

# Quelques relations entre le couple des montagnes et la circulation atmosphérique de grande échelle aux moyennes latitudes

F. LOTT LMD-IPSL

En collaboration avec:

F. D'Andréa, M. Ghil, P. Levan (+groupe modèle du LMD), M. Moustouli, J.L. Monge, A. Robertson (IRI NY), H. Teitelbaum, V. Vogt (Météo France)

## 1 Généralités.

Rappels sur le bilan de moment angulaire

Intérêt pour comprendre la circulation atmosphérique de grande échelle (longueur du jour)

## 2 La variabilité atmosphérique, fluctuations du moment angulaire, fluctuations des couples affectant le moment angulaire.

Variabilité tropicale, ENSO et MJO, importance du couple du à la friction de couche limite

Variabilité aux moyennes latitudes, importance du couple des montagnes

Transition: **Analyse spectrale du bilan de moment angulaire**

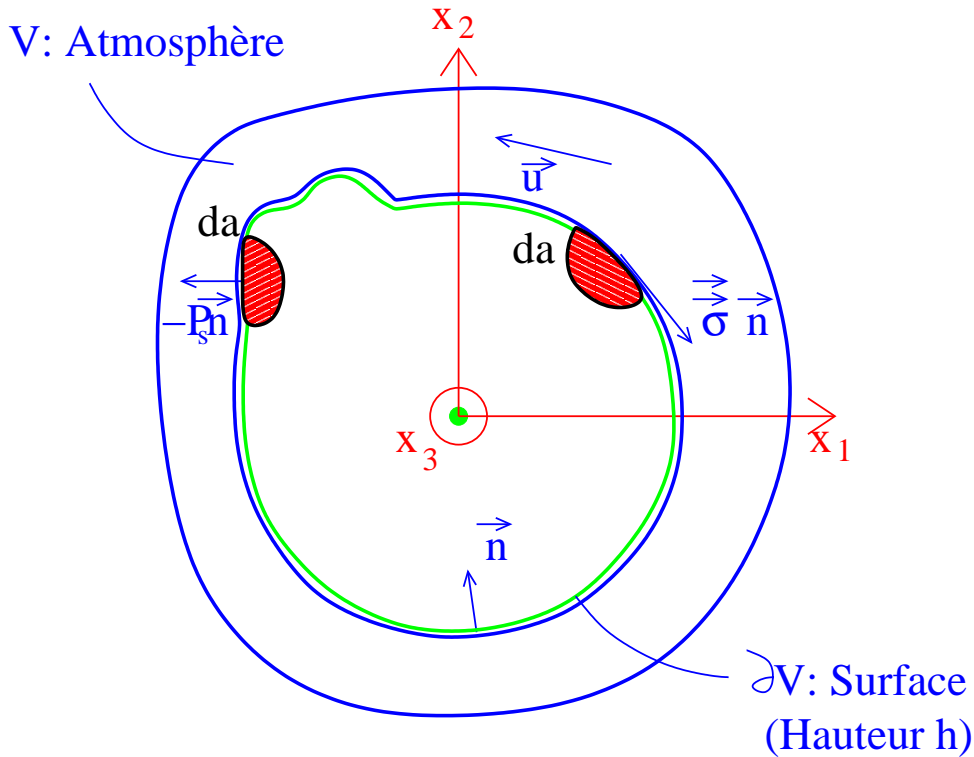
## 3 Partition entre moment angulaire de masse et moment angulaire de vent

Observations et liens avec l'oscillation arctique

Interprétation à l'aide d'un modèle de St Venant (ajustement géostrophique sur la sphère)

## 4 Résumé, conclusion et perspectives.

# Conservation du Moment Angulaire Atmosphérique:



$$\frac{d}{dt}M = \frac{d}{dt} (M_R + M_\Omega) = T_M + T_B$$

Moment angulaire de vent (relatif):

$$M_r = \int_V \rho r \cos \theta u dV = \int_0^{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_0^{P_s} r^2 \cos \theta r \cos \theta u \frac{dp}{g} d\lambda d\theta$$

Moment angulaire de masse:

$$M_\Omega = \int_{\partial V} r \cos \theta (\Omega r \cos \theta) \frac{P_s}{g} da = \int_0^{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{r^4 \Omega}{g} \cos^3 \theta P_s d\lambda d\theta$$

Couple des montagnes:

$$T_M = - \int_{\partial V} P_s \frac{\partial h}{\partial \lambda} da = - \int_0^{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} r^2 \cos \theta P_s \frac{\partial h}{\partial \lambda} d\theta d\lambda$$

Couple du à la friction de couche limite:

$$T_F = \int_{\partial V} r \cos \theta \tau_{s\lambda} da = \int_0^{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} r^2 \cos \theta r \cos \theta \tau_{s\lambda} d\theta d\lambda$$

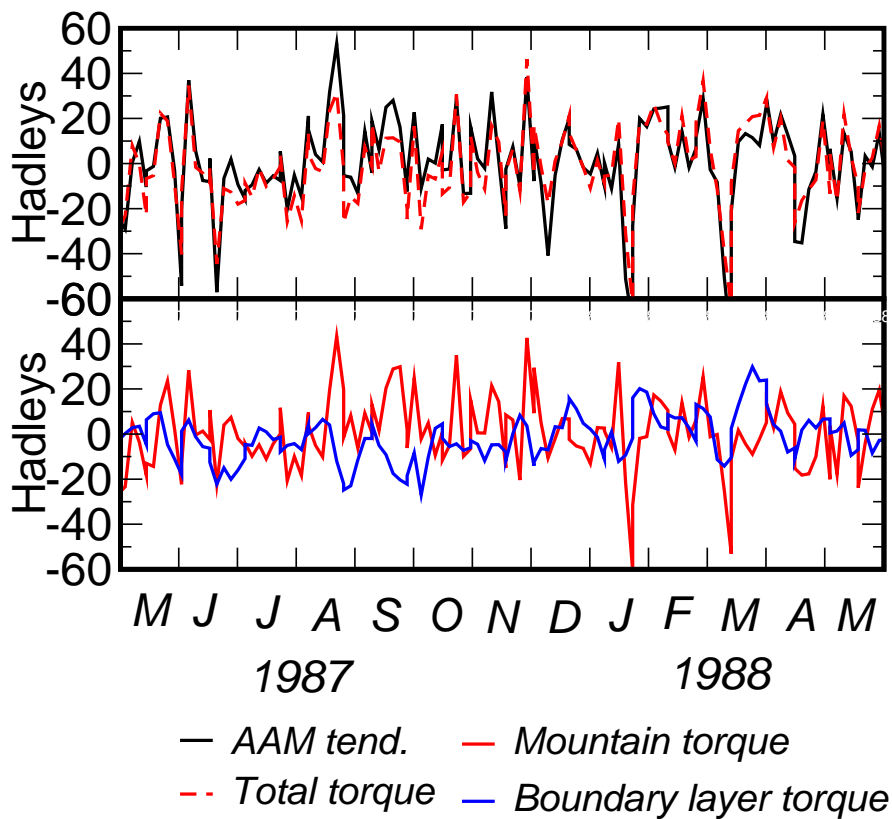
$r$  rayon de la terre,  $g$  gravité,  $\Omega$  taux de rotation moyen,  $u$  vent zonal.  $p$  pression,  $P_s$  pression au sol,  $\lambda$  longitude,  $\theta$  latitude.

# Evaluation à l'aide des données de réanalyse du NCEP (1958–1997)

$$\frac{dM}{dt} = T$$

$$\text{où } M = M_R + M_\Omega, \quad T = T_M + T_B$$

Le fait que les données de réanalyse permettent de fermer le budget de moment angulaire: [White \(1991\)](#), [Madden et Apeth \(1995\)](#), [Iskenderian et Salstein \(2001\)](#), [Lott Robertson et Ghil \(2003a\)](#) pour l'intégralité de la réanalyse.



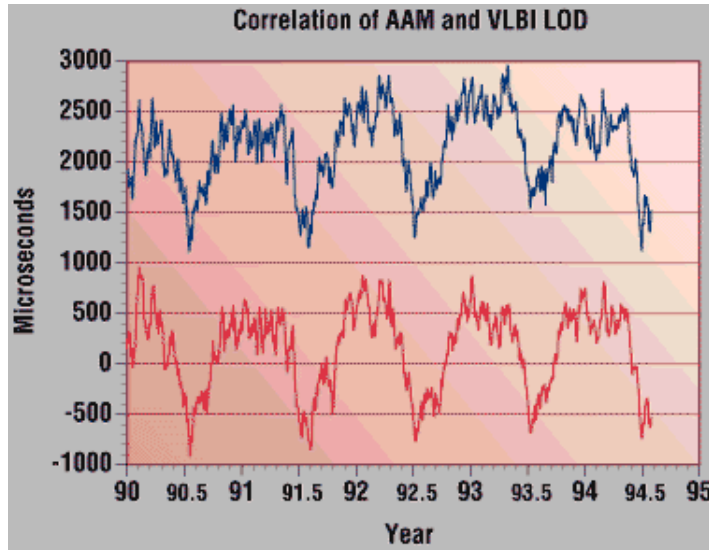
$$\text{Correlation: } C\left(\frac{dM}{dt}, T\right) = 0.87$$

# Longueur du jour

$$C\omega_3 + M = cte$$

## Comparaison

### Longueur du Jour-Moment Angulaire Atmosphérique (Données de la Nasa)



## Intérêt, Motivation

C'est une donnée globale liée directement à la dynamique atmosphérique de grande échelle, validé quotidiennement et avec précision par les observations spatiales.

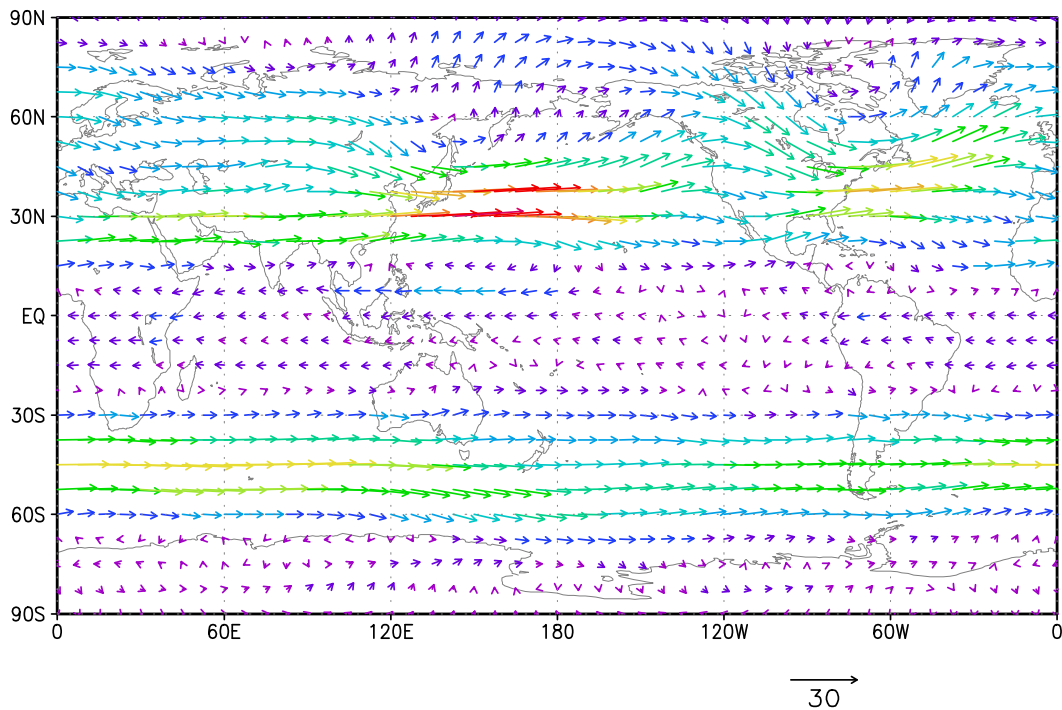
Le bilan de moment angulaire permet, en particulier, d'évaluer le rôle des montagnes sur la dynamique atmosphérique aux échelles planétaires.

Évaluer la pertinence de modèles théoriques de la variabilité atmosphérique; évaluer la paramétrisation des montagnes dans les MCGs.

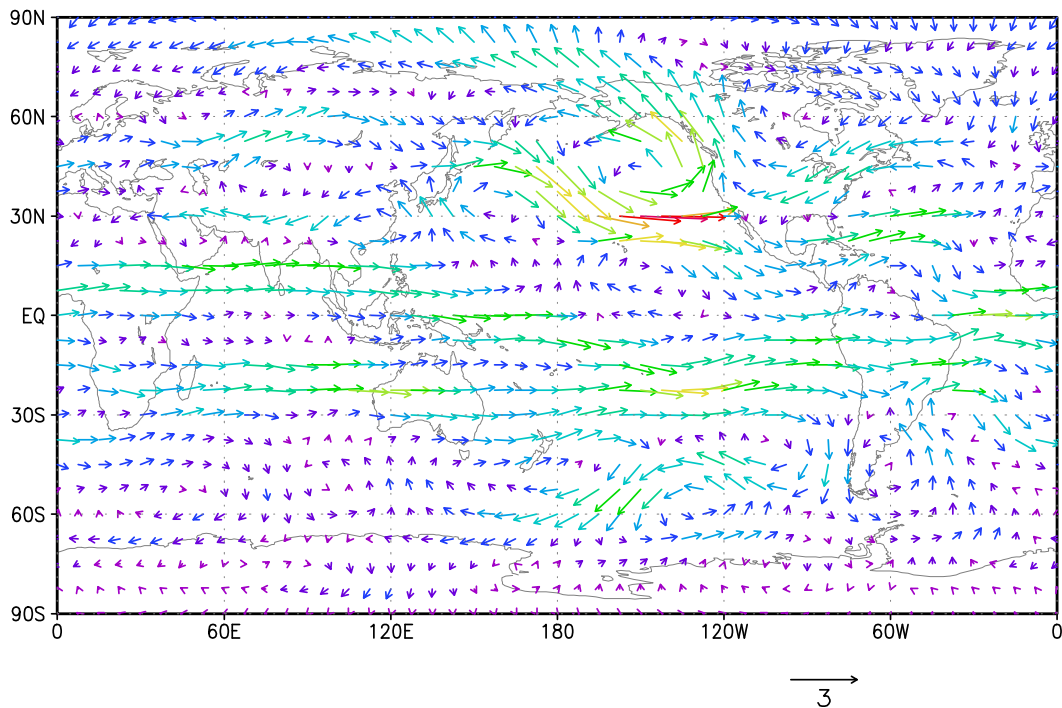
# Vent barotrope et Moment Angulaire Relatif

Données NCEP 1958-1997, durant les mois d'hiver

Moyenne d'hiver de  $\vec{u}_b$



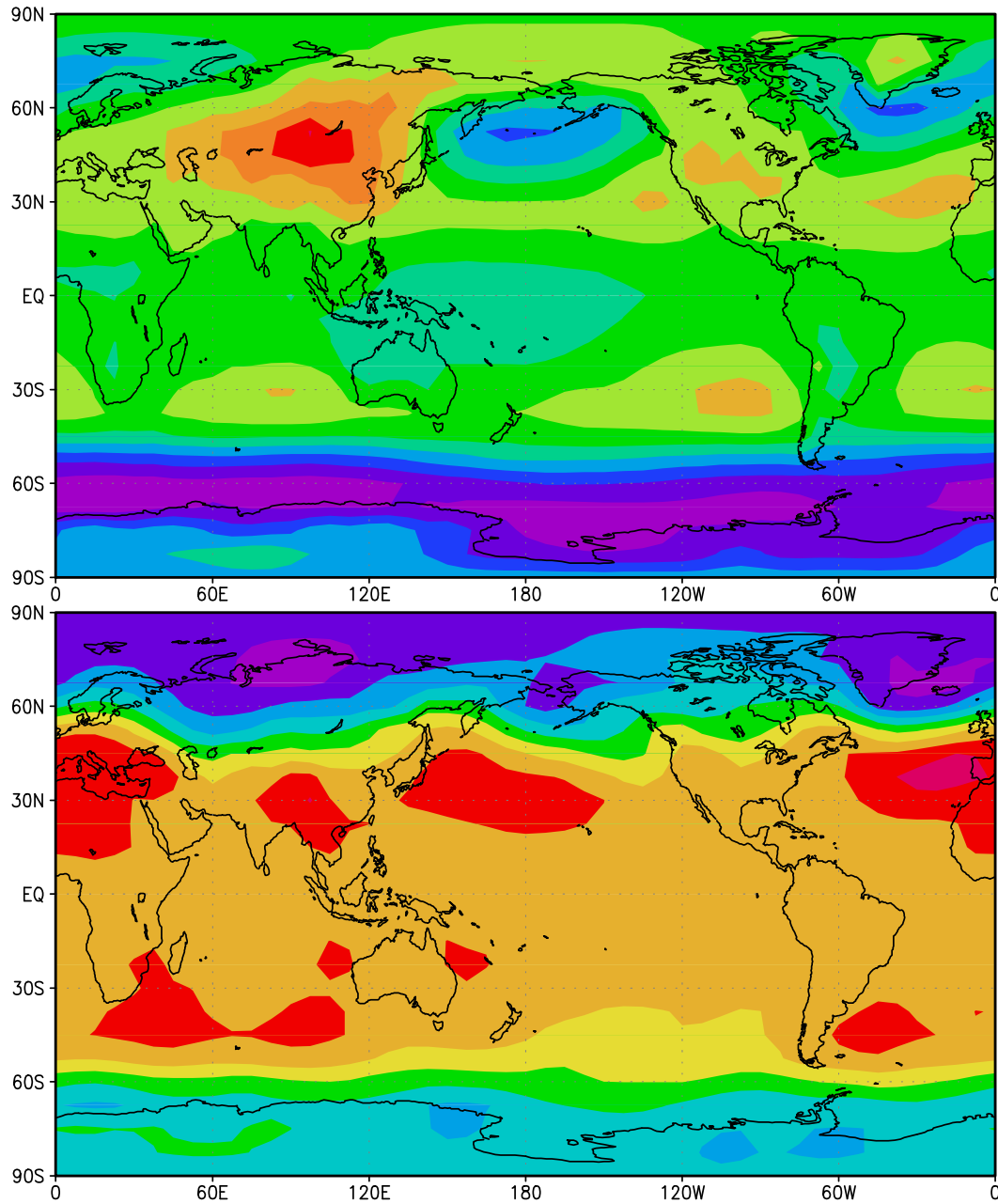
Régression des variations de  $\vec{u}_b$  sur les variations du du moment angulaire relatif  $M_R$



# Pression au niveau de la mer et Moment Angulaire Masse

Données NCEP 1958-1997, durant les mois d'hiver

Moyenne d'hiver de  $P_m$

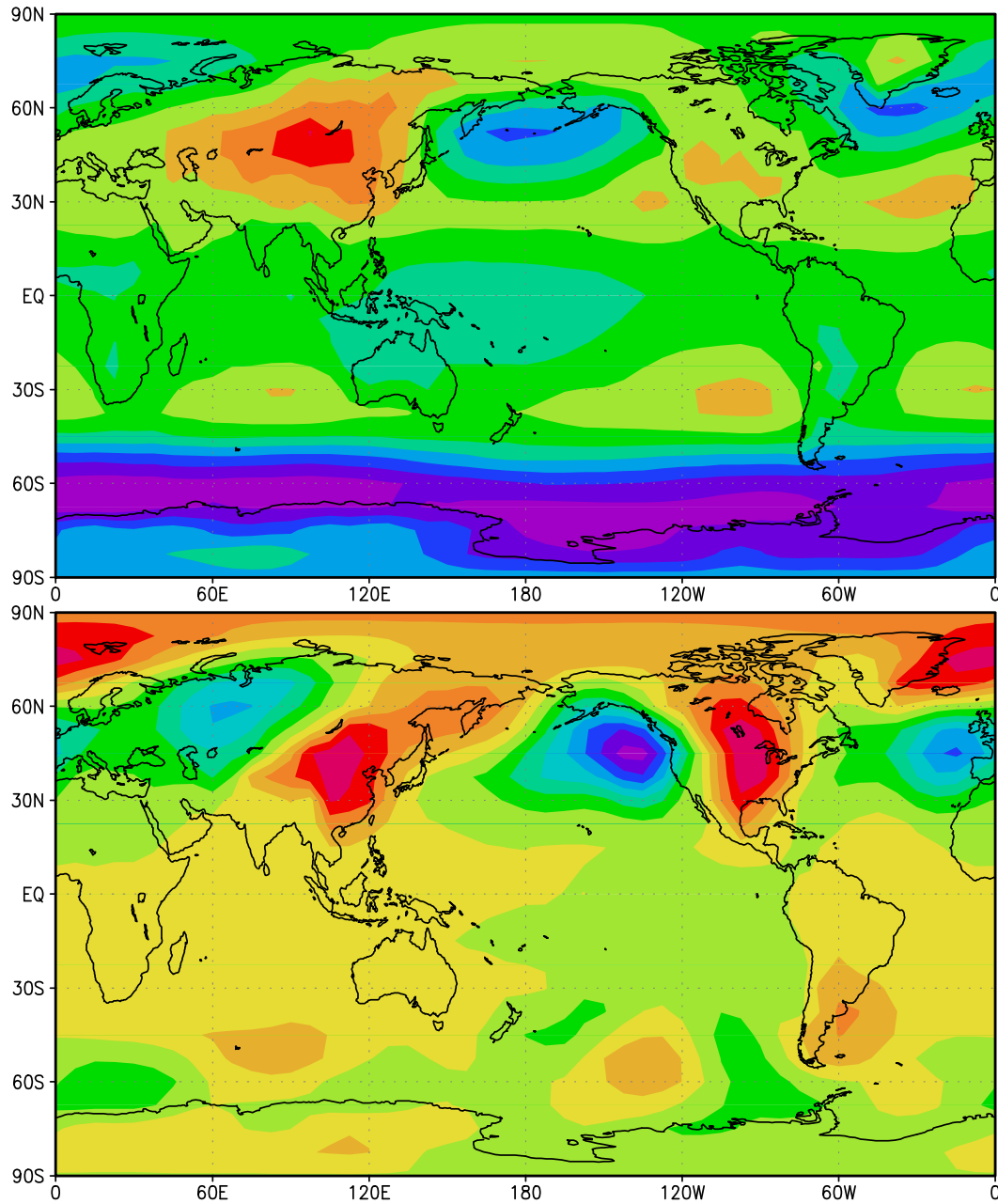


Régression des variations de  $P_m$  sur les variations du du moment angulaire de masse  $M_\Omega$

# Pression au niveau de la mer et Couple des Montagnes

Données NCEP 1958-1997, durant les mois d'hiver

Moyenne d'hiver de  $P_m$

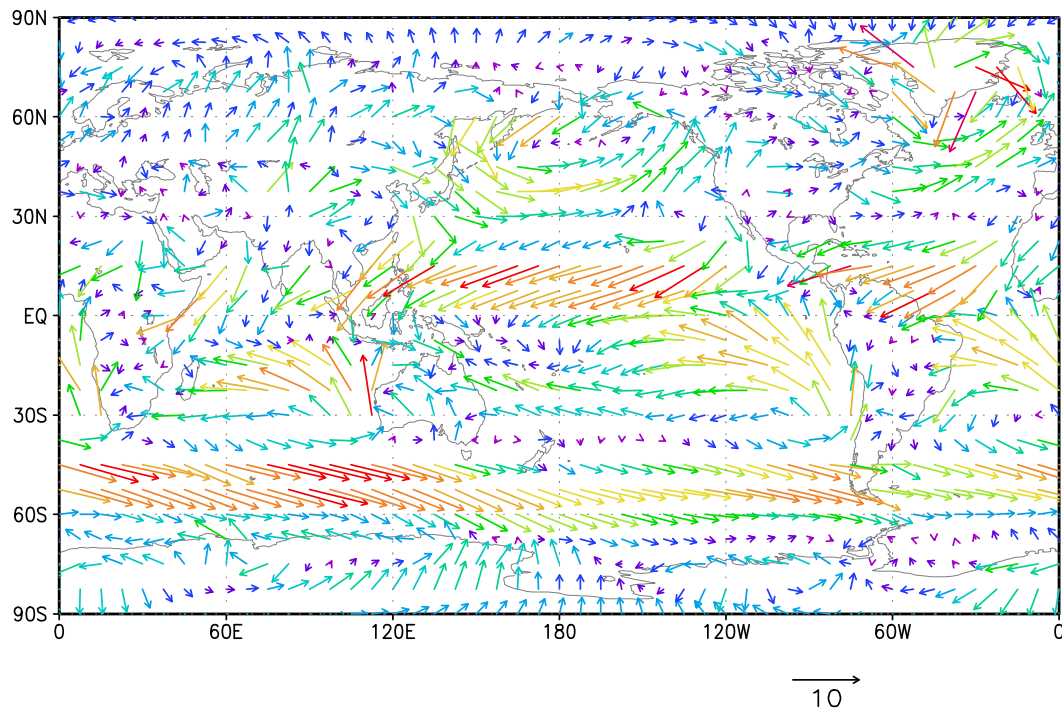


Régression des variations de  $P_m$  sur le couple des montagnes  $T_m$

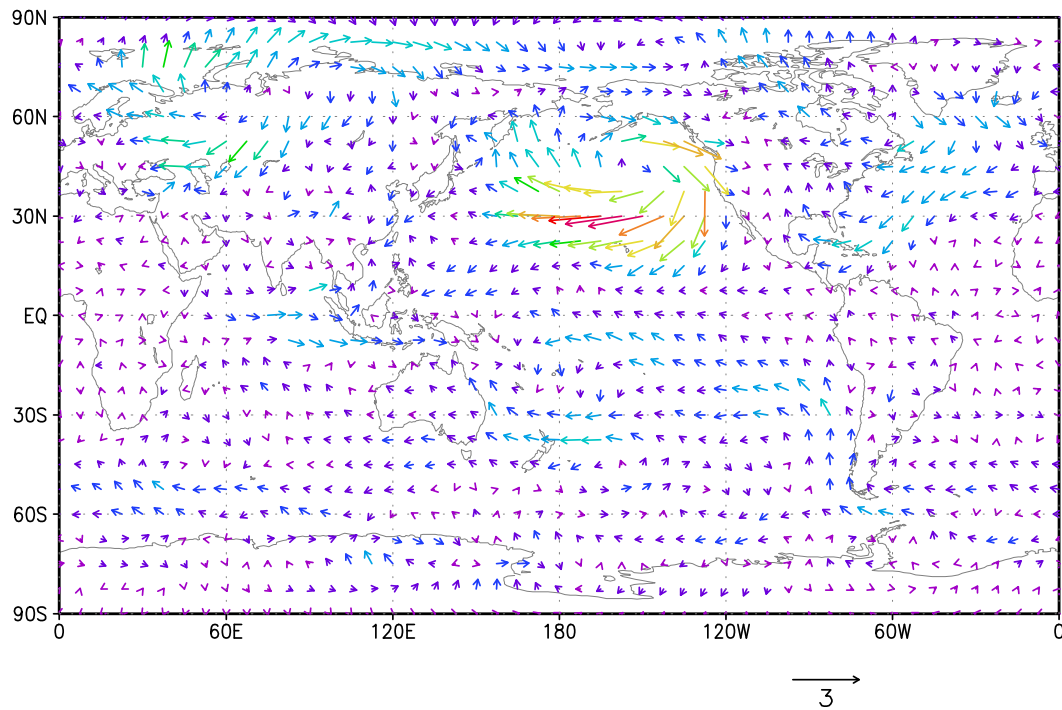
# Vent près de la Surface et Couple de Friction

Données NCEP 1958-1997, durant les mois d'hiver

Moyenne d'hiver de  $\vec{u}_s$



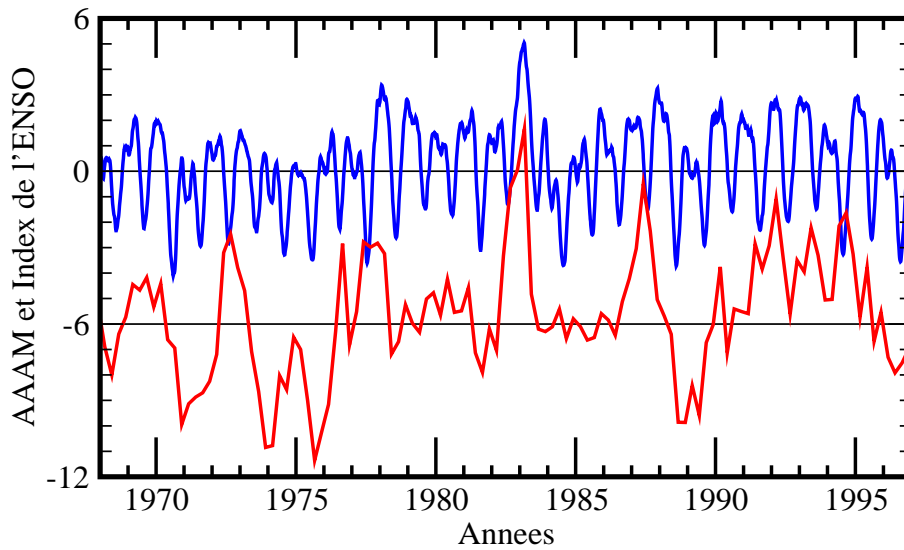
Régression des variations de  $\vec{u}_s$  sur le couple du à la friction de couche limite  $T_B$



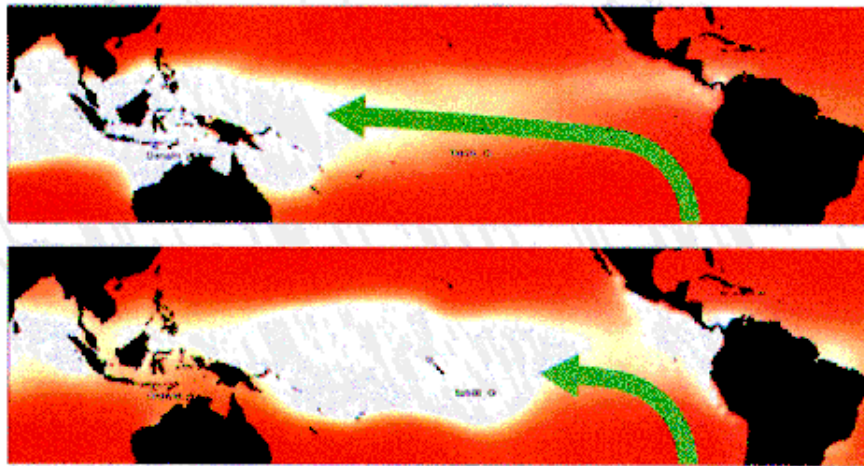


# Moment Angulaire Atmospherique

## Indice ENSO



**Principe de l'Index de l'Oscillation Australe (SOI), base sur la difference de pression entre Tahiti et Darwin. (NOAA/UCAR Web page)**



Rosen et al. (1984); Chao (1987); Wolf and Smith (1987) pour le rôle de  $T_M$

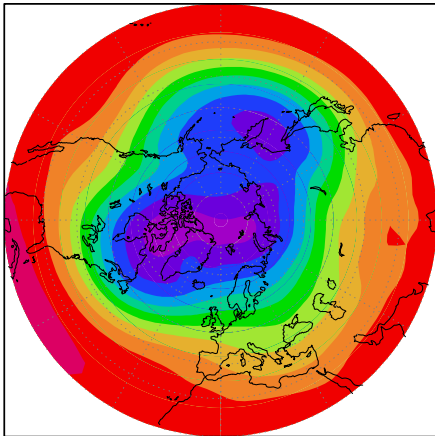
## *M* et Oscillation de Madden et Julian

Rosen et Salstein (1983); Madden (1987), Weickman et Sadeshmukh (1994)  
pour le rôle de  $T_M$

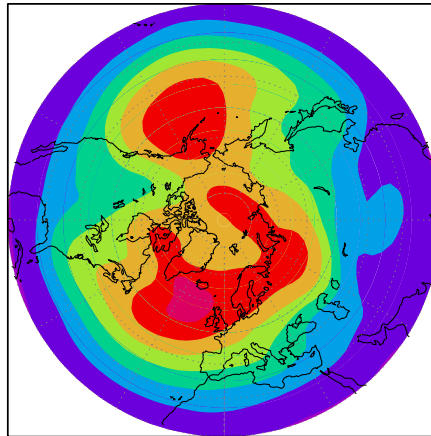
# Statistiques de l'évolution du Géopotential à 700hPa

Mois d'hiver, 1958-1997, données NCEP

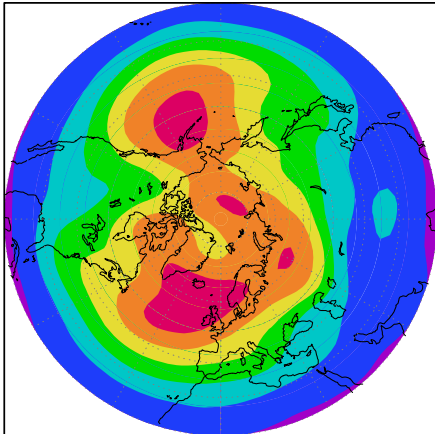
Moyenne



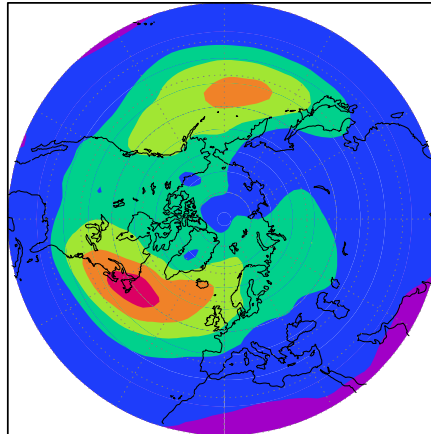
Déviati  
standard



Déviati  
standard  
basse  
fréquence



Déviati  
standard  
haute  
fréquence



# Analyse Spectrale des variations du Géopotentiel à 700hPa

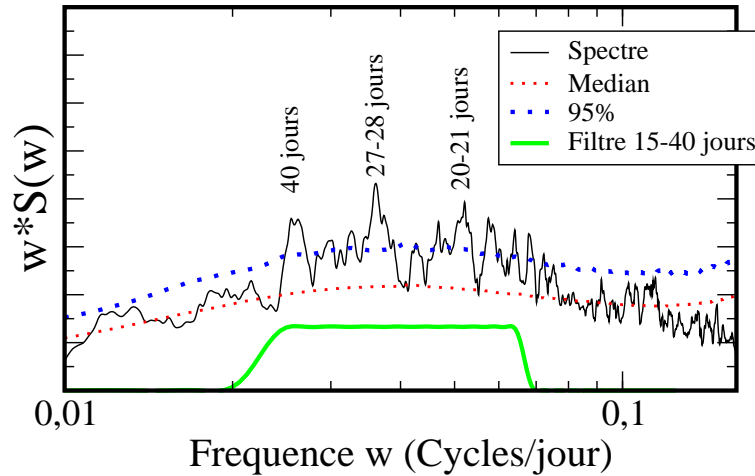
Données NCEP sans cycle annuel, 1958-1997

## Evidence d'oscillations?

V. Vogt stage ENM

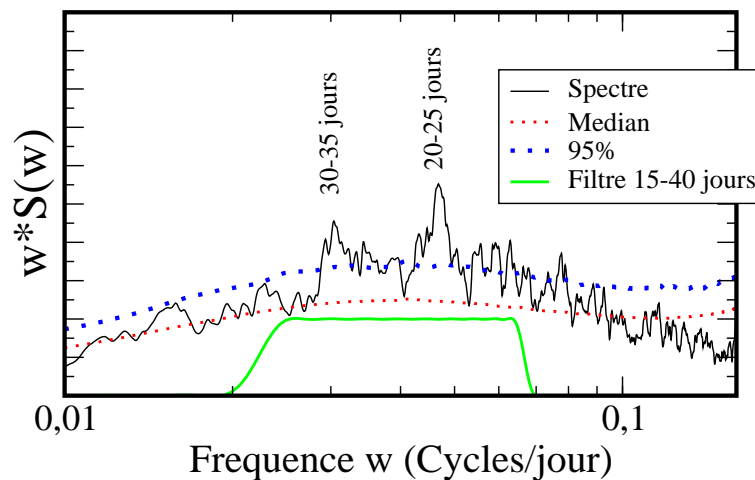
### Z700 sur le Pacifique Nord-Est

1958-1997 (NCEP Data): 4383 pts, lissage a 36 pts



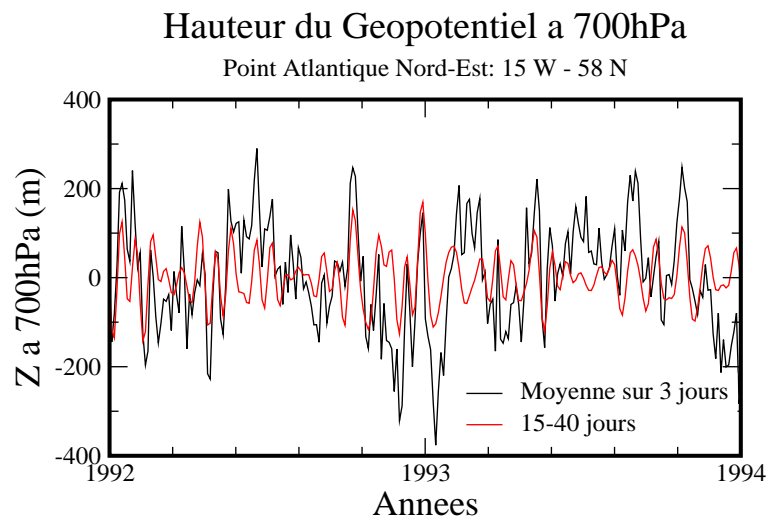
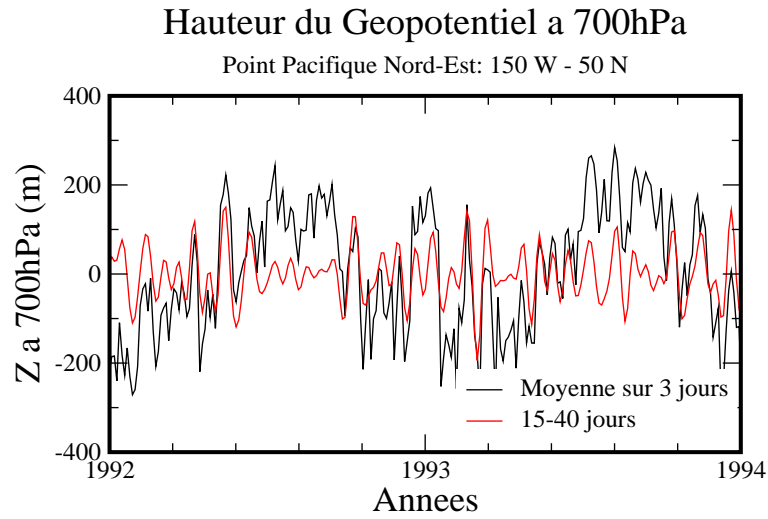
### Z700 sur l'Atlantique Nord-Est

1958-1997 (NCEP Data): 4383 pts, lissage a 36 pts

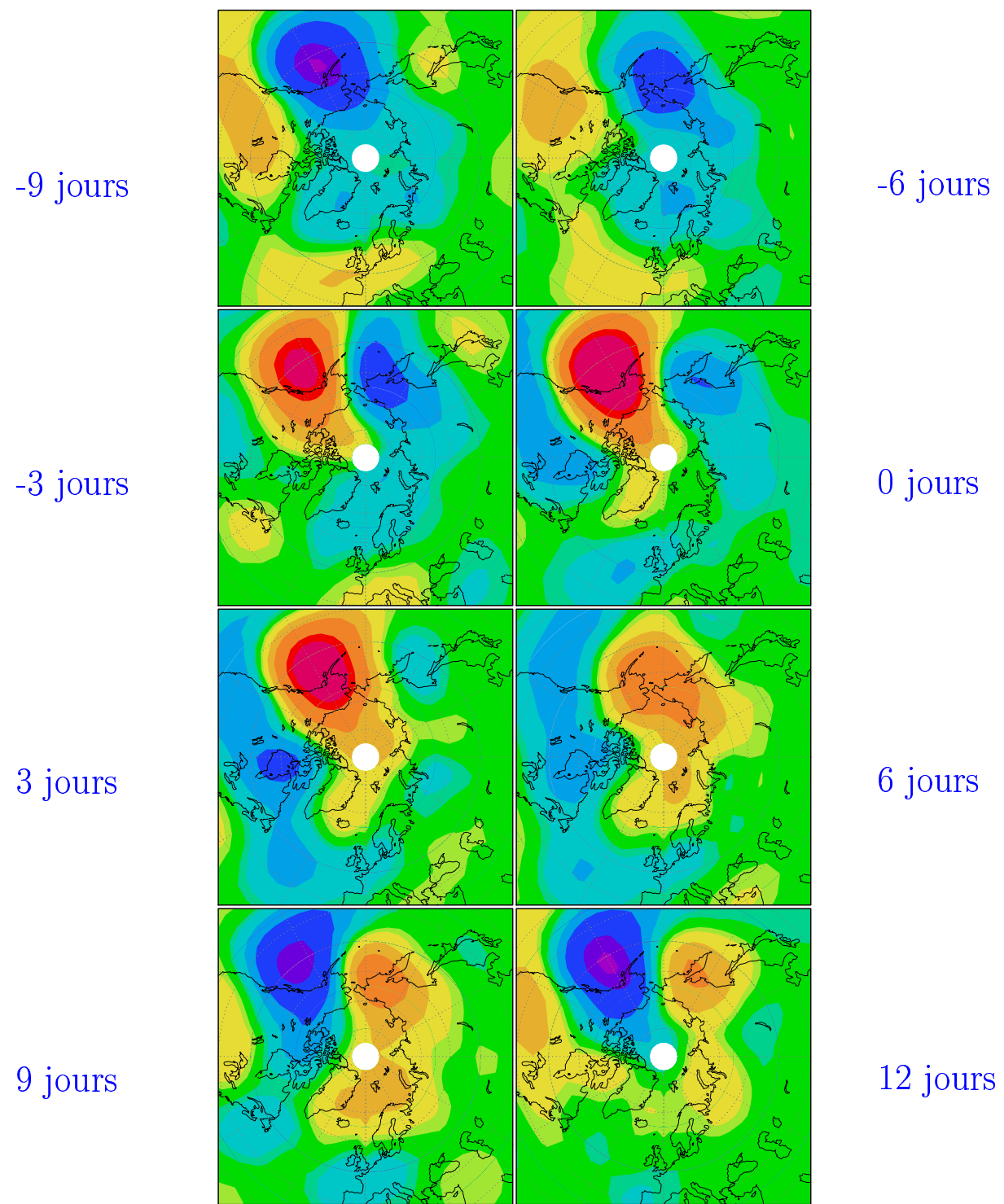


# Reconstruction des séries du Géopotential à 700hPa

Données NCEP sans cycle annuel, 1958-1997



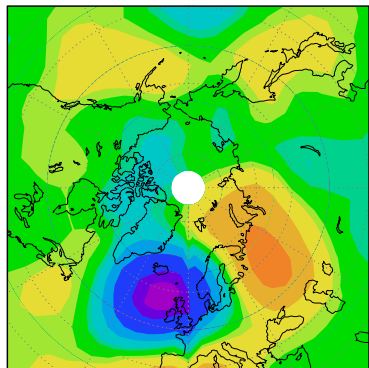
Composites du géopotentiel à 700hPa sur les oscillations du Pacifique Nord-Est à 15-40 jours



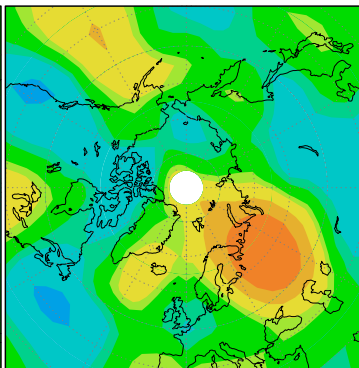
Noter la ressemblance avec Branstator (1987) et Kushnir (1987)

Composites du géopotentiel à 700hPa sur les oscillations de l'Atlantique  
Nord-Est à 15-40 jours

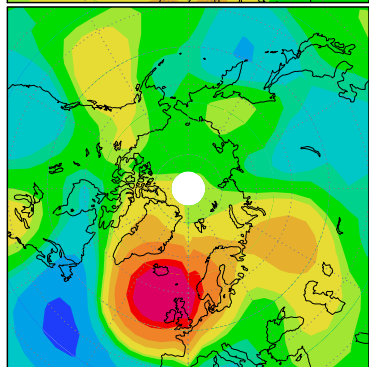
-9 jours



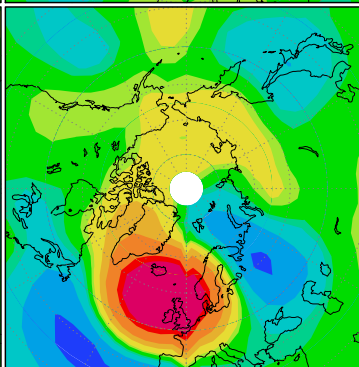
-6 jours



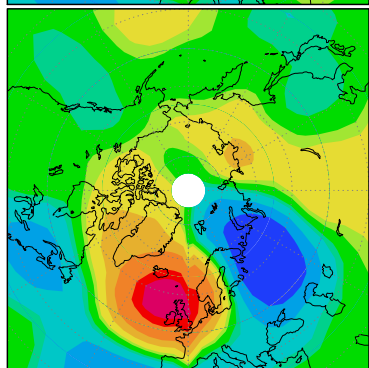
-3 jours



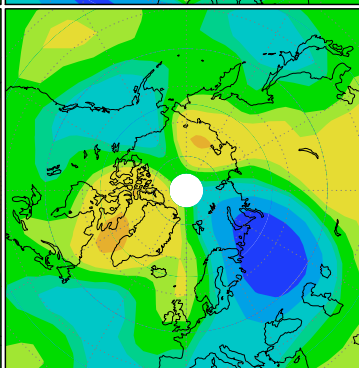
0 jours



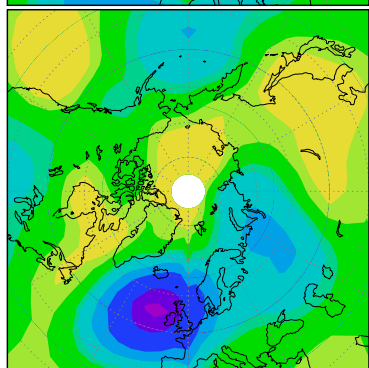
3 jours



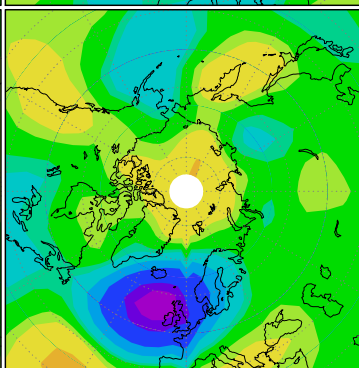
6 jours



9 jours



12 jours

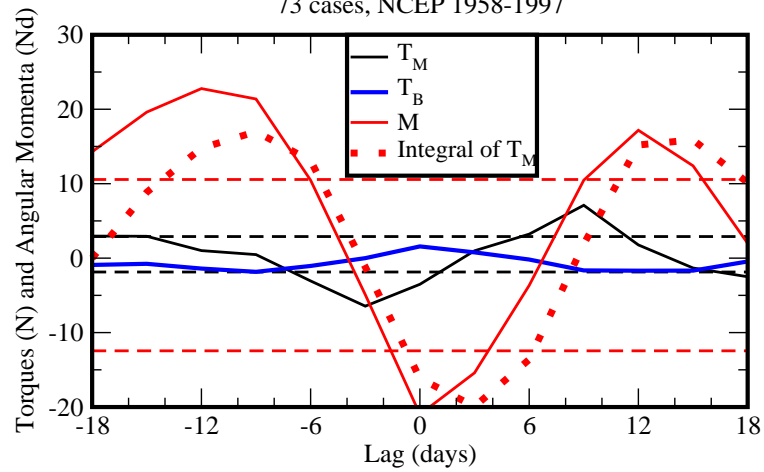


# Cycles du moment Angulaire

Données NCEP sans cycle annuel, 1958-1997

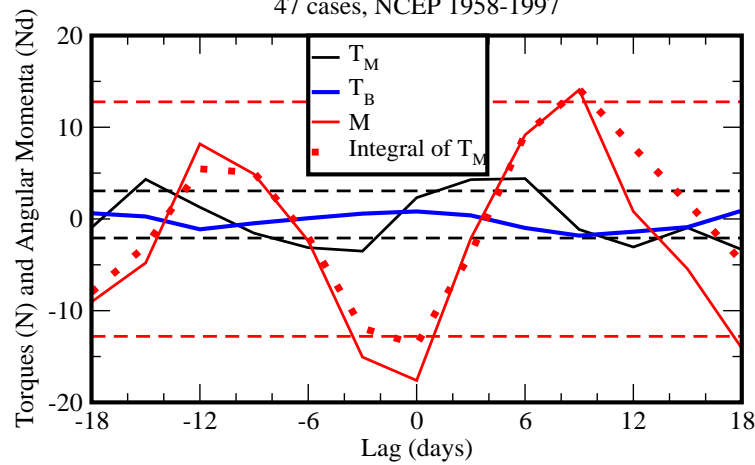
M and T cycle during 15-40 days Pacific oscillations

73 cases, NCEP 1958-1997



M and T cycle during 15-40 days Atlantic oscillations

47 cases, NCEP 1958-1997



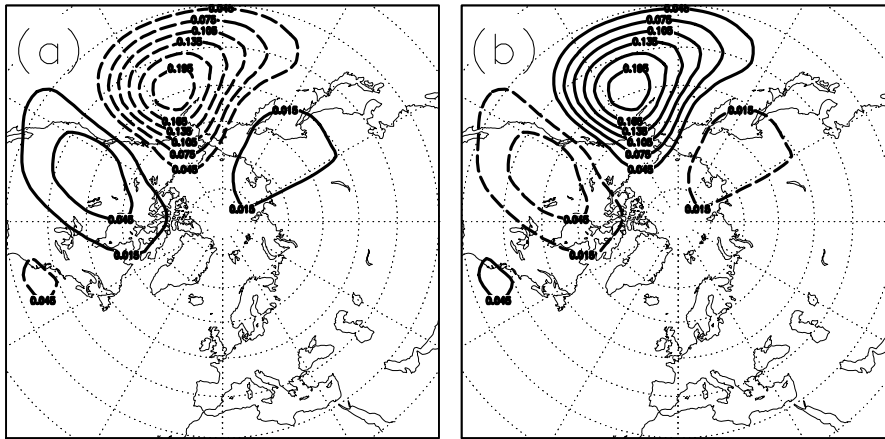


# Régimes Pacifique et couple des montagnes

Lott Robertson et Ghil 2003b

Régime Zonal

Régime Bloqué



Probabilité que  $T_M$  soit positif  $t$ -jours avant Z, ou que  $T_M$  soit négatif  $t$ -jours avant B:

	$t(\text{days})$						
	$T_M$ leads			$E$ leads			
	-15	-6	-3	0	3	6	9
IS NH $T_M$		66	74	66			39
20-30-d NH $T_M$		65	71	61		35	32
IS Roc. $T_M$		71	79	67			
20-30-d Roc. $T_M$	37	68	69	61		37	37
IS Him. $T_M$							
20-30-d Him. $T_M$							

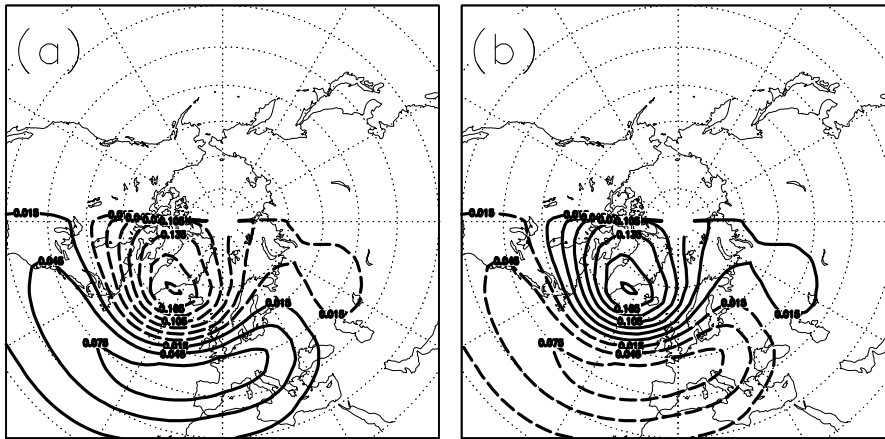
Le couple des montagnes participe à l'apparition des régimes sur le Pacifique

# Régimes Atlantique et couple des montagnes

Lott Robertson et Ghil 2003b

Régime Zonal

Régime Bloqué



Probabilité que  $T_M$  soit positif  $t$ -jours avant Z, ou que  $T_M$  soit négatif  $t$ -jours avant B:

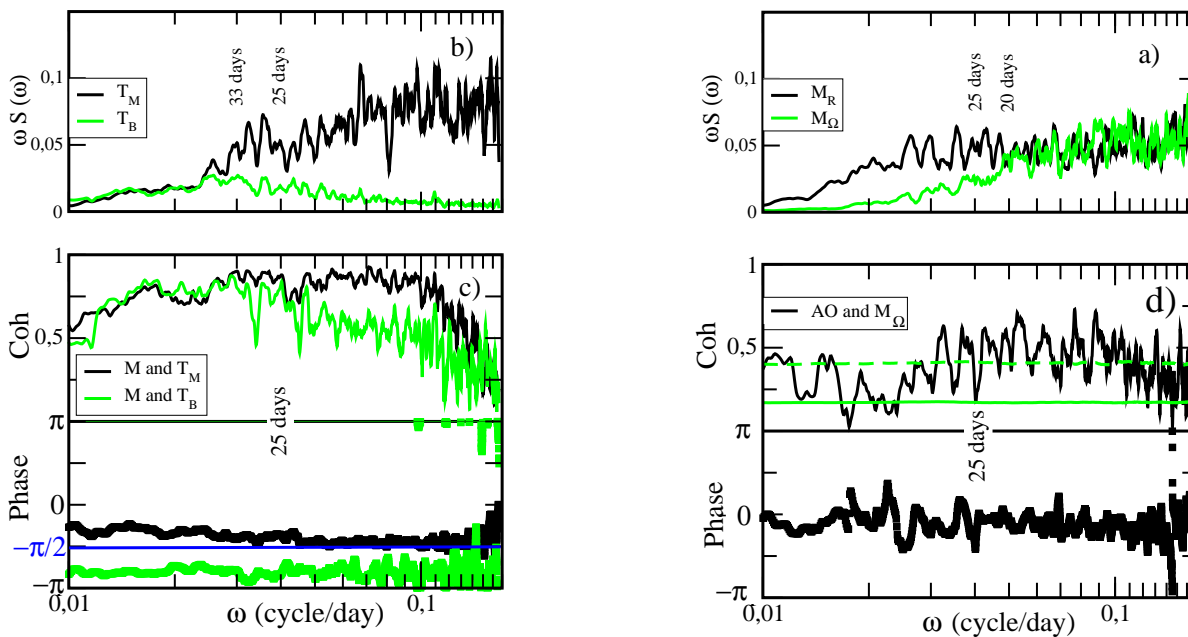
	$t(\text{days})$					
	$T_M$	leads		$E$	leads	
	-6	-3	0	3	6	9
IS NH $T_M$			33	30	34	
20-30-d NH $T_M$			38	32	38	
IS Roc. $T_M$						
20-30-d Roc. $T_M$						
IS Him. $T_M$			39	36	35	
20-30-d Him. $T_M$	61			39	40	

Le couple des montagnes participe à la disparition des régimes sur l'Atlantique

# Perturbations synoptiques et couple des montagnes

Iskenderian et Salstein 1998

# Analyse spectrale du budget de moment angulaire



1  $T_B > T_M$  pour des périodes  $\omega^{-1} > 30$  jours (et vice et versa)

$T_B$  est essentiellement contrôlé par la dynamique tropicale, tandis que  $T_M$  est associé à la dynamique aux latitudes moyennes; La variabilité tropicale est plus lente que celle des latitudes moyennes; Les montagnes sont localisées dans les latitudes moyennes; Le couple de friction est dominé par les tropiques car la distance à l'axe de la terre y est grand.

2 La relation entre  $T_B$  et  $M$  est plus passive que celle entre  $T_M$  et  $M$

$T_M$  n'est pas associé à des structures zonalement symétriques

3  $M_r \gg M_\Omega$  pour  $\omega^{-1} > 25$  jours

Les variations de  $M_R$  dans cette bande sont essentiellement dues à des variations dans les tropiques (pas d'équilibre géostrophique)

4  $M_r \approx M_\Omega$  pour  $\omega^{-1} < 25$  jours

Le forçage vient de  $T_M$  (latitude moyenne) et la balance géostrophique induit cette répartition

Le rôle exact de l'équilibre géostrophique reste à évaluer. Ceci est très important du fait qu'un signal climatique très important, l'AO est localisé très au Nord, et est fortement lié à  $M_\Omega$

# Couple des montagnes et Oscillation Arctique

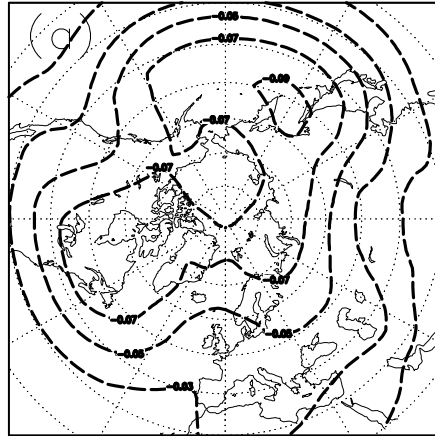
Lott Robertson et Ghil (1999, 2003a), Lott et d'Andréa (2003)

## EOFS du géopotentiel à 700hPa

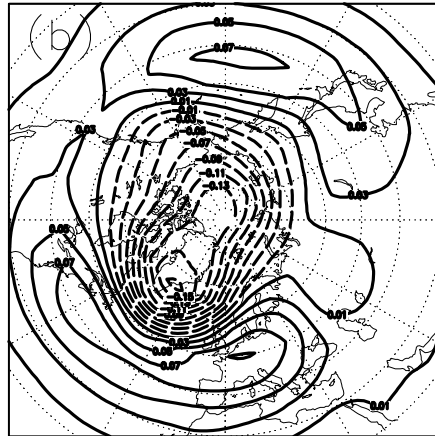
Année complète

Mois d'hiver

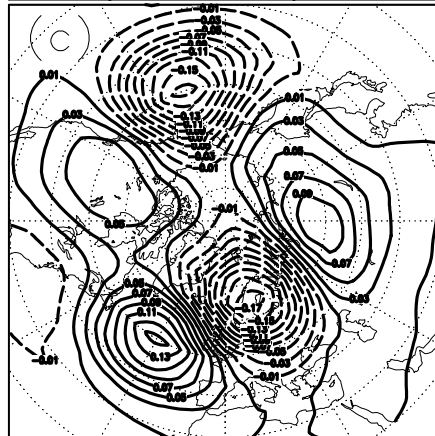
EOF 1



EOF 2 (AO)  
Corr. avec  $M_{\Omega}$



EOF 5  
Corr. avec  $T_M$

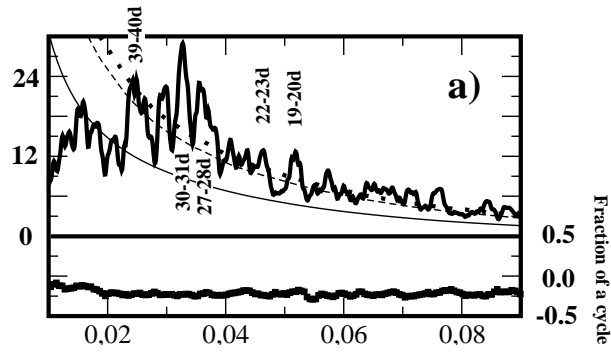


EOF 1 (AO)  
Corr. avec  $M_{\Omega}$

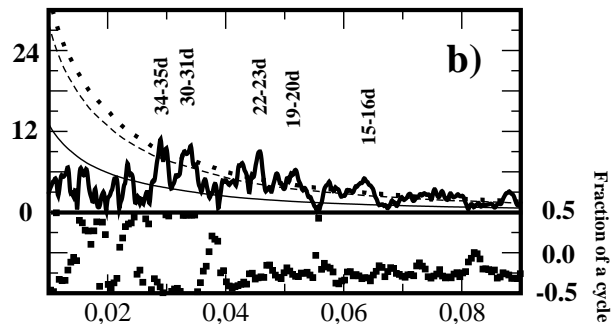
EOF 2  
Corr. avec  $T_M$

# Co-Spectres entre PCs et $T_M$

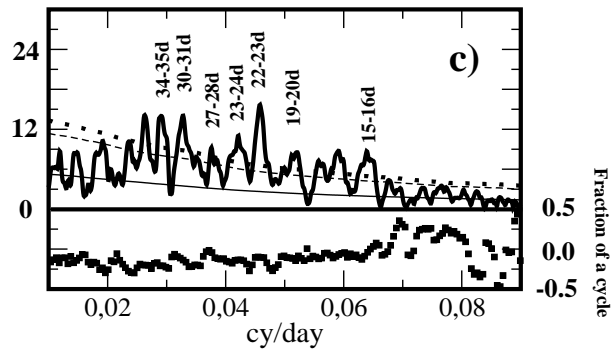
PC 1 et  $T_M$



PC 2 (AO) et  $T_M$



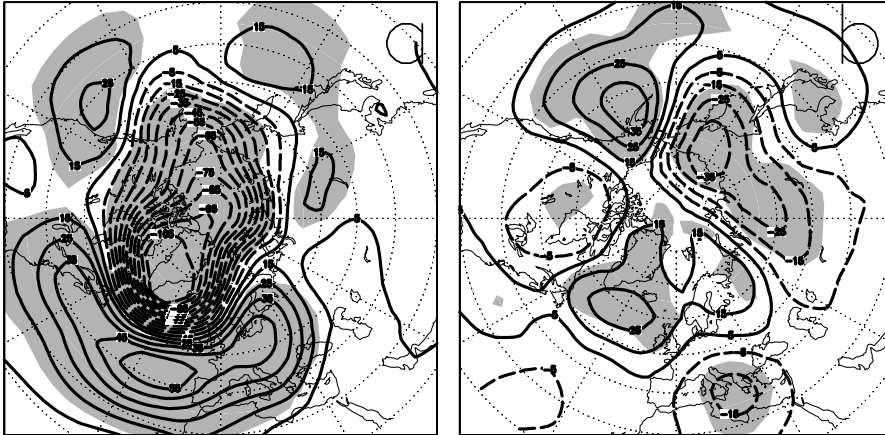
PC 5 et  $T_M$



# Cycles composites du géopotentiel à 700hPa sur les oscillations de l'AO à 20-30 jours

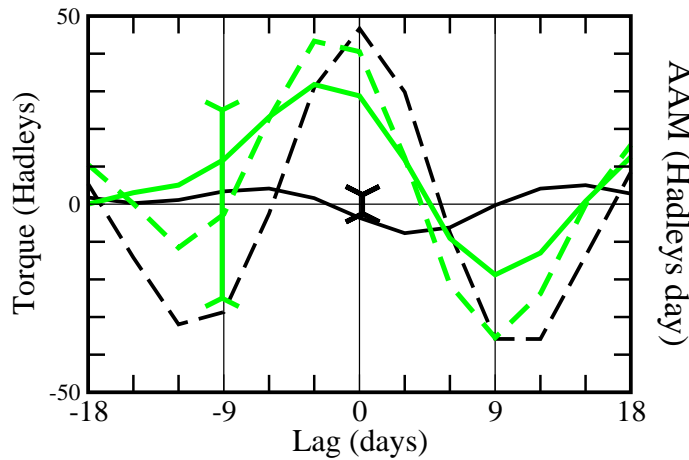
lag: 0 jour

lag: 6 jours



## Composites du budget de $M$

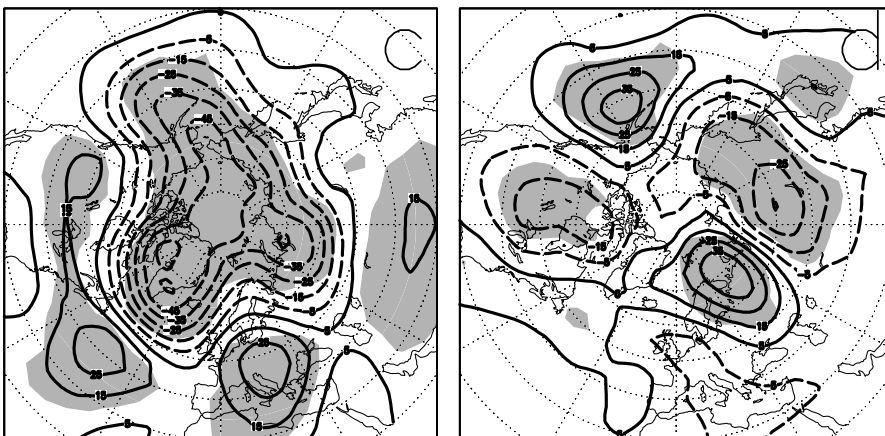
$T_M$ , noir;  $\int T_M dt$ , vert;  $M_\Omega$ , noir tirés;  $M$  vert tirés.



## signal de $M_\Omega$ à 20-30 jours

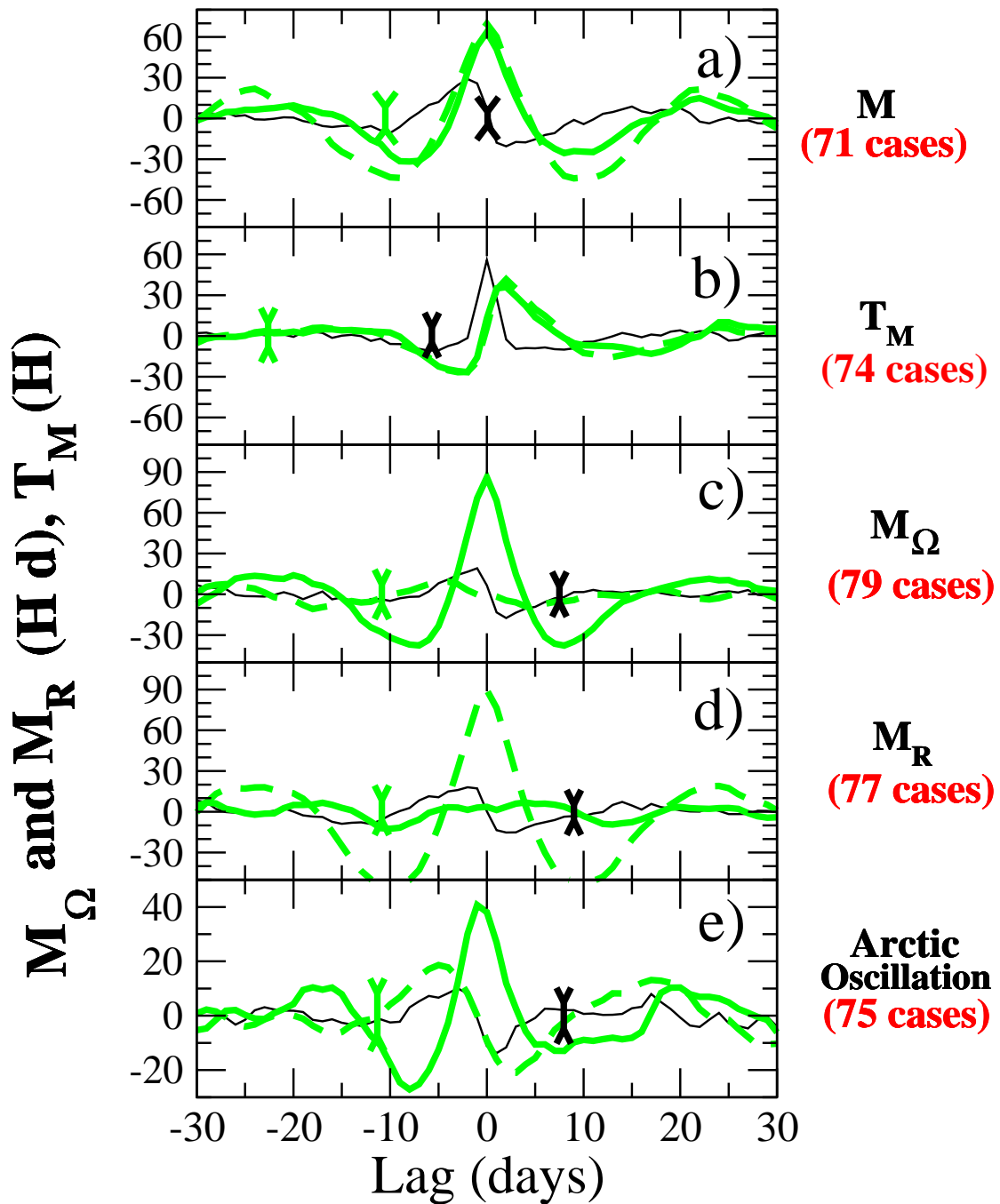
lag: 0 jour

lag: 6 jours



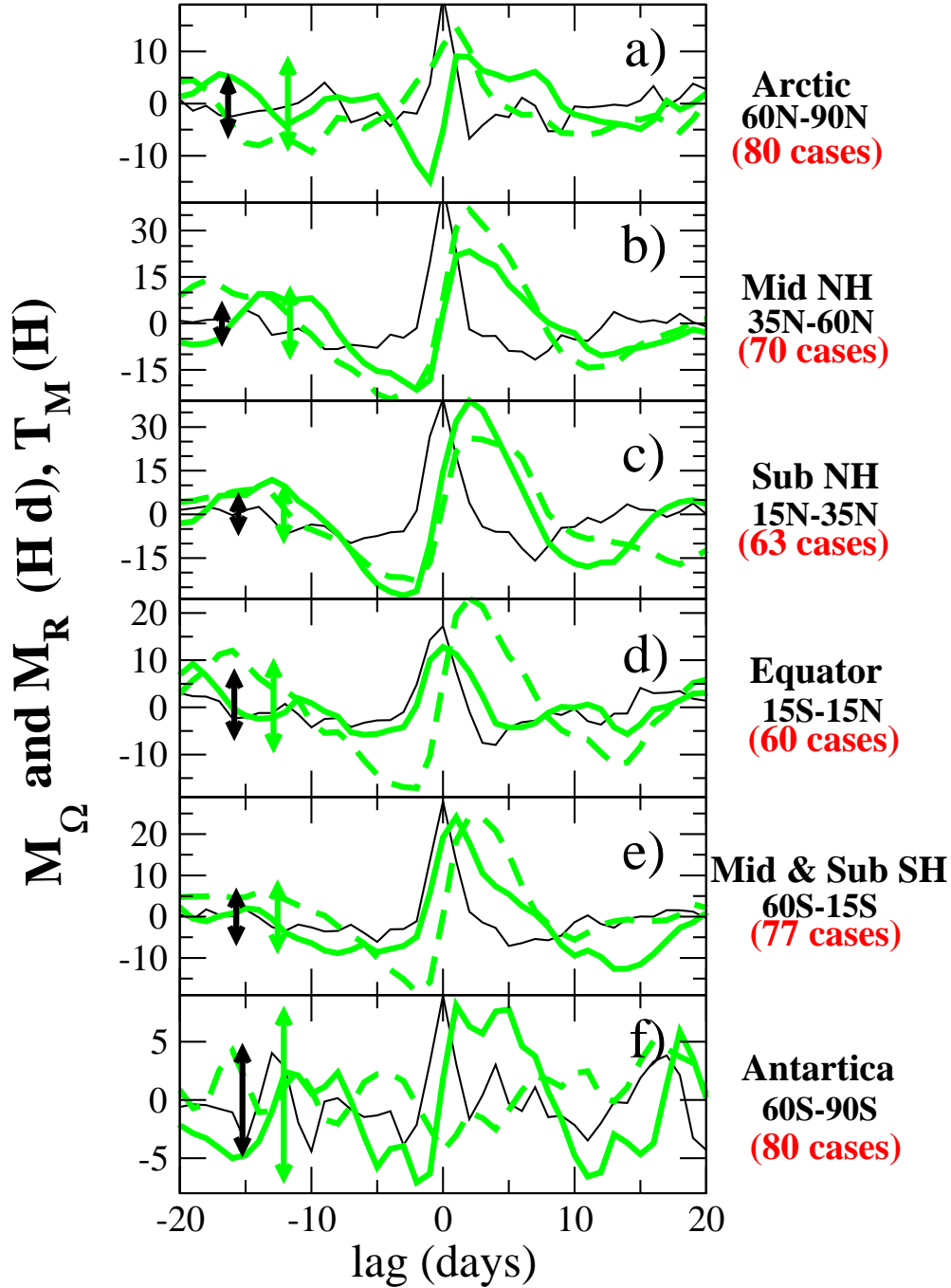
Composites de différents termes du bilan de moment angulaire  $M_R$  (pointillés verts),  $M_\Omega$  (vert) et  $T_M$  (noir) filtrées dans la bande  $\omega^{-1} < 25$  jours

Lott et d'Andréa 2003





Composites de différents termes du bilan de moment angulaire  $M_R$  (pointillés verts),  $M_\Omega$  (vert) et  $T_M$  (noir) filtrées dans la bande  $\omega^{-1} < 25$  jours. Couple des montagne évalué sur différentes bandes de latitude.



Un modèle de St Venant à symétrie zonale pour expliquer la répartition entre  $M_R$  et  $M_\Omega$  dans le moment angulaire  $M$  produit par un couple des montagnes.

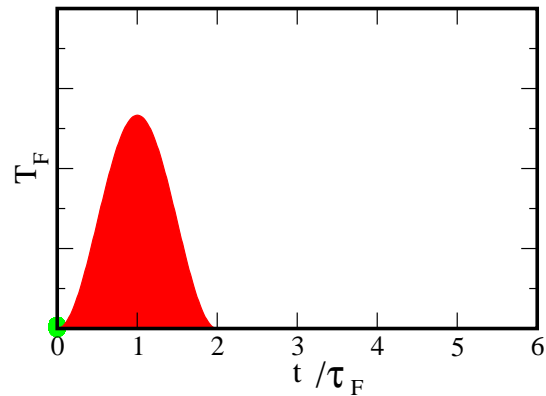
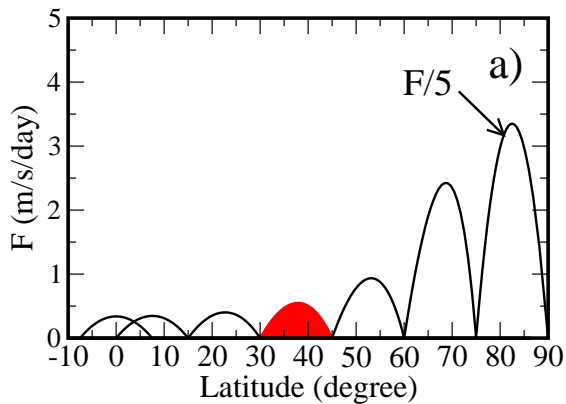
$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{v}{r} \frac{\partial}{\partial \theta}\right) u - \left(2\Omega + \frac{u}{r \cos \theta}\right) v \sin \theta = F ,$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{v}{r} \frac{\partial}{\partial \theta}\right) v + \left(2\Omega + \frac{u}{r \cos \theta}\right) u \sin \theta = -\frac{g}{r} \frac{\partial h}{\partial \theta} ,$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{r \cos \theta} \frac{\partial h v \cos \theta}{\partial \theta} = 0 .$$

Struture spatiale de  $F$

Struture temporelle de  $F$



Bilan de Moment angulaire:

$$\frac{d}{dt} (M_R + M_\Omega) = T_F ,$$

Moment Angulaire relatif:  $M_R = 2\pi r^3 \int_{-\pi/2}^{+\pi/2} h u \cos^2 \theta d\theta$

Moment Angulaire de masse:  $M_\Omega = 2\pi r^4 \Omega \int_{-\pi/2}^{+\pi/2} h \cos^3 \theta d\theta$

Couple du à  $F$ :  $T_F = 2\pi r^3 \int_{-\pi/2}^{+\pi/2} h \cos^2 \theta F d\theta .$

Paramètres:

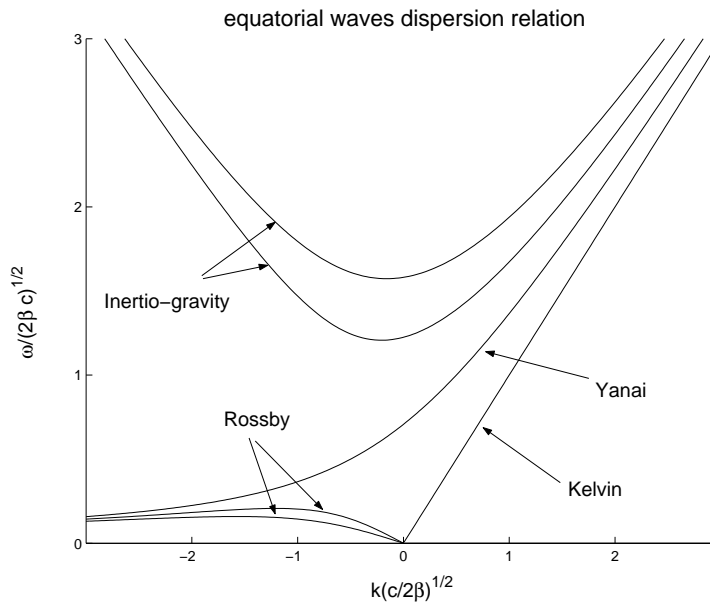
$g=6.8 \text{ m s}^{-2}$ ,  $H_0=8 \text{ km}$ ,  $r=6400 \text{ km}$ , and  $\Omega =7.27 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ .

Durée du forçage:  $2\tau_F$

Deux cas étudiés:

Cas rapide:  $\tau_F = 6 \text{ heures}$ ,  $(\Omega\tau_F)^2 = 2.8 \approx \frac{r\Omega}{\sqrt{gH_0}} = 1.8$

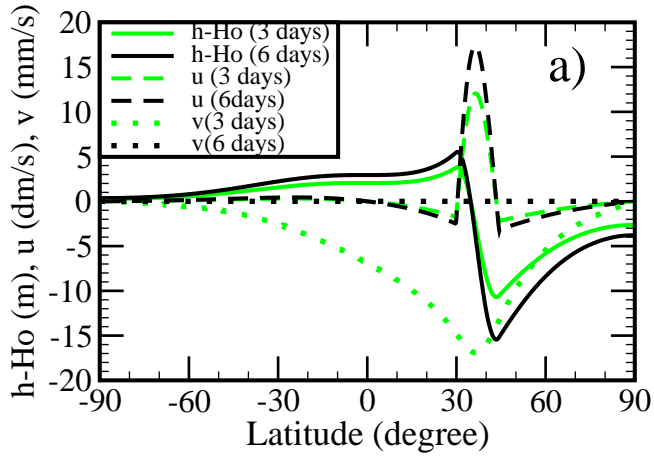
Cas lent:  $\tau_F = 2.5 \text{ jours}$ ,  $(\Omega\tau_F)^2 = 225 \gg \frac{r\Omega}{\sqrt{gH_0}} = 1.8$



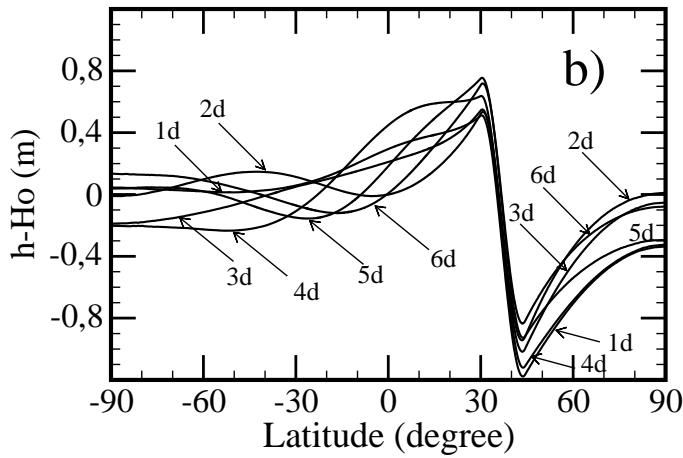
Rayon de déformation de Rossby:

$$a_e = \frac{1}{2} \left( \frac{gH_0 r^2}{\Omega^2} \right)^{1/4} \approx 2000 \text{ km}$$

# Résultat du modèle de St Venant:



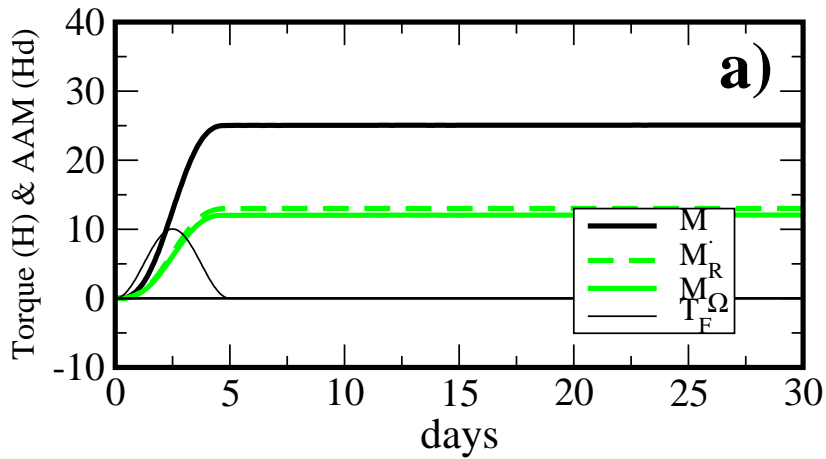
Cas lent,  $\tau_F = 2.5$  jour



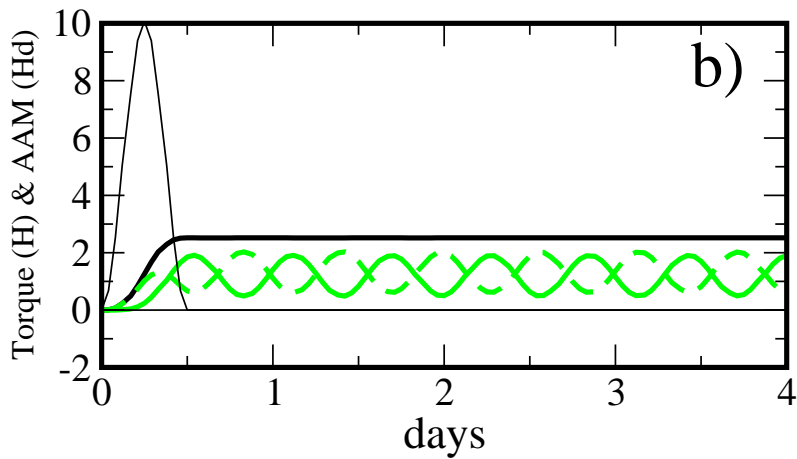
Cas rapide,  $\tau_F = 0.25$  jour

# Résultat du modèle de St Venant:

## Bilan de moment angulaire



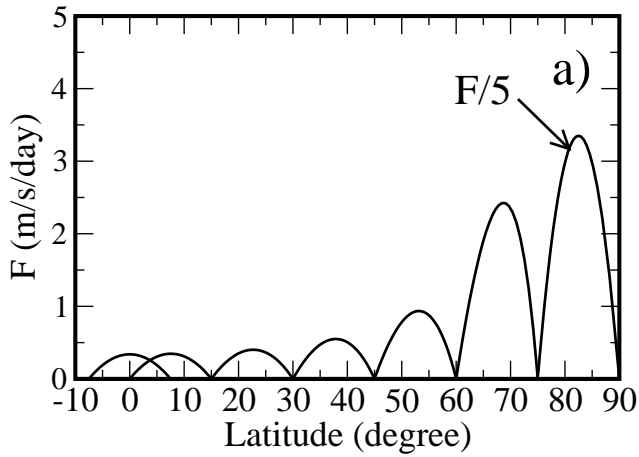
Cas lent,  $\tau_F = 2.5$  jour



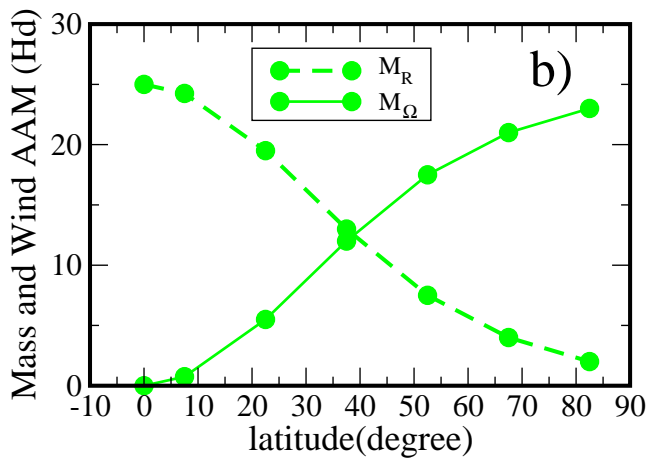
Cas rapide,  $\tau_F = 0.25$  jour

# Résultat du modèle de St Venant:

## Sensibilité à la latitude du forçage, cas lent

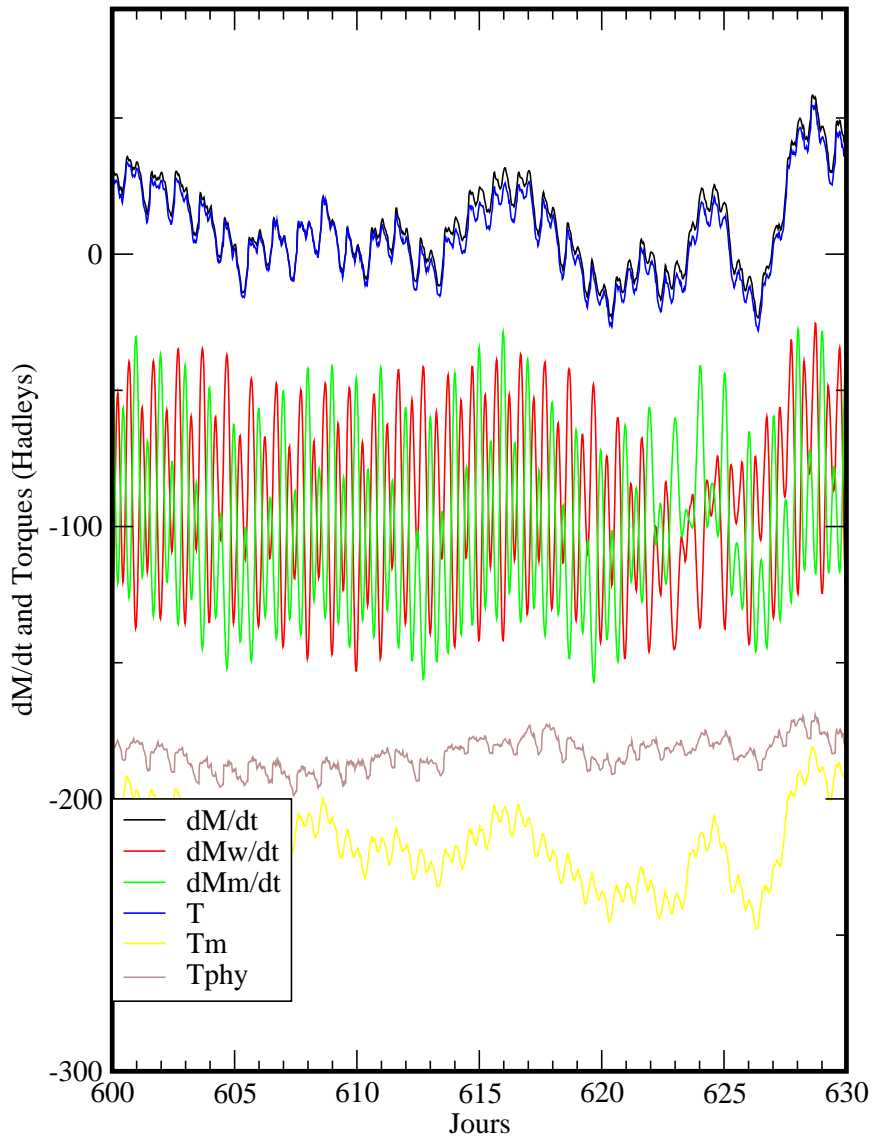


Structure du forçage



Bilan final,  $M_R$  vs  $M_\Omega$

# Cas d'un modèle de circulation générale de l'atmosphère (LMD-MCG)



# Conclusion

Les bilans de  $M$  révèlent aux hautes fréquences ( $\omega^{-1} < 30$  jours) le rôle des montagnes sur la circulation atmosphérique de grande échelle.

Ce rôle est limité mais semble actif sur:

- 1 Les transitions entre régimes de temps
- 2 Les variations de l'AO aux périodes  $\omega^{-1} < 25$  jours

Ils réévaluent aussi l'importance du moment angulaire de masse.

## Perspectives

- 1 Mieux évaluer le rôle actif de  $T_M$  dans les données
- 2 Formuler un modèle simple (de type Charney DeVore (1979) amélioré) pour expliquer l'influence amont des montagnes
- 3 Valider les MCGs et la représentation des montagnes dans ces modèles à l'aide de bilans de  $M$
- 4 Rôle des hautes fréquences sur les bilans de  $M$  aux plus basses fréquences (les oscillations raisonnantes et anticorrélées de  $M_R$  et  $M_\Omega$  pour  $\omega^{-1} < 1$  jour expliquent-elles la mauvaise corrélation entre  $M_R$  et  $M_\Omega$  observée aux plus basse fréquence).