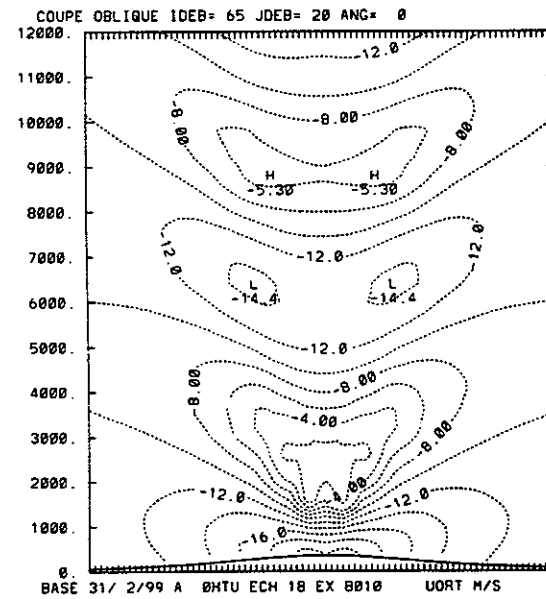
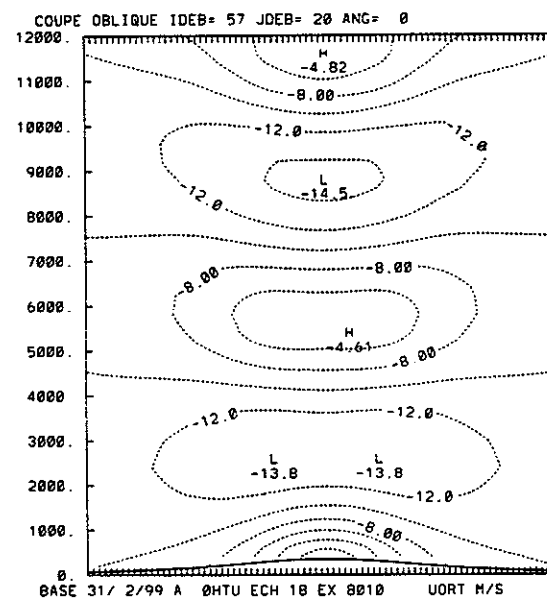
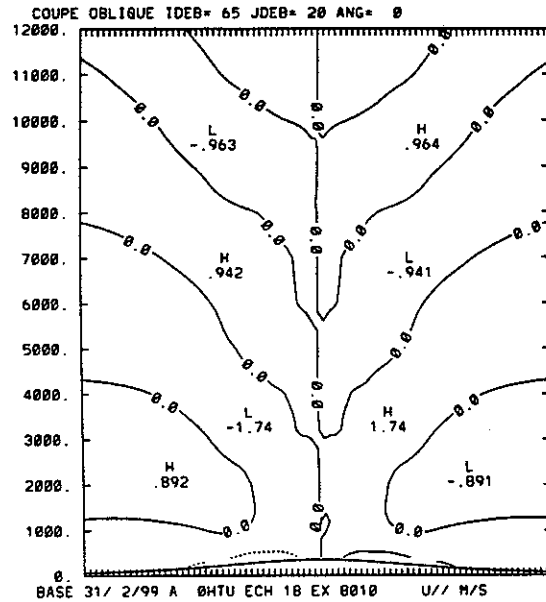
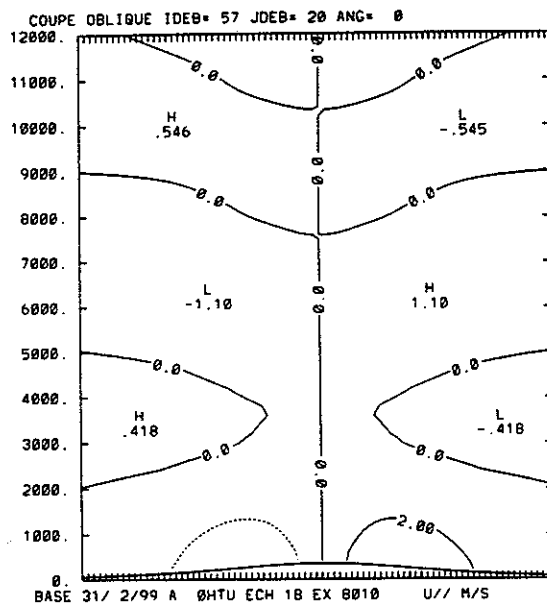
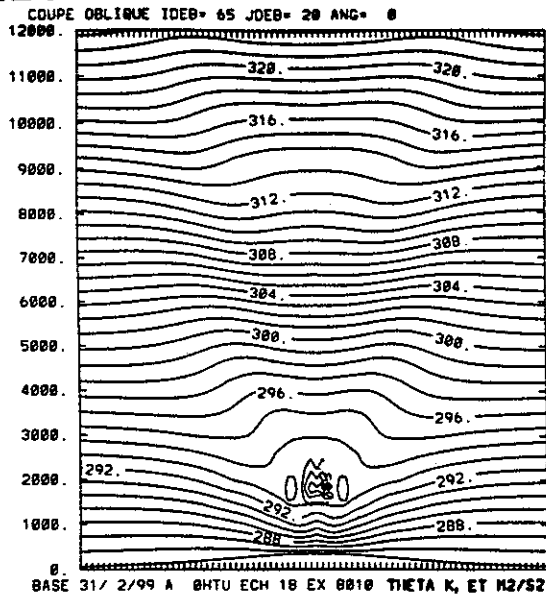
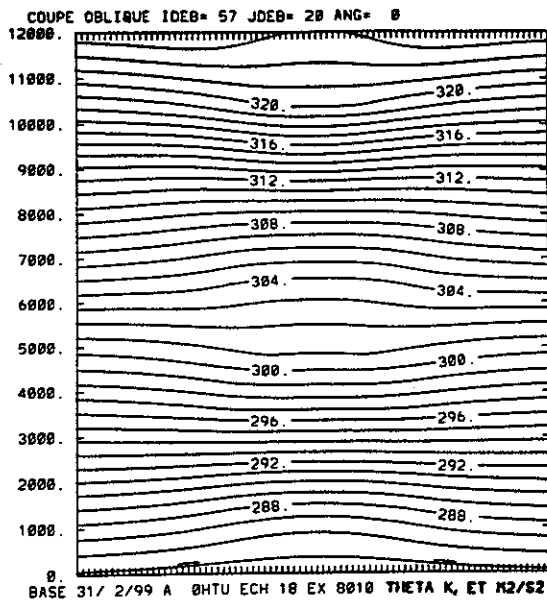
COUPE OBLIQUE IDEB= 31 JDEB= 10 ANG= 0



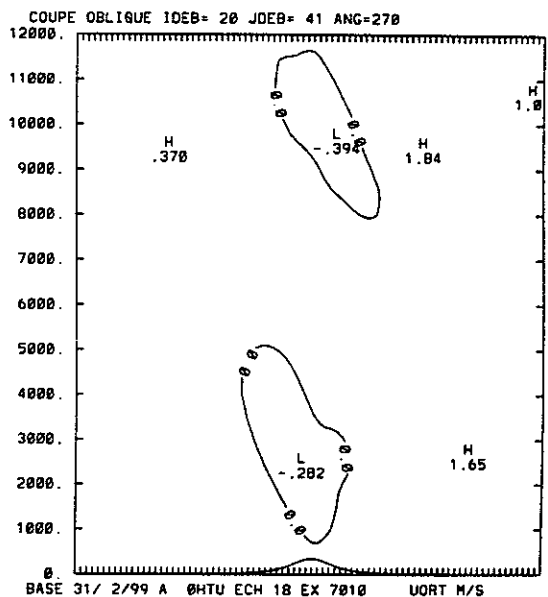
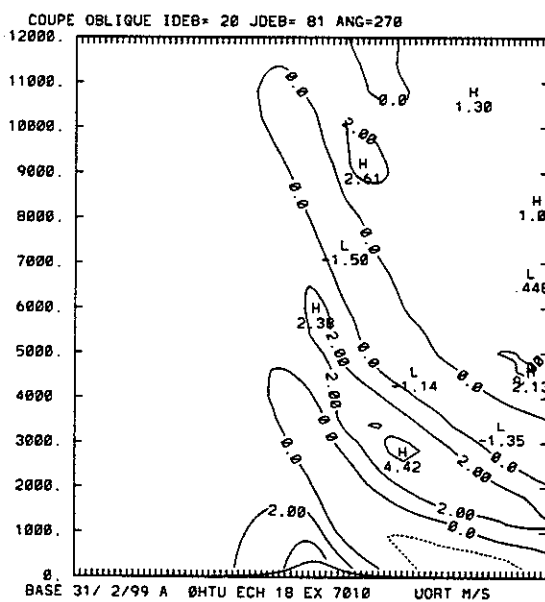
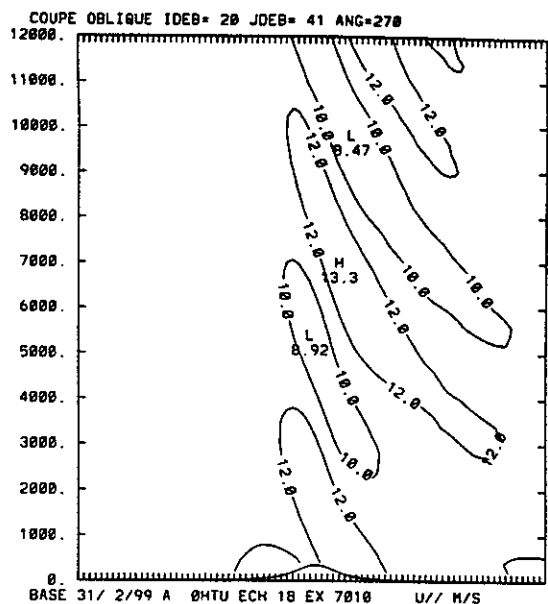
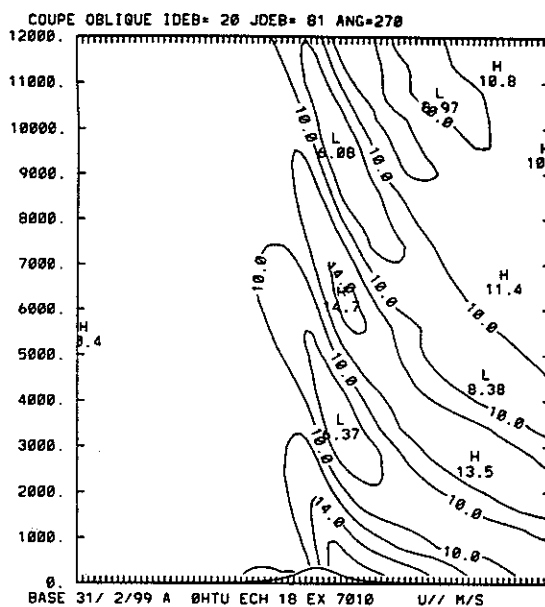
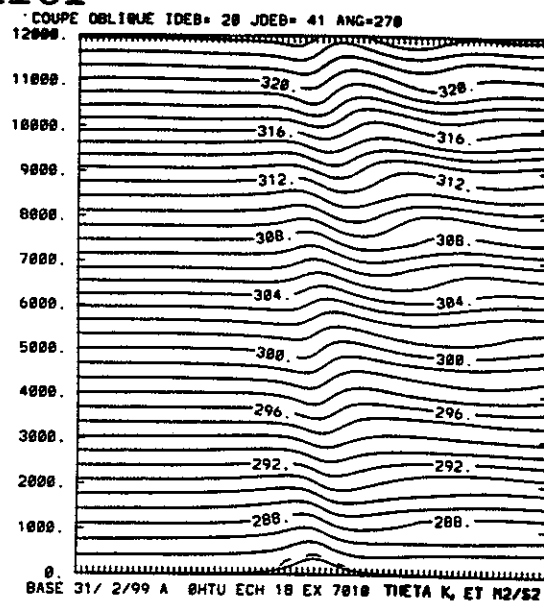
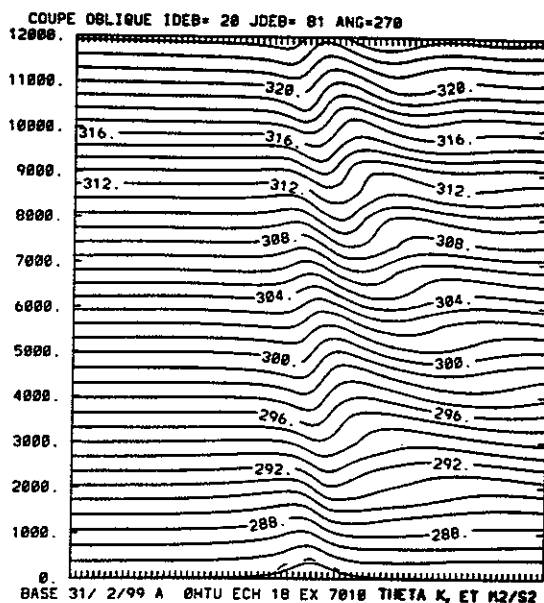
EX10



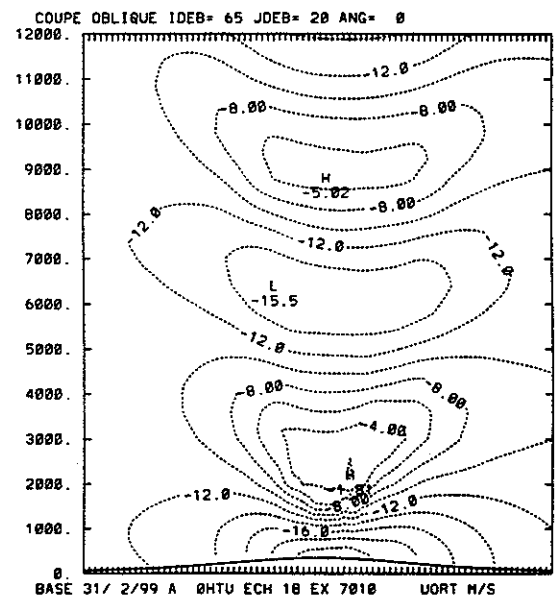
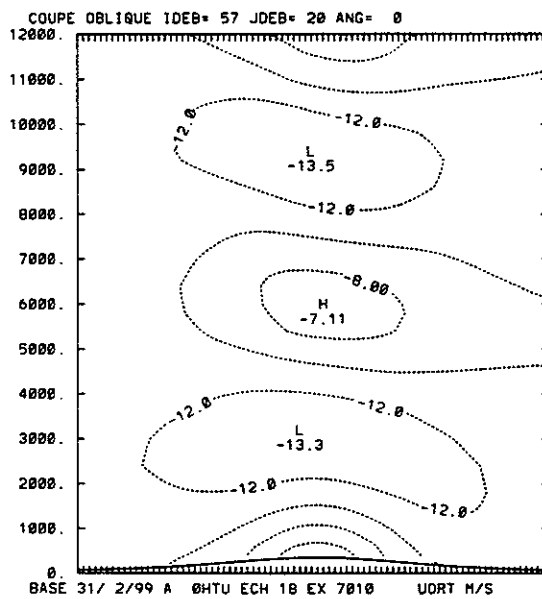
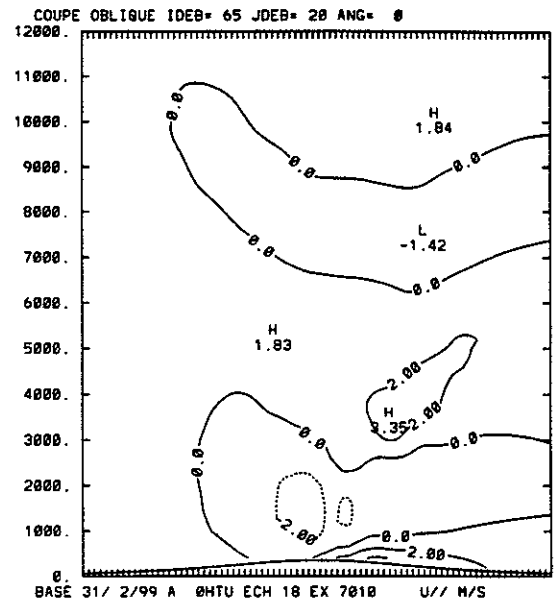
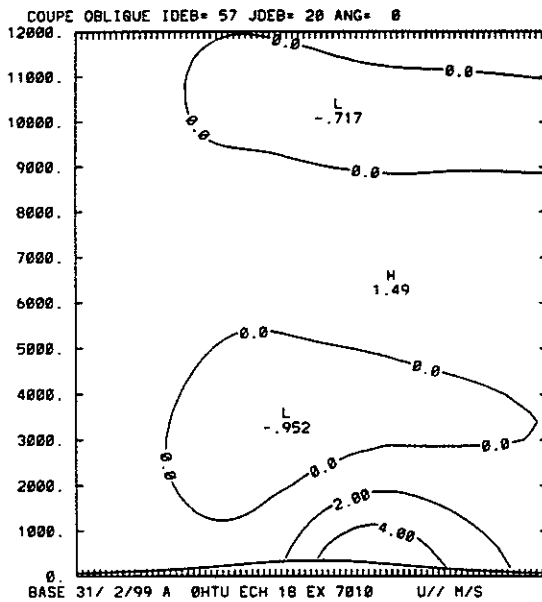
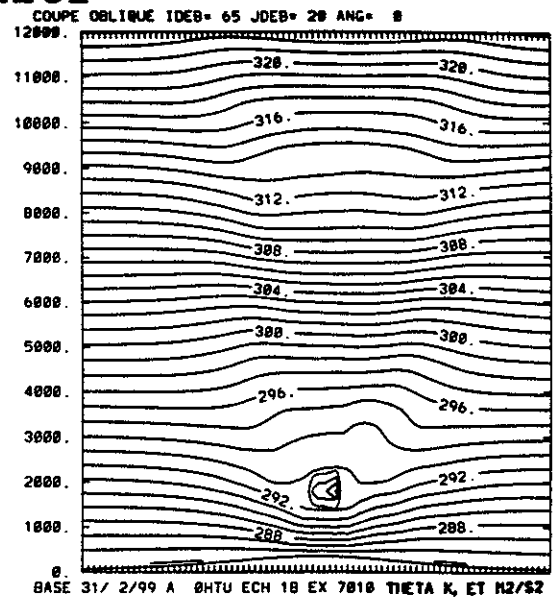
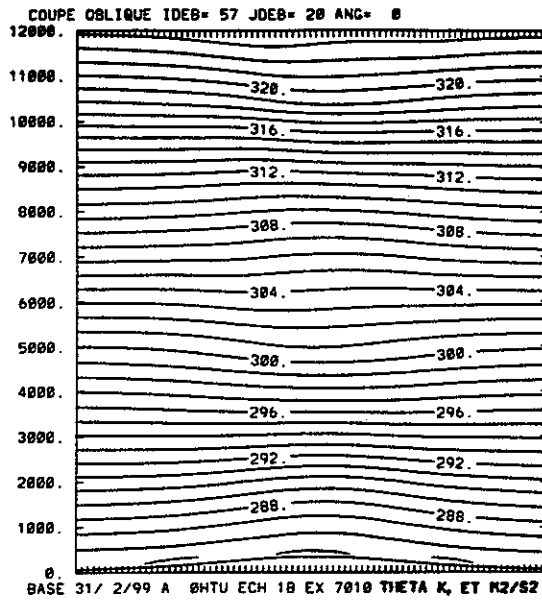
EX10



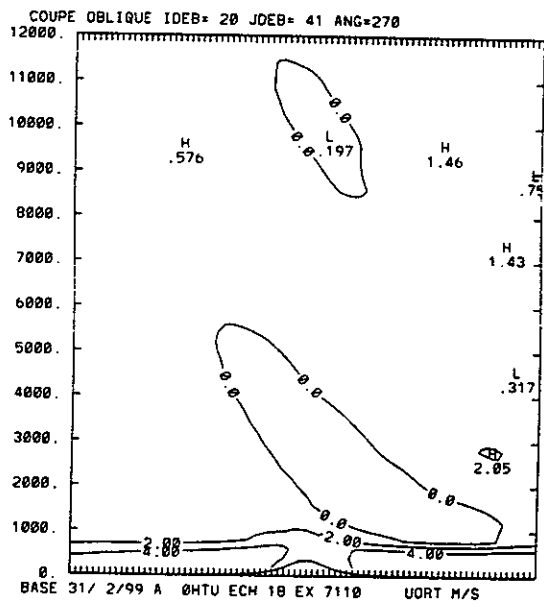
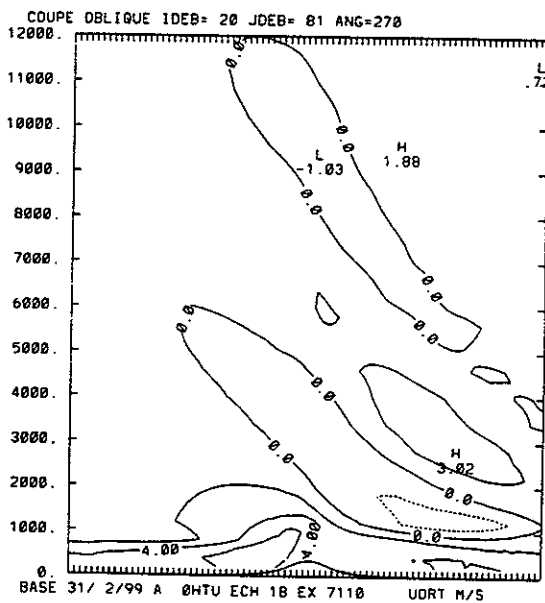
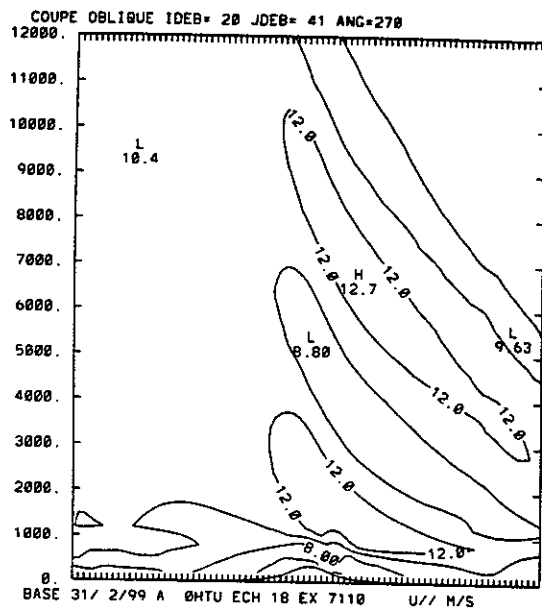
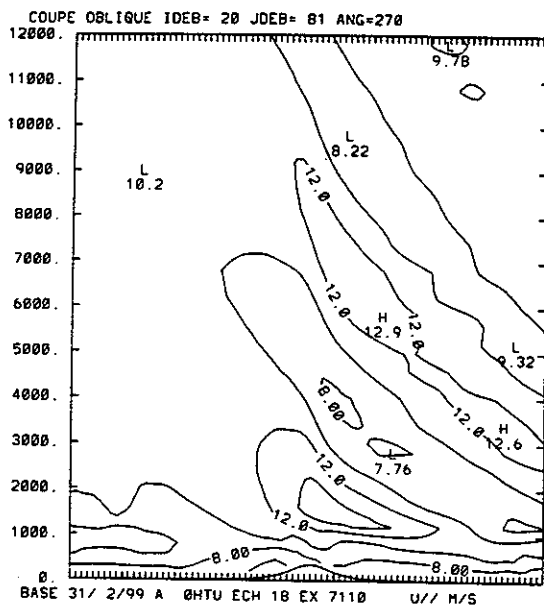
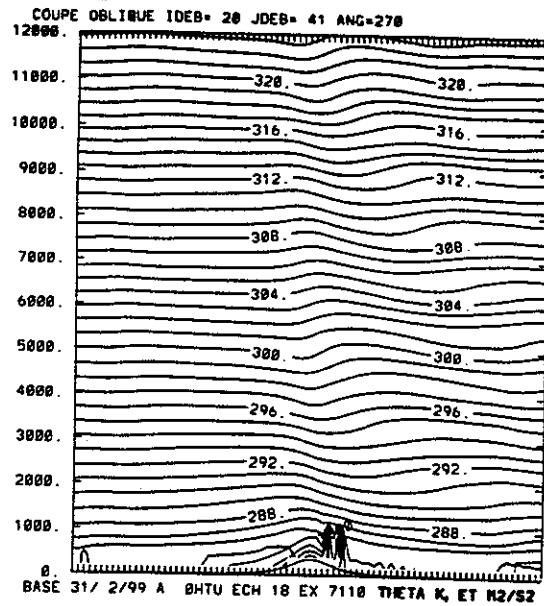
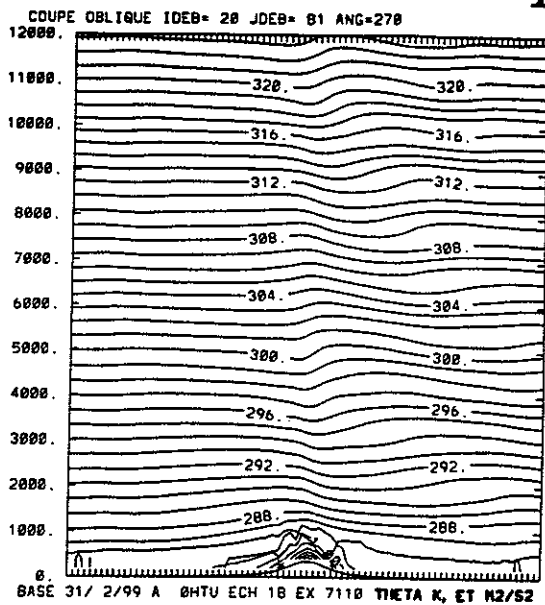
EX10P



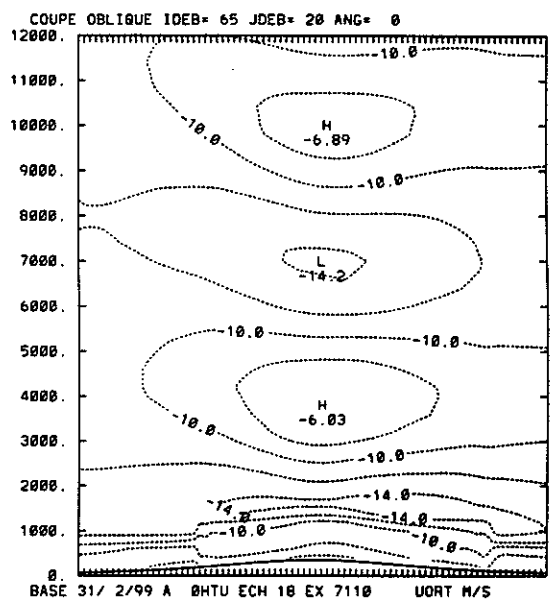
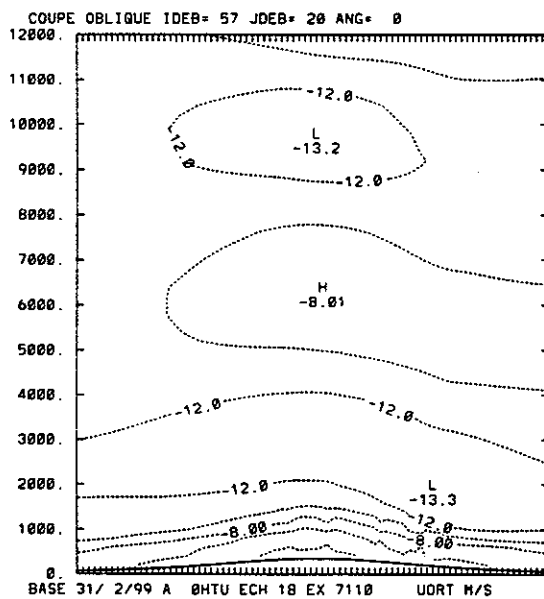
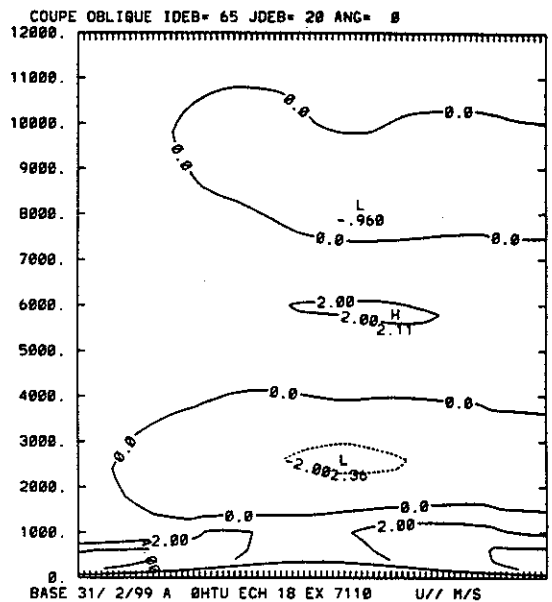
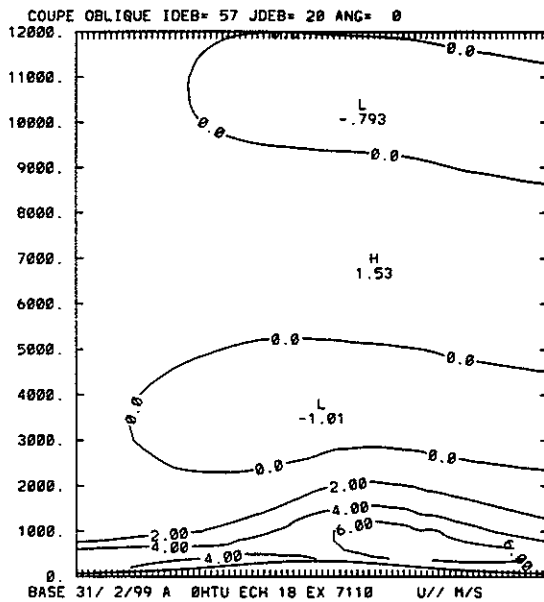
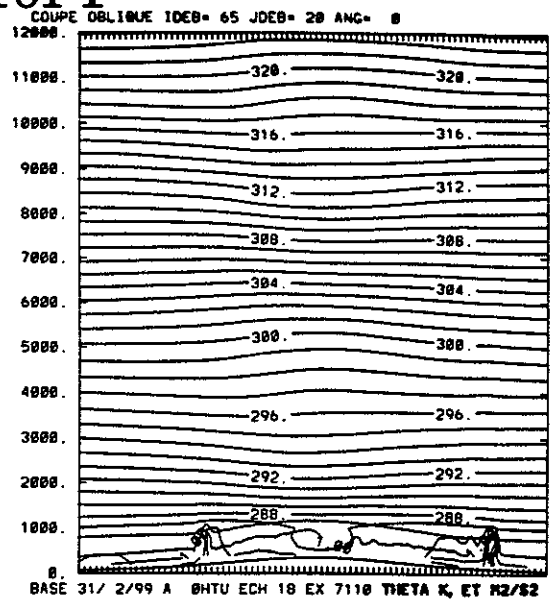
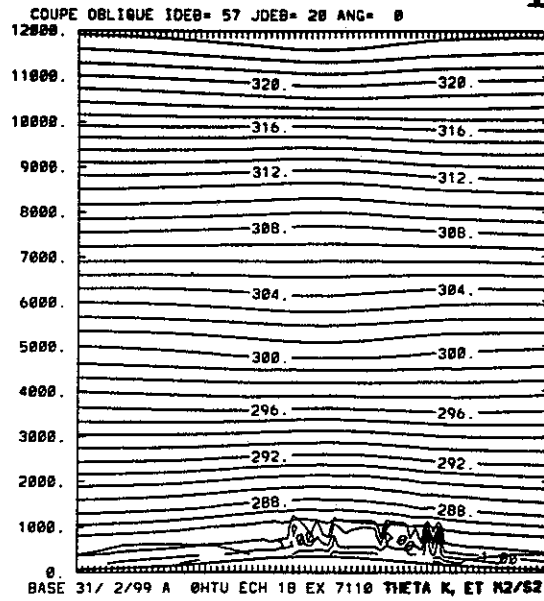
EX10P



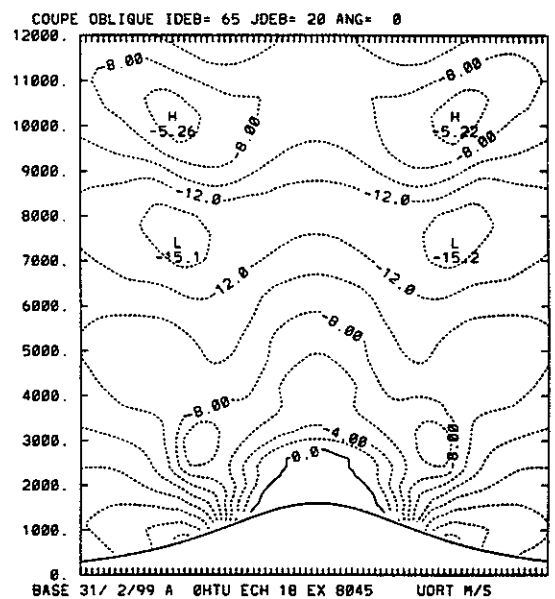
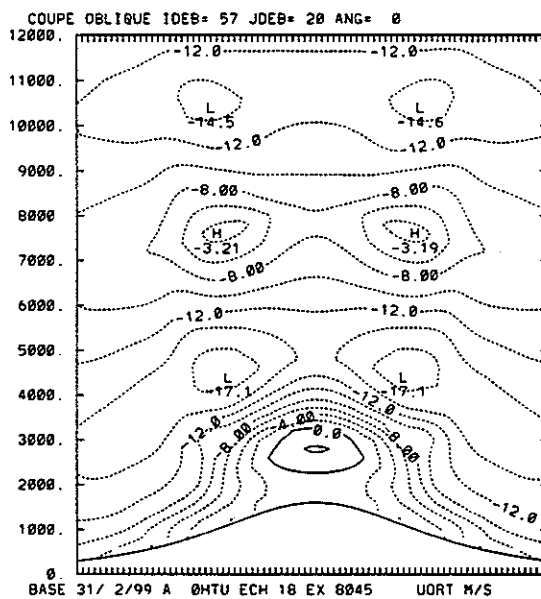
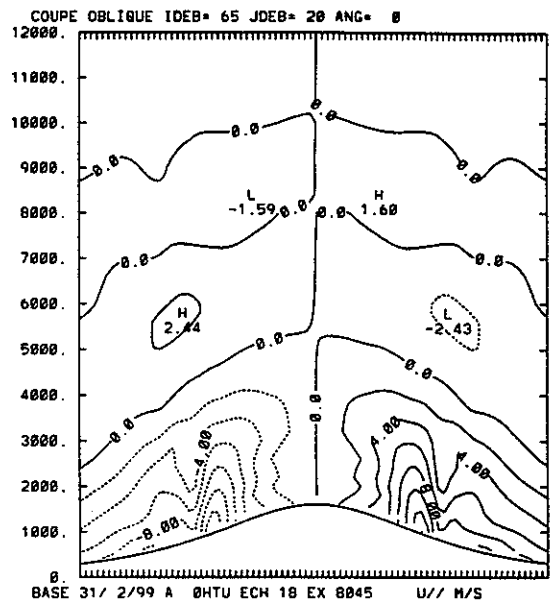
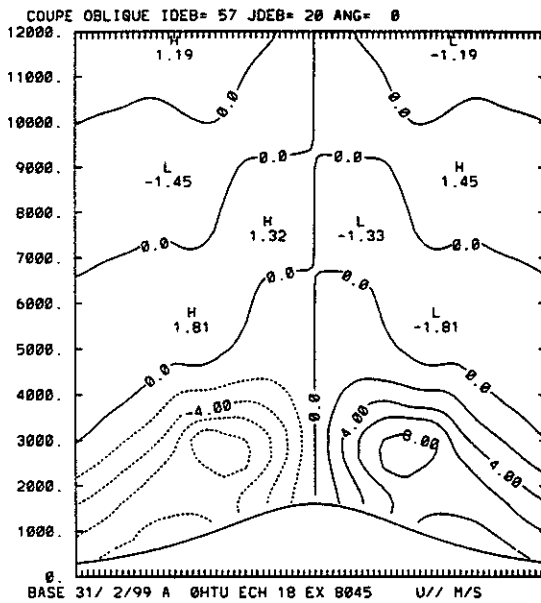
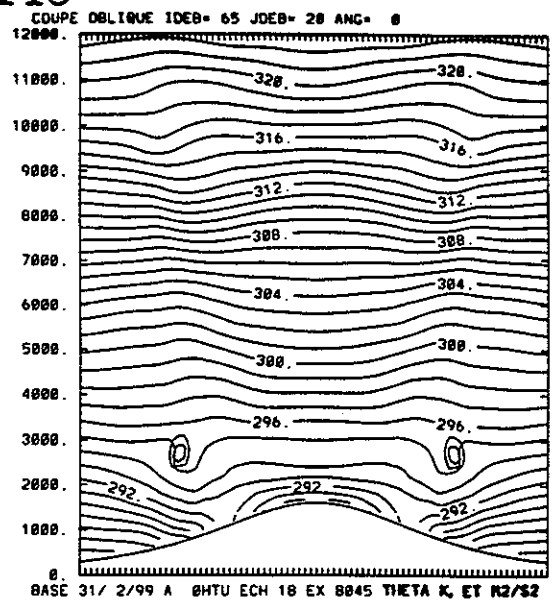
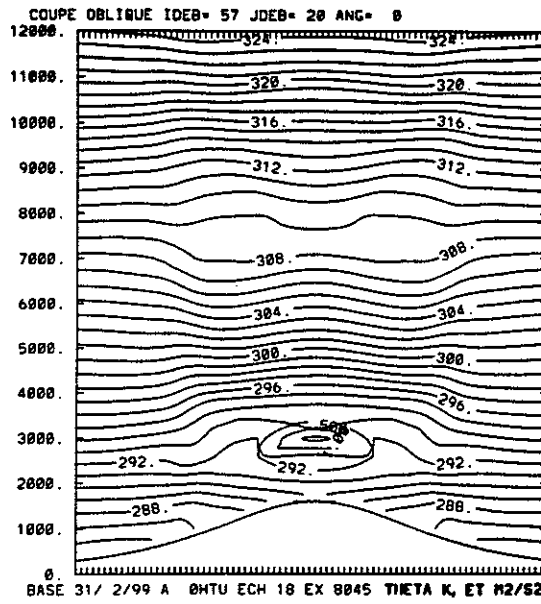
EX10PF



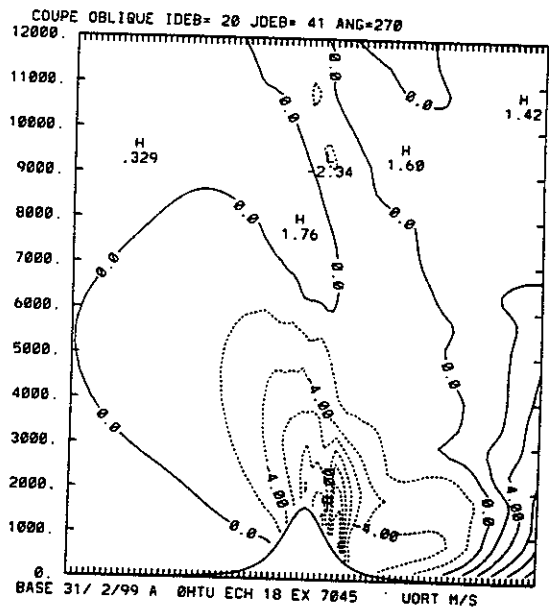
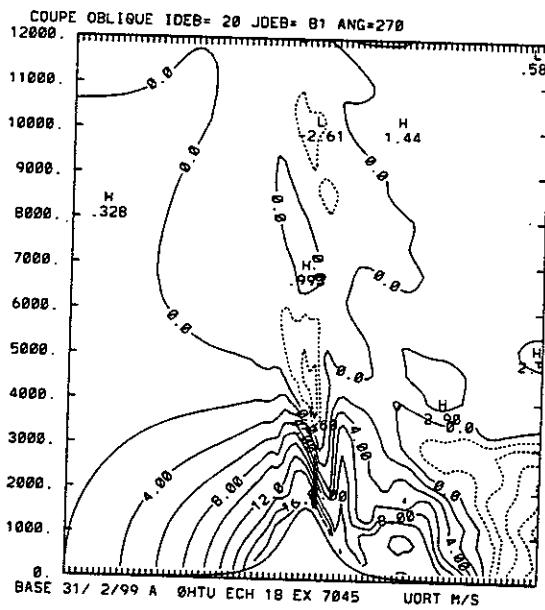
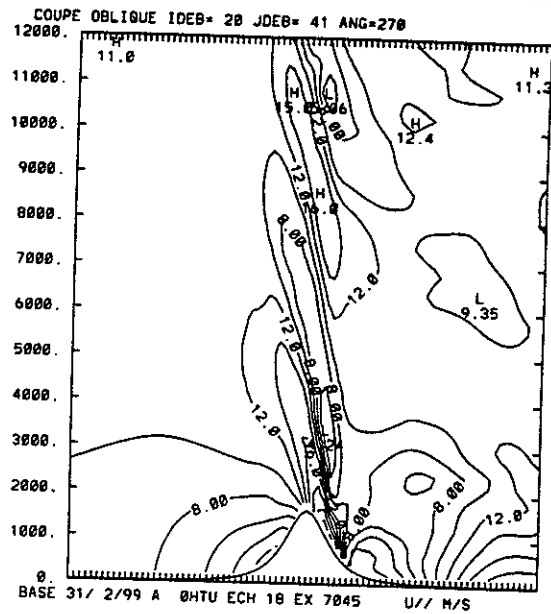
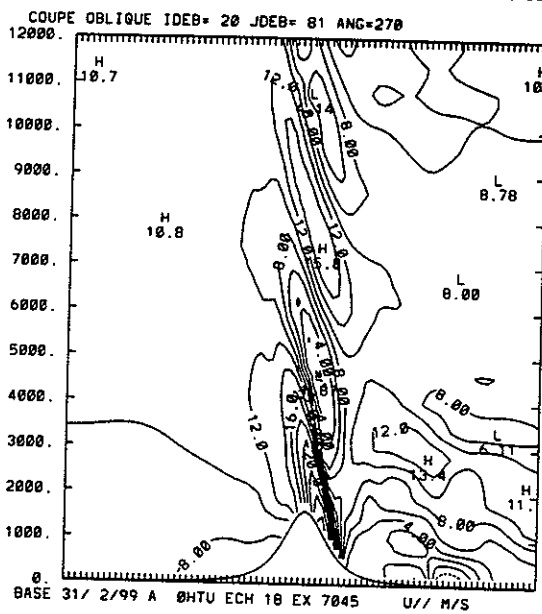
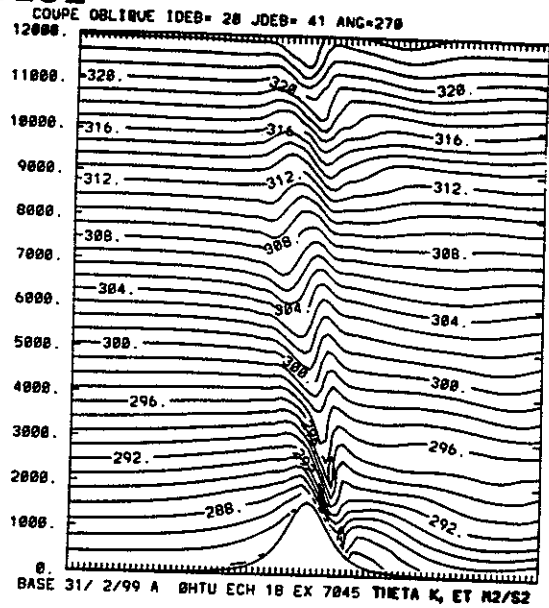
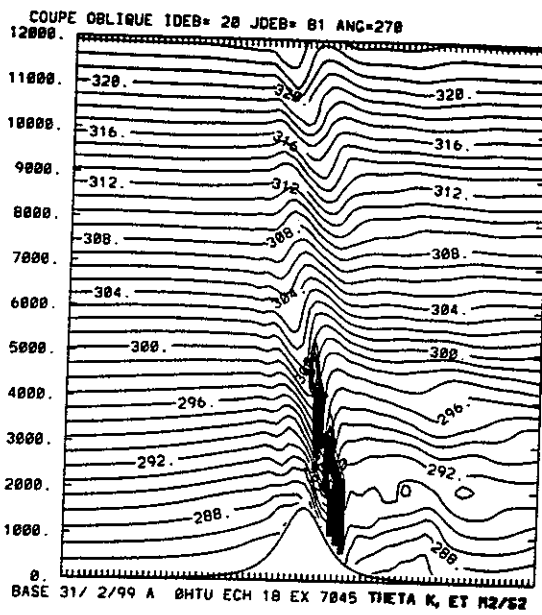
EX10PF



EX45

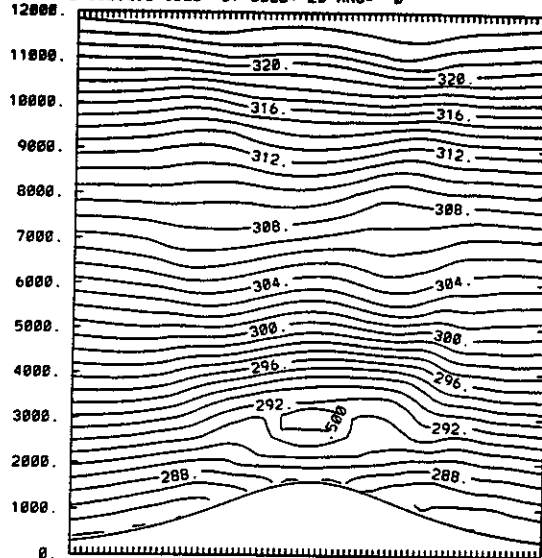


EX45P



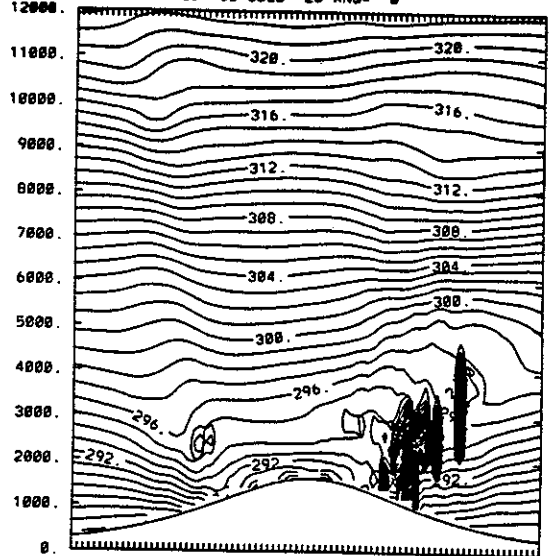
EX45P

COUPE OBLIQUE IDEB= 57 JDEB= 20 ANG= 0



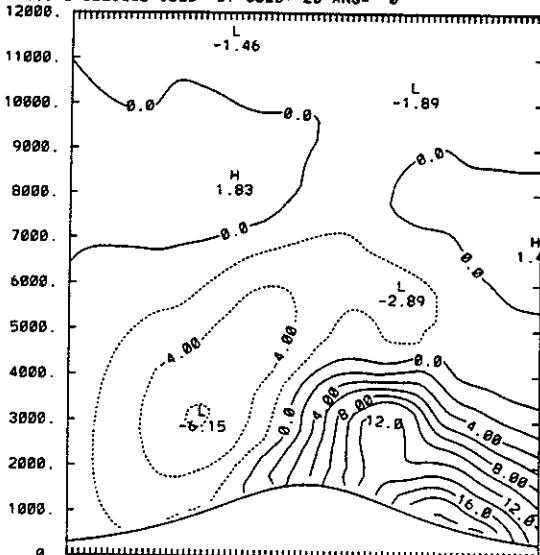
BASE 31/ 2/99 A 0HTU ECH 18 EX 7045 THETA K, ET M2/S2

COUPE OBLIQUE IDEB= 65 JDEB= 20 ANG= 0



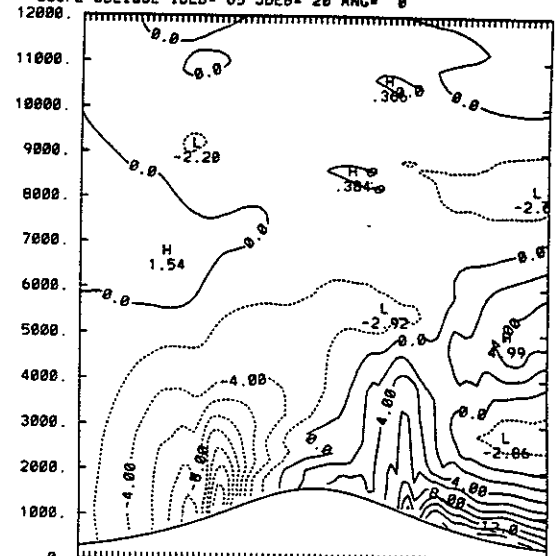
BASE 31/ 2/99 A 0HTU ECH 18 EX 7045 THETA K, ET M2/S2

COUPE OBLIQUE IDEB= 57 JDEB= 20 ANG= 0



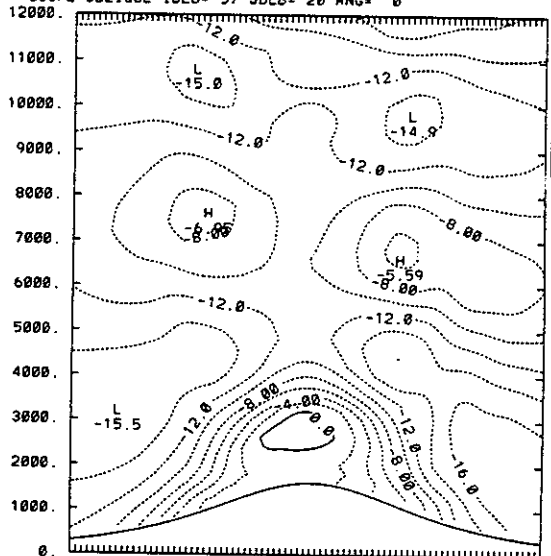
BASE 31/ 2/99 A 0HTU ECH 18 EX 7045 U// M/S

COUPE OBLIQUE IDEB= 65 JDEB= 20 ANG= 0



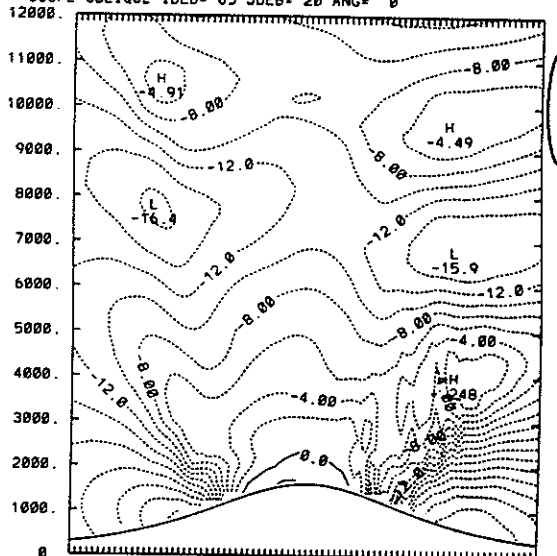
BASE 31/ 2/99 A 0HTU ECH 18 EX 7045 U// M/S

COUPE OBLIQUE IDEB= 57 JDEB= 20 ANG= 0



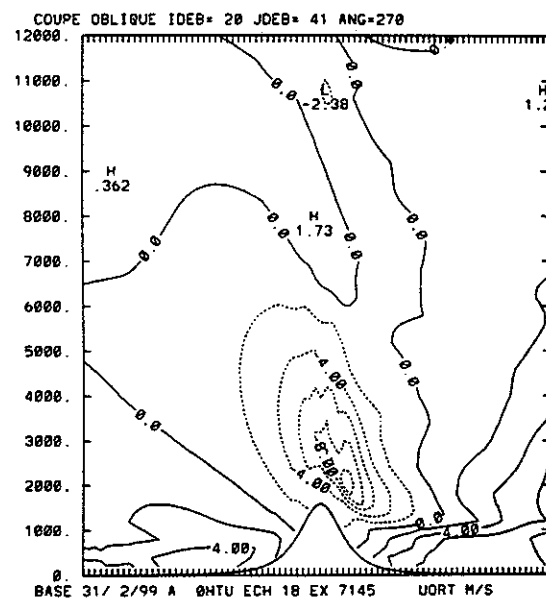
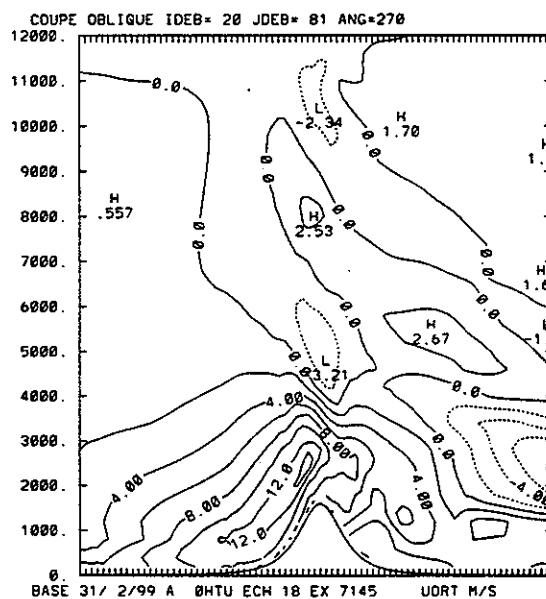
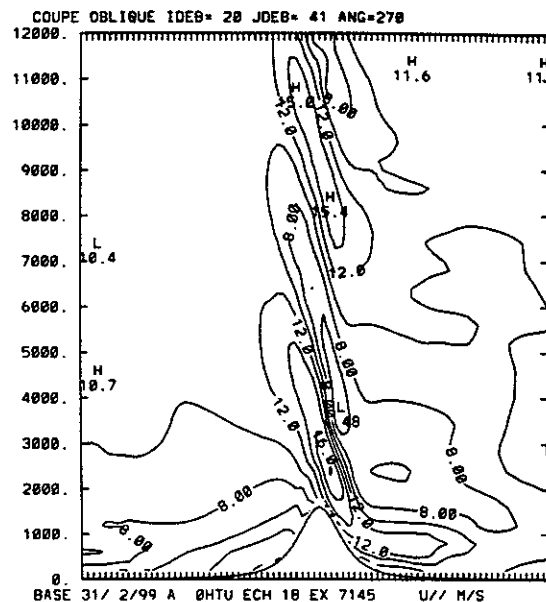
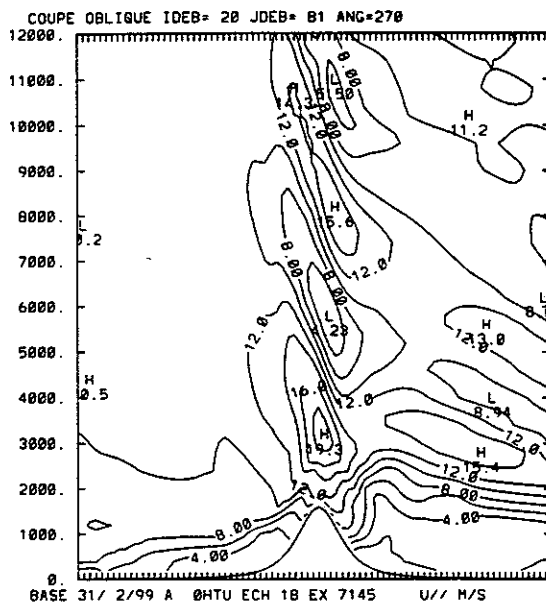
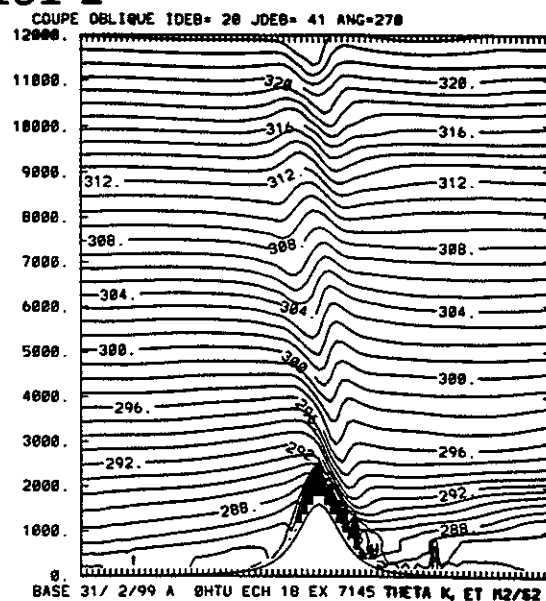
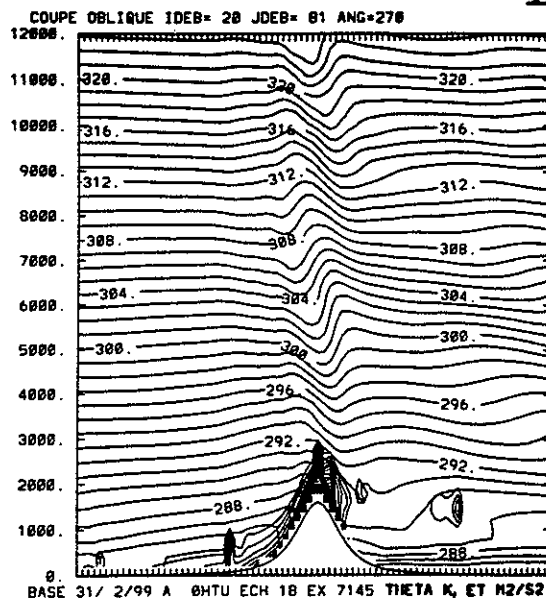
BASE 31/ 2/99 A 0HTU ECH 18 EX 7045 UORT M/S

COUPE OBLIQUE IDEB= 65 JDEB= 20 ANG= 0

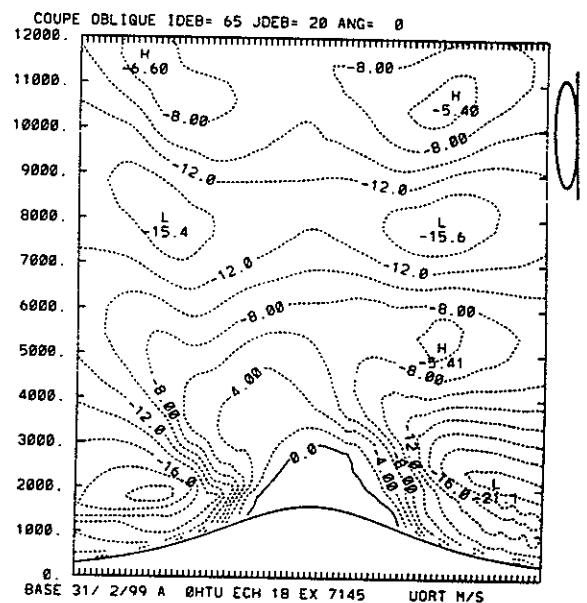
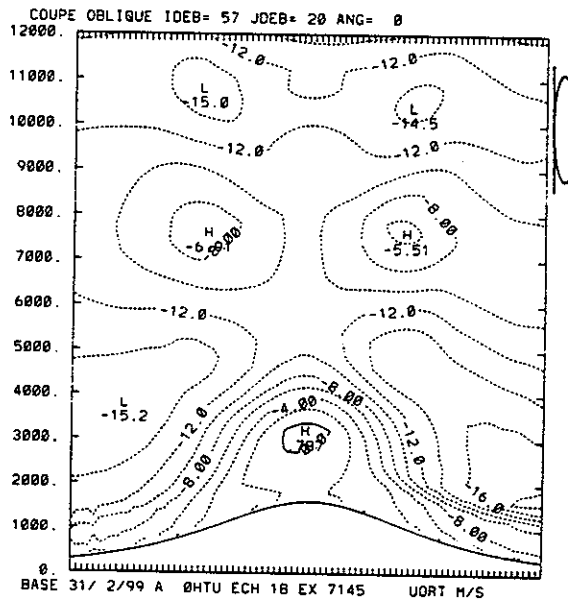
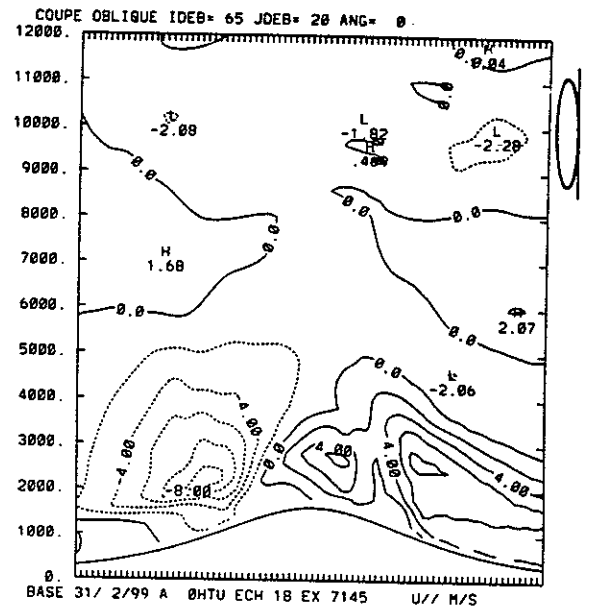
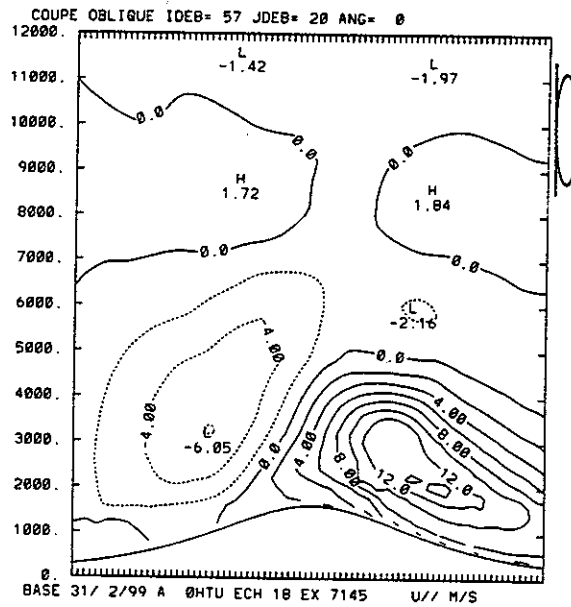
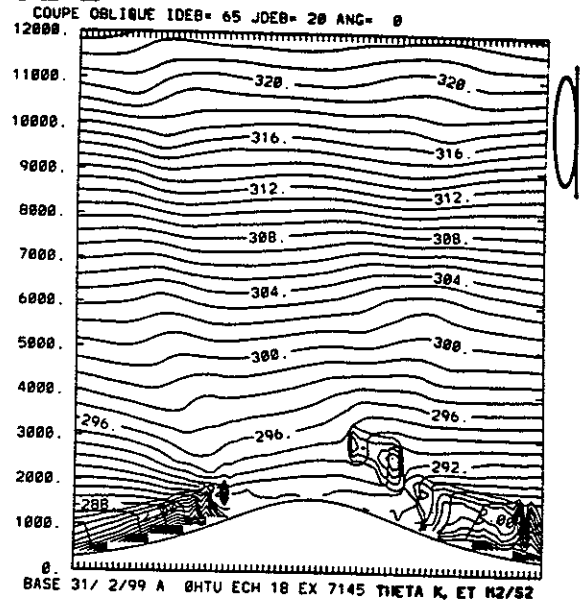
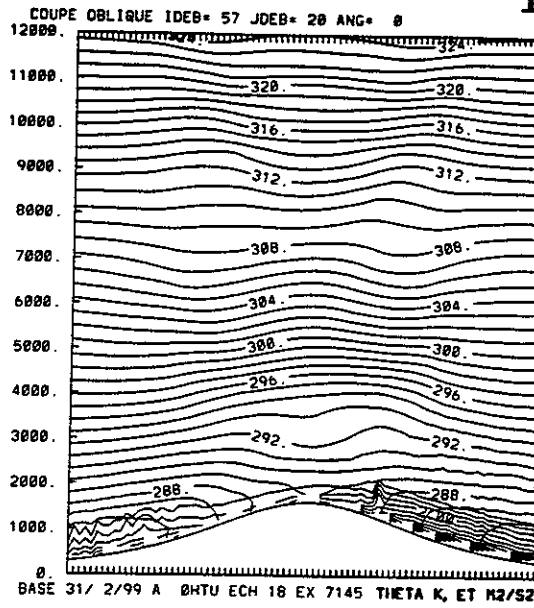


BASE 31/ 2/99 A 0HTU ECH 18 EX 7045 UORT M/S

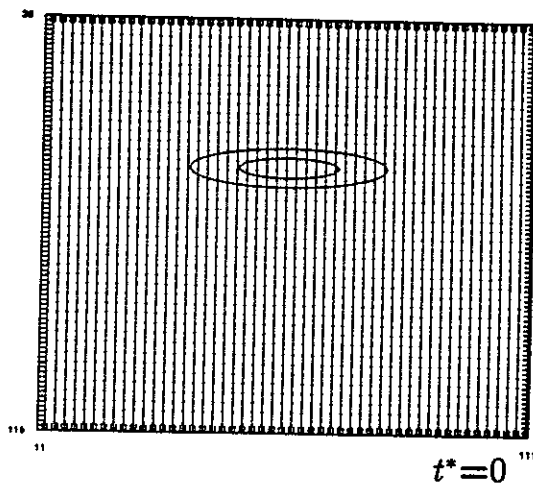
EX45PF



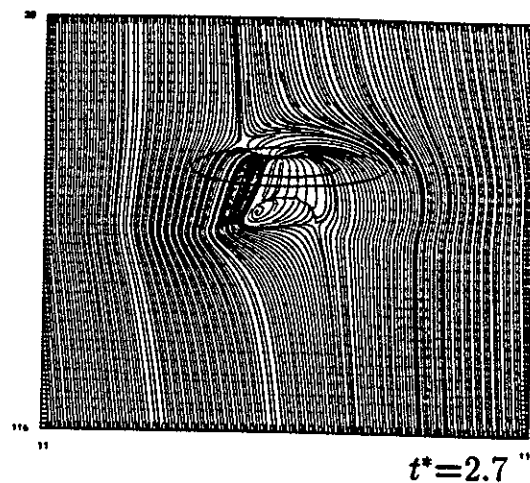
EX45PF



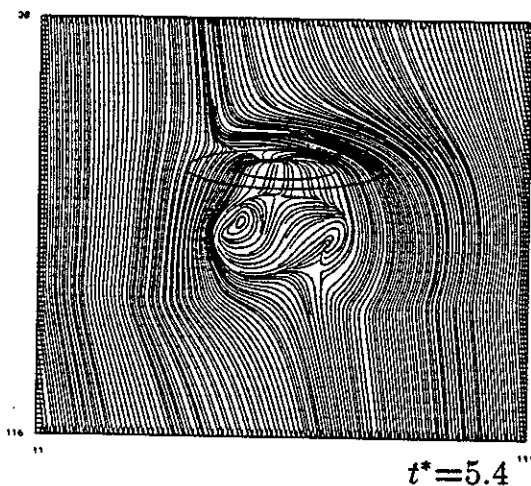
EX27P



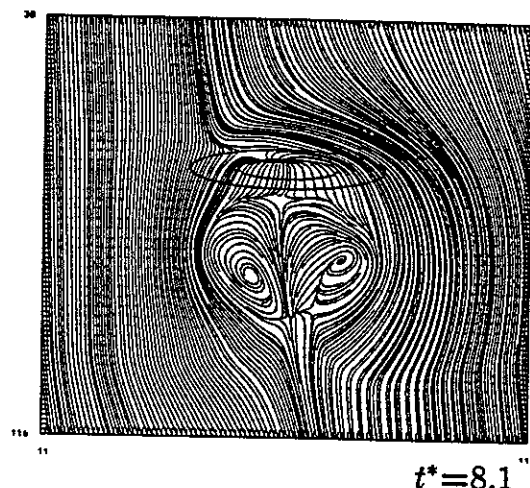
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 0 EX 7027 Z60K= 40



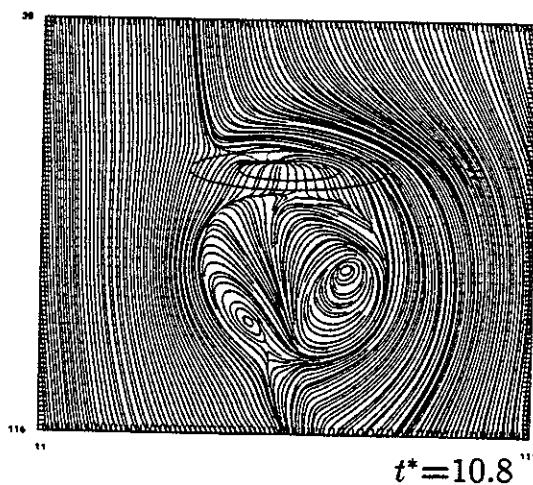
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 3 EX 7027 Z60K= 40



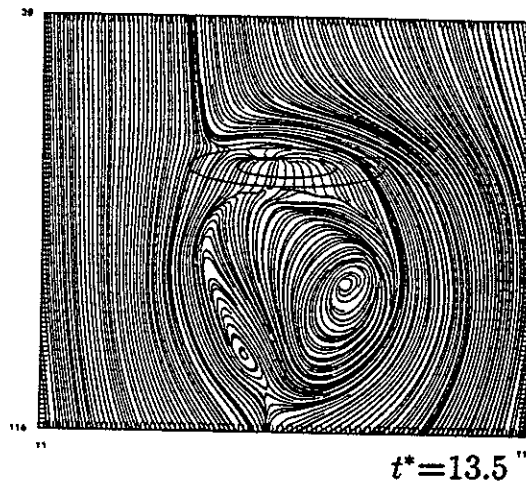
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 6 EX 7027 Z60K= 40



BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 9 EX 7027 Z60K= 40

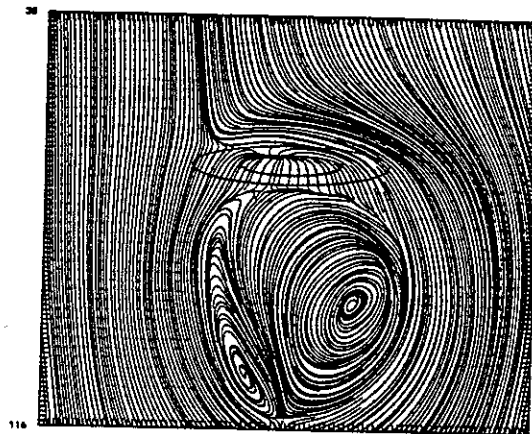


BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 12 EX 7027 Z60K= 40



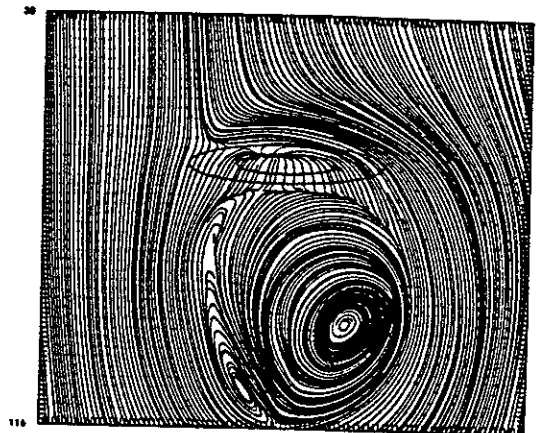
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 15 EX 7027 Z60K= 40

EX27P



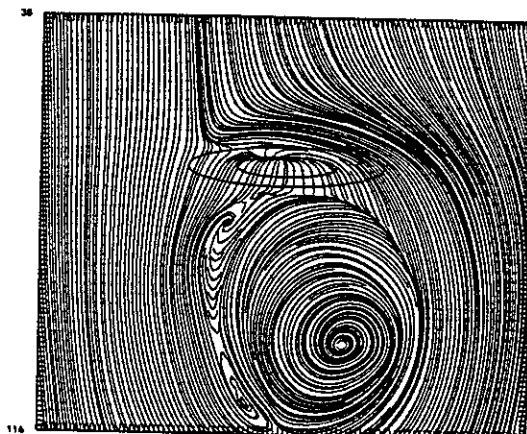
$t^* = 16.2$

BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 18 EX 7827 Z60K= 48



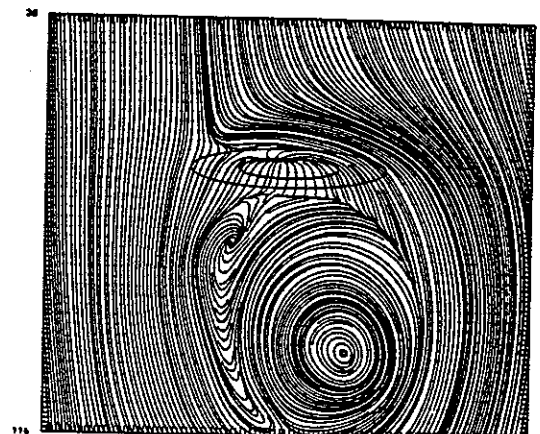
$t^* = 18.9$

BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 21 EX 7827 Z60K= 48



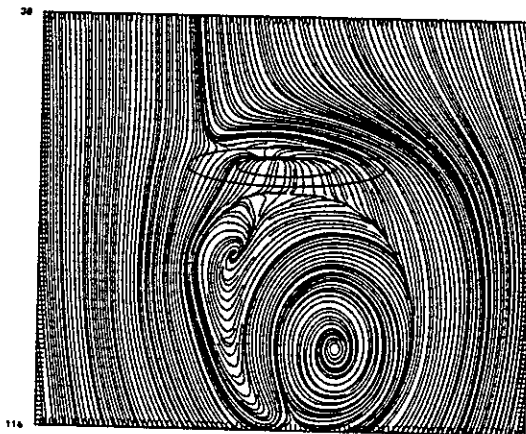
$t^* = 21.6$

BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 24 EX 7827 Z60K= 48



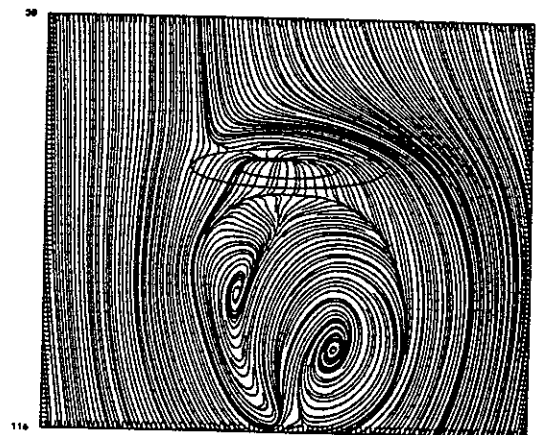
$t^* = 24.3$

BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 27 EX 7827 Z60K= 48



$t^* = 27.0$

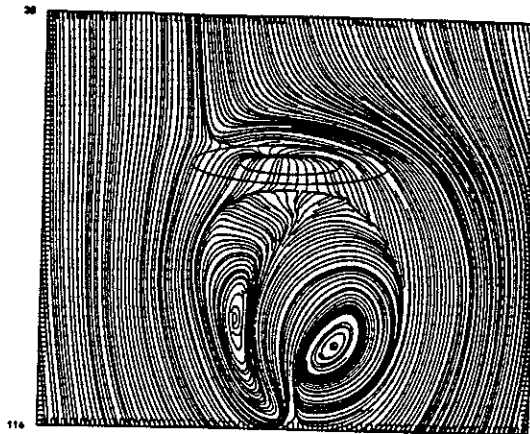
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 30 EX 7827 Z60K= 48



$t^* = 29.7$

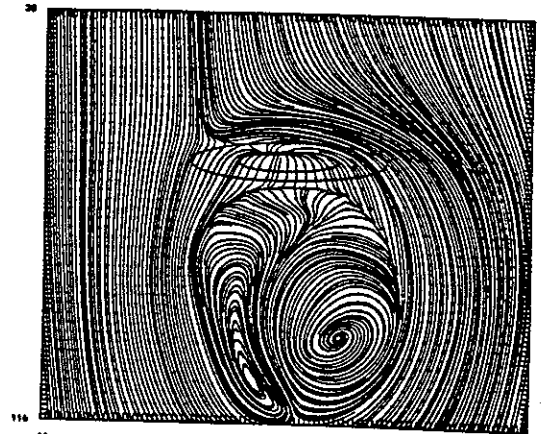
BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 33 EX 7827 Z60K= 48

EX27P



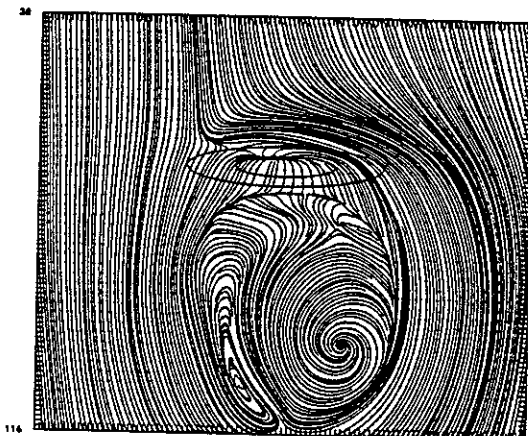
$t^* = 32.4$

BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 36 EX 7827 E60K= 48



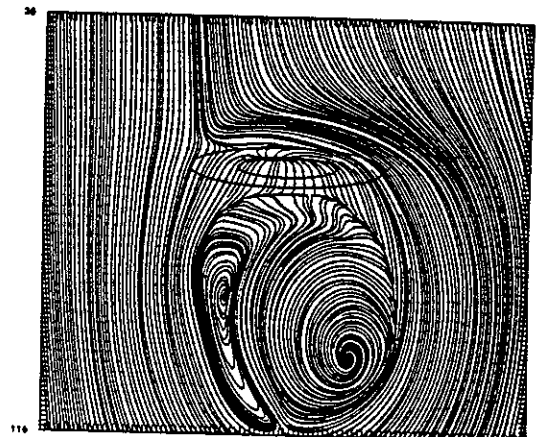
$t^* = 35.1$

BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 39 EX 7827 E60K= 48



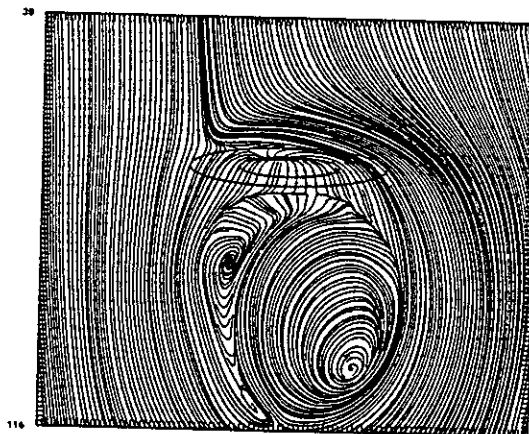
$t^* = 37.8$

BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 42 EX 7827 E60K= 48



$t^* = 40.5$

BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 45 EX 7827 E60K= 48



$t^* = 43.2$

BASE 31/ 2/99 A ØHTU ECH 48 EX 7827 E60K= 48

References

- Beau, I., 1992: Evaluation des paramétrisations de l'effet orographique sous maille dans les modèles de circulation générale à l'aide de PERIDOT 10km. Technical report, Ecole Nationale de la Météorologie, Toulouse, available from CNRM, 31057 Toulouse, France.
- Bougeault, P., B. Bret, P. Lacarrère, and J. Noilhan, 1991: An experiment with an advanced surface parametrization in a mesobeta-scale model: Part II: The 16 june simulation. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 2374-2392.
- Bougeault, P. and P. Lacarrère, 1989: Parameterization of orography-induced turbulence in a meso-beta-scale model. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 1872-1890.
- Imbard, M., A. Joly, and R. du Vachat, 1986: Le modèle de prévision numérique PERIDOT: formulation dynamique et modes de fonctionnement. Technical Report 161, EERM, available from CNRM, 31057 Toulouse, France.
- Klemp, J. B. and D. K. Lilly, 1978: Numerical simulation of hydrostatic mountain waves. *J. Atmos. Sci.*, **35**, 78-107.
- Ólafsson, H. and P. Bougeault, 1996a: The effect of surface friction and Coriolis force on orographic drag. *J. Atmos. Sci.* submitted.
- Ólafsson, H. and P. Bougeault, 1996b: Nonlinear flow past an elliptic mountain ridge. *J. Atmos. Sci.* accepted.
- Phillips, D. S., 1984: Analytical surface pressure and drag for linear hydrostatic flow over three-dimensional elliptical mountains. *J. Atmos. Sci.*, **41**, 1073-1084.
- Smith, R. B., 1980: Linear theory of stratified flow past an isolated mountain. *Tellus*, **32**, 348-364.
- Smith, R. B. and S. Grönås, 1993: Stagnation points and bifurcation in 3-d mountain airflow. *Tellus*, **45A**, 28-43.

- Smolarkiewicz, P. and R. Rotunno, 1989: Low Froude number flow past three-dimensional obstacles. Part I: Baroclinically generated lee vortices. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 1154–1164.
- Smolarkiewicz, P. and R. Rotunno, 1990: Low Froude number flow past three-dimensional obstacles. Part II: Upwind flow reversal zone. *J. Atmos. Sci.*, **47**, 1498–1511.
- Stein, J., 1992: *Contribution à l'étude des régimes hydrostatiques d'écoulements orographiques*. PhD thesis, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 243 pp.

Note de travail