

Diss. ETH No. 13300

Linkages between Upper-tropospheric Flow and European Seasonal Weather

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY (ETH)
Zürich

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by
ALEXIA JEANNE CHRISTIANE MASSACAND
Dipl. Natw. ETH
born 24th February 1972
French citizen

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Huw C. Davies, examiner
Dr. Kevin E. Trenberth, co-examiner
Prof. Dr. Christoph Schär, co-examiner

1999

Abstract

European seasonal weather has a first-order influence upon a wide range of natural and socio-economic factors. Whereas daily weather is dynamically linked to the day-to-day evolution of mesoscale disturbances, seasonal weather is statistically linked to the prevailing phase of planetary-scale patterns. The present study combines, and builds upon, aspects of these two statements and examines in particular the relationships between climatic planetary-scale patterns, daily subsynoptic structures, and precipitation signatures.

The focus is on the dynamical processes that *trigger* the development of rain-bearing mesoscale weather systems over the North Atlantic and Europe. Thus the emphasis is neither upon weather systems themselves nor on aspects of their internal dynamics, but on the large-scale processes that influence their initiation. The working hypothesis is that these triggering processes are closely linked to the daily and climatic structure of the upper-tropospheric flow. This hypothesis is prompted by both theoretical considerations and empirical indicators.

Key questions underlying the present study include: What influences European weather on the monthly time-scale? Are there dominant recurrent patterns in the upper-troposphere whose interannual variability relates to that of European seasonal weather? On the synoptic-scale and/or on the planetary-scale? What is the influence of the NAO and the PNA pattern, and are there other patterns that could be significant for Europe?

The strategy pursued comprises: – (i) the examination of the physical link between European weather systems and upper-tropospheric structures, i.e. so-called stratospheric intrusions or upper-level potential vorticity (PV) anomalies; (ii) the diagnostic and statistical identification of the key factors of upper-tropospheric variability; (iii) the dynamical interpretation of the results in view of an increased understanding of European seasonal weather i.e. weather regimes and precipitation. Data sources are ECMWF T106 and NCEP T63 re-analysis fields for the PV and CMAP for the precipitation.

In the first part, the link weather-systems/upper-tropospheric flow is established physically and empirically. Physically, stratospheric intrusions are related to the PV concept and midlatitude weather-system dynamics, and empirically the shape, location and frequency of stratospheric intrusions over Europe is related to (1) events of heavy precipitation events on the Alpine south-side and (2) monthly-means of Alpine precipitation for January/April/October in the period 1980-1995.

The second part is devoted to the examination of upper-tropospheric variability. Several complementary aspects are considered: daily time-scale (synoptic-scale development of a heavy precipitation precursor-type PV-streamer) and monthly time-scale (January/April/October 1980-1995) from both diagnostic and statistical approaches. Dynamical quantities considered include monthly means of PV (along with norms of the mean vector-gradient) on tropopause-transsecting isentropic surfaces, monthly variances of PV on that same surface, and monthly means of precipitation.

In particular, an examination is undertaken of the statistical link between interannual variations of the northern hemispheric PV monthly distribution (on a tropopause-transecting isentropic surface) and European precipitation. Results from a principal component analysis (PCA) of the PV field indicates that in January the leading EOF's capture the PNA and NAO signatures (1st and 2nd EOF resp.) and also yield a latitudinally-confined anomaly train (3rd EOF – hereafter termed *Mid-latitude Anomaly Train* MAT) that has one major center over the North Sea. Comparison of the foregoing pattern interannual variations (scores) with those of European precipitation further indicates that, whereas the NAO-like signature links with Scandinavian precipitation, it is the MAT that exhibits a markedly strong correlation ($r \sim 0.83$) with precipitation in the remainder of Europe. This MAT - precipitation relationship is also shown to apply for April and October.

The third part provides a dynamical interpretation of the results which further evidences their strong relevance in considering European weather regimes, and the intensity/geographical distribution of monthly precipitation. Finally, consideration is given to the climatic implications of the foregoing linkages between upper-tropospheric flow and European seasonal weather.

Résumé

Le temps et ses fluctuations au-dessus de l'Europe ont une influence déterminante sur de nombreux facteurs naturels et socio-économiques. Alors que l'évolution du temps est physiquement liée à celle de perturbations subsynoptiques, l'évolution du temps *saisonnier* est statistiquement liée aux fluctuations de phases des patterns à échelle planétaire. C'est autour, et par combinaison, de ces deux fondements que notre étude est construite; celle-ci examine en particulier les relations entre patterns planétaires, perturbations subsynoptiques, et précipitations.

Notre étude se concentre sur les processus dynamiques qui *déclenchent* le développement de systèmes de perturbations au-dessus de l'Atlantique et de l'Europe. Ainsi, l'emphase n'est ni sur les perturbations elles-mêmes ni sur certains aspects de leur dynamique interne, mais plutôt sur les processus à grande-, et méso- échelle qui influencent leurs initiations. Notre hypothèse de travail suppose que ces processus de déclenchement sont étroitement liés à la structure journalière et saisonnière de la haute troposphère. Cette hypothèse repose à la fois sur des considérations théoriques et indicateurs empiriques.

Les questions clé à l'origine de notre étude comprennent : Quels sont les facteurs qui influencent le temps au-dessus de l'Europe à l'échelle mensuelle? Existe-t-il dans la haute-troposphère des patterns dominantes et récurrentes dont la variabilité interannuelle est reliée à celle du temps saisonnier au-dessus de l'Europe? D'échelle synoptique? planétaire? Quelle est l'influence du NAO (North Atlantic Oscillation) et de la PNA (Pacific North American) pattern, et existe-t-il d'autres patterns qui pourraient être déterminantes pour l'Europe?

La stratégie adoptée s'articule en trois étapes : – (i) l'examen du lien physique entre systèmes de perturbations et structures de la haute troposphère i.e. intrusions stratosphériques ou anomalies de tourbillon potentiel (ci-après PV); (ii) l'identification diagnostique et statistique des facteurs clé de variabilité de la haute troposphère; (iii) l'interprétation physique des résultats dans l'optique d'une compréhension accrue du temps saisonnier au-dessus de l'Europe (i.e. régimes de temps et précipitations). Les bases de données sont pour la PV les champs de ré-analyses ECMWF T213 et NCEP T63, et pour les précipitations le CMAP.

Dans la première partie, la relation entre perturbations et intrusions stratosphériques est établie de manière théorique et empirique. Théoriquement, les intrusions stratosphériques sont reliées au concept de la PV ainsi qu'à la dynamique des perturbations; empiriquement la forme, l'emplacement, et la fréquence des intrusions au-dessus de l'Europe est reliée (1) à des événements de précipitations intenses sur le flanc-sud des Alpes et (2) à des moyennes mensuelles de précipitation alpine pour Janvier, Avril et Octobre de 1980 à 1995.

La deuxième partie est consacrée à l'étude de la variabilité de la haute troposphère: Variabilité à l'échelle journalière d'un point de vue diagnostique (développement synoptique d'un PV-streamer précurseur de précipitation intense) ainsi qu'à l'échelle mensuelle (Janvier, Avril, Octobre de 1980 à 1995) cette fois d'un point de vue diagnostique et statistique. Les variables dynamiques que nous examinons comprennent la moyenne mensuelle de PV (ainsi que la norme

du vecteur-gradient de cette moyenne) sur une surface isentropique intersectant la tropopause, la variance mensuelle sur cette même surface, et la moyenne mensuelle des précipitations.

Plus précisément, une étude statistique est menée du lien entre les variations interannuelles de la distribution hémisphérique de PV (sur une surface isentropique intersectant la tropopause) et les précipitations européennes. Une décomposition en composantes principales (PCA) du champ de PV révèle que les deux premiers EOFs capturent la signature de la PNA et du NAO et que le troisième EOF est composé d'un train d'anomalies confiné latitudinalement (ci-après *Mid-latitude Anomaly Train* ou MAT) et qui possède un centre distinct au-dessus de la Mer du Nord. Une comparaison entre les variations interannuelles des EOF's (scores) de PV et celles des précipitations européennes indique que, alors que la pattern similaire au NAO corrèle avec les précipitations scandinaves, c'est le MAT qui possède une corrélation particulièrement élevée ($r \sim 0.83$) avec les précipitations au-dessus du reste de l'Europe. Il est également démontré que la relation MAT/précipitation est valide pour les mois d'avril et octobre.

La troisième partie fournit une interprétation dynamique des résultats et témoigne de leur pertinence vis-à-vis des régimes de temps européens ainsi que de l'intensité et la distribution géographique des précipitations mensuelles. Enfin, une attention particulière est donnée à l'analyse des implications climatiques des relations dérivées, tout au long de cette étude, entre haute troposphère et temps saisonnier européen.