

Modèles simples de la Variabilité Climatique

François LOTT

Cours 2:

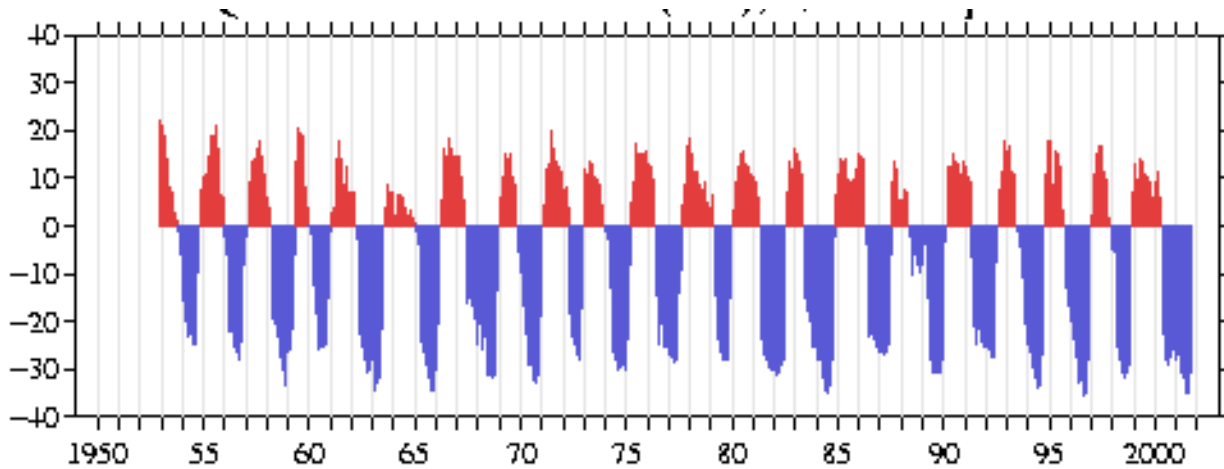
Oscillations de grandes échelles dans les tropiques (suite) et aux moyennes latitudes

- 1 L'oscillation quasi-biennale dans la basse stratosphère tropicale
- 2 Statistiques de la variabilité au moyennes latitudes
- 3 Oscillations dans le Pacifique
- 4 Oscillations dans l'Atlantique

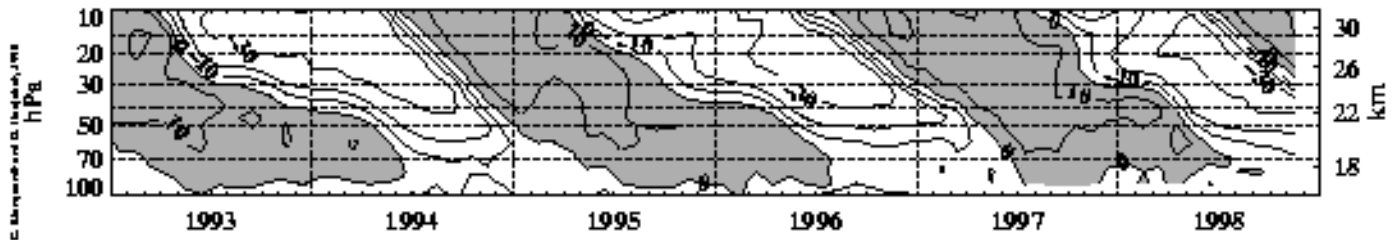
L'oscillation quasi biennale dans la basse stratosphère tropicale

Observations

Index de l'OQB basé sur la moyenne zonale du vent zonal (m/s) à 30hPa ($\approx 25\text{km}$). Extrait du site: tao.atmos.washington.edu

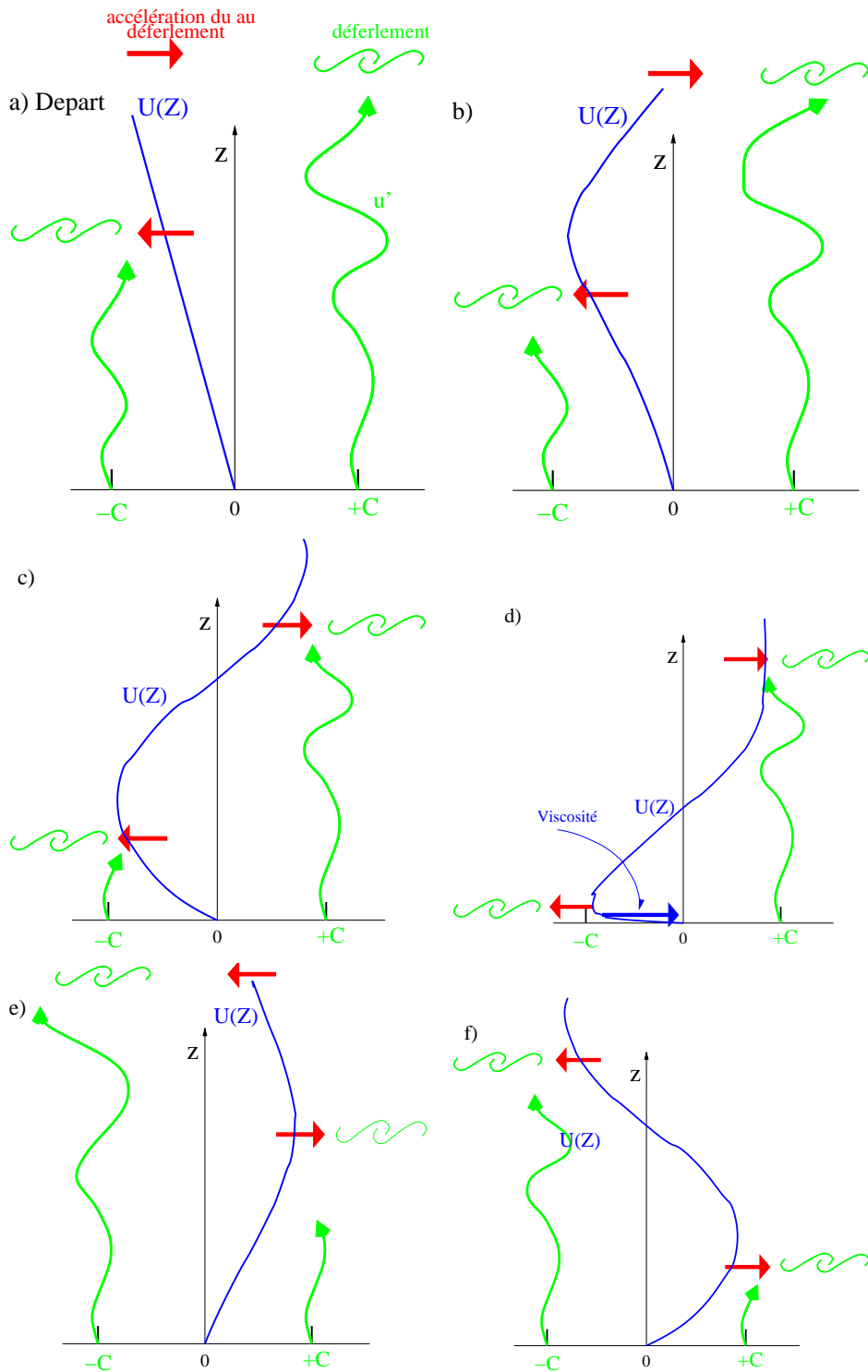


Moyenne zonale du vent zonal en fonction du temps et de l'altitude, 1993-1998. Extrait du site: tao.atmos.washington.edu



L'oscillation quasi biennale dans la basse stratosphère tropicale

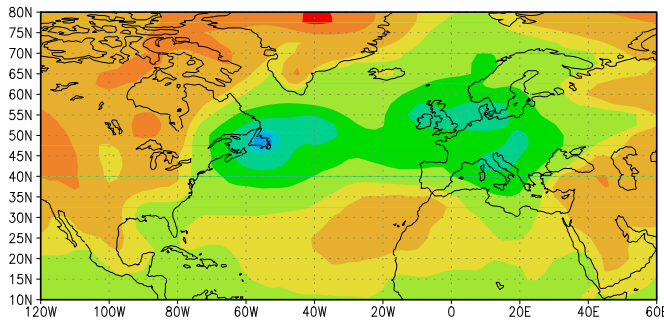
Théorie: Déferlement de 2 ondes de gravité et accélération induite sur l'écoulement zonal moyen



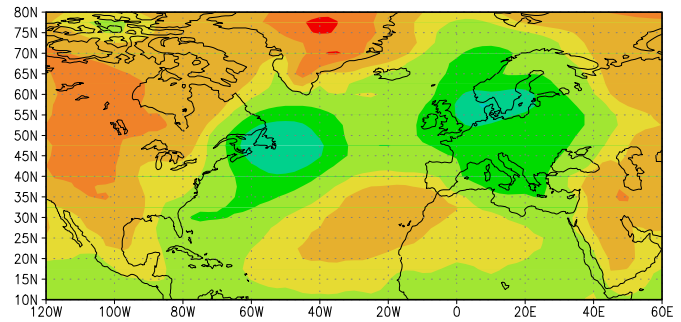
Trajectoire caractéristique d'une dépression sur l'Atlantique Nord

Pression au niveau de la mer

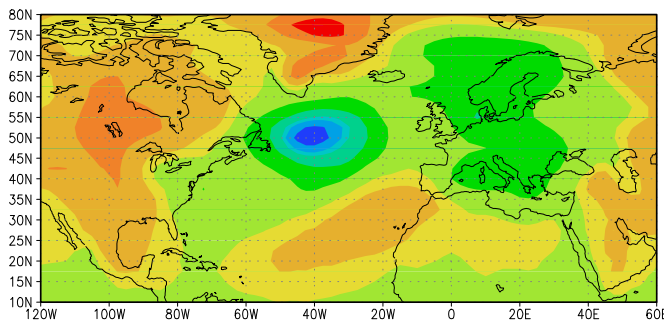
2000 28 Decembre



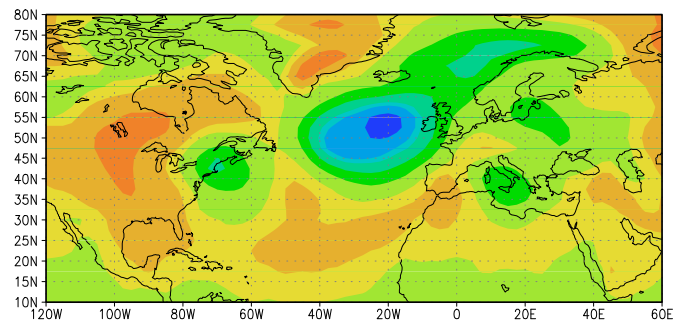
2000 29 Decembre



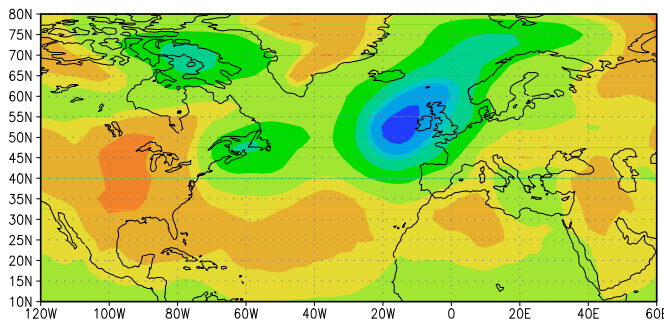
2000 30 Decembre



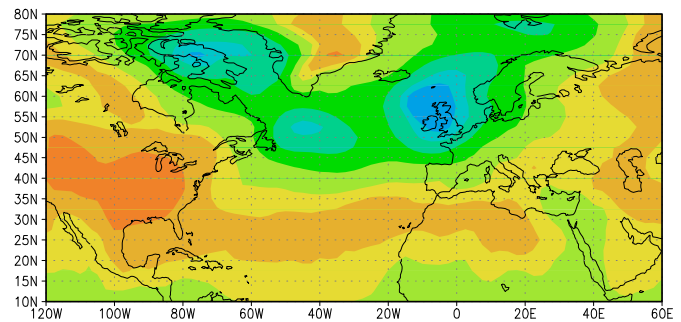
2000 31 Decembre



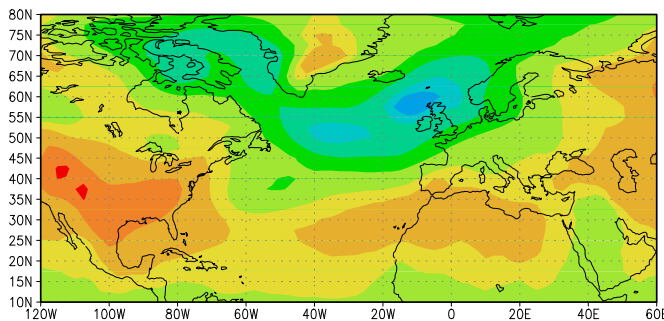
2001 1er Janvier



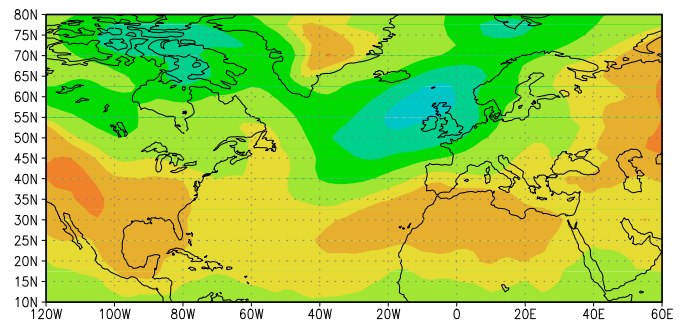
2001 2d Janvier



2001 3 Janvier



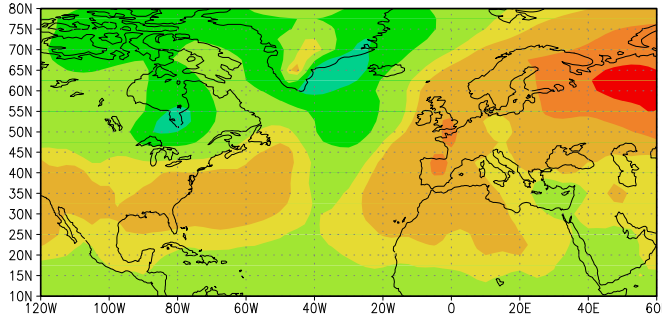
2001 4 Janvier



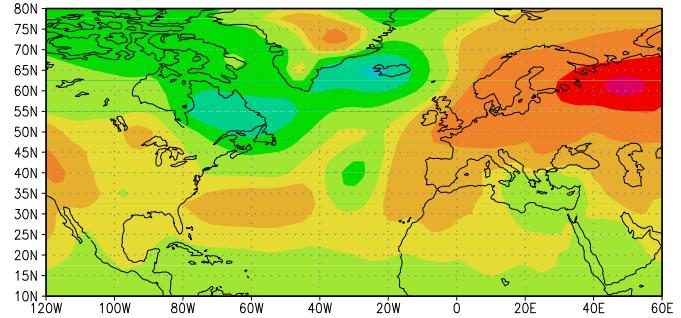
Exemple de la modification de la Trajectoire des dépressions sur l'Atlantique Nord

Pression au niveau de la mer

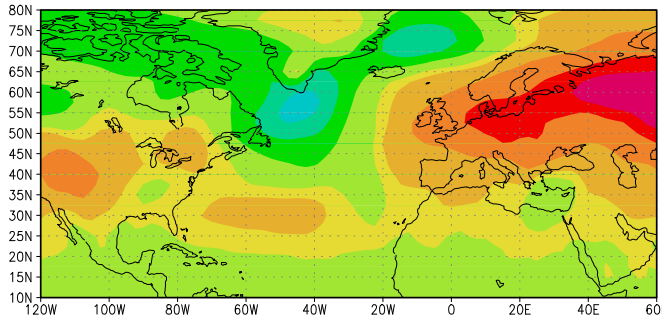
2001 6 Decembre



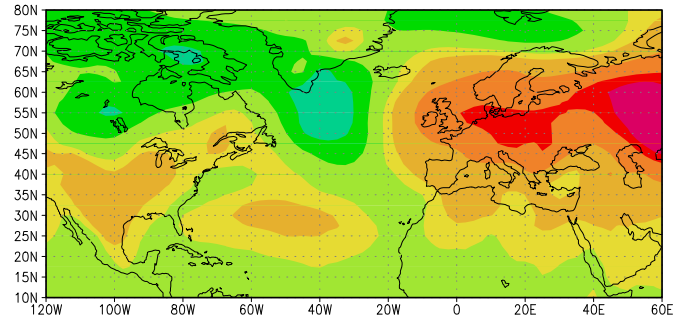
2001 7 Decembre



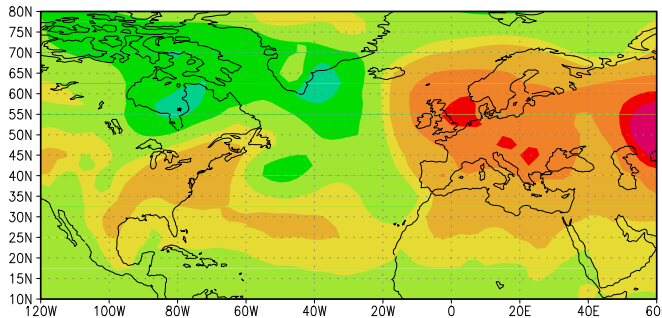
2001 8 Decembre



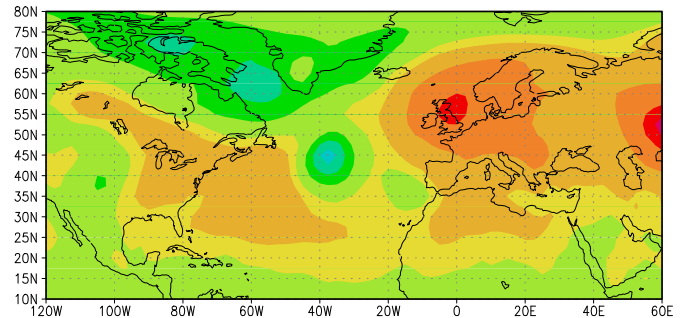
2001 9 Decembre



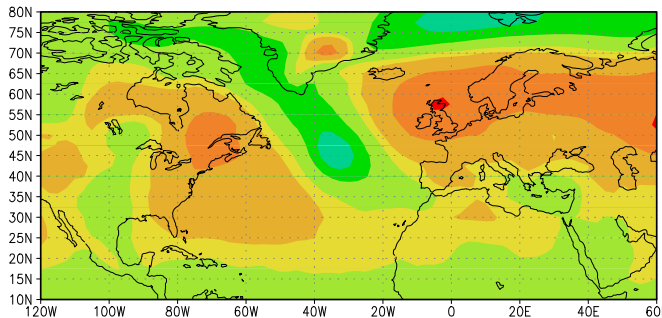
2001 10 Decembre



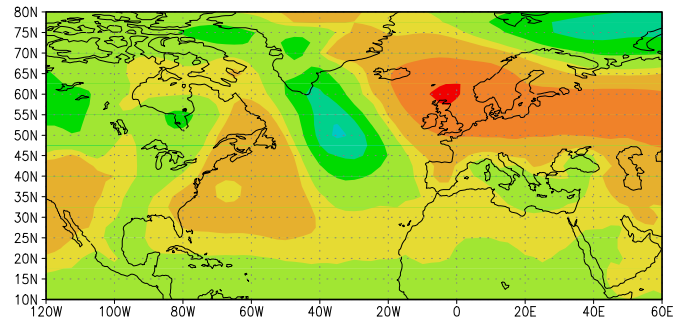
2001 11 Decembre



2001 12 Decembre



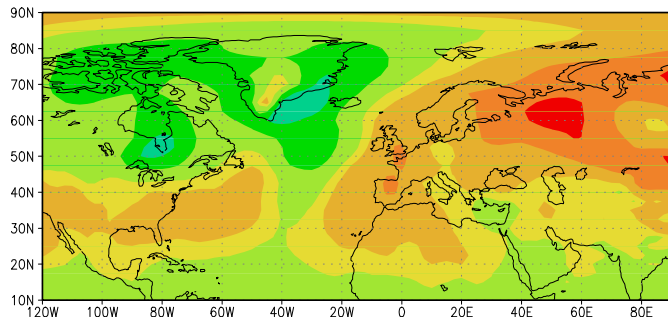
2001 13 Decembre



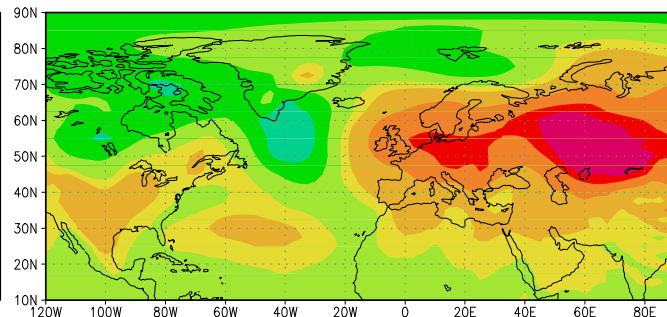
Exemple de la modification de la Trajectoire des dépressions sur l'Atlantique Nord

Pression au niveau de la mer
Cartes tout les 3 jours

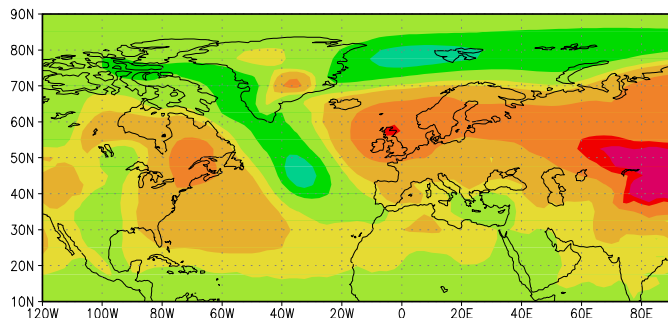
6 Decembre 2001



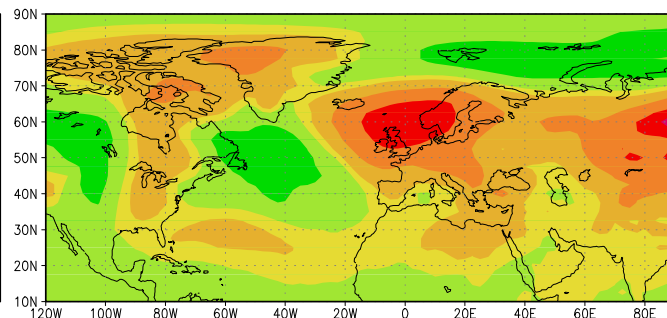
9 Decembre 2001



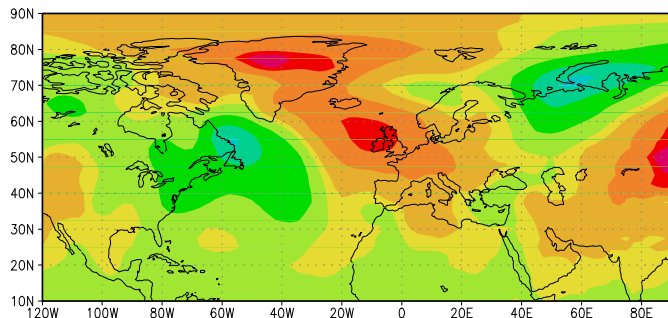
12 Decembre 2001



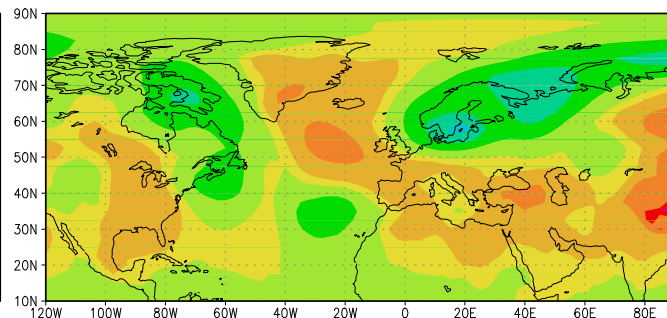
15 Decembre 2001



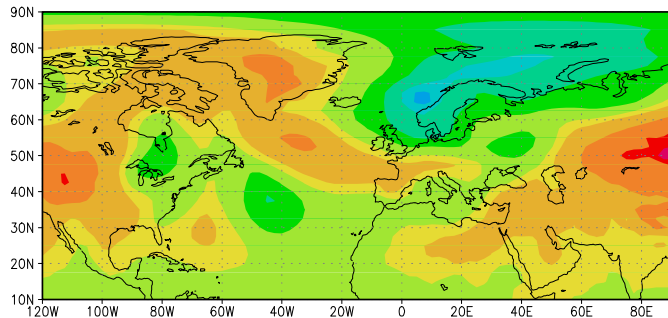
18 Decembre 2001



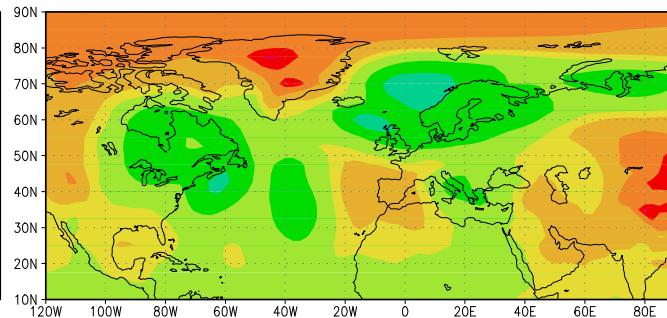
21 Decembre 2001



24 Decembre 2001



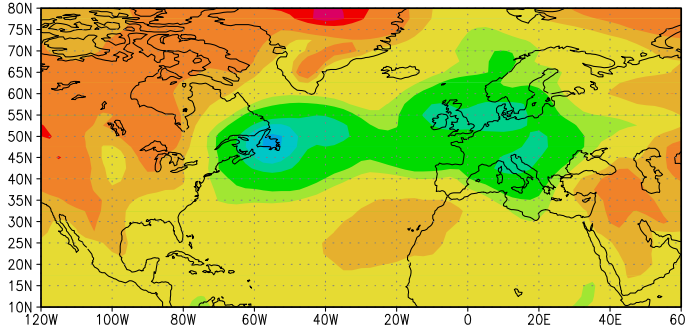
27 Decembre 2001



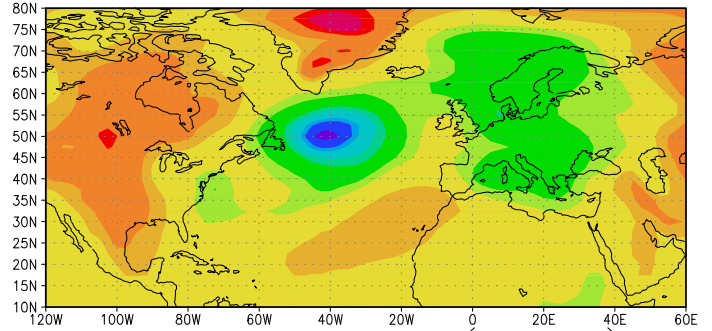
Justification de l'utilisation de cartes de hauteur du géopotentiel à un niveau de pression donné

Pression au niveau de la mer (5hpa)

2000 28 Decembre

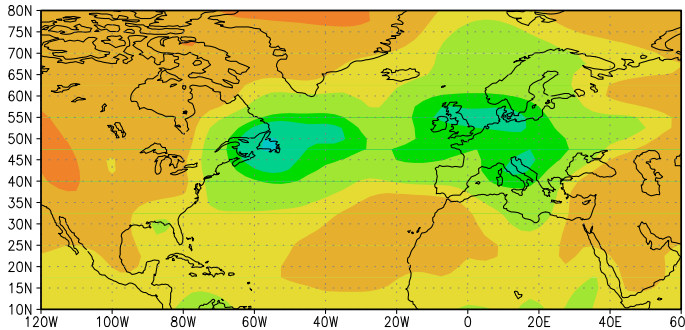


2000 30 Decembre

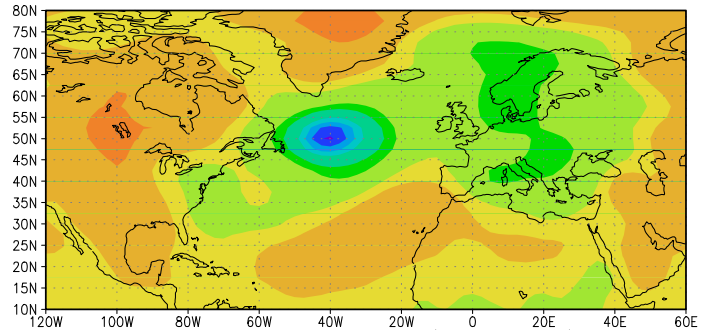


Hauteur du Geopotential a 1000hPa (50m)

2000 28 Decembre

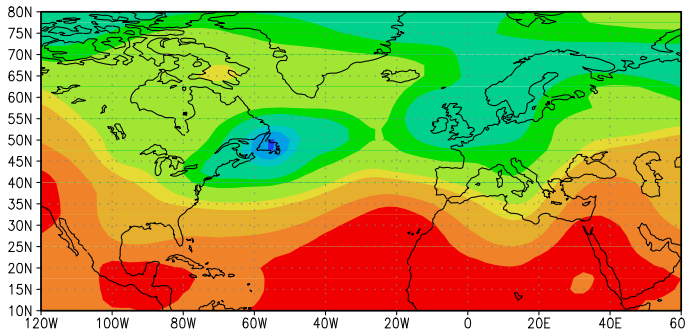


2000 30 Decembre

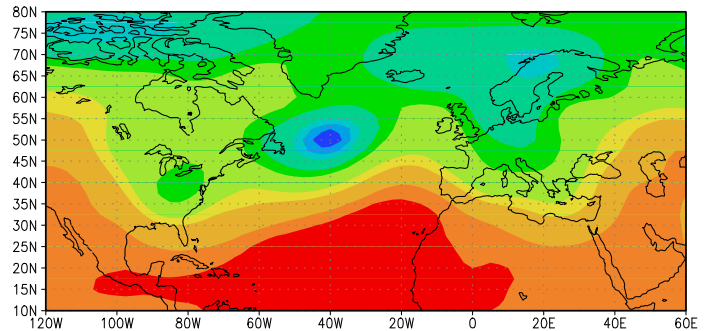


Hauteur du Geopotential a 700hPa (50m)

2000 28 Decembre

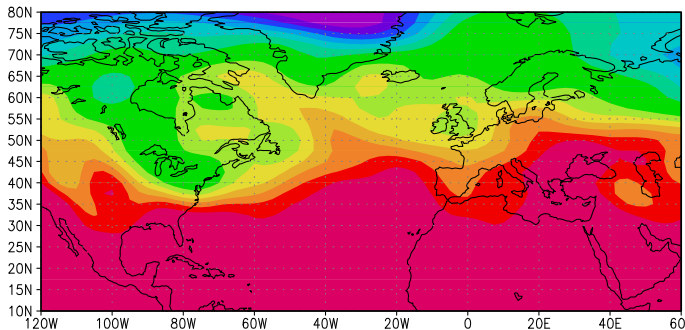


2000 30 Decembre

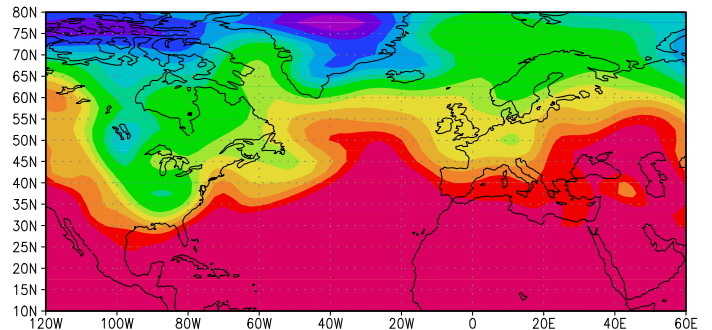


Temperature de l'air a 850hPa (3k)

2000 28 Decembre



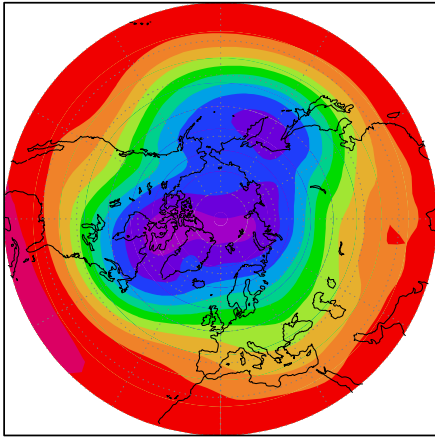
2000 30 Decembre



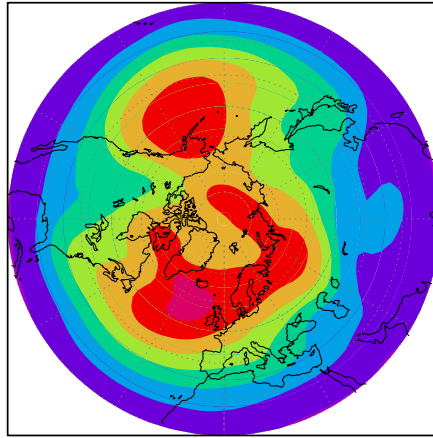
Statistiques de l'évolution du Géopotiel à 700hPa

Mois d'hiver, 1958-1997, données NCEP

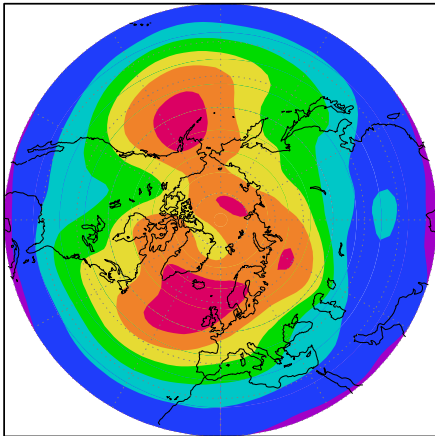
Moyenne



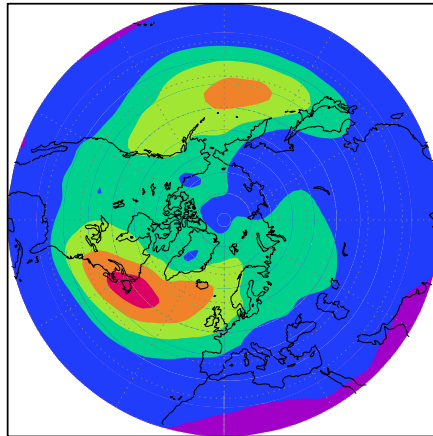
Déviati
standard



Déviati
standard
basse
fréquence



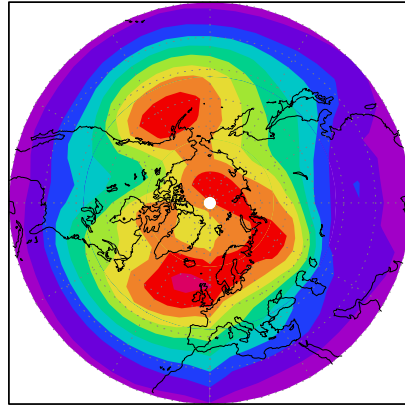
Déviati
standard
haute
fréquence



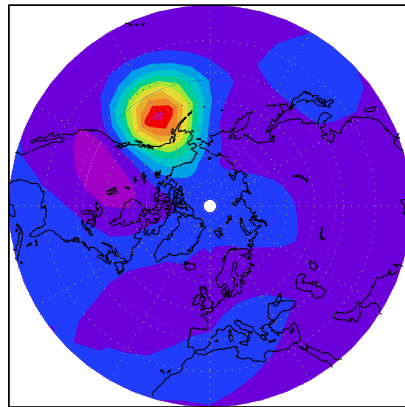
Statistiques de l'évolution du Géopotential à 700hPa

Mois d'hiver donnés NCEP, 1958-1997

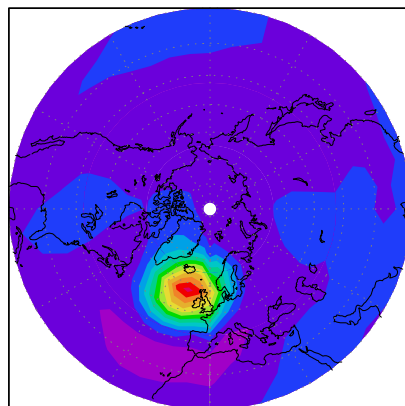
Déviatiun
standard



Corrélation
avec le centre
d'action Pacifique



Corrélation
avec le centre
d'action Atlantique



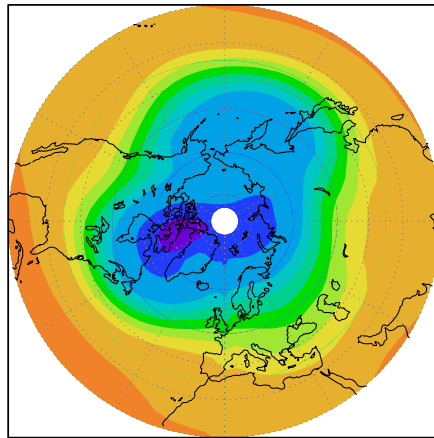
Anomalies du Géopotential à 700hPa

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

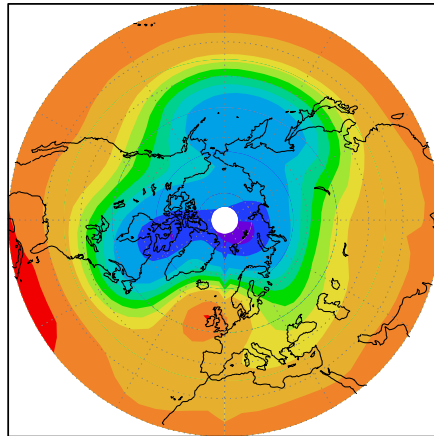
Moyenne et composites suivant la hauteur du
Géopotential sur l'Atlantique Nord-Est

Localisation: 15°W , 58°N

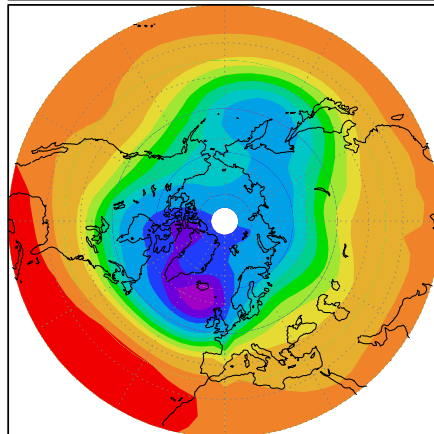
Moyenne d'hiver



Anomalie Positive
Situations de blocage



Anomalie négative
Situations zonales



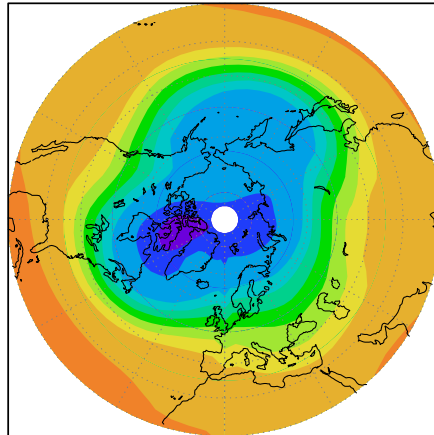
Anomalies du Géopotential à 700hPa

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

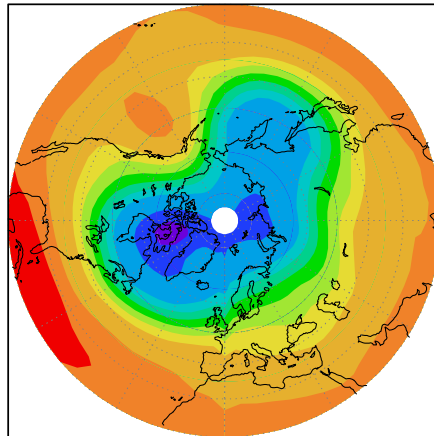
Moyenne et composites suivant la hauteur du
Géopotential sur le Pacifique Nord-Est

Localisation: 150°W, 50°N

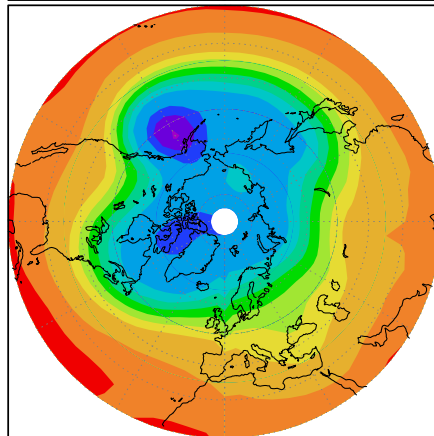
Moyenne d'hiver



Anomalie Positive
Situations de blocage



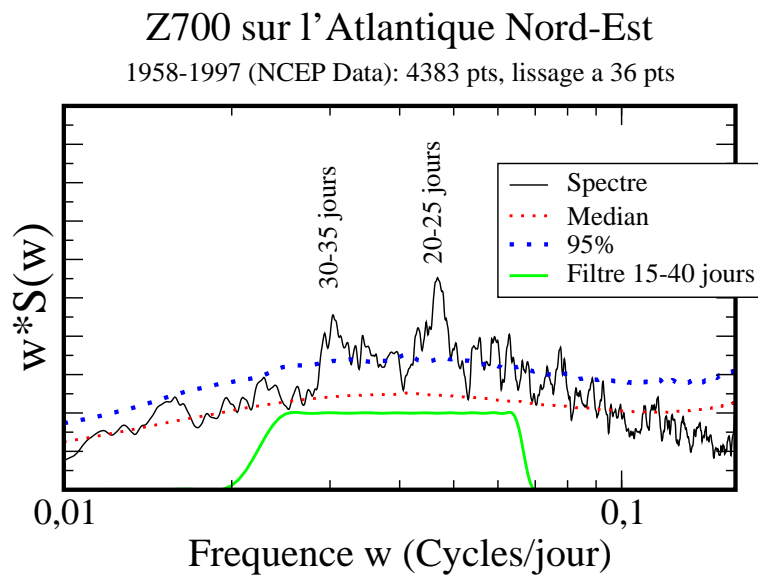
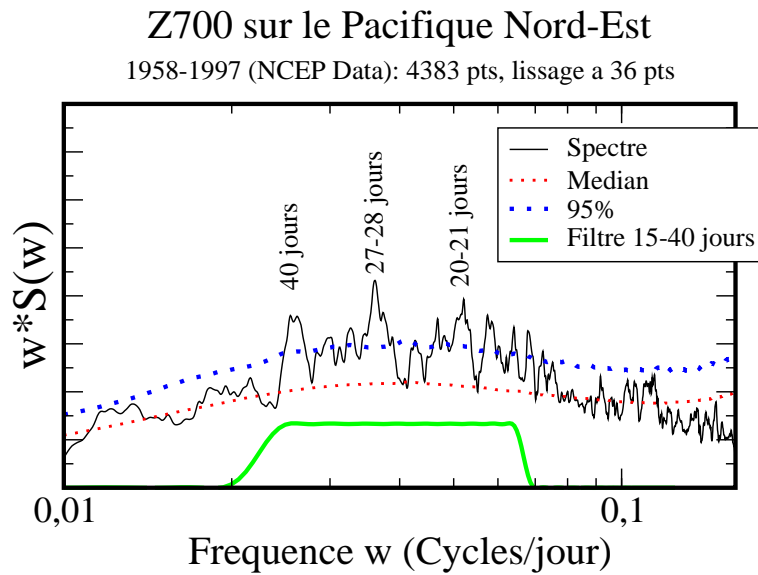
Anomalie négative
Situations zonales



Analyse Spectrale des variations du Géopotentiel à 700hPa

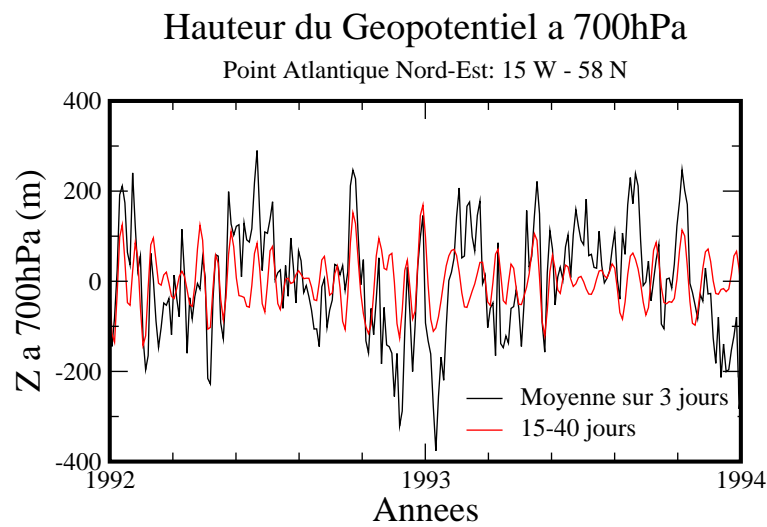
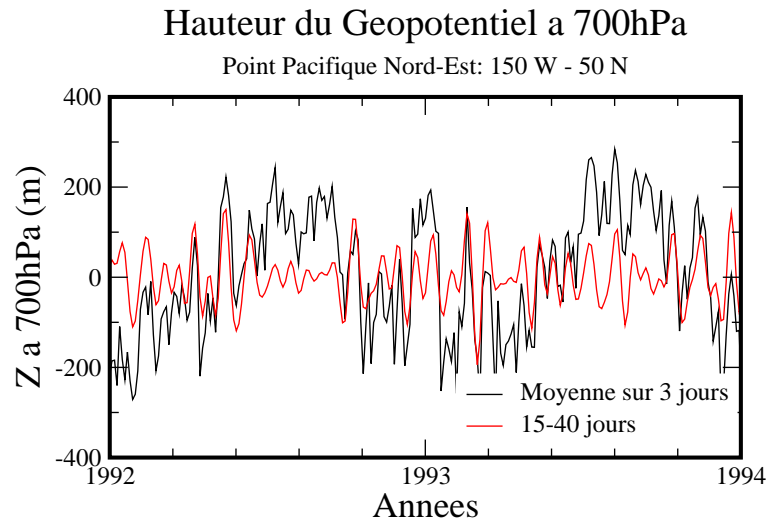
Données NCEP sans cycle annuel, 1958-1997

Evidence d'oscillations?

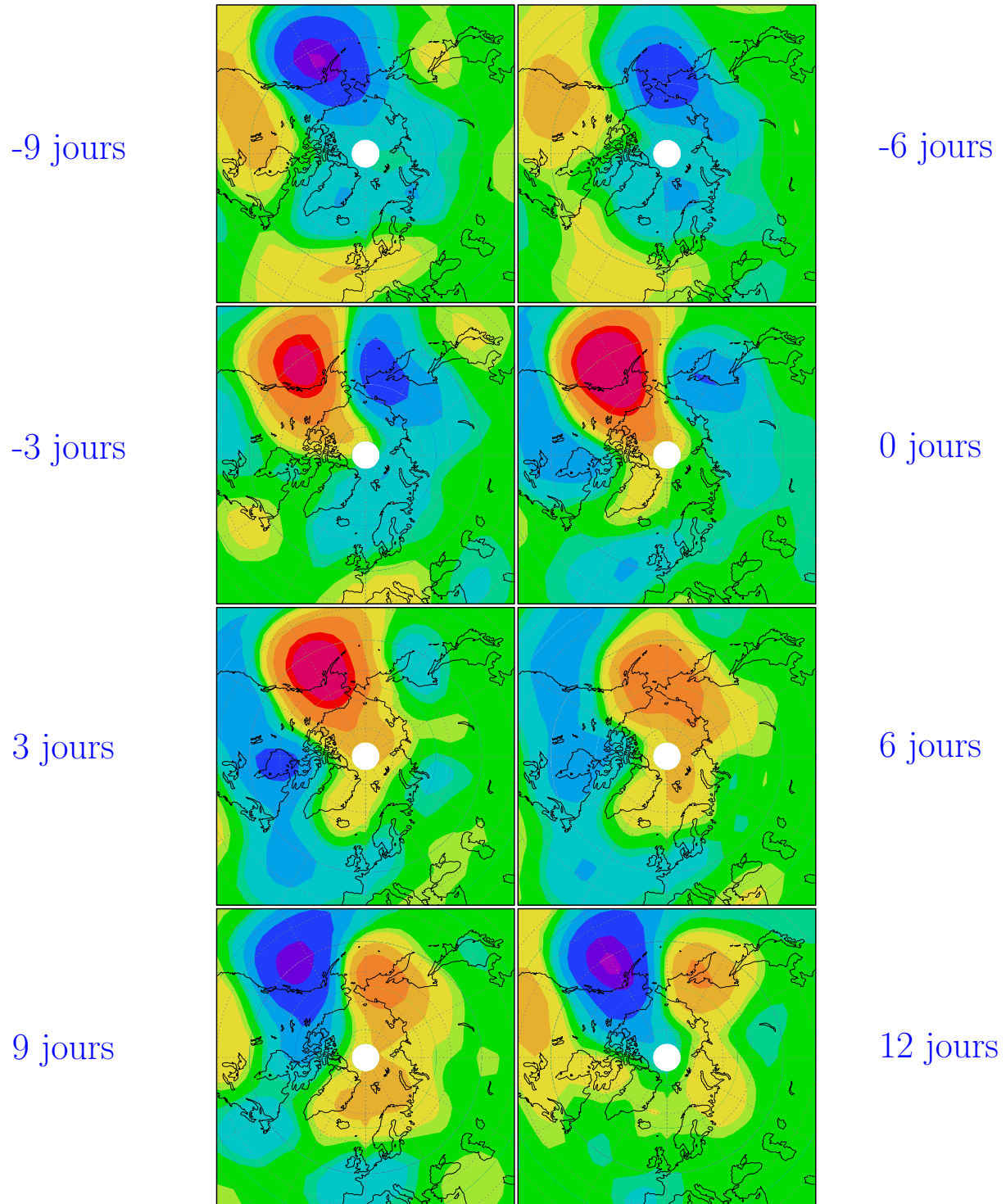


Reconstruction des séries du Géopotential à 700hPa

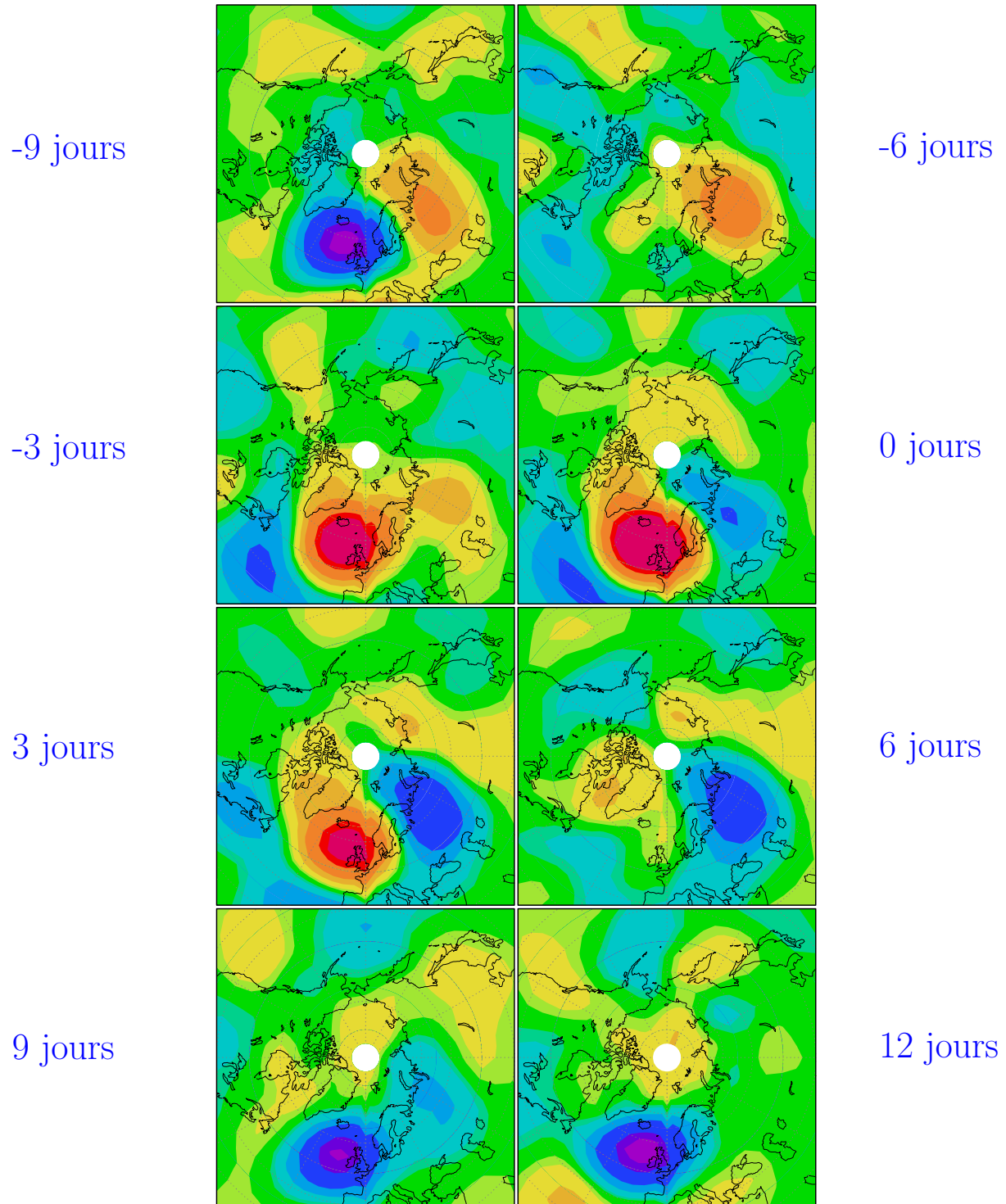
Données NCEP sans cycle annuel, 1958-1997



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



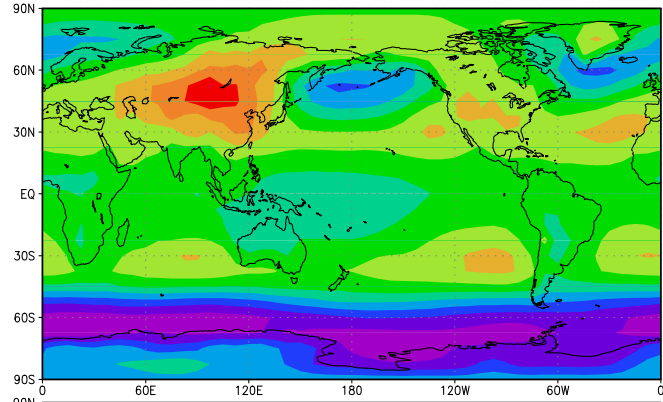
Composites du géopotentiel à 700hPa sur les oscillations de l'Atlantique
Nord-Est à 15-40 jours



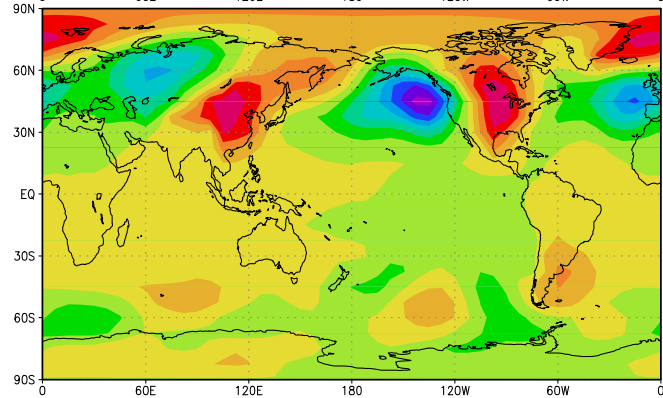
Rappel: pression au niveau de la mer et Couple des Montagnes

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

Moyenne d'hiver de P_m



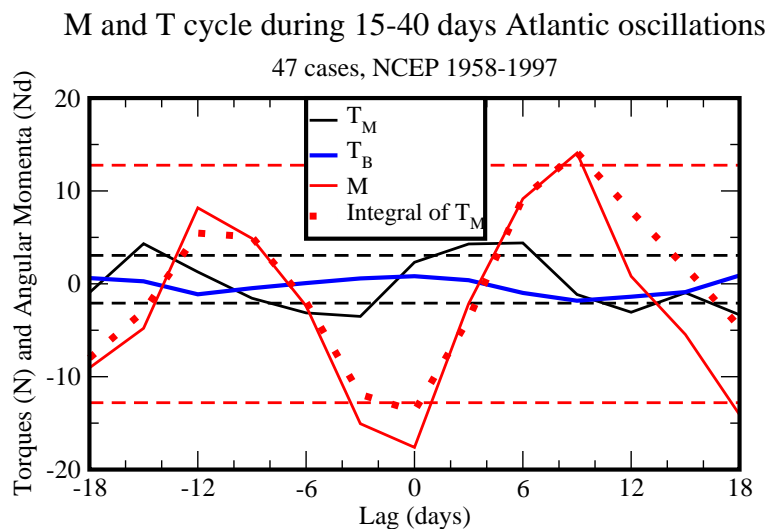
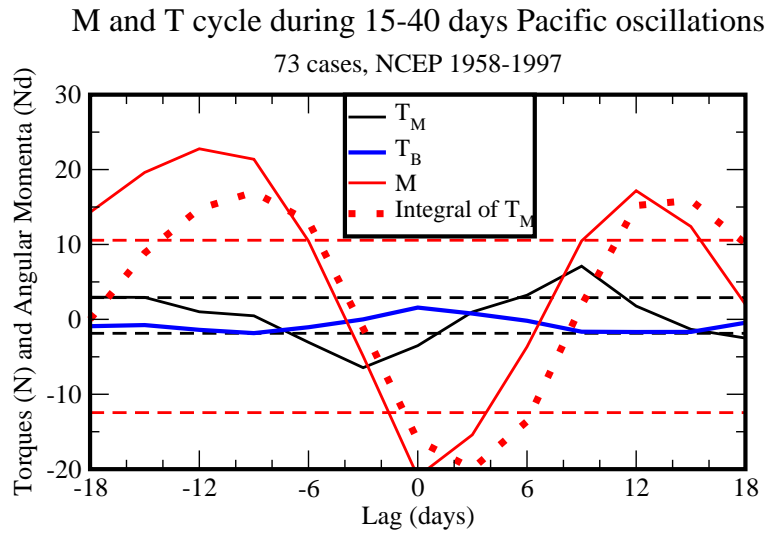
Régression des variations de P_m sur le couple des montagnes T_m



Les oscillations à 15-40 jours sur le Pacifique et l'Atlantique doivent produire un couple des montagnes négatifs à faible lag

Cycles du moment Angulaire

Données NCEP sans cycle annuel, 1958-1997



Les lignes pointillées sont des niveaux de confiance sur T_M et M à 1% établis à l'aide d'un test de student

Typiquement placés autour de

$$\pm 2.45 S_P \frac{2}{\sqrt{n}}$$

S_P un estimateur de la variance, n le nombre de cartes sélectionnés, et dans la mesure où on prend à peu près autant de cartes pour lesquelles Z est grand que pour lesquelles Z est petit.

Voir les 2 pages suivantes pour plus de précision.

Principe du Test de Student appliqué aux composites de T_M selon les variations de Z_{PAC}

On sélectionne n_X jours où $Z_{PAC} > V_1$ et n_Y jours où $Z_{PAC} < V_2$

On définit: $X = \{x_1, \dots, x_{n_X}\}$ les n_X réalisations de T_M et $Y = \{y_1, \dots, y_{n_Y}\}$ les n_Y réalisations de T_M

Hypothèses:

Chaque réalisation de X et de Y sont indépendantes les unes des autres: en pratique les prendre assez éloignées les unes des autres et dans le temps pour qu'elles soient décorréélées.

Les distributions qui génèrent X et Y sont normales, et ont la même variance σ

Distribution normale pour X :

$$P(a < X < b) = \int_a^b \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_X)^2}{2\sigma^2}} dx$$

On forme les estimateurs pour les moyennes

$$\hat{\mu}_X = \frac{1}{n_X} \sum_1^{n_X} x_i, \quad \hat{\mu}_Y = \frac{1}{n_Y} \sum_1^{n_Y} y_i$$

Et l'estimateur de la déviation standard:

$$S_p^2 = \frac{\sum_1^{n_X} (x_i - \hat{\mu}_X)^2 + \sum_1^{n_Y} (y_i - \hat{\mu}_Y)^2}{n_X + n_Y - 2}$$

Et on définit le composite: $\hat{\mu}_X - \hat{\mu}_Y$

Hypothèse nulle: $\mu_X - \mu_Y = 0$

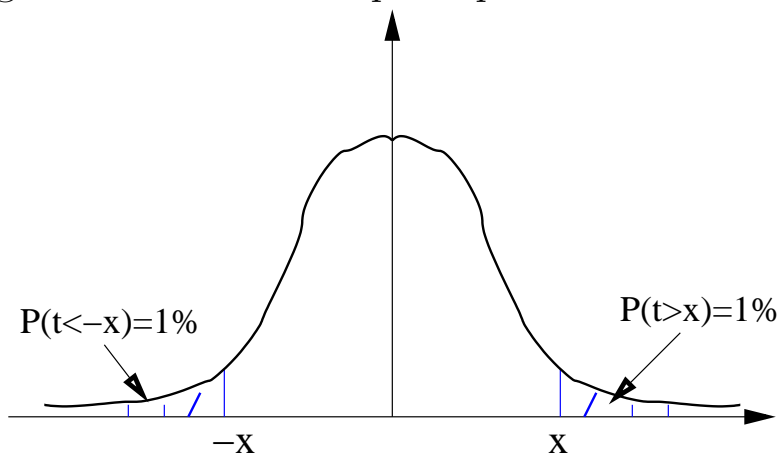
Principe du Test de Student appliqué aux composites de T_M selon les variations de Z_{PAC} (suite)

Si l'hypothèse nulle est vraie, la variable

$$t = \frac{\hat{\mu}_X - \hat{\mu}_Y}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_X} + \frac{1}{n_Y}}}$$

suit une distribution de Student à $n_X + n_Y - 2$ degrés de liberté.

Schéma grossier illustrant le principe du test:



On trouve des tables pour les valeurs de x en fonction du nombre de degré de liberté et du pourcentage de confiance désiré un peu partout.

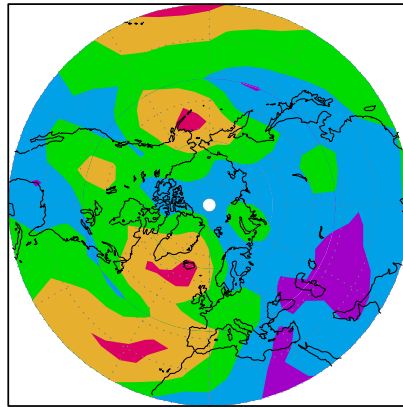
Noter que pour n_X et n_Y grands $x \approx 2.45$ pour un niveau de confiance à 1%.

Statistiques de l'évolution du Géopotentiel à 700hPa

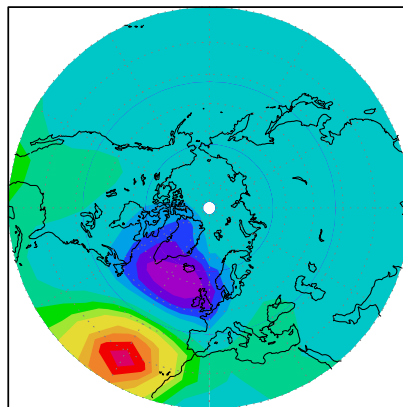
Données NCEP mois d'hiver

Teleconnections (Maxima d'anticorrelation avec des points distants)

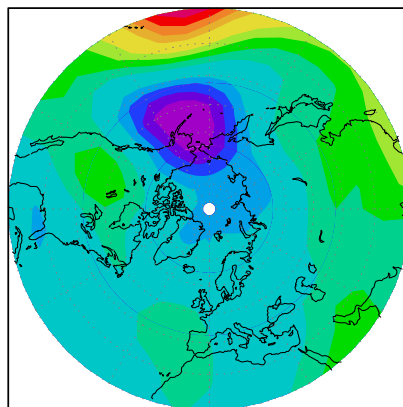
Maxima
d'anticorrelation



Corrélation
avec la NAO



Corrélation
avec la PNA



L'Analyse en Composantes Principales

Objectifs:

Lier dans une même approche les cartes de variance en un point et les cartes d'autocorrélation.

Mettre en évidence les structures spatiales de grande échelle dominant la variabilité de l'atmosphère

On décrit les champs météorologiques par un vecteur $\vec{Z}(t)$ dont les composantes $Z_i(t)$ représentent la hauteur du géopotential en M points couvrant un secteur donné.

$$\vec{Z}(t) = \begin{pmatrix} Z_1(t) \\ Z_2(t) \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_M(t) \end{pmatrix}$$

On forme la matrice d'Autocorrélation: $\vec{C} = \langle \vec{Z} \cdot {}^t\vec{Z} \rangle = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \vec{Z}(t) {}^t\vec{Z}(t)$

Il s'agit d'une matrice symétrique définie positive.

La variance totale est donnée par: ${}^{tr}\vec{C}$

La variance selon une structure spatiale \vec{E} est donnée par

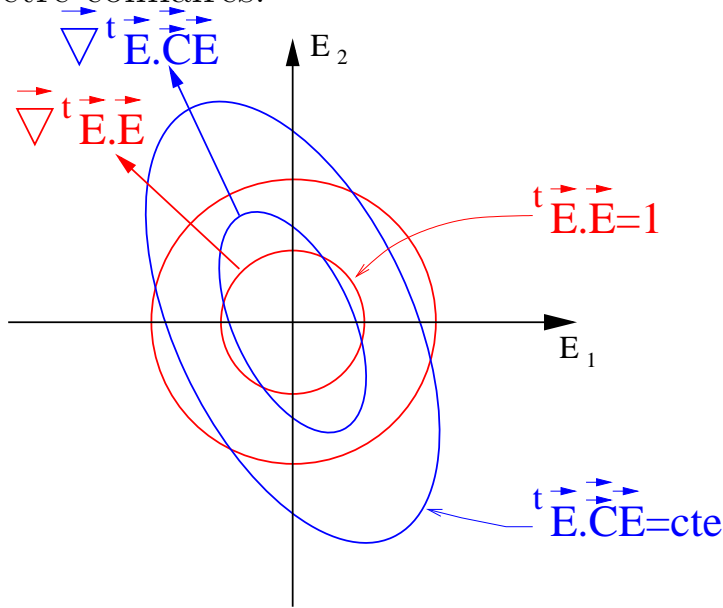
$$\langle {}^t\vec{E} \vec{Z} \cdot {}^t\vec{E} \vec{Z} \rangle = {}^t\vec{E} \vec{C} \vec{E}.$$

On cherche alors les vecteurs de norme 1 (${}^t\vec{E} \vec{E} = 1$) maximisant la variance.

On applique pour cela la méthode des multiplicateurs de Lagrange:

$$\vec{\nabla} \left({}^t\vec{E} \vec{C} \vec{E} \right) = \lambda \vec{\nabla} \left({}^t\vec{E} \vec{E} \right)$$

Schéma illustrant le principe des multiplicateurs de Lagrange, les deux vecteurs doivent être colinéaires:



Cela revient à résoudre le problème aux valeurs propres:

$$\vec{C}\vec{E} = \lambda\vec{E}$$

Remarques Importantes:

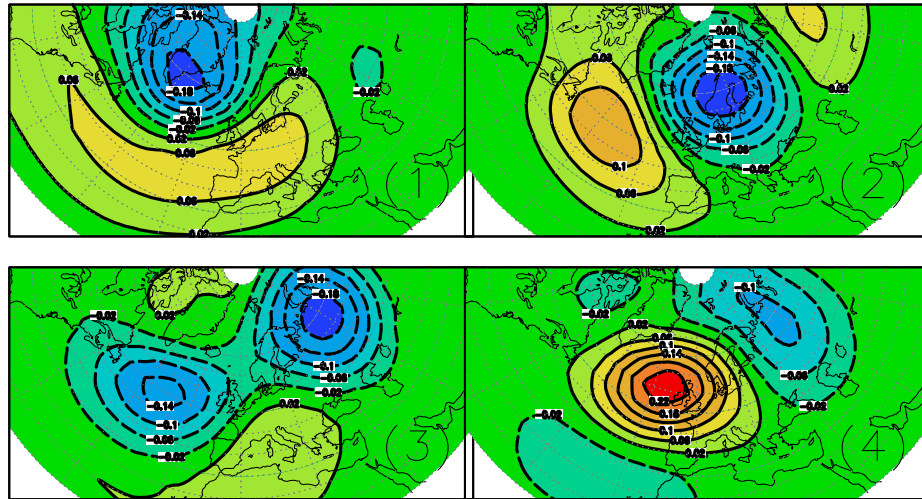
EOFs: les vecteurs \vec{E} sont orthonormaux et forment une base complète.
Ce sont les Fonctions Empiriques Orthogonales.

λ : Les valeurs propres donnent le pourcentage de la variance totale que représente \vec{E} .

PCs: Les champs peuvent s'écrire sous la forme, $\vec{Z}(t) = \sum_{j=1}^M a_j(t)\vec{E}_j$. Les $a_j(t)$ sont les Composantes Principales.

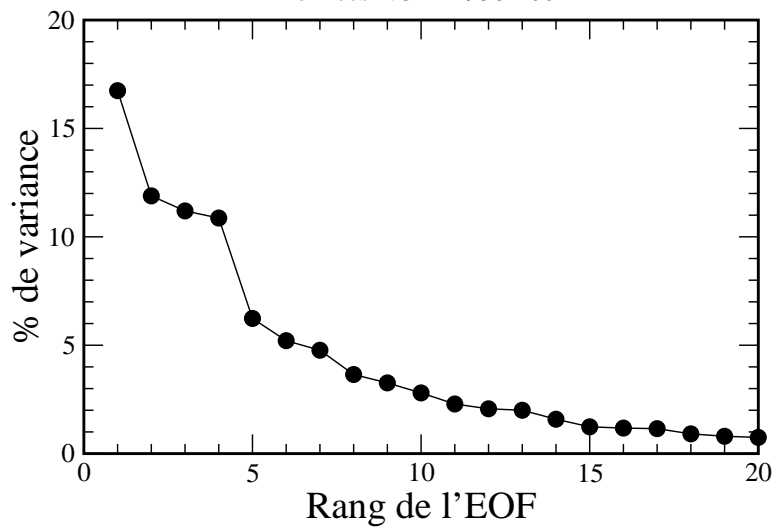
Composantes principales sur le secteur Atlantique

Données NCEP Hivers (DJF) 1958-2001, Secteur: 90W-90E, 30N-90N.



EOFs Hiver (DJF) Secteur Atlantique

Données NCEP 1958-2001



L'EOF dominante décrit des fluctuations en intensité et en position du jet aux moyennes latitudes

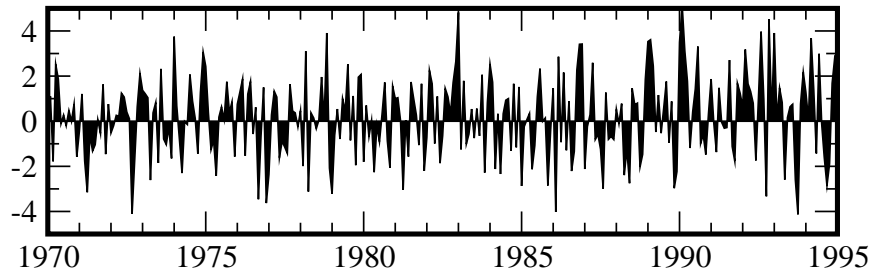
Ces fluctuations affectent le climat moyen sur l'Europe de l'Ouest

L'EOF dominante ressemble à l'Oscillation Nord-Atlantique

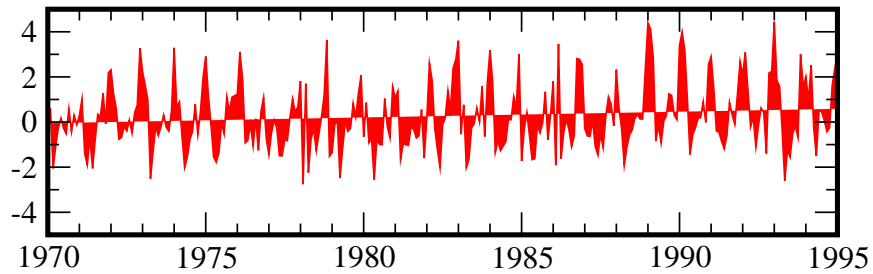
Echelles de temps des variations de l'Oscillation Nord-Atlantique

C'est à dire des fluctuations du climat sur l'Europe de l'Ouest.

NAO Index, Différence de Pression Lisbonne-Islande
Données disponibles depuis 1825



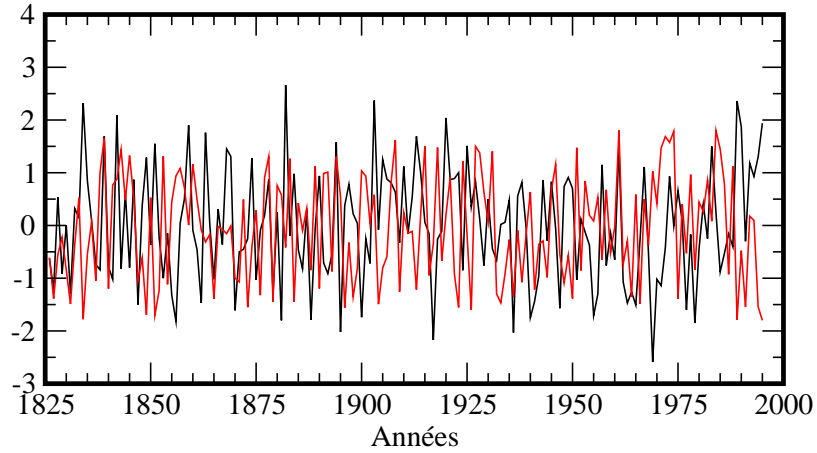
Projection sur l'EOF 1 d'Hiver
 $Z_{700 \text{ hPa}}$ (Données NCEP, disponibles depuis 1950)



Echelles de temps des variations de l'Oscillation Nord-Atlantique

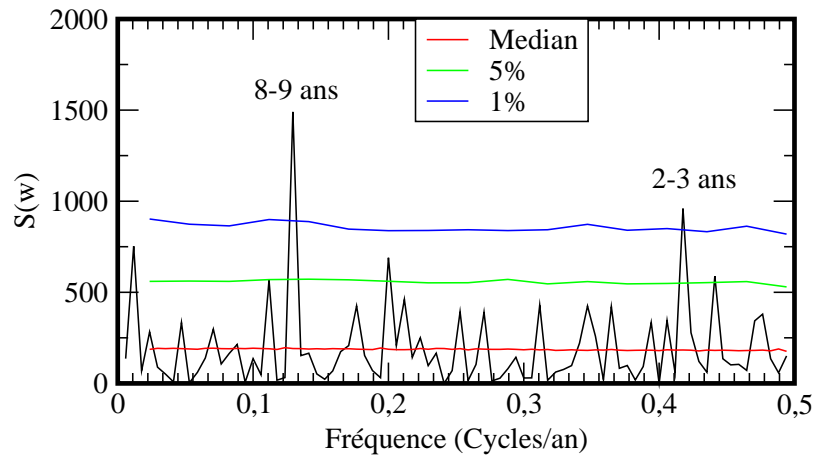
Index NAO, moyenné sur DJFM

Comparaison à un Bruit Rouge



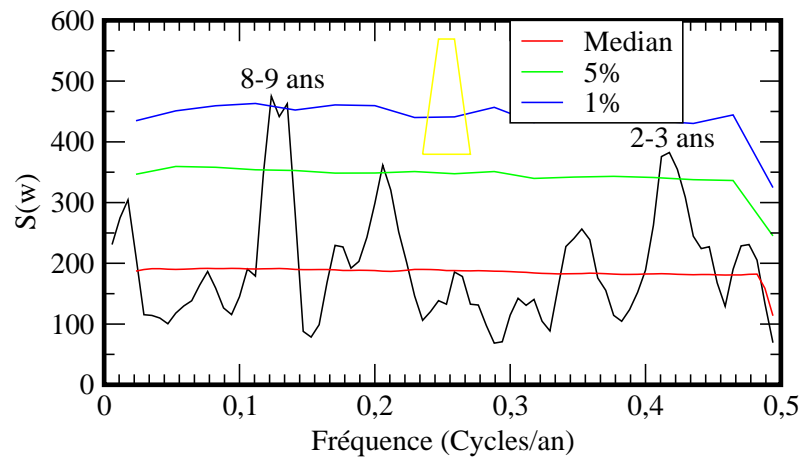
Spectre de la NAO (1850-2000)

Moyenne d'hiver, sans lissage



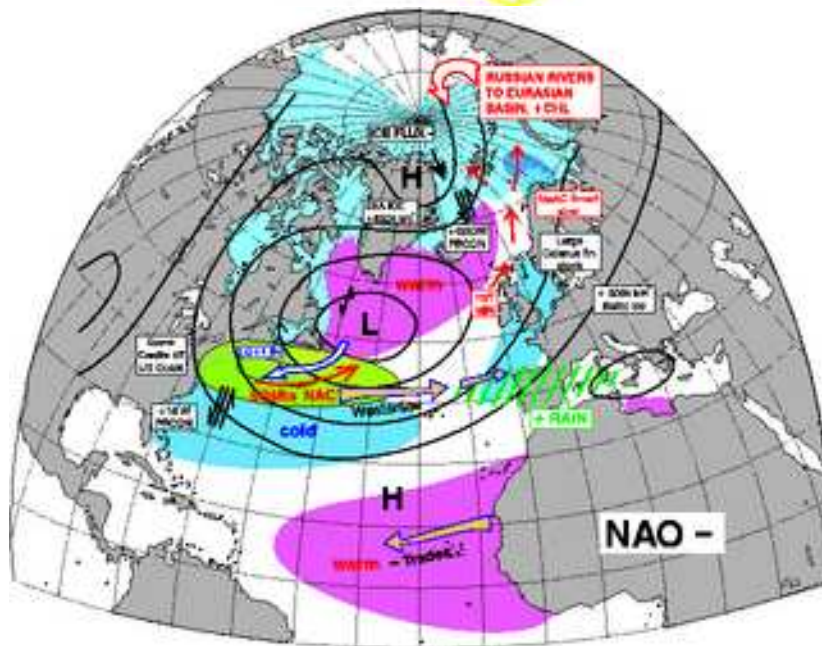
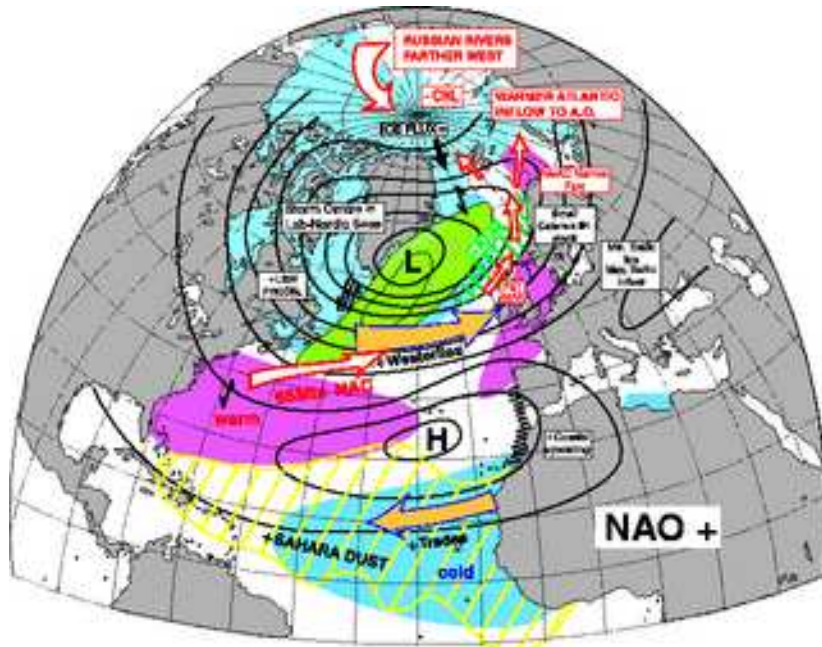
Spectre de la NAO (1850-2000)

Moyenne d'hiver, lissage à 5 point

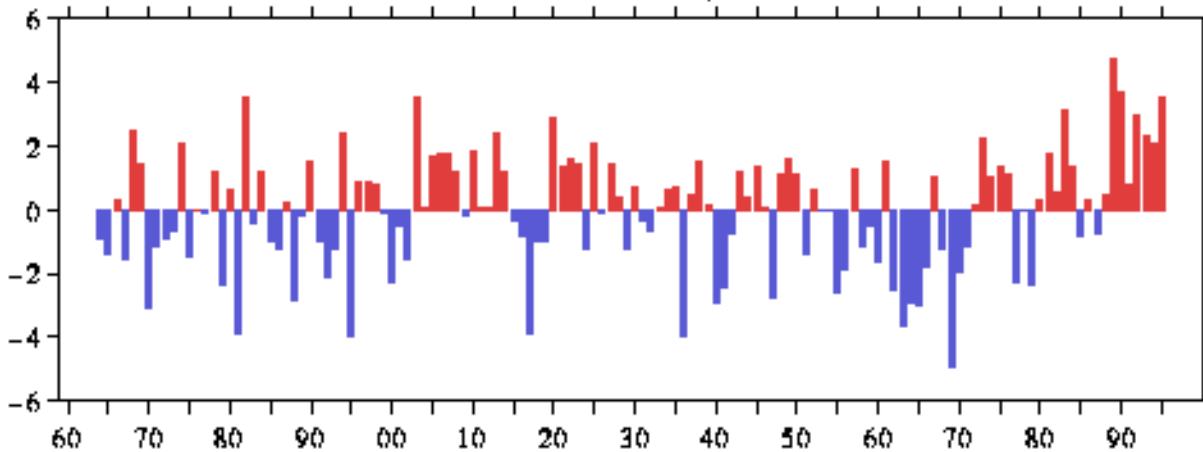


L'oscillation Nord Atlantique

Issues du site de D. B. Stephenson: www.met.rdg.ac.uk

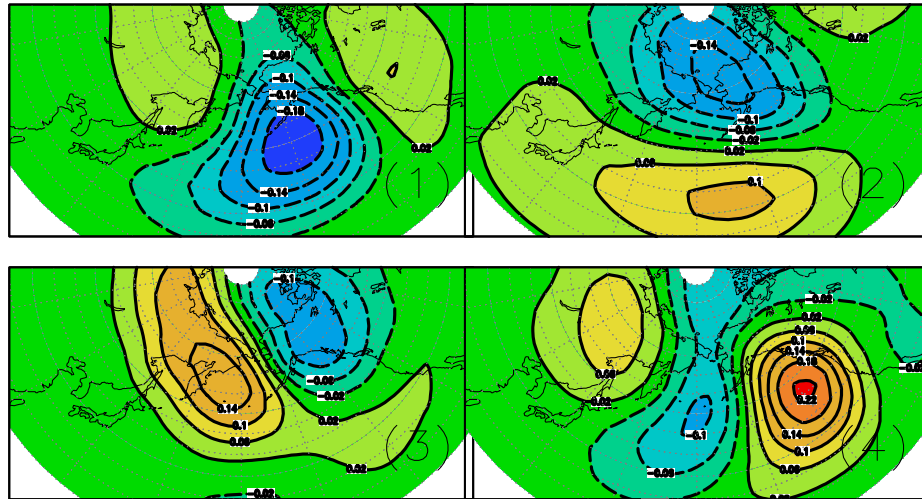


North Atlantic Oscillation (NAO) Index, 1964-1995



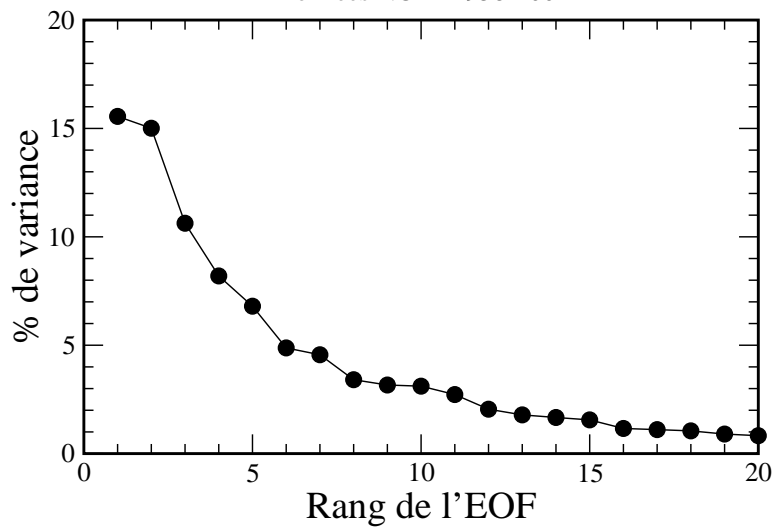
Composantes principales sur le secteur Pacifique

Données NCEP Hivers (DJF) 1958-2001, Secteur: 90E-90W, 30N-90N.



EOFs Hiver (DJF) Secteur Pacifique

Données NCEP 1958-2001

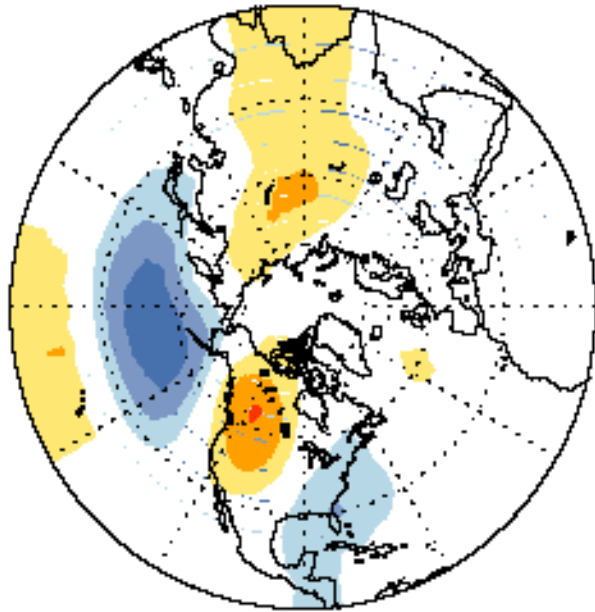


La structure Pacifique-Amérique du Nord

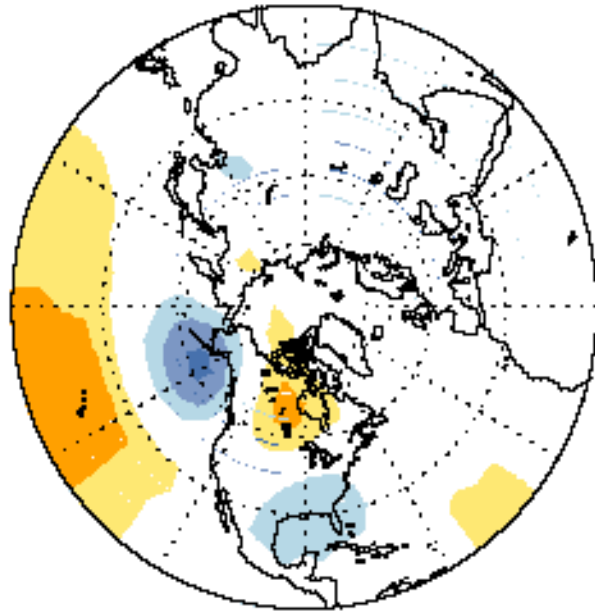
Issues du site du Climate Prediction Center: www.cpc.ncep.noaa.gov

PACIFIC/NORTH AMERICAN PATTERN (PNA)

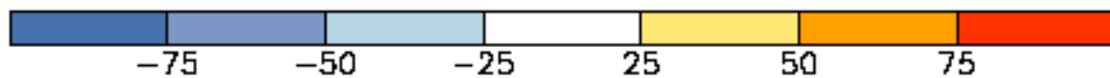
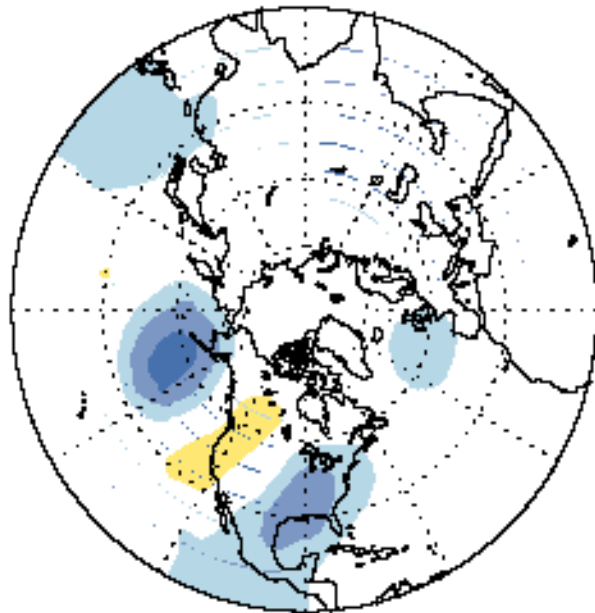
January



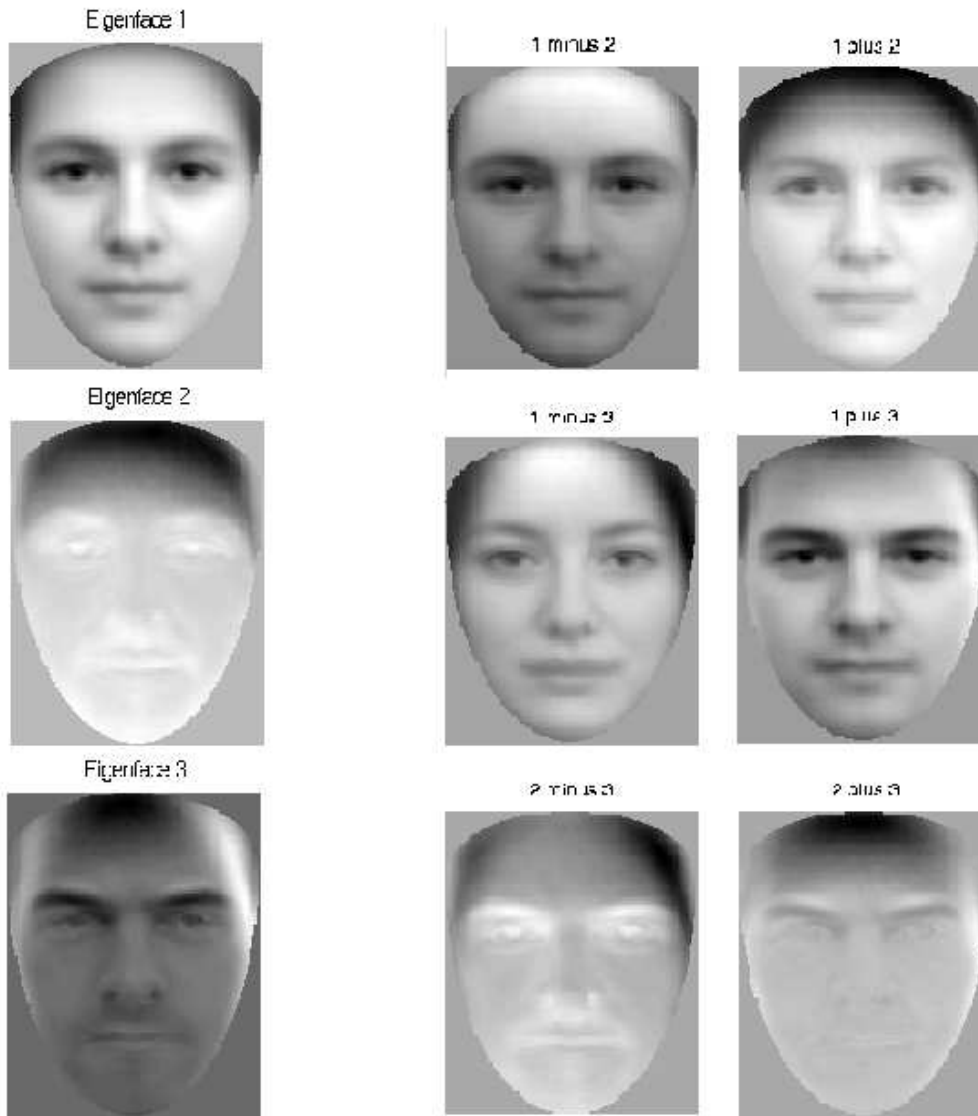
April



October



Principal Component Analysis of human faces



Credit: C.J. Solomon and J.P. Brooker, University of Kent.
see <http://www.ukc.ac.uk/physical-sciences/aog/facereco/>