

RAPPORTS SCIENTIFIQUES  
ET TECHNIQUES

SCIENCES DE LA MER

OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE

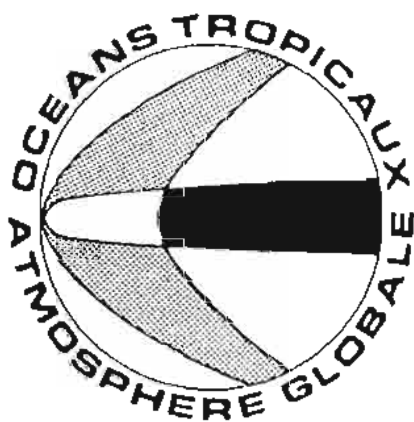
N° 4

1991

Atlas des températures et des courants  
géostrophiques de 1979 à 1985 déduits  
des mesures XBT le long de rails  
de navigation du Pacifique tropical

Joël PICAUT  
Rolande TOURNIER  
Vincent FABRE

*Groupe SURTROPAC*



Document de travail

**RAPPORTS SCIENTIFIQUES  
ET TECHNIQUES**

**SCIENCES DE LA MER**

**OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE**

**N° 4**

**1991**

Atlas des températures et des courants  
géostrophiques de 1979 à 1985 déduits  
des mesures XBT le long de rails  
de navigation du Pacifique tropical

**Joël PICAUT  
Rolande TOURNIER  
Vincent FABRE**



**INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION**

**CENTRE DE NOUMÉA**

© ORSTOM, Nouméa, 1991

Picaut, J.  
Tournier, R.  
Fabre, V.

Atlas des températures et des courants géostrophiques de 1979 à 1985 déduits des  
mesures XBT le long de rails de navigation du Pacifique tropical  
Nouméa : ORSTOM. 1991, 86 p.  
*Rapp. sci. tech. : Sci. Mer : Océanogr. phys. ; 4*

OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE; ATLAS; SONDE XBT; TEMPERATURE; PROFIL VERTICAL;  
COURANT EQUATORIAL; COURANT GEOSTROPHIQUE; HAUTEUR DYNAMIQUE / PACIFIQUE  
TROPICAL

imprimé par le Centre ORSTOM  
de Nouméa  
Septembre 1991

 ORSTOM Nouméa  
REPROGRAPHIE

## RESUME

Dans le Pacifique Tropical, la concentration de données du réseau XBT (expendable bathythermograph) ORSTOM-SIO (Scripps Institution of Oceanography) autour de trois rails de navigation a permis de construire des champs de températures et de courants géostrophiques. Afin d'obtenir des champs de températures les plus précis possible, le fichier original ORSTOM-SIO a été tout d'abord triplé par la récupération d'un maximum de données XBT et de quelques données hydrologiques et de sondes CTD (conductivité, températures, profondeur) auprès de différents services océanographiques. Les champs de températures à trois dimensions (latitude, profondeur, temps) ont été obtenu en regroupant, indépendamment de la longitude, les données de profils thermiques autour de trois rails moyens situés dans les zones Ouest, Centre et Est du Pacifique Tropical. Ces champs s'étendent, en latitude de 20°S à 20°N pour les zones Ouest et Centre et de 20°S à 7°N pour la zone Est, en profondeur de 0 à 400 m et en temps de janvier 1979 à décembre 1985. Cet atlas commence par un rapport technique présentant les différentes méthodes de validation statistiques et subjectives puis d'interpolation par recombinaison en série de Fourier par moindres carrés, qui ont permis d'obtenir les champs bimensuels de températures. Ce rapport complète l'article de Picaut et Tournier (1991) qui, à partir de ces champs, ont mis au point une technique permettant de calculer à l'échelle bimensuelle et avec une précision acceptable les principaux courants équatoriaux, y compris dans la bande équatoriale. Ce rapport technique est suivi par la présentation d'un ensemble de cartes de températures, hauteurs dynamiques et courants géostrophiques le long des rails moyens de navigation du Pacifique Tropical.

## ABSTRACT

### **Atlas of temperature and geostrophic currents deduced from XBT measurements in 1979-85 along ship tracks in the tropical Pacific**

In the tropical Pacific, data concentration from the ORSTOM-SIO (Scripps Institution of Oceanography) tropical Pacific XBT (expendable bathythermograph) network, enables the construction of temperature and geostrophic current fields around three ship tracks. In order to obtain precise fields of temperature, the original ORSTOM-SIO data set is first tripled with additional XBT and a few hydrological and CTD (conductivity, temperature, depth) data from several oceanographic organizations. Three dimensional (latitude, depth, time) temperature fields are built in grouping thermal profiles, independently of longitude, in the western, central and eastern Pacific regions surrounding the mean ship tracks. These fields extend, in latitude from 20°S to 20°N for the western and central regions and 20°S to 7°N for the eastern region, in depth from 0 to 400 m, and in time from January 1979 to December 1985. The present atlas begins with a technical report which details the various techniques used for the construction of bimonthly temperature fields, such as objective and subjective validation and interpolation through least squares Fourier decomposition. The report completes the article of Picaut and Tournier (1991) who, from these fields, have developed a specific technique in order to calculate, on a bimonthly basis and with an acceptable error, the major equatorial currents including those in the equatorial band. This technical report is followed with a series of temperature, dynamic height and geostrophic current charts along the mean ship tracks in the tropical Pacific.

## REMERCIEMENTS

Ce travail doit beaucoup à l'opiniâtreté de David Cutchin, Jean René Donguy, Christian Hénin, Gary Meyers et Warren White qui ont mis en place le réseau XBT du Pacifique Tropical. Nous tenons à remercier chaleureusement les officiers, techniciens et chercheurs qui ont participé à la collecte de l'ensemble de profils thermiques utilisés dans ce rapport ainsi que tous les individus et organismes (EPSHOM, JODC, NODC, CSIRO, SIO) qui nous ont adressé des compléments de données. Nous avons beaucoup apprécié l'aide de Michel Ménézo à gérer 58.000 profils thermiques sur un vieux HP1000 et ensuite à mettre en place des stations de travail SUN. Nous remercions aussi Marie José Langlade pour son aide informatique dans un calcul préliminaire sur le fichier original XBT, Roger Lukas pour nous avoir fourni le programme d'interpolation Laplace-spline et Billy Kessler pour nous avoir fait profiter de son expérience sur une étude similaire dans le Pacifique Central.

## SOMMAIRE

<b>RESUME, ABSTRACT .....</b>	<b>i</b>
<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>ii</b>
<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>2. CREATION ET VALIDATION D'UNE BANQUE DE DONNEES XBT SUR LE PACIFIQUE TROPICAL</b>	
2.1. Justification .....	2
2.2. Récupération des données .....	4
2.3. Création d'un fichier complet .....	4
2.4. Validation des profils thermiques .....	6
<b>3. PREPARATION ET VALIDATION DES DONNEES LE LONG DES TROIS RAILS MOYENS</b>	
3.1. Introduction .....	8
3.2. Choix des zones géographiques et regroupement en latitude .....	8
3.3. Méthode d'interpolation et de lissage préliminaire .....	13
3.4. Tests de validation .....	14
3.5. Interpolation finale par moindres carrés .....	15
<b>4. PRESENTATION DES SERIES DE CARTES LE LONG DES RAILS MOYENS .....</b>	<b>19</b>
4.1. Températures en fonction du temps et de la profondeur .....	23
4.2. Températures de surface en fonction de la latitude et du temps .....	31
4.3. Exemple de salinités reconstituées à partir des relations T-S .....	32
4.4. Hauteurs dynamiques 0/400 dbar en fonction du temps et de la latitude .....	33
4.5. Températures en fonction de la latitude et de la profondeur .....	34
4.6. Courants géostrophiques en fonction de la latitude et de la profondeur .....	64

## 1. INTRODUCTION

Avant que le programme TOGA (Tropical Ocean and Global Atmosphère) ne voie le jour, les océanographes physiciens avaient déjà réalisé la nécessité de mettre en place des réseaux de mesures systématiques dans le Pacifique Tropical afin de suivre et de comprendre les variations saisonnières et interannuelles de cet océan et tout particulièrement le phénomène couplé El Niño-Oscillation Australe (ENSO).

Dès 1969, J.R. Donguy a établi, à partir du Centre ORSTOM de Nouméa, un réseau basé sur le bénévolat des officiers de navires marchands pour mesurer, à travers tout le Pacifique Tropical, un ensemble de données de surfaces (vent, température de l'eau et de l'air, salinité, etc...). En 1979, grâce aux efforts communs de D. Cutchin, J.R. Donguy, G. Meyers, C. Hénin et W. White, une coopération entre l'ORSTOM et la Scripps Institution of Oceanography (SIO) a été mise en place pour étudier les variations interannuelles de la structure thermique des couches de surface et de subsurface du Pacifique Tropical. Cette coopération s'est concrétisée par l'installation d'un réseau de mesures par sondes thermiques perdues XBT lancées depuis des navires marchands (White et al., 1985).

Ce type de mesures a permis de saisir l'ENSO particulièrement intense de 1982-83 et d'appréhender ainsi certains aspects de son mécanisme (Meyers et Donguy, 1984; White et al., 1985; Pazan et al., 1987). Des études globales basées sur des niveaux moyens (Wyrki, 1985) et des modèles récents, capables avec un certain succès de prédire ENSO (Cane et al., 1987), montrent l'importance de la redistribution de masse et de chaleur dans tout l'Océan Pacifique Tropical pour développer ENSO. Des études avaient été tentées pour saisir la variabilité du transport des courants équatoriaux à l'aide de ce réseau XBT par l'application de la méthode géostrophique. Hormis quelques résultats sur les contre-courant-équatoriaux nord et sud (Meyers et Donguy, 1984; Kessler et Taft, 1987), rien de bien probant n'a pu être obtenu sur les autres courants équatoriaux à partir de données XBT. En effet, le bruit associé aux erreurs instrumentales des XBT et aux ondes internes hautes fréquences se traduit par des variations de hauteurs dynamiques de 1 à 3 cm dyn (Chereskin et al., 1986) et une différence de 1 cm dyn entre 1° de latitude et l'équateur correspond à un courant géostrophique de 70 cm s<sup>-1</sup>. De plus, à l'approche de l'équateur, la petitesse des forces liées au gradient de pression horizontal face aux autres forces générant les courants équatoriaux laisse penser, pour ne citer que le document officiel définissant le programme TOGA (ITPO, 1987), que les données XBT sont inadéquates pour assurer le suivi de la circulation équatoriale à grande échelle.

Cet atlas débute par un rapport technique présentant l'ensemble des travaux de collecte et de validation de données et d'analyse objective qui ont permis de réaliser des champs bimensuels précis de températures et de hauteurs dynamiques à partir de données XBT. Ces champs bimensuels couvrent la période 1979-85 (encadrent donc l'El Niño de 1982-83) et vont de 0 à 400 m de profondeur le long des trois rails moyens de navigation dans les zones Ouest, Centre et Est du Pacifique Tropical. Ce rapport vient en complément de l'article de Picaut et Tournier (1991). Ces auteurs ont mis au point une technique basée sur la géostrophie qui permet de calculer, à partir des champs susdits et avec une précision acceptable, les principaux courants équatoriaux, y compris dans la bande équatoriale. Cette technique combine des filtrages temporel et méridien et assure la continuité autour de l'équateur entre les courants géostrophiques déduits des dérivées première et seconde du champ de pression méridien. La comparaison entre les transports des courants équatoriaux, déduits de cette technique géostrophique, et des mesures directes semi-continues effectuées durant les opérations "Hawaii-Tahiti Shuttle Experiment" en 1979-80 (Wyrki et al., 1981) et "Line Island Profiling Project" en 1982-83 (Firing, 1987), valide la méthode utilisée. En conséquence, il est possible d'utiliser les données XBT pour avoir des indices de transport des principaux courants équatoriaux dans le Pacifique Tropical.

Ce rapport technique est suivi par un ensemble de coupes de températures et de courants géostrophiques le long des rails moyens de navigation, complétés par quelques exemples de tracés de champs de hauteurs dynamiques et de salinités reconstituées par les relations T-S. L'ensemble des champs correspondants de températures, hauteurs dynamiques et courants géostrophiques a permis d'obtenir des informations sur les mécanismes de la variabilité de la structure thermique et des transports des courants dans le Pacifique Tropical (Tournier, 1989, Picaut et Tournier, 1990).

## 2. CREATION ET VALIDATION D'UNE BANQUE DE DONNEES XBT DANS LE PACIFIQUE TROPICAL

### 2.1. Justification

La ligne de navigation Nouvelle Calédonie-Japon a été équipée de lanceurs XBT à partir de juin 1979, au rythme d'un trajet toutes les 2-5 semaines. Les mesures correspondantes ont tout d'abord été limitées à la zone équatoriale située entre 10°S et 10°N. Elles ont été rapidement étendues aux abords de la Nouvelle Calédonie (20°S) et à 15°N puis en septembre 1980 à 30°N. A partir d'août 1980, les lignes Nouvelle Calédonie-Fidji-Hawaii, Nouvelle Calédonie-Fidji-Etats Unis et Polynésie-Panama ont commencé à fournir des données XBT. Finalement le réseau ORSTOM-SIO a été pleinement opérationnel sur toute la bande 20°S-20°N à compter de septembre 1980.

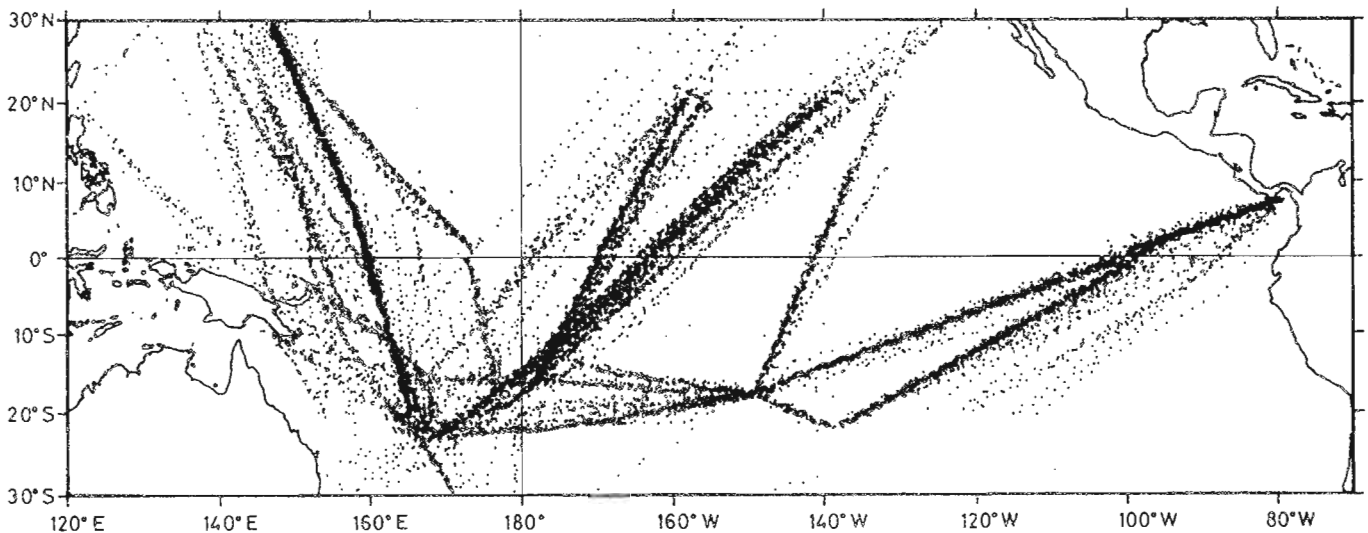


Fig. 1. Distribution dans le Pacifique Tropical des données XBT du réseau ORSTOM-SIO pour la période 1979-85.

Si l'on se réfère à la Figure 1 et sachant que le rail Papeete-Californie a été équipé en XBT à partir de juin 1983, il est bien évident que la construction d'un champ mensuel complet de températures à quatre dimensions (x,y,z,t), par n'importe quelle méthode d'analyse objective que ce soit, ne ferait qu'interpoler ou extrapoler les données des rails moyens du Pacifique Tropical. En se limitant à la construction de champs à trois dimensions le long des trois rails moyens de navigation dans les parties Ouest, Centre et Est du Pacifique Tropical, des problèmes d'interpolation spatio-temporelle demeurent cependant. En effet, l'irrégularité des transports maritimes et de l'approvisionnement en sondes XBT se traduit par des interruptions dans la répartition temporelle du réseau ORSTOM-SIO le long des trois rails moyens (Figure 2a-c) et des trous relativement importants en latitude, principalement sur les extrémités nord et sud des rails. Un premier essai d'interpolation en suivant la méthode utilisée dans le Pacifique Central par Kessler et Taft (1987) [article défini dans la suite du texte par "KT"], a mis en évidence les problèmes posés par l'existence de ces trous spatio-temporels. Un deuxième essai, s'appuyant sur une méthode d'analyse optimum appelée krigeage, a montré que l'erreur sur la détermination des champs mensuels de températures était souvent très importante au voisinage des trous spatio-temporels et de toute manière inacceptable pour des calculs géostrophiques à proximité de l'équateur.

KT ont augmenté quelque peu la densité de données XBT dans le Pacifique Central par l'adjonction de données du National Marine Fisheries Service aux données ORSTOM-SIO. Sachant que d'autres organismes collectent des données XBT dans le Pacifique Tropical, il nous est apparu



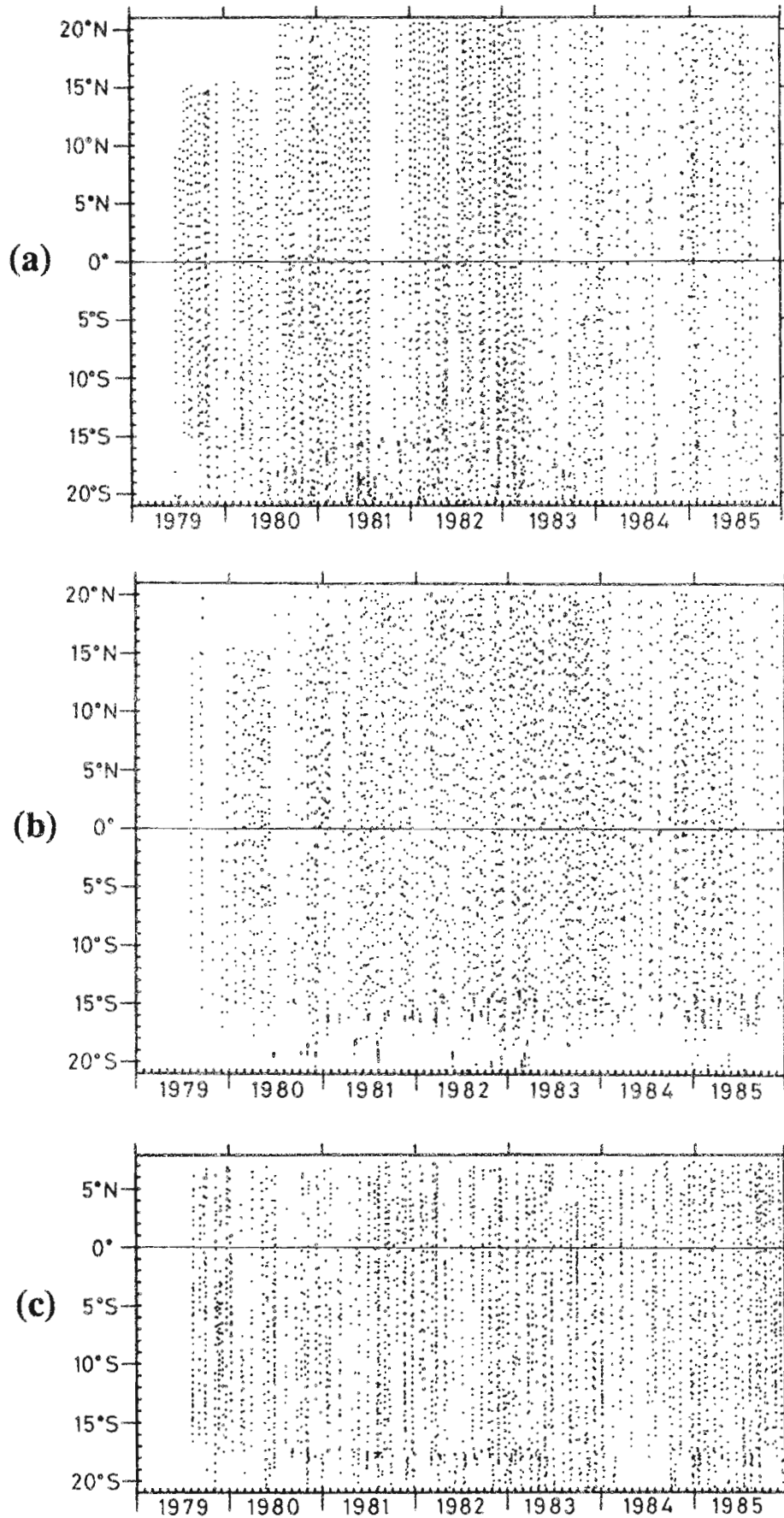


Fig. 2. Répartition en temps et latitude des données XBT du réseau ORSTOM-SIO autour des trois rails moyens de navigation dans le Pacifique Tropical, (a) région Ouest, (b) région Centre, (c) région Est.

indispensable de commencer cette étude par un travail de récupération d'un maximum de données XBT. On a ainsi été amené à créer une véritable banque de données de profils thermiques pour la période 1979-85 sur la zone 120°E-70°W, 21°N-21°S du Pacifique Tropical.

## 2.2. Récupération des données

Les demandes de données XBT ont été faites auprès de différents organismes vers janvier 1986 et la récupération des données a été arrêtée en juin 1986 afin de ne plus changer les tests statistiques. Au total cinq organismes ont envoyé des données sur support magnétique, les propositions de tracés graphiques ayant été rejetées.

- L'Etablissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (EPSHOM) nous a fourni 3340 XBT de 1979 à 1984. Ces données ont été collectées surtout dans les zones maritimes autour de la Nouvelle Calédonie et de la Polynésie Française ainsi que sur les trajets entre ces deux zones et sur quelques transits vers l'Amérique. Ces données se sont avérées être d'excellente qualité.

- Le Japan Oceanographic Data Center (JODC) nous a envoyé, sur la période 1979-83 et au sud du Japon, 3150 XBT dont 850 seulement dans notre zone d'étude.

- Le National Oceanographic Data Center (NODC) des Etats Unis nous a fourni 12280 données XBT dans la bande 20°S-20°N et de 1979 à 1984, cette dernière année fort peu complète.

- La Scripps Institution of Oceanography (SIO), par l'intermédiaire de D.Cutchin, a mis à notre disposition la partie 20°S-20°N du fichier de profils thermiques ayant servi à de nombreux travaux (cf. White et al., 1985). Ce fichier de 23230 profils sur la période 1979-84 comporte les données propres au réseau ORSTOM-SIO mais aussi des données récupérées par le Fleet Numerical Oceanographic Center (FNOC), le Pacific Environmental Group du National Marine Fisheries Service (PEG-NMFS) et l'Integrated Global Ocean Services System (IGOSS). Les données de l'IGOSS viennent pour la plupart de bathy-messages radio. De par leur faible résolution verticale et souvent leur mauvaise qualité, ces dernières données ont été systématiquement écartées lorsque reconnues par nos différents tests de validation.

- Le Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) d'Australie, par l'intermédiaire de G. Meyers, nous a fourni 1342 profils XBT sur de récents rails de navigation dans le Pacifique Sud-Ouest.

- Finalement, et devant la présence de quelques trous encore importants dans les données (début 1979 en particulier), il a été décidé de rajouter à notre fichier 1249 profils de température extraits de la banque de données hydrologiques et sonde CTD du Centre ORSTOM de Nouméa (données des campagnes océanographiques ORSTOM auxquelles ont été rajoutées les données de quelques campagnes de navires océanographiques étrangers).

Ajoutées aux 15683 données originales du réseau ORSTOM-SIO, c'est donc un total de 57974 profils thermiques qu'il a fallu manipuler afin de créer un fichier le plus propre possible sur notre zone d'étude.

## 2.3. Création d'un fichier complet

Il a d'abord fallu déterminer un format commun pour l'échantillonnage de profondeur. Afin de se rapprocher au mieux du format du fichier de base ORSTOM-SIO (espacement en profondeur variant de 3 à 3,7m de profondeur et ce jusqu'au niveau 461 m) une résolution verticale de 5 m sur 460 m de profondeur a été adoptée. Certains profils se limitant aux points caractéristiques, un simple schéma d'interpolation linéaire a été utilisé pour ramener chaque profil à ce format commun.

Sachant, par exemple, que des données de notre fichier de base ORSTOM-SIO pouvaient se retrouver dans d'autres fichiers, il a fallu commencer le traitement par des tests de redondance. Après quelques essais de faisabilité, des tests de 10 mn dans le domaine temporel et de 0,1° dans le domaine spatial (latitude-longitude) ont finalement été adoptés. Chaque fichier a été traité au fur et à mesure de son arrivée à Nouméa, soit entre janvier et mai 1986. Les tests de redondance ont tout d'abord été effectués sur chacun des fichiers considérés (y compris celui de base ORSTOM-SIO) puis au fur et à

mesure de leurs additions sur le fichier de base ainsi complété. La Table 1 résume par année le nombre de profils thermiques ainsi additionnés pour obtenir le fichier final de 45128 profils dont les positions géographiques sont reportées sur la Figure 3.

Année	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	Total
ORSTOM-SIO	792	1902	2545	2998	3051	1847	2548	15683
EPSHOM	816	725	397	281	603	518	0	3340
JODC	360	112	135	95	136	0	0	838
NODC	2376	2665	2092	2875	1749	417	0	12174
SIO	2430	2562	1401	1252	1458	1832	0	10935
CSIRO	0	0	0	0	143	333	433	909
Hydro-CTD	981	48	109	13	0	32	66	1249
Total	7755	8014	6679	7514	7140	4979	3047	45128

TABLE 1. Nombre de profils de température utilisés pour cette étude.

Cette Table 1 montre que le rajout au fichier original ORSTOM-SIO a été vraiment significatif jusqu'en 1983. De 1979 à 1983 le nombre de données a plus que triplé. En comparant les Figures 1 et 3 de répartition spatiale, on constate toutefois que la dispersion géographique des données, par rapport aux rails moyens de navigation, est beaucoup plus marquée dans le fichier final que dans le fichier original ORSTOM-SIO. Mais à l'échelle de un ou deux mois cette dispersion est encore très insuffisante pour espérer créer des champs de températures à quatre dimensions dans tout le Pacifique Tropical. En définitive, les rajouts au fichier original ORSTOM-SIO permettent d'améliorer de manière très significative la résolution spatio-temporelle autour des trois rails moyens de navigation pour créer des champs à trois dimensions (distance le long du rail, profondeur, temps).

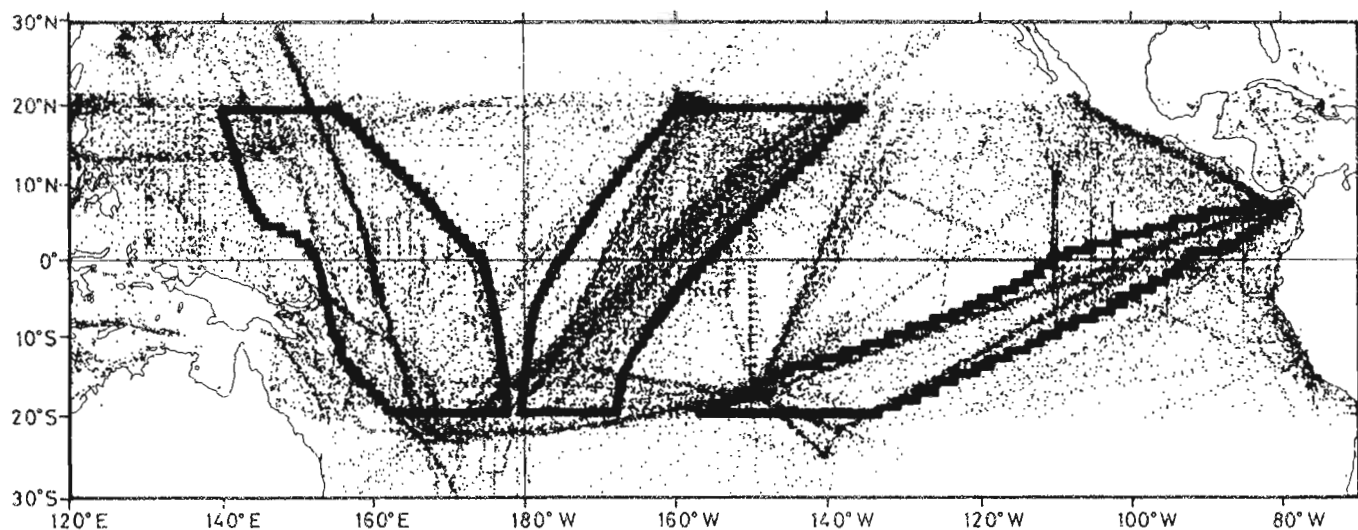


Fig. 3. Distribution dans le Pacifique Tropical des données du fichier complet de profils thermiques pour la période 1979-85. Les zones encadrées correspondent aux régions Ouest, Centre et Est où ont été regroupées les données sur les rails moyens de navigation.

#### 2.4. Validation des profils thermiques

Le fichier complet sur tout le Pacifique Tropical servant aussi à d'autres études (Delcroix et Gautier, 1987; McPhaden et al., 1988a-b; Delcroix et Hénin, 1989; Busalacchi et al., 1990) et en particulier de climatologie de référence pour les nouvelles données XBT acquises par le Centre ORSTOM de Nouméa, nous avons mis au point une première série de tests de validation sur l'ensemble de la zone tropicale 120°E-70°W, 21°N-21°S.

Le premier rejet a consisté à éliminer les données aberrantes, d'un point de vue informatique (données impossible à lire ou comportant des caractères non-numériques) puis d'un point de vue physique (profils ne comportant que quelques points sur la verticale ou en dehors des limites 0-35°C). Au total 0,5% des données ont été ainsi rejetées.

Le deuxième test a permis de rechercher les inversions dans les couches proches de la surface (supérieure à 1°C) et de détecter les températures en dehors des limites plus fines 6-31°C. Ce test, comme la plupart des autres qui ont suivi, est subjectif. En effet il conduit à tracer le profil douteux et, de manière subjective, le profil est accepté, rejeté ou corrigé. Ainsi 0,2% des profils ont été éliminés et 0,4% corrigés.

Le dernier test sur ce type de fichier a consisté en recherche statistique de données douteuses suivi d'acceptation ou de correction ou de rejet subjectif. En se référant à la Figure 3, il est apparu possible de créer un champ statistique à trois dimensions (latitude, longitude, profondeur) en s'affranchissant de la dimension temporelle et en se limitant à la bande 21°S-21°N. Hormis en quelques zones comportant un nombre insuffisant de données, il a été construit un champ de moyennes et écarts types associés par pavés de 5° de longitude et de 2° de latitude sur tous les niveaux de 0 à 460 m de profondeur, toutes dates confondues sur la période 1979-85. Le nombre minimum de données par pavé 5x2 pour pouvoir faire ces calculs statistiques a été choisi égal à cinq. Quand le nombre est inférieur à cinq, une combinaison linéaire fonction de la distance entre les 10 pavés voisins a permis de combler la moyenne et l'écart type du pavé correspondant. Une série de tracés en plan latitude-longitude sur les principaux niveaux de profondeur a tout d'abord permis de détecter les données de températures vraiment aberrantes, ces données apparaissant par une série de cercles concentriques sur le tracé des contours des écarts types. Là encore un tracé des profils correspondants a permis de les corriger subjectivement ou de les éliminer. Au total ce type de correction a porté sur une cinquantaine de profils. Ainsi a été obtenu un champ statistique (moyenne et écart type  $\sigma$ ) propre de l'ensemble des profils thermiques dans la zone 21°S-21°N, 70°W-120°E du Pacifique Tropical. Il est à noter que les zones à écart type significatif correspondent plus à des phénomènes physiques réels (variation saisonnière de courant par ex.) qu'à un bruit dans les données (erreur instrumentale ou variation haute fréquence).

A partir de ce champ statistique un test de détection des valeurs de températures douteuses a été appliqué sur tous les niveaux (de 0 à 460 m, tous les 5 m) des 43245 XBT restants dans la bande 21°S-21°N. Un premier test à  $\pm 4 \sigma$  de la valeur moyenne a été appliqué. Chaque profil ainsi détecté a donné lieu à un graphique comportant le profil douteux, le profil moyen du pavé 5x2 correspondant encadré par deux tracés à  $\pm 1 \sigma$  et le profil de température extrait du fichier climatologique saisonnier de Levitus (1982). Ce dernier profil s'est avéré particulièrement utile pour lever les indéterminations quand le cycle saisonnier est marqué dans les couches de surface ou quand le profil moyen 5x2 en profondeur est inexistant ou peu significatif par manque de données (pour aider à ce test subjectif les nombres de profils ayant servi à construire cette moyenne 5x2, en surface et au maximum de profondeur, ont été inscrits sur chaque graphique). La Figure 4 illustre ce type de graphique qui a amené, de manière subjective, à une correction du profil considéré sur quelques points ou à son rejet complet. Compte tenu de l'importance des variations de la thermocline liées aux saisons et à l'El Niño de 1982-83, et du fait que ces statistiques 5x2 ignorent, par construction, les variations temporelles, ce type de rejet-corrrection a toujours été employé avec le plus grand soin (sachant d'autant plus que d'autres tests de validations allaient être ensuite effectués pour notre étude le long des rails moyens, cf. chapitre 3.4.). Le test à  $\pm 4 \sigma$  ayant été effectué, le champ statistique a été recalculé. Un deuxième test à  $\pm 3,5 \sigma$  a suivi, lui même entièrement répété une deuxième fois. La validation statistique 5x2 a été

terminée par un test à  $\pm 3 \sigma$  qui a dû être répété trois fois pour ne plus détecter de nouveaux rejets-corrrections. Cet ensemble de tests statistiques a conduit à tracer puis à visualiser 5565 graphiques, soit 12,7% des profils.

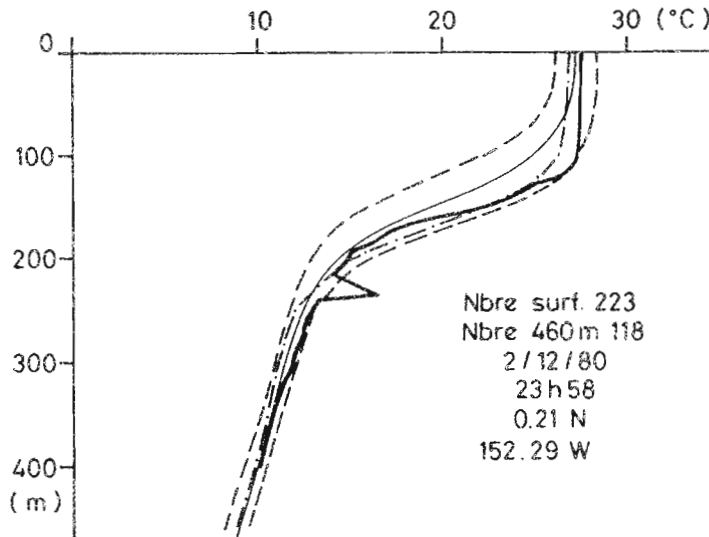


Fig. 4. Exemple de graphique pour corriger ou rejeter les données à la suite du test statistique 5x2. Le trait fort continu correspond au profil thermique considéré, les traits fin et pointillés au profil moyen encadré de  $\pm 1$  écart type de la statistique 5x2, le trait discontinu au profil extrait du fichier climatologique de Levitus pour la zone et la saison considérées. Cet exemple a conduit à corriger l'écart vers 230m de profondeur par une simple interpolation linéaire.

La Table 2 résume, année par année, l'ensemble des tests qui ont servi à valider les profils XBT de notre banque de données. On peut noter le faible nombre de rejets et de corrections dans les deux dernières années. Cela provient, dès mi-1984, du nombre réduit de rajouts au fichier de base ORSTOM-SIO qui avait déjà subi un certain niveau de validation au fur et à mesure de sa création au Centre ORSTOM de Nouméa. Au total 2,5% des profils XBT ont été éliminés et 2,0% corrigés. A ce fichier total de 42579 XBT validés, rappelons le à  $\pm 3 \sigma$  de notre statistique 5x2, il a été rajouté 1249 profils thermiques du fichier ORSTOM-Nouméa de données hydrologiques et de sonde CTD.

Année	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	total
Nombre départ	6711	7938	6550	7494	7085	4928	2981	43687
Rejet aberration	51	49	51	43	12	16	0	222
Inversion Rejet	11	28	7	14	11	22	0	93
bornes Cor.	29	37	39	36	29	14	0	184
Statistique Rejet	121	171	134	200	102	59	6	793
5x2 Cor.	71	133	158	162	111	57	3	695
Total XBT	6528	7690	6358	7237	6960	4831	2975	42579

TABLE 2. Nombre de rejets et corrections sur tous les XBT de la zone 120°E-70°W, 21°N-21°S.

### 3. PREPARATION ET VALIDATION DES DONNEES LE LONG DES TROIS RAILS MOYENS

#### 3.1. Introduction

Dans le chapitre précédent il avait déjà été noté que, malgré le triplement du fichier initial ORSTOM-SIO, la résolution spatio-temporelle de l'ensemble de ces profils thermiques ne permet pas de créer un champ de températures à quatre dimensions (x,y,z,t). White et al. (1985) ont bien construit un tel champ (bimensuel de 1979 à 1982 et par pavé de 10° de longitude et de 2° de latitude dans la zone 20°S-50°N, 80°W-110°E, de 0 à 400 m de profondeur) à partir d'une méthode d'interpolation optimum basée sur des calculs d'échelle de décorrélation moyenne. La partie tropicale de leur Figure 1 de distribution géographique des profils thermiques montre clairement que l'échelle de 1500 km de décorrélation zonale utilisée est très souvent inférieure à la largeur des zones vides ou pauvres en données situées entre les rails de navigation (la route Tahiti-Californie, évidente sur notre Figure 3, n'a été ouverte qu'en juin 1983).

Le but de notre étude est de déterminer, le long des rails moyens de navigation (Figure 3 et 5), des champs à trois dimensions de températures, hauteurs dynamiques et courants géostrophiques aussi précis que possible pour étudier la variabilité de la structure thermique et des courants dans le Pacifique Tropical. La visualisation de l'ensemble des cartes de distributions, similaires aux Figures 3 et 5 mais à l'échelle du mois, l'étude de KT dans le Pacifique Central et une étude de Picaut et al. (1989) sur les dimensions souhaitables pour saisir les courants à l'équateur par la dérivée seconde du champ méridional de pression, suggèrent un pas spatial de 1° de latitude et un pas temporel d'un mois. De plus ces espacements de 1° et d'un mois correspondent à la cadence moyenne de tirs XBT le long des rails de navigation. Malgré l'augmentation notable des données dans notre nouveau fichier des problèmes d'interpolation spatio-temporelle demeurent.

Nous avons décidé de rejeter les méthodes classiques d'interpolation optimum. En effet, elles nécessitent de connaître a priori les statistiques des variations spatio-temporelles et, moyennant ainsi les phénomènes à échelles moyennes, réduisent les informations que l'on pourrait espérer recueillir de ces nombreuses données. Cela peut aussi entraîner un lissage des gradients horizontaux et de ce fait une diminution artificielle des courants géostrophiques. Profitant de l'expérience de KT, nous avons adopté dans un premier temps leur schéma simple d'interpolation et de lissage Laplace-spline qui, n'imposant aucune connaissance statistique préalable des champs, lisse et déforme les données au minimum. Ce type d'interpolation nous a permis de construire un premier champ de températures qui a conduit à valider les profils thermiques selon des critères statistiques dépendant des variations temporelles telles que saison et El Niño (au contraire de la statistique 5x2 précédente). Profitant de l'expérience acquise par la visualisation de milliers de profils thermiques et de nombreux produits intermédiaires en températures, hauteurs dynamiques et courants géostrophiques, nous avons alors établi une méthode d'interpolation dérivée de celle de KT mais plus performante pour les calculs de courant géostrophique dans la bande équatoriale.

#### 3.2. Choix des zones géographiques et regroupement en latitude

Notre étude à trois dimensions a consisté dans un premier temps à ramener le long de rails moyens toutes les données concentrées dans les zones Ouest, Centre et Est du Pacifique Tropical (Figure 3). Dans l'Ouest, la rotation assez fréquente d'un seul navire sur une route directe Nouvelle Calédonie-Japon, de juin 1979 à mars 1983, aurait pu permettre de faire cette étude uniquement sur ce rail. Mais en avril 1983 cette rotation directe a été supprimée et a dû être remplacée dans le réseau ORSTOM-SIO par plusieurs navires irréguliers allant très souvent sur des routes à l'ouest ou à l'est de la route directe (Figure 5). De la même façon que pour le Centre et l'Est du Pacifique Tropical, nous avons donc été contraints à considérer des zones géographiques assez larges autour des rails moyens de navigation. Le choix de ces zones a été déterminé au vue des 84 cartes mensuelles (janvier 1979 - décembre 1985) de répartition géographique des profils thermiques (analogues aux Figures 3 et 5) en englobant si possible un XBT par mois par bande de 1° de latitude centrée aux latitudes exactes. Pour la zone Ouest, nous avons cherché, autant que possible, à éviter l'influence des îles Salomon et de la Papouasie - Nouvelle Guinée. Pour chaque zone, nous avons donc ignoré l'écartement en longitude par

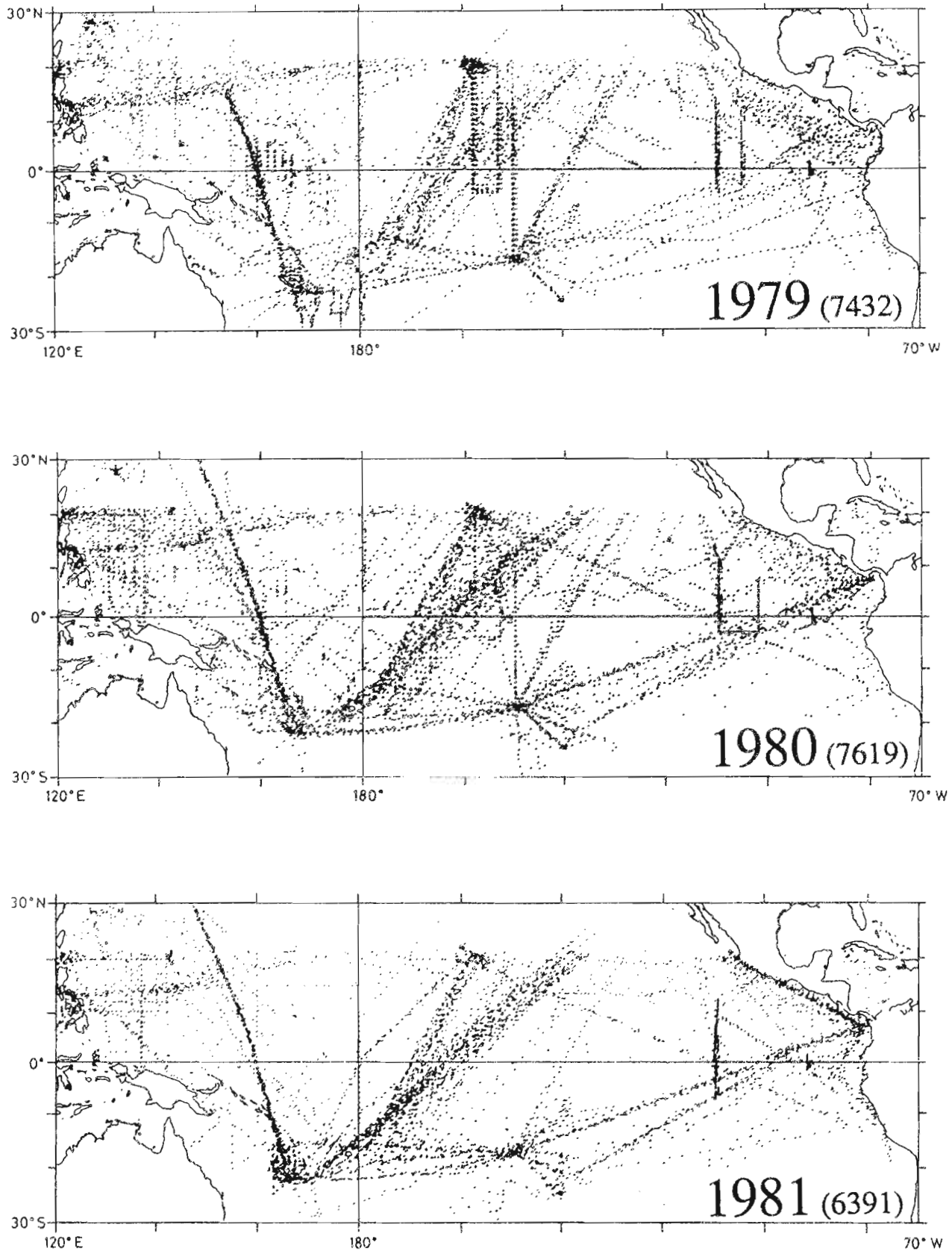
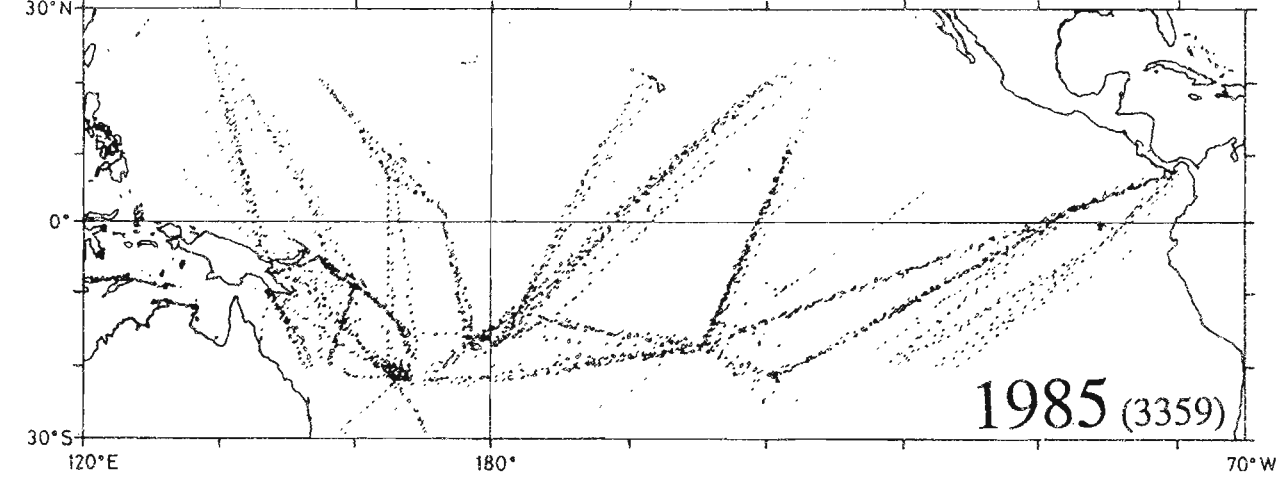
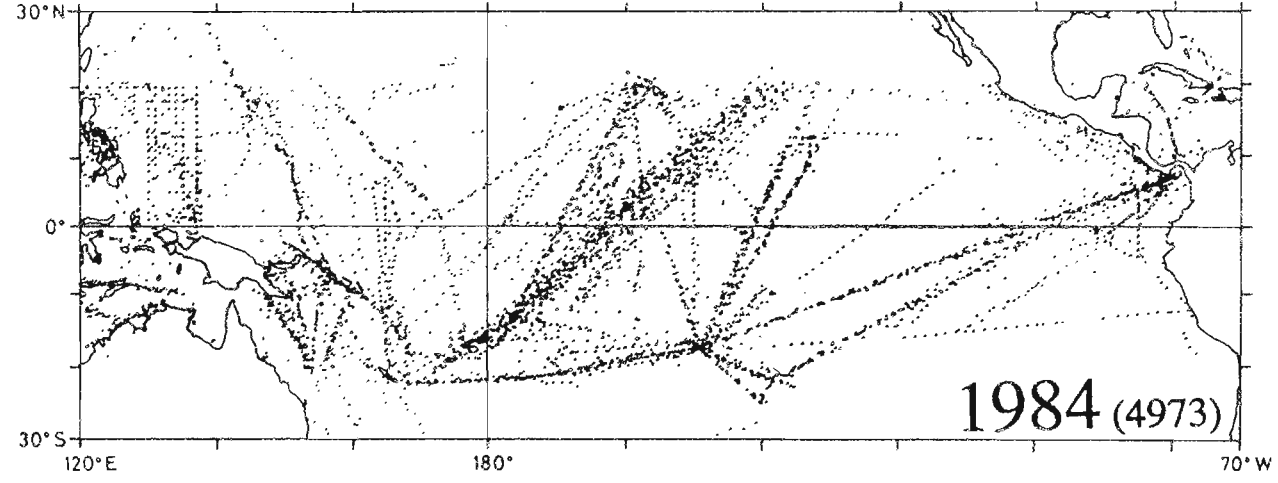
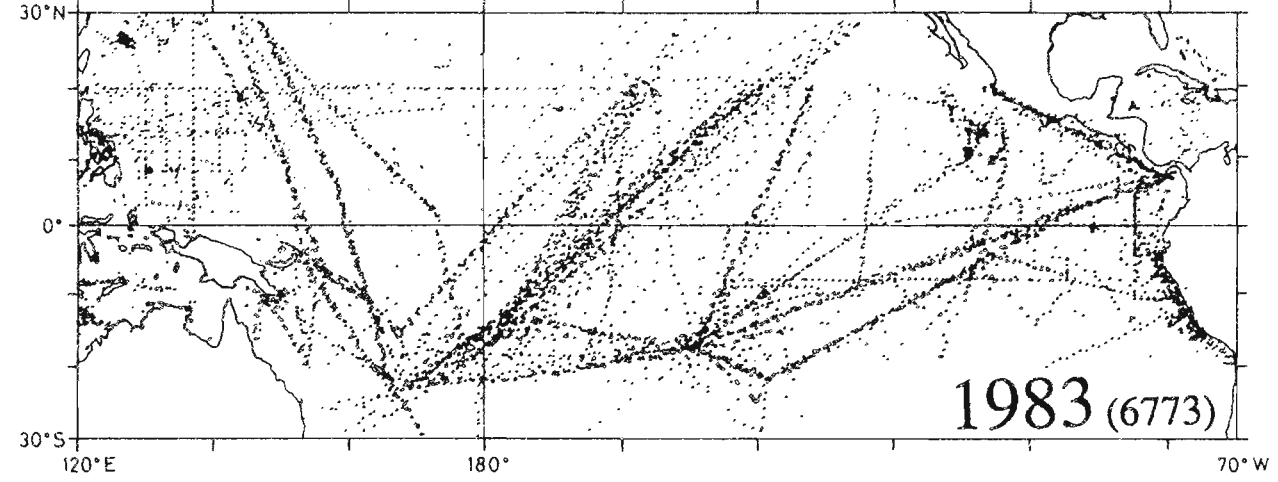
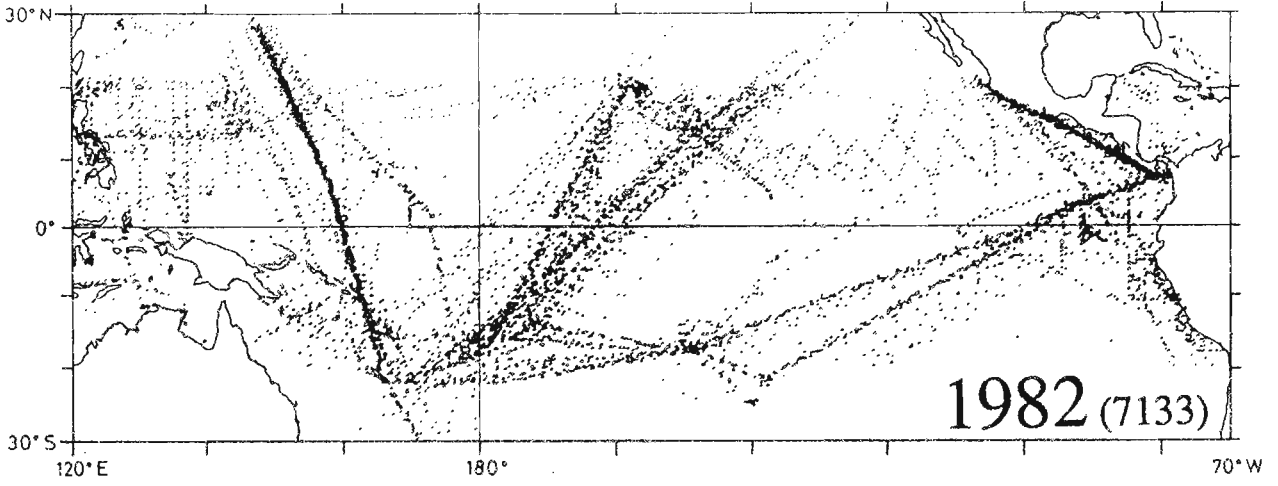


Fig. 5. Distribution dans le Pacifique Tropical des données du fichier complet de profils thermiques année par année de 1979 à 1985. Le nombre entre parenthèses correspond au nombre total de profils thermiques par année.





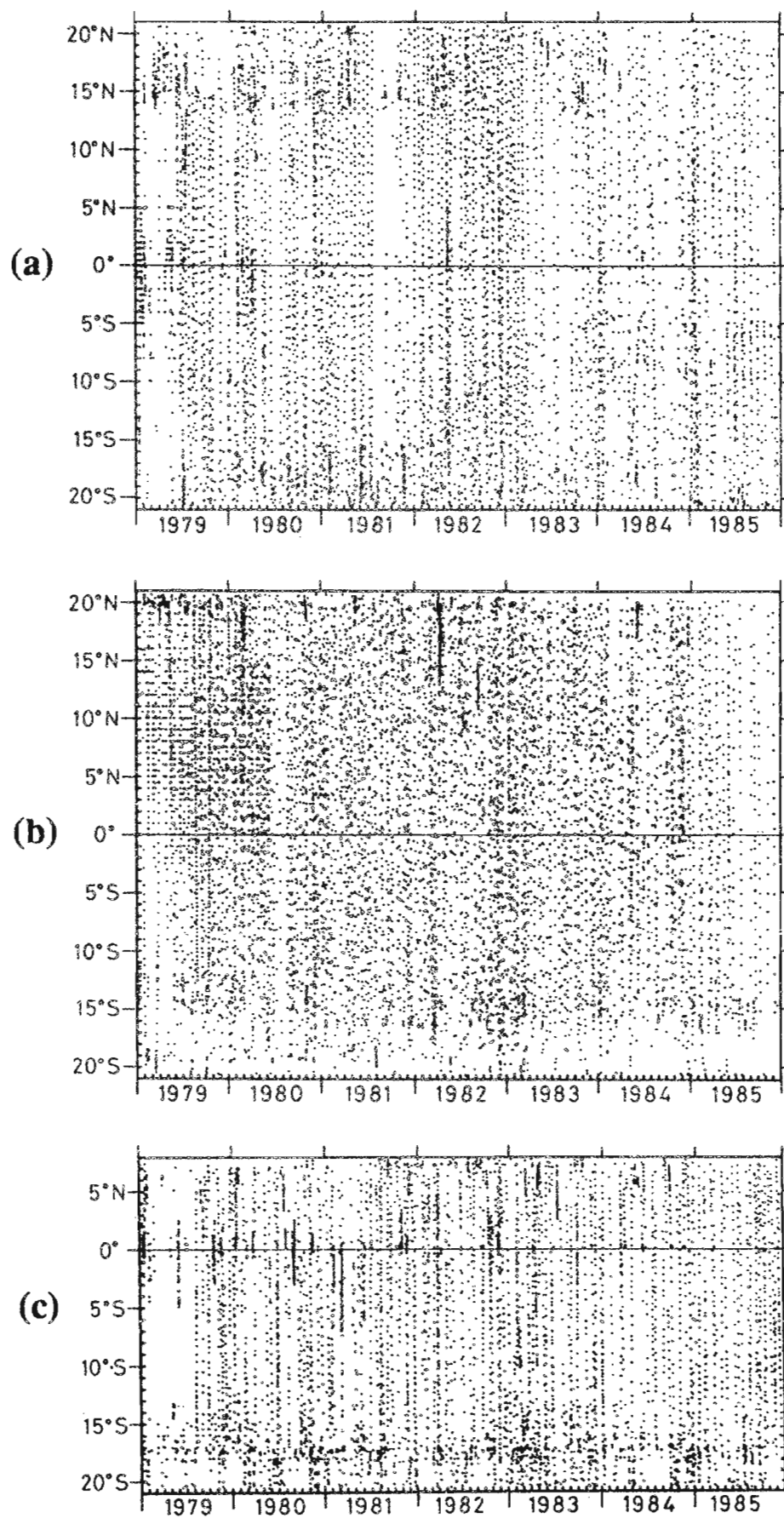


Fig. 6. Répartition en temps et latitude des données du fichier complet de profils thermiques autour des trois rails moyens de navigation, (a) région Ouest, (b) région Centre, (c) région Est.

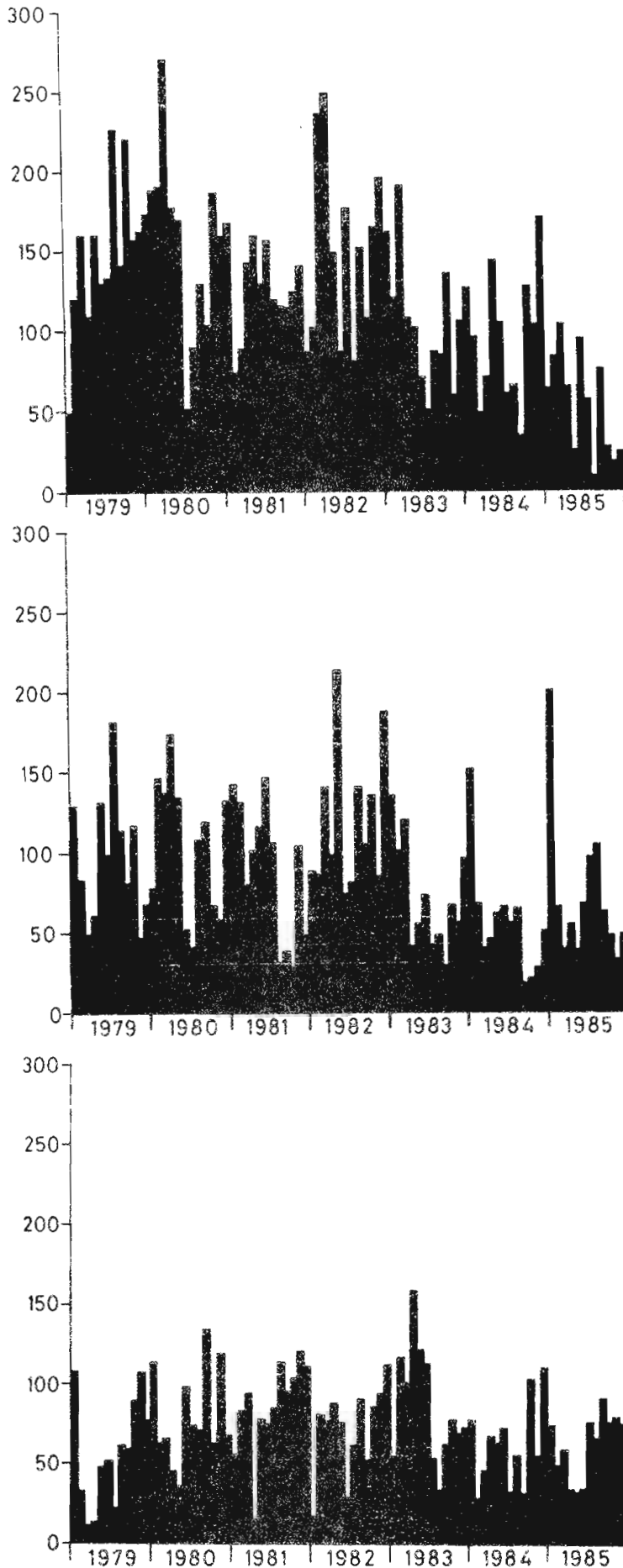


Fig. 7. Répartition mensuelle de 1979 à 1985 du nombre de données du fichier complet de profils thermiques autour des trois rails moyens de navigation, (a) région Ouest, (b) région Centre, (c) région Est.

rapport au rail moyen des profils thermiques situés dans chaque bande de latitude. Nous commettons ainsi des erreurs d'autant plus importantes que la largeur en longitude des bandes de 1° de latitude est grande. Ces erreurs ont été estimées à travers les données d'un modèle linéaire saisonnier forcé par trois jeux différents de vents (McPhaden et al., 1988b). Elles sont de l'ordre de 2 cm dyn sur les champs de surface de hauteur dynamique (équivalent à un déplacement de 10 m de la pycnocline du modèle) et de  $1,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  en transport géostrophique entre 9° et 10° de latitude (équivalent à  $5 \text{ cm s}^{-1}$  sur 200 m de profondeur). Ces ordres de grandeur permettent en général de résoudre sans problème les variations saisonnières et interannuelles dans le modèle. Un problème demeure quand l'écartement des rails aux latitudes extra-équatoriales est trop large pour résoudre les variations saisonnières liées aux passages des ondes de Rossby (zone Centre de 16°N à 20°N et zone Est de 8°S à 14°S). L'utilisation de filtres spatio-temporels réduit en général le bruit haute fréquence apporté à la contraction longitudinale des données mais il ne peut éliminer le problème aux latitudes extra-équatoriales.

### 3.3. Méthode d'interpolation et de lissage préliminaire

Dans le domaine spatio-temporel, défini par le temps et la distance le long d'un rail moyen, il existe encore des trous non négligeables à l'échelle du mois et du degré de latitude (Figures 6 et 7). Si les rajouts au réseau ORSTOM-SIO ont assez bien rempli le trou dû à l'absence de données de janvier à juillet 1979 dans la zone Centre, cela est moins net de janvier à mai 1979 pour la zone Ouest et encore moins de janvier à juillet 1979 pour la zone Est. D'une manière générale les trous temporels sur les bords en latitude n'ont pas toujours été bien comblés. De plus, il existe toujours un trou important dans la zone Ouest de août à septembre 1981, dû à un défaut d'approvisionnement en XBT.

En profondeur, le niveau maximum théorique atteint par le type d'XBT utilisé est de l'ordre de 500 m. Des difficultés liées à la qualité, l'ancienneté et les conditions de lancement des XBT, font que cette profondeur est rarement atteinte. Ainsi pour le réseau ORSTOM-SIO le maximum de profondeur stocké sur disquette, à bord des navires, a été fixé à 461 m. Pour notre format commun nous avons ainsi adopté la profondeur maximum de 460 m. La Figure 8 montre que cette profondeur n'est en fait atteinte que par 47% des tirs. KT, pour leur étude similaire dans le Pacifique Central, ont adopté le niveau de référence 450 m. Sachant que 62% des tirs atteignent ce niveau et devant les dangers d'extrapolations incontrôlables en profondeur, nous avons préféré limiter notre étude au niveau 400 m atteint par 76% des tirs.

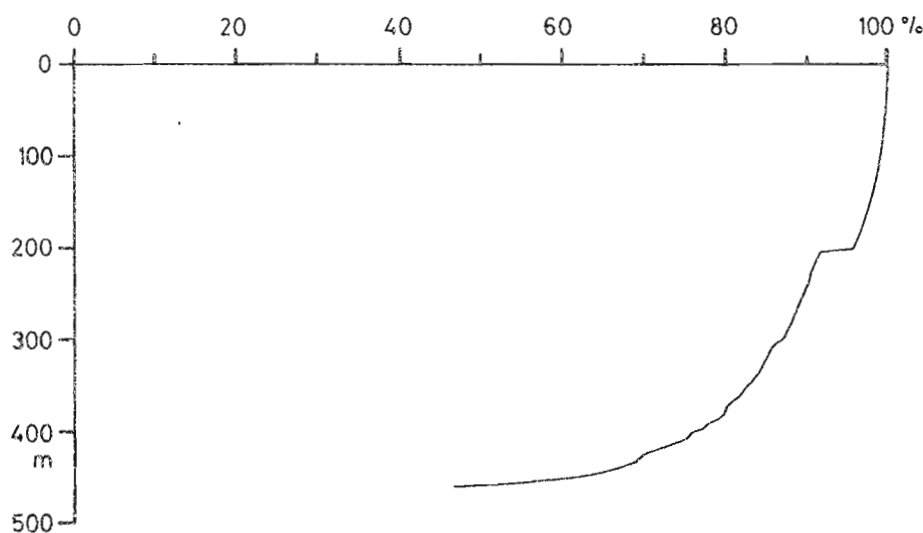


Fig. 8. Distribution statistique du maximum de profondeur atteint par les XBT du fichier complet.

La première technique d'interpolation objective est similaire à celle de KT. Elle consiste tout d'abord à grouper tous les profils thermiques par bandes de latitude centrées aux latitudes rondes (41 bandes de 20°30'S à 20°30'N pour les zones Ouest et Centre, 28 bandes pour la zone Est limitée au nord à 7°30'N). Dans chacune des bandes, nous avons réparti les données de température sur une grille temps-profondeur correspondant à chaque quinzaine et à 5 m sur la verticale. Les données manquantes au point de grille ont été interpolées et lissées par Laplace-spline. Le champ global à trois dimensions (latitude, profondeur, temps) a été obtenu en appliquant un filtre 1/4, 1/2, 1/4 en latitude afin de réduire le bruit entre chacune des bandes de latitude.

Contrairement à KT qui ont considéré les moyennes des profils thermiques par mois, nous avons préféré considérer, au niveau de l'interpolation, des moyennes par quinzaine. Notre plus grand nombre de profils thermiques nous permet de considérer cette échelle temporelle inférieure à celle utilisée par KT, diminuant ainsi l'erreur temporelle apportée par des profils thermiques situés à la jonction entre deux mois. A l'échelle des quinze jours, nous avons réduit ce même problème en considérant des moyennes sur des quinze jours se chevauchant de  $\pm 5\%$  sur les bords et centrées sur le début et le milieu des mois. Ce type de recouvrement a d'ailleurs été appliqué sur chacune des bandes de latitude dont la largeur a été fixée à 1,1°, sachant d'autant plus que les profils thermiques récupérés à partir de navires océanographiques sont souvent situés aux latitudes rondes.

La méthode d'interpolation Laplace-spline considérée, peut conduire à des extrapolations aberrantes lorsque des trous importants existent près des frontières de notre domaine d'étude. Chaque bande de latitude étant tout d'abord traitée séparément, ce problème se rencontre dans le domaine temporel au début de 1979 avant l'implantation du réseau XBT ORSTOM-SIO en juin 1979 (Figure 6). Lorsqu'à l'approche des limites janvier 1979 et décembre 1985, les trous dépassent quatre mois, nous avons alors préféré imposer à la quinzaine de départ ou de fin une valeur correspondant à une moyenne climatologique déduite de notre fichier complet. Dans le domaine des profondeurs, le fait de moyenniser assez souvent plusieurs profils thermiques entre eux, revient à augmenter sensiblement le nombre de 76% de profils individuels atteignant seulement 400 m (Figure 8). Pour éviter que les tirs, ne dépassant pas la thermocline, introduisent des distorsions brutales dans les profils définitifs, nous avons éliminé tous les tirs inférieurs à 150 m, soit 2% du total des profils. Pour les moyennes résultantes n'atteignant pas 400 m, et bien qu'une majorité puissent être comblée correctement par la partie spline de l'interpolation temporelle, il existe des cas d'extrapolations dangereuses. Les profils correspondants aux moyennes n'atteignant pas 400 m ont donc fait l'objet d'une attention particulière parmi tous les tests de validation présentés maintenant.

#### 3.4. Tests de validation

Le premier test a consisté à visualiser les 110 graphiques temps-profondeur correspondant à chacune des bandes de latitude (41 pour la zone Ouest, 41 pour le Centre et 28 pour l'Est). Le filtrage de Laplace en temps-profondeur et le filtrage 1/4-1/2-1/4 en latitude ont été supprimés. Sur chacun de ces graphiques, le contour des isothermes, passant exactement sur les valeurs issues des moyennes par quinzaine, permet de déterminer subjectivement les moyennes douteuses. Les tracés des profils thermiques correspondants ont permis, selon le schéma de la Figure 4, de corriger ou d'éliminer certains profils. Sachant l'importance des erreurs pour les calculs géostrophiques à l'approche de l'équateur, un soin particulier a été apporté à la visualisation des bandes de latitude des zones Ouest et Centre situées entre 5°S et 5°N.

Dans le précédent test statistique 5x2 utilisé sur le fichier complet à l'échelle de tout le Pacifique Tropical, il avait été décidé que chaque profil s'écartant trop d'une moyenne géographique, indépendante du temps, devait être vérifié subjectivement. Ce type de test ignorant les variations temporelles, les moyennes et écart-type associés peuvent être largement biaisés par le mélange entre les saisons et les variations interannuelles de type El Niño 1982-83. Pour le traitement le long des rails moyens, il apparaît donc nécessaire d'affiner ce test statistique en recherchant sur chaque quinzaine tous les profils thermiques, correspondant à cette même quinzaine, s'écartant trop d'un produit dit intermédiaire. Ce produit "intermédiaire", complet sur toutes les quinze jours, a été fourni par la première méthode d'interpolation à trois dimensions (Laplace-spline en temps-profondeur, 1/4-1/2-1/4 en

latitude) poussée à trois filtrages de Laplace. Chaque bande de latitude a alors été traitée séparément. Sur chacun des 81 niveaux de profondeur (0-400 m) et pour chacune des 169 quinzaines (janvier 1979 - décembre 1985), nous avons considéré l'écart entre la température des profils thermiques ayant servi à l'élaboration de la moyenne pour la quinzaine considérée et la température correspondante du produit "intermédiaire" (même position, quinzaine et niveau). Sachant que ce produit est fortement lissé dans le temps et l'espace, un écart trop important peut donc être considéré comme un moyen pour détecter les profils douteux. Toujours sur un niveau de profondeur considéré, la moyenne temporelle de tous ces écarts sur la période 1979-85, c'est à dire sur les 169 quinzaines, permet d'avoir un certain écart-type  $\sigma$ . Il est à noter que la moyenne de ces écarts n'est pas toujours égale à zéro de part les effets des filtrages en latitude et en profondeur. C'est donc à partir de cette statistique que l'on va détecter les profils douteux devant être visualisés. Le graphique correspondant (Figure 9) va comporter le profil en question, le profil moyen de la quinzaine associée (avec le nombre de profils ayant servis à cette moyenne) encadré de  $\pm 1 \sigma$  et le profil saisonnier de la climatologie de Levitus (très bon indicateur pour les profils n'atteignant pas 400 m). Pour avoir une idée de la moyenne et de la variabilité à plus grande échelle, le graphique statistique 5x2 a été rajouté. Muni de toutes ces informations il ne reste plus qu'à procéder subjectivement à l'acceptation du profil considéré ou à sa correction ou à son rejet. L'exemple de la Figure 9 illustre bien le danger de la statistique 5x2 figée dans le temps avec un profil apparemment douteux qui pourtant s'insère très bien dans la limite des variations du test fonction du temps. En effet ce profil a enregistré une variation interannuelle importante due à l'El Niño de 1982-83. Ce test statistique a néanmoins mis en évidence la nécessité de couper le profil à partir de 300 m de profondeur.

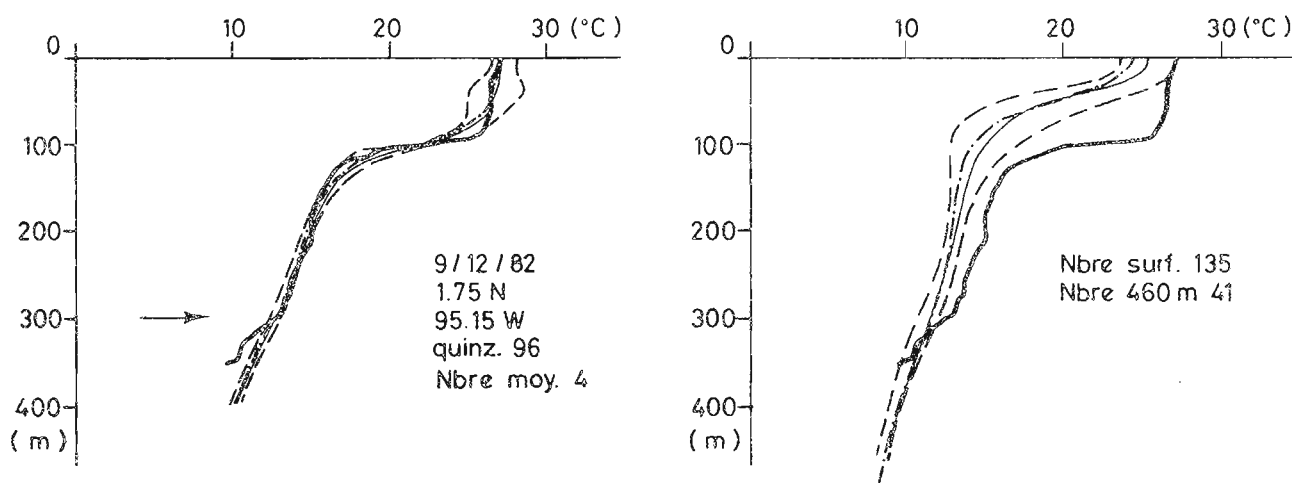


Fig. 9. Exemple de graphique pour corriger ou rejeter les données à la suite du test statistique en fonction du temps et par bande de 1° de latitude. A gauche est représenté le graphique issu de cette statistique : le trait fort correspond au profil considéré, les traits fin et pointillés à la moyenne de la quinzaine correspondante encadrée d'un écart type du test statistique, le trait discontinu au profil extrait du fichier climatologique de Levitus pour la zone et la saison considérées. A droite le graphique issu de la statistique 5x2 a été systématiquement rajouté pour complément d'informations (cf. légende Figure 4).

Les trois zones géographiques et toutes les bandes de latitude ont été traitées de la même manière. Nous avons tout d'abord considéré le seuil de  $5 \sigma$ . Après rejets-corrrections le produit intermédiaire a été calculé à nouveau selon le même schéma d'interpolation à trois dimensions ce qui a amené à redéfinir une nouvelle statistique des écarts des profils individuels par rapport à ce nouveau produit intermédiaire. Un nouveau seuil de  $4 \sigma$  a amené de nouveaux rejets-corrrections et, sur l'ensemble des trois zones géographiques (Ouest, Centre et Est Pacifique), ce type de validation subjective a été arrêté après deux passages complets à  $3,5 \sigma$  (vu que le nombre de rejets-corrrections est divisé par un facteur dix à chaque passage). Sur le total des 31375 profils des trois zones (en fait 23215 si l'on retire les recouvrements en latitude et en temps), 7,1% des profils ont été visualisés, 1,7% rejetés et 1,5% corrigés. La précision de ce test statistique a permis une intervention plus sévère sur la validation des profils comparée au précédent test statistique 5x2, ce qui explique le plus grand nombre de rejets que de corrections.

Pour la zone très proche de l'équateur (2°S-2°N), nous avons voulu réduire au maximum les erreurs afin de calculer les courants géostrophiques. Nous avons donc validé les profils s'écartant de  $3\sigma$  de la moyenne. De plus, sachant que les moyennes de quinzaines ne comportant qu'un ou deux profils sont moins fiables et ont autant d'importance dans cette première méthode d'interpolation que les moyennes faites sur de nombreux profils, nous avons tracé, selon le schéma de la Figure 9 et sur la bande 2°S-2°N, tous les profils de ce type. Sur ces 4790 profils des trois zones et de ces cinq bandes de latitude, 20,5 % ont été visualisés, 1,9 % supprimés et 4,7 % corrigés.

Malgré tous ces tests, des problèmes demeurent qui peuvent entraîner des erreurs non négligeables dans les produits définitifs. Des inversions physiques existent bien à l'approche de la surface mais il arrive que les conditions de lancement des XBT entraînent des inversions artificielles difficilement acceptables. Tous les profils ayant des inversions, dans la couche 0-100 m, supérieures à 0,6°C et avec un gradient supérieur à 0,03°C/m ont donc été visualisés.

A l'opposé le test suivant a consisté à chercher, à l'approche de notre limite de 400 m de profondeur, les inversions et décalages brutaux dus à des moyennes effectuées à partir de profils quelque peu décalés et n'atteignant pas les mêmes profondeurs. Ce test a donc été effectué sur le profil moyenné par quinzaine (donc avec au moins 2 profils) et selon des critères dictés par les gradients thermiques représentés sur les trois coupes moyennes 1979-85, 20°S-20°N (8°N zone Est), 0-400 m (cf. pp. 34, 44, 54). Ces coupes ont permis de déterminer par bandes groupées de latitude, une profondeur et un gradient minima pour détecter les inversions ou décalages douteux en profondeur (par exemple sur la zone Est, profondeur allant d'un minimum de 160 m sur la partie nord de la zone à un maximum de 310 m entre 14°S et 17°S et pour un gradient commun de 0,13°C/m). Tous les profils individuels correspondants aux moyennes par quinzaine ainsi classées douteuses, ont été visualisés toujours selon le schéma de la Figure 9. De nombreux profils ont dû être corrigés et il est apparu préférable d'en prolonger subjectivement certains jusqu'au fond plutôt que de risquer d'entraîner un décalage brutal au milieu d'un profil définitif.

Les profils entrant de manière unique dans la définition d'une quinzaine n'ont pas été testés lors de cette dernière procédure statistique. Et pourtant si de tels profils n'atteignent pas 400 m, leur extrapolation en profondeur, via l'interpolation à trois dimensions, peut quelquefois aboutir à un produit final erroné à l'approche des 400 m. Nous avons donc repris la statistique précédente "écart par rapport à la moyenne par quinzaine" pour détecter, sur les cinquante derniers mètres de ces profils uniques, les variations trop importantes. Le seuil de  $1,25\sigma$  a été adopté ce qui a conduit à des corrections dont une partie a consisté à prolonger de manière subjective les profils jusqu'à 400 m. Finalement tous ces tests d'inversions de surface et de gradients anormaux en profondeur ont conduit à visualiser 3,2% des profils, à en rejeter 0,2% et en corriger 1,6%.

Les tracés des coupes en latitude-profondeur mois par mois, des profondeurs de certaines isothermes, de hauteurs dynamiques et courants géostrophiques par rapport à 400 dbar sur plusieurs niveaux ont mis en évidence encore quelques défauts dans les produits interpolés. Cela a donc conduit à une dernière série de visualisation de profils suivie de quelques rejets et d'une cinquantaine de corrections.

La Table 3 résume l'ensemble des tests propre à notre étude sur les trois zones Ouest, Centre et Est du Pacifique Tropical. Sur le total de 31375 profils, 16,6% ont été visualisés, 5,3% corrigés et 4,5% rejetés (en incluant les 2% de profils n'atteignant pas 150 m). Ces pourcentages ne sont pas exactement représentatifs du nombre de profils douteux car un même profil a pu être détecté successivement par plusieurs de ces tests.

En rajoutant la première validation du fichier complet à l'échelle du Pacifique Tropical, nous avons donc été amenés au total à tracer 10774 profils thermiques selon les schémas des Figures 4 et 9, à en corriger 2552 et à en rejeter 2506. Cet énorme effort de rejets et corrections fait, rappelons le, de manière toujours subjective, garantit la qualité des profils thermiques qui vont être utilisés dans la méthode finale d'interpolation (et tout particulièrement de ceux autour de l'équateur).

Zones		Ouest	Centre	Est	total
Nombre de profils au départ		9761	13305	8309	31375
Vérif. tracé bande	Visualisation	450	375	180	1005
	Correction	195	174	103	472
	Rejet	38	42	13	93
Test > 5 $\sigma$	Visualisation	76	142	96	314
	Correction	2	14	2	18
	Rejet	51	107	71	229
Test > 4 $\sigma$	Visualisation	171	320	203	694
	Correction	39	74	33	146
	Rejet	87	57	13	157
Test > 3,5 $\sigma$	Visualisation	298	583	345	1226
	Correction	100	141	58	299
	Rejet	47	72	38	157
Bandes équator. test > 3 $\sigma$ + tracé moy. 1-2	Visualisation	240	430	311	981
	Correction	75	96	56	227
	Rejet	35	49	9	93
Invers. + gradient	Visualisation	380	367	178	925
	Correction	184	194	82	460
	Rejet	19	35	6	60
Vérification par tracés produits élaborés	Visualisation	24	30	10	64
	Correction	19	25	7	51
	Rejet	1	5	1	7
Total	Visualisation	1639	2247	1323	5209
	Correction	614	718	341	1673
	Rejet	278	367	151	796

TABLE 3. Nombre de tracés, rejets et corrections sur les 3 zones.

### 3.5. Interpolation finale par moindres carrés

La méthode d'interpolation et de lissage précédente, utilisée aussi par KT dans le Pacifique Central, à l'avantage d'une relative simplicité du fait de l'usage des fonctions spline et de Laplace en temps-profondeur et du filtre 1/4-1/2-1/4 en latitude. Sa mise en oeuvre, facilement réalisable à l'époque de ces tests (1986-87) sur le mini ordinateur HP1000 du Centre ORSTOM de Nouméa, est aussi un avantage vu l'utilisation intensive de cet ordinateur lors des tests statistiques itératifs précédents (depuis, cet HP1000 a été remplacé au Centre ORSTOM de Nouméa par une douzaine de stations de travail SUN en réseau). L'inconvénient majeur de cette technique d'interpolation est qu'elle ne tient pas compte du nombre de profils qui ont servi à construire les moyennes par quinzaines. Par exemple, une moyenne faite avec un seul XBT a le même poids qu'une moyenne faite avec une dizaine d'XBT. Un autre problème réside aussi dans le choix du filtre 1/4-1/2-1/4 en latitude. Lors du calcul de dérivée seconde pour obtenir le courant géostrophique à l'équateur (Jerlov, 1953), le calcul par différences finies sur trois points (1°N, Equateur, 1°S) combiné au filtrage méridien 1/4, 1/2, 1/4 conduit à ignorer les valeurs initiales à 1°N et 1°S et à ne tenir compte en fait que des valeurs initiales à 2°N et 2°S. Le courant géostrophique à l'équateur s'en trouve ainsi artificiellement réduit (Picaut et al., 1989).

Les calculs géostrophiques autour de l'équateur nécessitant une très grande précision, il apparaît cependant nécessaire de filtrer les données dans le domaine spatio-temporel pour réduire le bruit au maximum. La fonction de Laplace utilisée précédemment lisse bien les données dans le sens profondeur-temps mais de manière difficilement contrôlable. Cette nécessité de lissage spatio-temporel nous a amené à utiliser une technique spécifique de filtre de Fourier. Les contraintes liées au nombre de profils par quinzaine ont été résolues par une technique d'interpolation par recombinaison en série de Fourier par moindres carrés pondérés par le nombre de profils. Bien que ces deux techniques d'interpolation et de lissage reposent sur le même principe de la recombinaison en série de Fourier, les calculs par moindres carrés excessivement long sur le HP1000 nous ont contraint à séparer la partie interpolation de la partie filtrage. Bien évidemment il n'a pas été question avec le HP1000 d'affiner les précédents tests itératifs de validation statistiques des profils thermiques à partir de produits issus des dernières techniques d'interpolation et de filtrage.

De part l'importance des oscillations saisonnières dans les structures thermiques de surface et de subsurface, la méthode de recombinaison en série de Fourier par moindres carrés a été choisie pour construire des champs mensuels de températures. Sur chacune des trois zones géographiques et chacune des 41 bandes de 1° de latitude (28 pour la zone Est), les 81 niveaux de profondeur de 0 à 400 m ont été traités de manière identique. Pour un niveau donné et sur la période 1979-85, nous disposons donc d'une série de moyennes de températures au plus égal à 169 quinzaines. Sur cette série nous avons appliqué une routine de calcul qui permet de calculer les coefficients de Fourier par moindres carrés pondérés par le nombre de profils ayant servis aux moyennes par quinzaine. Un désavantage de la transformation en série de Fourier est le phénomène de "Gibbs" (Bloomfield, 1976) qui donne lieu à des oscillations parasites dans la série reconstituée. Les oscillations sont plus prononcées aux bords de la série, de part la discontinuité entre le début (1er janvier 1979) et la fin de la série (31 décembre 1985). Nous avons sérieusement réduit ce problème de la façon suivante (Figure 10). Au début (fin) de la série considérée nous avons rajouté les premiers (derniers) quatre mois du cycle saisonnier moyen de la série (année moyenne sur les sept années 1979-85). La jonction entre ce rajout et la première quinzaine centrée au 1er janvier 1979 (dernière quinzaine centrée au 31 décembre 1985) a été faite par une simple interpolation linéaire pour éviter une éventuelle transition brutale. Ainsi nous avons pu décomposer par une méthode de Fourier par moindres carrés pondérés une série de 193 quinzaines commençant et finissant par des valeurs identiques, satisfaisant ainsi aux conditions d'utilisation de la méthode de Fourier. Les valeurs initiales de températures moyennes correspondant à chaque quinzaine ont été pondérées par le nombre de profils ayant servis à établir ces moyennes. Afin d'obtenir comme produit final des valeurs représentatives de moyennes mensuelles, nous avons reconstitué la série ainsi complétée sur 48 harmoniques.

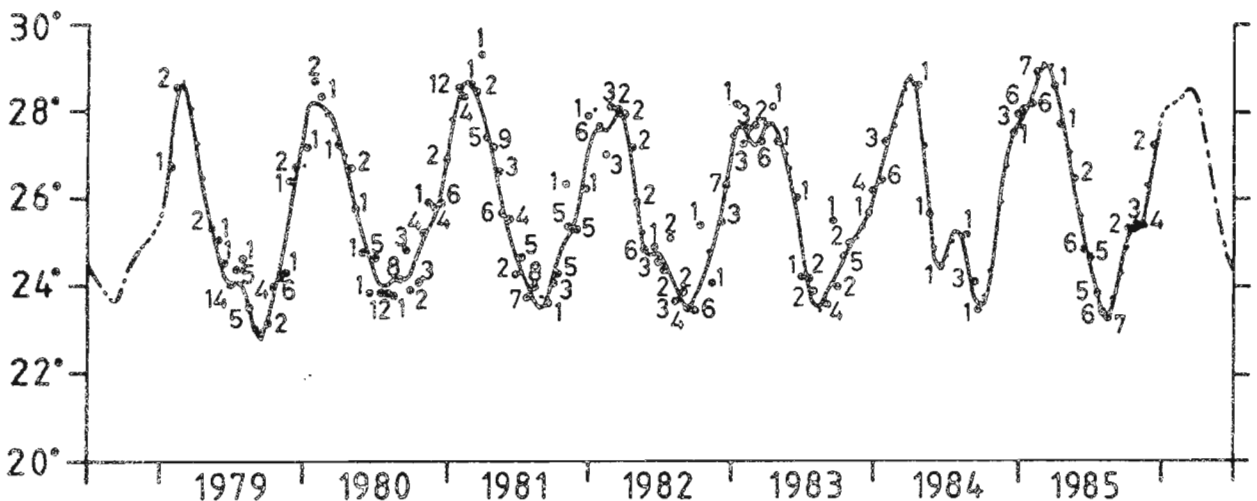


Fig. 10. Exemple de série de températures reconstituée par moindres carrés pondérés par le nombre d'observations : le trait plein correspond à la série reconstituée sur la période janvier 1979 - décembre 1985, le trait discontinu au rajout des quatre premiers et derniers mois du cycle saisonnier moyen en début et fin de la série et le trait pointillé au raccord entre ces portions de cycle saisonnier et la série 1979-1985, les gros points aux moyennes des profils par quinzaine (avec le nombre de profils en superposé servant à la pondération) et les petits points aux rajouts en absence de profil pondéré du coefficient un quart.



Dans la série initiale de 193 quinzaines, il peut se produire des trous de deux mois ou plus dus à une succession de quinzaines sans profil thermique. Dans ce cas la recombinaison sur 48 harmoniques (période de Nyquist de deux mois) peut entraîner des oscillations hautes fréquences parasites. Nous avons résolu ce problème en rajoutant à la place des quinzaines sans profil thermique des valeurs de température issues du dernier produit des statistiques précédentes (interpolation Laplace-spline + filtrage méridional 1/4, 1/2, 1/4). Après plusieurs tests il a été décidé de pondérer les valeurs ainsi rajoutées d'un coefficient de pondération de 1/4 afin de réduire leur importance dans l'interpolation par moindres carrés pondérés par le nombre de profils réels ayant servis dans les moyennes par quinzaine. De la même façon les rajouts en température de l'année moyenne sur les bords extrêmes de la série ont été pondérés du coefficient 1/4. La Figure 10 illustre bien le principe et l'intérêt de cette technique de recombinaison en série de Fourier par moindres carrés pondérés. Cette technique d'interpolation et de filtrage au premier ordre (période de Nyquist de deux mois) a permis d'obtenir sur chacune des trois zones géographiques, sur chacune des 41 (ou 28) bandes de latitude et sur chacun des 41 niveaux de profondeur une série complète de températures mensuelles sur 8 années (janvier 1979 - décembre 1985 + l'année moyenne sur les bords).

En utilisant les relations T-S déduites du fichier climatologique de Levitus (1982), le fichier correspondant à ces séries complètes mensuelles de températures a permis d'obtenir un fichier similaire de hauteurs dynamiques par rapport à la référence 400 dbar. Une méthode particulière a été développée pour déterminer à partir de ce fichier des champs bimensuels de courants géostrophiques zonaux le long des rails Ouest et Centre sensiblement orientés nord-sud. Cette méthode consiste à l'adjonction de filtres complémentaires par recombinaison en série de Fourier en latitude et en temps (pour réduire au maximum le bruit résiduel néfaste au calcul géostrophique à proximité de l'équateur) et au rajout d'un facteur de correction pour assurer, dans la bande équatoriale, la continuité entre les courants géostrophiques déduits des dérivées première et seconde des champs de hauteurs dynamiques. Cette méthode a été validée par une comparaison entre les transports des courants équatoriaux géostrophiques et des courants observés dans le Pacifique Central durant les expériences "Hawaii-Tahiti Shuttle Experiment" en 1979-80 (Wyrtki et al., 1981) et "Line Island Profiling Project" en 1982-83 (Firing, 1987). Cette méthode et sa validation ayant fait l'objet d'une publication détaillée dans "Journal of Geophysical Research" (Picaut et Tourmier, 1991), elle n'est donc pas présentée dans le présent rapport. Pour uniformiser l'ensemble des produits de températures, hauteurs dynamiques et courants géostrophiques présentés dans la suite de cet atlas, les mêmes filtres en latitude et en temps définis dans cette méthode ont été appliqués à tous ces produits.

Pour conclure la partie technique de cet atlas, l'organigramme suivant est présenté en résumé de l'ensemble des opérations qui ont abouti à la construction de ces champs de températures, hauteurs dynamiques et courants géostrophiques à partir essentiellement de mesures XBT le long de rails de navigation dans le Pacifique Tropical.

#### 4. PRESENTATION DES SERIES DE CARTES LE LONG DES RAILS MOYENS

##### 4.1. Températures en fonction du temps et de la profondeur (pp. 23-30)

Les tracés sont limités aux bandes de 1° de latitude espacées de 5° entre 20°S et 20°N (7°N pour le rail Est). L'El Niño de 1982-83 se traduit, dans le Pacifique Ouest et Centre, par un relèvement des structures thermiques maximum autour de 5°S, et dans le Pacifique Est par une remontée de ces structures autour de l'équateur.

##### 4.2. Températures de surface en fonction de la latitude et du temps (p. 31)

L'El Niño se traduit par un faible refroidissement dans le Pacifique Ouest, un faible réchauffement suivi d'un faible refroidissement dans le Pacifique Central et surtout par un fort réchauffement dans le Pacifique Est.

#### 4.3. Exemple de salinités reconstituées à partir des relations T-S (p. 32)

Le fichier climatologique de Levitus (1982) a été utilisé pour déterminer les relations T-S. Celles-ci sont donc figées dans le domaine spatio-temporel et l'existence de fronts halins, se déplaçant autour de l'équateur dans l'Ouest et le Centre et autour de 10°S dans l'Est, se traduit donc par une erreur supplémentaire dans la reconstitution des salinités.

#### 4.4. Hauteurs dynamiques 0/400 dbar en fonction du temps et de la latitude (p. 33)

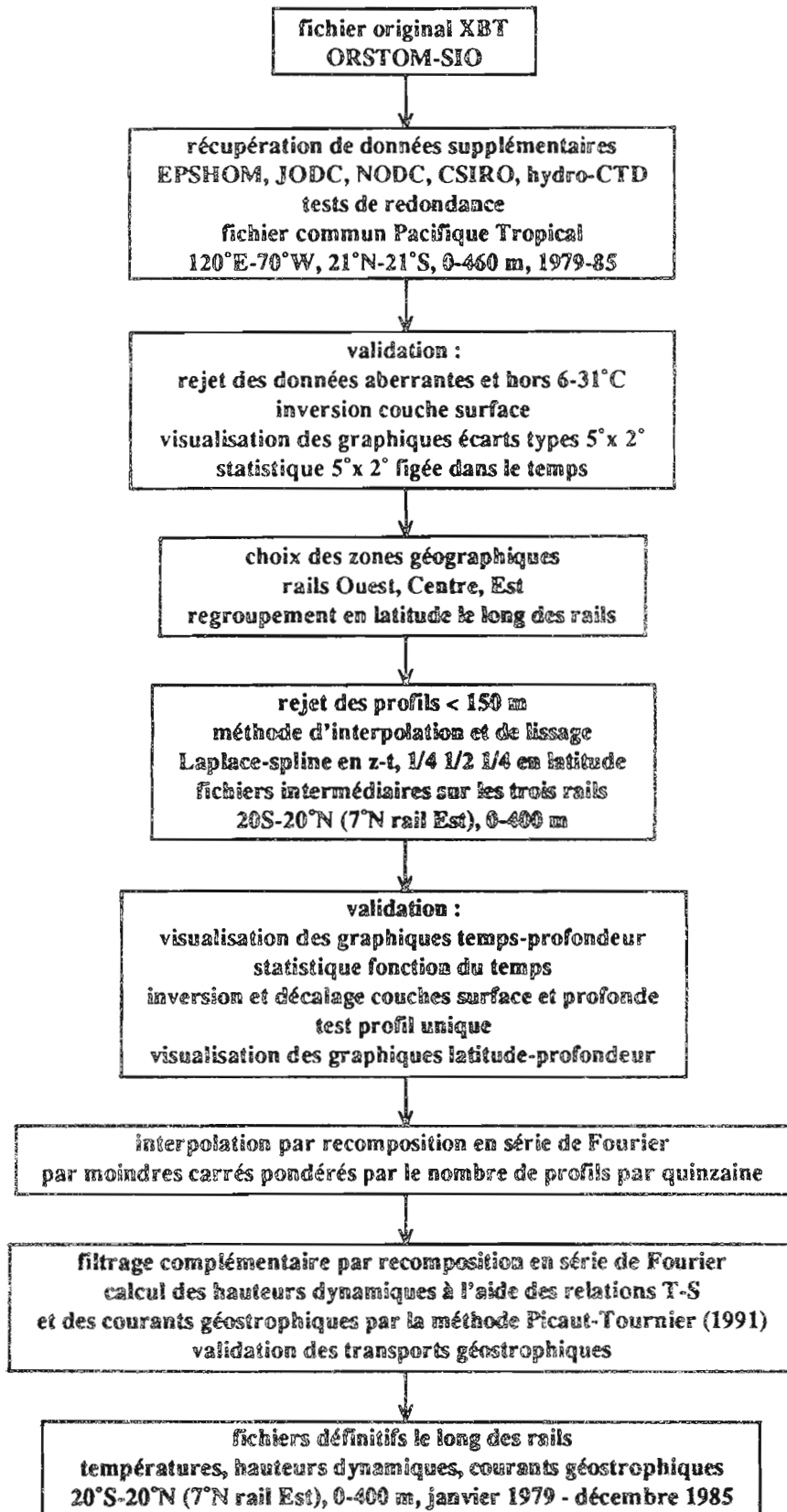
L'El Niño apparaît par un enfoncement de la surface principalement autour de 10°N et 8°S dans le Pacifique Ouest et Centre et par un relèvement de la surface dans le Pacifique Est au nord de l'équateur.

#### 4.5. Températures en fonction de la latitude et de la profondeur (pp. 34-63)

Les cartes correspondent aux moyennes générales 1979-85 et 1979-81 (hors El Niño) et écarts types correspondants, aux moyennes année par année et aux moyennes bimensuelles de l'année type 1979-85 et de janvier-février 1979 à novembre-décembre 1985, le long des rails moyens. Le déplacement des isothermes accompagnant l'El Niño concerne une bande équatoriale très large (avec des maxima au sud) dans l'Ouest et le Centre (relèvement) et une bande équatoriale assez étroite dans l'Est (enfoncement).

#### 4.6. Courants géostrophiques en fonction de la latitude et de la profondeur (pp. 64-83)

Les cartes correspondent aux moyennes générales 1979-85 et 1979-81 (hors El Niño) et écarts types correspondants, aux moyennes année par année et aux moyennes bimensuelles de l'année type 1979-85 et de janvier-février 1979 à novembre-décembre 1985, le long des rails moyens Ouest et Centre. L'El Niño est marqué par la disparition presque totale du Sous-Courant Équatorial en octobre 1982. Dans le Pacifique Ouest, il est important de noter que malgré le lissage spatio-temporel utilisé (Picaut et Tournier, 1991), la densité de données peut être quelquefois insuffisante pour obtenir des courants réalistes à l'approche de l'équateur. Cela est le cas de septembre à décembre 1984 et sur une partie de 1985 (Figures 6-7). Compte tenu de la longueur du filtre temporel, il est conseillé de ne pas considérer les courants dans la bande équatoriale après juillet 1984.



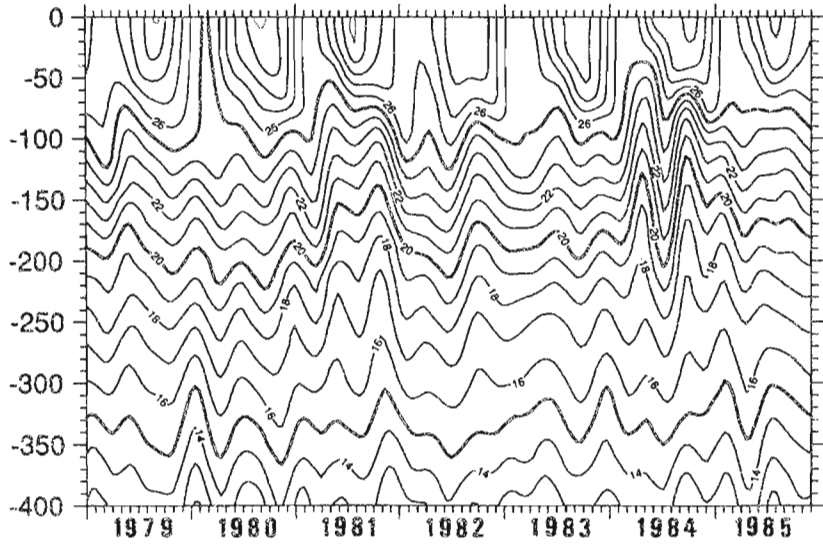
Organigramme résumant les différentes étapes pour aboutir aux produits définitifs

## REFERENCES

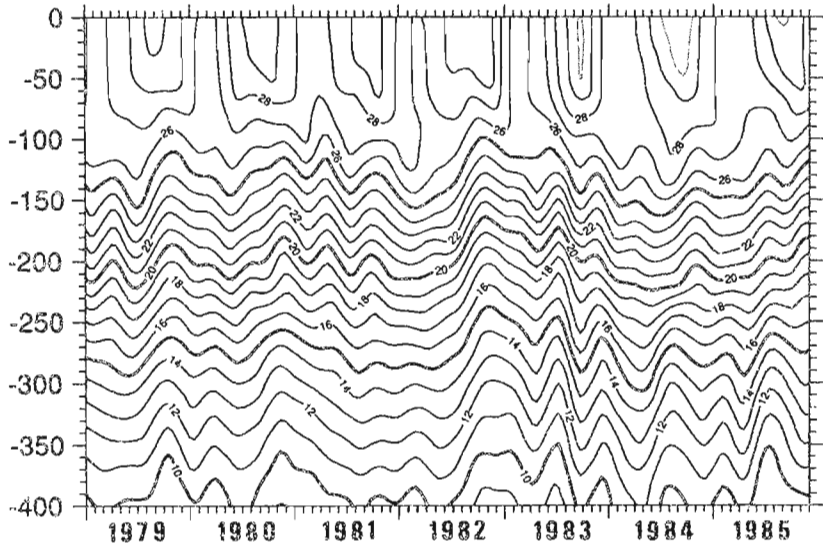
- Busalacchi, A. J., M. J. McPhaden, J. Picaut et S. R. Springer, Sensitivity of wind-driven tropical Pacific ocean simulations on seasonal and interannual time scales. *J. Mar. Syst.*, *1*, 119-154, 1990.
- Bloomfield, P., Fourier analysis of time series: An introduction. *John Wiley ed., New York*, 258 pp, 1976.
- Cane, M., S. E. Zebiak, et S.C. Dolan, Experimental forecast of El Niño, *Nature*, *321*, 827-832, 1987.
- Chereskin, T. K., J. N. Moum, P. J. Stabenø, D. R. Caldwell, et C. A. Paulson, Fine-scale variability at 140°W in the equatorial Pacific, *J. Geophys. Res.*, *91*, 12887-12897, 1986.
- Delcroix, T., et C. Gautier, Estimates of heat content variations from sea level measurements in the central and western tropical Pacific from 1979 to 1985. *J. Phys. Oceanogr.*, *17*, 725-734, 1987.
- Delcroix, T., et C. Hénin, Mechanisms of subsurface thermal structure and sea surface thermohaline variabilities in the southwestern tropical Pacific during 1979-85, *J. Mar. Res.*, *47*, 777-812, 1989.
- Firing, E., Deep zonal currents in the central equatorial Pacific, *J. Mar. Res.*, *45*, 791-812, 1987.
- International TOGA Project Office, TOGA (Tropical Ocean and Global Atmosphere) international implementation plan, *IPTO-N°1*, Organisation Mondiale de la Météorologie, Genève, Suisse, 103 pp, 1987.
- Jerlov, N. G., Studies of the equatorial currents in the Pacific, *Tellus*, *5*, 308-314, 1953.
- Kessler, W. S., et B. A. Taft, Dynamic heights and zonal geostrophic transports in the central tropical Pacific during 1979-84, *J. Phys. Oceanogr.*, *17*, 97-122, 1987.
- Levitus, S., Climatological atlas of the world ocean, *NOAA Prof. Pap.*, *13*, 173 pp., Natl. Oceanic and Atmos. Admin., Washington D.C.; 1982.
- McPhaden, M. J., A. J. Busalacchi, et J. Picaut, Observations and wind-forced model simulation of the mean seasonal cycle in tropical Pacific sea surface topography, *J. Geophys. Res.*, *93*, 8131-8146, 1988a.
- McPhaden, M. J., A. J. Busalacchi, J. Picaut, et G. Raymond, A model study of potential sampling errors due to data scatter around expendable bathythermograph transects in the tropical Pacific, *J. Geophys. Res.*, *93*, 8119-8130, 1988b.
- Meyers, G., et J. R. Donguy, The North Equatorial Countercurrent and heat storage in the western Pacific Ocean during 1982-83, *Nature*, *312*, 258-260, 1984.
- Pazan, S. P., et W. B. White, Short-term climatic variability in the volume budget of the western tropical north Pacific Ocean during 1979-82, *J. Phys. Oceanogr.*, *17*, 440-454., 1987.
- Picaut, J., S. P. Hayes, et M. J. McPhaden, On the use of the geostrophic approximation to estimate time varying zonal currents at the equator, *J. Geophys. Res.*, *94*, 3228-3236, 1989.
- Picaut, J., et R. Tourmier, Monitoring the 1979-1985 equatorial Pacific current transports with expendable bathythermograph data. *J. Geophys. Res.*, *96*, 3263-3277, 1991.
- Picaut, J., et R. Tourmier, Transport variability of the equatorial currents in the western Pacific ocean during 1979-1985. *Proceedings of US-PRC International TOGA Symposium, 1988, China Ocean Press, Beijing*, 153-165, 1990.
- Tournier, R., Variabilité de la structure thermique et des courants à l'ouest et au centre de l'Océan Pacifique Tropical de 1979 à 1985, *thèse Univ. Paris VI, Centre ORSTOM de Nouméa, Nouvelle Calédonie*, 154 pp, 1989.
- White, W. B., G. A. Meyers, J. R. Donguy, et S. E. Pazan, Short-term climatic variability in the thermal structure of the Pacific Ocean during 1979-82, *J. Phys. Oceanogr.*, *15*, 917-935, 1985.
- Wyrtki, K., Water displacements in the Pacific and the genesis of El Niño cycles, *J. Geophys. Res.*, *90*, 7129-7132, 1985.
- Wyrtki, K., E. Firing, D. Halpern, R. Knox, G. L. McNally, W. C. Patzert, E. D. Stroup, B. A. Taft, et R. William, The Hawaii to Tahiti Shuttle Experiment, *Science*, *211*, 22-28, 1981.

RAIL PACIFIQUE OUEST

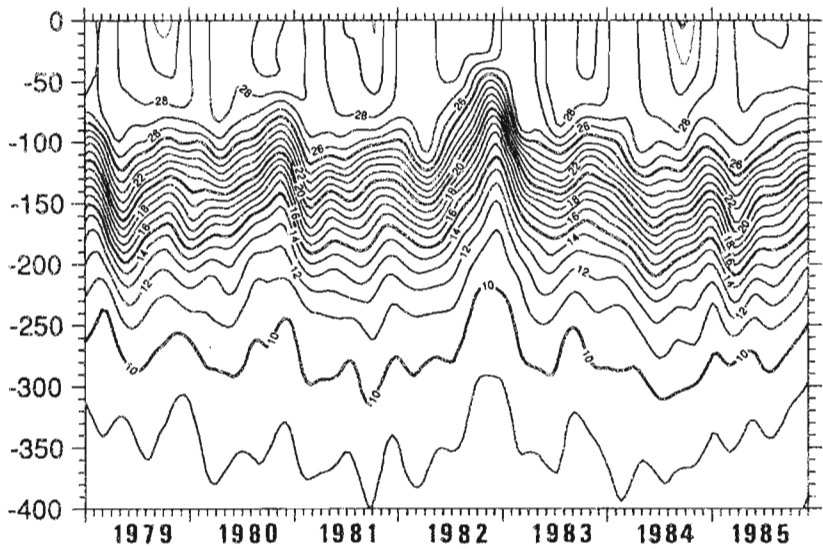
20°N



15°N

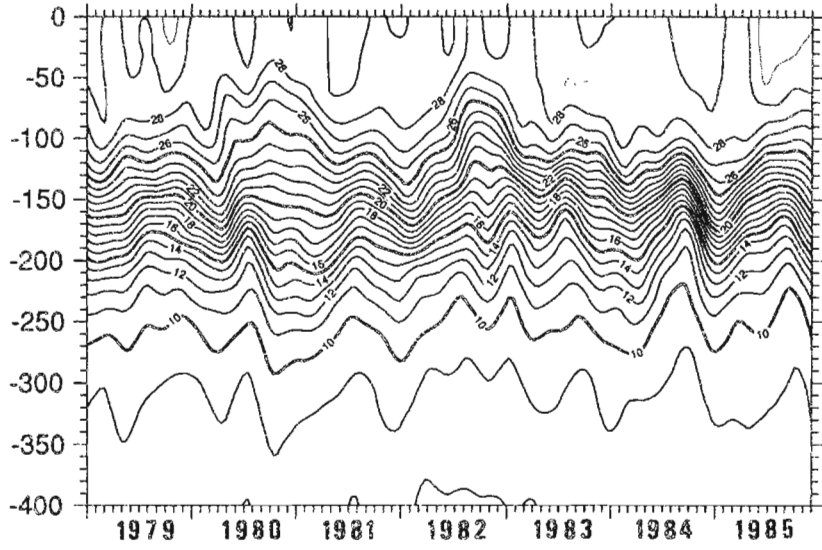


10°N

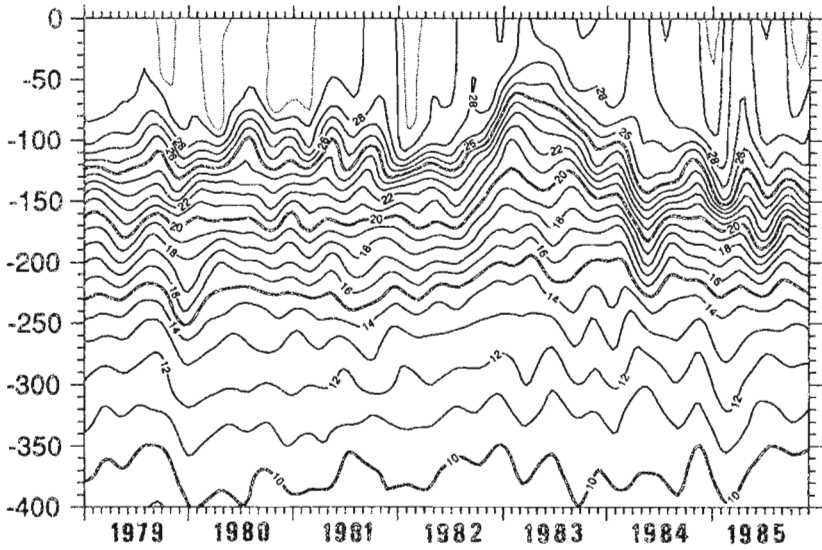


RAIL PACIFIQUE OUEST

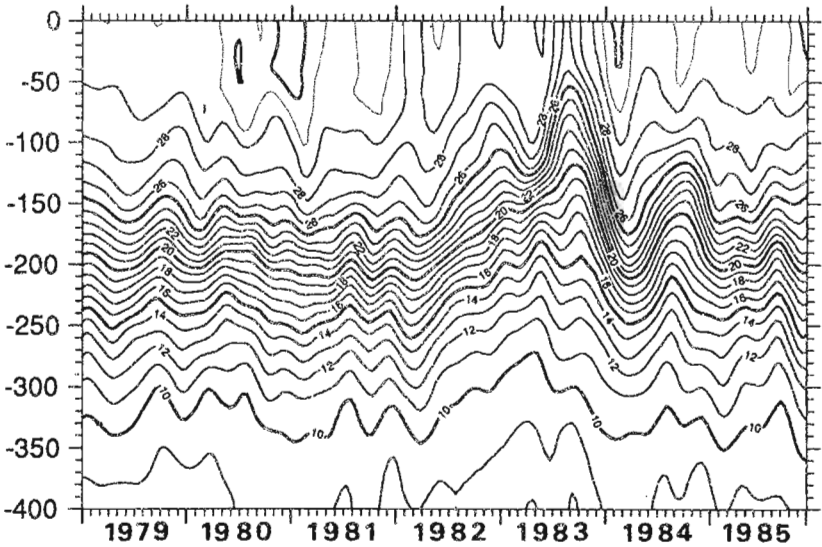
5°N



0°

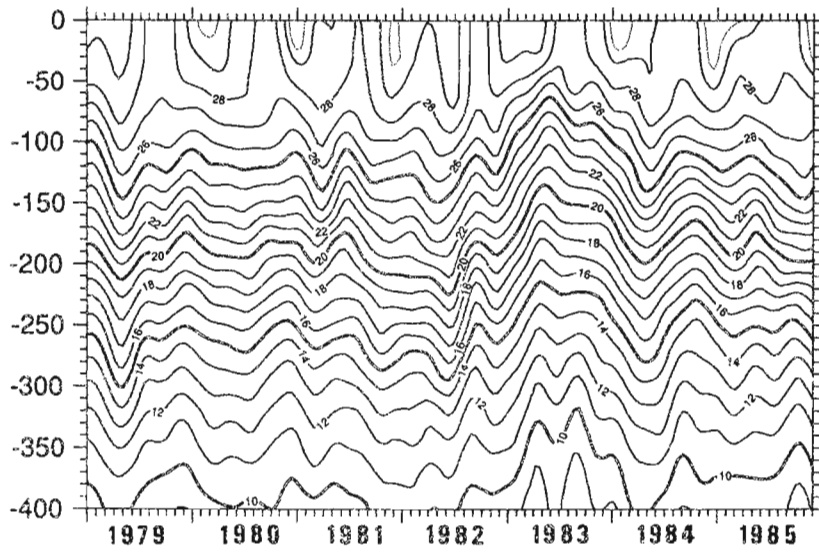


5°S

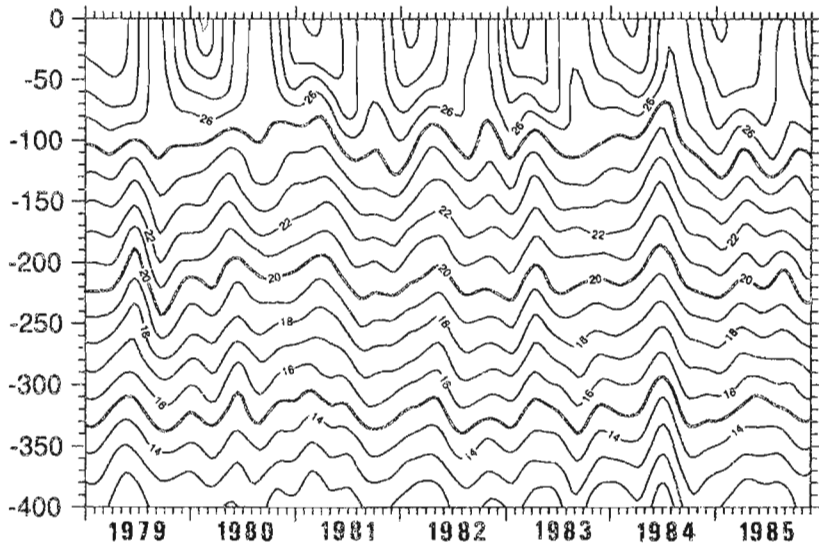


## RAIL PACIFIQUE OUEST

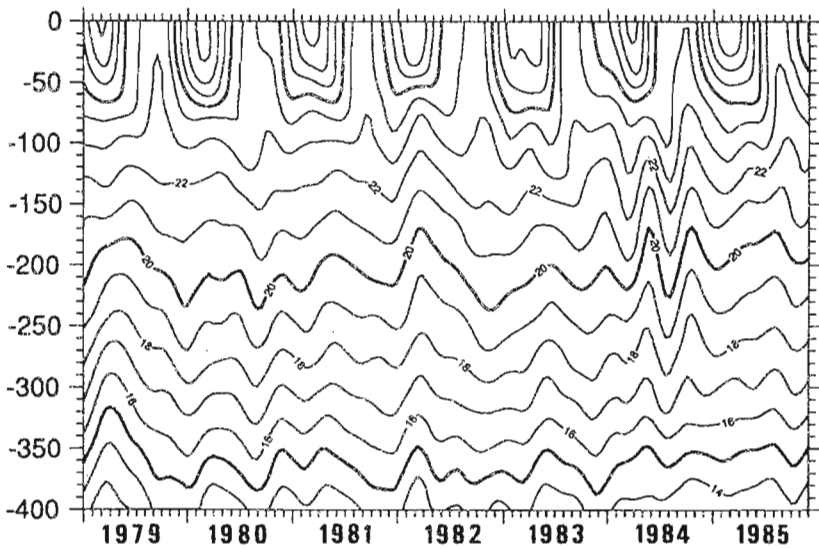
10°S



15°S

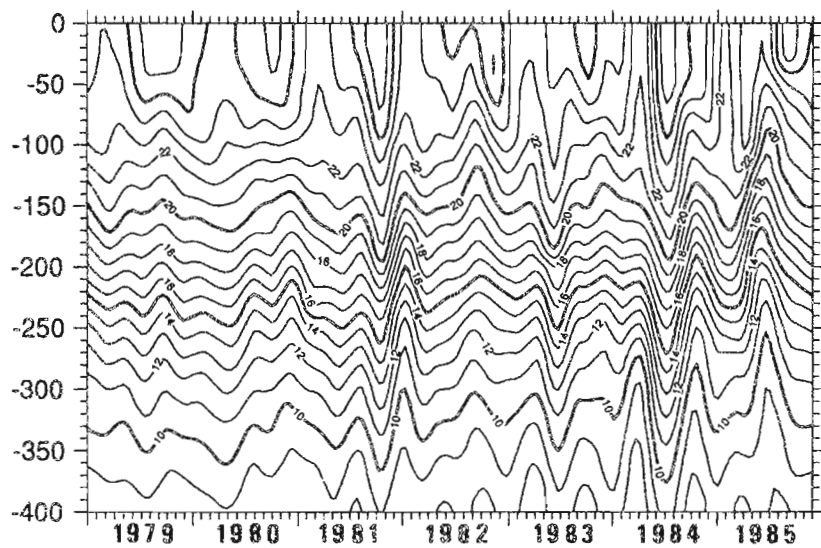


20°S

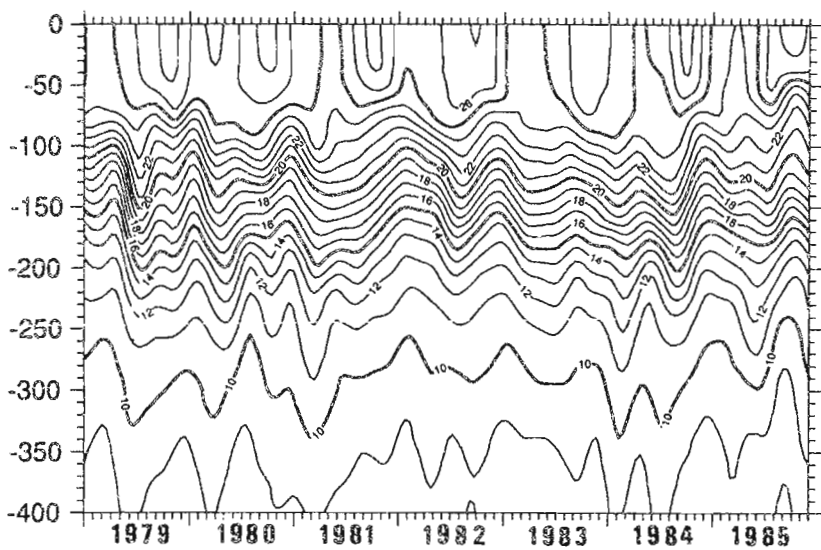


## RAIL PACIFIQUE CENTRAL

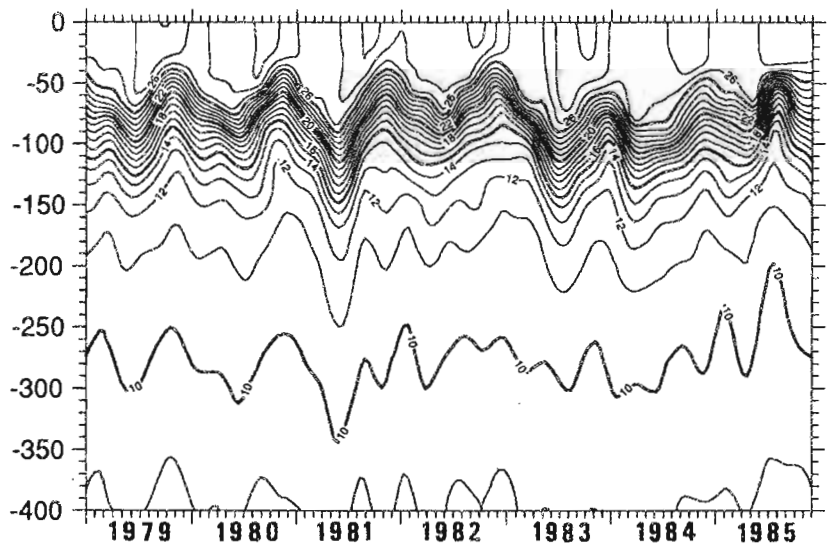
20°N



15°N



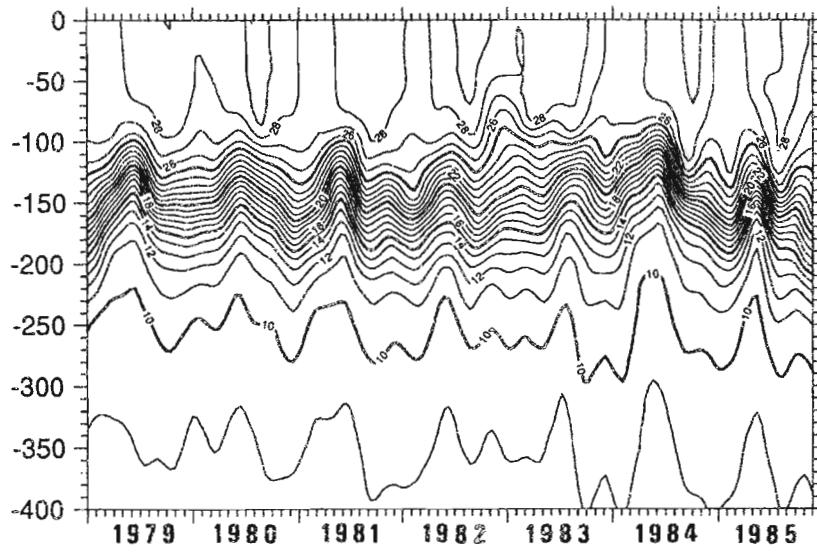
10°N



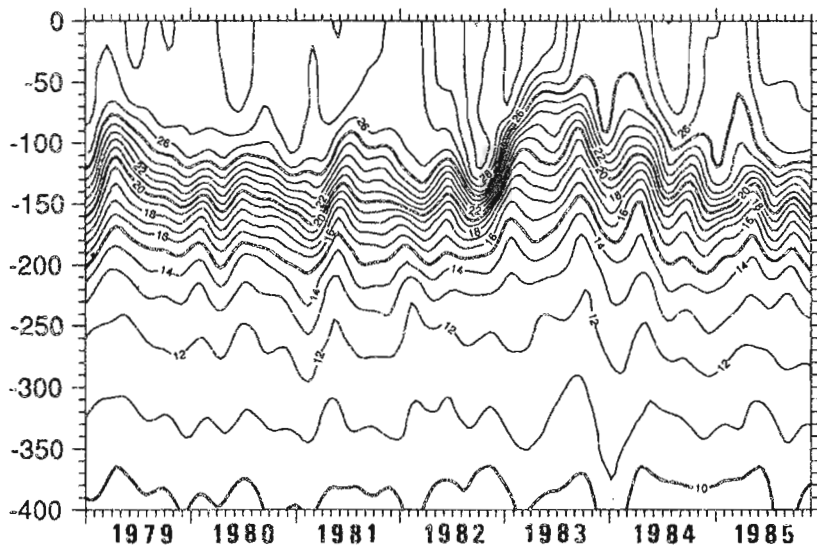


## RAIL PACIFIQUE CENTRAL

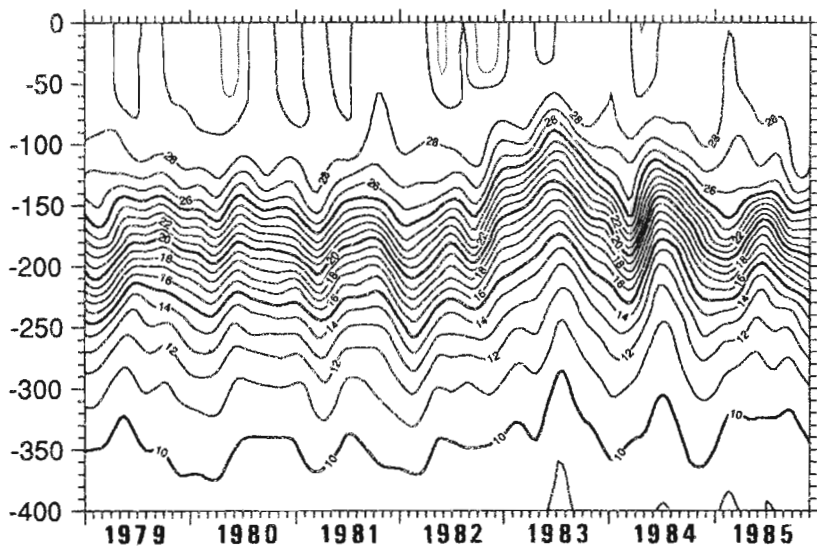
5°N



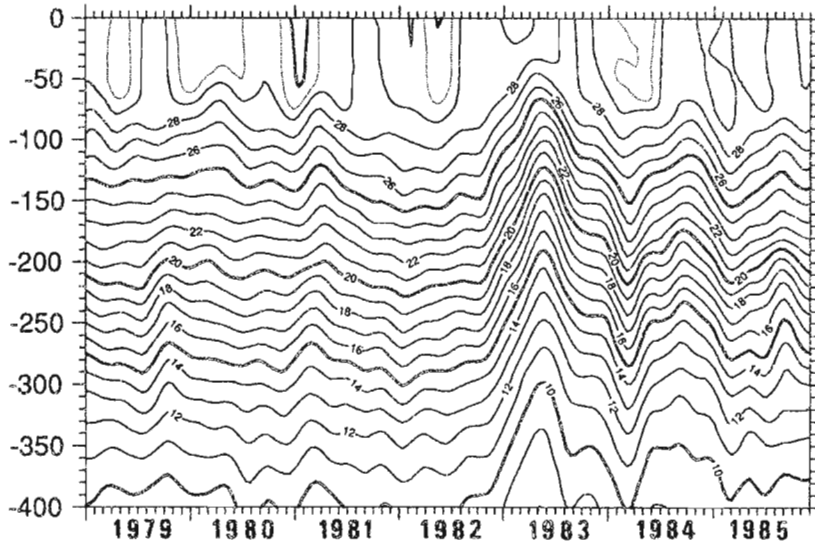
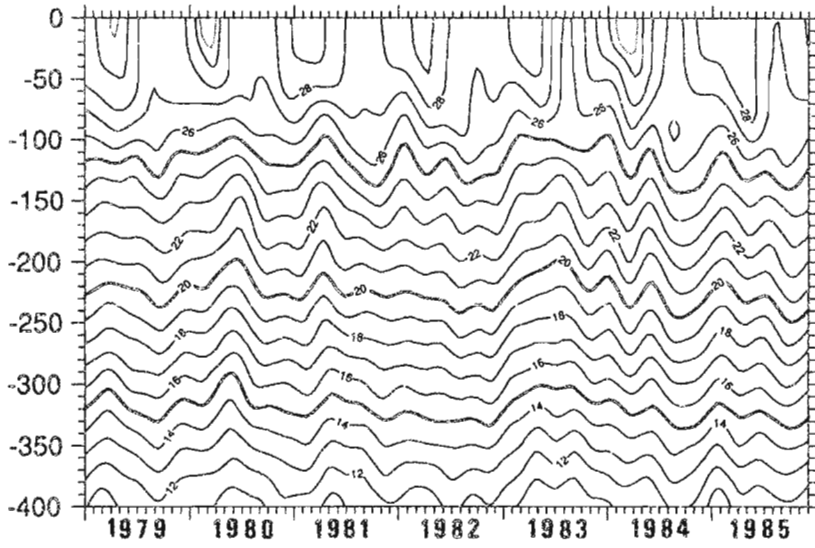
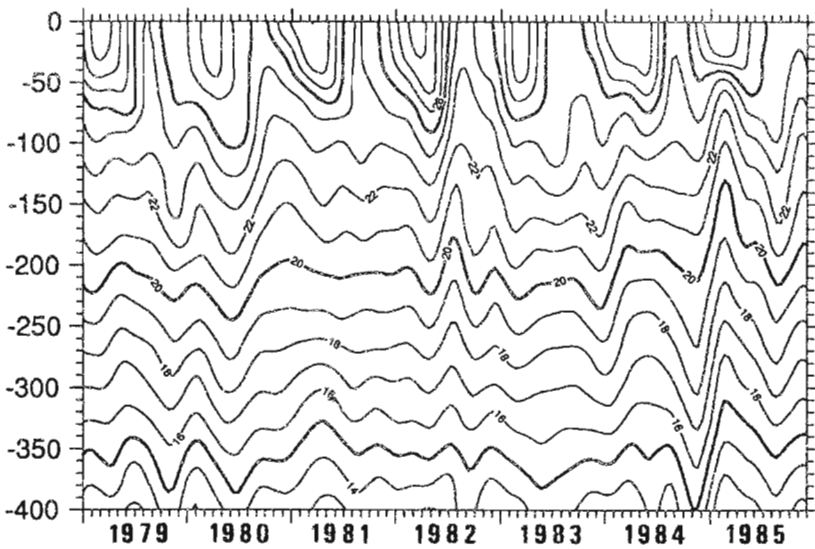
0°



5°S

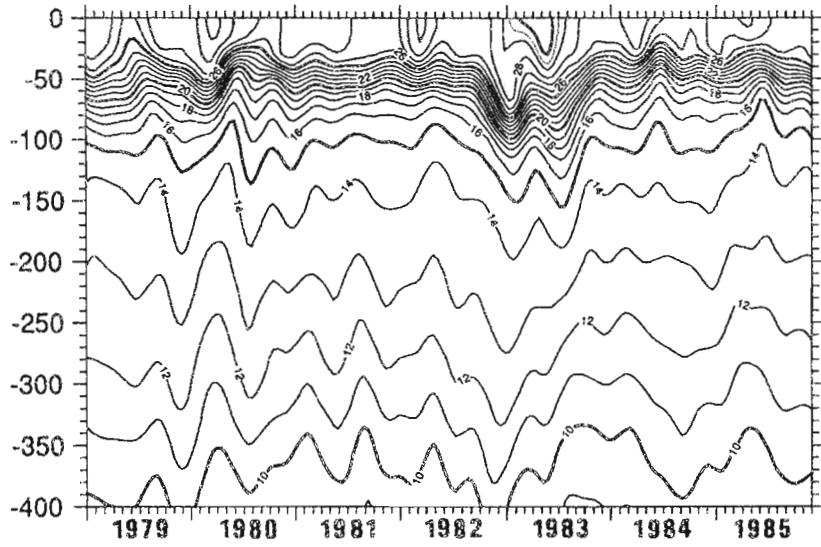


## RAIL PACIFIQUE CENTRAL

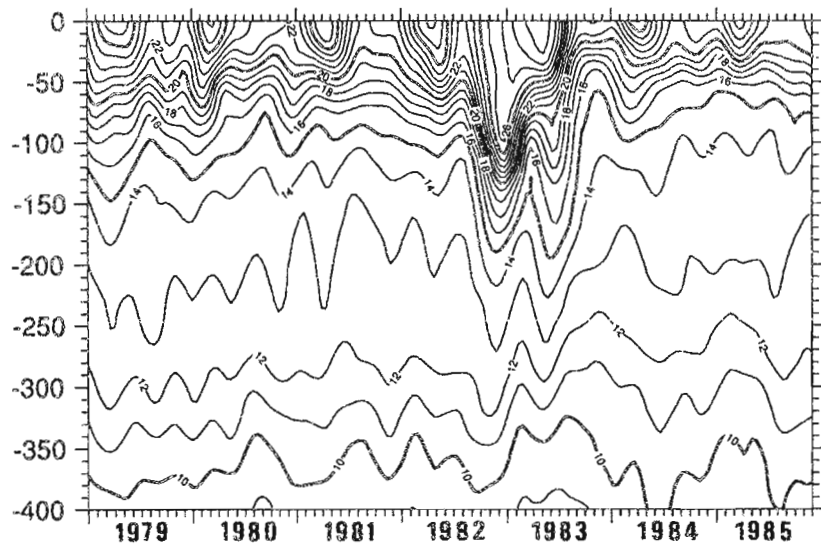
**10°S****15°S****20°S**

## RAIL PACIFIQUE EST

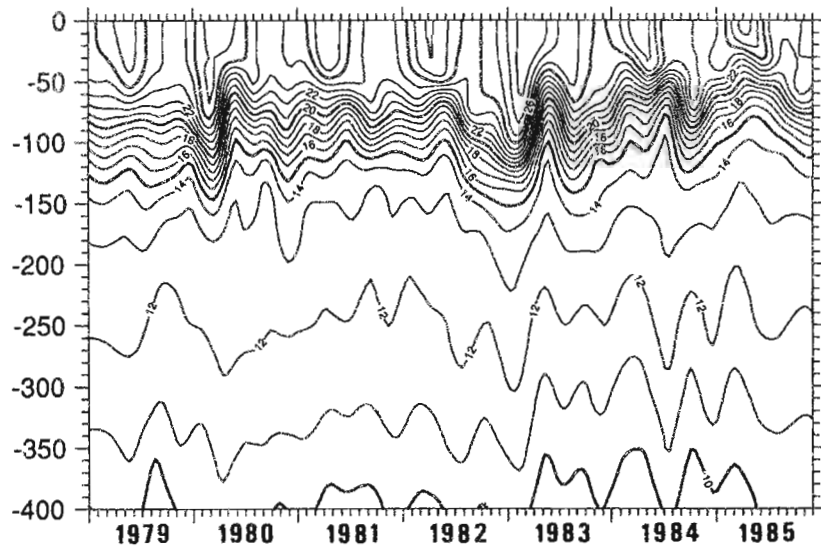
5°N



0°

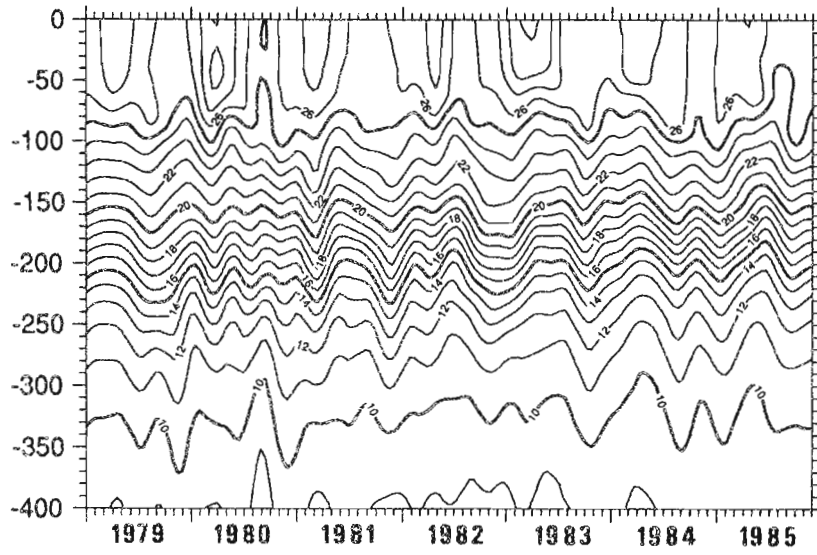


5°S

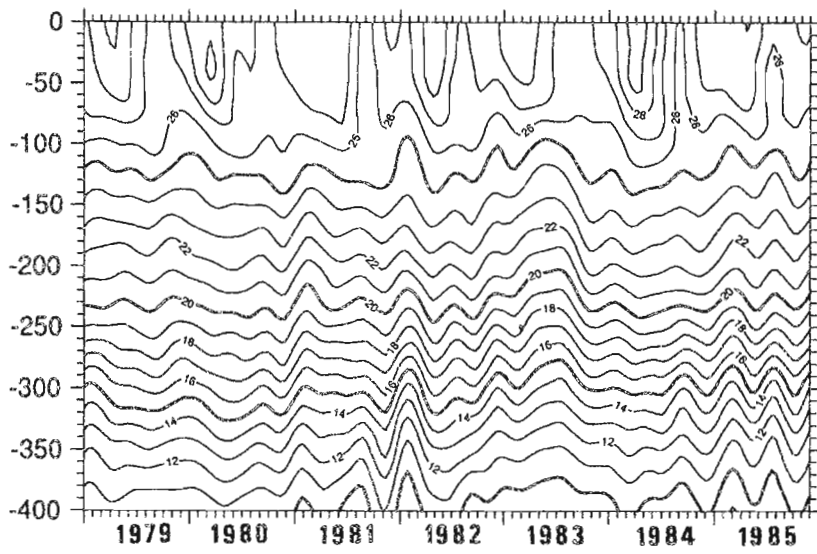


## RAIL PACIFIQUE EST

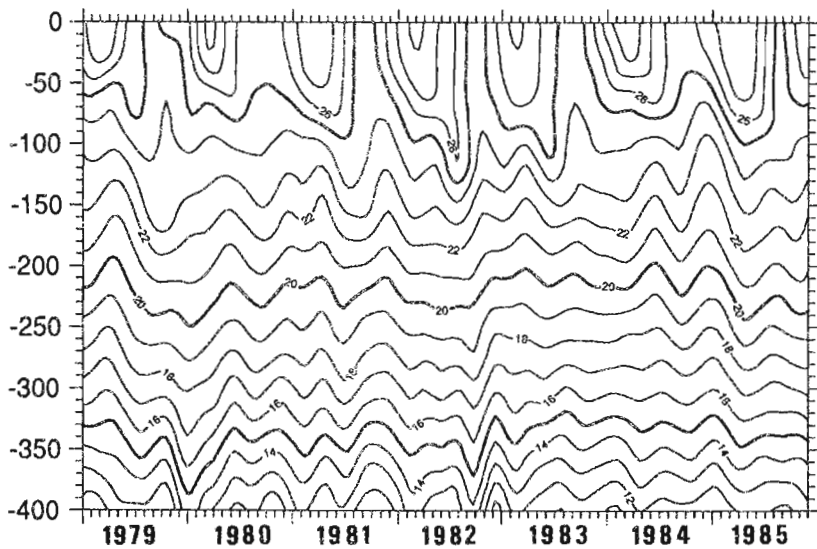
10°S



15°S

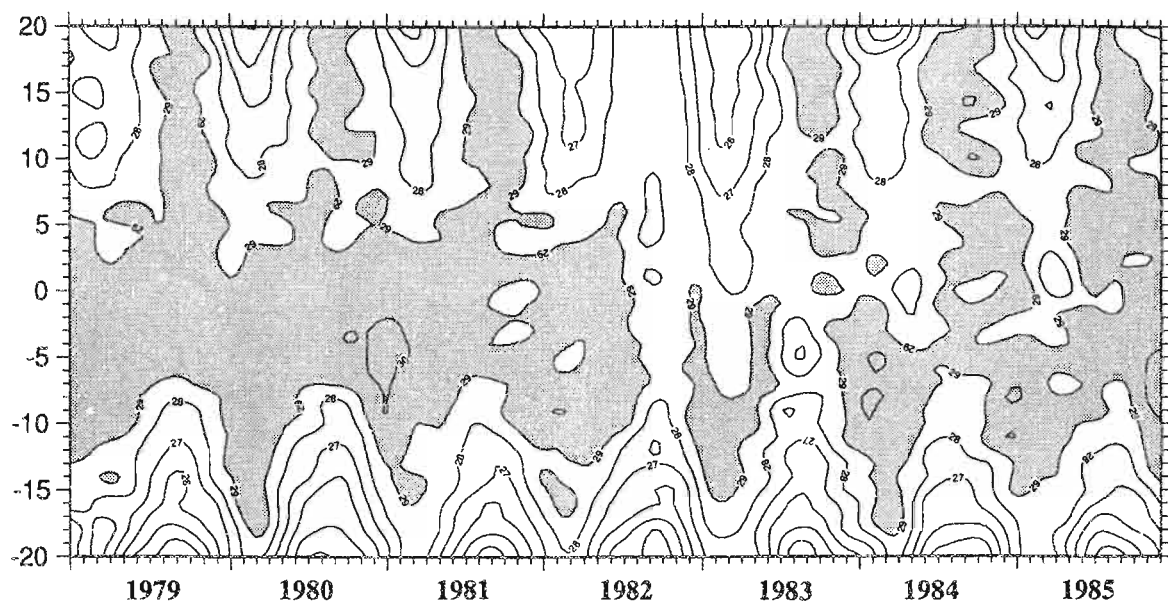


20°S

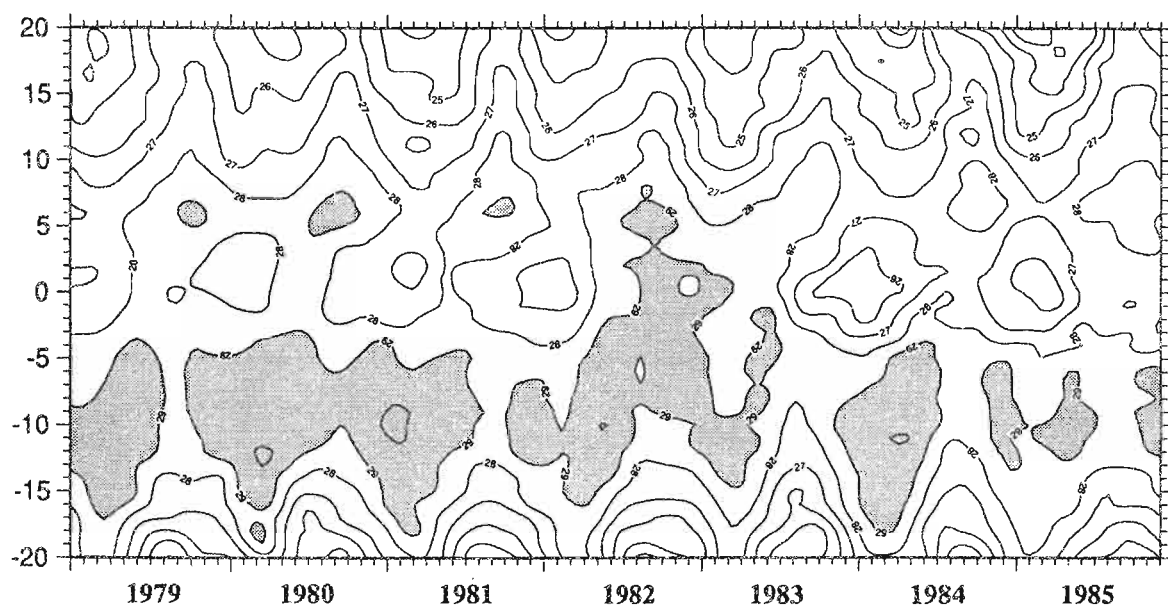


## TEMPERATURE DE SURFACE

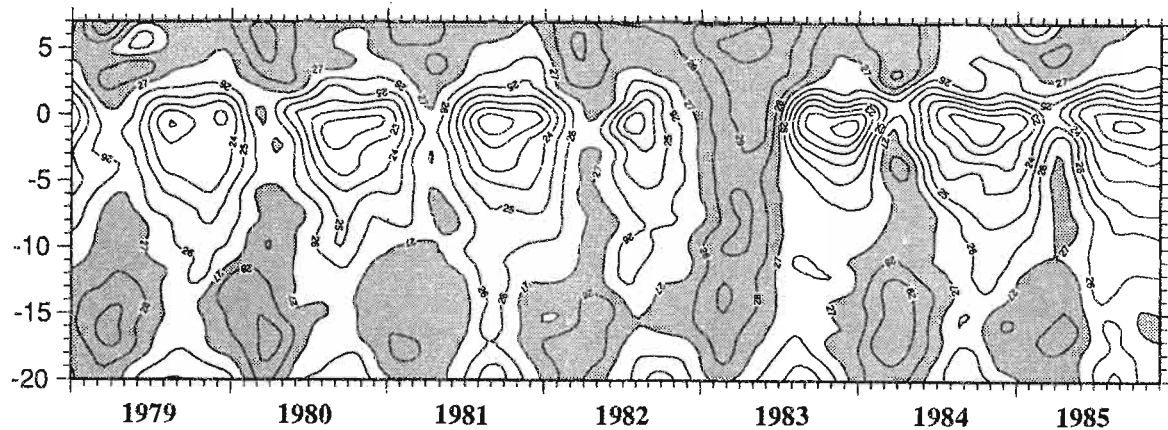
## RAIL PACIFIQUE OUEST



## RAIL PACIFIQUE CENTRAL

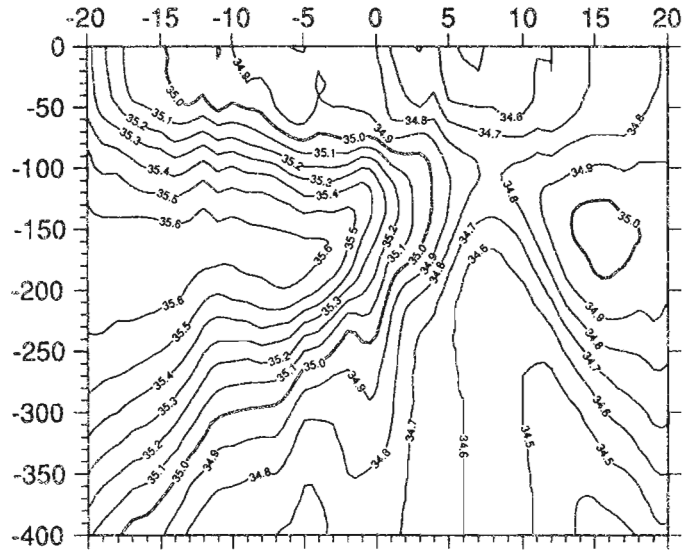


## RAIL PACIFIQUE EST

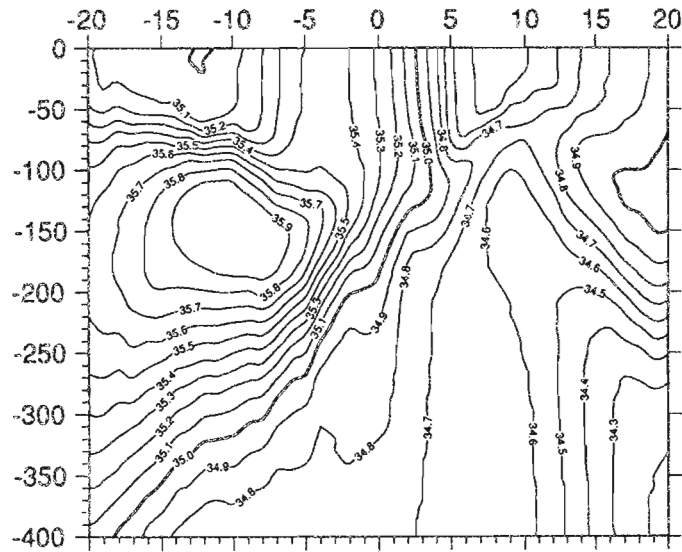


## SALINITE RECONSTITUEE

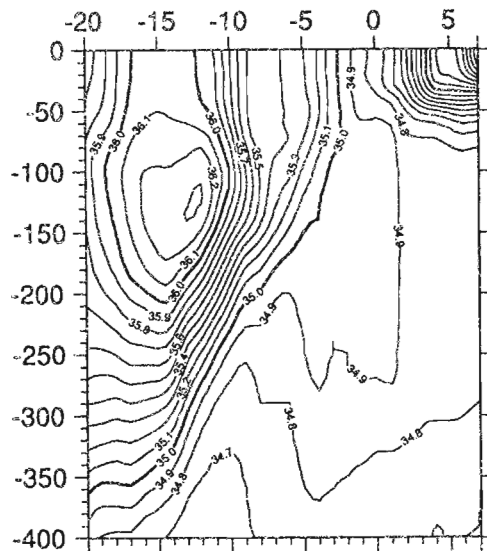
## RAIL PACIFIQUE OUEST



## RAIL PACIFIQUE CENTRAL

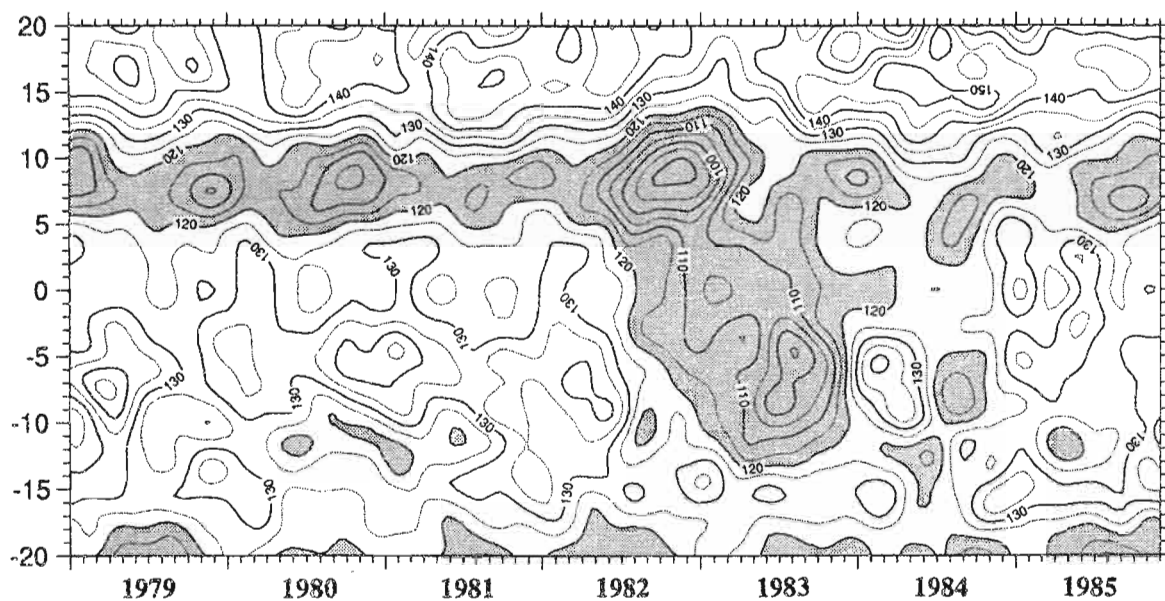


## RAIL PACIFIQUE EST

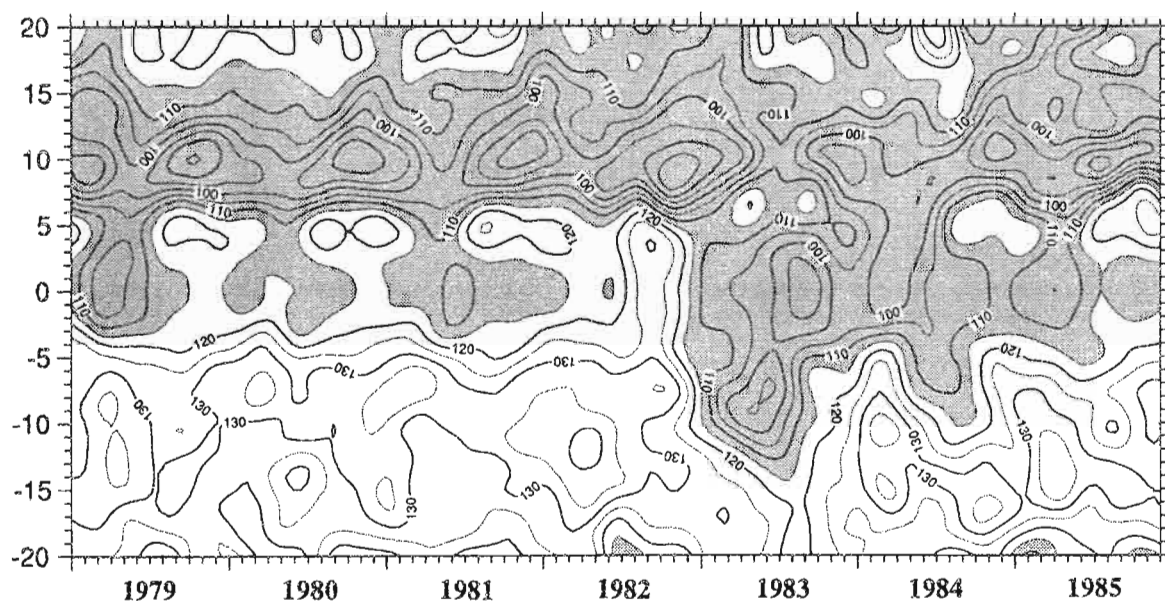


## HAUTEUR DYNAMIQUE 0/400dB

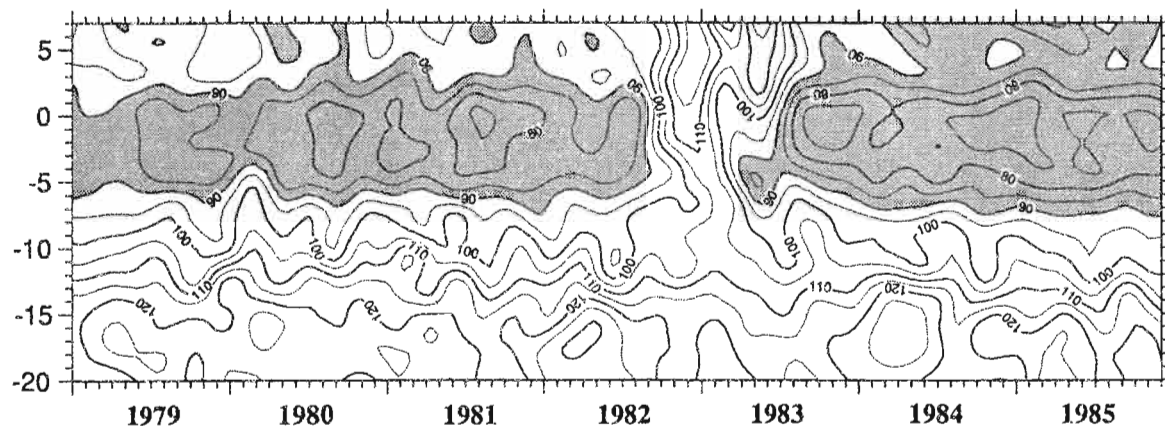
## RAIL PACIFIQUE OUEST



## RAIL PACIFIQUE CENTRAL

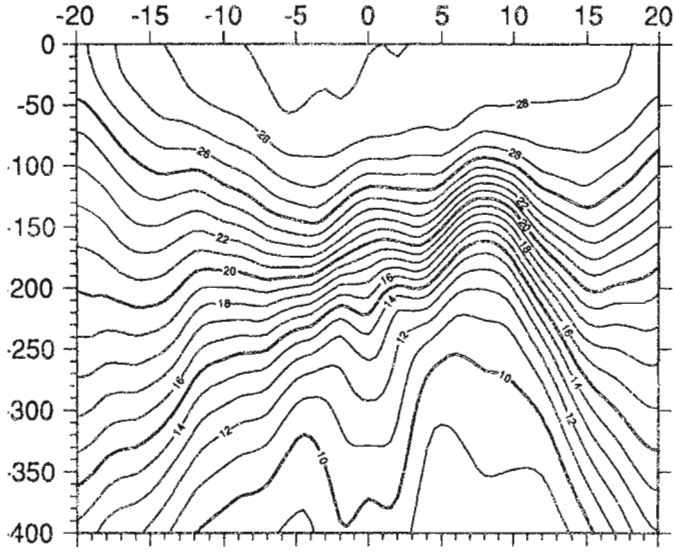


## RAIL PACIFIQUE EST

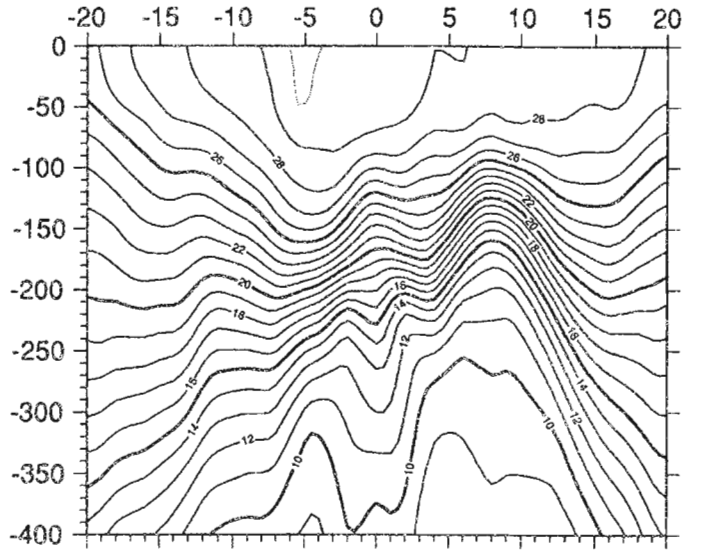


RAIL PACIFIQUE OUEST

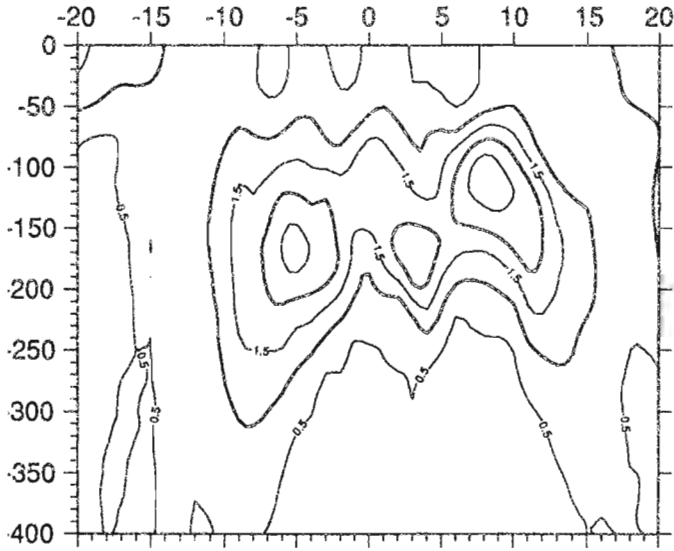
Moyenne 1979-1985



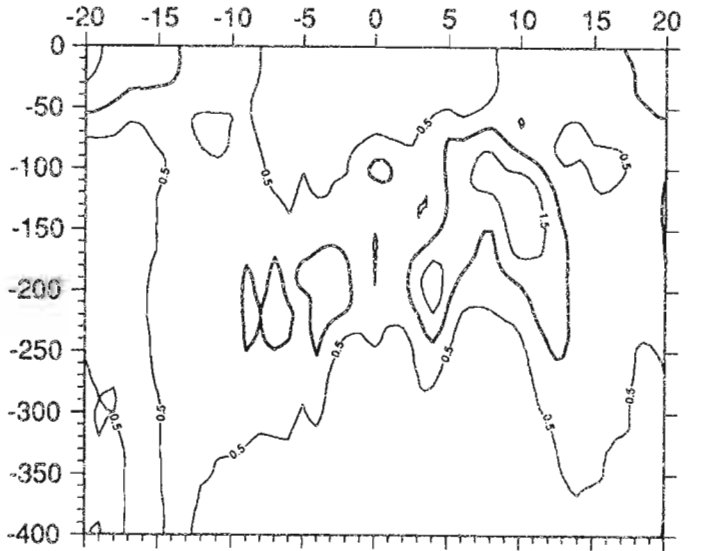
Moyenne 1979-1981



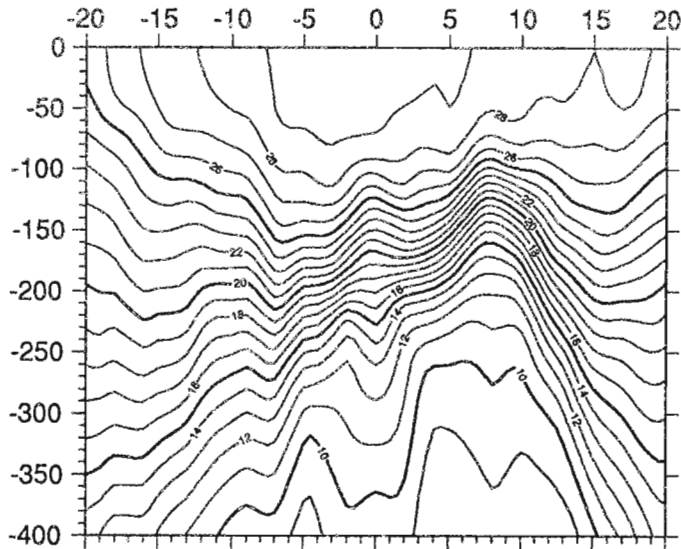
Ecart type 1979-1985



Ecart type 1979-1981



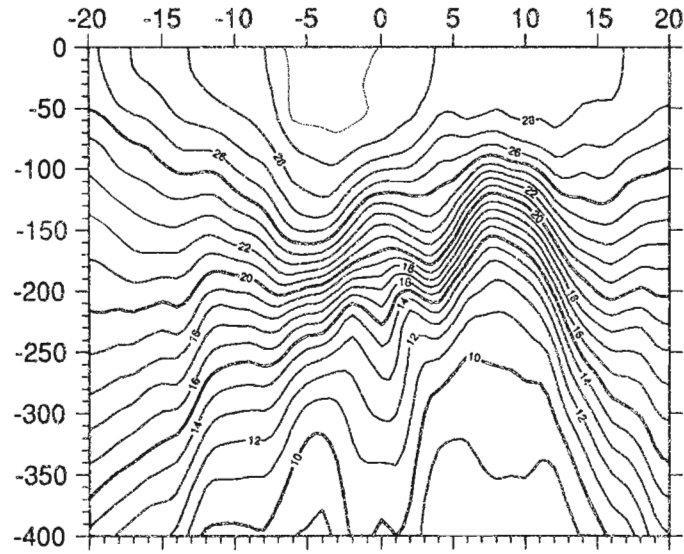
Moyenne 1979



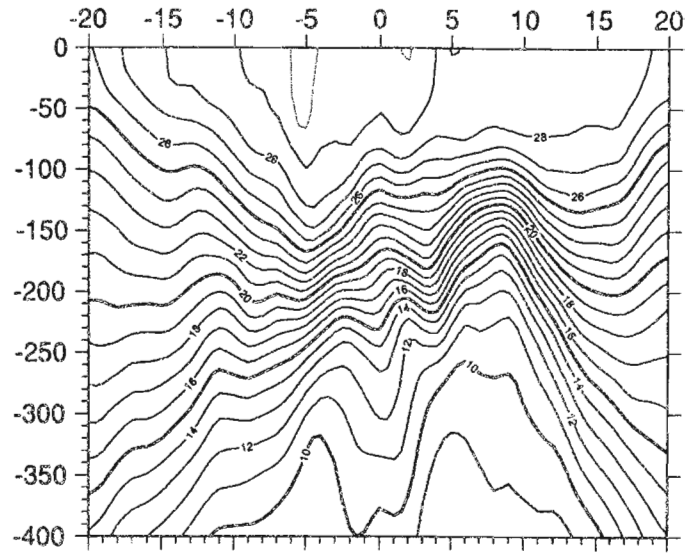


RAIL PACIFIQUE OUEST

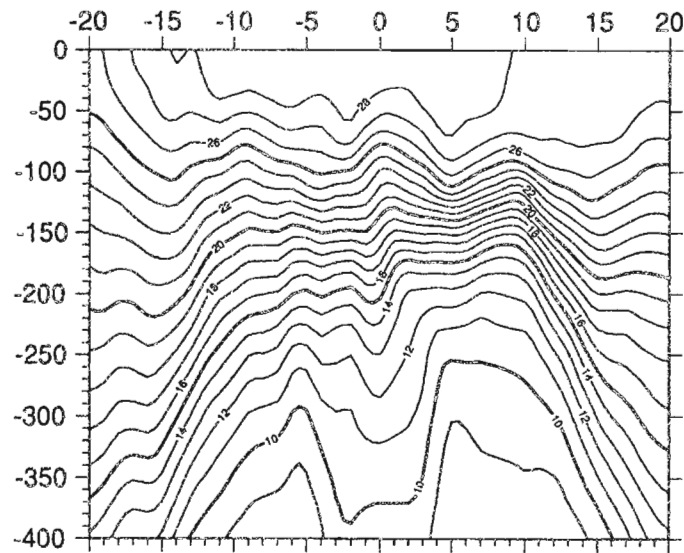
Moyenne 1980



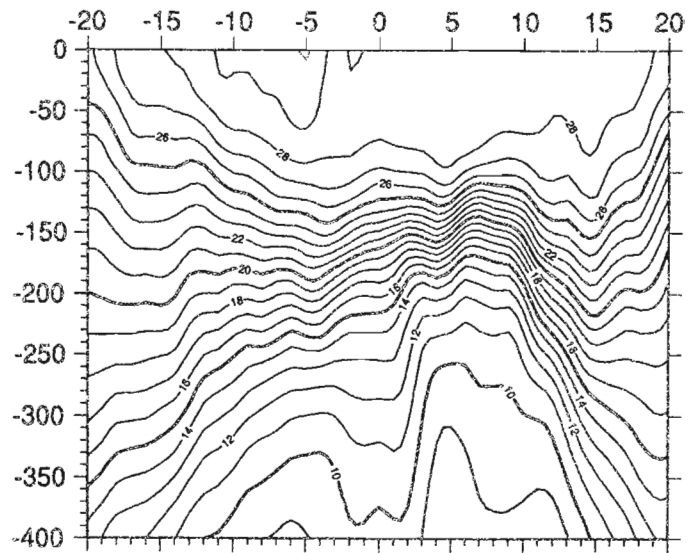
Moyenne 1981



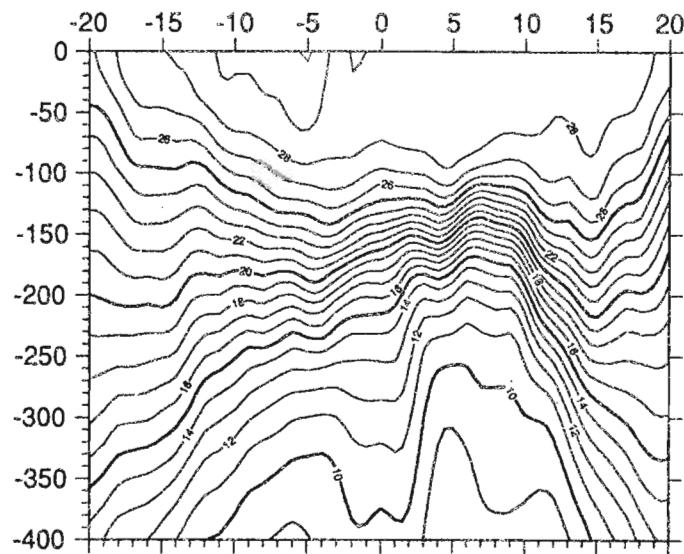
Moyenne 1982



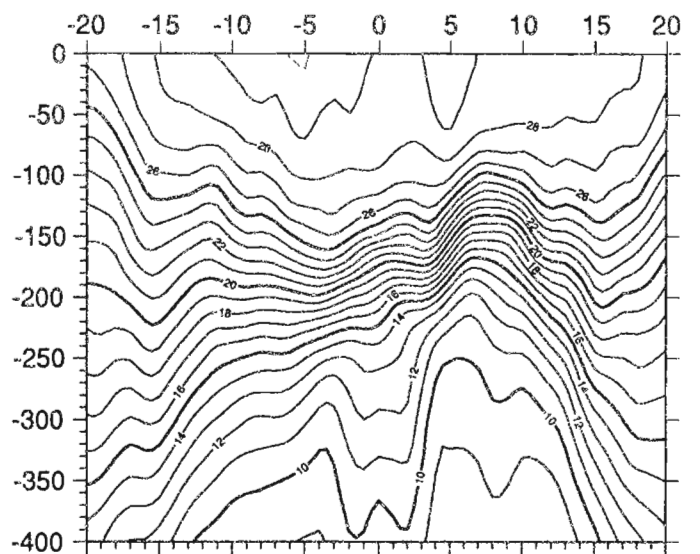
Moyenne 1983



Moyenne 1984

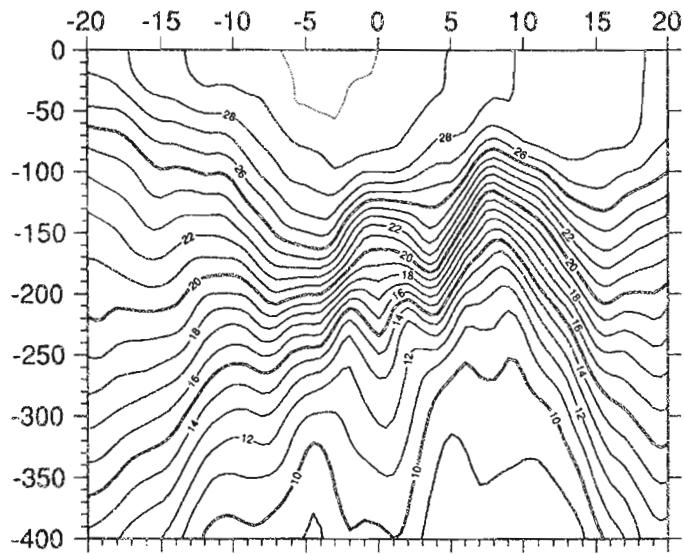


Moyenne 1985

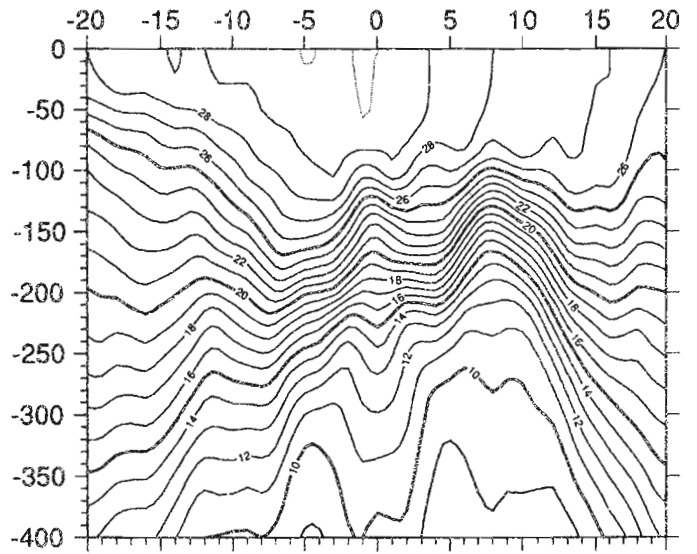


RAIL PACIFIQUE OUEST  
ANNEE MOYENNE

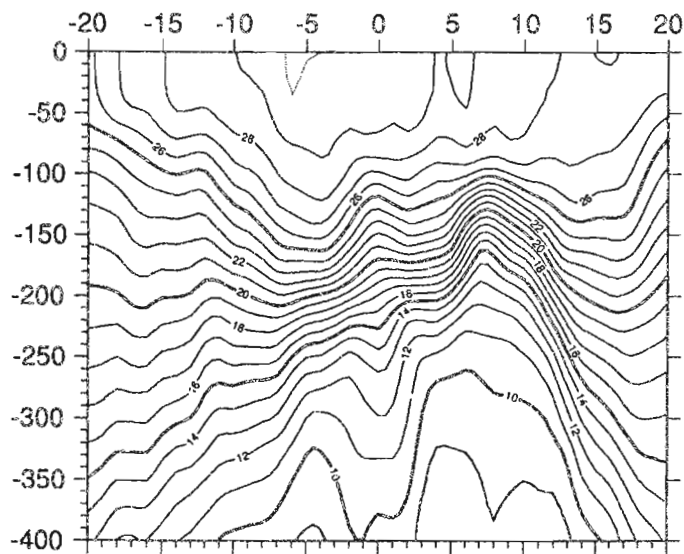
Janvier-Fevrier



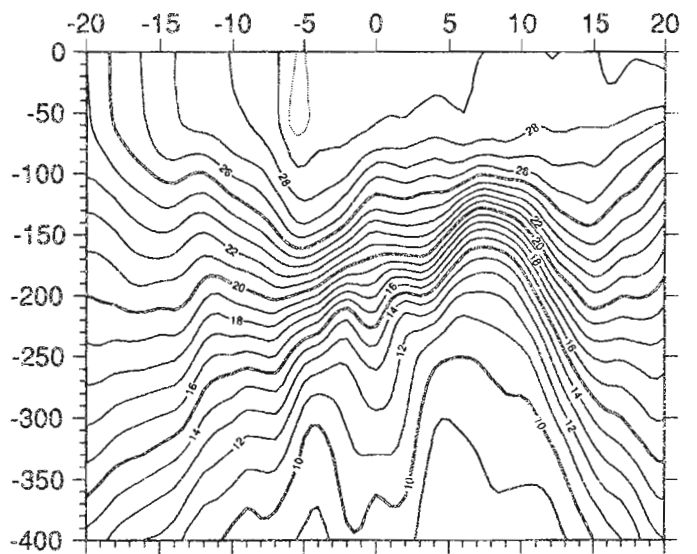
Mars-Avril



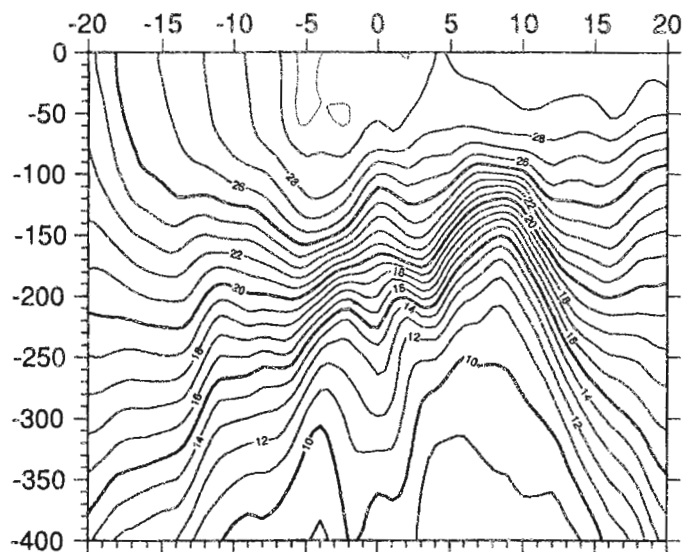
Mai-Juin



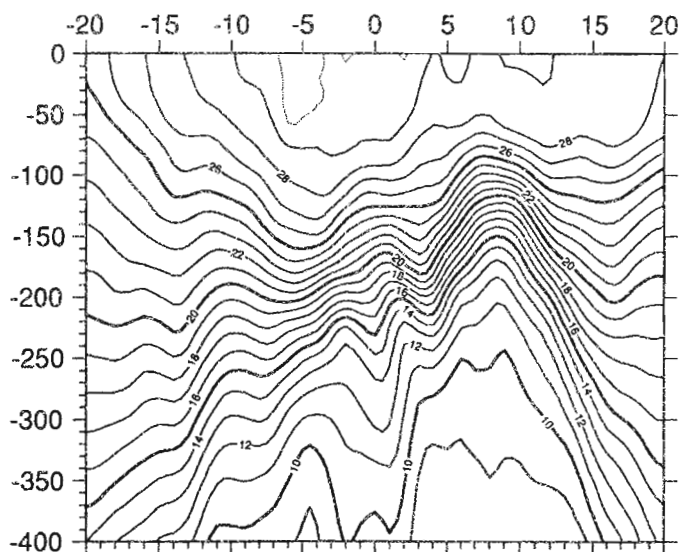
Juillet-Aout



Septembre-Octobre

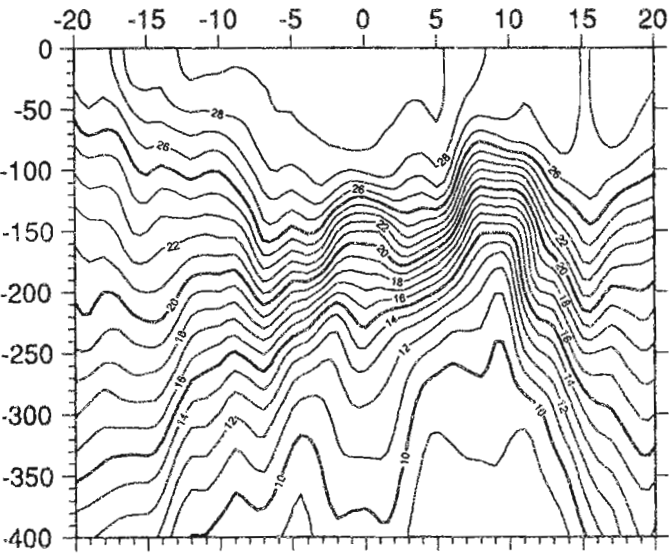


Novembre-Decembre

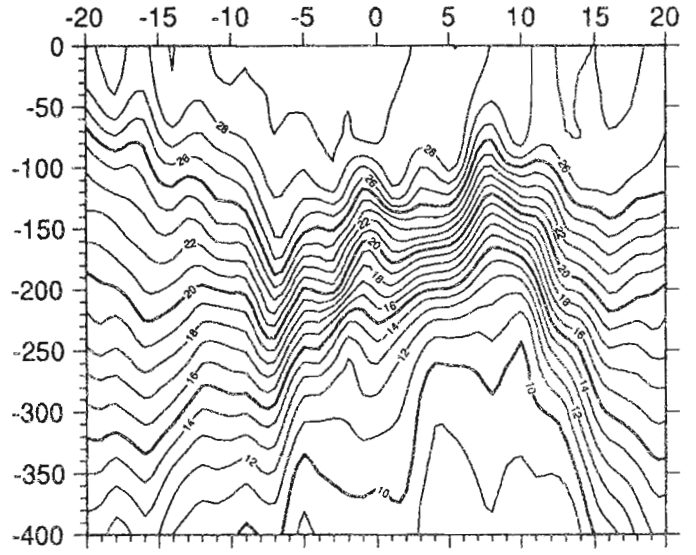


### RAIL PACIFIQUE OUEST

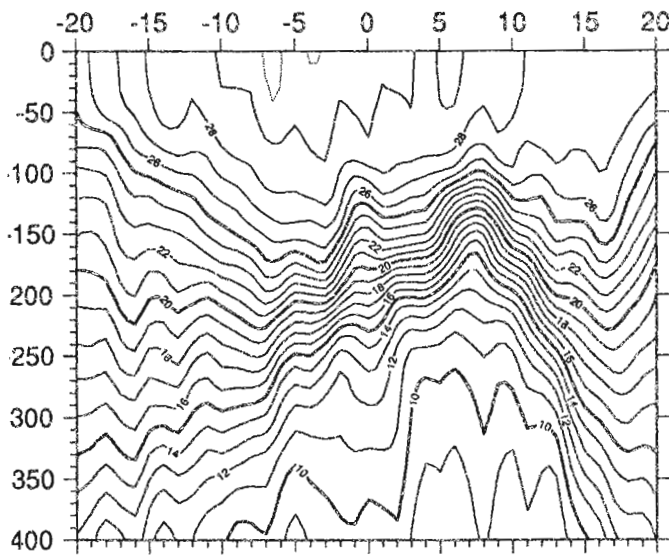
Janvier - Février 1979



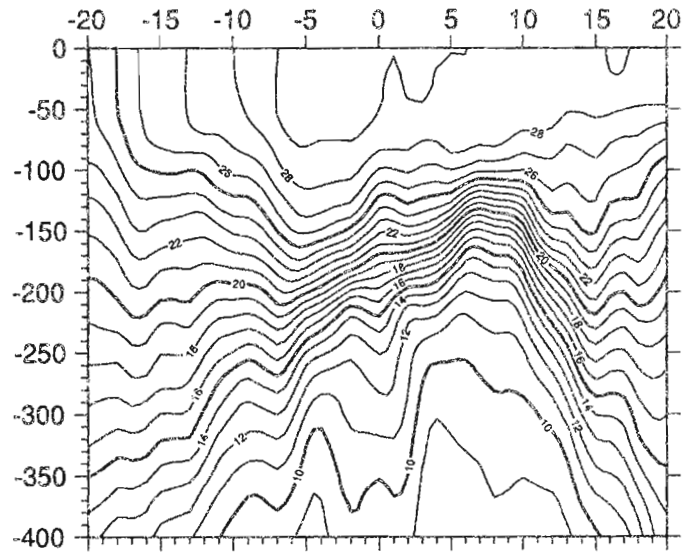
Mars - Avril 1979



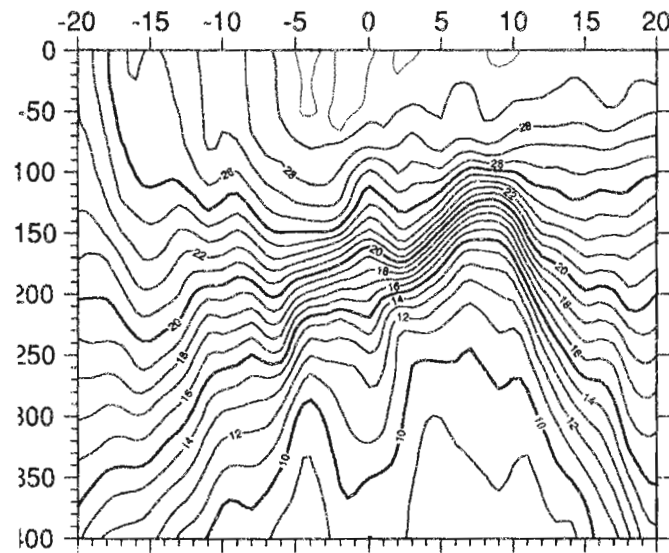
Mai - Juin 1979



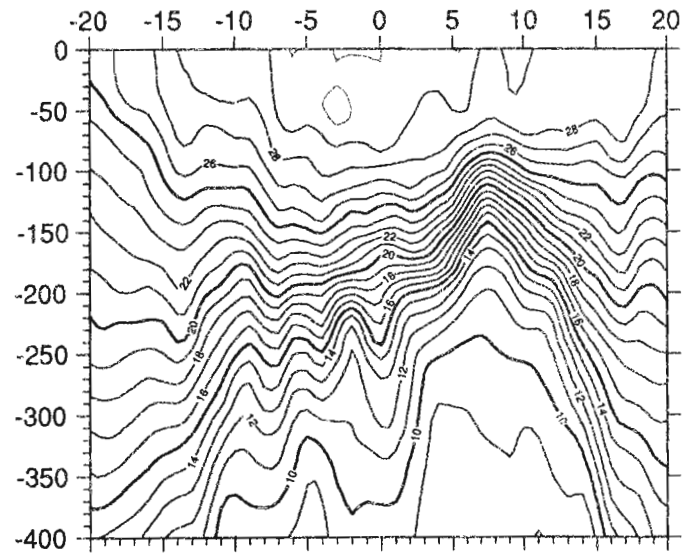
Juillet - Aout 1979



Septembre - Octobre 1979

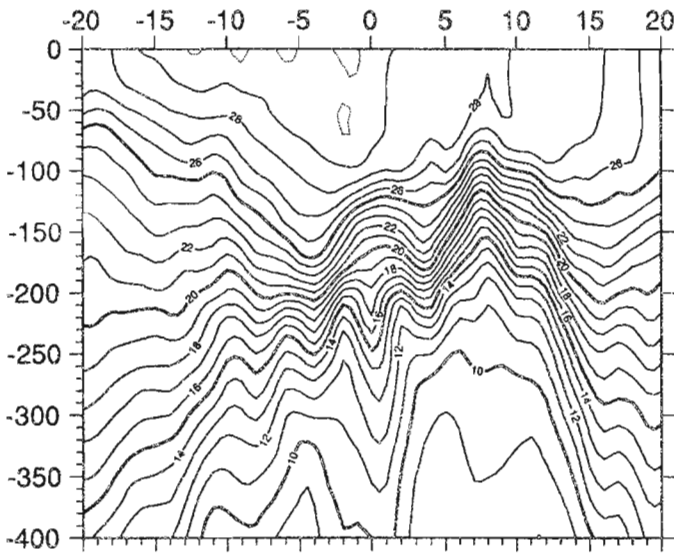


Novembre - Decembre 1979

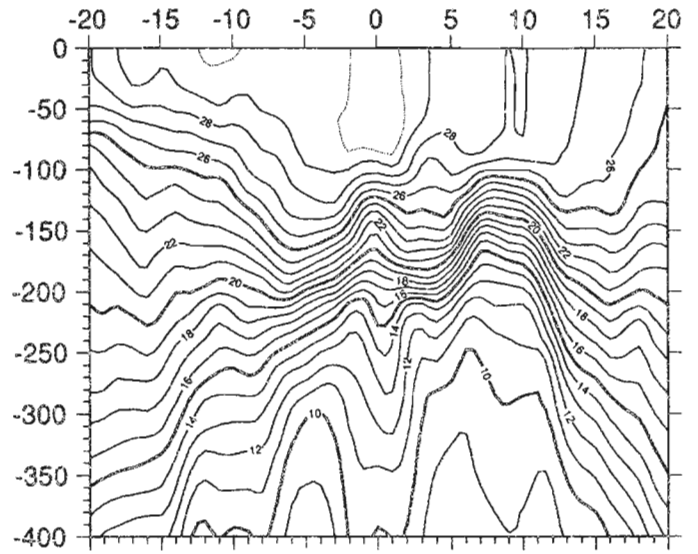


RAIL PACIFIQUE OUEST

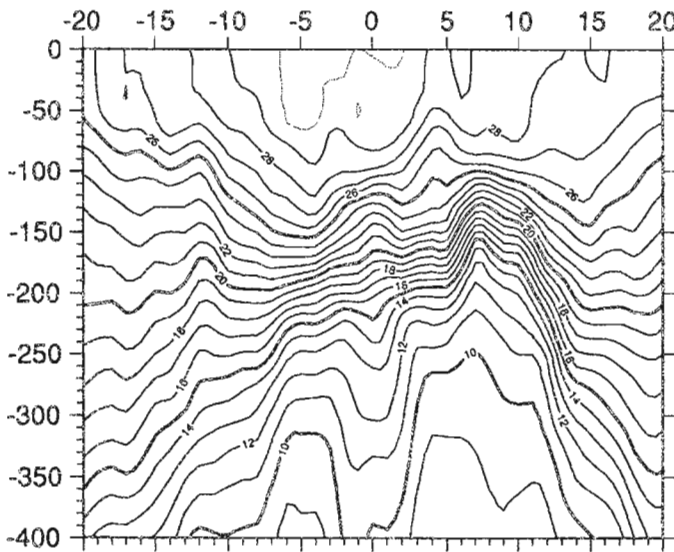
Janvier - Février 1980



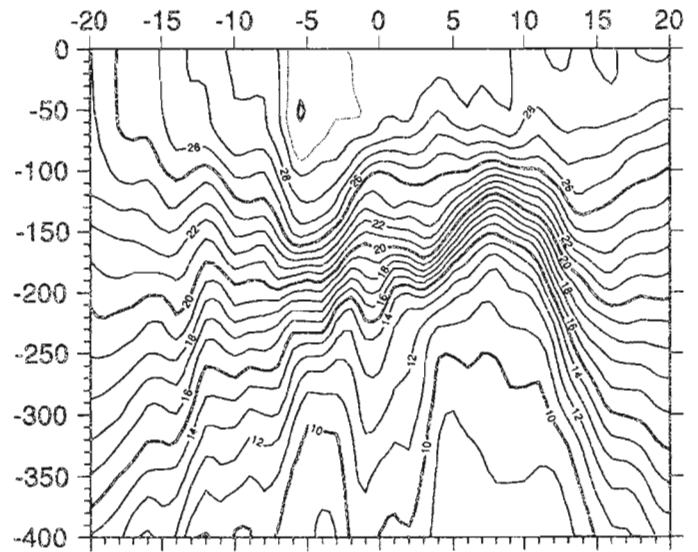
Mars - Avril 1980



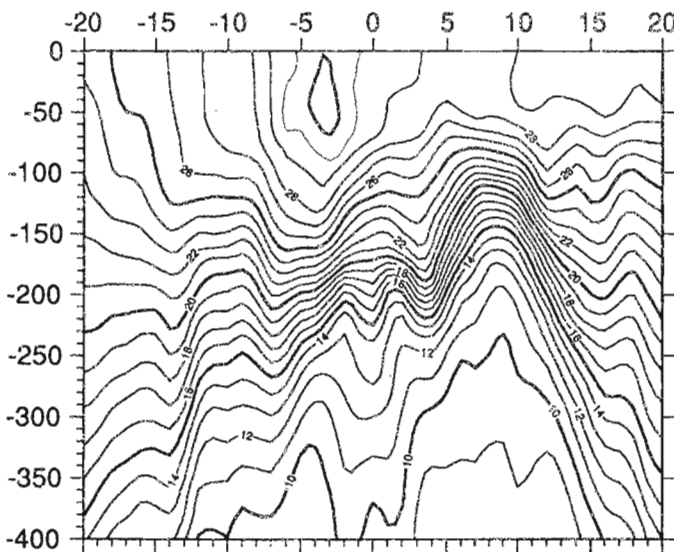
Mai - Juin 1980



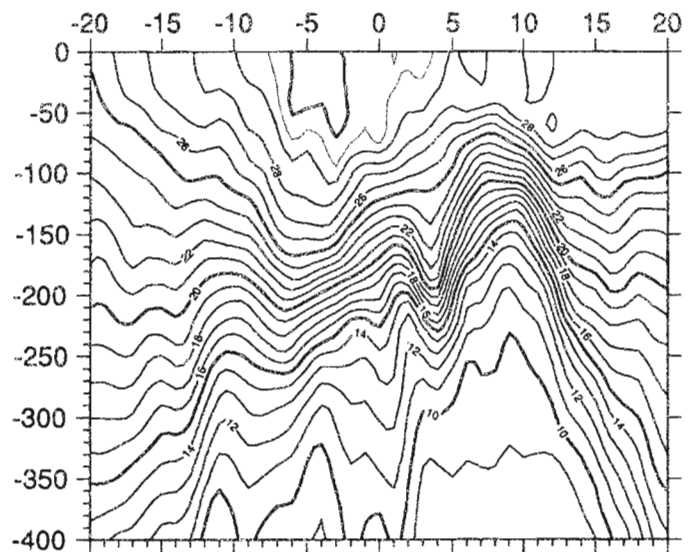
Juillet - Aout 1980



Septembre - Octobre 1980

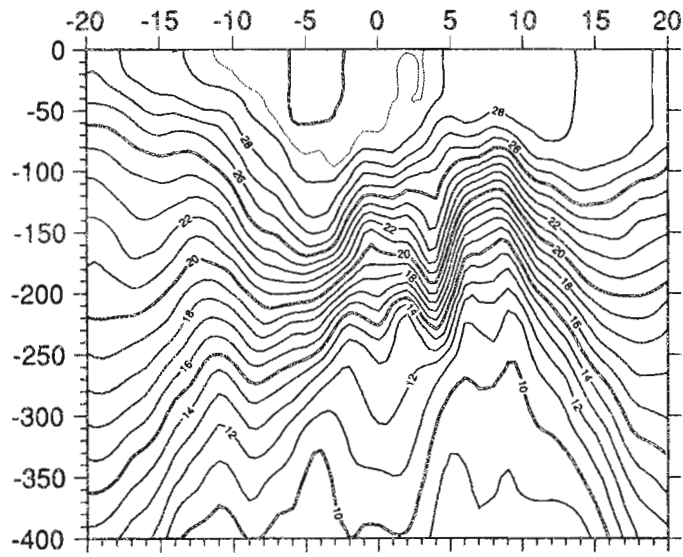


Novembre - Decembre 1980

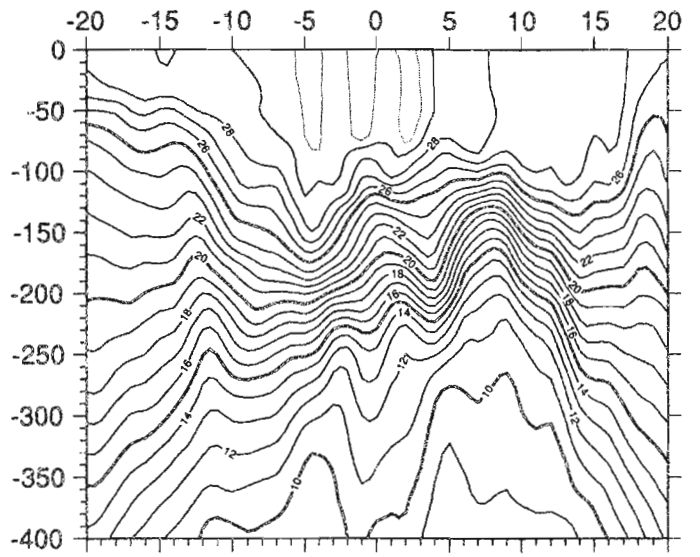


## RAIL PACIFIQUE OUEST

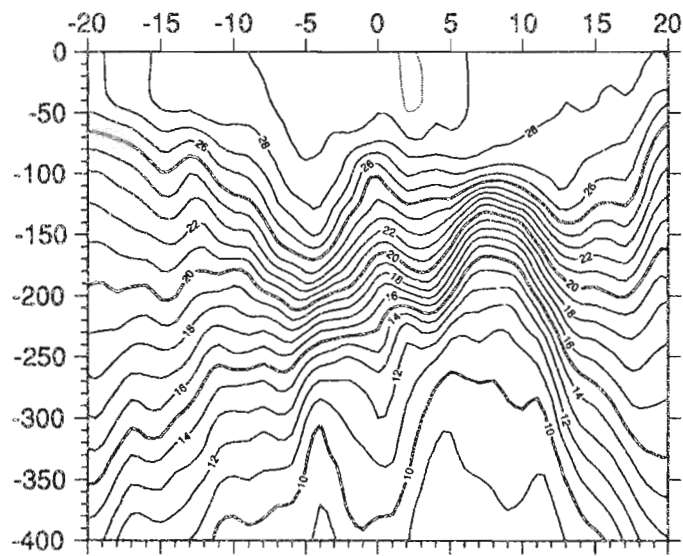
Janvier - Février 1981



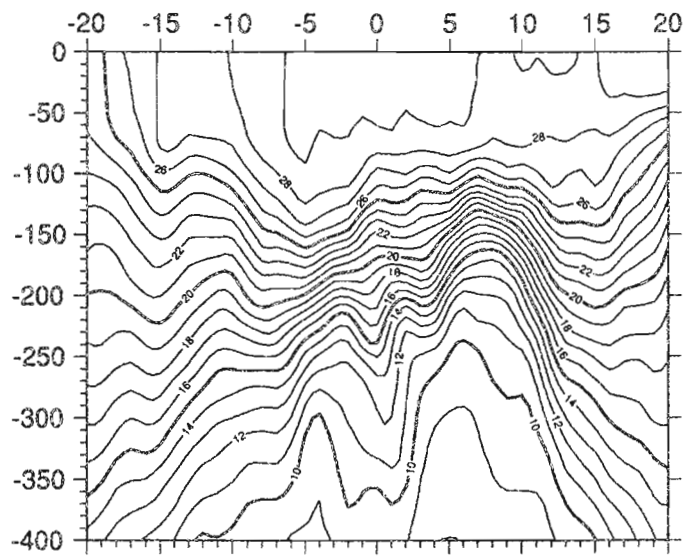
Mars - Avril 1981



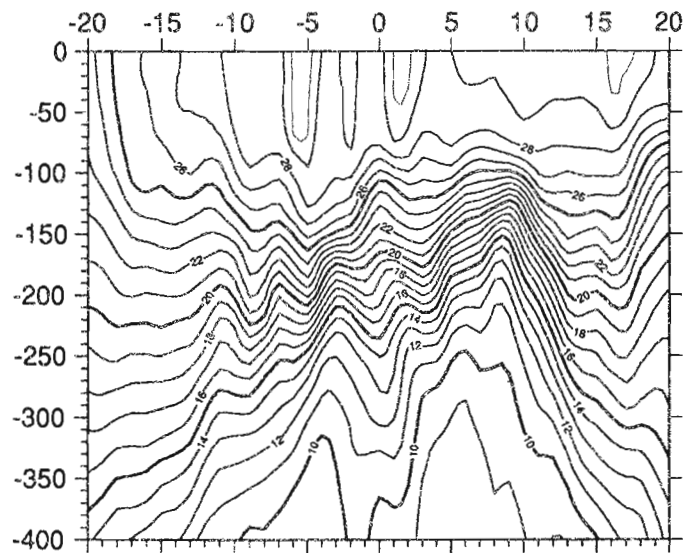
Mai - Juin 1981



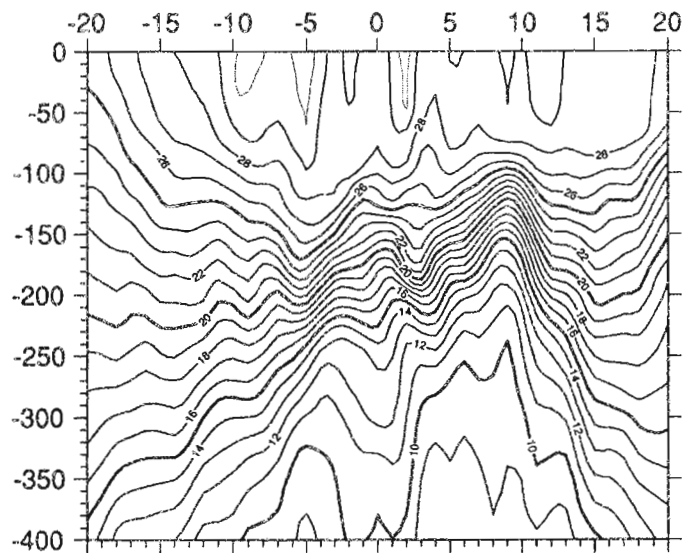
Juillet - Aout 1981



Septembre - Octobre 1981

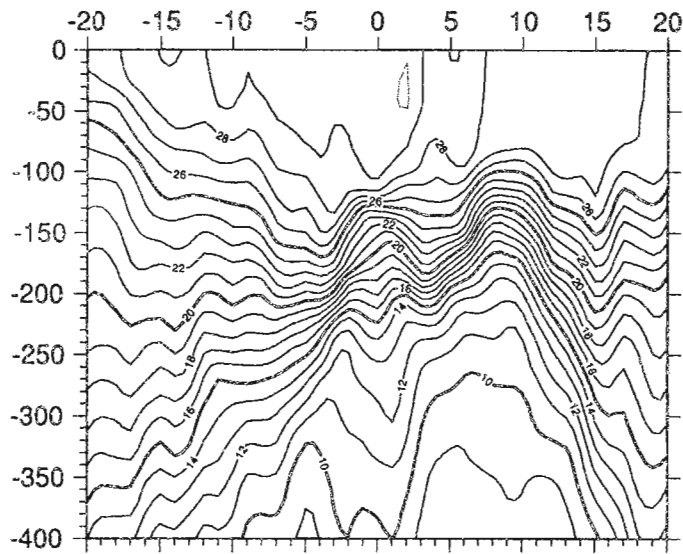


Novembre - Decembre 1981

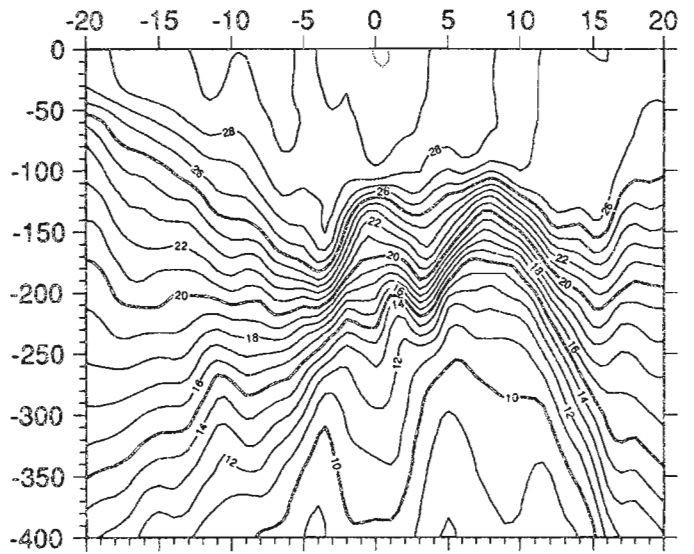


RAIL PACIFIQUE OUEST

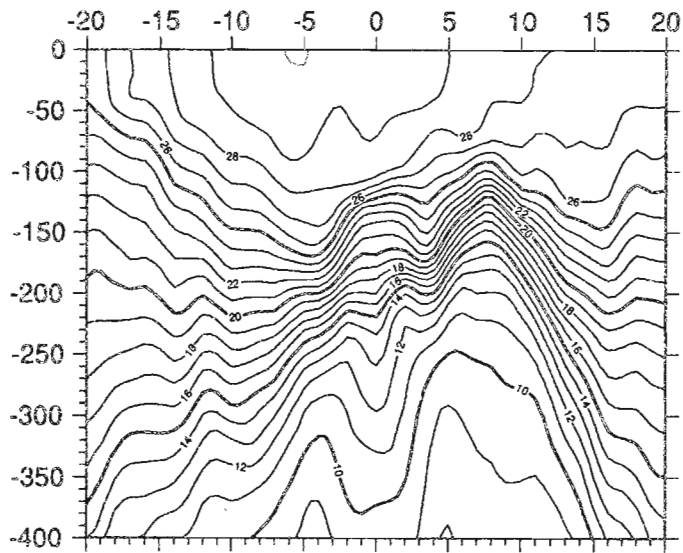
Janvier - Février 1982



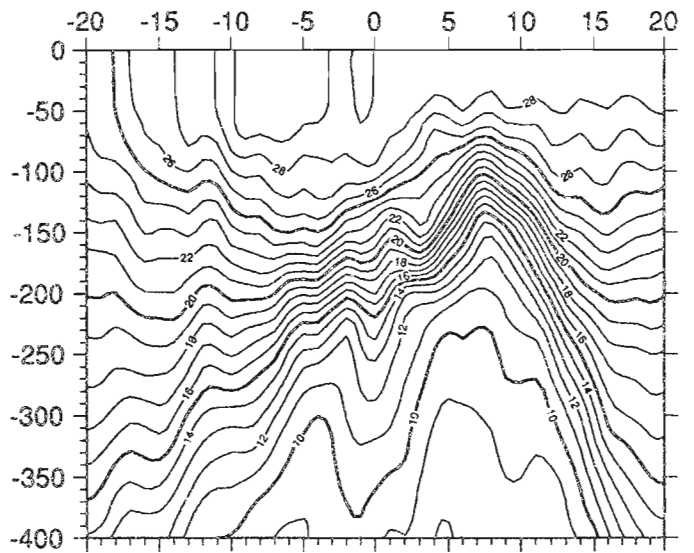
Mars - Avril 1982



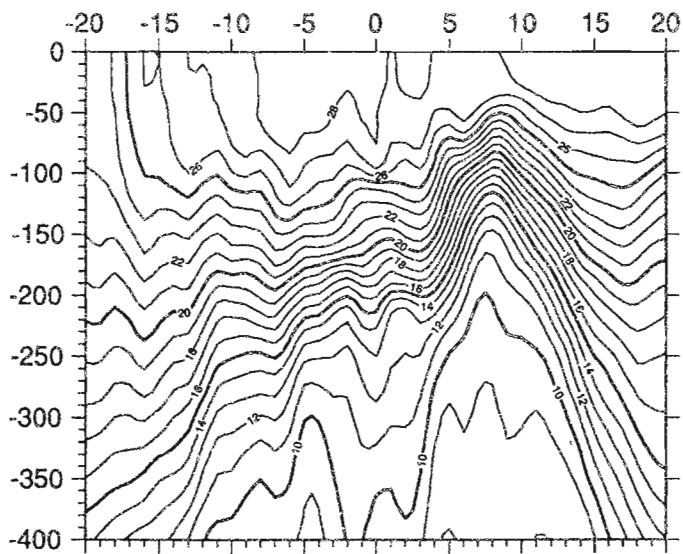
Mai - Juin 1982



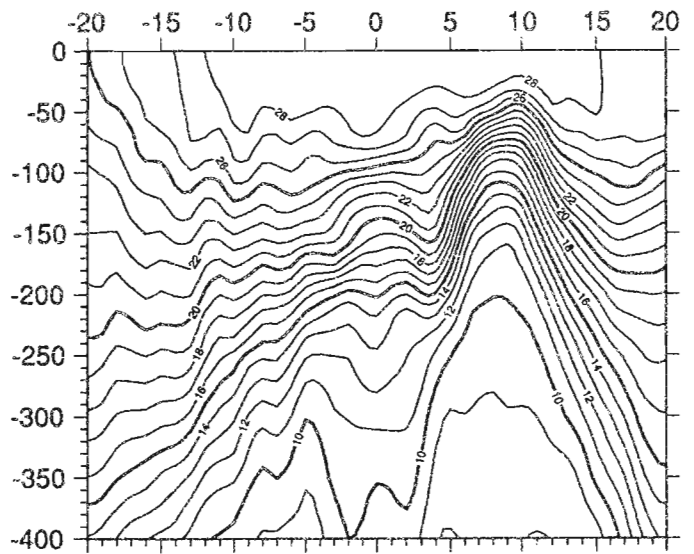
Juillet - Aout 1982



Septembre - Octobre 1982

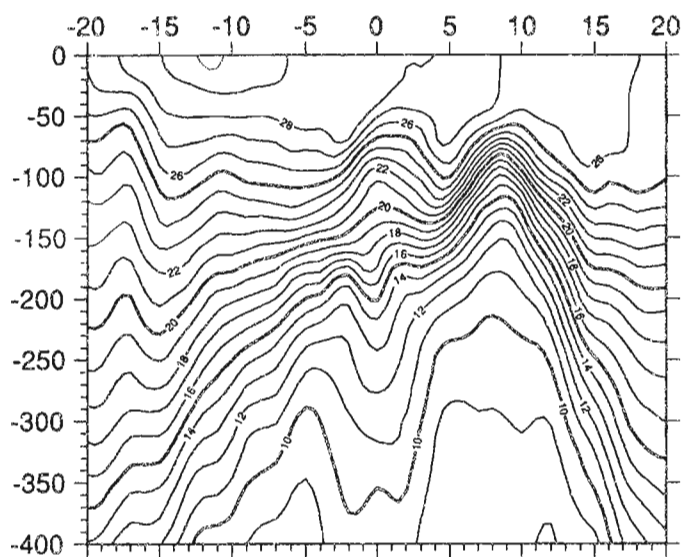


Novembre - Decembre 1982

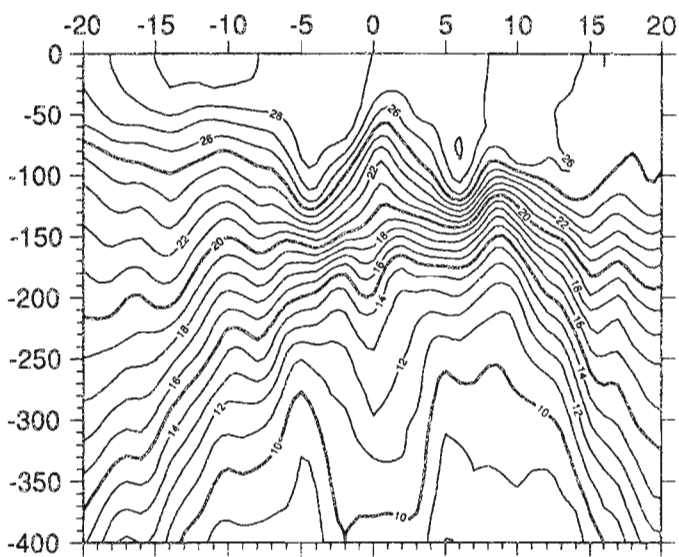


## RAIL PACIFIQUE OUEST

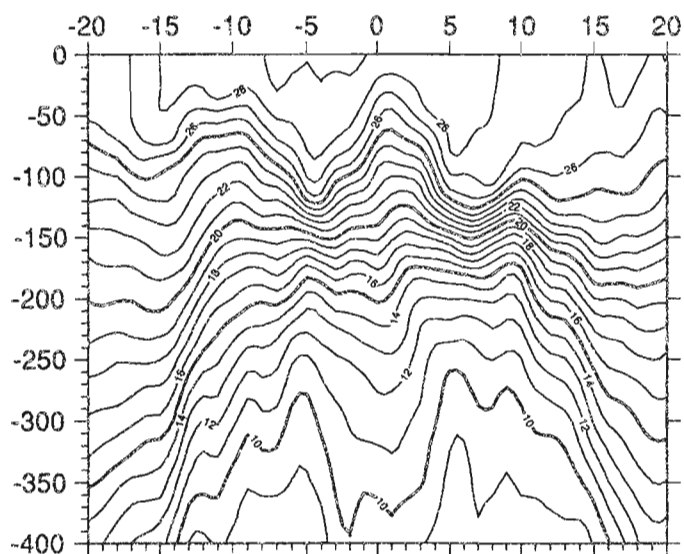
Janvier - Février 1983



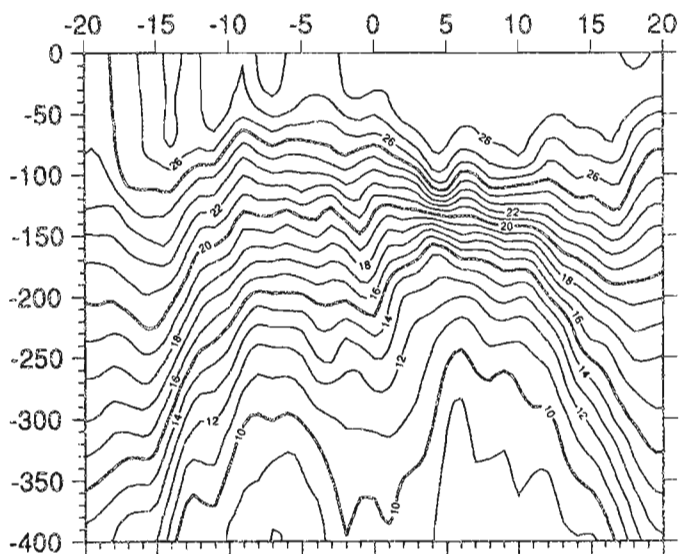
Mars - Avril 1983



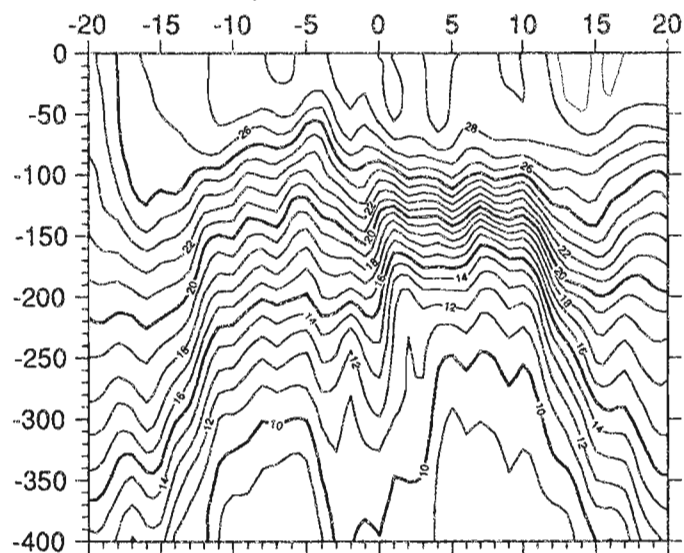
Mai - Juin 1983



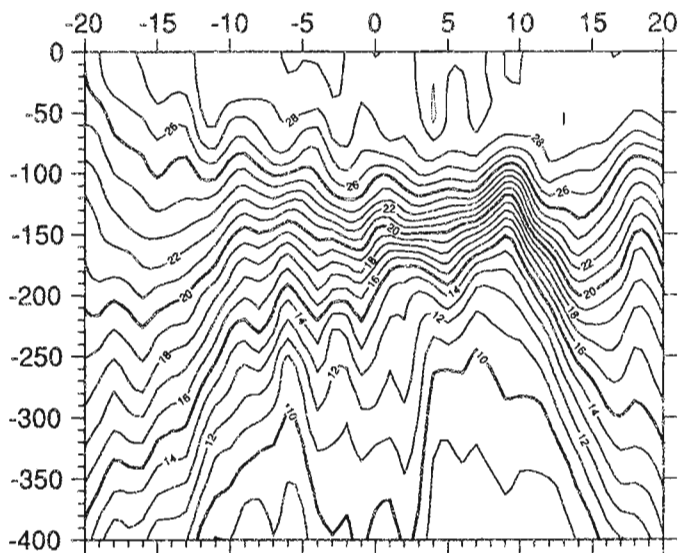
Juillet - Aout 1983



Septembre - Octobre 1983

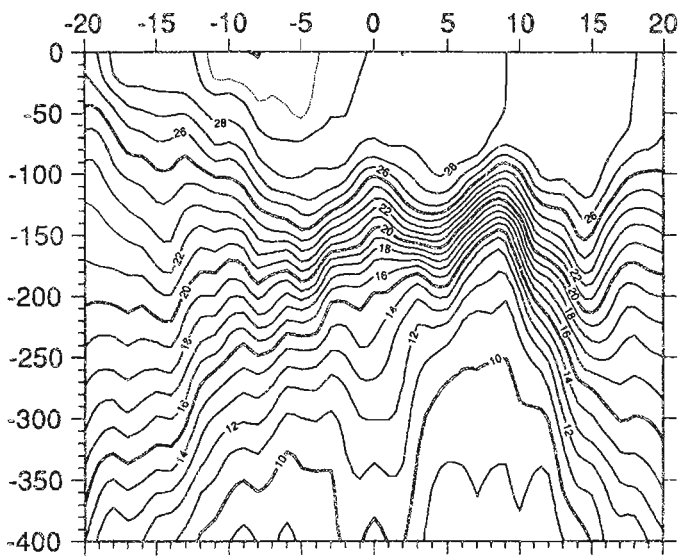


Novembre - Decembre 1983

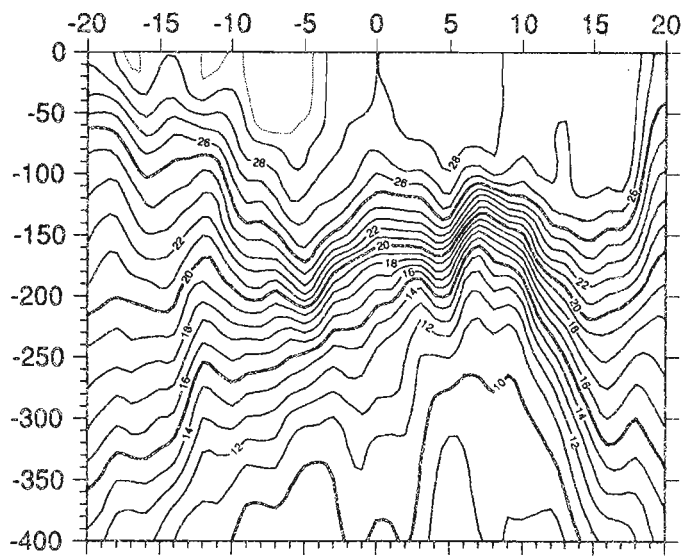


## RAIL PACIFIQUE OUEST

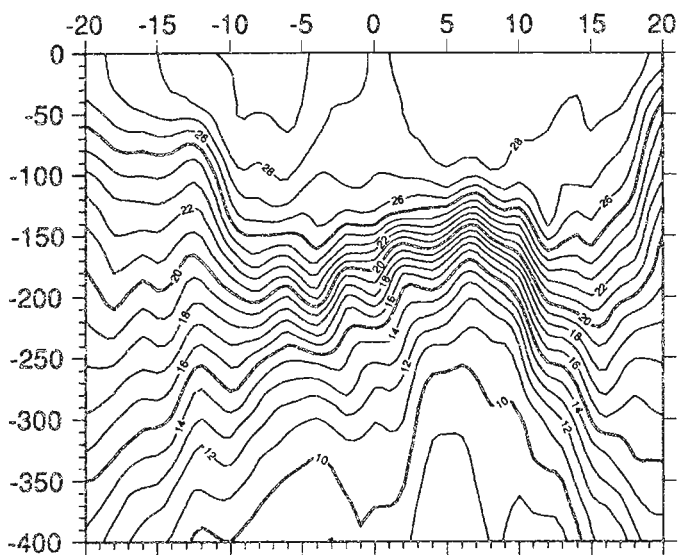
Janvier - Février 1984



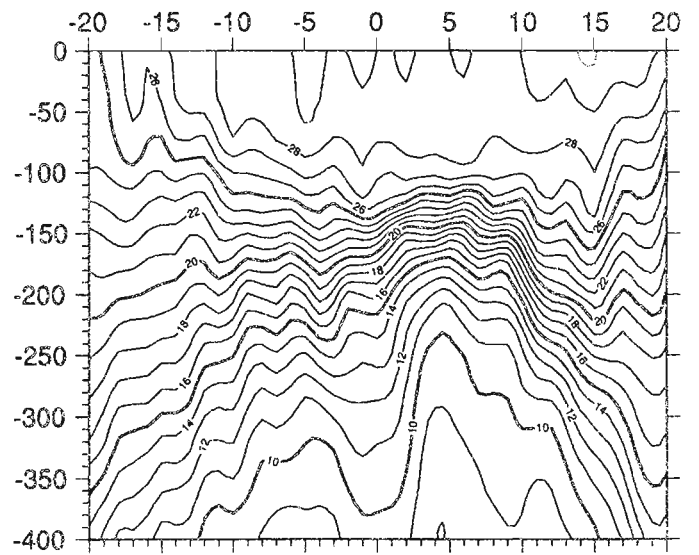
Mars - Avril 1984



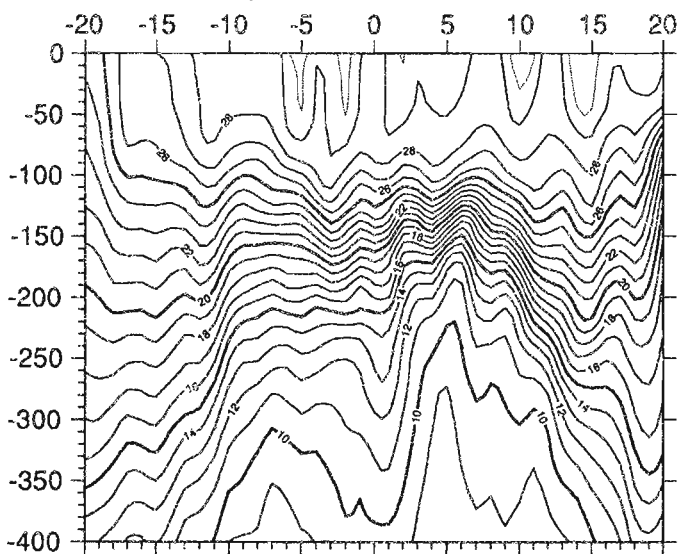
Mai - Juin 1984



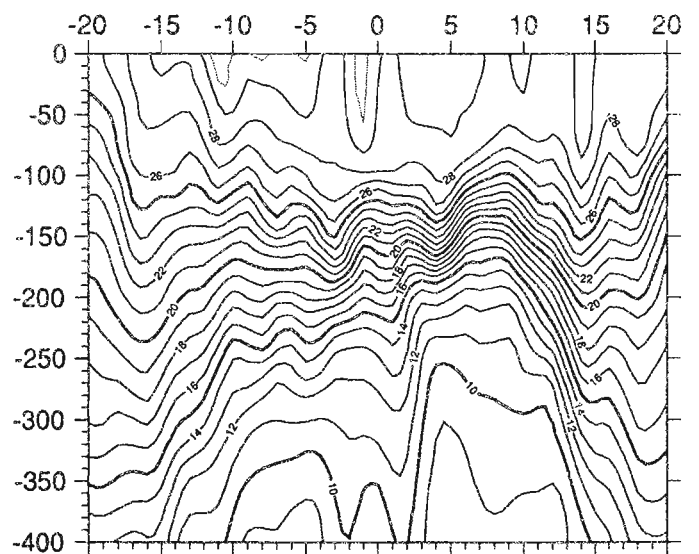
Juillet - Aout 1984



Septembre - Octobre 1984



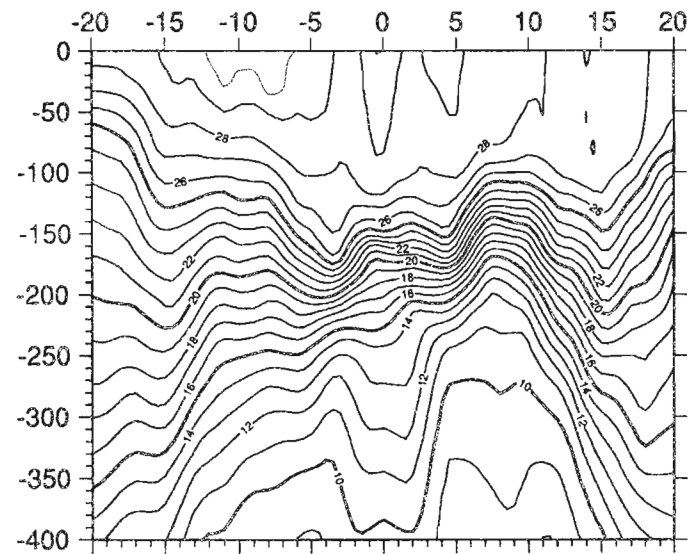
Novembre - Decembre 1984



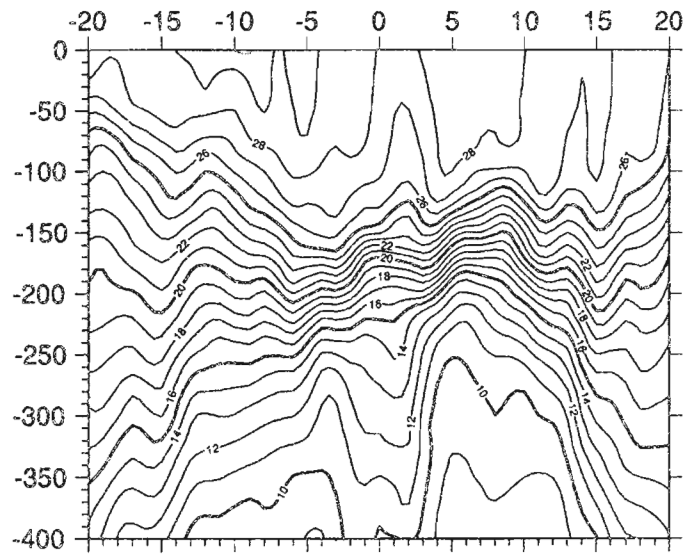


## RAIL PACIFIQUE OUEST

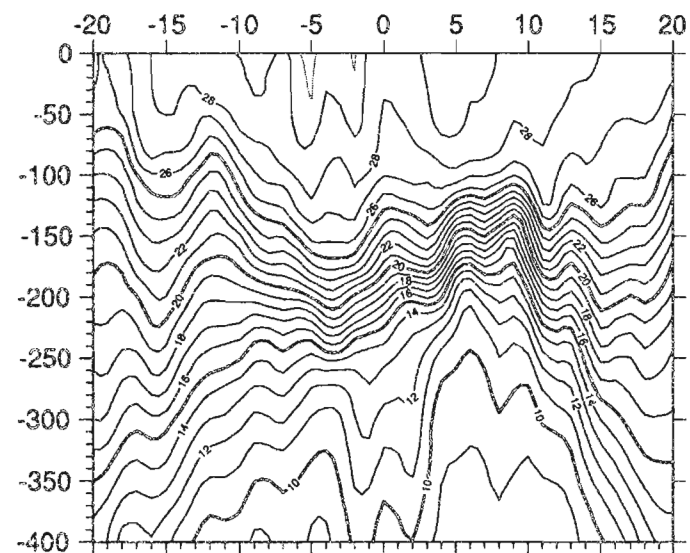
Janvier - Février 1985



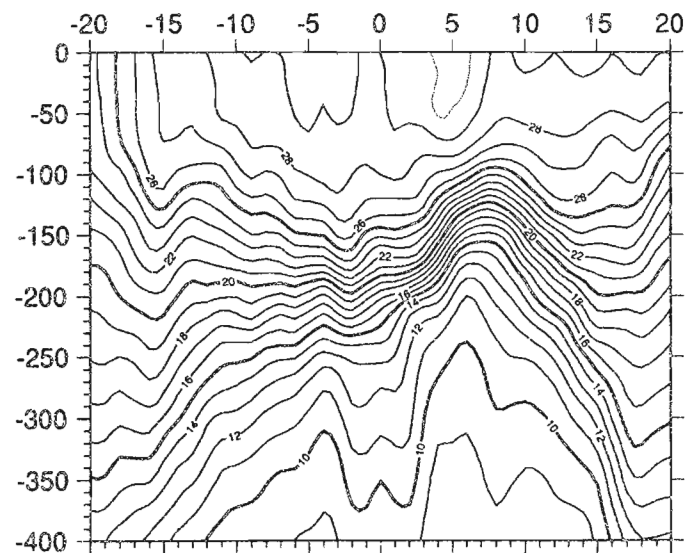
Mars - Avril 1985



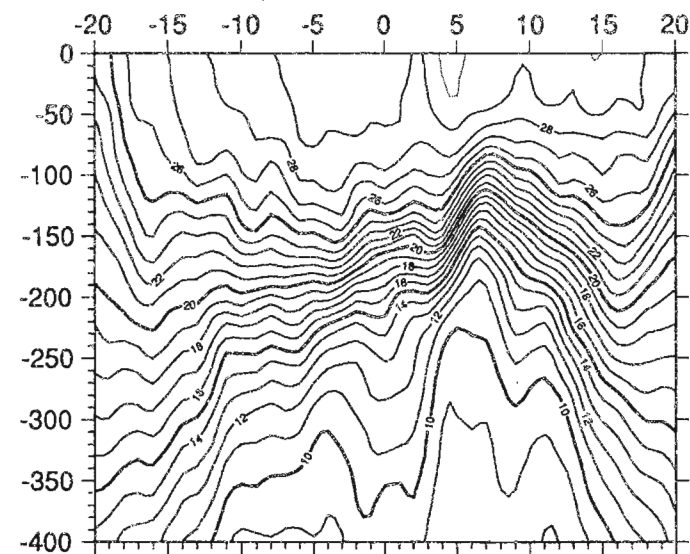
Mai - Juin 1985



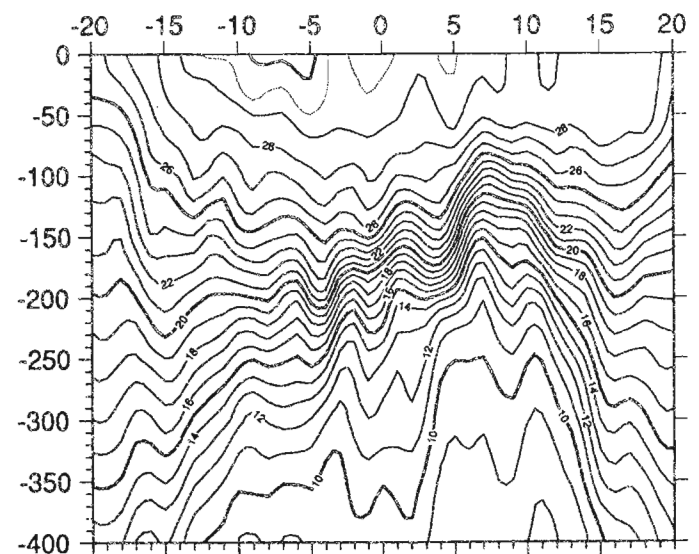
Juillet - Aout 1985



Septembre - Octobre 1985

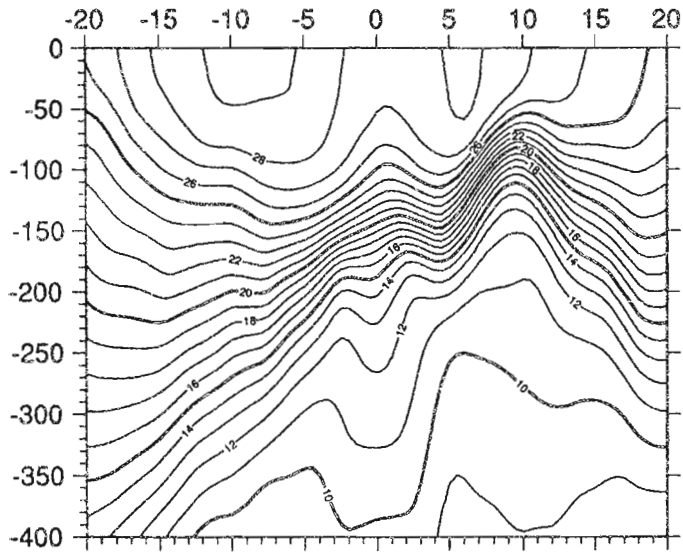


Novembre - Decembre 1985

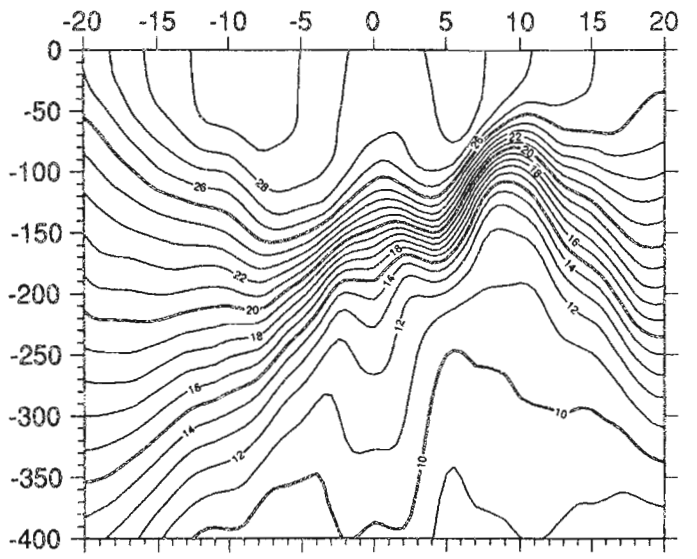


RAIL PACIFIQUE CENTRAL

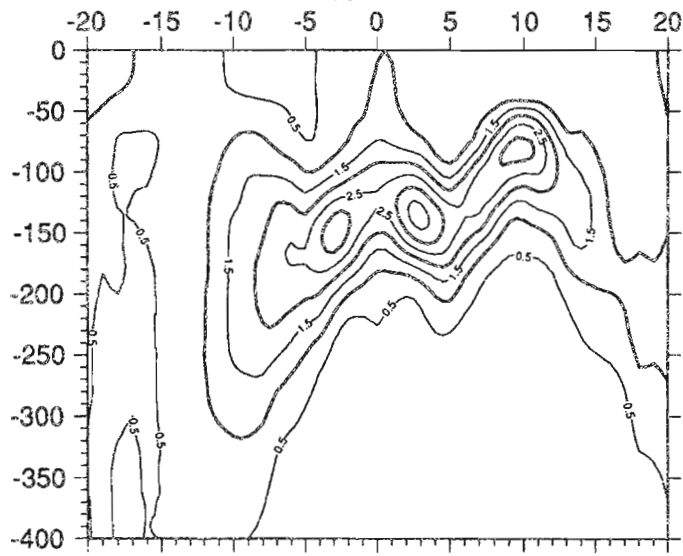
Moyenne 1979-1985



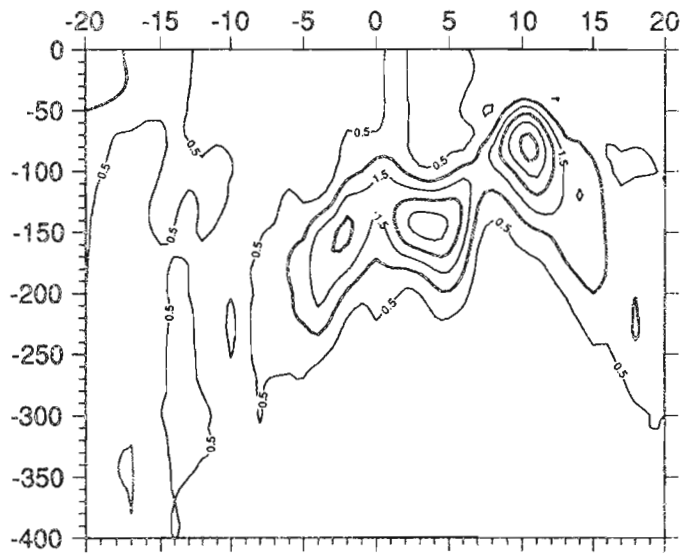
Moyenne 1979-1981



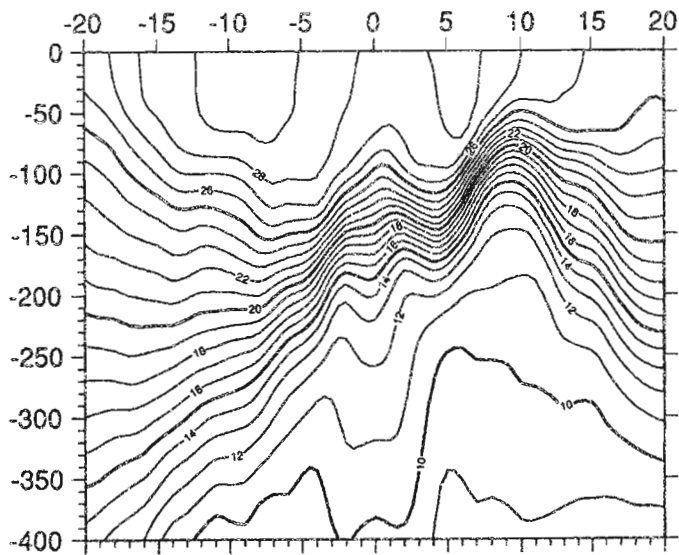
Ecart type 1979-1985



Ecart type 1979-1981

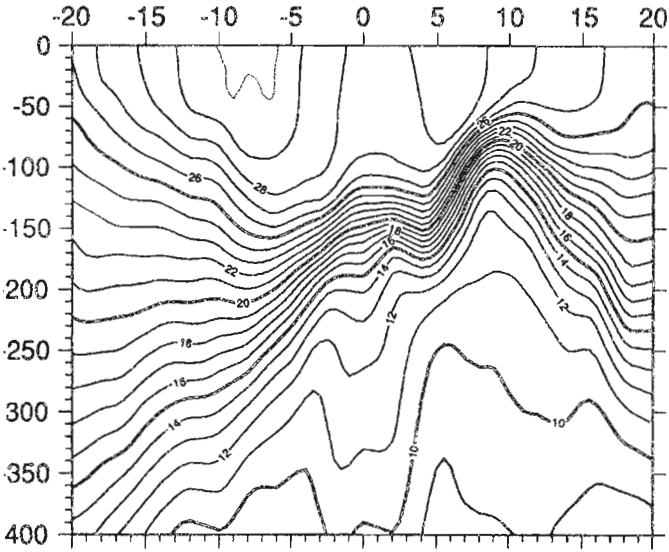


Moyenne 1979

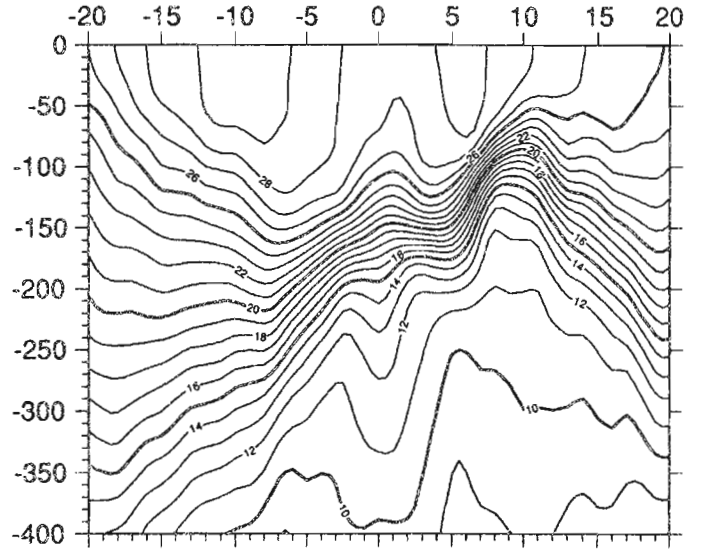


RAIL PACIFIQUE CENTRAL

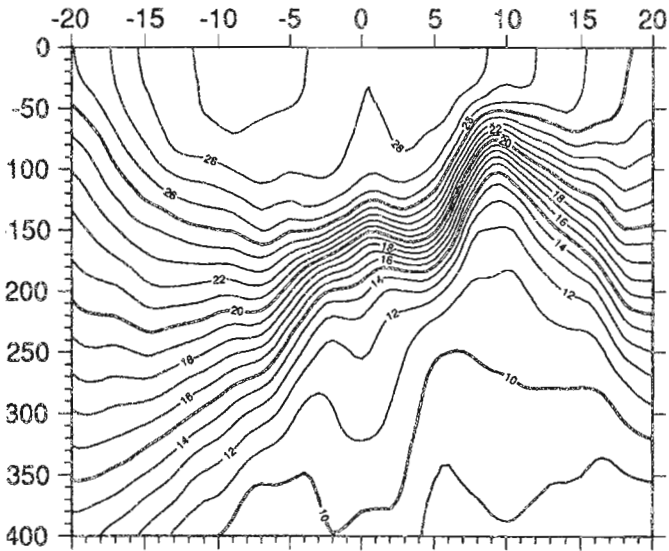
Moyenne 1980



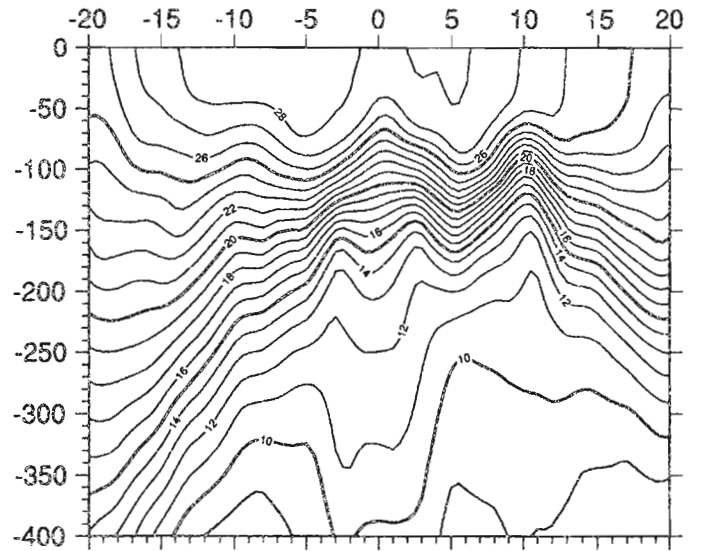
Moyenne 1981



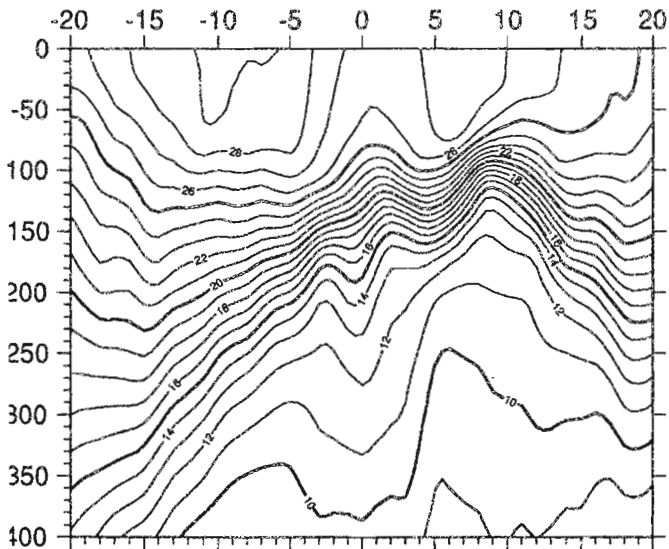
Moyenne 1982



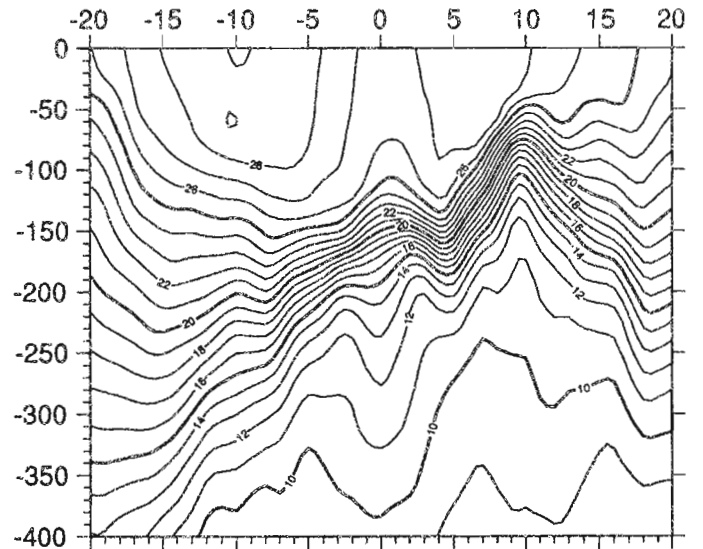
Moyenne 1983



Moyenne 1984

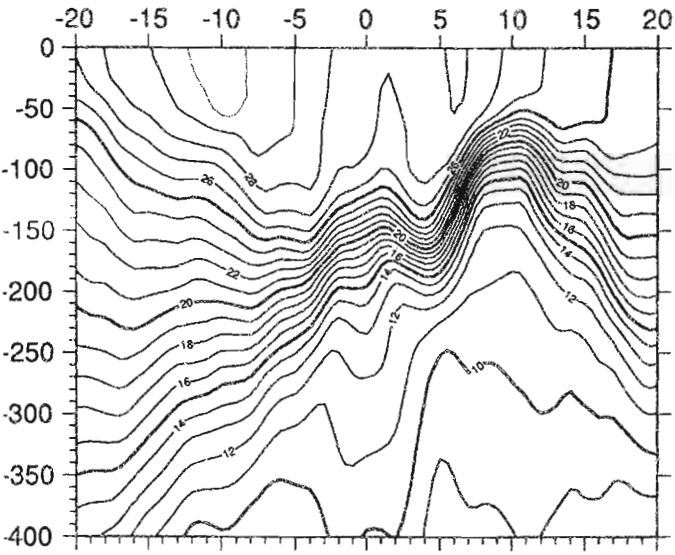


Moyenne 1985

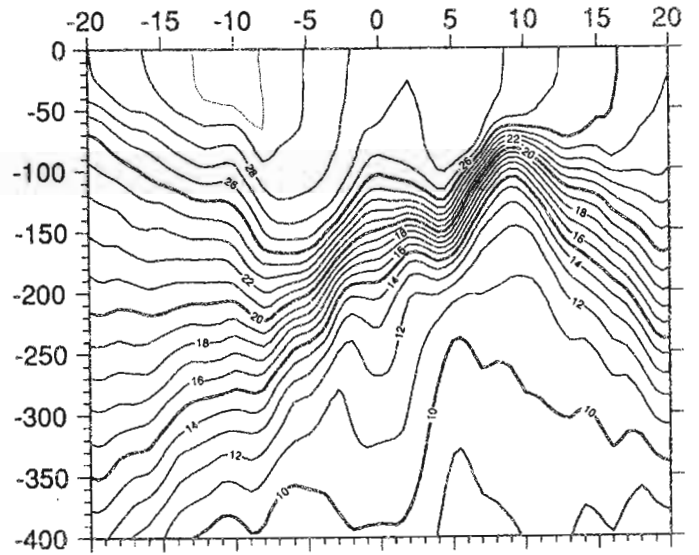


RAIL PACIFIQUE CENTRAL  
ANNEE MOYENNE

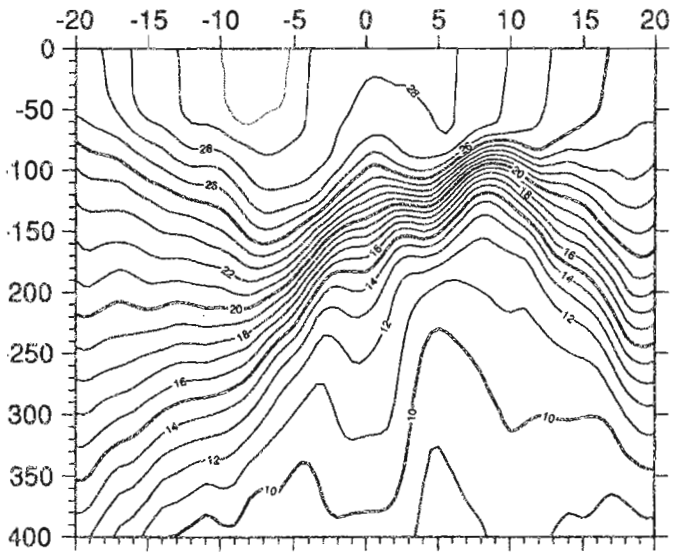
Janvier-Fevrier



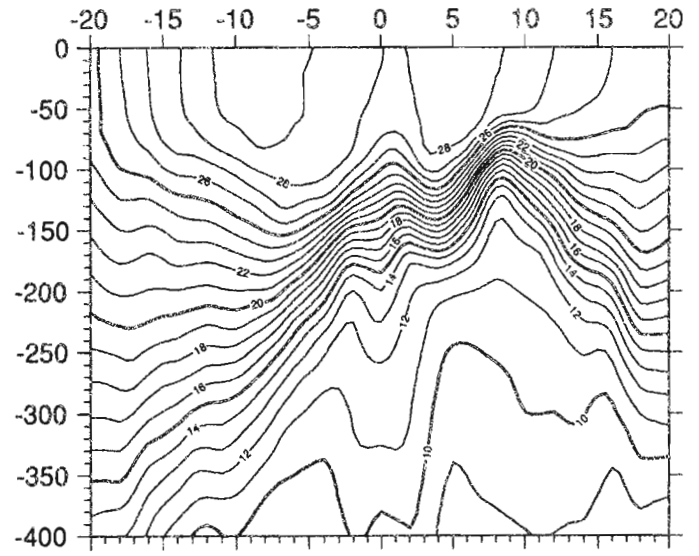
Mars-Avril



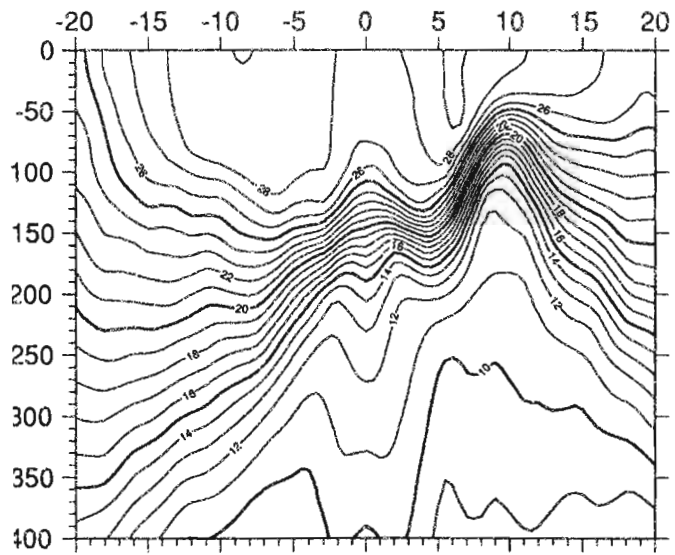
Mai-Juin



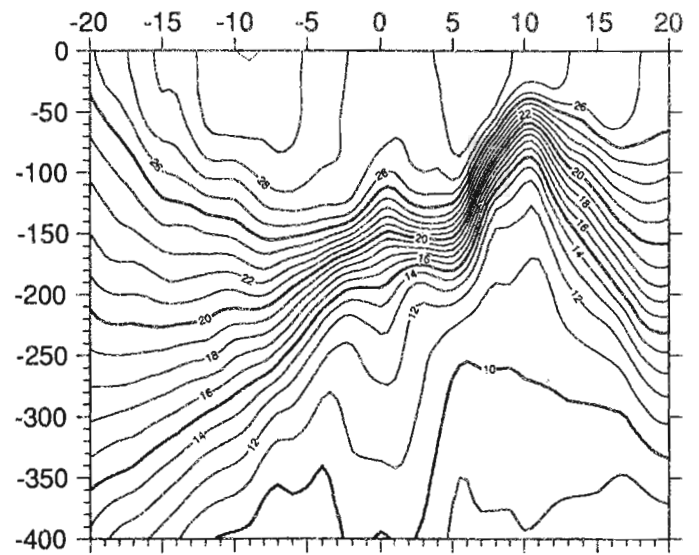
Juillet-Aout



Septembre-Octobre

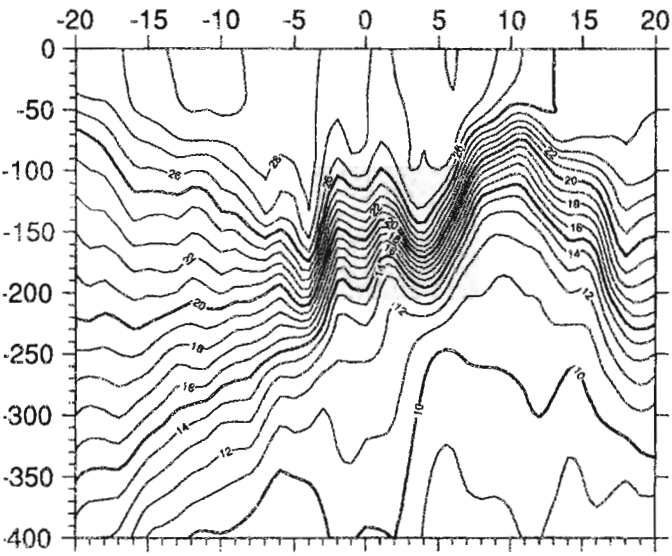


Novembre-Decembre

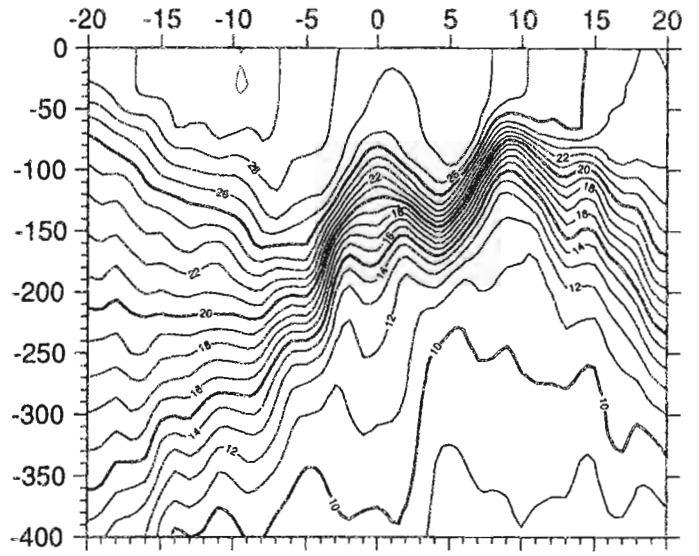


RAIL PACIFIQUE CENTRAL

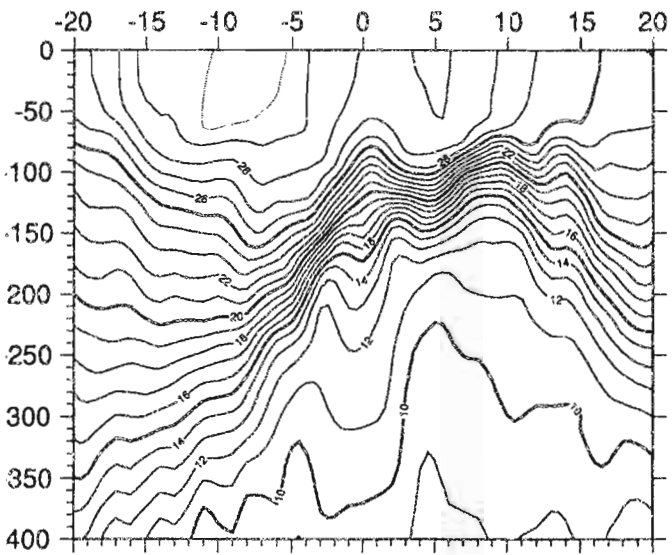
Janvier - Février 1979



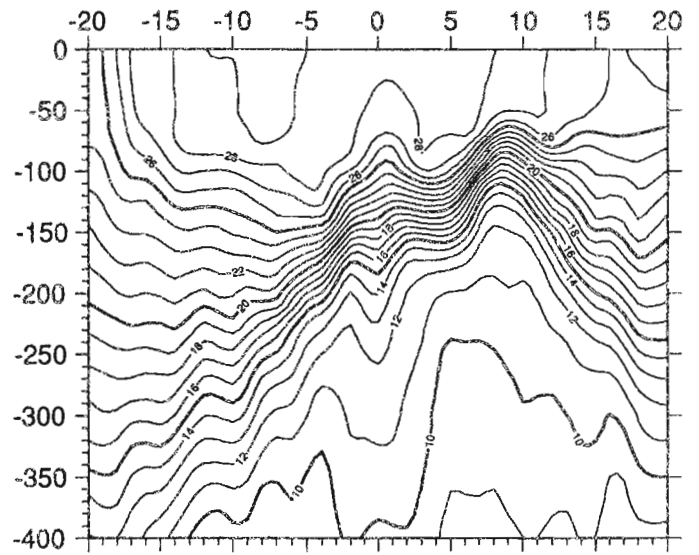
Mars - Avril 1979



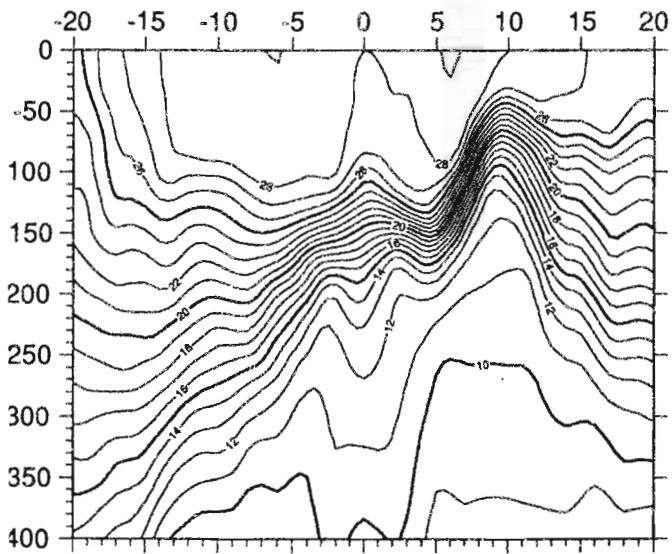
Mai - Juin 1979



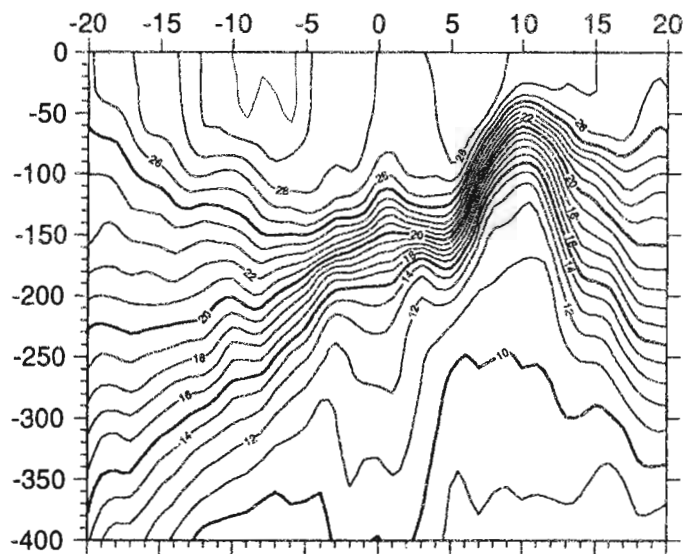
Juillet - Aout 1979



Septembre - Octobre 1979

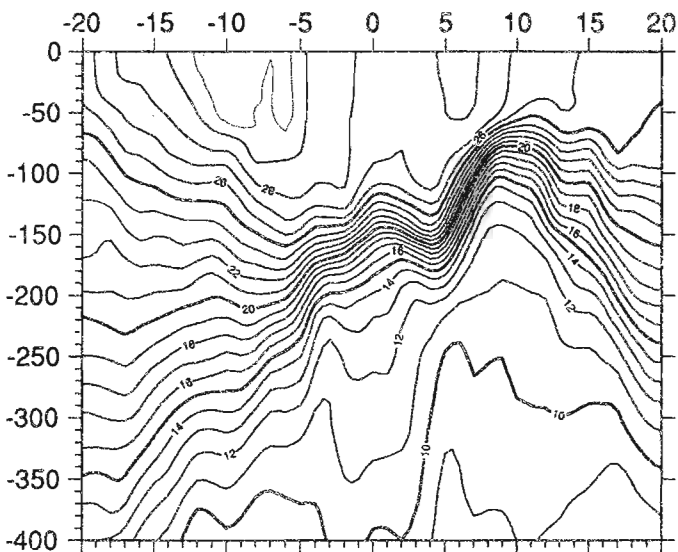


Novembre - Decembre 1979

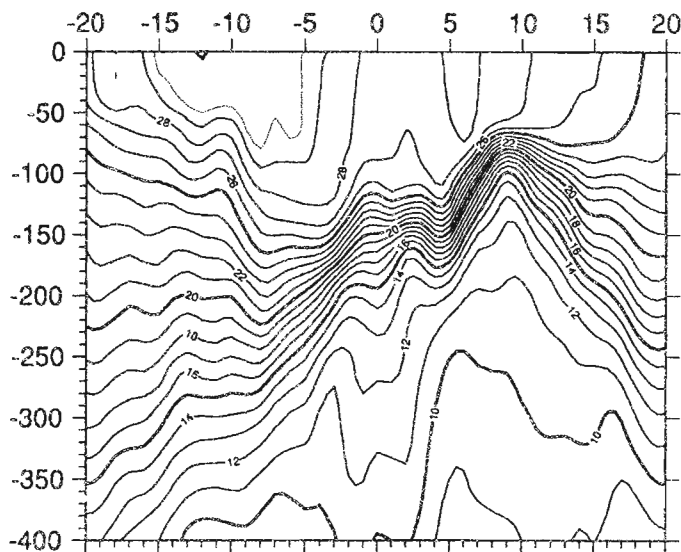


### RAIL PACIFIQUE CENTRAL

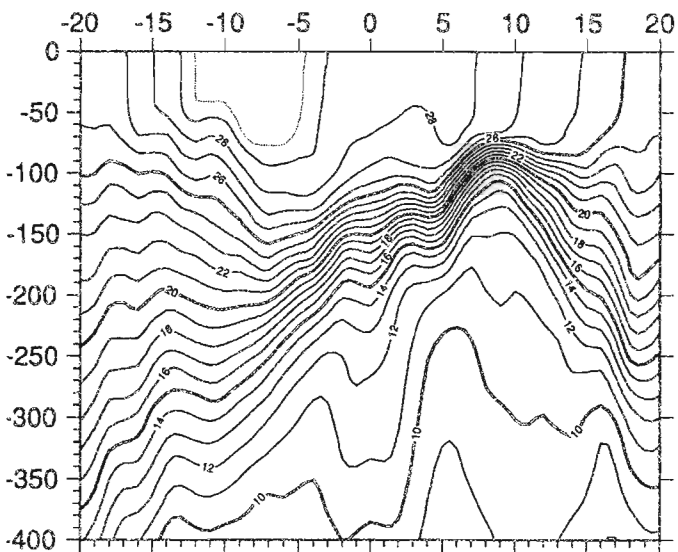
Janvier - Février 1980



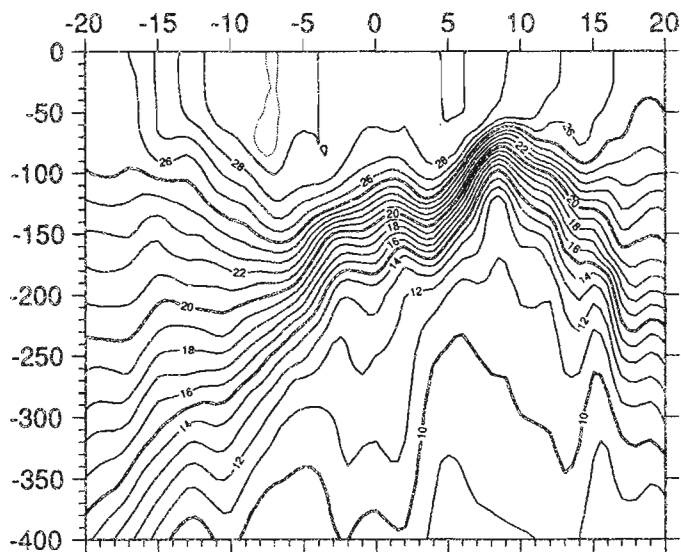
Mars - Avril 1980



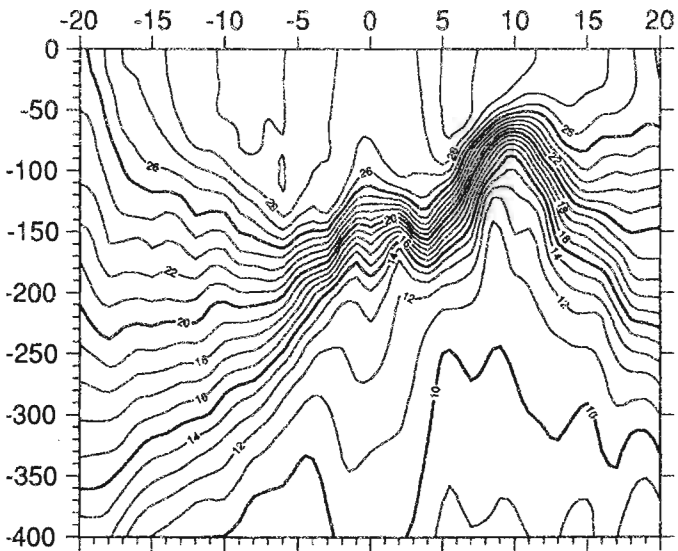
Mai - Juin 1980



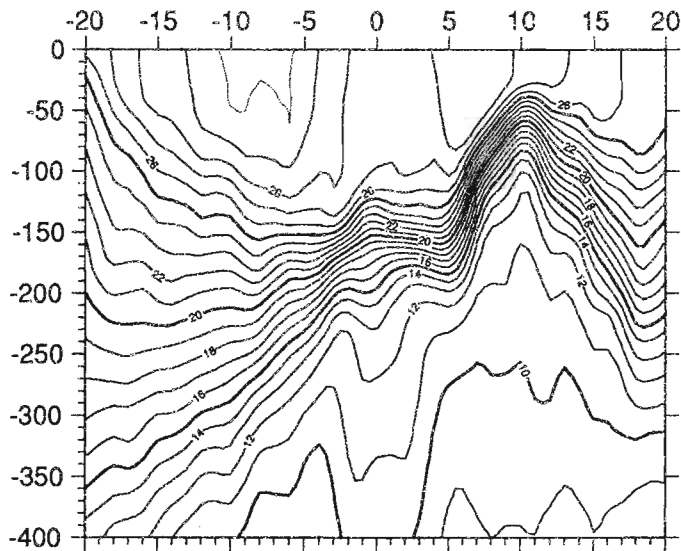
Juillet - Aout 1980



Septembre - Octobre 1980

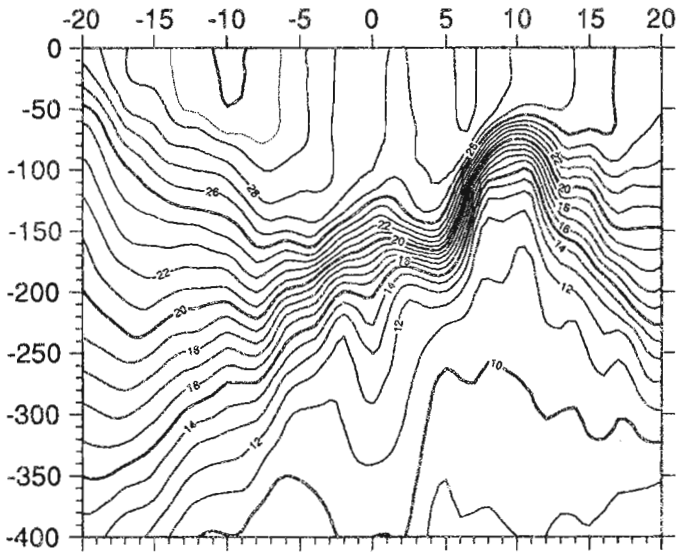


Novembre - Decembre 1980

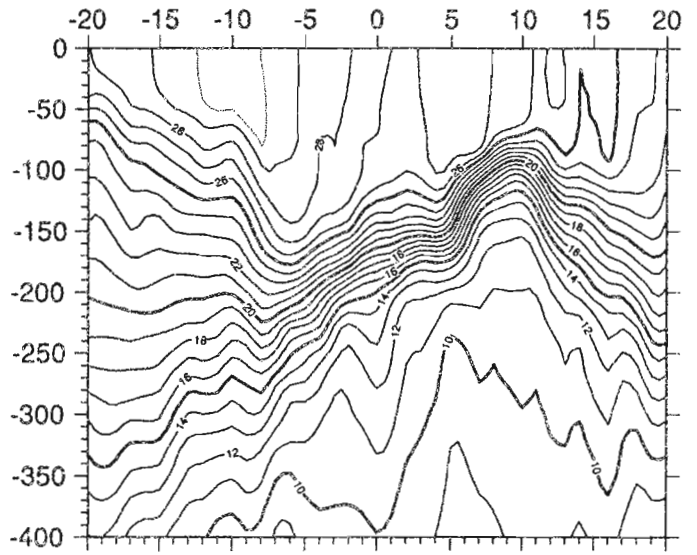


RAIL PACIFIQUE CENTRAL

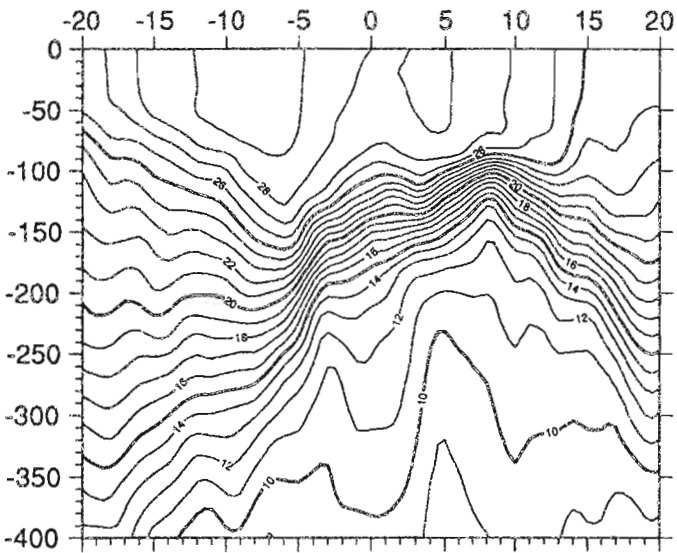
Janvier - Février 1981



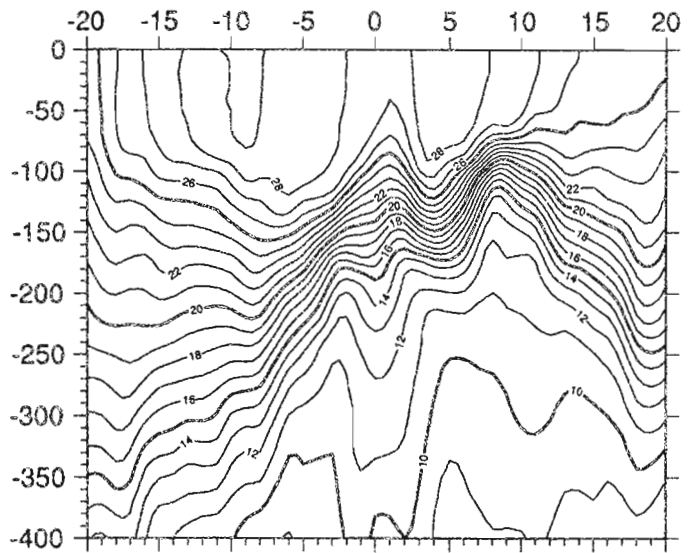
Mars - Avril 1981



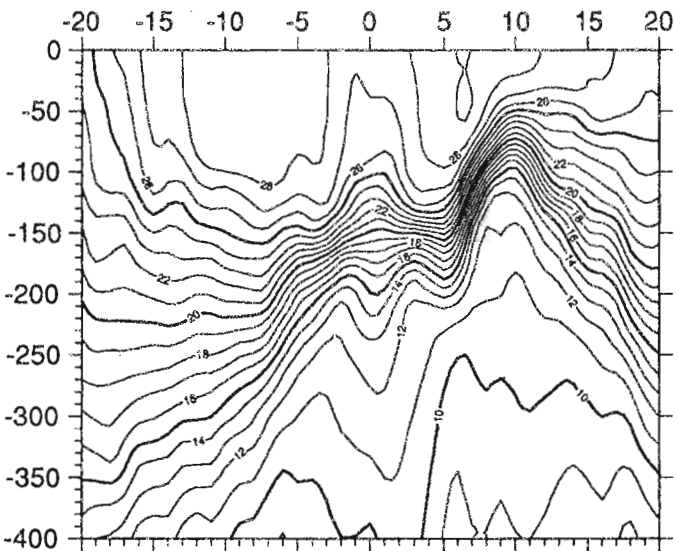
Mai - Juin 1981



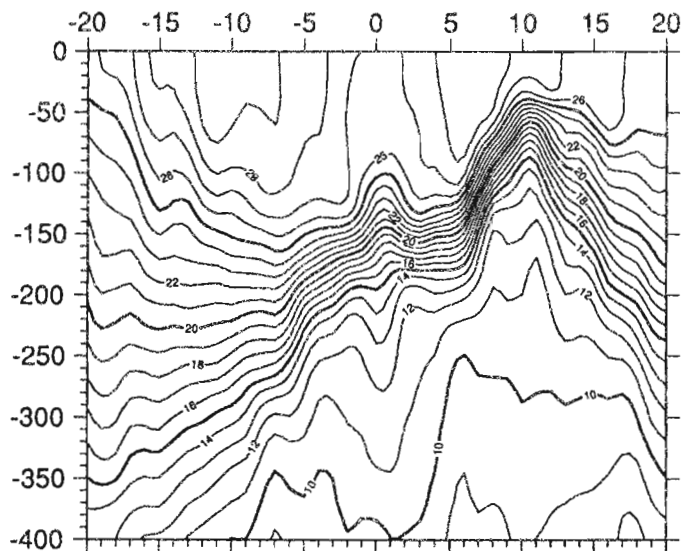
Juillet - Aout 1981



Septembre - Octobre 1981

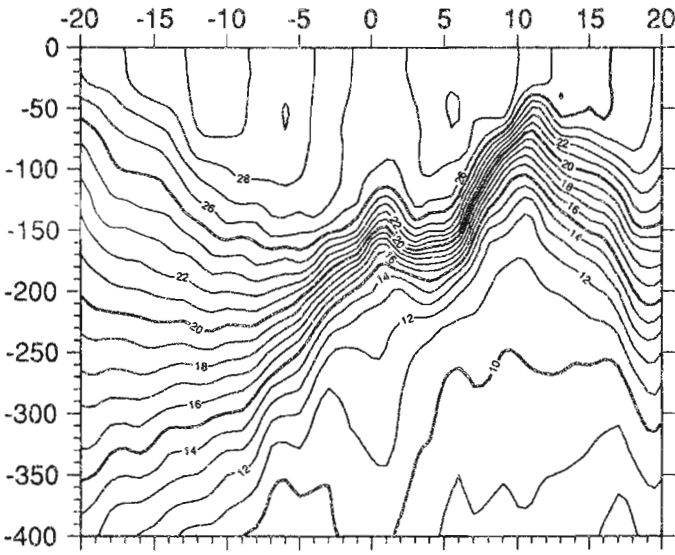


Novembre - Decembre 1981

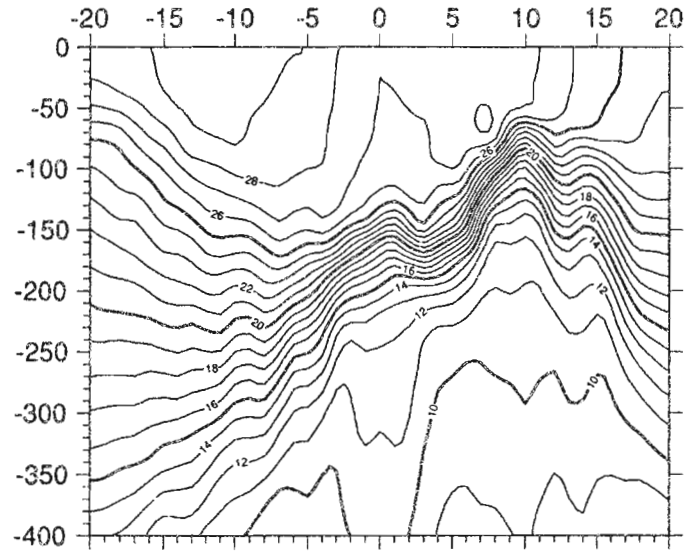


### RAIL PACIFIQUE CENTRAL

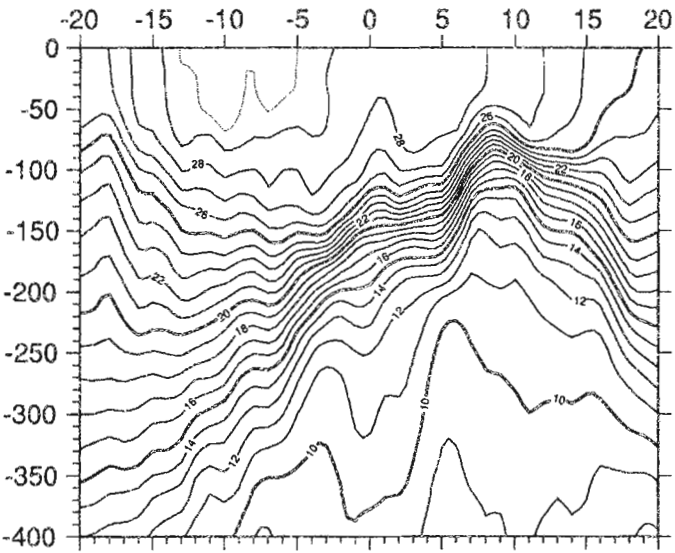
Janvier - Février 1982



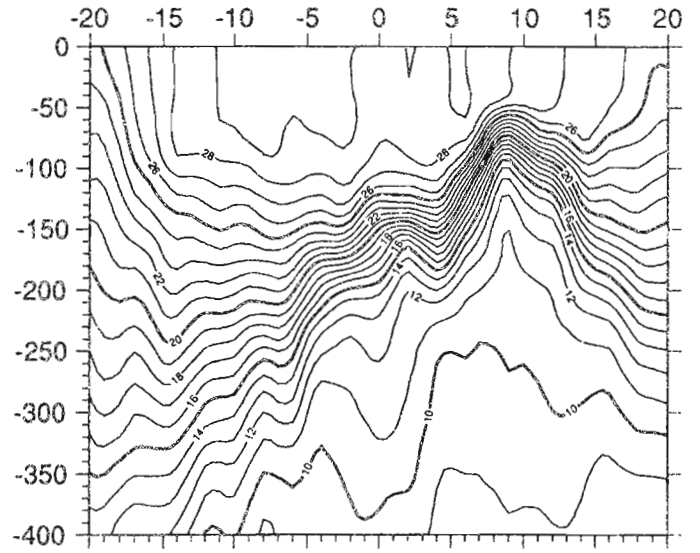
Mars - Avril 1982



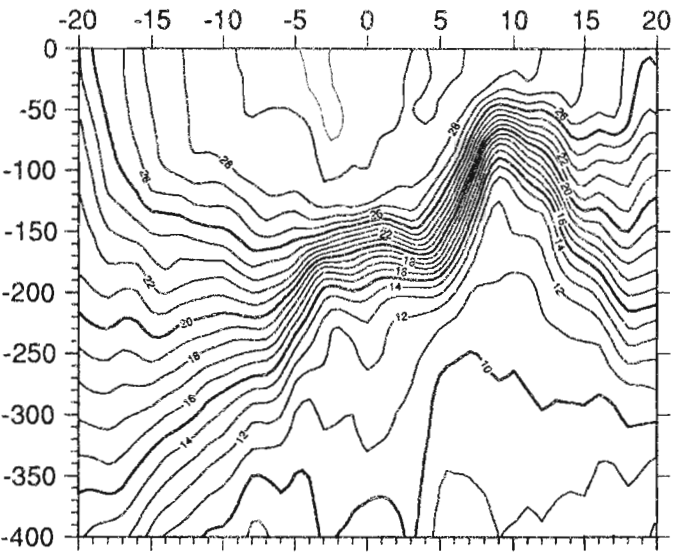
Mai - Juin 1982



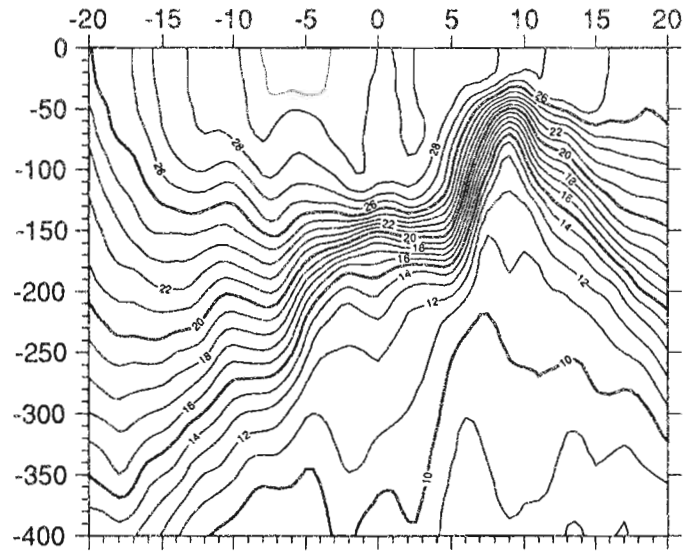
Juillet - Aout 1982



Septembre - Octobre 1982



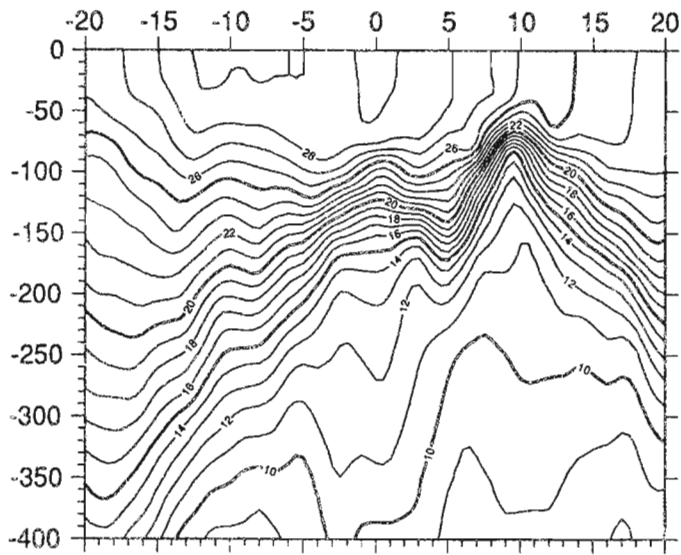
Novembre - Decembre 1982



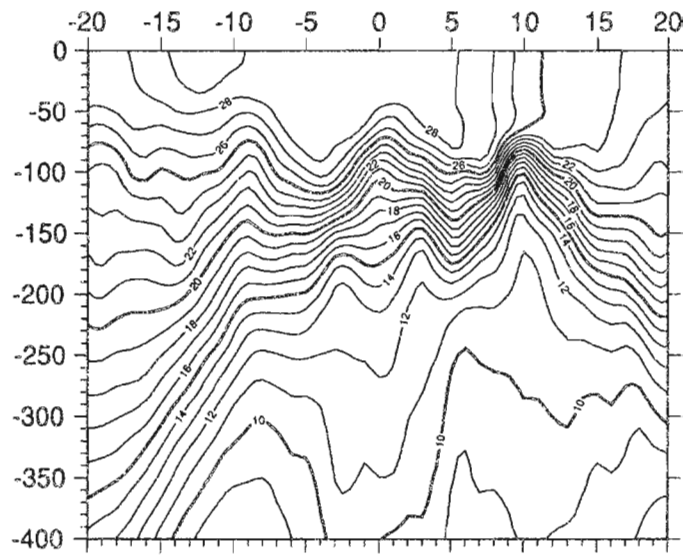


## RAIL PACIFIQUE CENTRAL

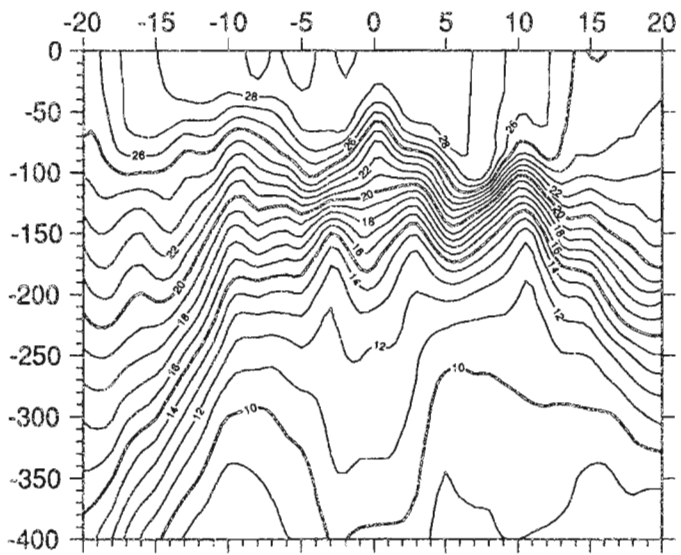
Janvier - Février 1983



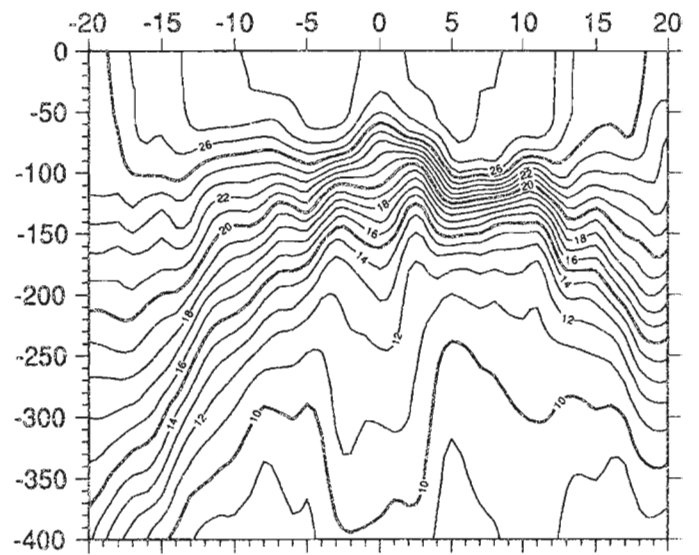
Mars - Avril 1983



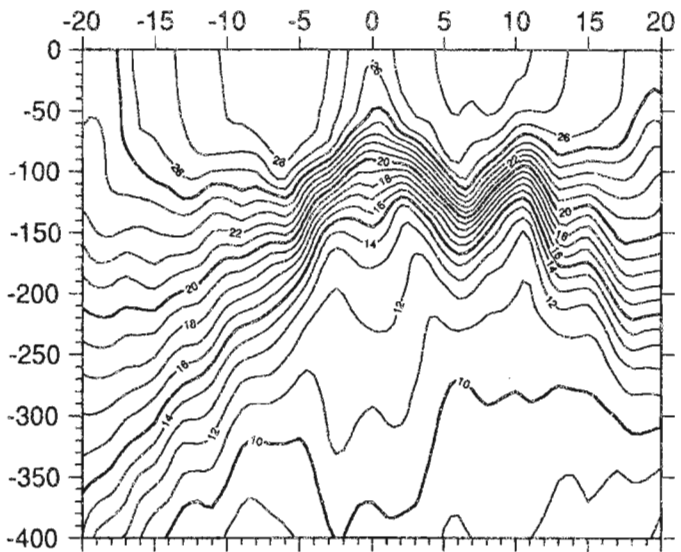
Mai - Juin 1983



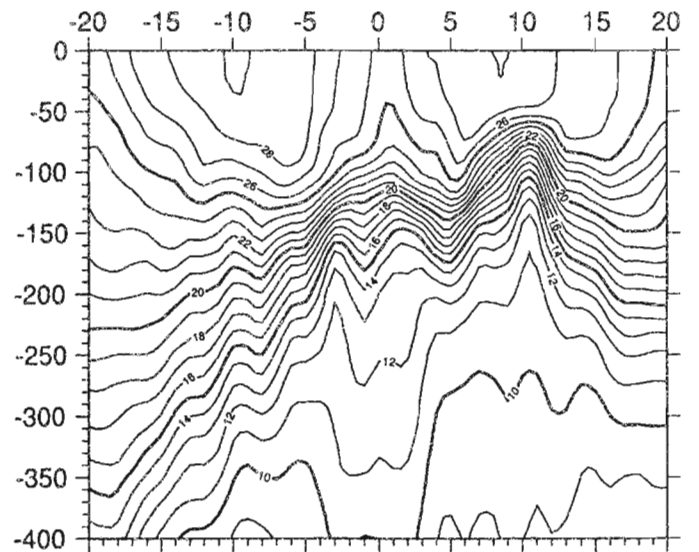
Juillet - Aout 1983



Septembre - Octobre 1983

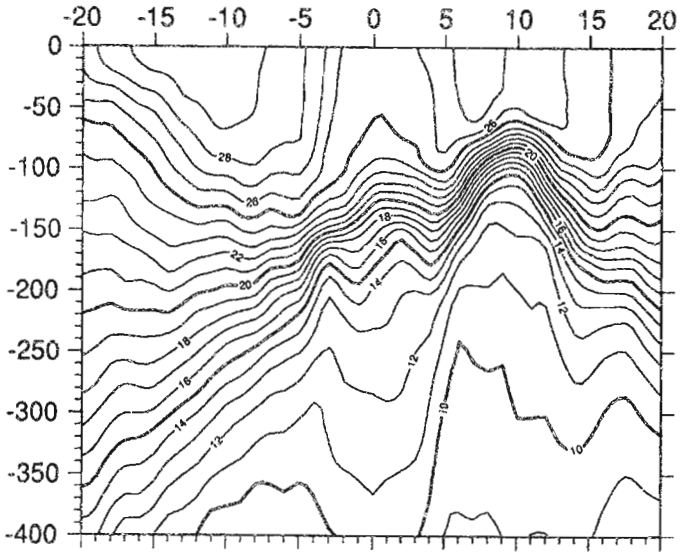


Novembre - Decembre 1983

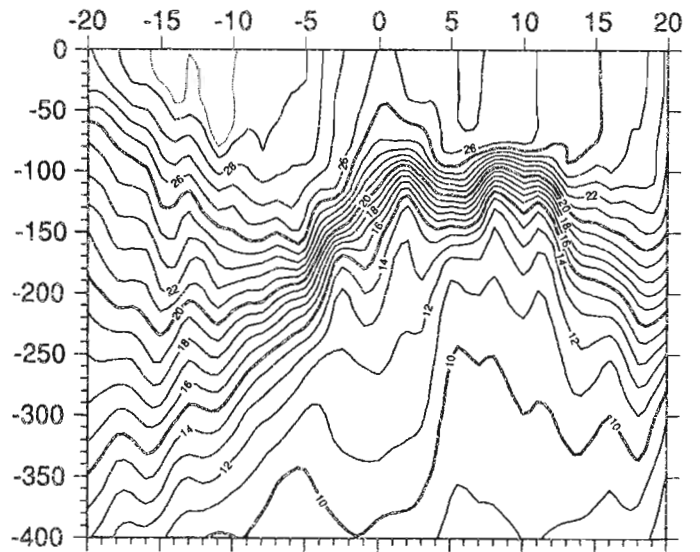


### RAIL PACIFIQUE CENTRAL

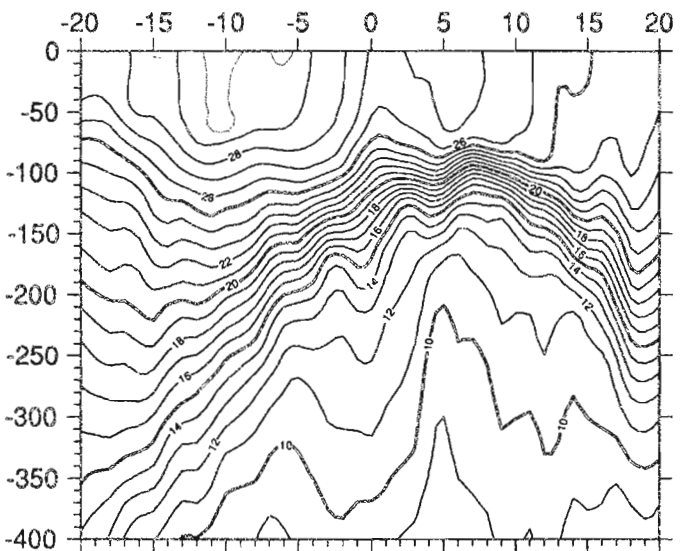
Janvier - Février 1984



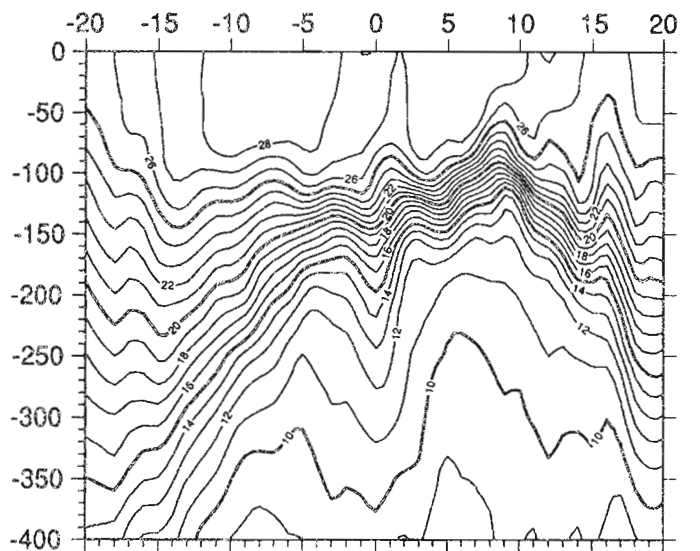
Mars - Avril 1984



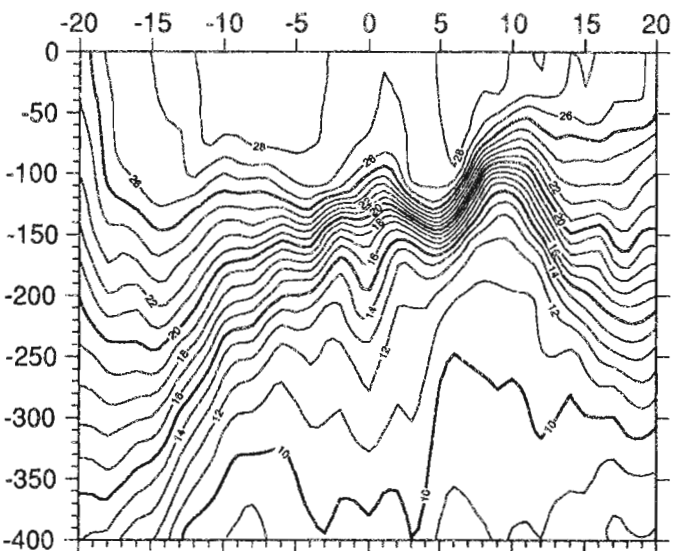
Mai - Juin 1984



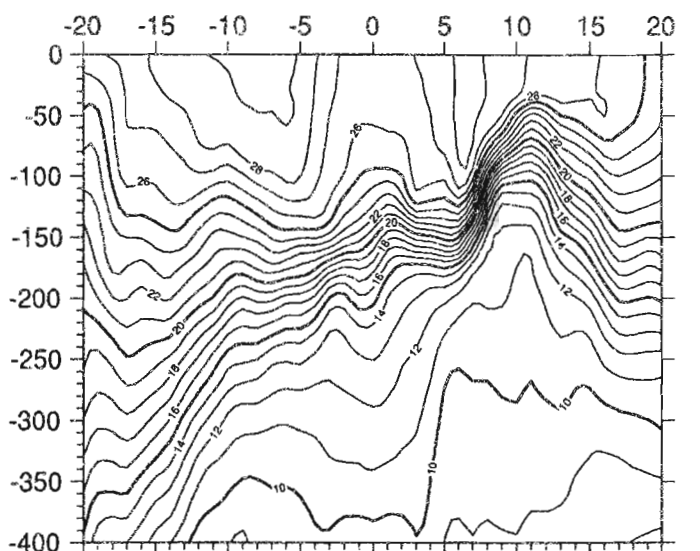
Juillet - Août 1984



Septembre - Octobre 1984

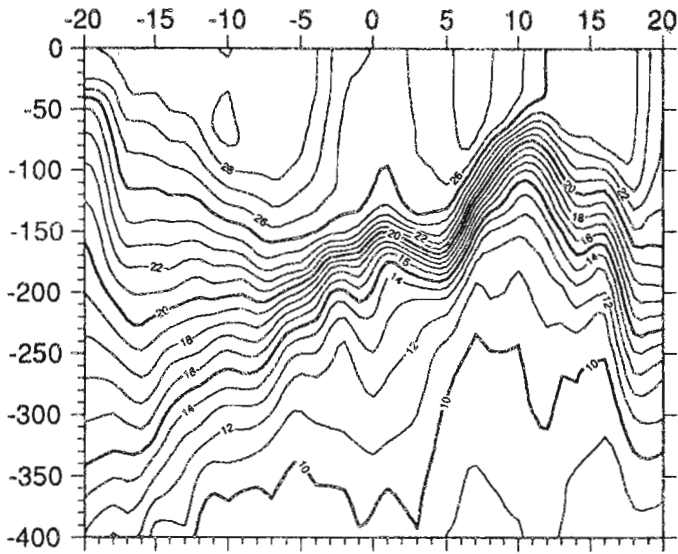


Novembre - Décembre 1984

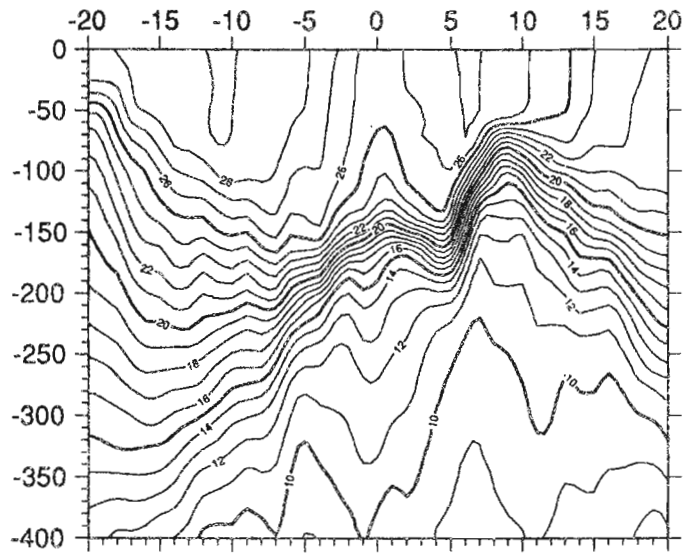


RAIL PACIFIQUE CENTRAL

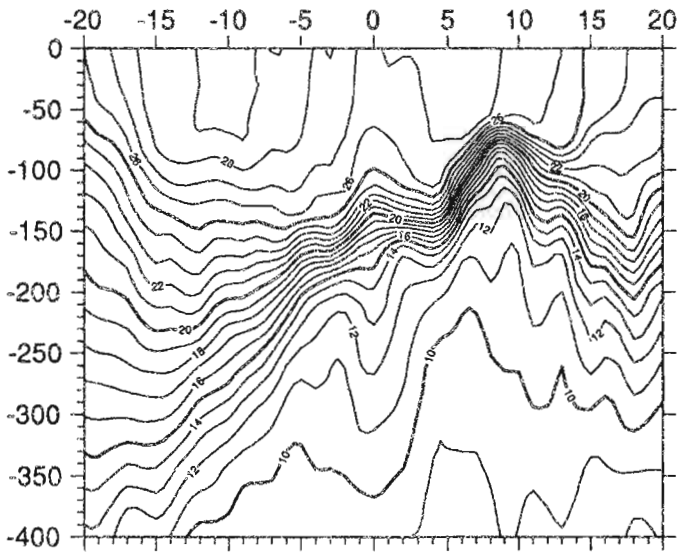
Janvier - Février 1985



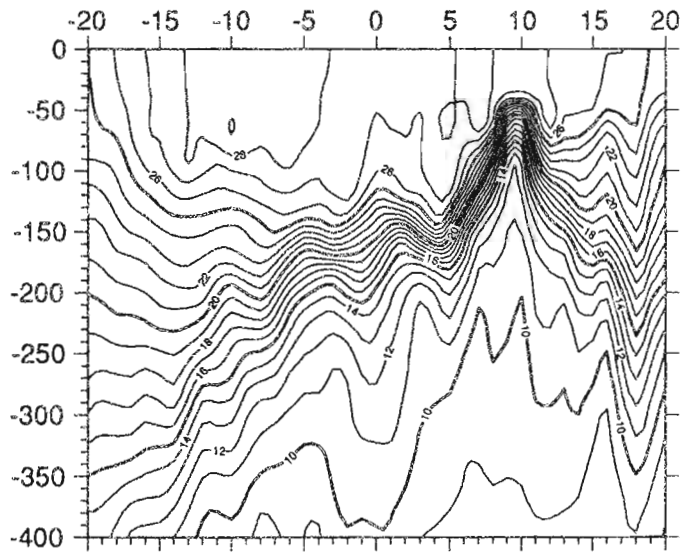
Mars - Avril 1985



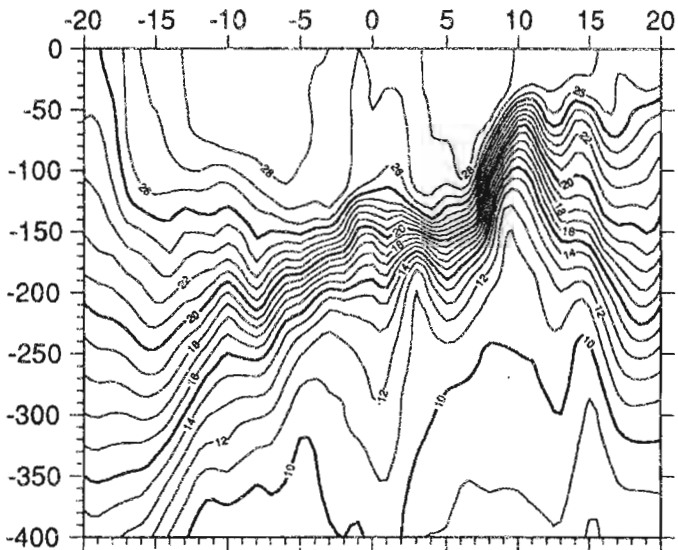
Mai - Juin 1985



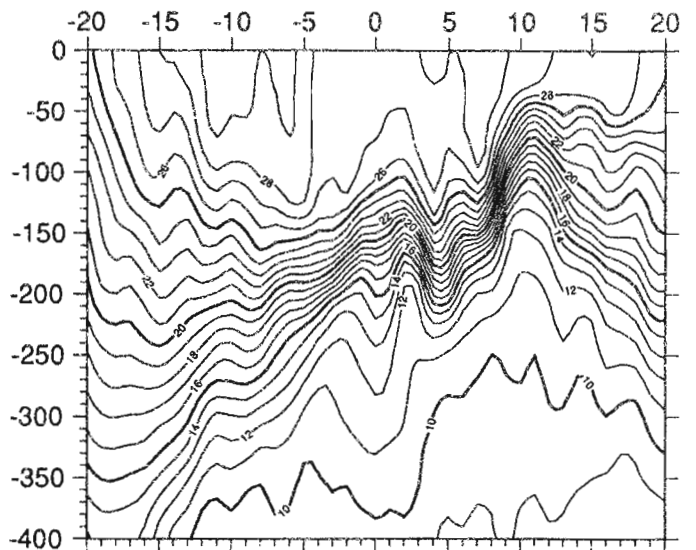
Juillet - Aout 1985



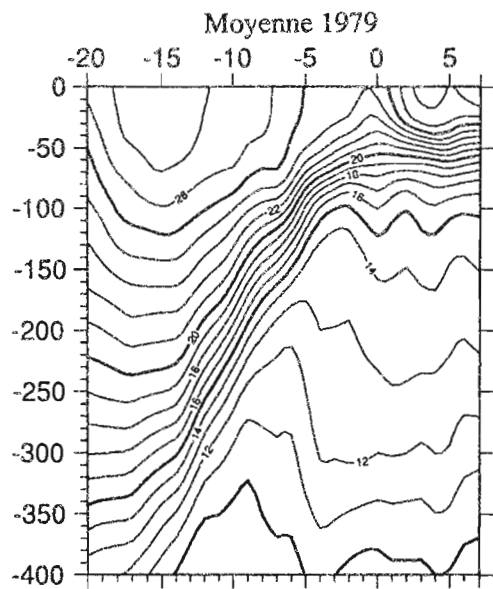
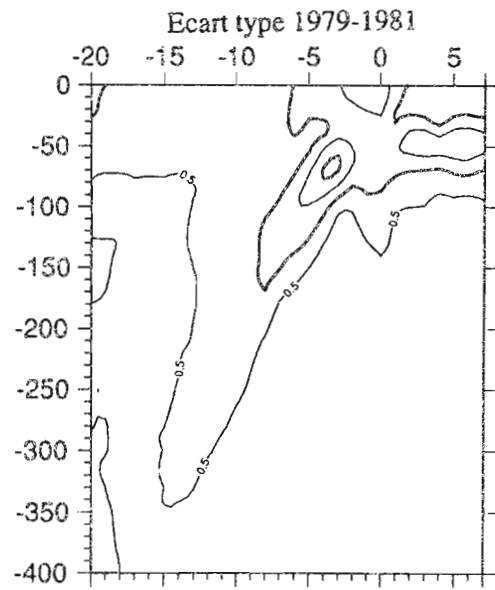
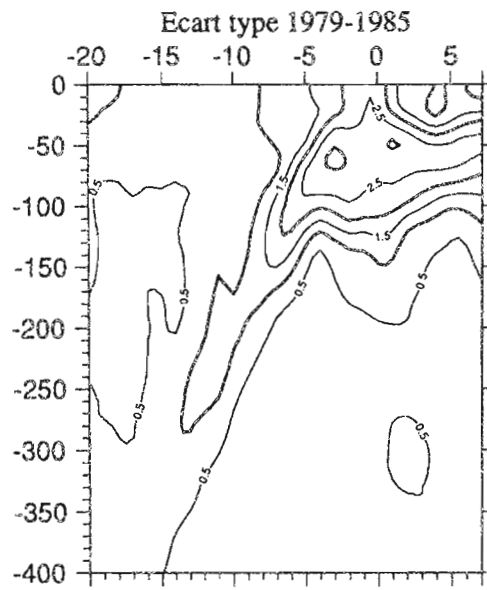
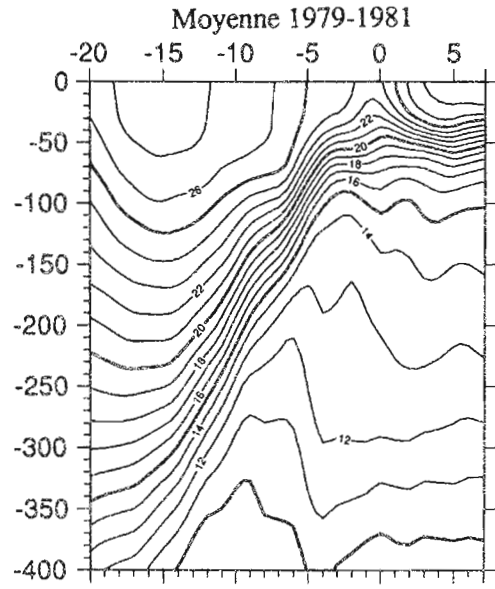
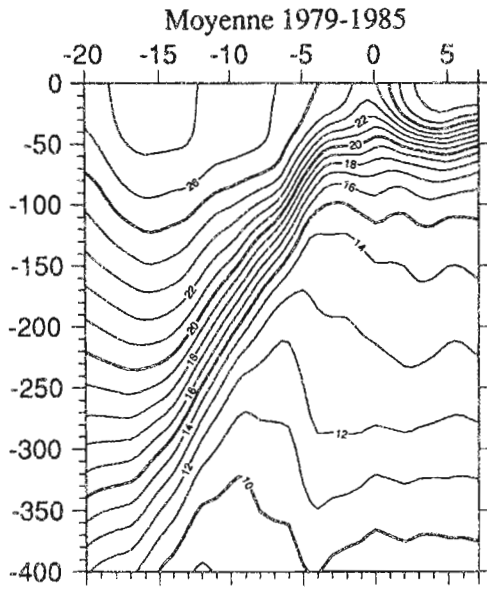
Septembre - Octobre 1985



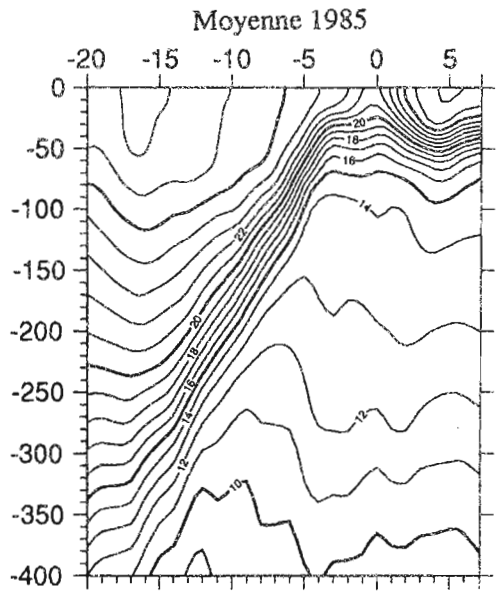
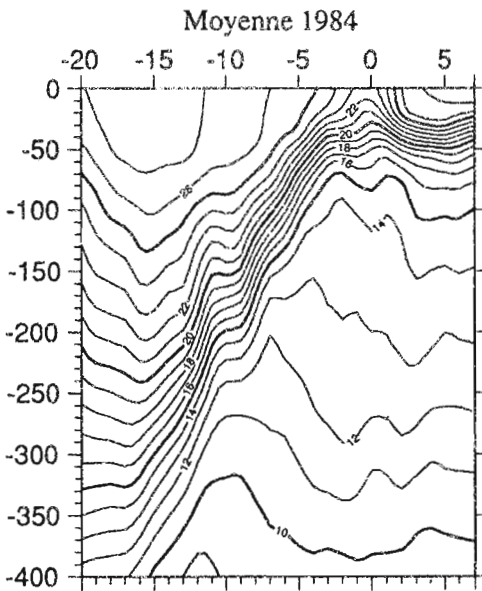
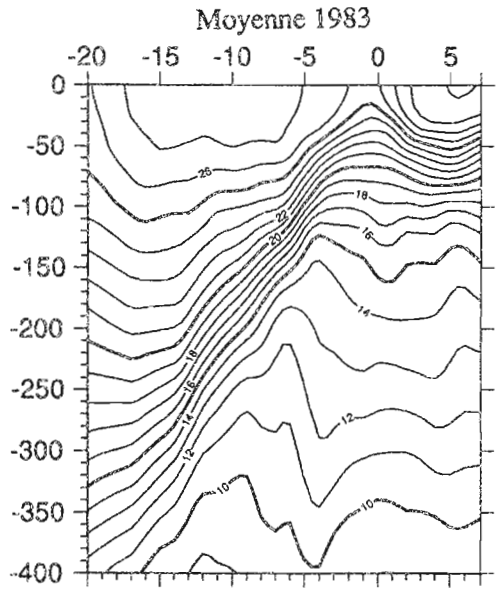
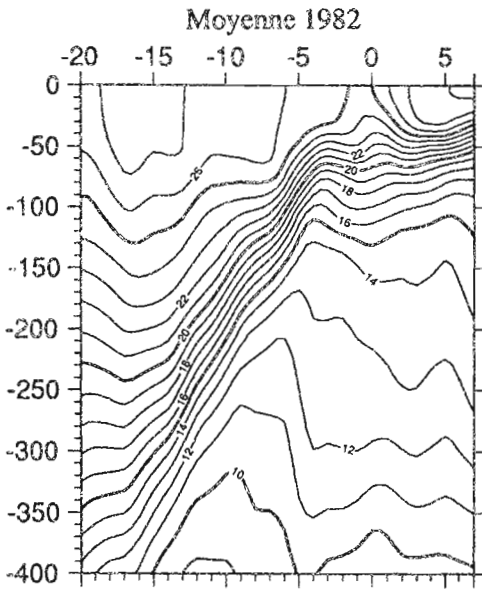
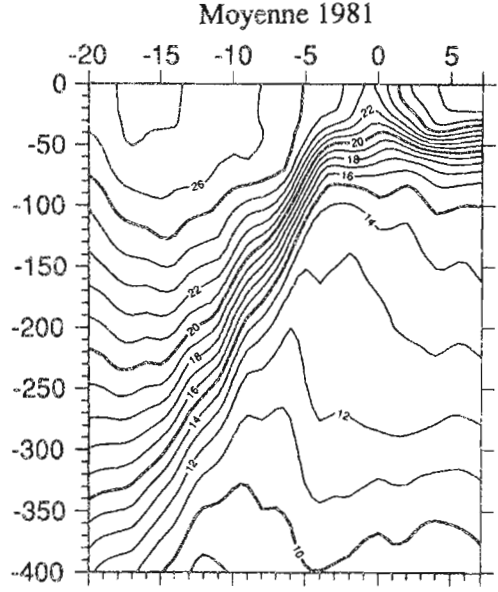
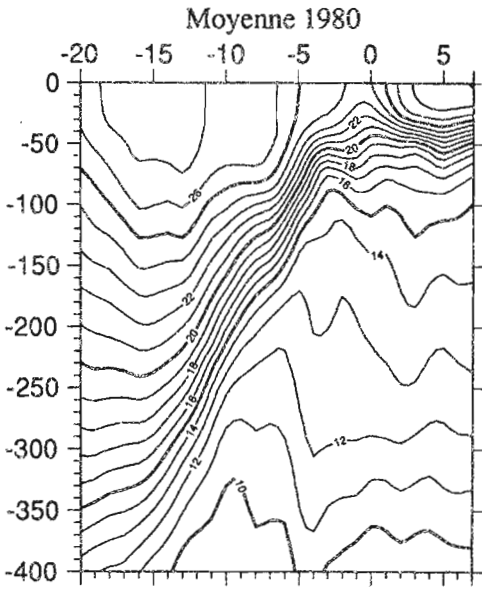
Novembre - Decembre 1985



## RAIL PACIFIQUE EST

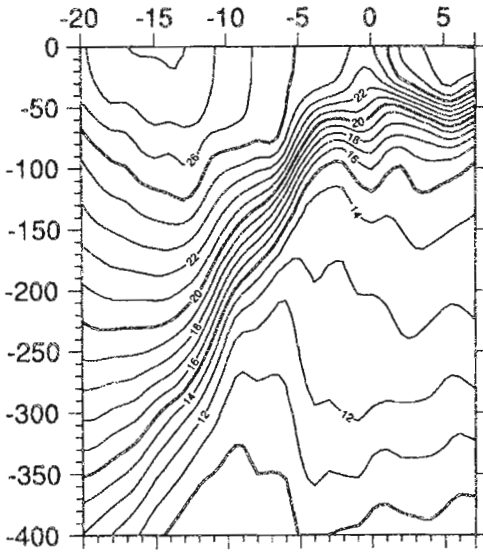


RAIL PACIFIQUE EST

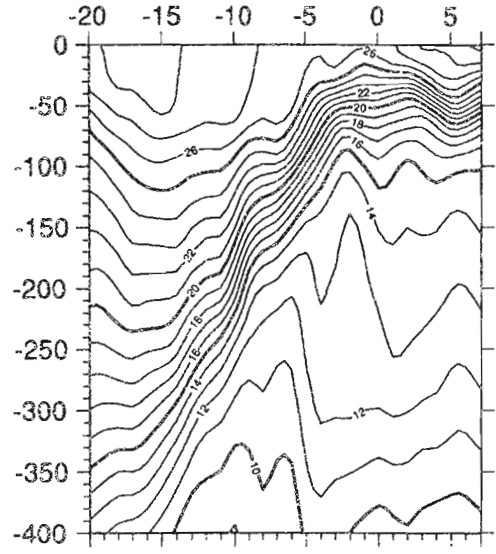


RAIL PACIFIQUE EST  
ANNEE MOYENNE

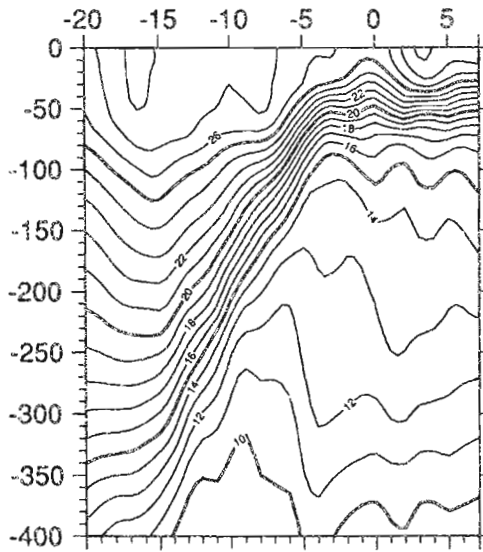
Janvier-Fevrier



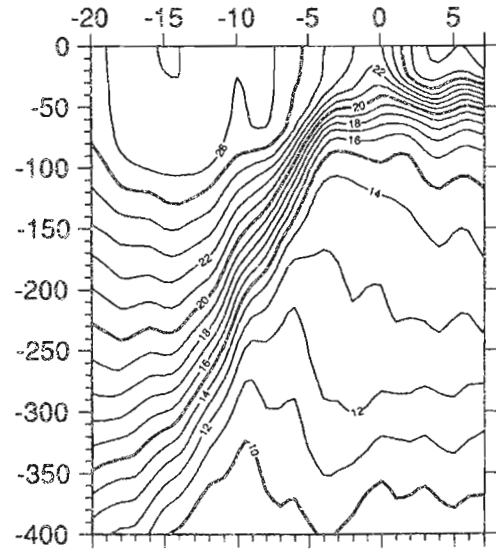
Mars-Avril



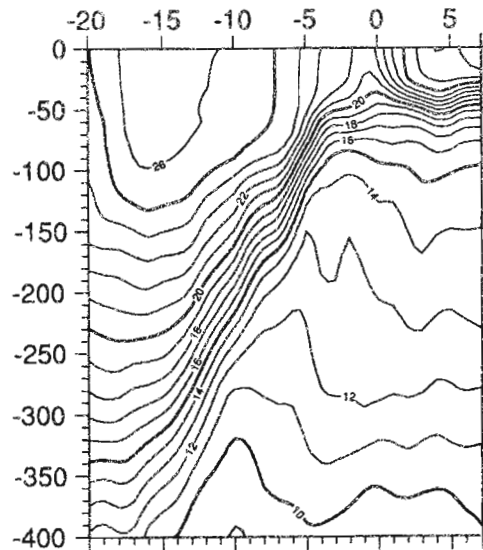
Mai-Juin



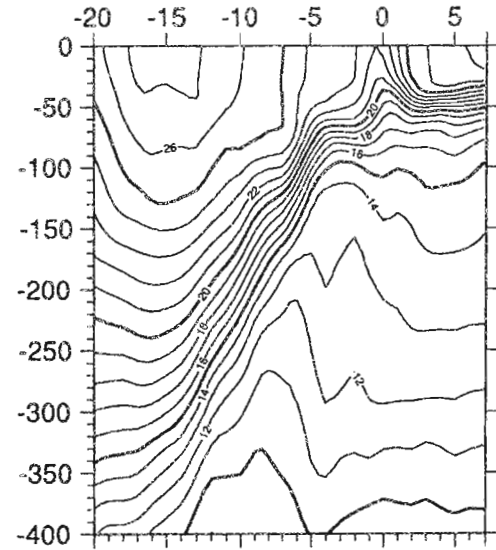
Juillet-Aout



Septembre-Octobre

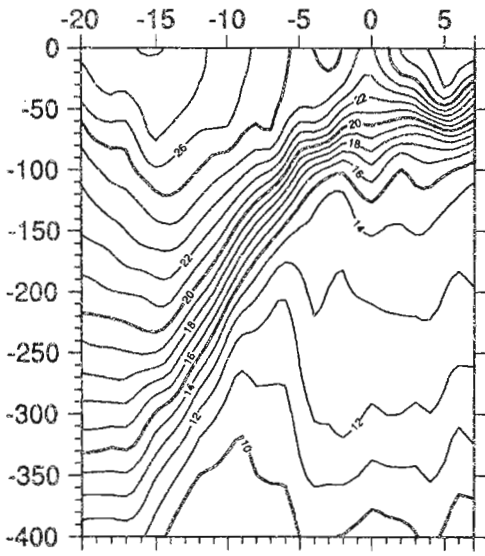


Novembre-Decembre

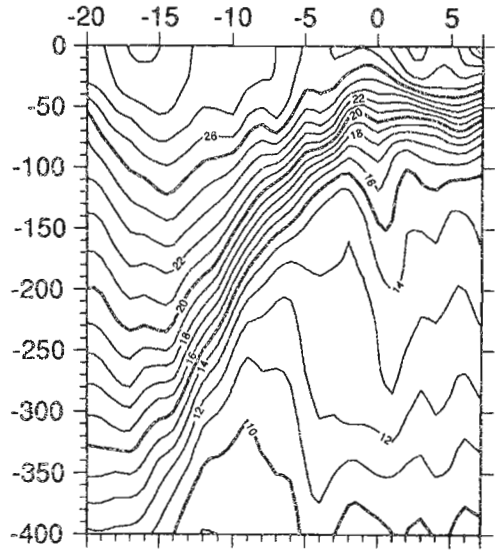


RAIL PACIFIQUE EST

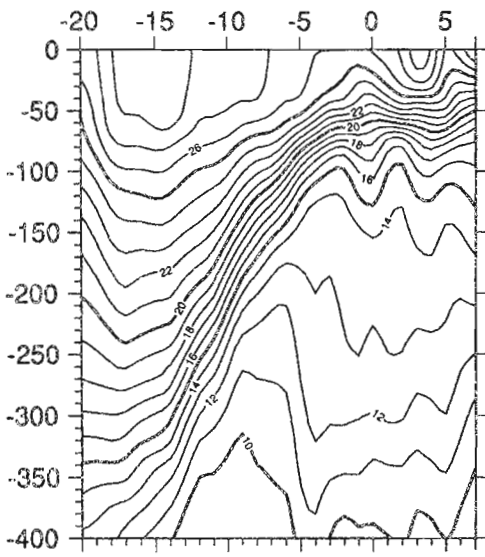
Janvier - Février 1979



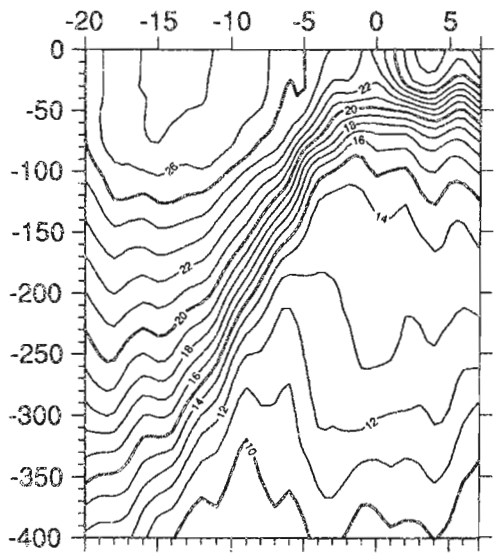
Mars - Avril 1979



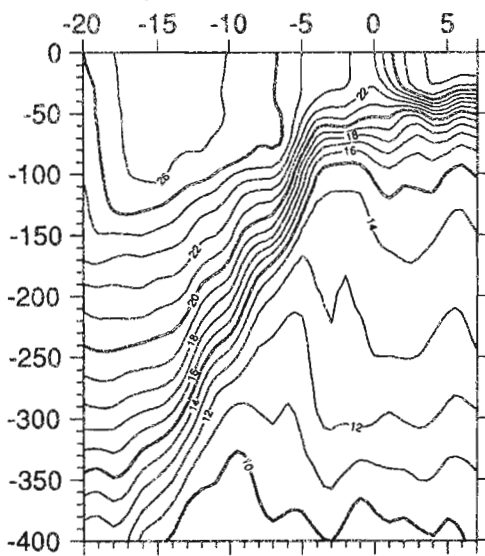
Mai - Juin 1979



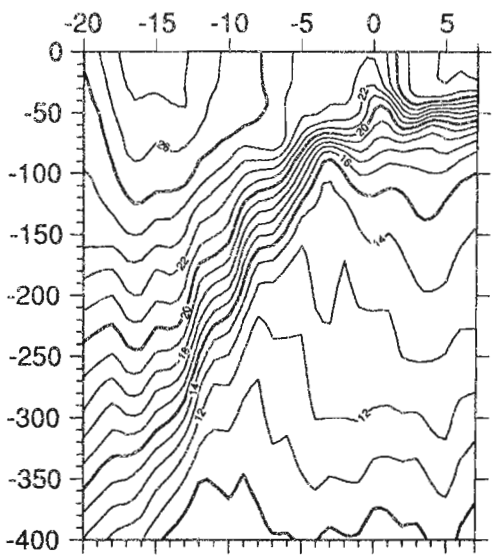
Juillet - Aout 1979



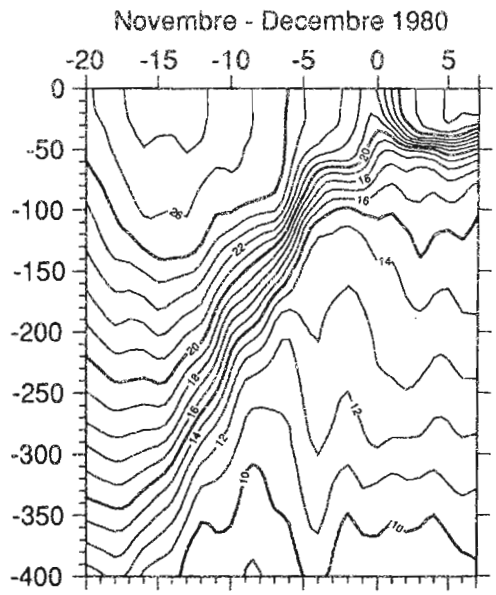
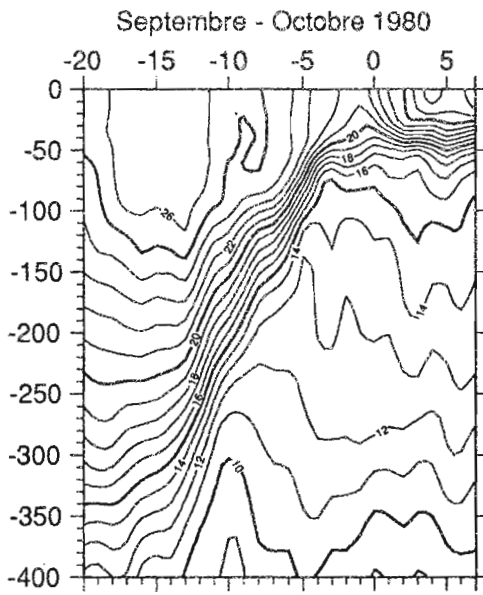
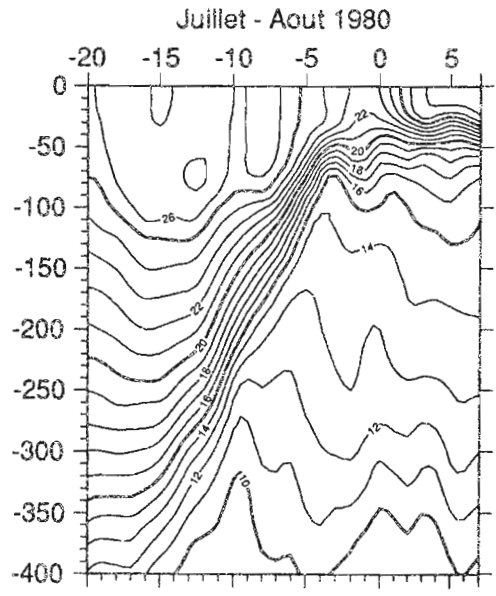
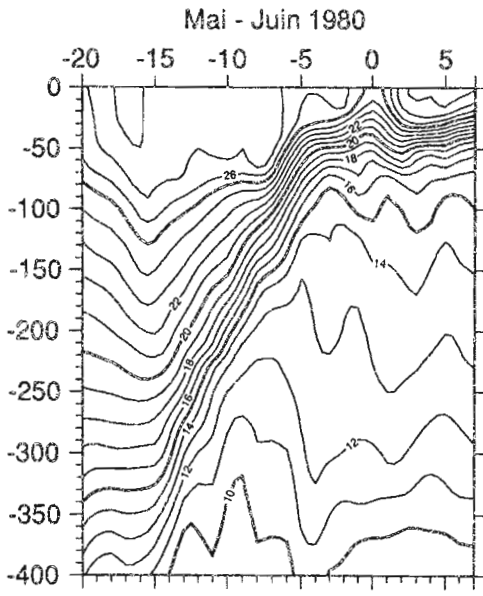
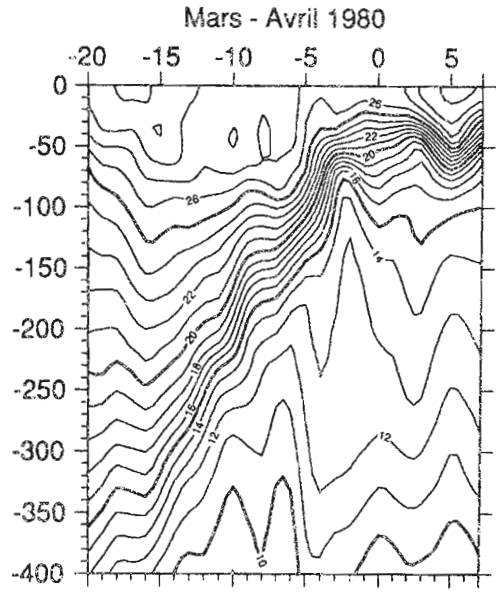
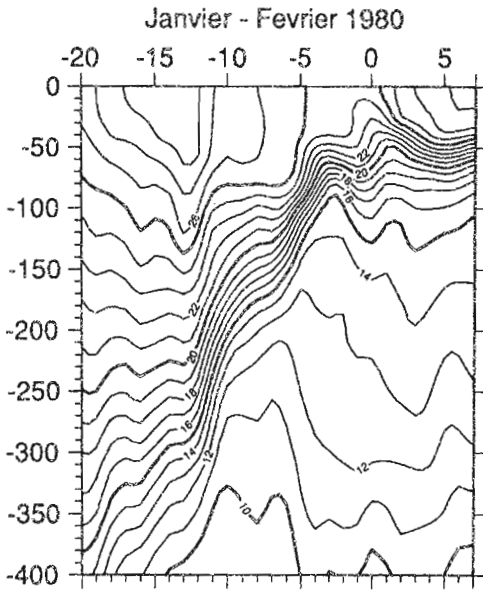
Septembre - Octobre 1979



Novembre - Decembre 1979

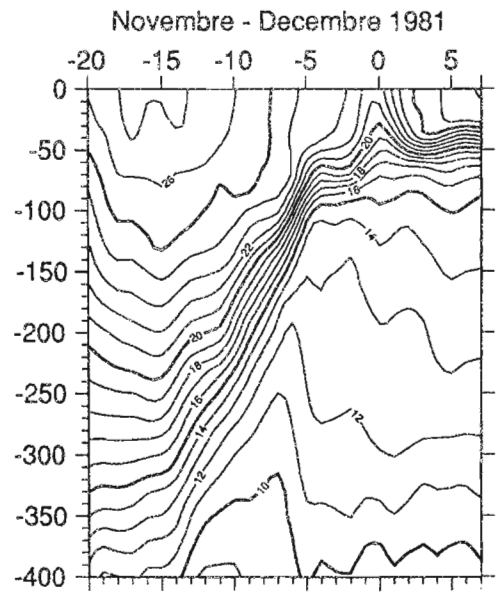
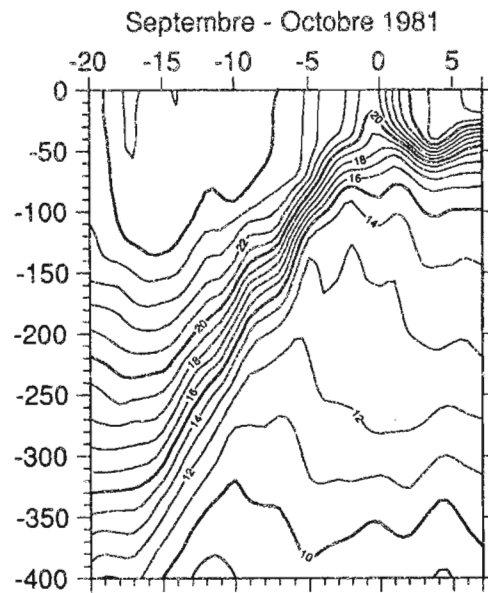
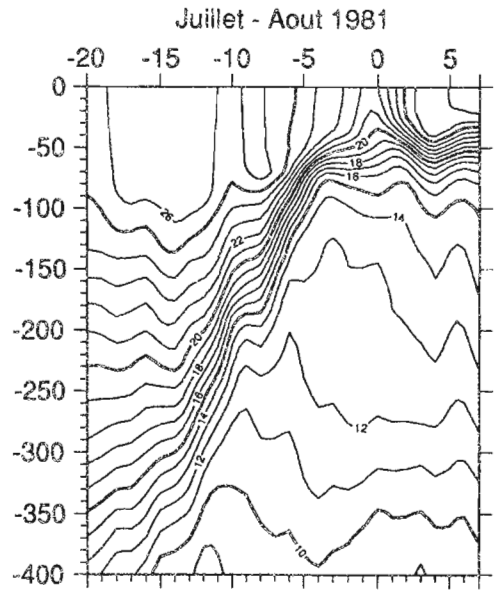
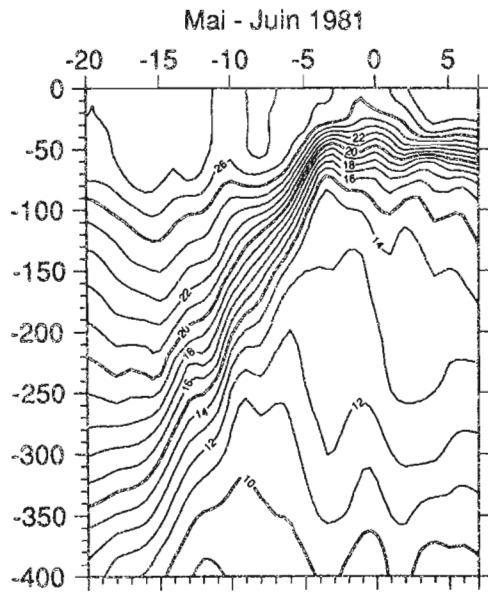
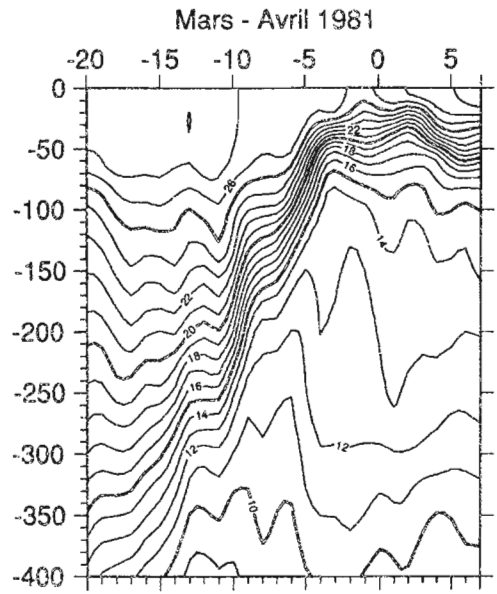
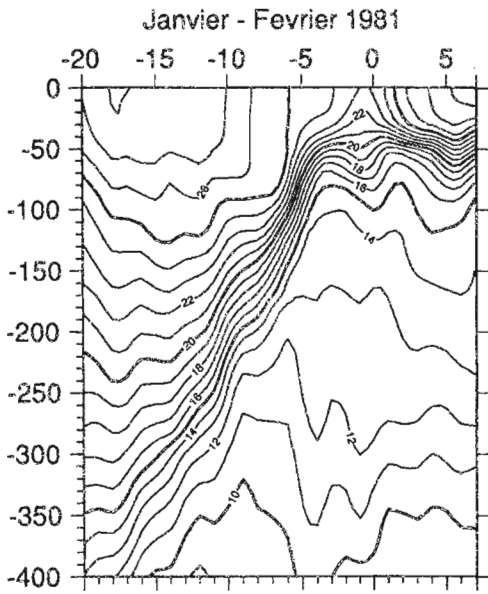


RAIL PACIFIQUE EST

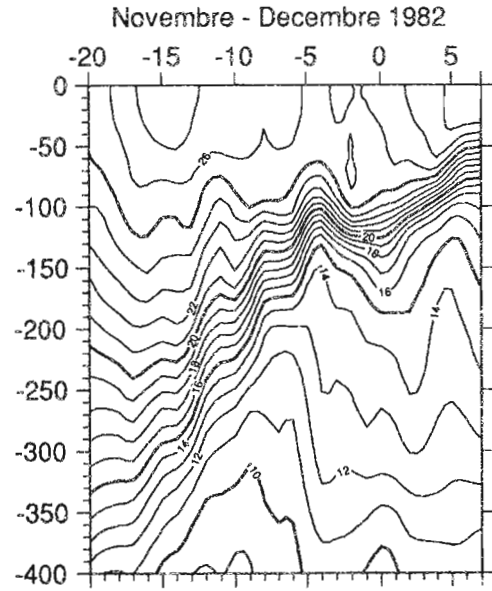
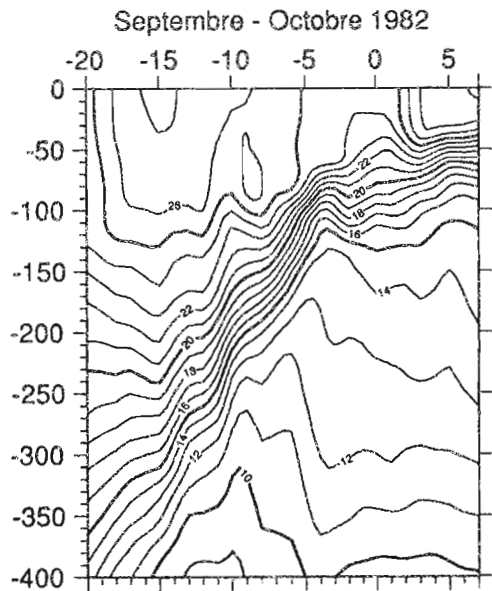
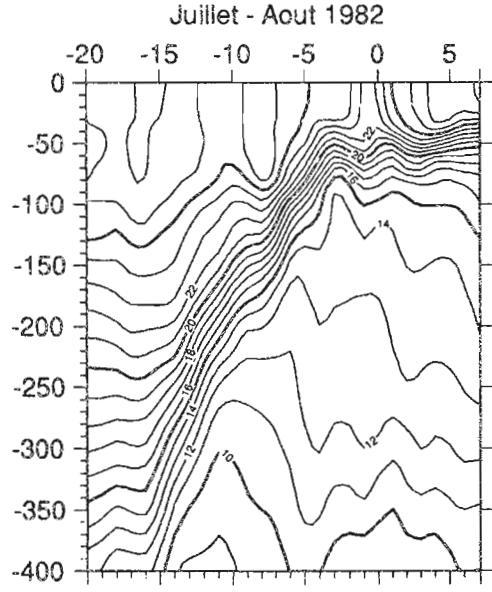
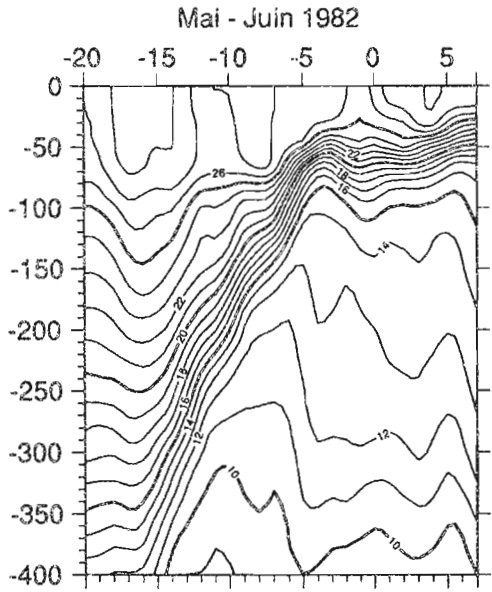
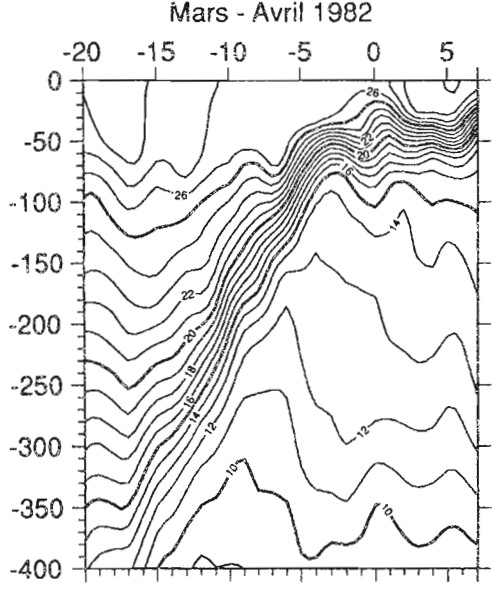
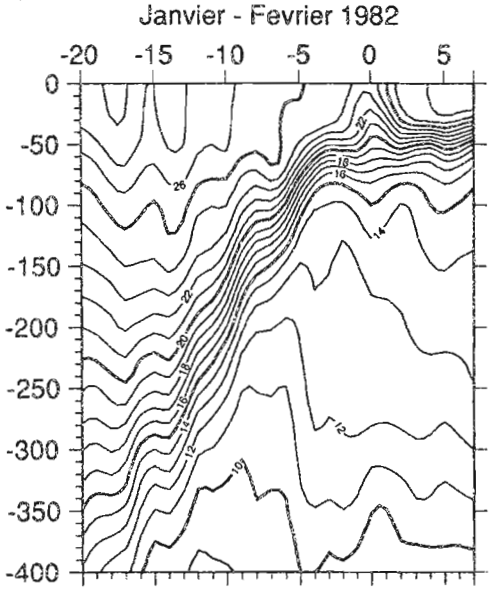




RAIL PACIFIQUE EST

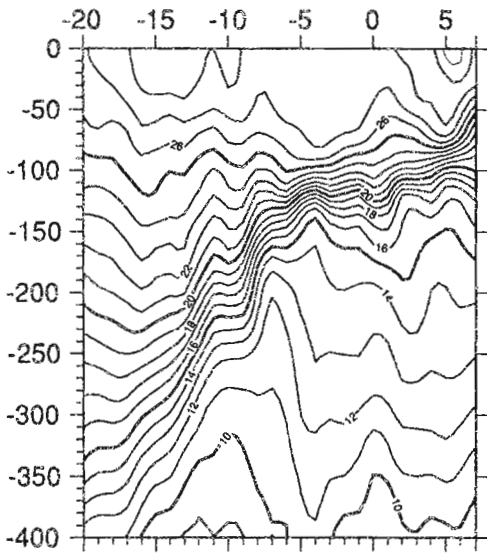


RAIL PACIFIQUE EST

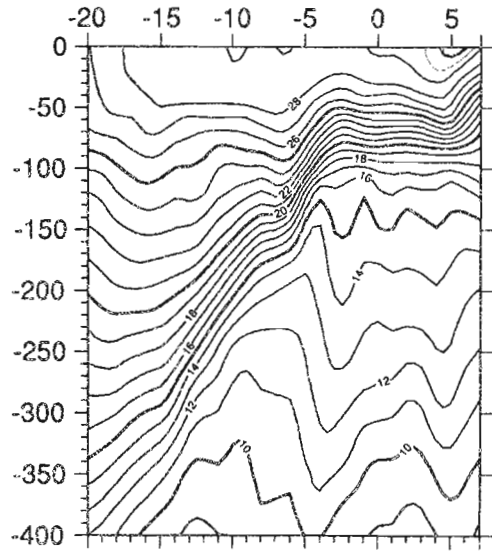


RAIL PACIFIQUE EST

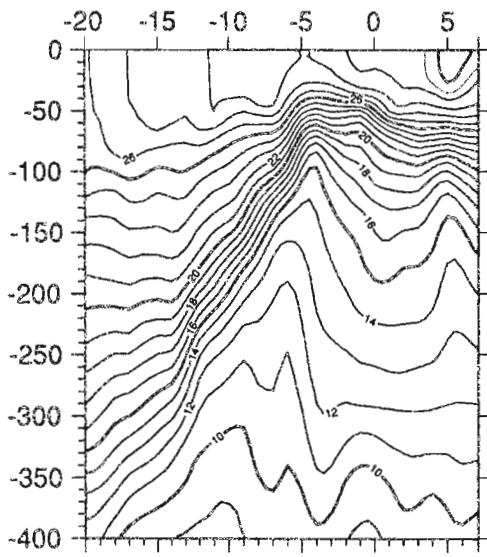
Janvier - Février 1983



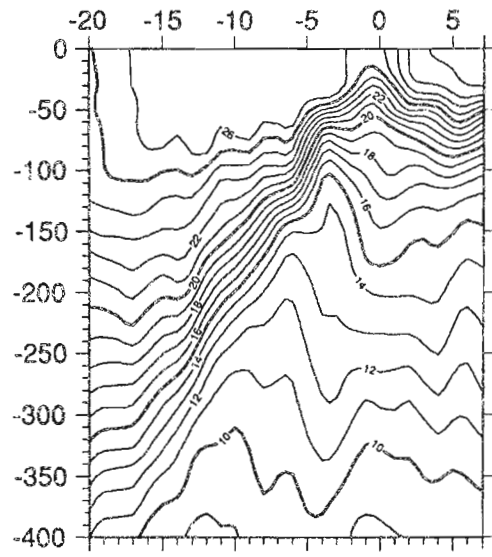
Mars - Avril 1983



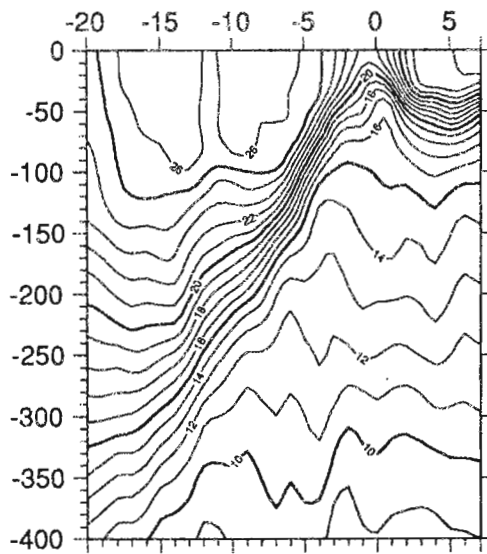
Mai - Juin 1983



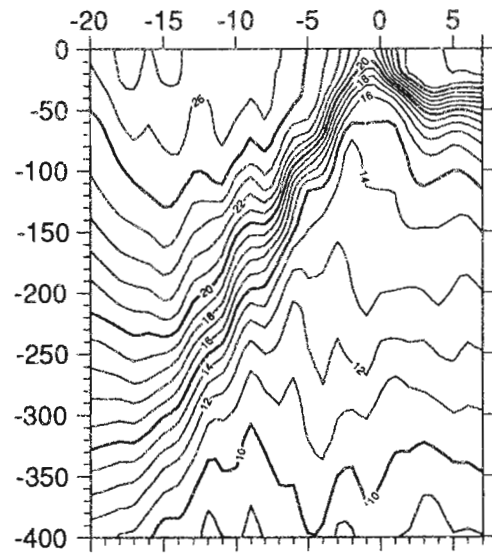
Juillet - Aout 1983



Septembre - Octobre 1983

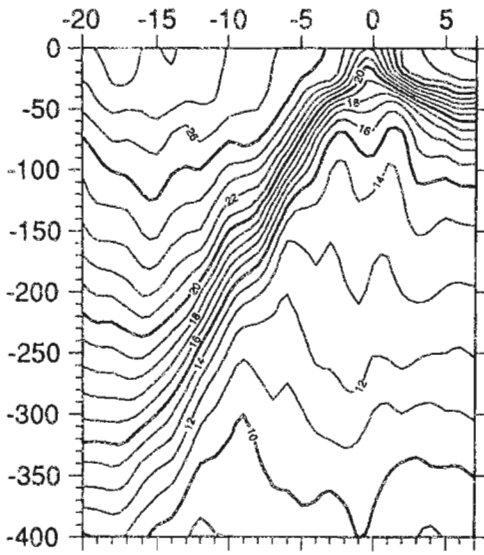


Novembre - Decembre 1983

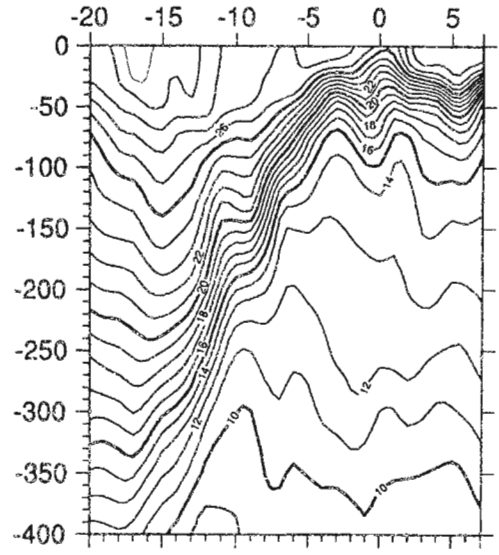


## RAIL PACIFIQUE EST

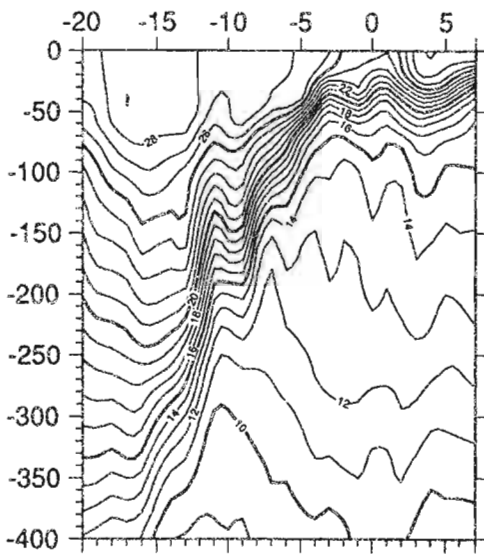
Janvier - Février 1984



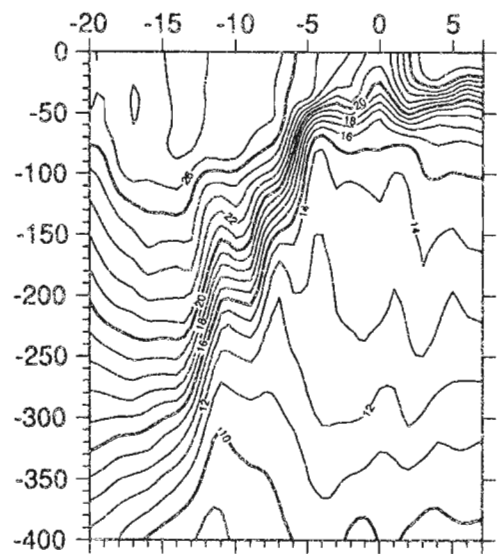
Mars - Avril 1984



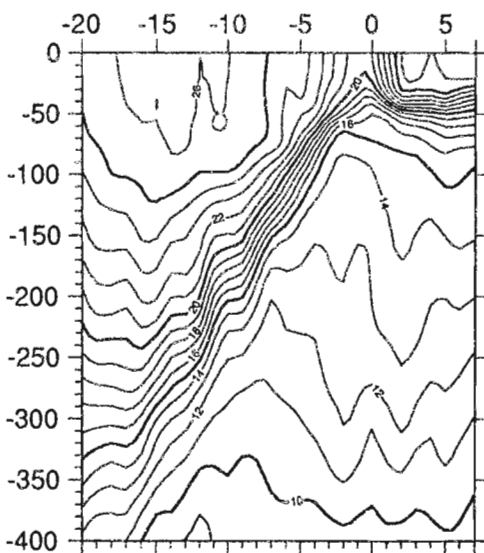
Mai - Juin 1984



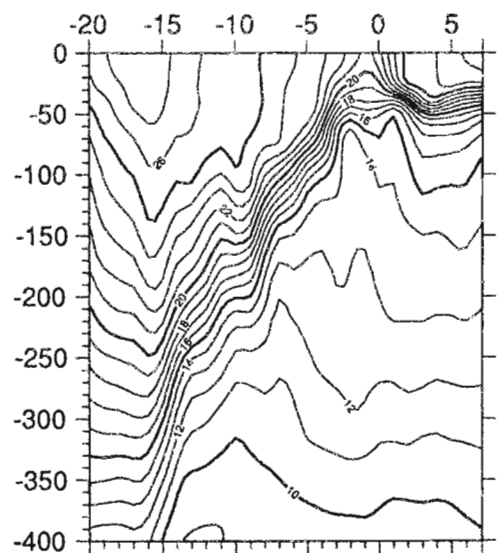
Juillet - Aout 1984



Septembre - Octobre 1984

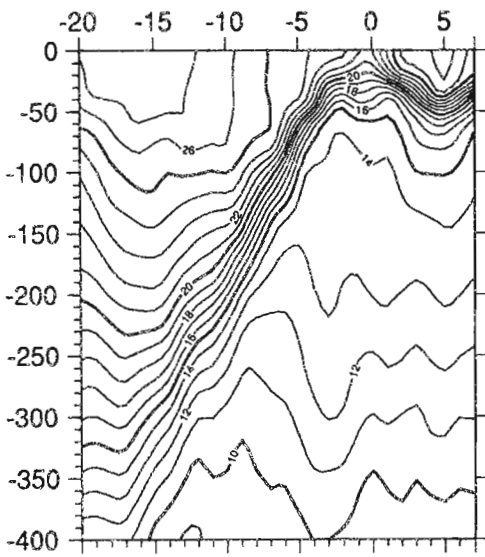


Novembre - Decembre 1984

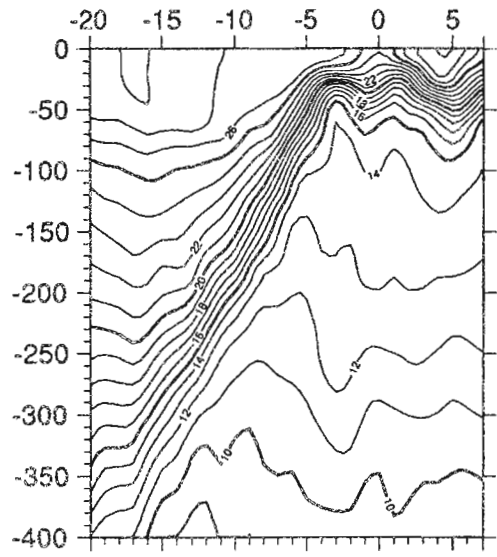


RAIL PACIFIQUE EST

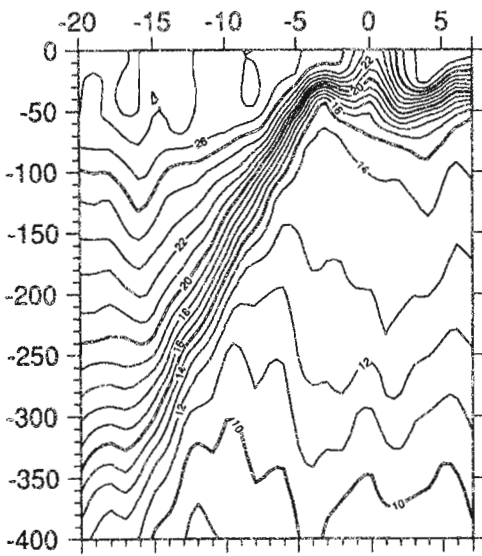
Janvier - Février 1985



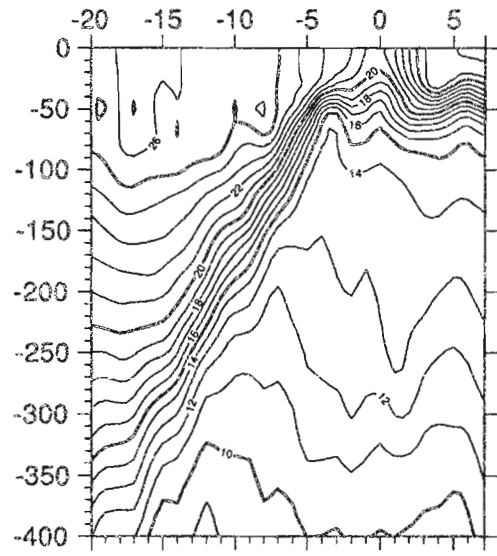
Mars - Avril 1985



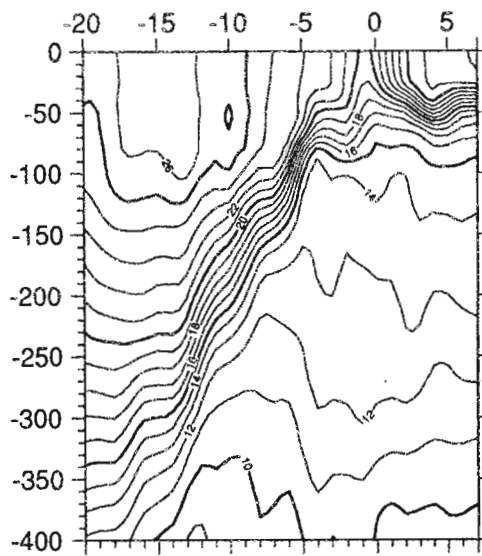
Mai - Juin 1985



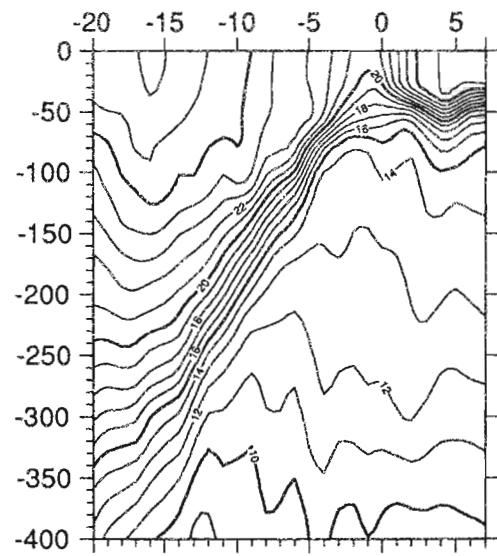
Juillet - Aout 1985



Septembre - Octobre 1985

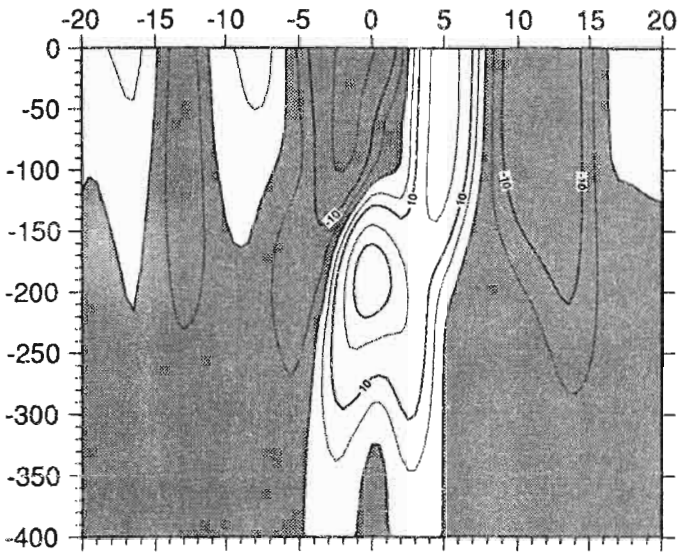


Novembre - Decembre 1985

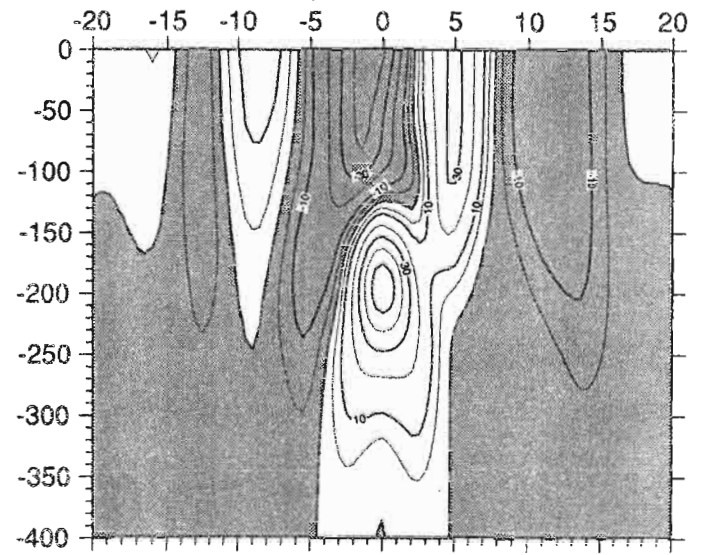


### RAIL PACIFIQUE OUEST

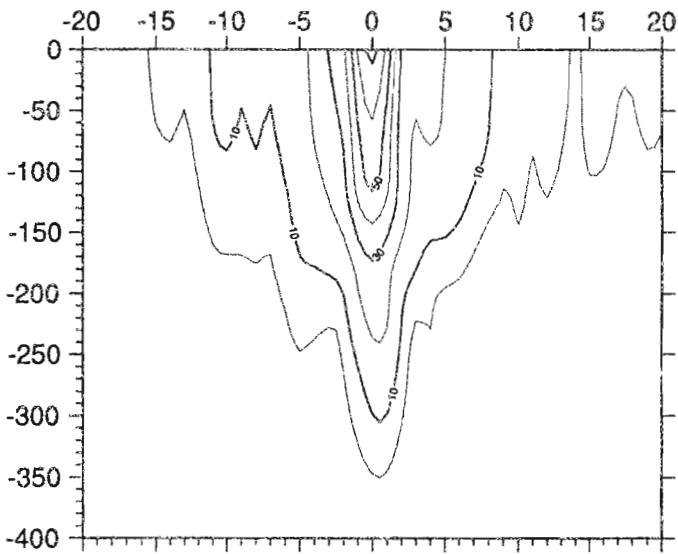
Moyenne 1979-1985



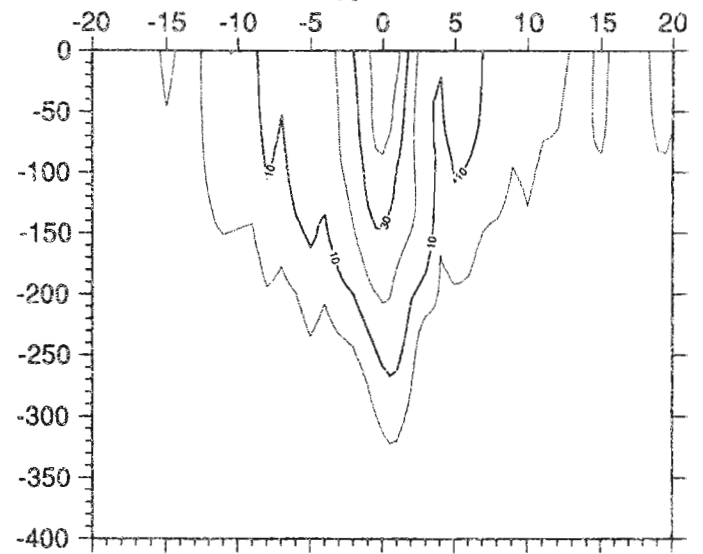
Moyenne 1979-1981



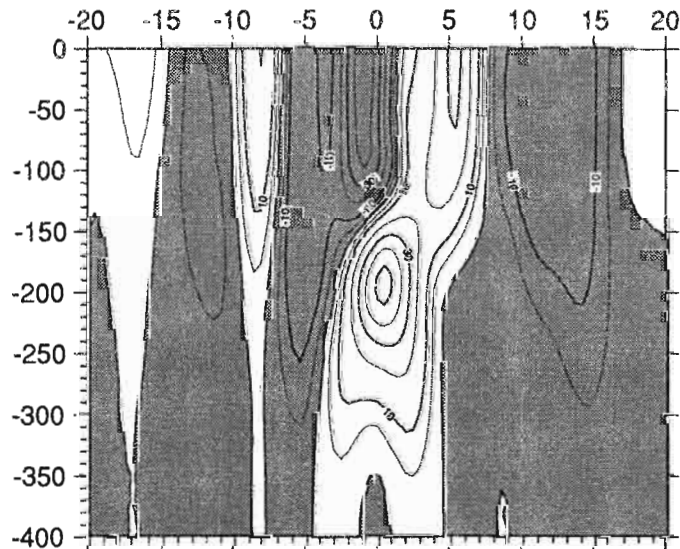
Ecart type 1979-1985



Ecart type 1979-1981

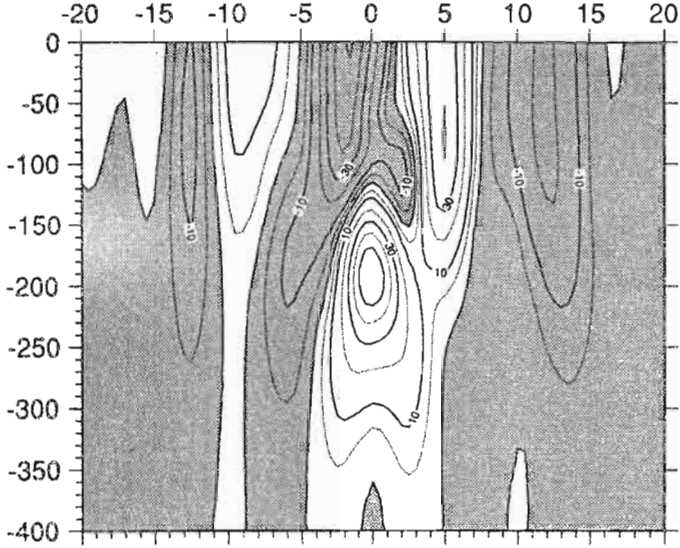


Moyenne 1979

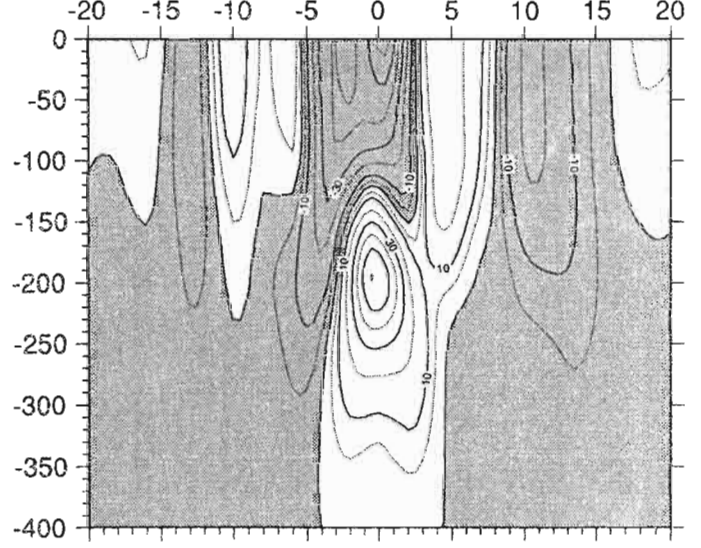


RAIL PACIFIQUE OUEST

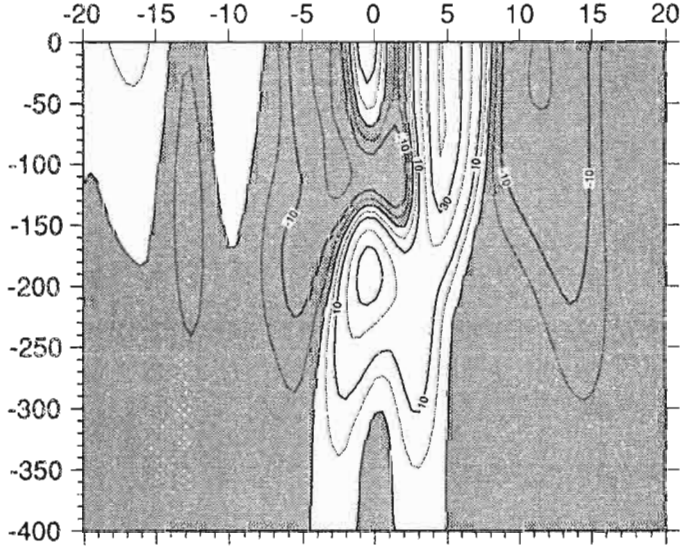
Moyenne 1980



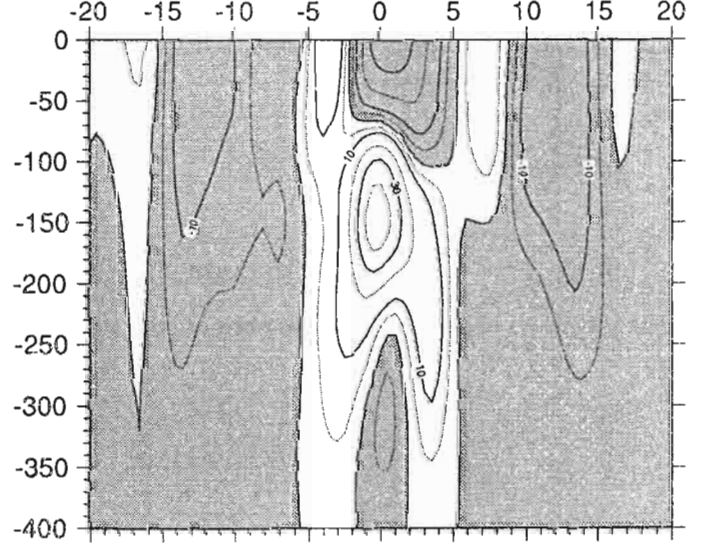
Moyenne 1981



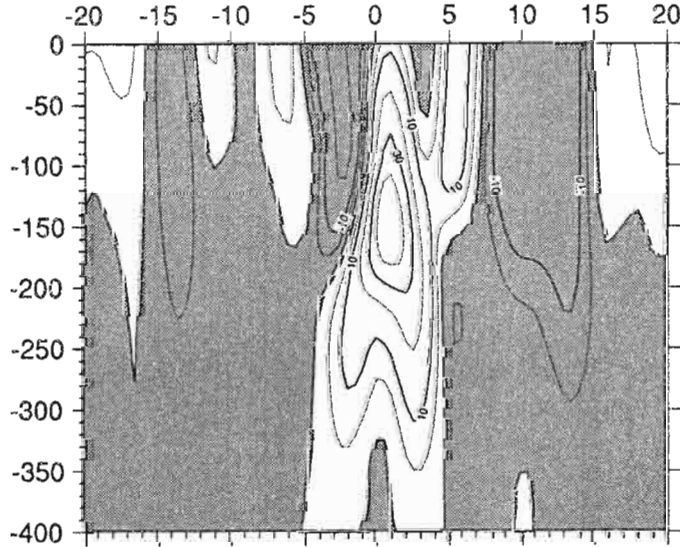
Moyenne 1982



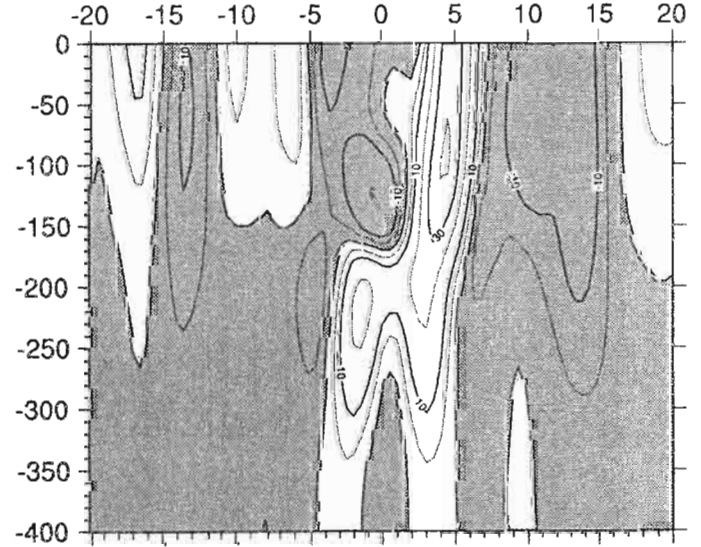
Moyenne 1983



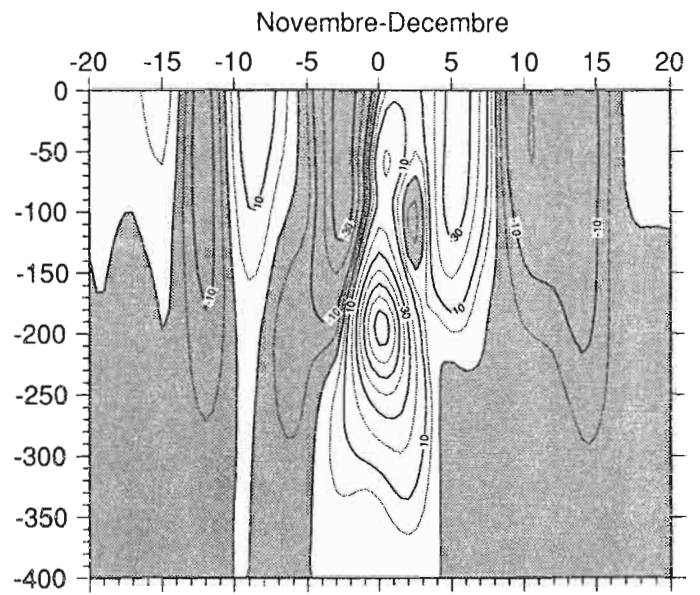
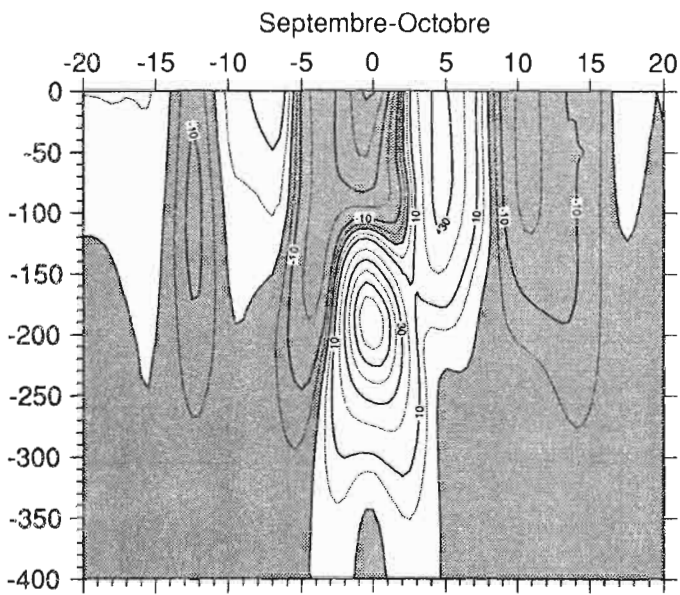
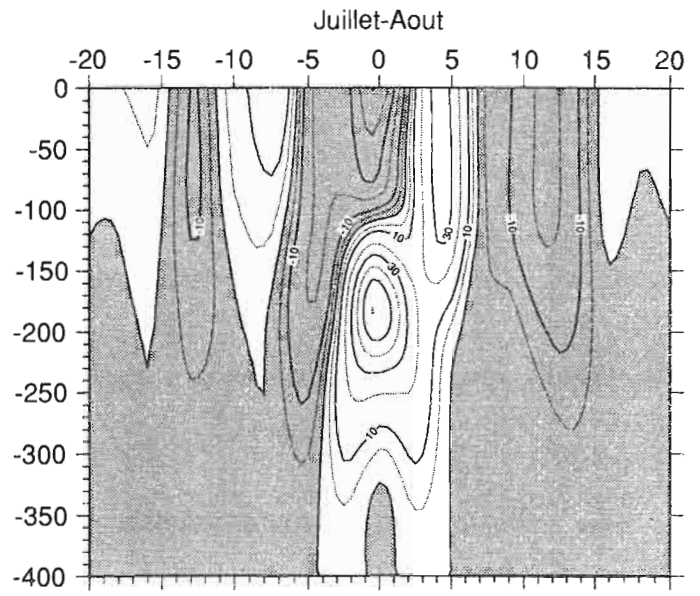
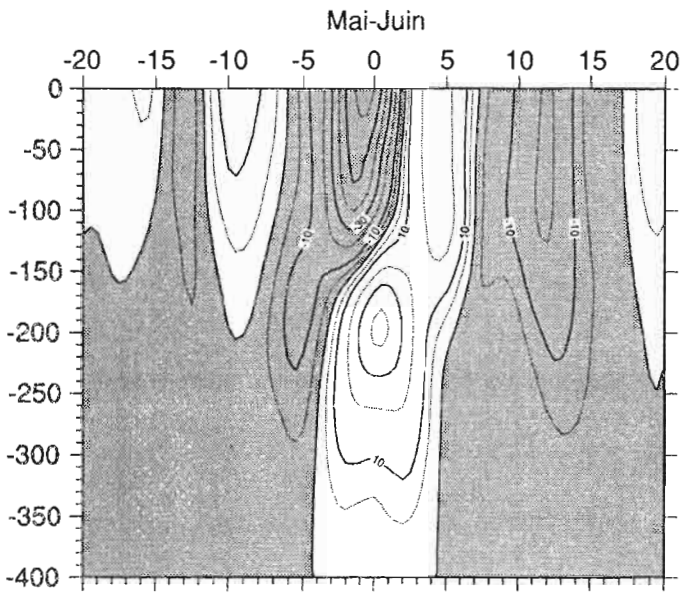
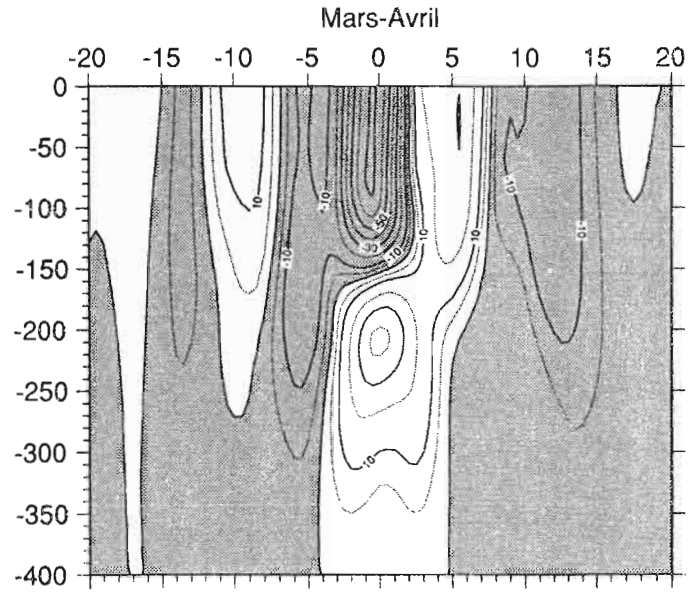
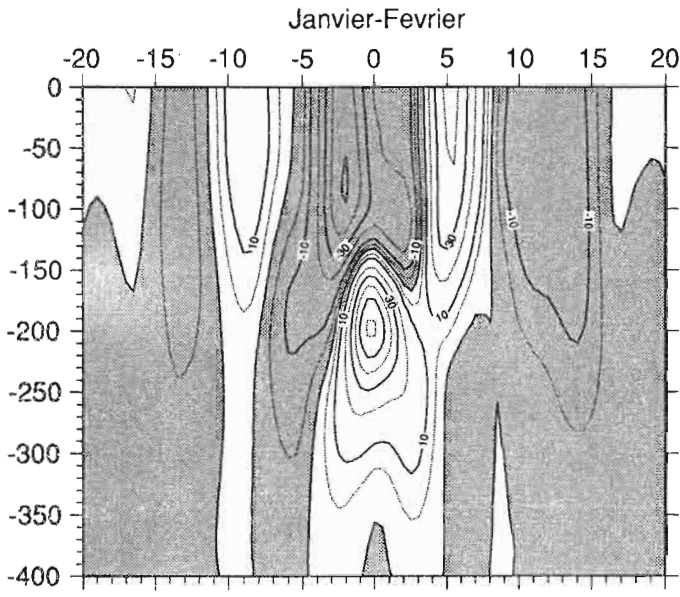
Moyenne 1984



Moyenne 1985



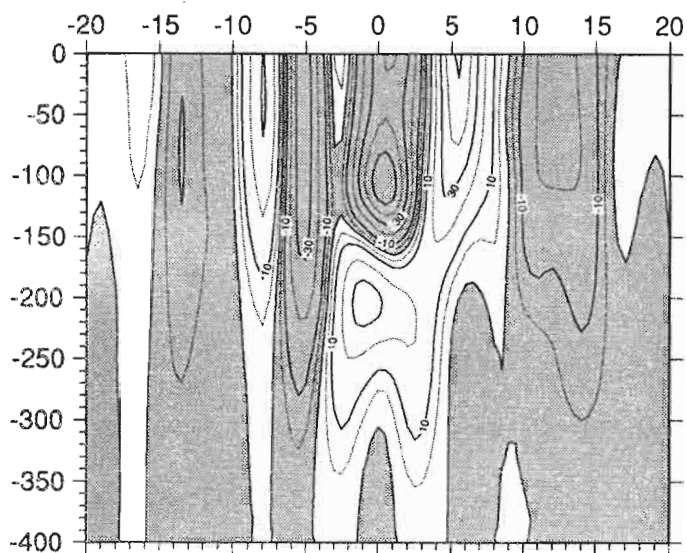
RAIL PACIFIQUE OUEST  
ANNEE MOYENNE



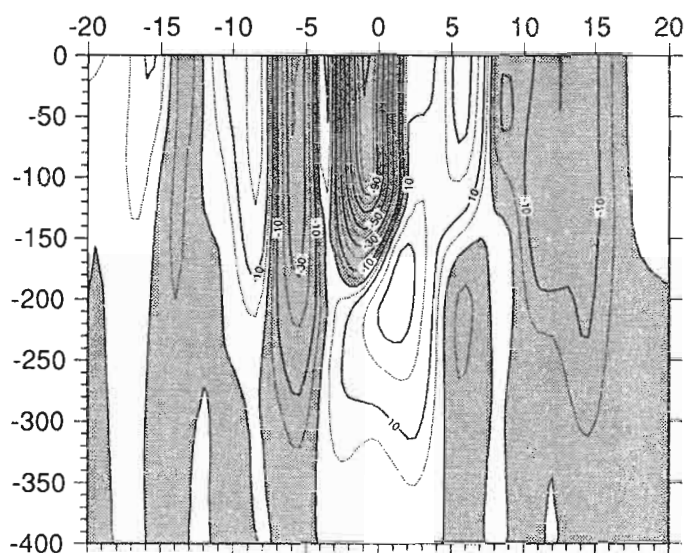


## RAIL PACIFIQUE OUEST

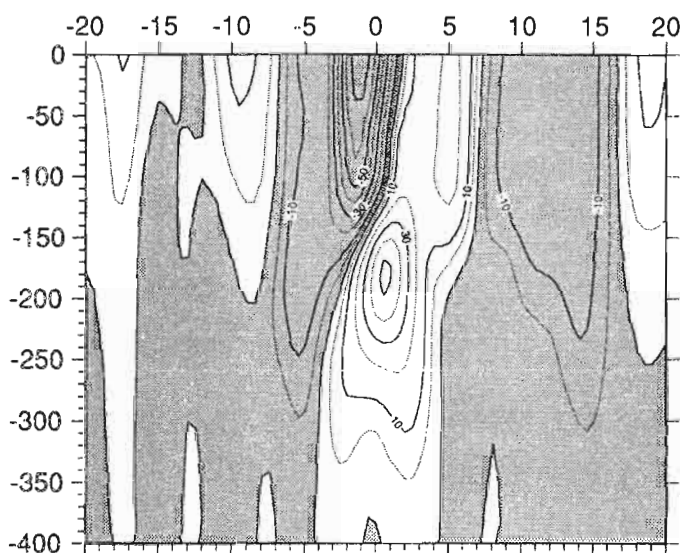
Janvier - Février 1979



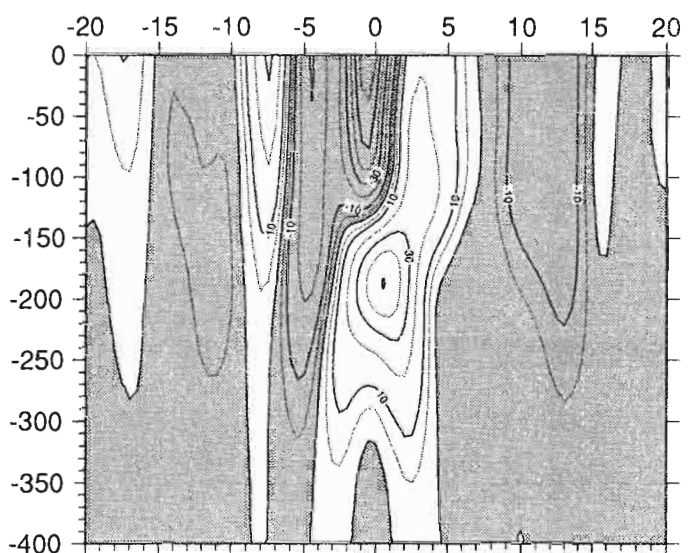
Mars - Avril 1979



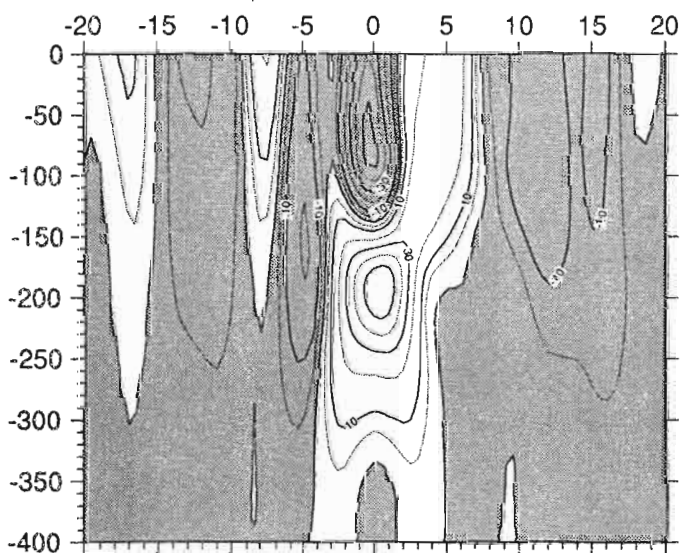
Mai - Juin 1979



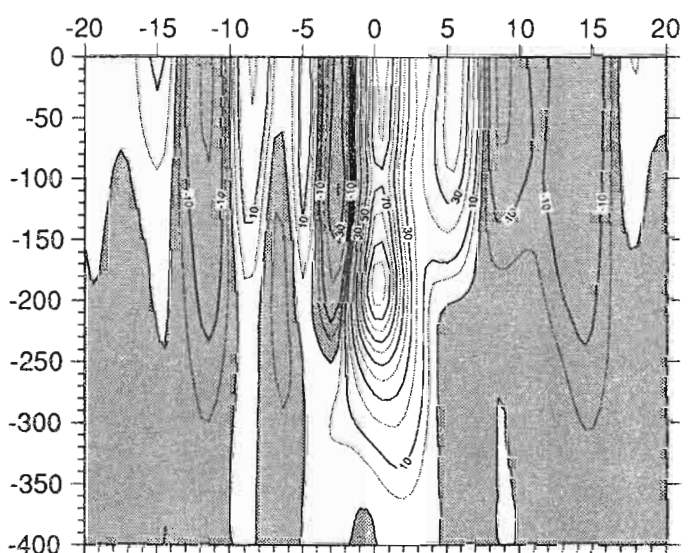
Juillet - Aout 1979



Septembre - Octobre 1979

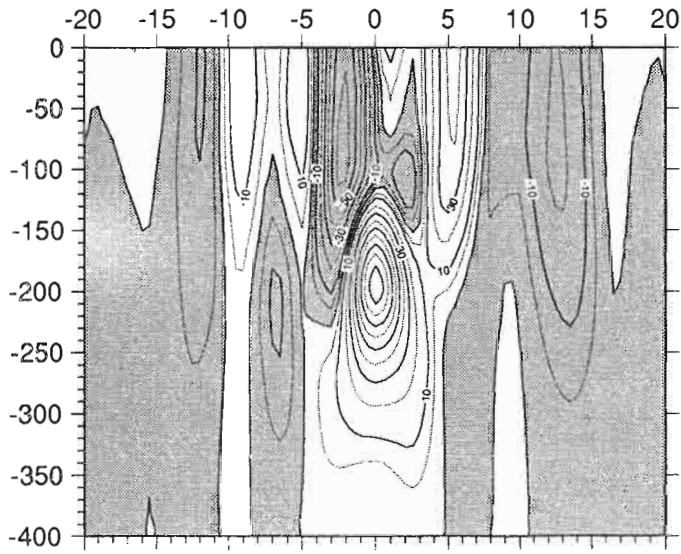


Novembre - Decembre 1979

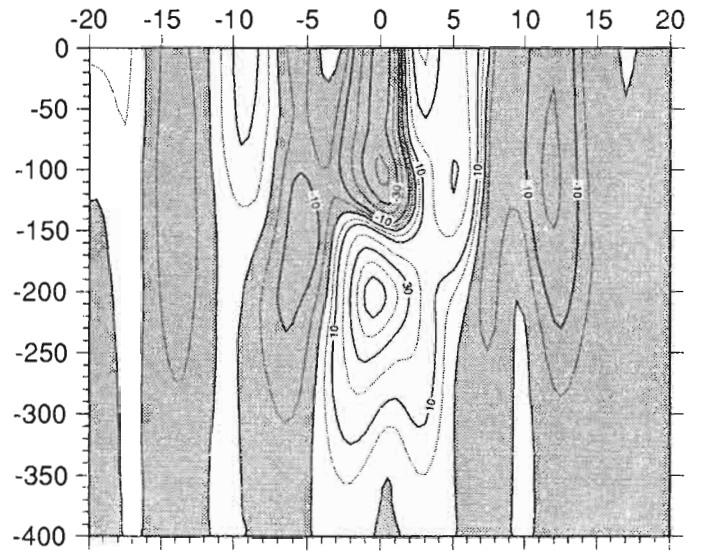


### RAIL PACIFIQUE OUEST

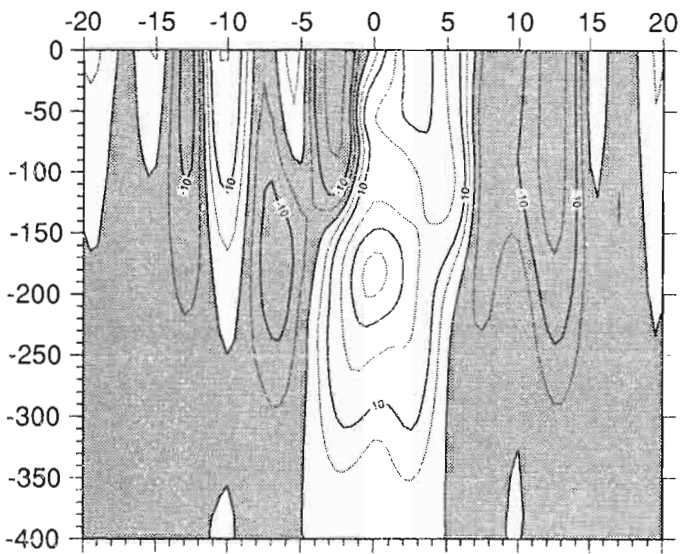
Janvier - Février 1980



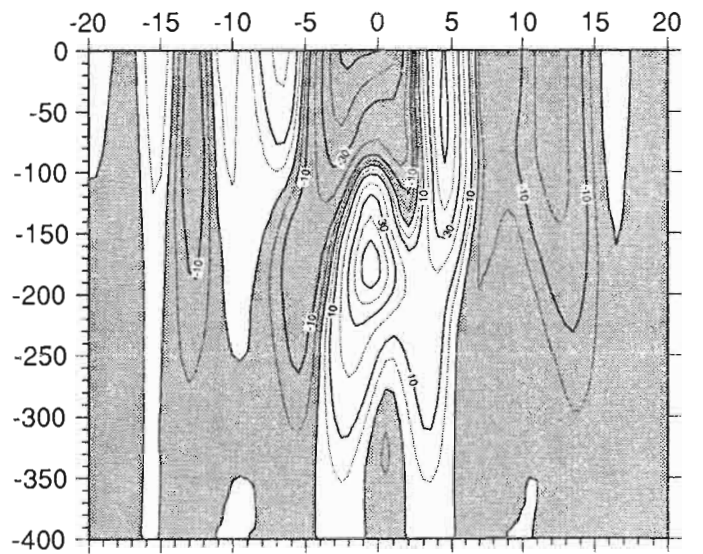
Mars - Avril 1980



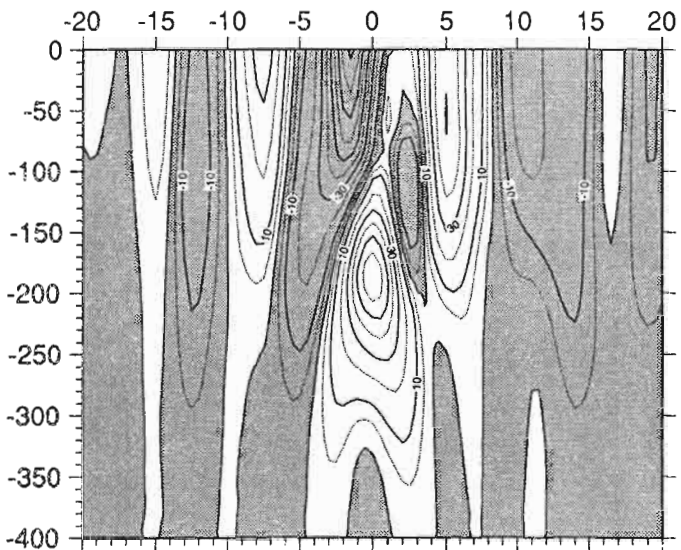
Mai - Juin 1980



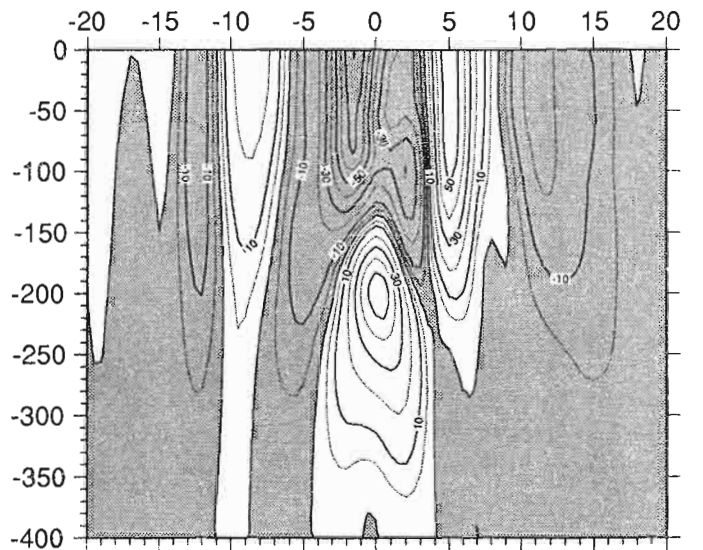
Juillet - Aout 1980



Septembre - Octobre 1980

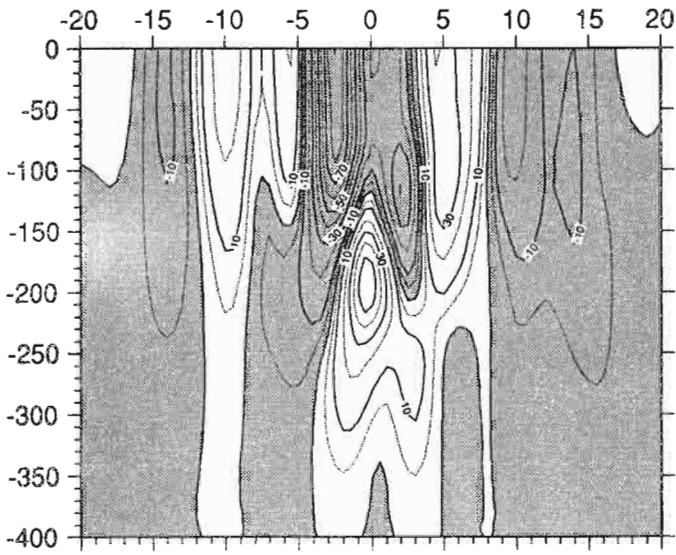


Novembre - Decembre 1980

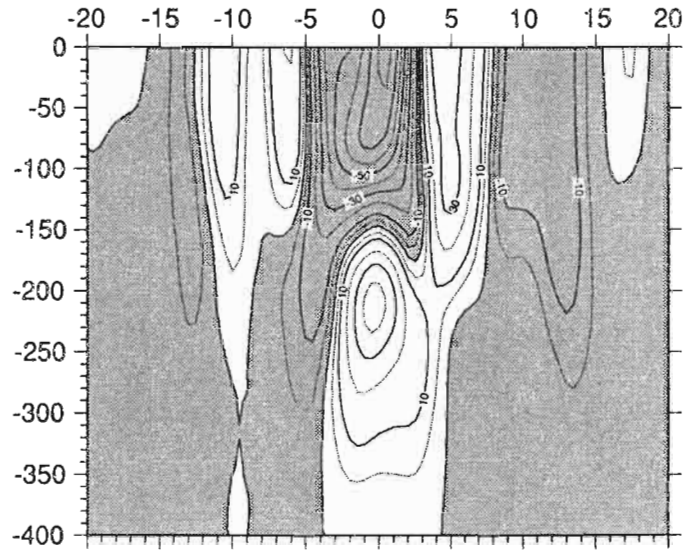


RAIL PACIFIQUE OUEST

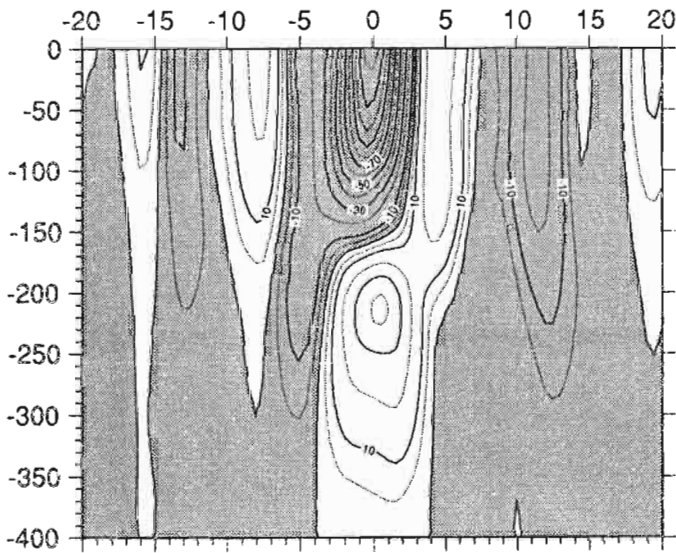
Janvier - Février 1981



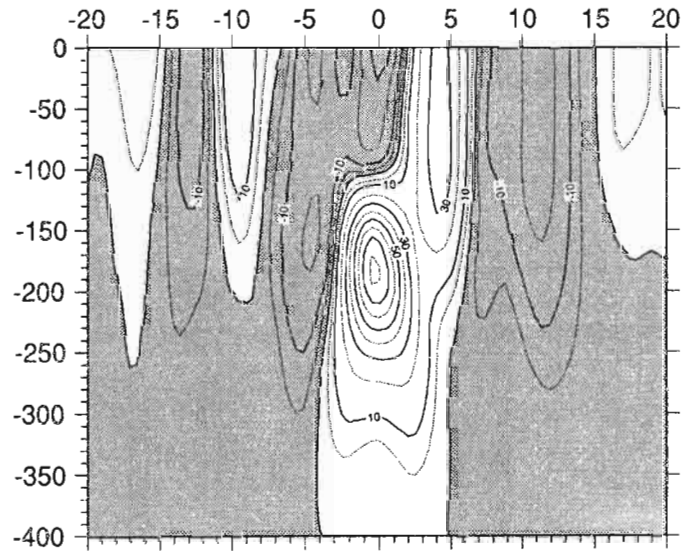
Mars - Avril 1981



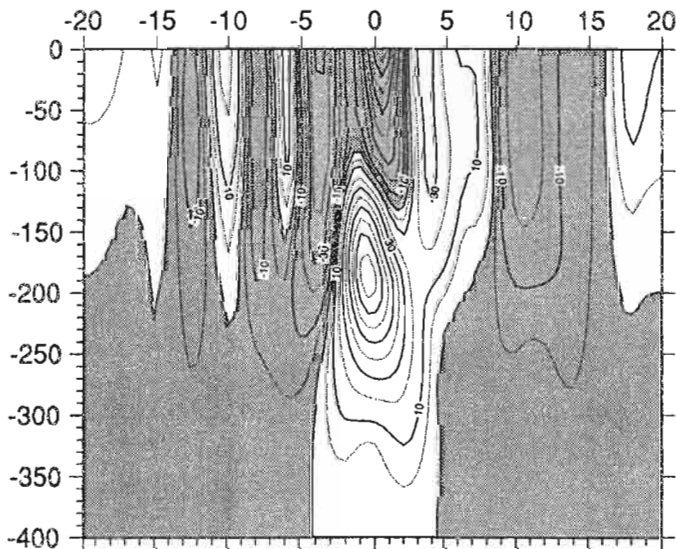
Mai - Juin 1981



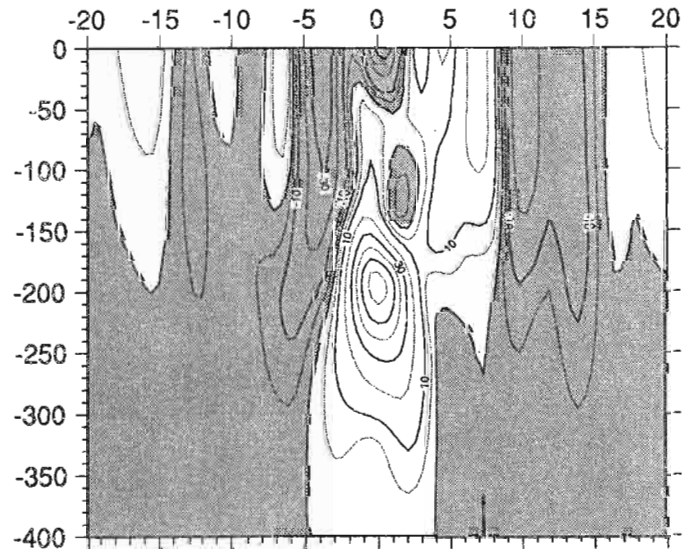
Juillet - Aout 1981



Septembre - Octobre 1981

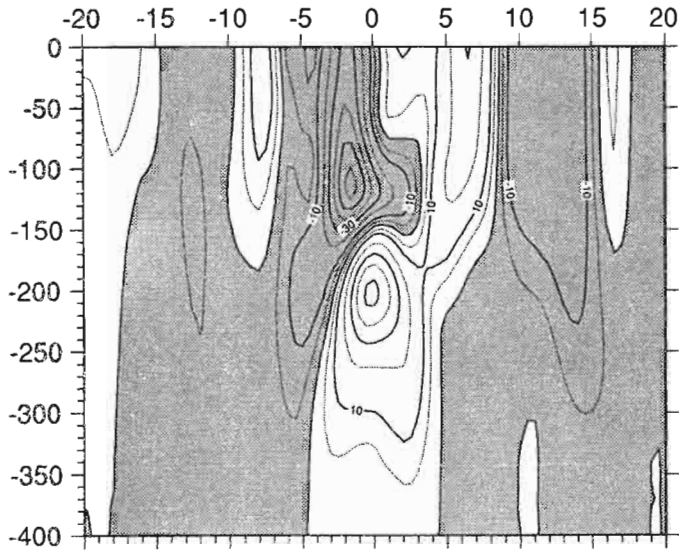


Novembre - Decembre 1981

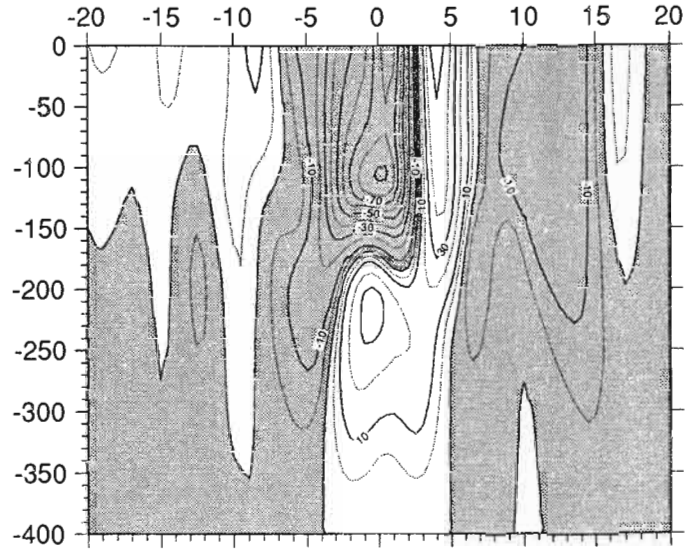


### RAIL PACIFIQUE OUEST

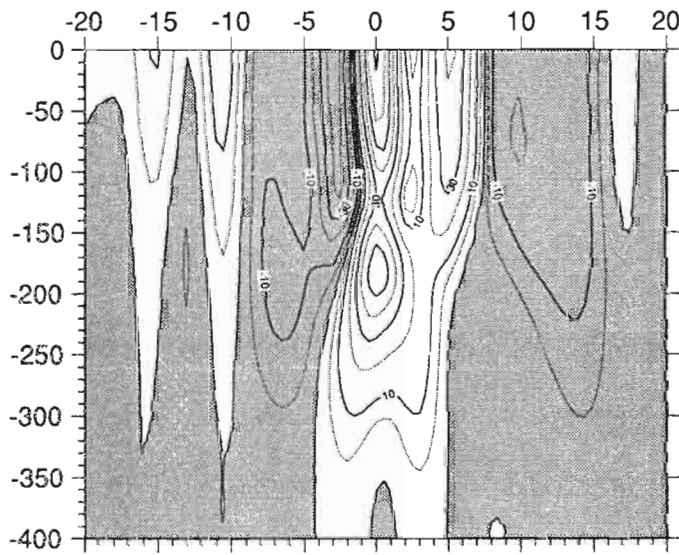
Janvier - Février 1982



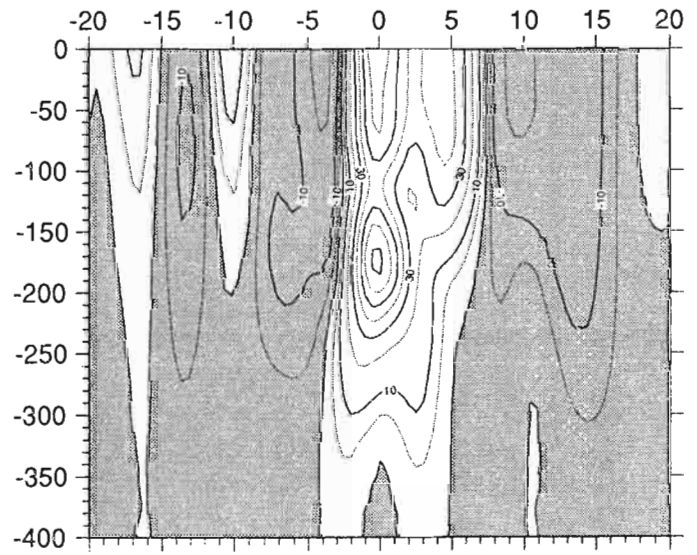
Mars - Avril 1982



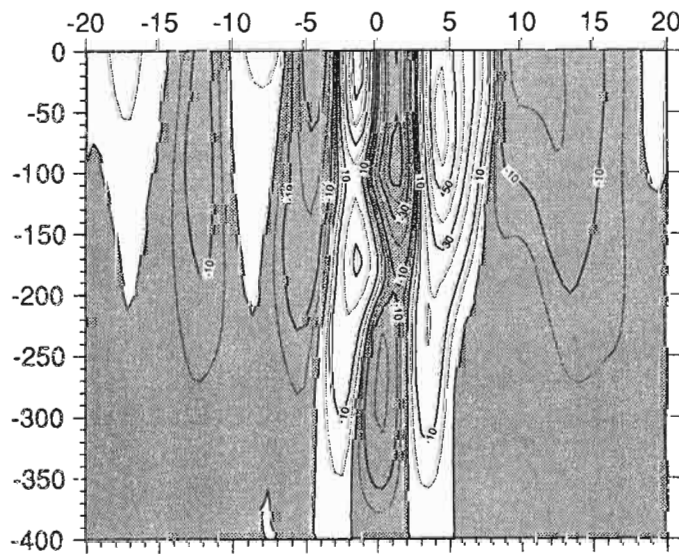
Mai - Juin 1982



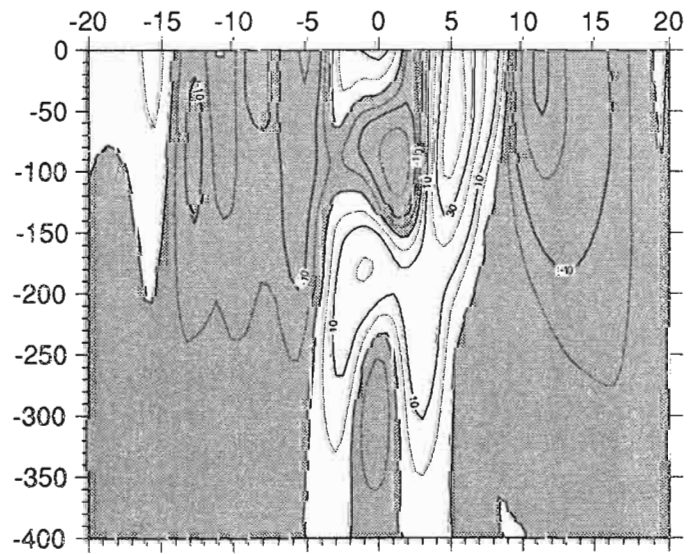
Juillet - Aout 1982



Septembre - Octobre 1982

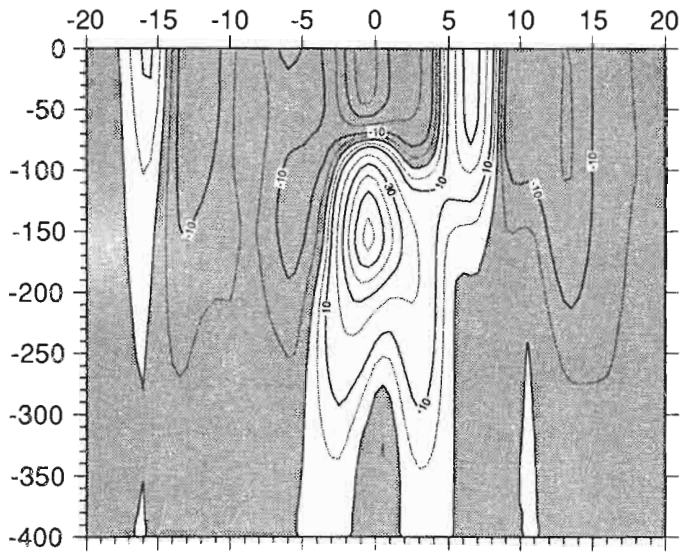


Novembre - Decembre 1982

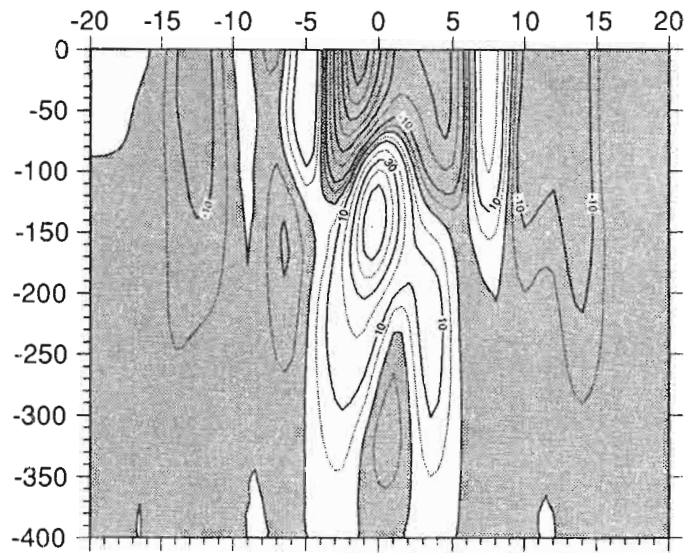


### RAIL PACIFIQUE OUEST

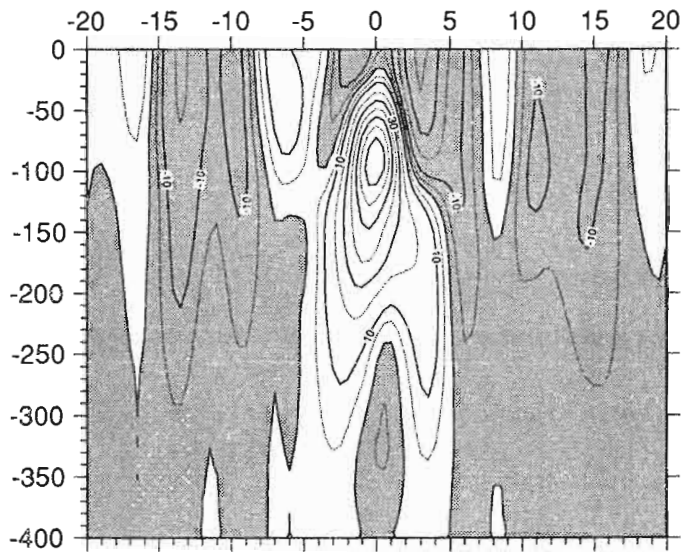
Janvier - Février 1983



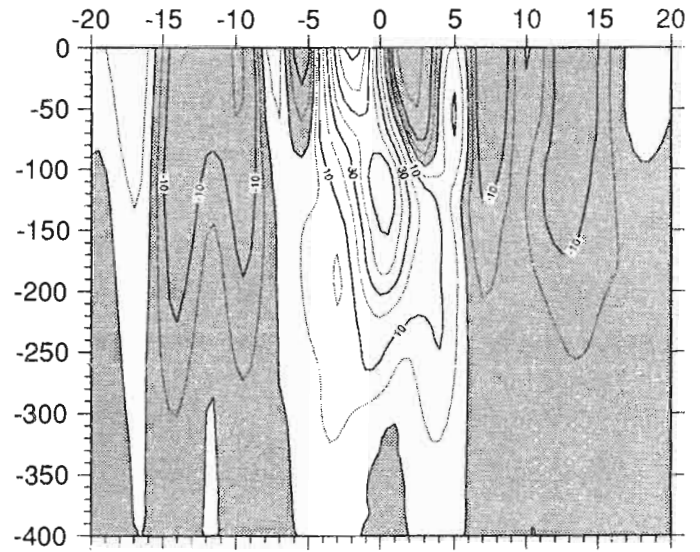
Mars - Avril 1983



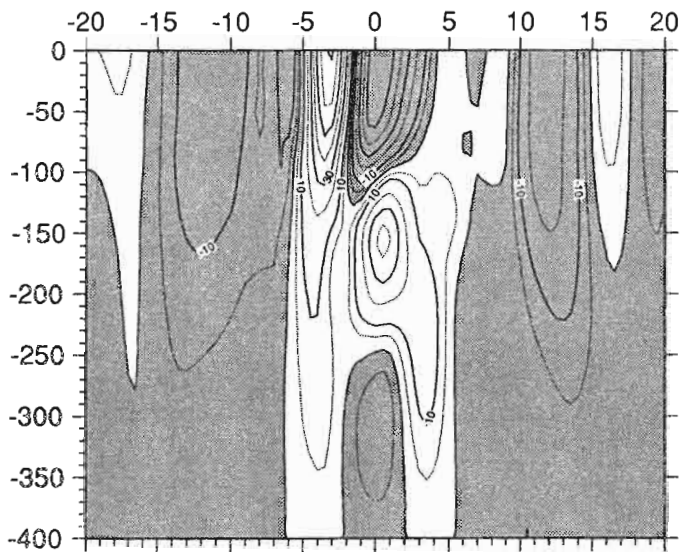
Mai - Juin 1983



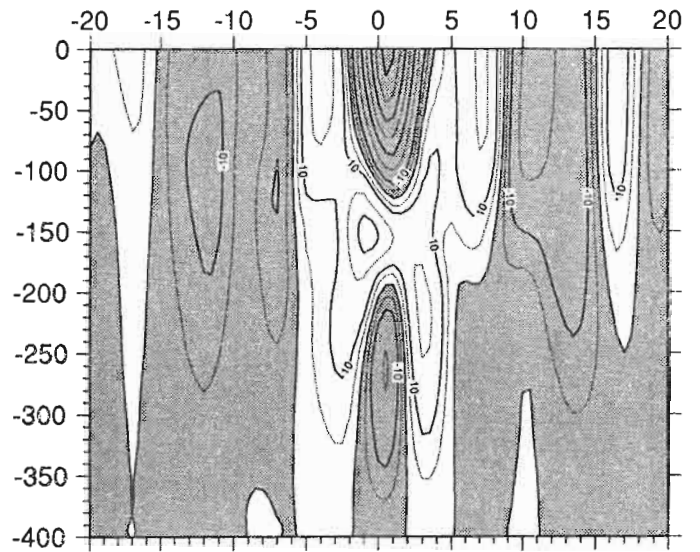
Juillet - Aout 1983



Septembre - Octobre 1983

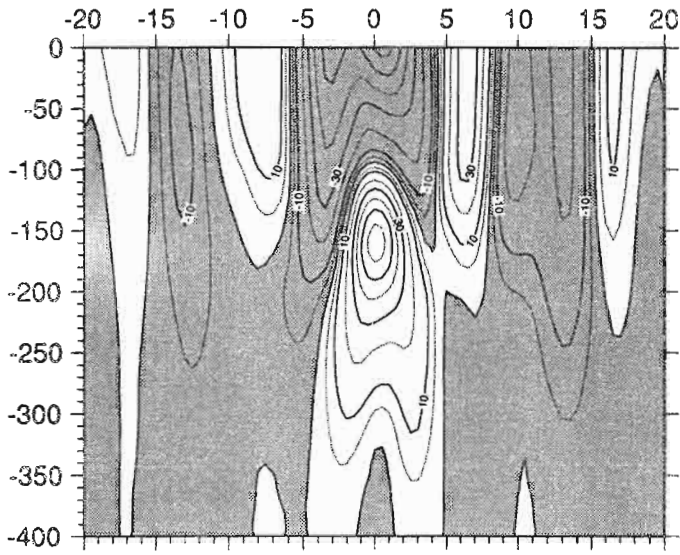


Novembre - Decembre 1983

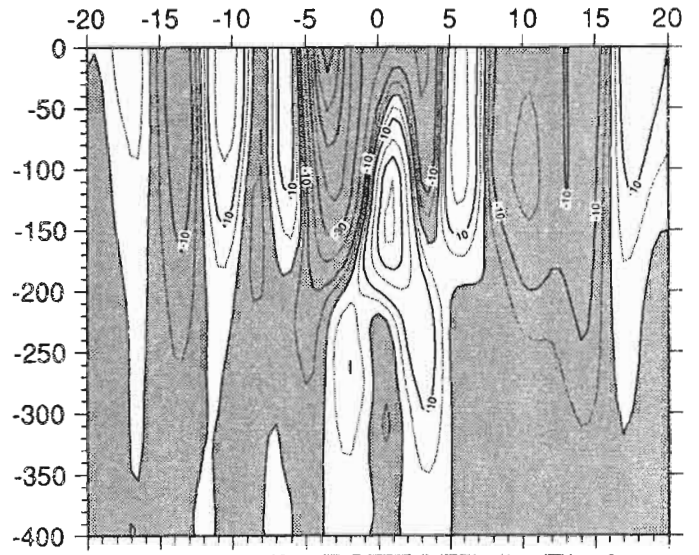


## RAIL PACIFIQUE OUEST

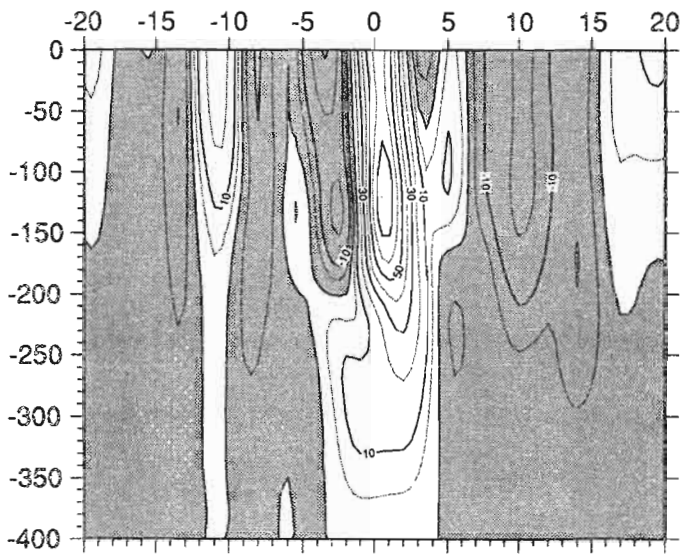
Janvier - Février 1984



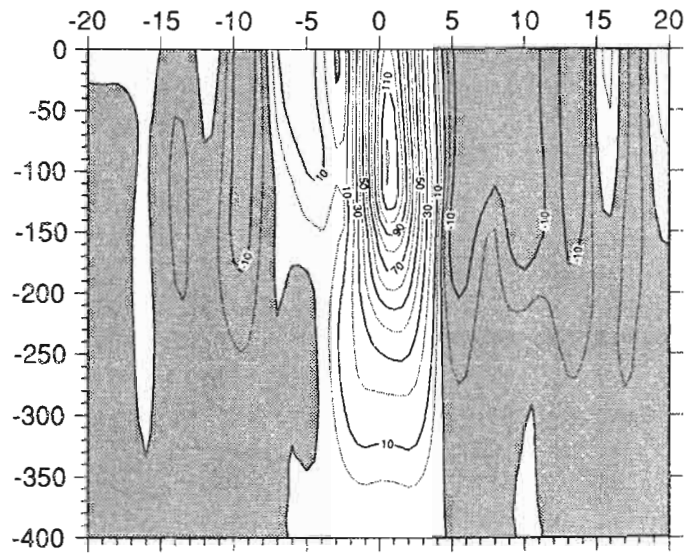
Mars - Avril 1984



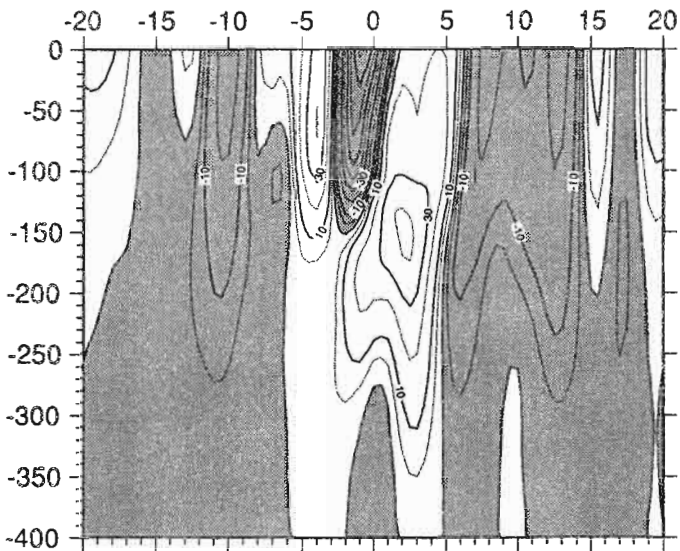
Mai - Juin 1984



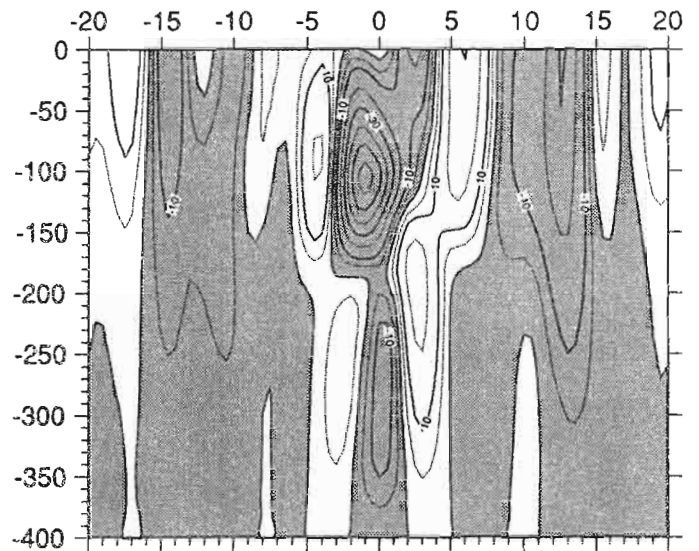
Juillet - Aout 1984



Septembre - Octobre 1984

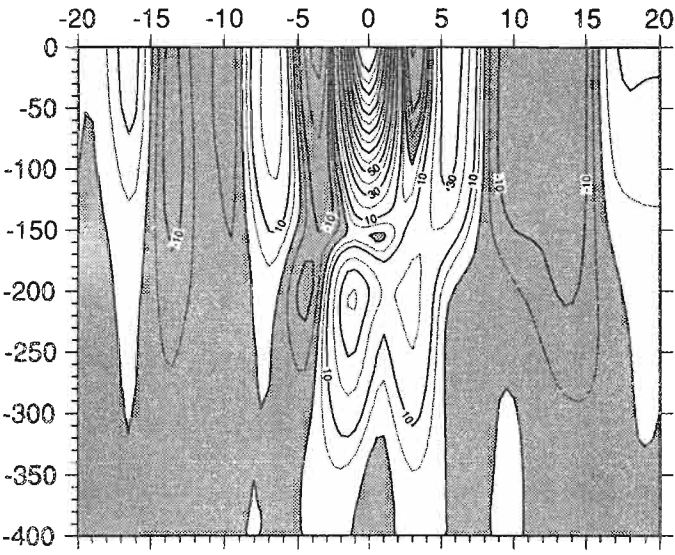


Novembre - Decembre 1984

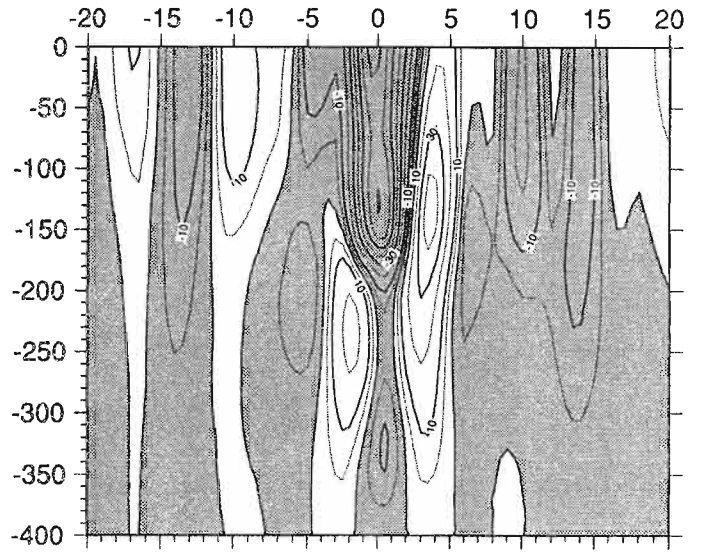


RAIL PACIFIQUE OUEST

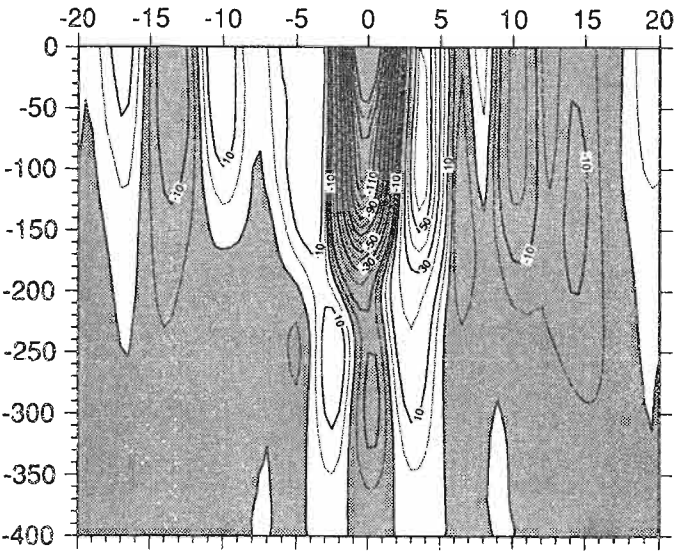
Janvier - Fevrier 1985



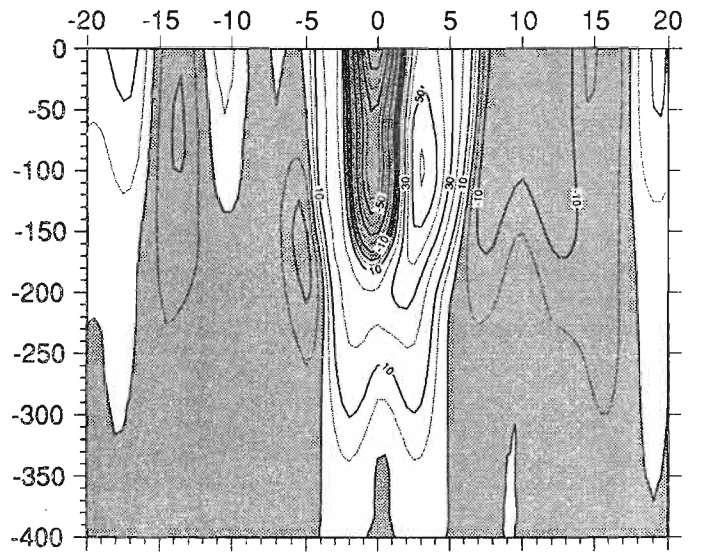
Mars - Avril 1985



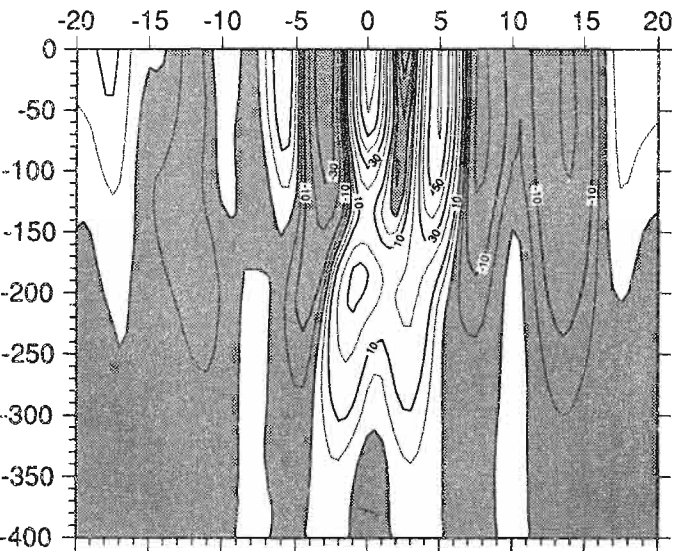
Mai - Juin 1985



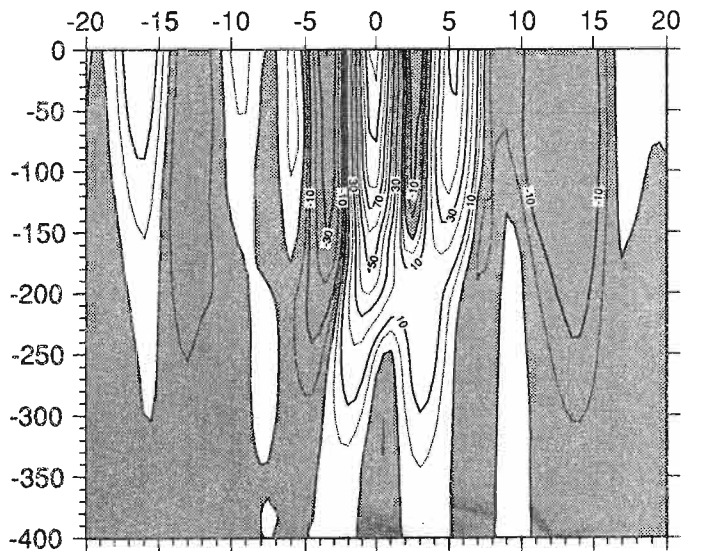
Juillet - Aout 1985



Septembre - Octobre 1985

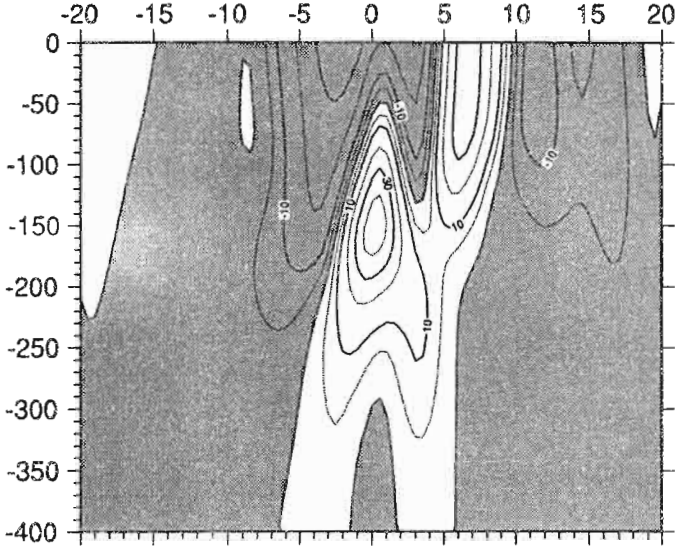


Novembre - Decembre 1985

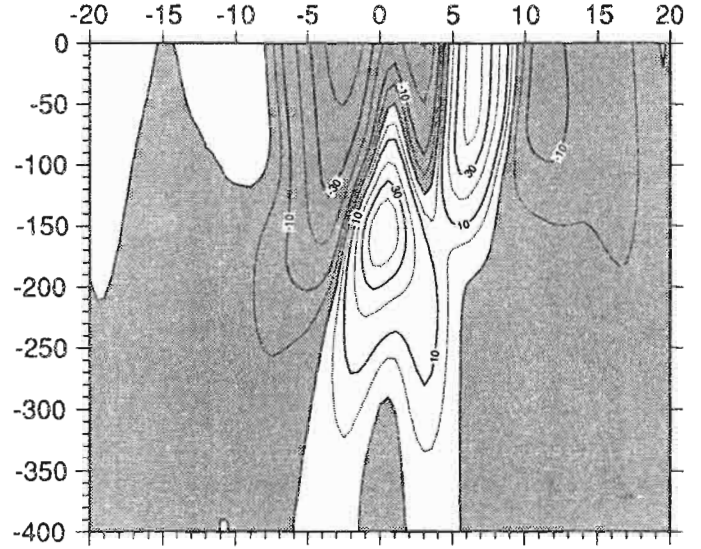


RAIL PACIFIQUE CENTRAL

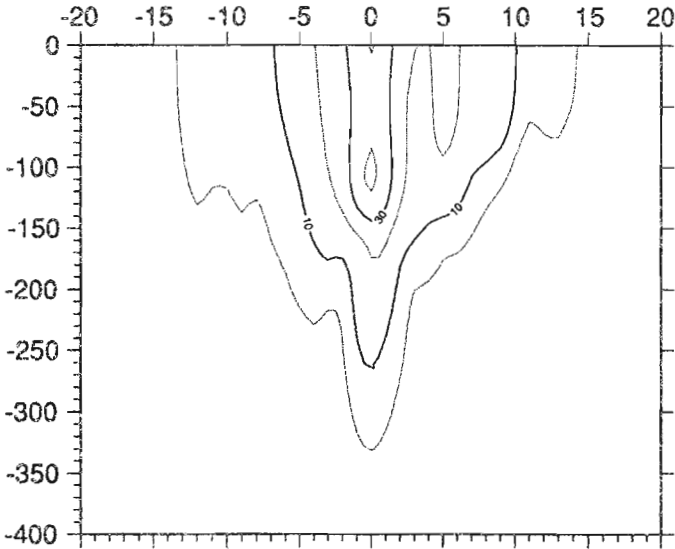
Moyenne 1979-1985



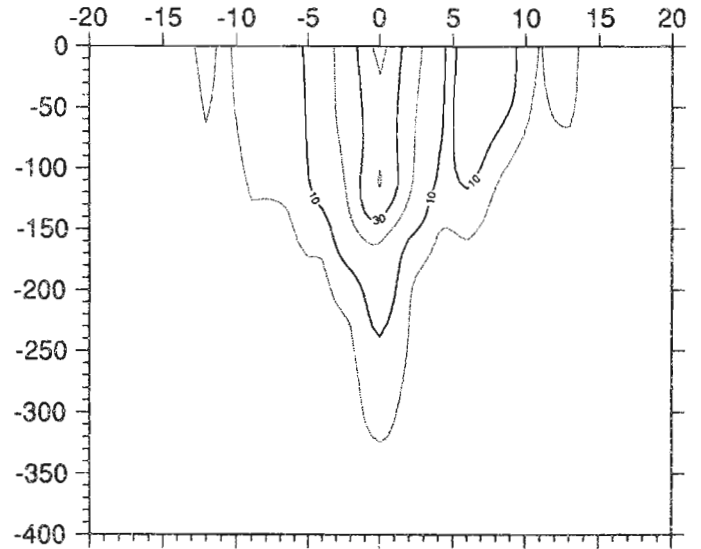
Moyenne 1979-1981



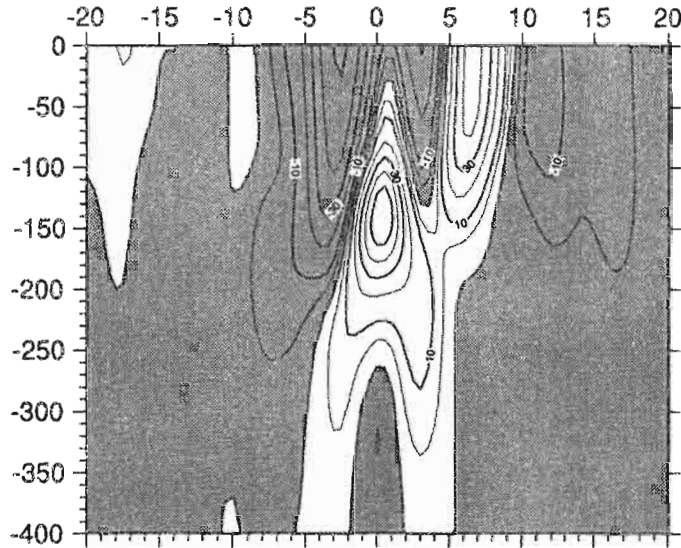
Ecart type 1979-1985



Ecart type 1979-1981



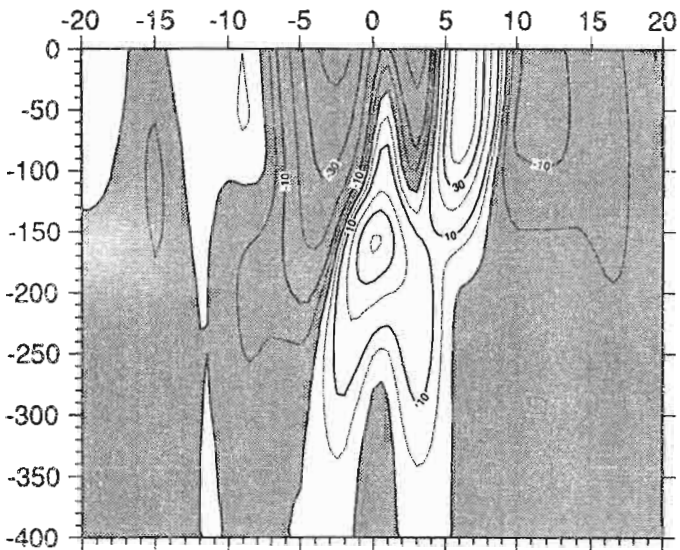
Moyenne 1979



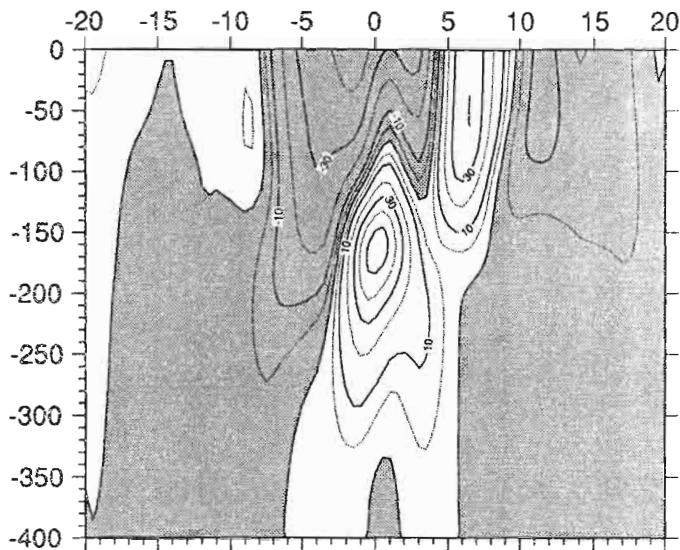


RAIL PACIFIQUE CENTRAL

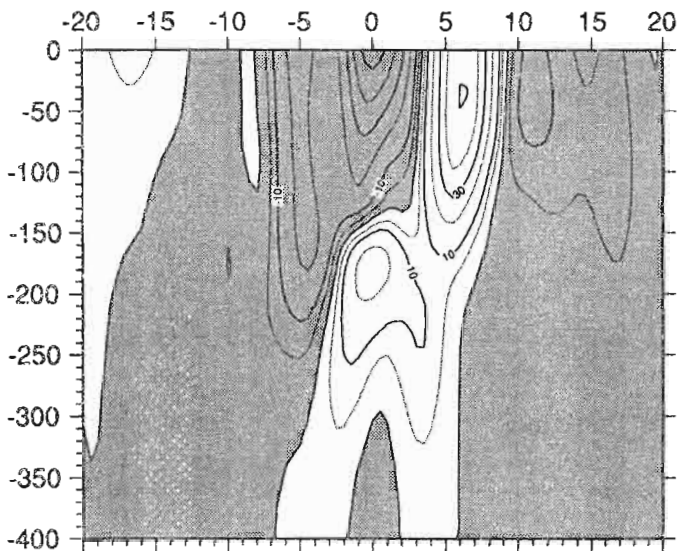
Moyenne 1980



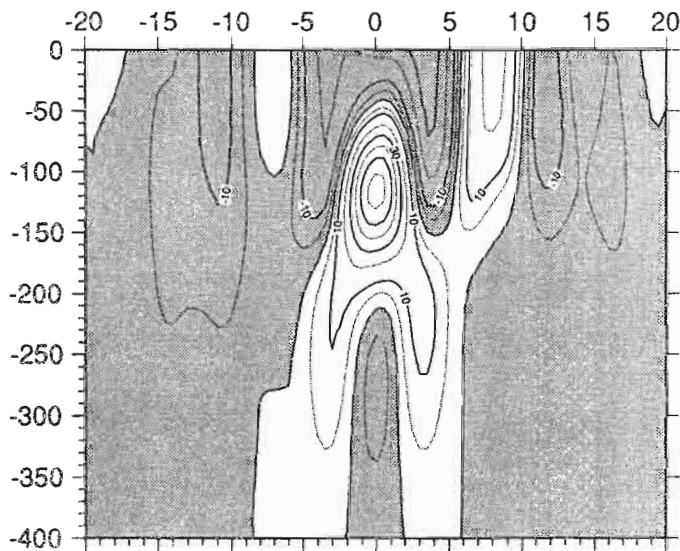
Moyenne 1981



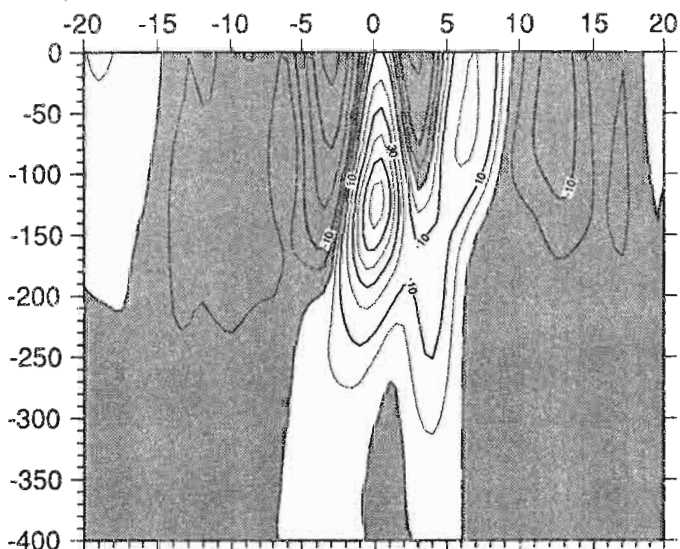
Moyenne 1982



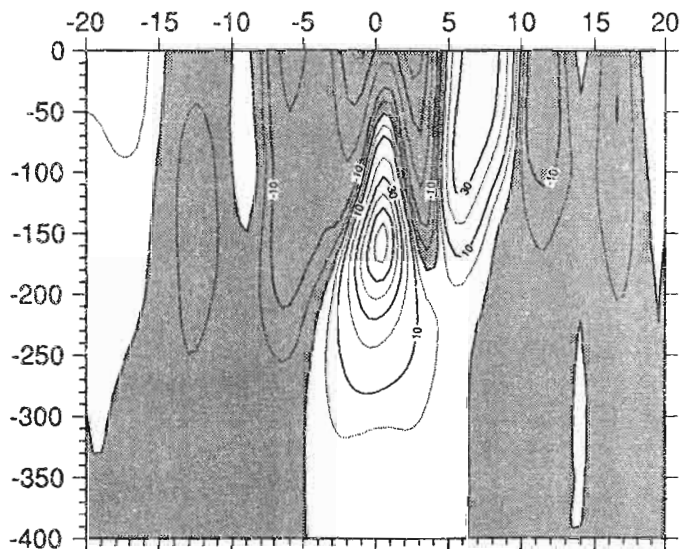
Moyenne 1983



Moyenne 1984

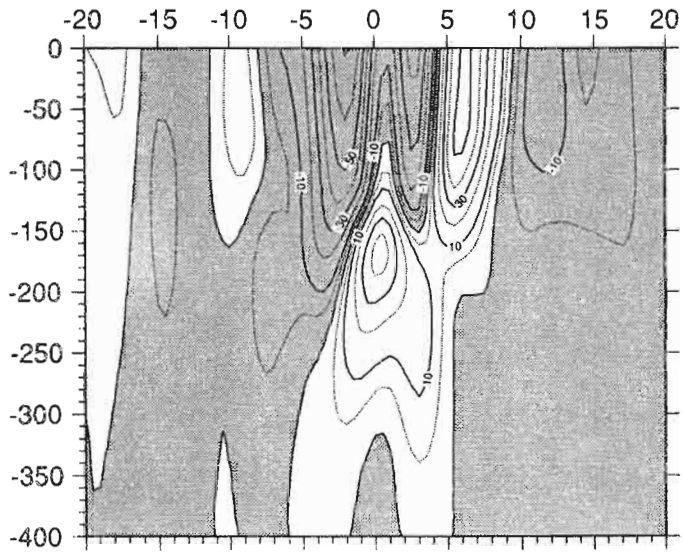


Moyenne 1985

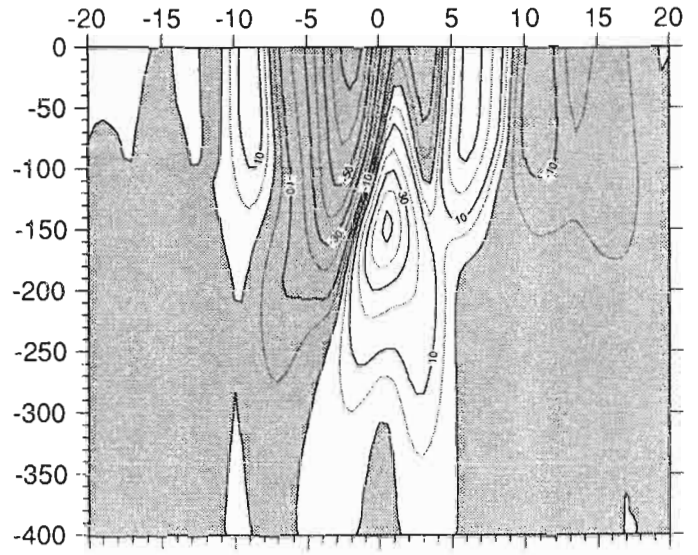


RAIL PACIFIQUE CENTRAL  
ANNEE MOYENNE

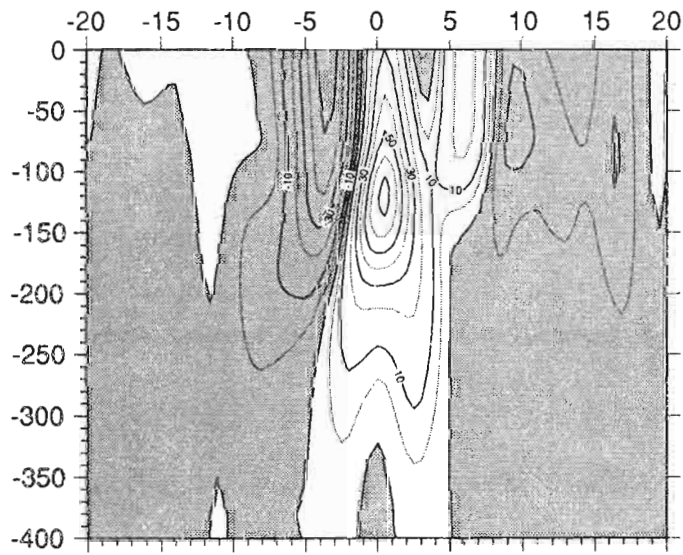
Janvier-Fevrier



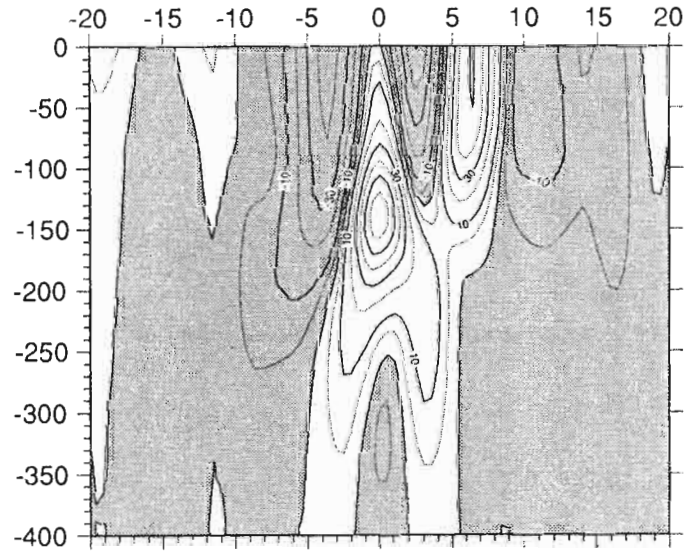
Mars-Avril



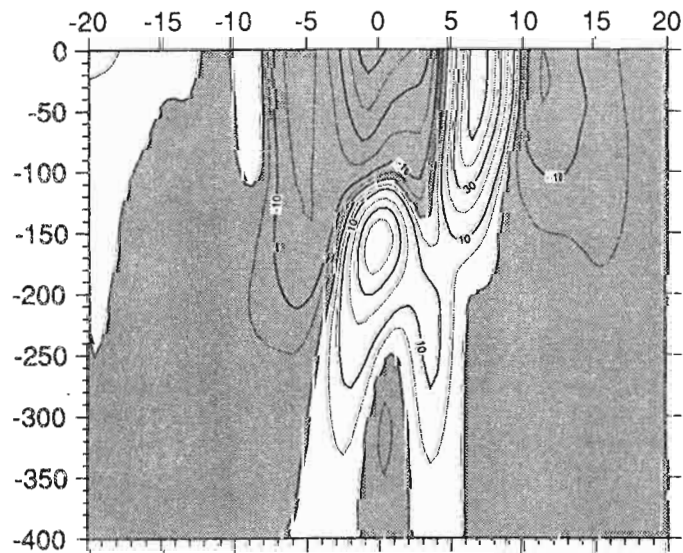
Mai-Juin



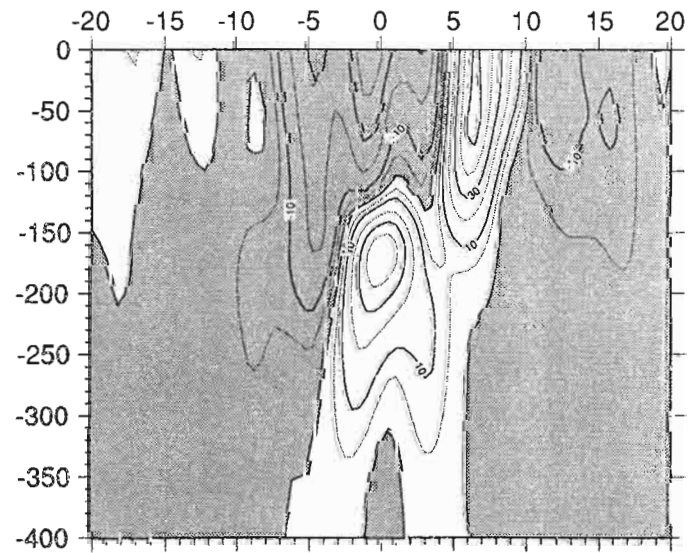
Juillet-Aout



Septembre-Octobre

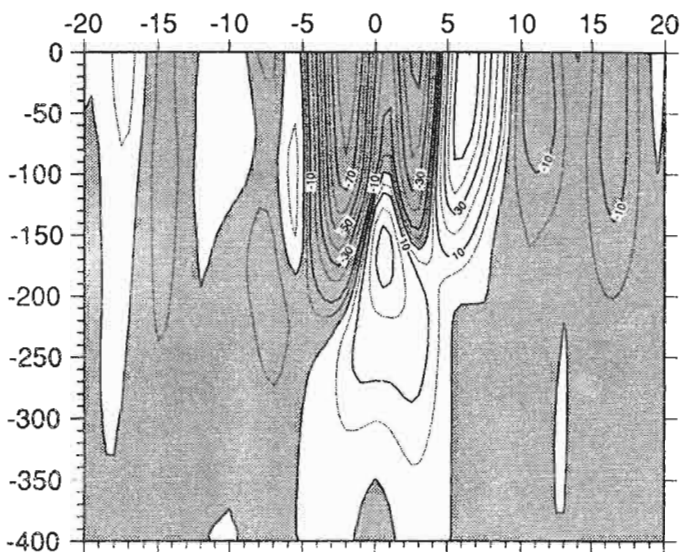


Novembre-Decembre

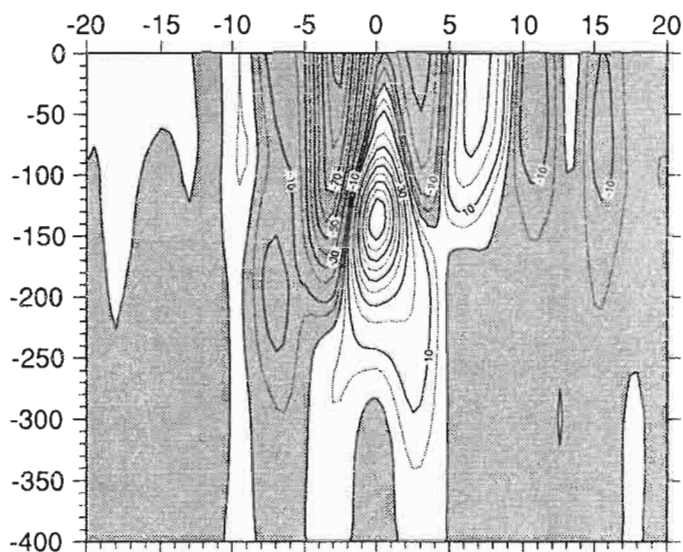


## RAIL PACIFIQUE CENTRAL

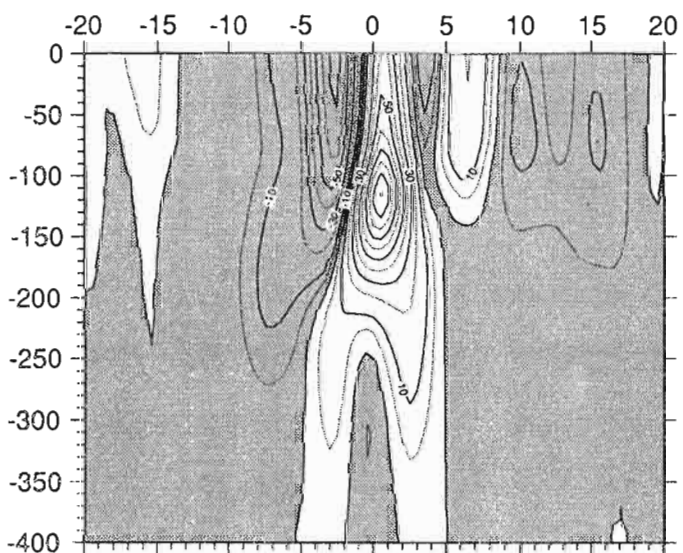
Janvier - Février 1979



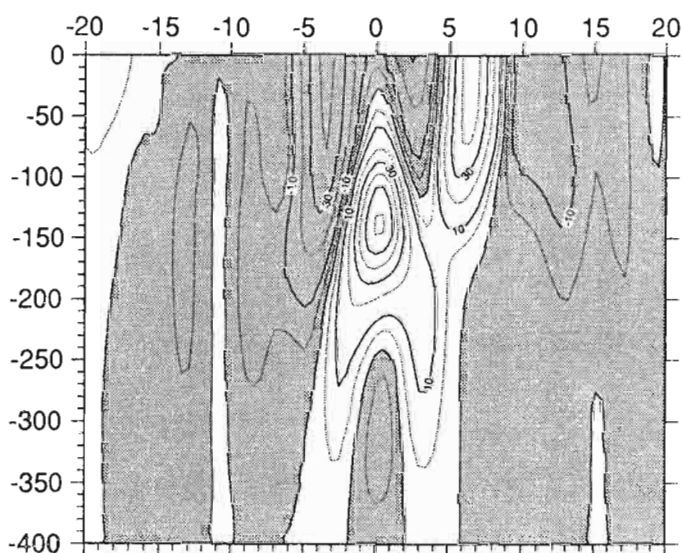
Mars - Avril 1979



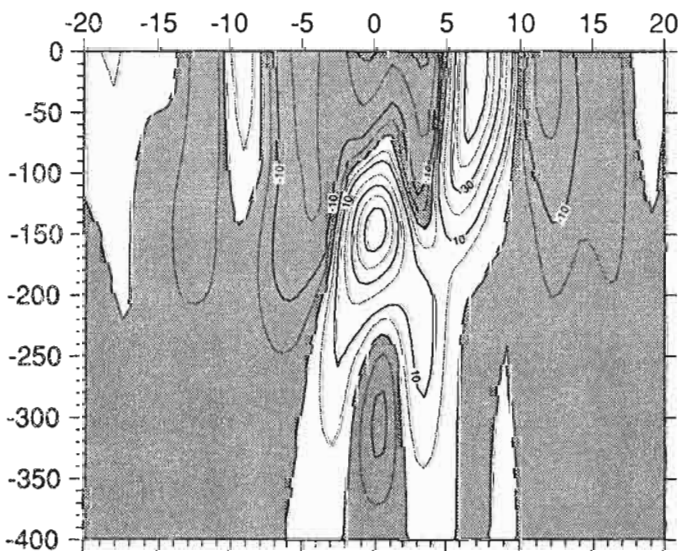
Mai - Juin 1979



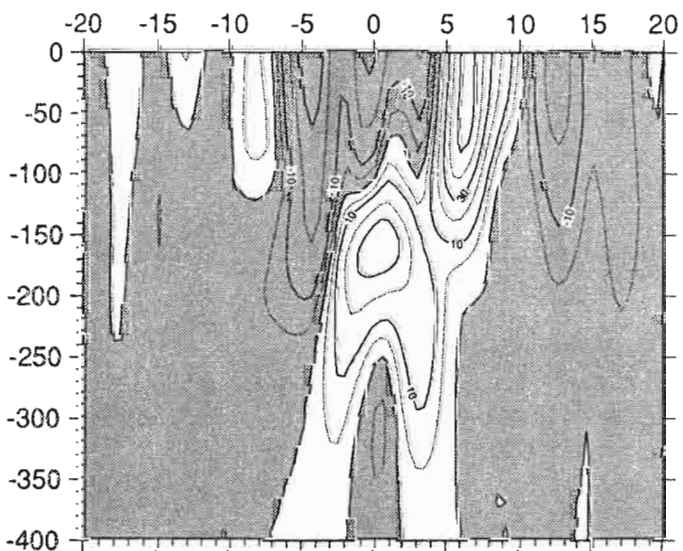
Juillet - Aout 1979



Septembre - Octobre 1979

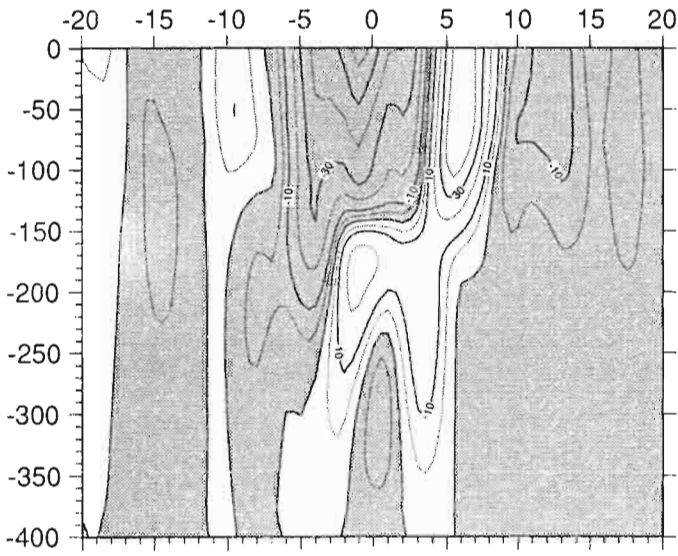


Novembre - Decembre 1979

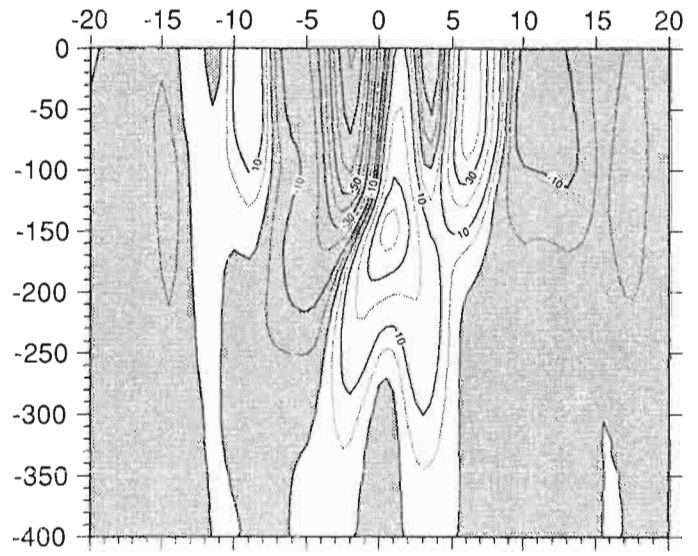


### RAIL PACIFIQUE CENTRAL

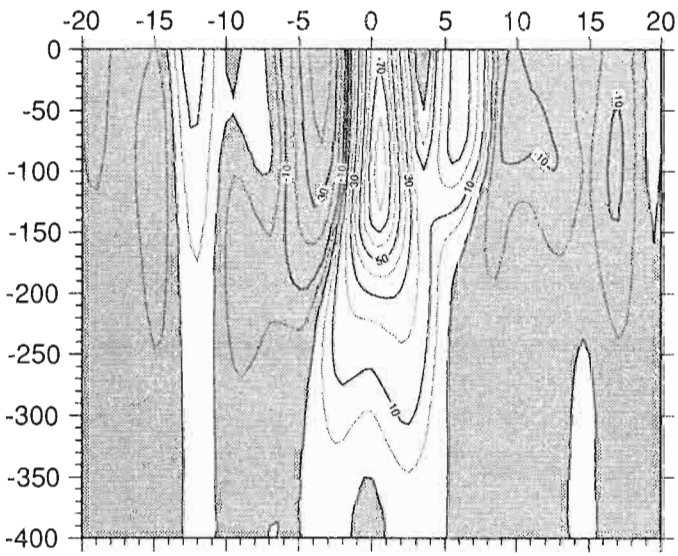
Janvier - Février 1980



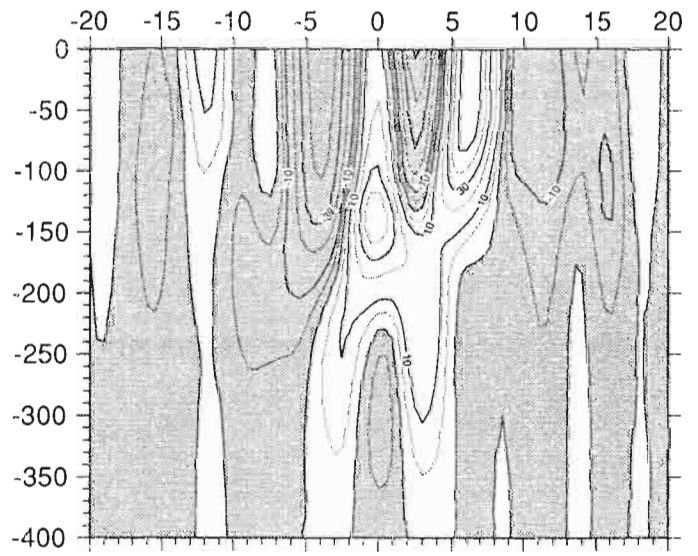
Mars - Avril 1980



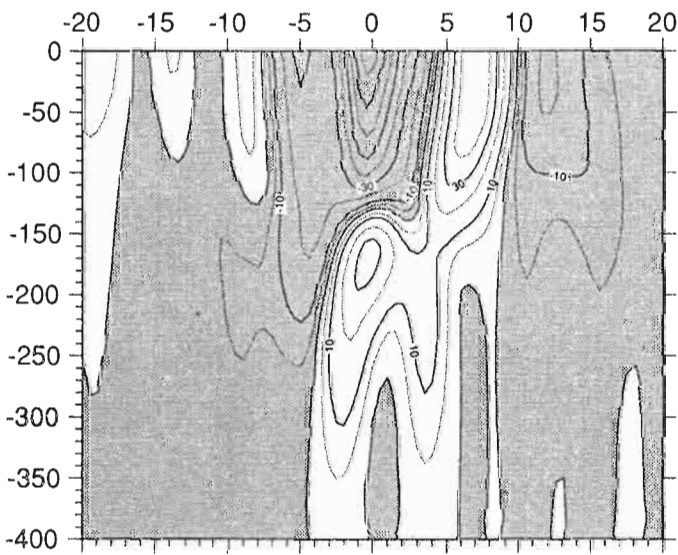
Mai - Juin 1980



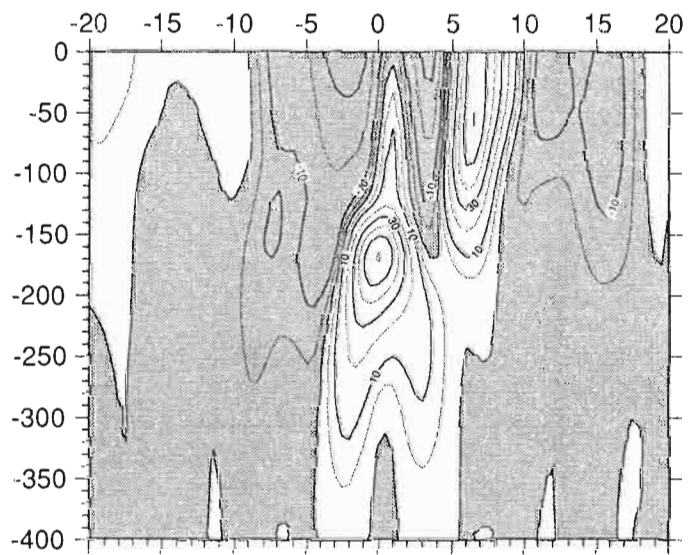
Juillet - Aout 1980



Septembre - Octobre 1980

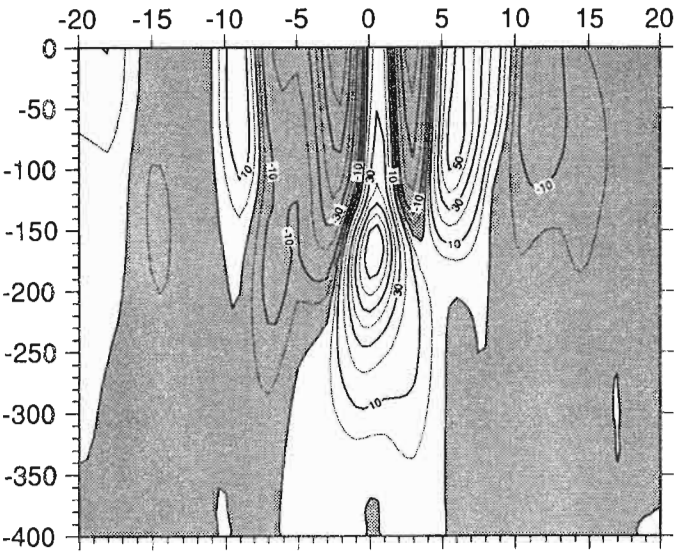


Novembre - Decembre 1980

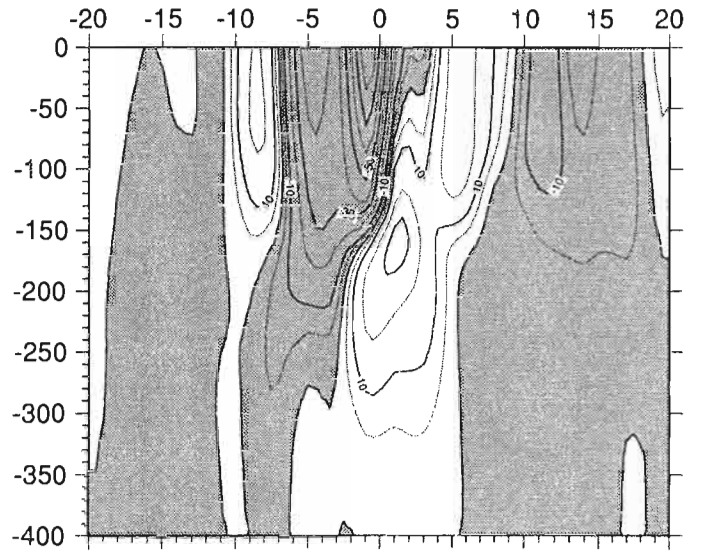


RAIL PACIFIQUE CENTRAL

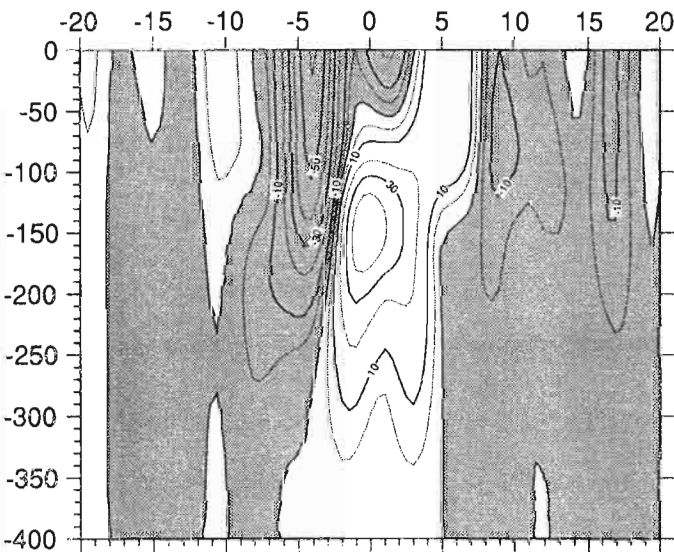
Janvier - Fevrier 1981



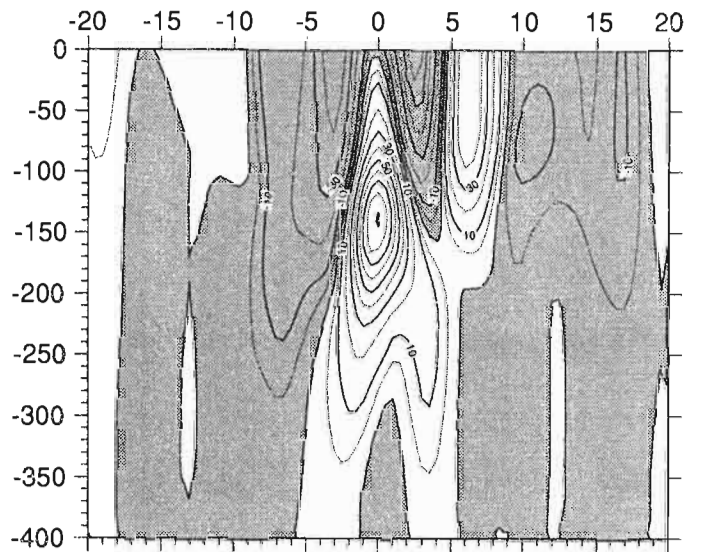
Mars - Avril 1981



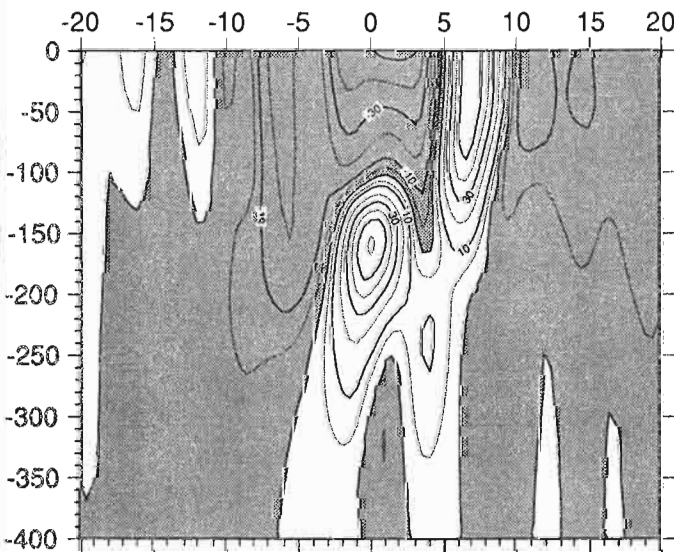
Mai - Juin 1981



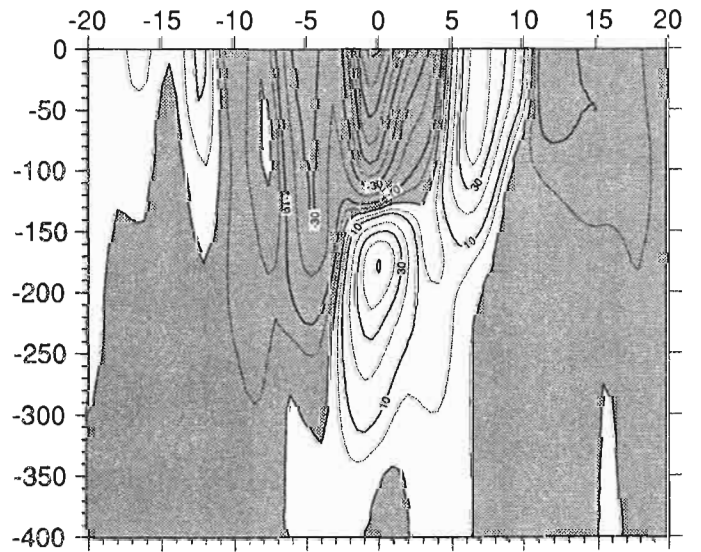
Juillet - Aout 1981



Septembre - Octobre 1981

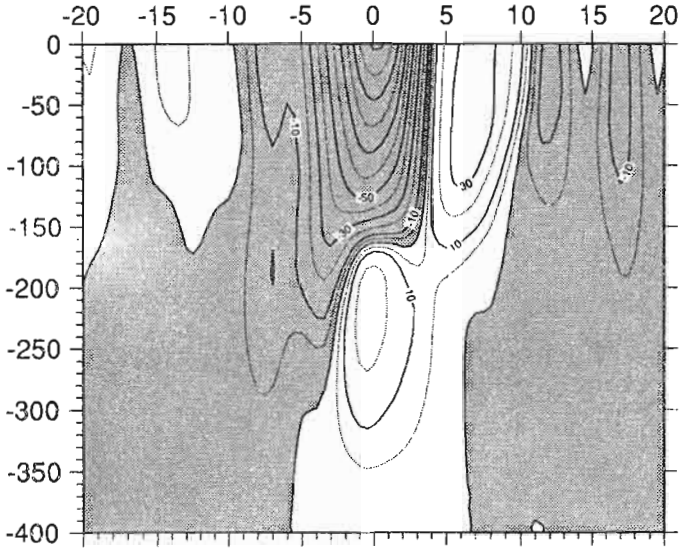


Novembre - Decembre 1981

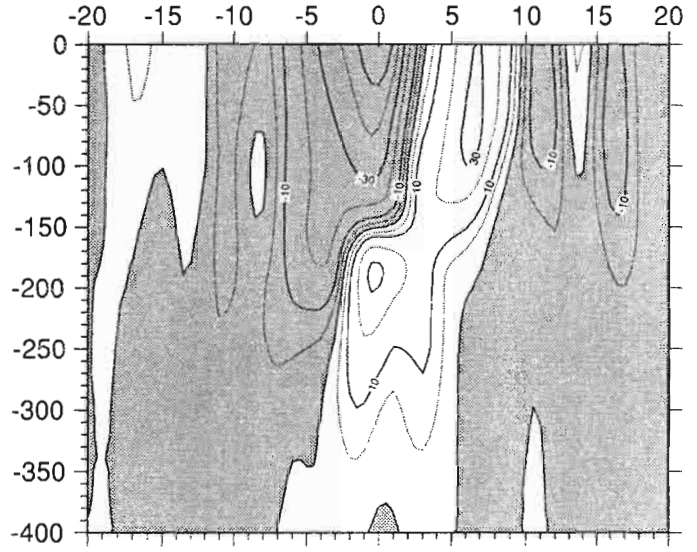


RAIL PACIFIQUE CENTRAL

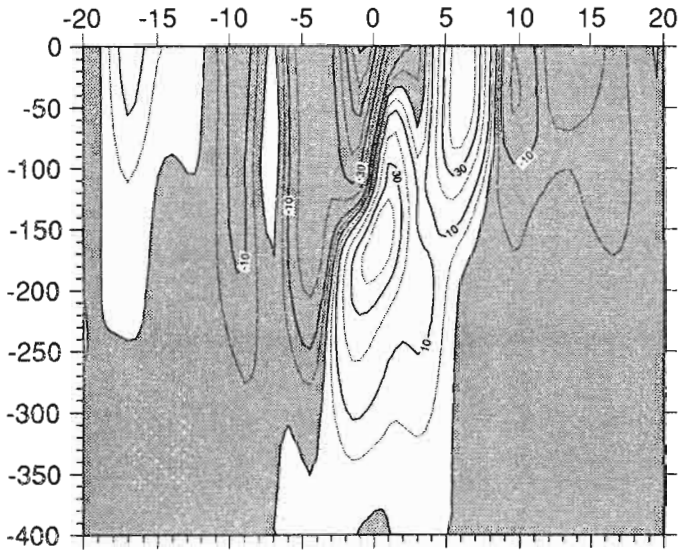
Janvier - Fevrier 1982



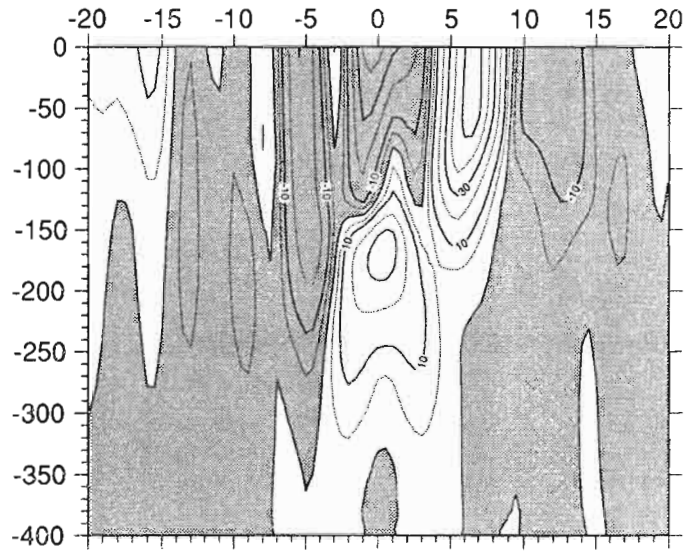
Mars - Avril 1982



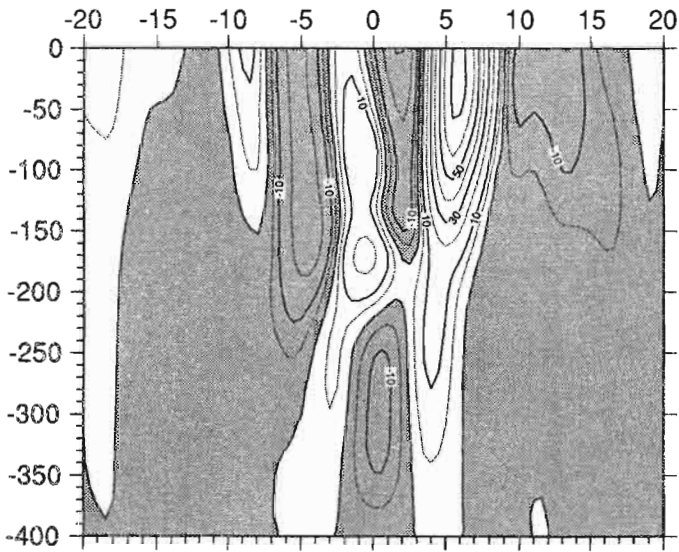
Mai - Juin 1982



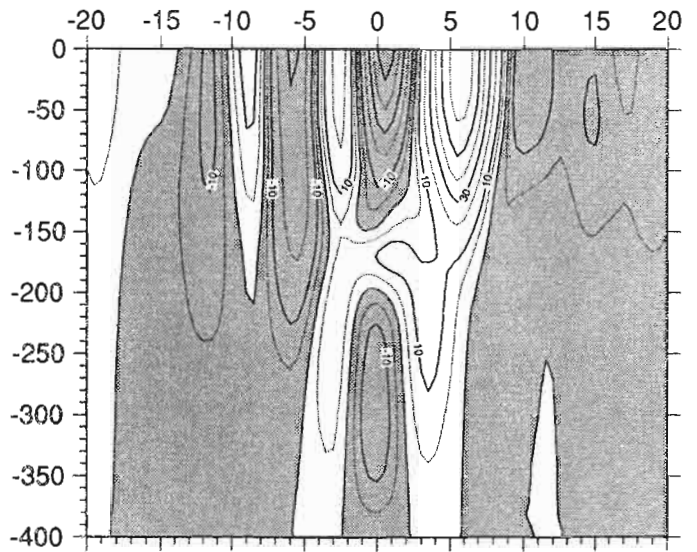
Juillet - Aout 1982



Septembre - Octobre 1982

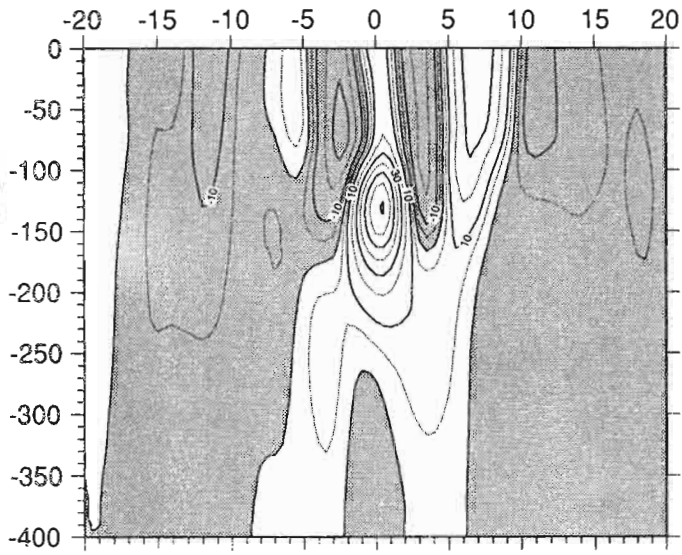


Novembre - Decembre 1982

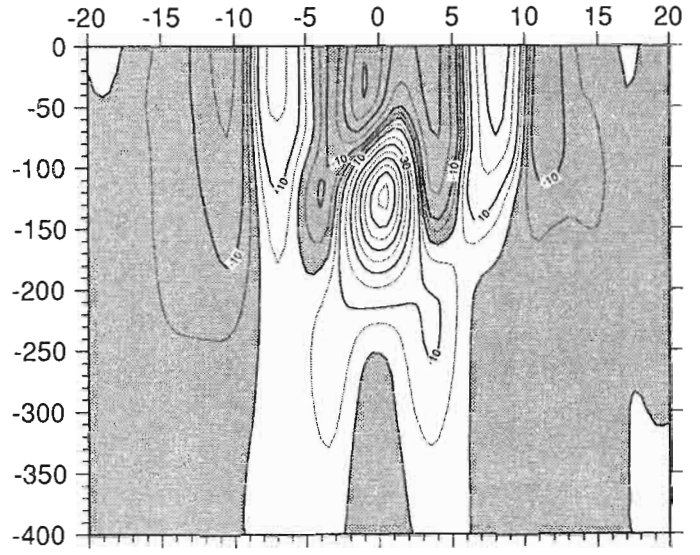


RAIL PACIFIQUE CENTRAL

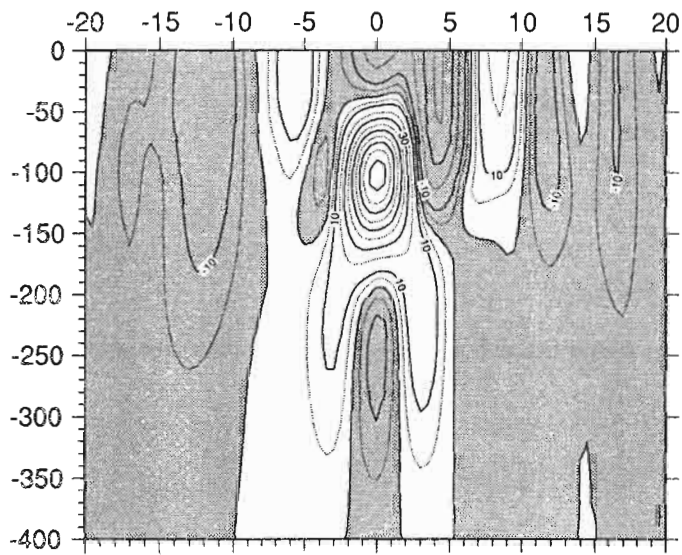
Janvier - Février 1983



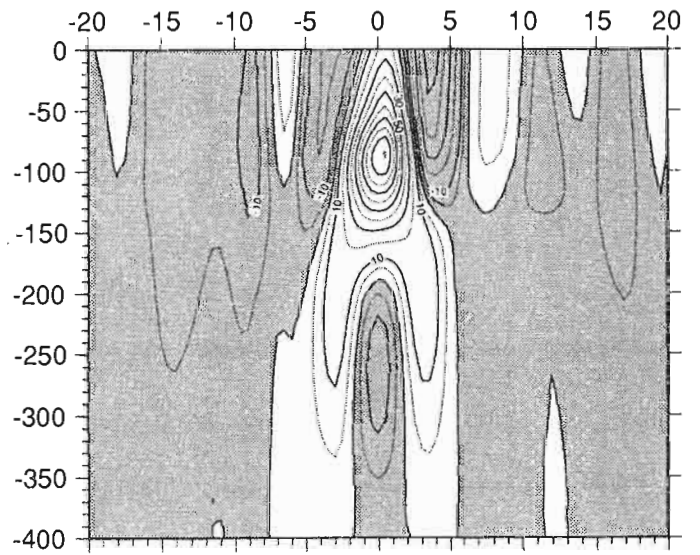
Mars - Avril 1983



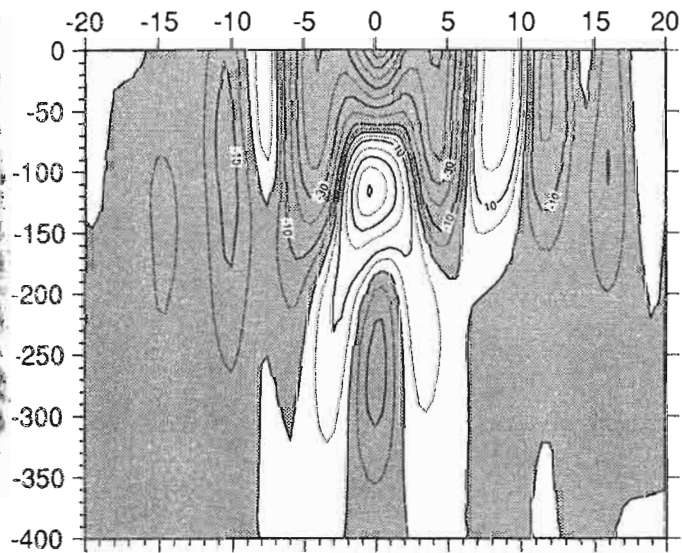
Mai - Juin 1983



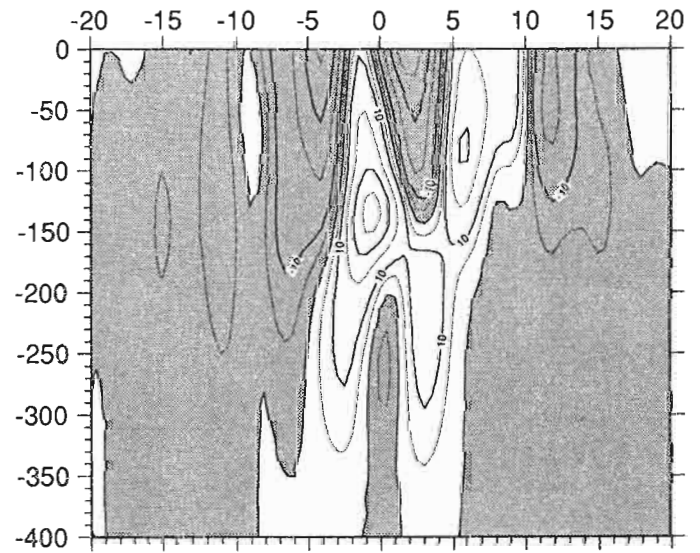
Juillet - Aout 1983



Septembre - Octobre 1983

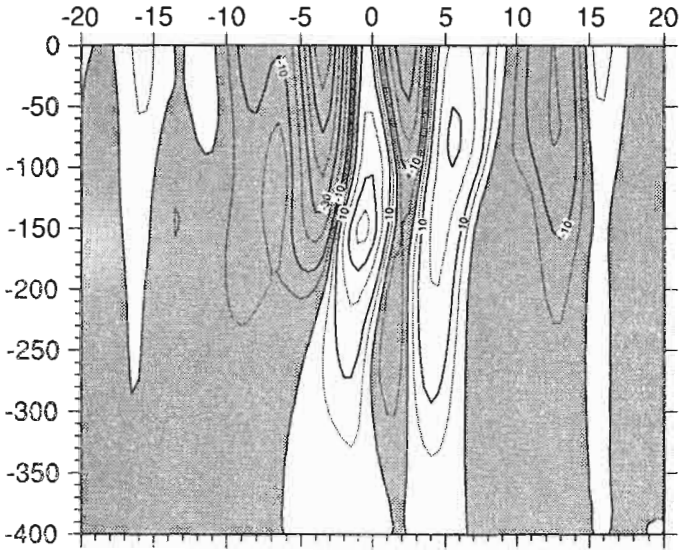


Novembre - Decembre 1983

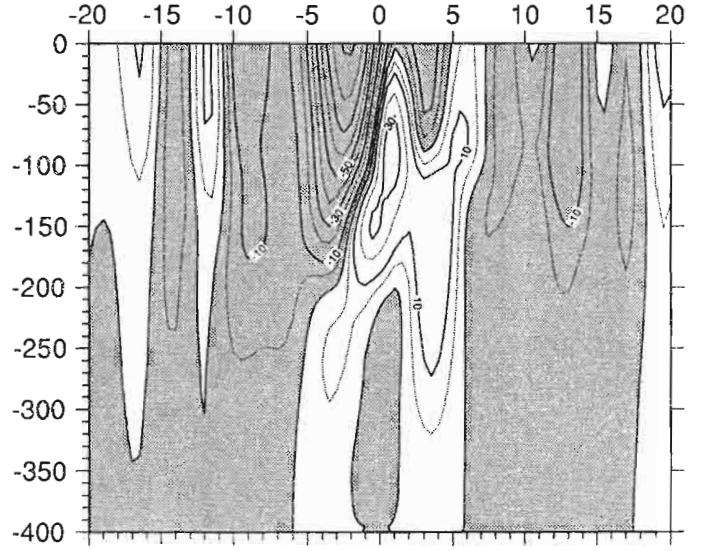


RAIL PACIFIQUE CENTRAL

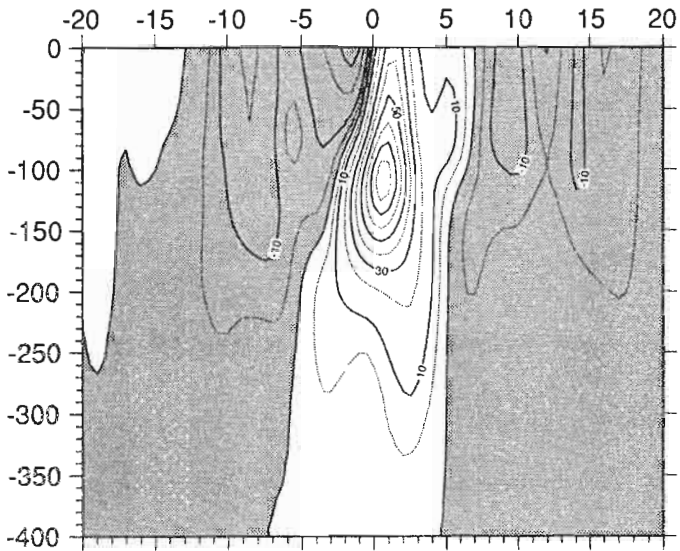
Janvier - Février 1984



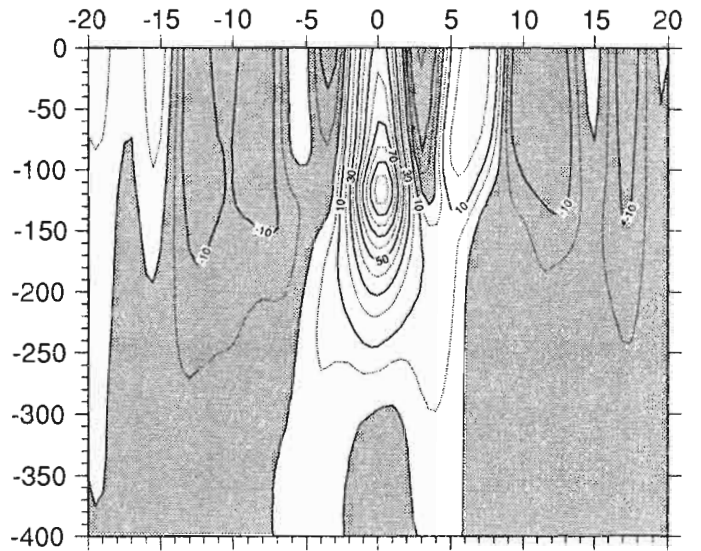
Mars - Avril 1984



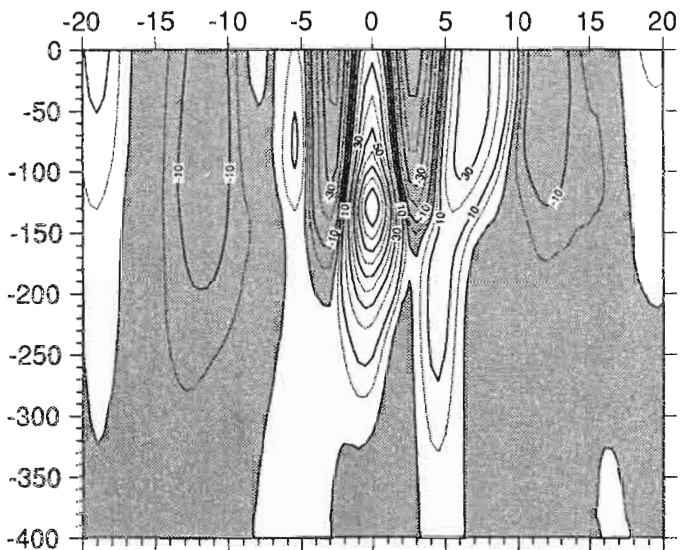
Mai - Juin 1984



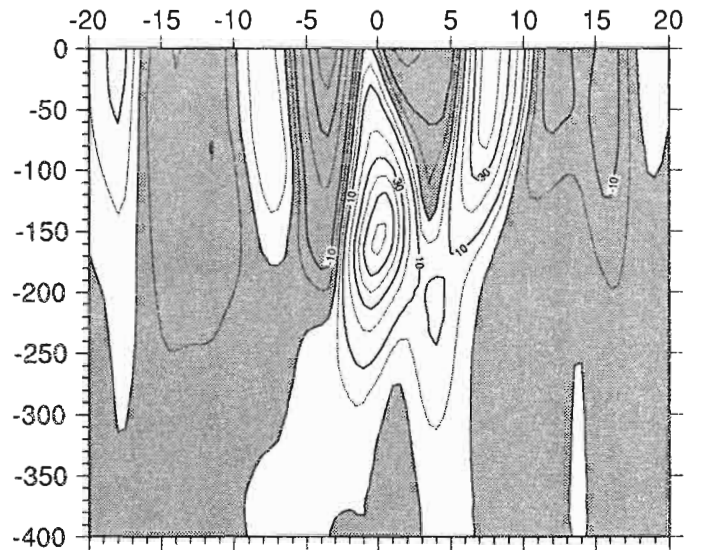
Juillet - Aout 1984



Septembre - Octobre 1984



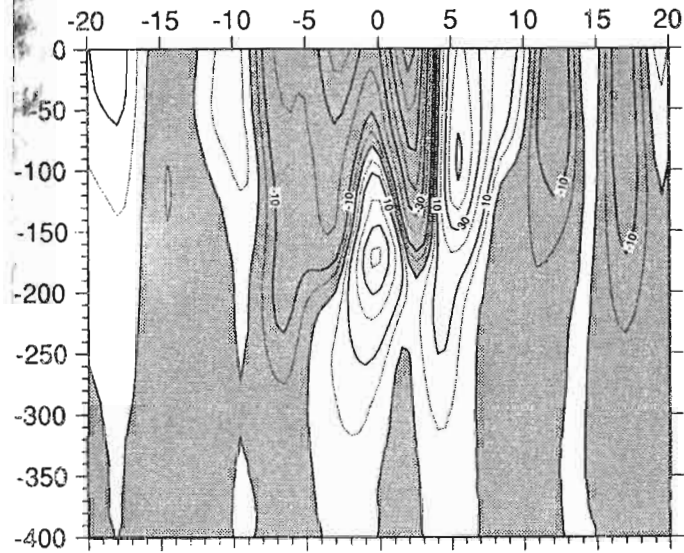
Novembre - Decembre 1984



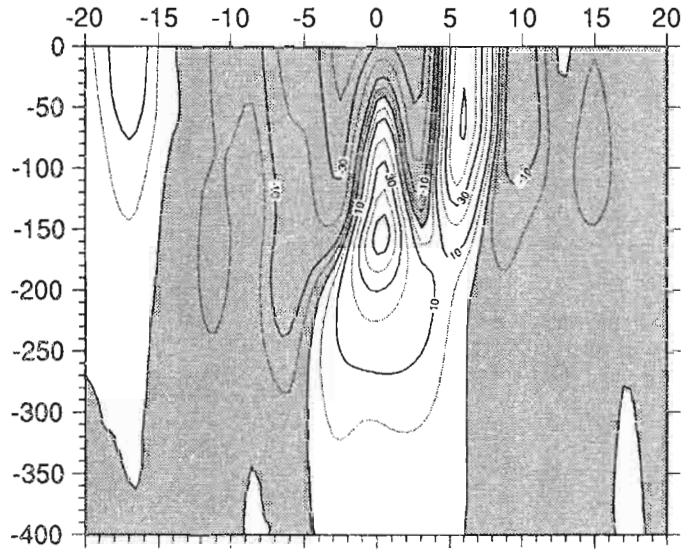


RAIL PACIFIQUE CENTRAL

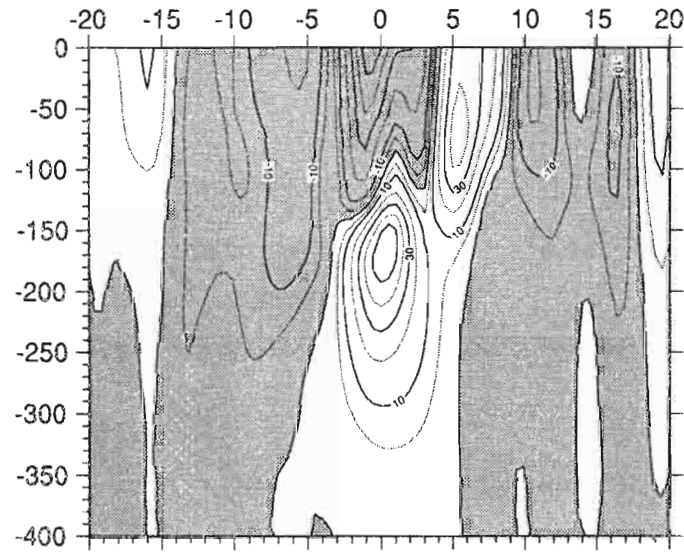
Janvier - Février 1985



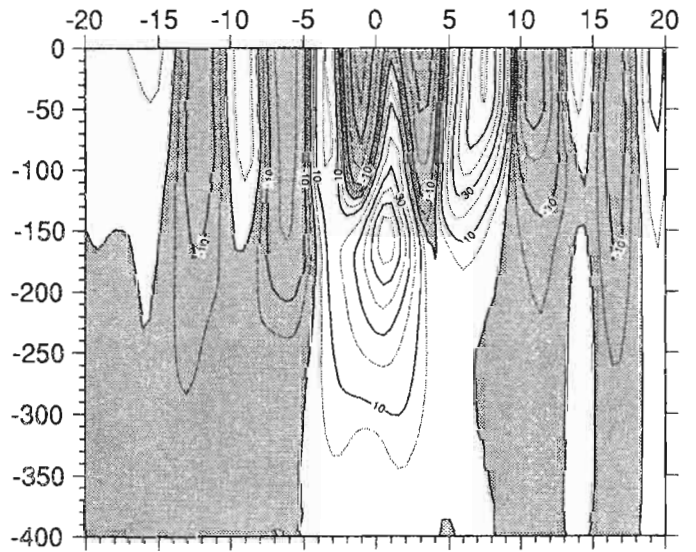
Mars - Avril 1985



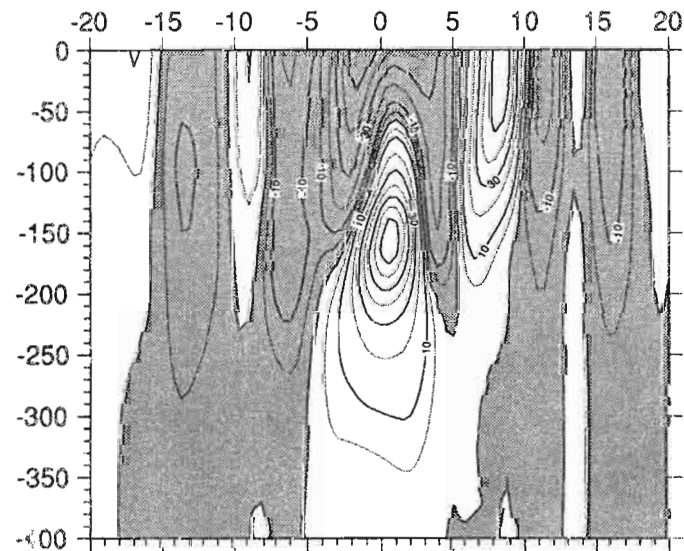
Mai - Juin 1985



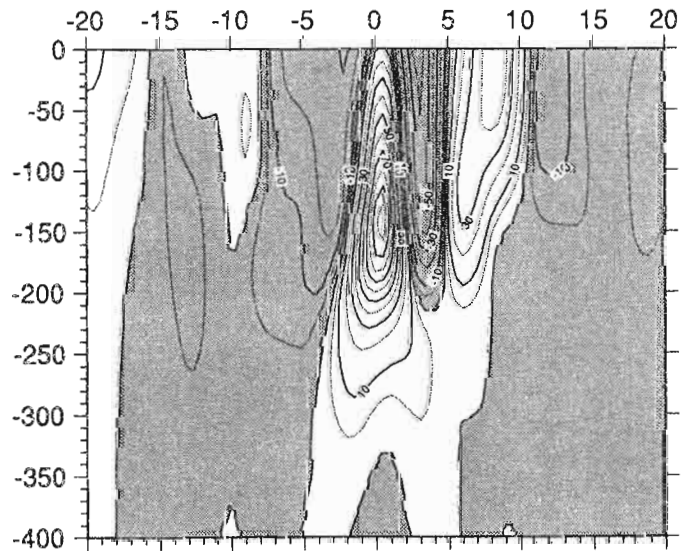
Juillet - Aout 1985



Septembre - Octobre 1985



Novembre - Decembre 1985



Centre ORSTOM de Nouméa  
B.P. A5 Nouméa Cédex Nouvelle Calédonie

© 1991