



LE DEVELOPPEMENT DE LA PREVISION NUMERIQUE

Jean Coiffier

(Octobre 2006)

Association des Anciens de la Météorologie



PLAN

- Les débuts de la prévision numérique
- Les divers modèles
- Le problème de l'initialisation
- L'assimilation variationnelle
- La prévision d'ensemble
- La prévision à mésoéchelle



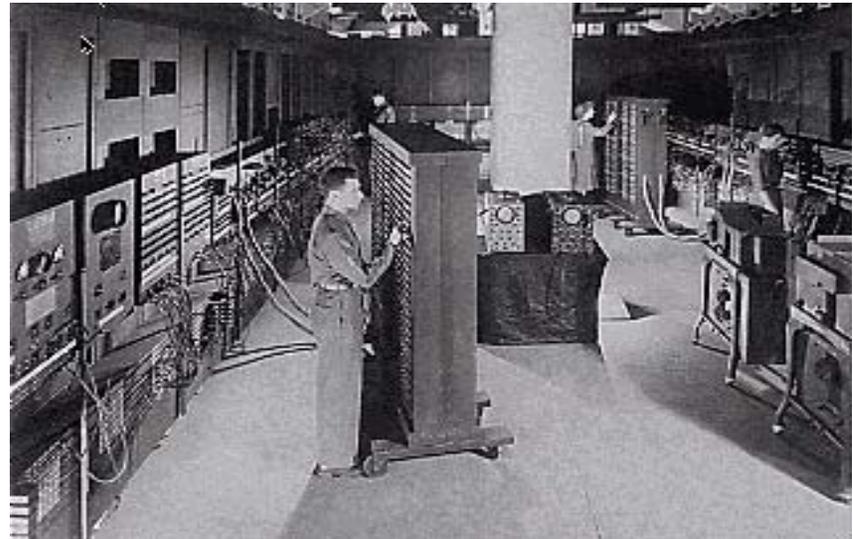
Intégration numérique de l'équation du tourbillon barotrope (J. Charney, R. Fjortoft, J. von Neumann, 1950)



J. Charney, R. Fjortoft et J. Von Neumann réalisent la première prévision numérique du temps



Le calcul est réalisé sur l'ENIAC installé à Aberdeen





Le « phare » de Stockholm : C.G.Rossby

A son retour des États-Unis en 1950, le suédois C.G. Rossby crée à Stockholm un Institut de Météorologie auprès duquel de nombreux météorologistes d'Europe sont venus se former aux nouvelles techniques de la prévision numérique. En outre cet Institut, que Rossby aurait désiré voir officiellement « européenisé », permettait de rassembler des scientifiques de pays qui avaient été séparés lors de la seconde guerre mondiale.





La panoplie des modèles de prévision

Rangés par ordre de complexité décroissante :

- **Modèle non hydrostatique pour atmosphère profonde
(adapté au cas des planètes gazeuses)**
- **Modèle non hydrostatique pour la pellicule mince
(adapté au cas de la Terre, en particulier)**
- **Modèle hydrostatique à équations primitives
(exclut la propagation des ondes acoustiques)**
- **Modèle hydrostatique à équations filtrées
(exclut la propagation des ondes acoustiques et des ondes de gravité)**



Le démarrage opérationnel de la prévision numérique

- **1er Décembre 1954 : Suède, sur calculateur BESK**
- **Eté 1955 : Etats-Unis, sur calculateur IBM 701**
- **Année 1960 : Royaume-Uni, sur calculateur METEOR**
- **Automne 1964 : France, sur calculateur KL901**
- **Automne 1966 : Allemagne fédérale, sur calculateur CDC3400**



Les équations filtrées

- On introduit une relation diagnostique plus ou moins complexe entre le champ de température et le champ de vent. De ce fait on supprime la propagation des ondes de gravité dans le modèle et il est possible d'utiliser des pas de temps relativement importants
- Cependant dans les modèles baroclines on doit supposer une stabilité statique verticale constante pour chaque niveau. Ces modèles ne sont pas adaptés à la prise en compte des processus physique d'échelle inférieure à la maille.
- Les modèles à équations filtrées seront utilisés jusqu'au début des années 1980



Les équations primitives

Les variables de température et de vent sont des variables indépendantes et le système d'équations autorise la propagation des ondes de gravité. En revanche le pas de temps doit être beaucoup plus court (environ 6 fois) par rapport à celui utilisé dans les équations filtrées.

- **Modèle Shuman : États-Unis ; 6-6-66 sur calculateur CDC 6600
France ; 1968 sur calculateur CDC6400**
- **Modèles 5NH, 5NL (quasi-hémisphérique et domaine limité) 1972-1978**
- **Modèles AMETHYSTE (quasi-hémisphérique et domaine limité)1979-1983**
- **Modèle SiSYPHE (hémisphérique)1982-1984**
- **Modèle EMERAUDE (hémisphérique puis global) 1985-1992**
- **Modèle PERIDOT (domaine limité)1985-1992**
- **Modèle ARPEGE (global)1992 → nos jours**
- **Modele ALADIN (domaine limité) 1992 → nos jours**



Exemple du premier modèle opérationnel en equations primitives (1966)

- **Domaine octogonal**
- **6 niveaux**
- **Maille : 381 km**
- **Pas de temps : 10 m**

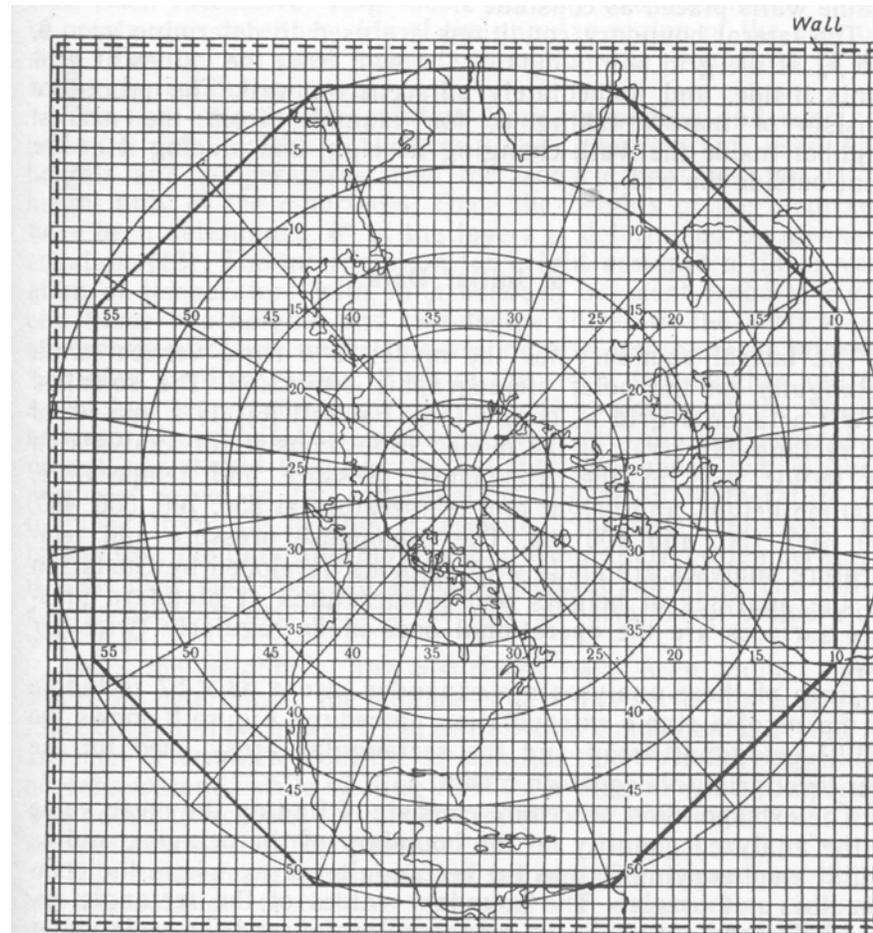


Fig. 2. The grid for the four-layer primitive equation model. The dashed line represents the vertical rigid wall used as the lateral boundary. The heavy solid line is the boundary of the so-called JNWP octagonal grid from which analyzed data are taken as input.

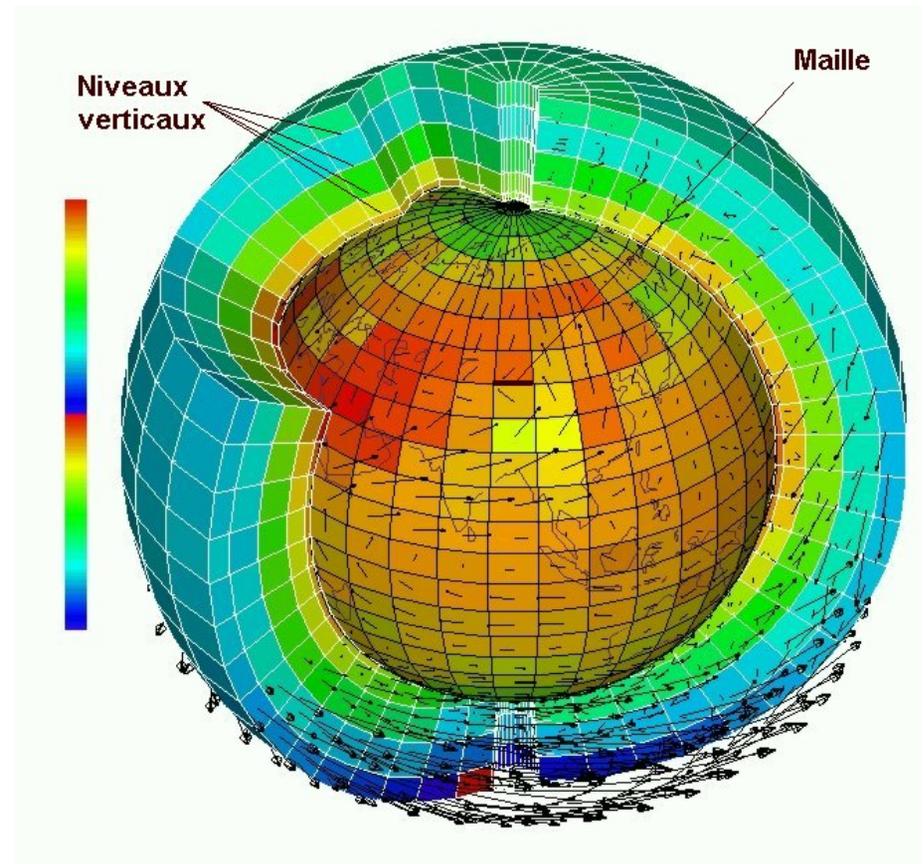


Exemple d'un modèle global actuel CEPMMT (2006)

L'atmosphère est découpée en petites boîtes élémentaires pour lesquelles sont définies U , V , T , q

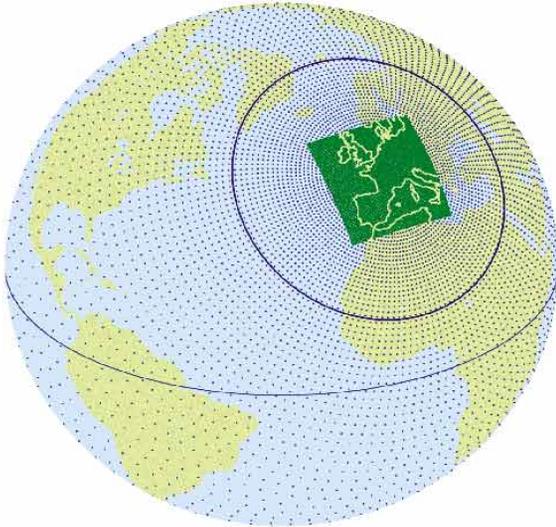
Le modèle du CEPMMT (Reading)

- Maille de 25 km
- 91 niveaux (jusqu'à 0.01 hPa)
- Prévisions jusqu'à 10 jours





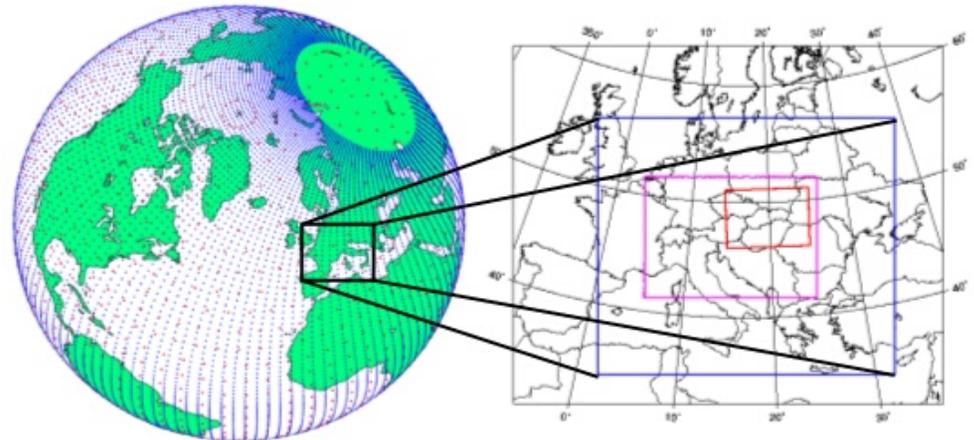
La maille variable et les modèles emboîtés



- La prévision à maille fine est réalisée sur un domaine limité (ALADIN France, maille 10 km)
- Les conditions aux limites sont fournies par un modèle à maille plus grande sur un domaine plus étendu (ARPEGE à maille variable : 25 km sur la France)

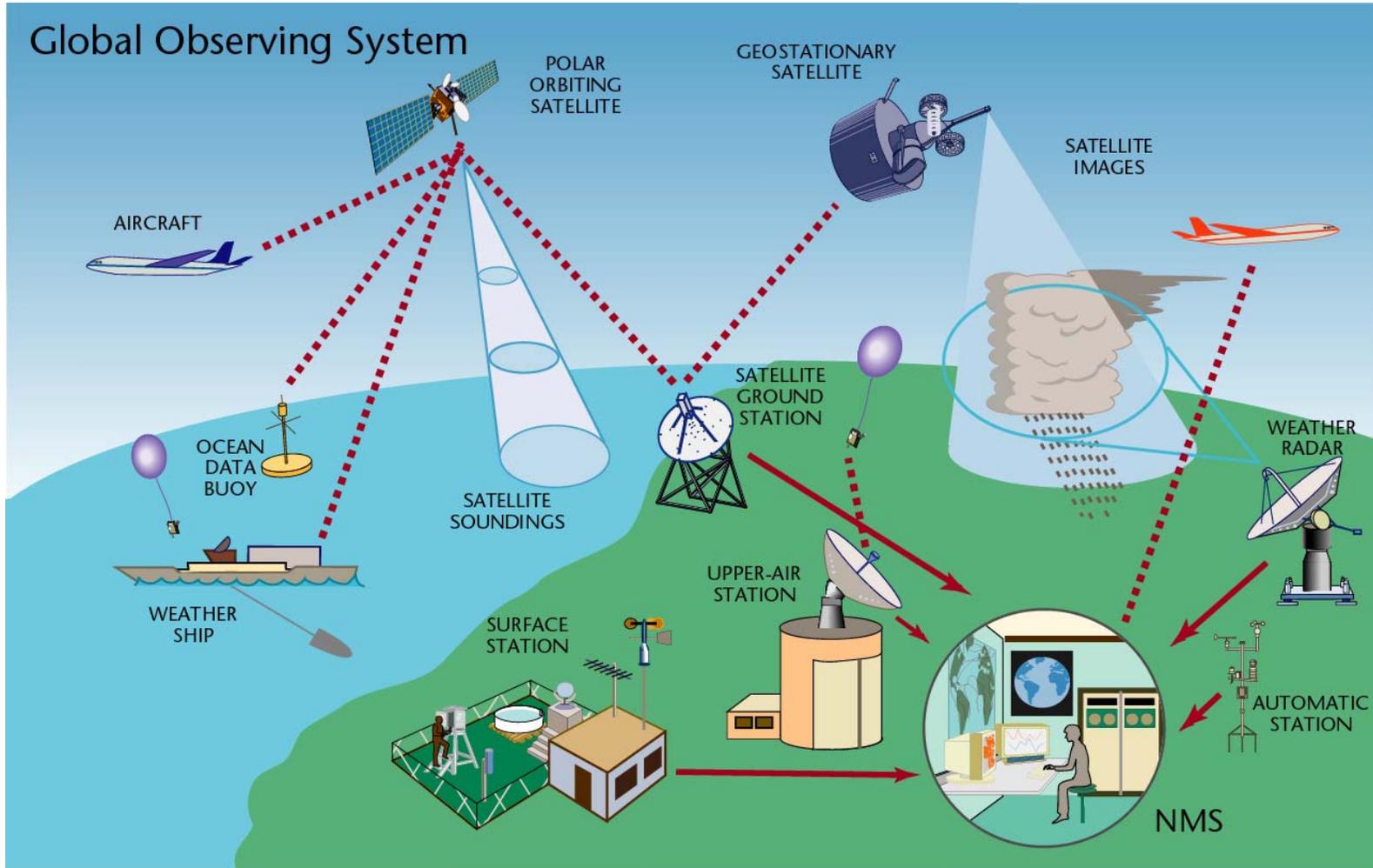
Emboîtement multiple :

- Modèle Global ARPEGE (Météo-France) 25 km
- Modèle ALADIN (LACE) 12,5 km
- Modèle ALADIN (Slovénie) 6 km





Le système mondial d'observation



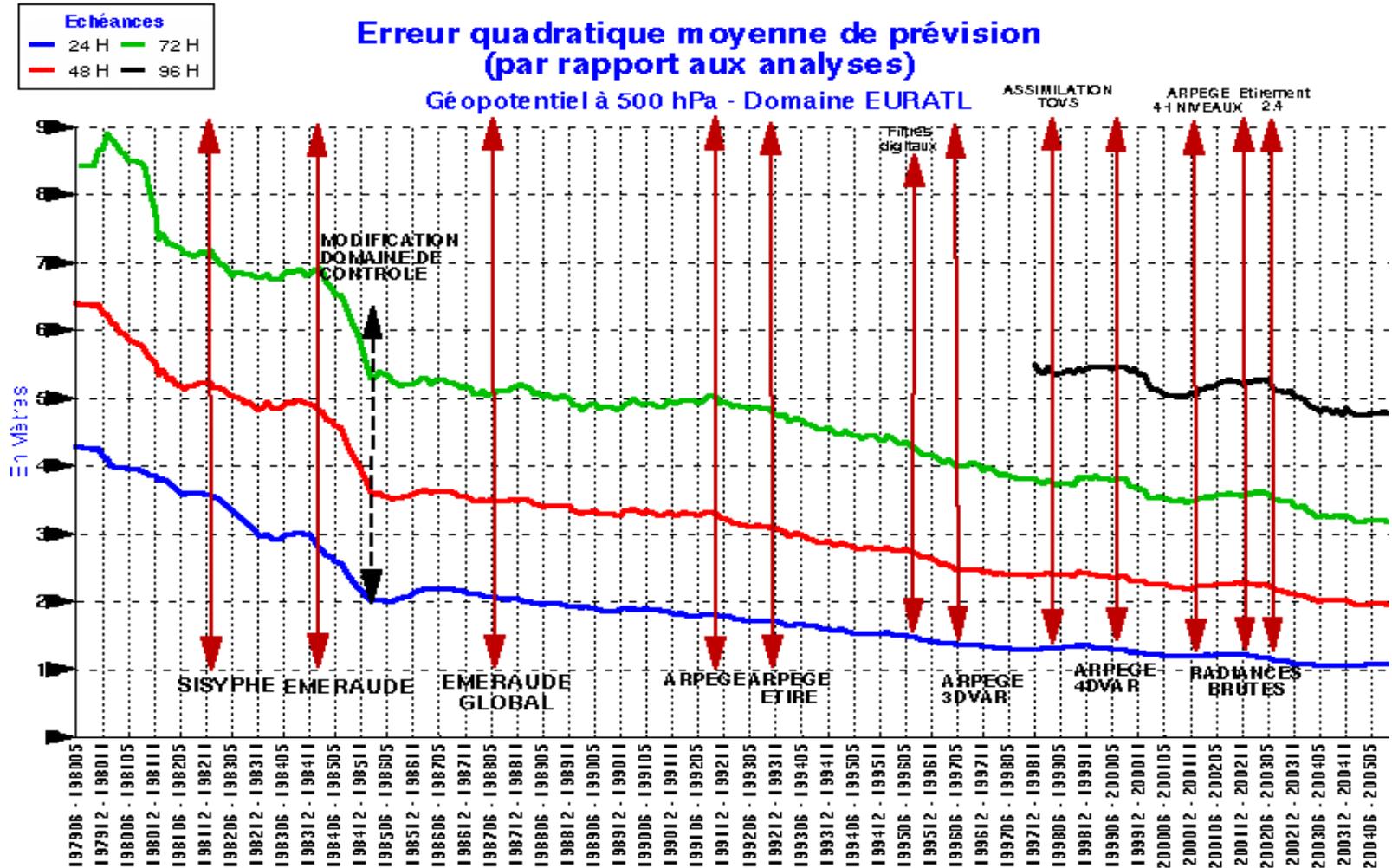


Les années 1980 : L'initialisation non linéaire par modes normaux

- **Avec les équations primitives les données initiales de température et de vent doivent être soigneusement équilibrées.**
- **Ce problème n'est pas bien maîtrisé avec les premiers modèles à équations primitives et la propagation d'ondes de gravité irréalistes durant les premières heures de l'intégration du modèle les rends difficilement utilisables pour l'assimilation de données (cycles analyse + prévision à 6h).**
- **Initialisation non linéaire par modes normaux : Baer F. and Tribbia J. 1977; Machenhauer B. , 1977. Permet une pleine utilisation des données de température et de vent.**
- **Introduit dans le modèle hémisphérique SISYPHE en 1982**



Evolution de la qualité de la prévision à Météo-France



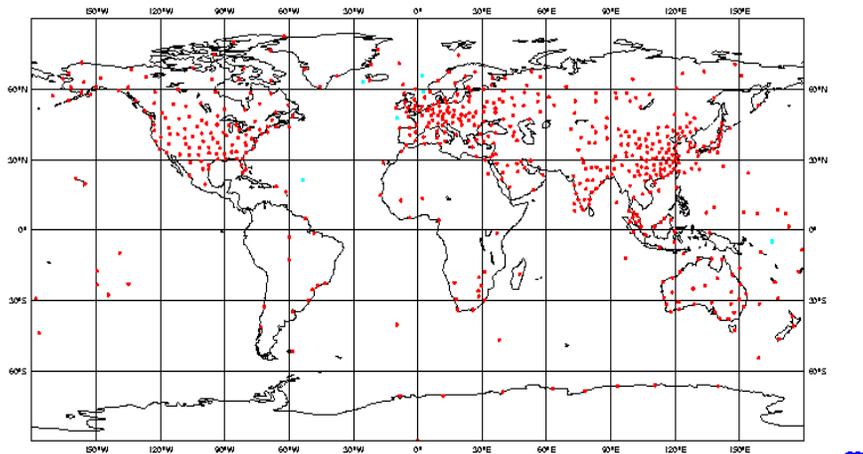


Les observations

Réseau de radiosondages

Mesures synoptiques
Mesures directes

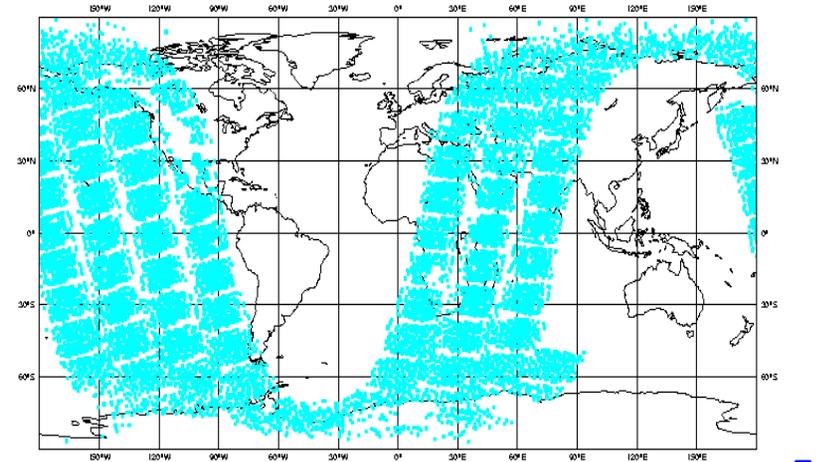
ECMWF Data Coverage - TEMP
14/MAR/1999; 00 UTC
Total number of obs = 568



Observations satellitaires

Mesures asynoptiques
Mesures indirectes

ECMWF Data Coverage - TOVS (120km)
14/MAR/1999; 00 UTC
Total number of obs = 35726





La fin des années 1990 : la méthode variationnelle 4DVAR

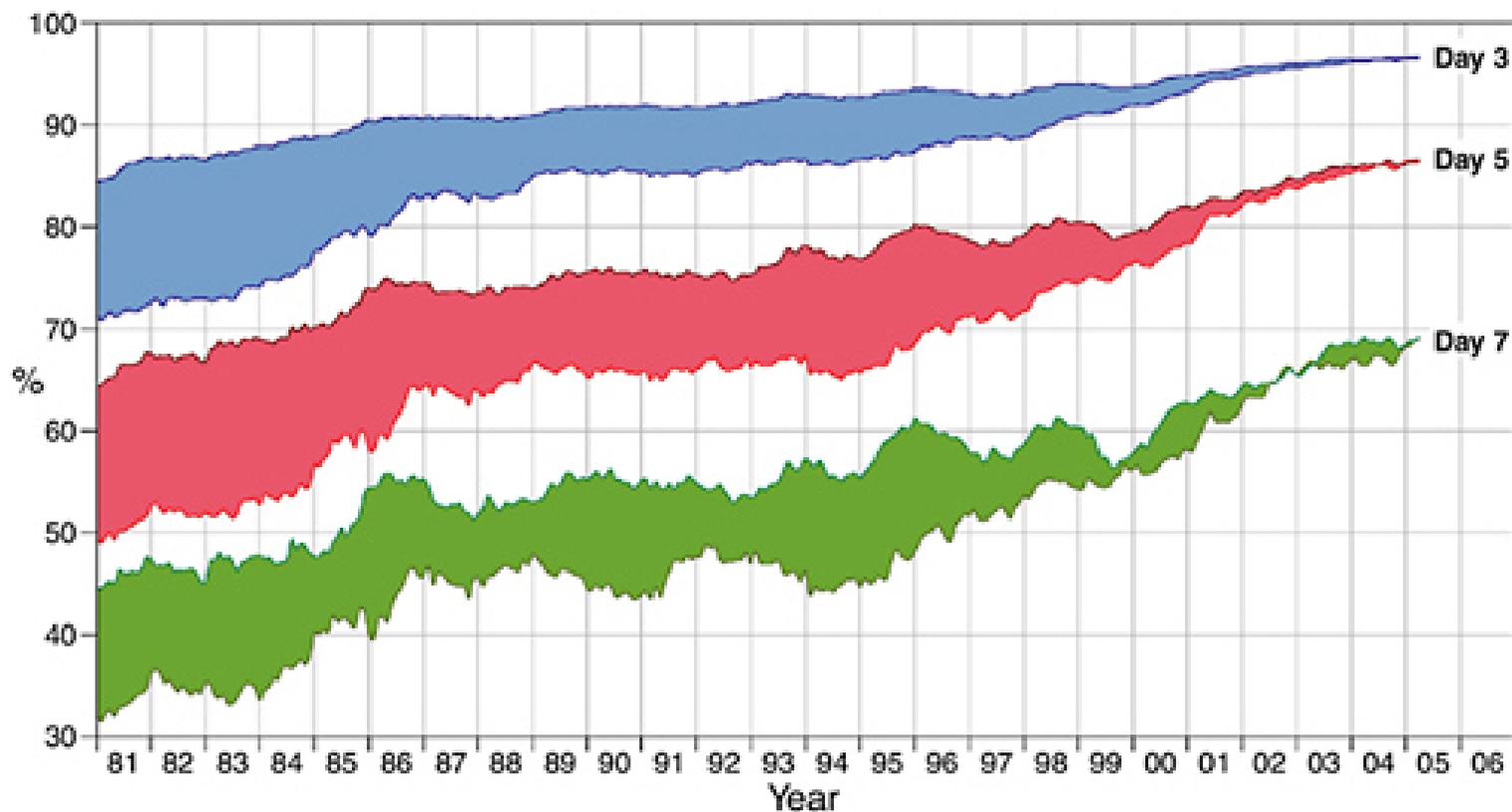
- Un modèle récent fournit aux points d'observation la valeur des paramètres observés (variables du modèles ou **paramètres plus complexes** comme les radiances énergétiques).
- On cherche à déterminer l'ensemble des valeurs initiales qui permettent de minimiser l'écart entre les valeurs fournies par le modèle et les valeurs observées. On est ramené à la **minimisation d'une fonctionnelle**.
- La minimisation s'effectue par itérations successives en utilisant les méthodes du **contrôle optimal**.
- Début opérationnel :
 - le 25 novembre 1997 au CEPMMT
 - le 20 juin 2000 à Météo- France



Évolution de la qualité au Centre Européen de Prévisions Météorologiques à Moyen Terme

Anomaly correlation of 500hPa height forecasts

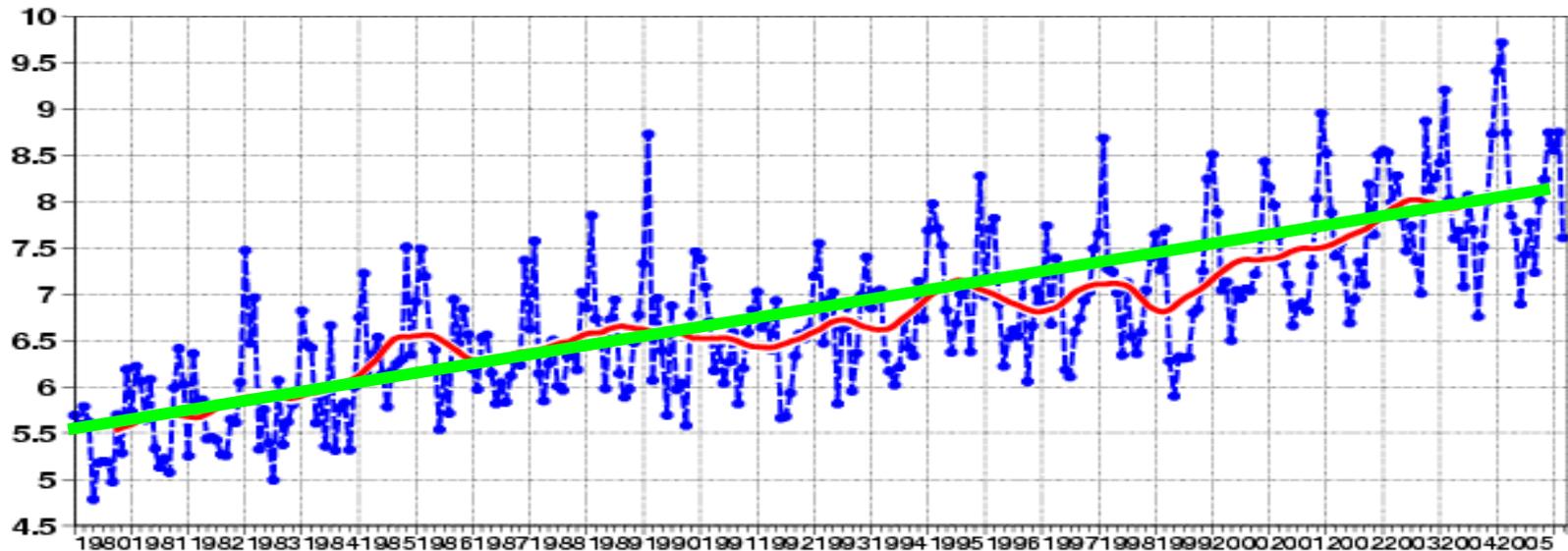
— Northern hemisphere — Southern hemisphere





Le gain en jours de la prévision au CEPMMT

Jour à partir duquel la qualité de la prévision est du même ordre de grandeur que la prévision climatologique





Les années 1990 : la prévision d'ensemble

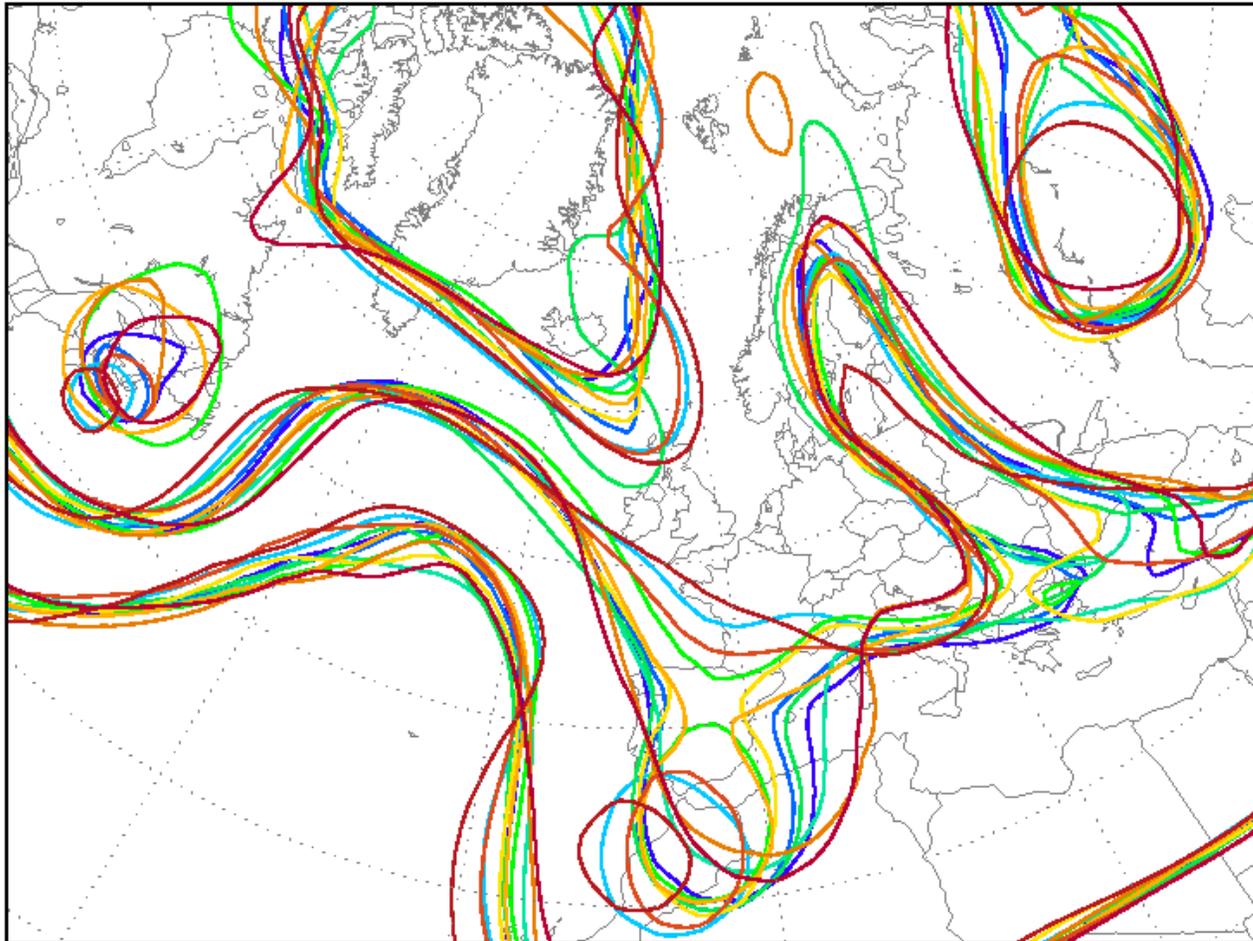
- Causes d'incertitude : état initial, modèle
- On détermine un **ensemble d'états initiaux** compatibles avec les observations, susceptibles de donner le plus de dispersion dans les trajectoires
- On peut utiliser **plusieurs modèles** différant par certains de leurs composants (paramétrisations physiques par exemple)
- On réalise ainsi **N prévisions différentes**
- La prévision ensemble fournit une prévision de la **densité de probabilité** pour chacune des variables (**un histogramme pour chaque paramètre en chaque point**)
- Au CEPMMT : 1992, pour la moyenne échéance
- A Météo-France : 2004, pour la courte échéance



Dispersion des prévisions

Ini: Sat,14JAN2006 00Z Val: Tue,17JAN2006 00Z

500 hPa Geopotential (Isohypsens: 516 552 576 gpdam)

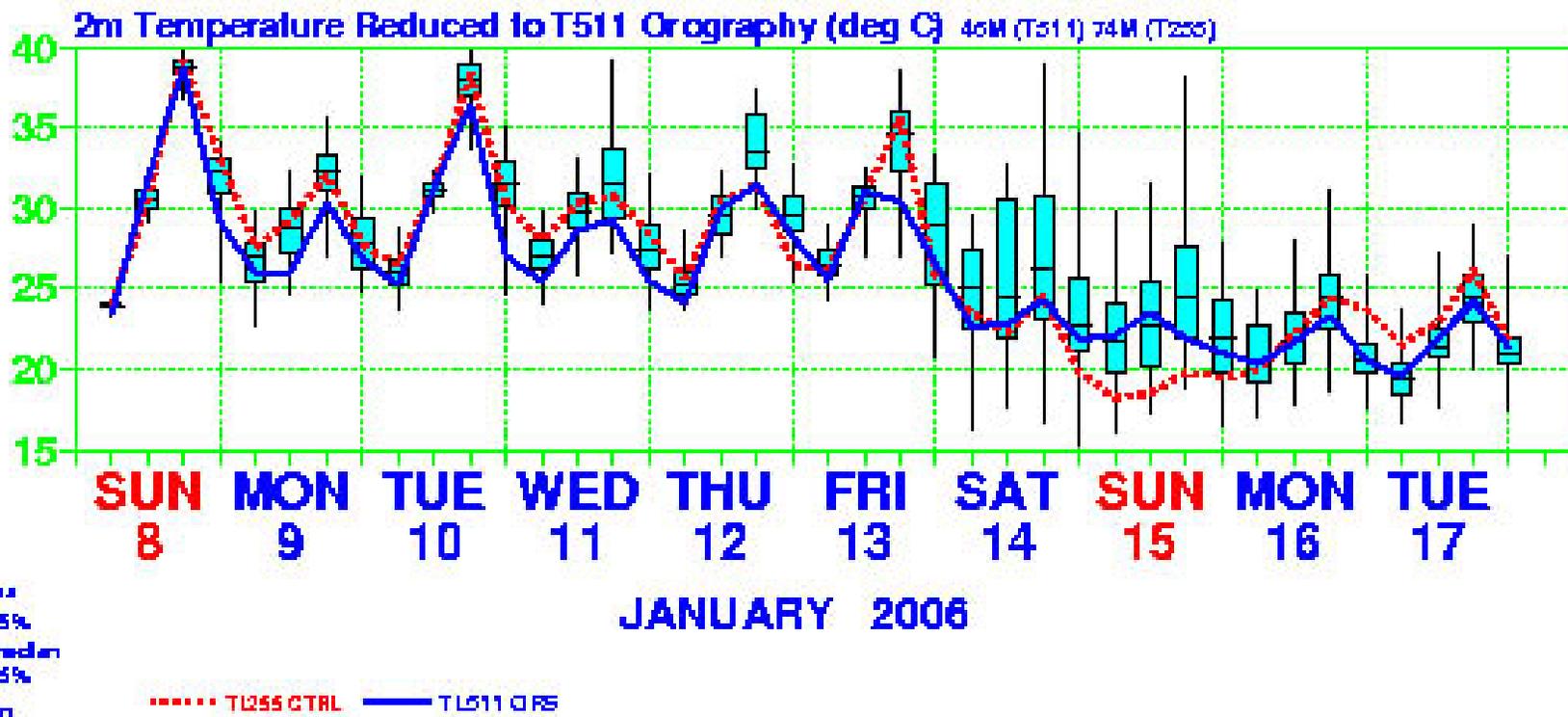


Daten: 00z-Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de



Prévision de température probabiliste

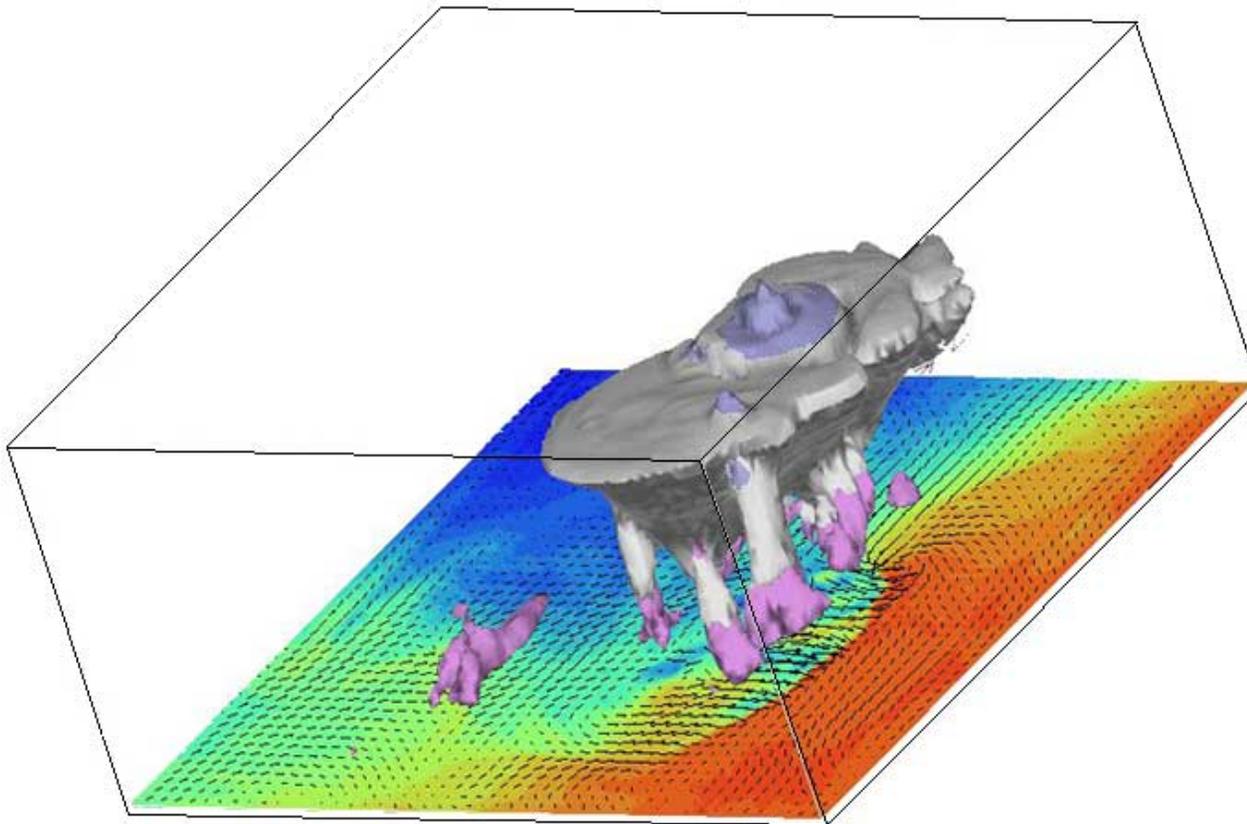
Rio Grande - Brésil





Le début du XXIe siècle : Les modèles de mesoéchelle deviennent opérationnels

Modèle non hydrostatique AROME (Recherche): Evolution d'une ligne de grain sur l'Île de France, en utilisant un modèle à maille de 2,5 km





Le prévisionniste est toujours là

Les modèles passent le prévisionniste reste

Une station de travail permet de visualiser des cartes des paramètres météorologiques prévus dans toutes leurs dimensions





Perspectives

- **DONNEES**
 - Développement de la **téledétection**
 - Intégration des données **radar Doppler** (petite échelle)
 - **Ciblage** des observations
- **MODELES**
 - Prévion à **petite échelle** (maille fine, modèles non hydrostatiques)
 - Généralisation de la **prévision d'ensemble** (probabilités)