



# SCA 7146

## INSTRUMENTATION ET TRAVAUX PRATIQUES

---

### Table des matières

#### 7. La prévision météorologique

- Quelques méthodes de prévision
  - Le folklore
  - Méthode de la persistance
  - Méthode climatologique
  - Méthode de la tendance
- Prévision numérique du temps
  - La méthode déterministe
  - Le chaos
    - Expérience de Lorenz
    - Le chaos en prévision du temps
  - Les prévisions d'ensemble

# Le folklore

- En observant les signes de la nature, il est possible d'avoir un perçu du temps qu'il fera.

Ciel rouge le soir, lendemain plein d'espoir.

**VRAI !**



Si la marmotte voit son ombre à la Chandeleur (2 février), froid de l'hiver sera notre malheur. **FAUX !**



Les vaches couchées dans le champ annoncent toujours du mauvais temps.

**VRAI !**



Ruches d'abeilles plus élevées; il faudra beaucoup pelleter.

**FAUX !**



# Le folklore

Quand frise la toison, de la pluie à l'horizon !

VRAI !



Les oiseaux volent bas; en averse ça tombera.

VRAI !



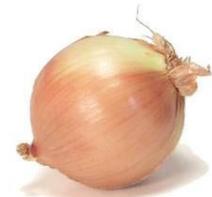
Si la lune est encerclée, demain le ciel va pleurer.

VRAI !



Les oignons ont beaucoup de pelure;  
L'hiver sera dur.

FAUX !



Une cocotte fermée sera une cocotte mouillée.

VRAI !



# Méthode de la persistance



- Très simplement, le temps qu'il fait présentement est le temps qu'il fera dans quelques heures.
- Cette méthode est fiable à plus de 70%, puisque la majorité des systèmes durent quelques jours et évoluent lentement.

 Météo Média	Dimanche 20 jan	Lundi 21 jan	Mardi 22 jan	Mercredi 23 jan	Jeudi 24 jan	Vendredi 25 jan
Montréal, QC 19-01-2008						
T. MAX	-11°C	-10°C	-6°C	-8°C	-11°C	-11°C
CIEL	Généralement ensoleillé	Ensoleillé avec passages nuageux	Faible neige	Ciel variable	Généralement ensoleillé	Ciel variable
P.D.P.	10%	10%	70%	30%	0%	10%
VENTS	O 20 km/h	O 10 km/h	S 10 km/h	SO 15 km/h	O 10 km/h	SO 20 km/h
T. MIN	-16°C	-20°C	-13°C	-15°C	-20°C	-23°C

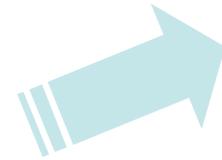
- Pas fiable pour des régions où la météo change rapidement, comme au Saguenay.

# Méthode climatologique



- La moyenne des conditions météorologiques sur 30 ans est utilisée pour prévoir le temps qu'il fera.
- Même si la météo est variable, une prévision climatologique fonctionne relativement souvent.
- On l'utilise fréquemment avant de partir en voyage afin de bien faire ses bagages.
- Ne fonctionne pas face à des conditions météorologiques exceptionnelles.

## Méthode de la tendance



- En utilisant des **cartes d'observation**, comme une carte de pression de surface, l'image satellitaire, l'image de radar.
- On observe le **déplacement** des masses d'air vers sa ville et on **estime** le nombre d'heures avant son arrivée.
- Cette méthode est efficace pour des courtes périodes (quelques heures seulement).
  - La prévision est de moins en moins juste à mesure qu'on avance dans le temps, puisque les systèmes évoluent.

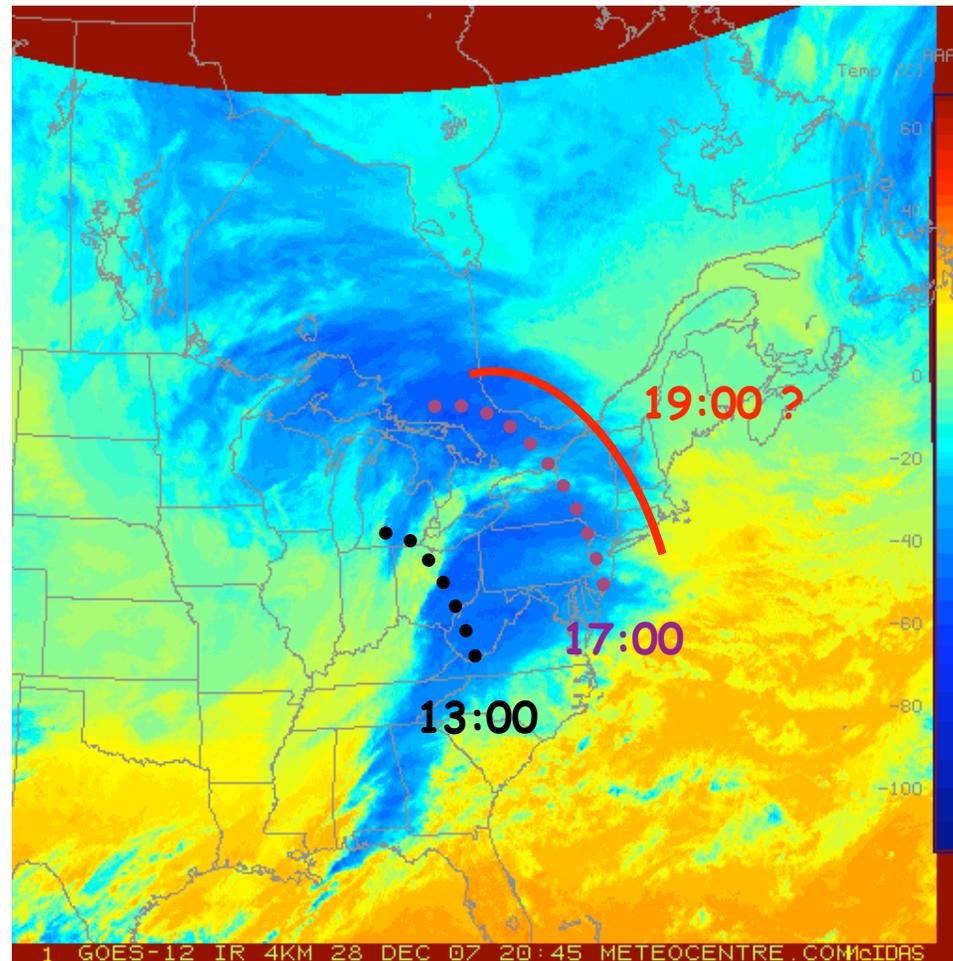
# Méthode de la tendance

Dans combien de temps la **masse nuageuse** arrivera-t-elle à Montréal ?

Animation

Image  
satellitaire  
infrarouge

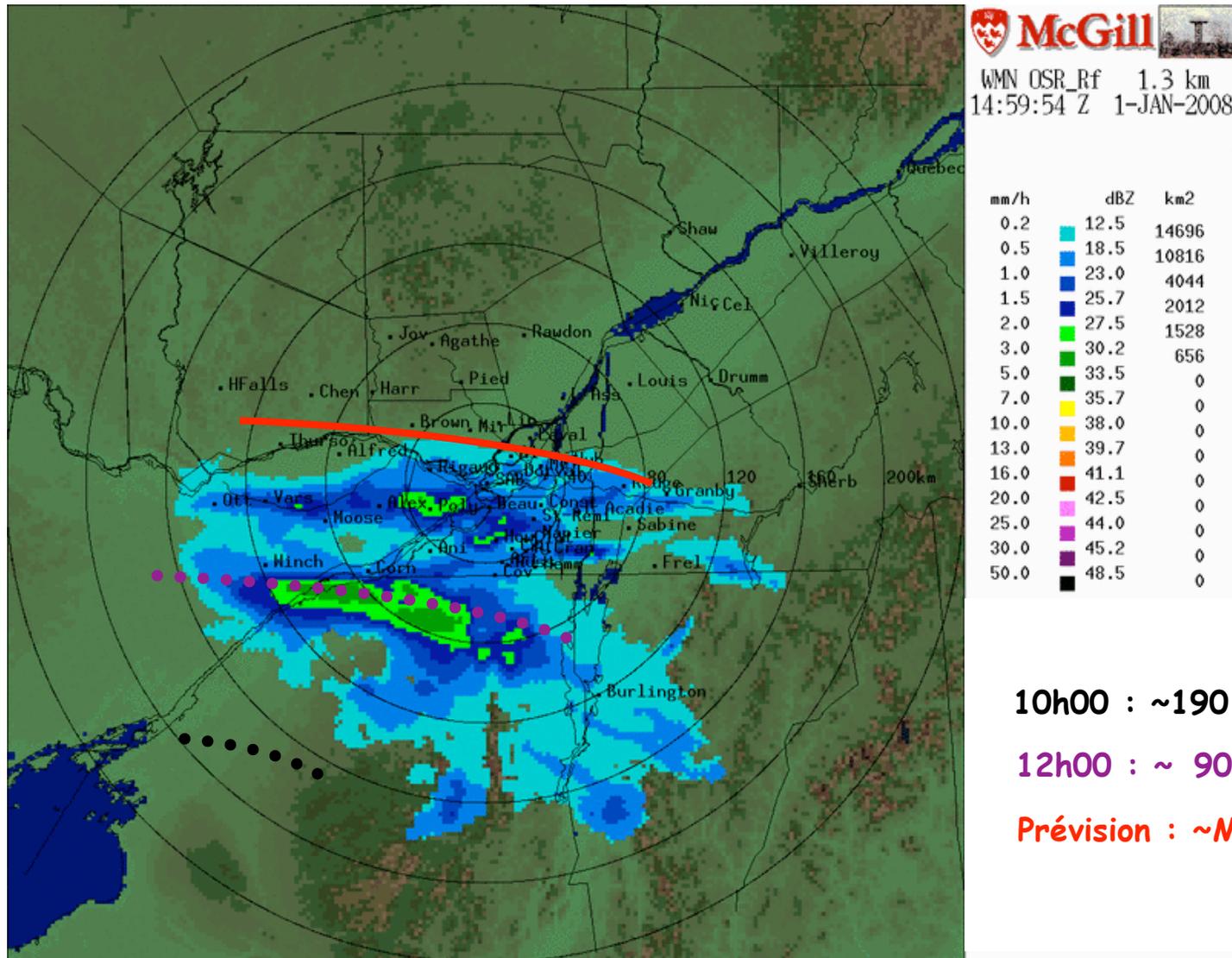
Entre  
13:00 et 20:45  
UTC



On peut estimer  
que la masse  
nuageuse  
arrivera  
dans ~2h,  
soit ~19h00 UTC,  
c'est-à-dire  
14h00 HNE.

# Méthode de la tendance

Dans combien de temps la neige commencera-t-elle à Montréal ?



# Prévision numérique du temps (PNT)

# Prévision numérique du temps

- La prévision numérique du temps (PNT) utilise deux ingrédients pour produire une prévision:
  1. **Conditions initiales** de l'atmosphère sur un vaste territoire (continent ou planète), tels que la température, la pression, l'humidité, la vitesse et la direction du vent à différentes altitudes.
  2. **Équations mathématiques** décrivant la physique de l'atmosphère pour prédire l'évolution des masses d'air dans le temps.
- La séquence d'équations en langage informatique s'appelle le modèle.

# Prévision numérique

- Processus de prévisions numériques :
  - 1<sup>re</sup> étape : Observations météorologiques
  - 2<sup>e</sup> étape : Assimilation des données
  - 3<sup>e</sup> étape : Calculs du modèle
  - 4<sup>e</sup> étape : Diffusion des résultats du modèle

# Prévision numérique

## 1<sup>re</sup> étape : Observations météorologiques

La justesse d'un modèle de prévision numérique est seulement à la hauteur de la qualité des observations entrées au départ.

- Stations météorologiques
- Radiosondes

*Ces données sont reçues et redistribuées par l'Organisation météorologique mondiale (OMM).*

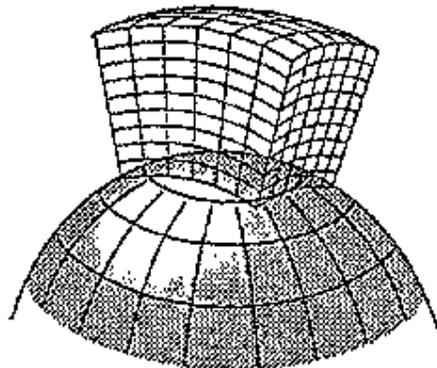
*Environnement Canada prend ces données pour faire marcher le modèle GEM-Global et le modèle GEM-Régional.*

# Prévision numérique

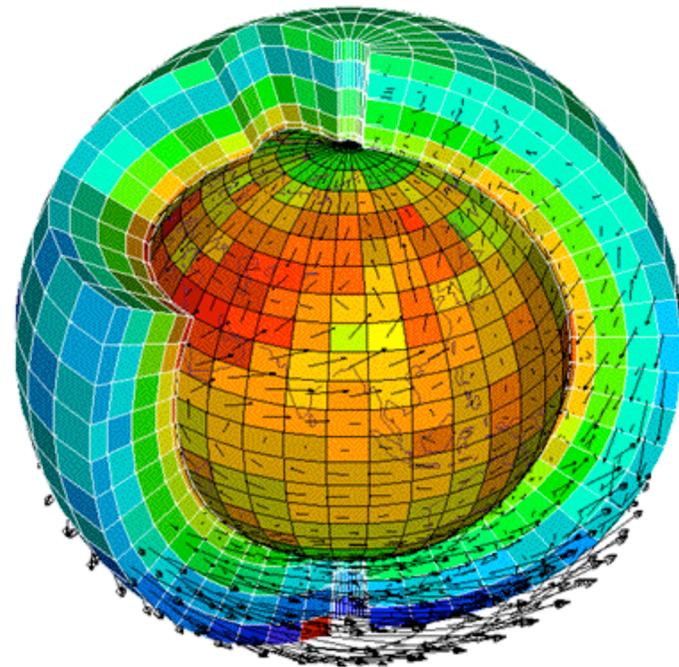
## 2<sup>e</sup> étape : Assimilation des données

- Le modèle est conçu en divisant l'atmosphère en une grille 3D. Chaque division s'appelle une **maille** et le point au milieu s'appelle un **point de grille**.

Atmosphère

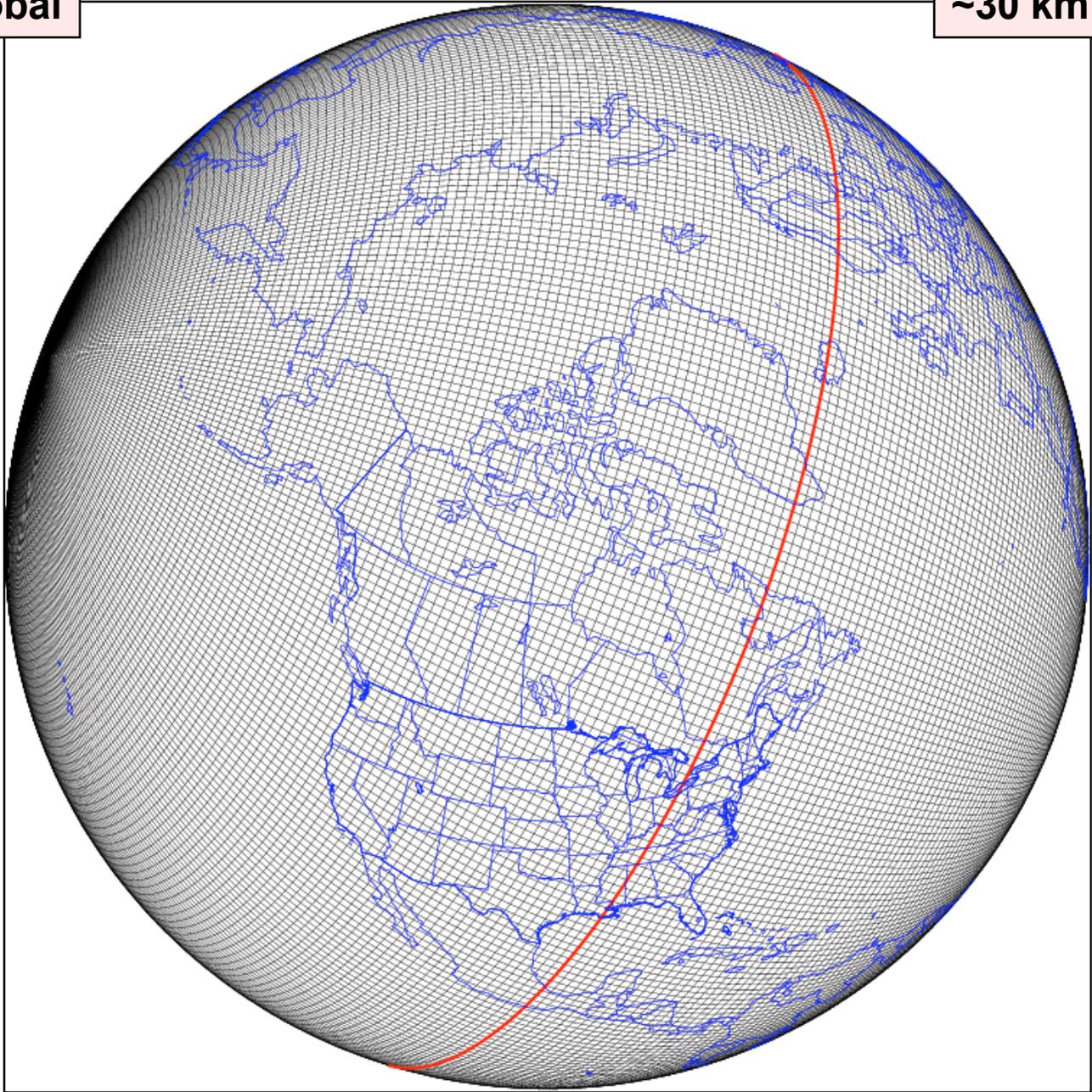


Terre



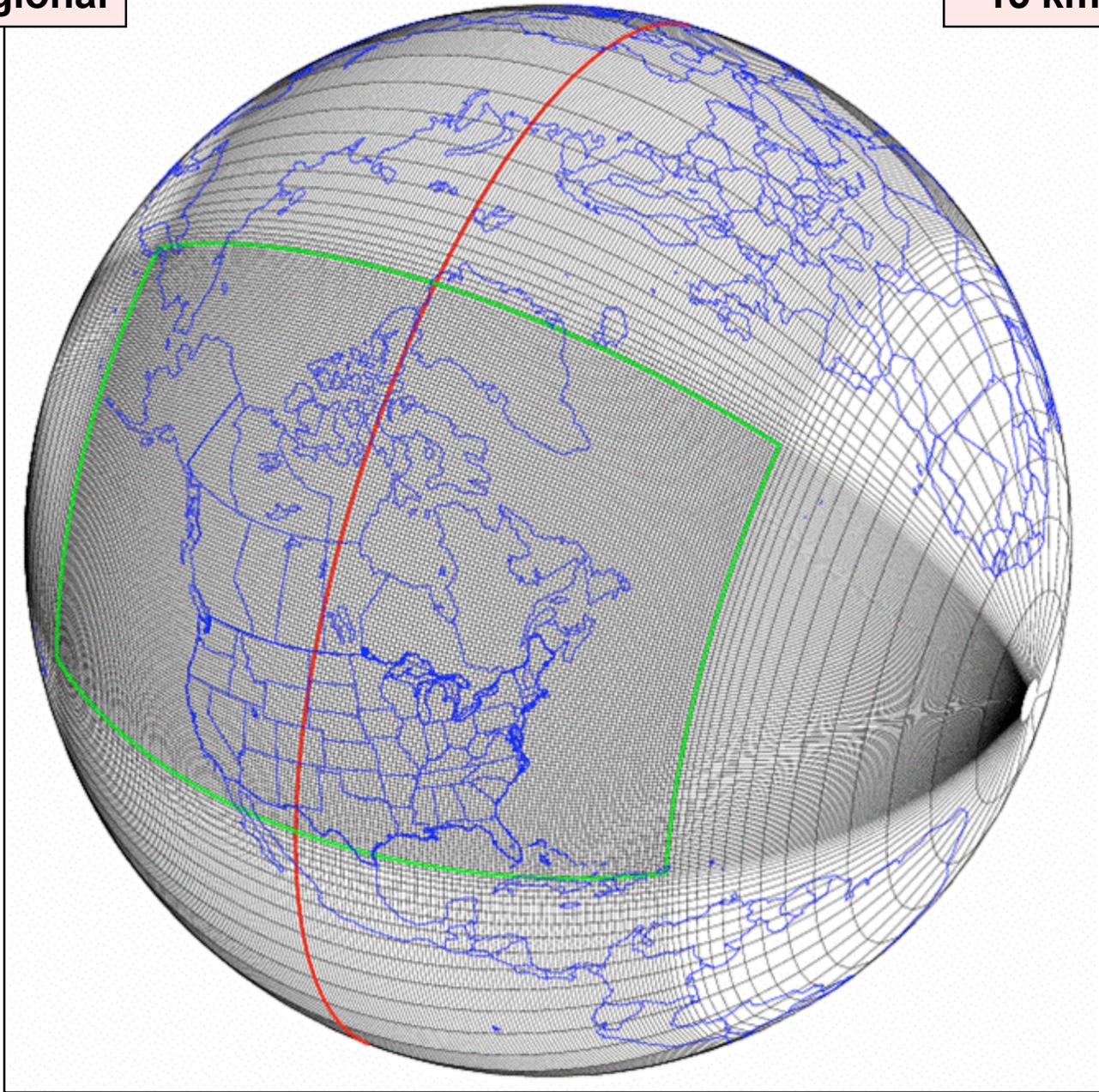
GEM-Global

~30 km



GEM-Régional

~15 km



# Prévision numérique

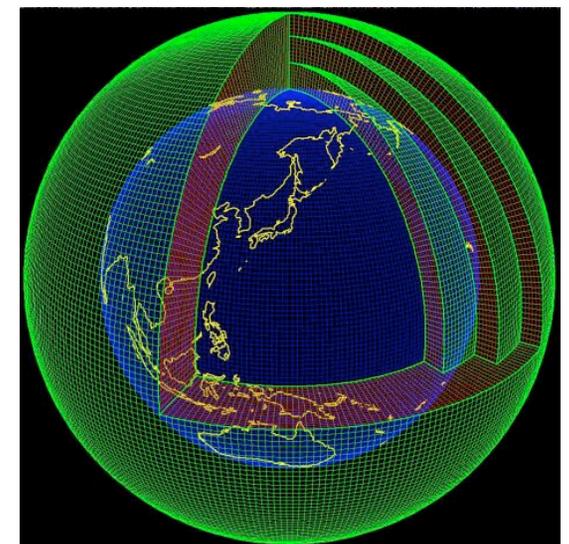
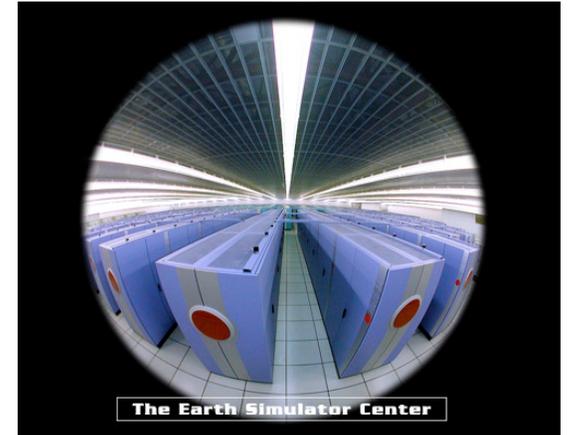
## 2<sup>e</sup> étape : Assimilation des données (suite)

- Les données d'observation sont attribuées à chaque point de grille.
- Plusieurs points n'ont pas d'observations, alors on interpole à partir des autres points.
- On filtre les données pour enlever le bruit et rendre plus lisse.

# Prévision numérique

## 3<sup>e</sup> étape : Calculs du modèle

- Toutes les équations mathématiques sont résolues à chaque point de grille.
- Ensuite, le modèle avance d'un pas de temps et il calcule tout à nouveau.
- La prévision du temps dans 24h sur tout le globe nécessite environ 1 000 000 000 000 de calculs.
- Un superordinateur est requis pour effectuer ce travail.



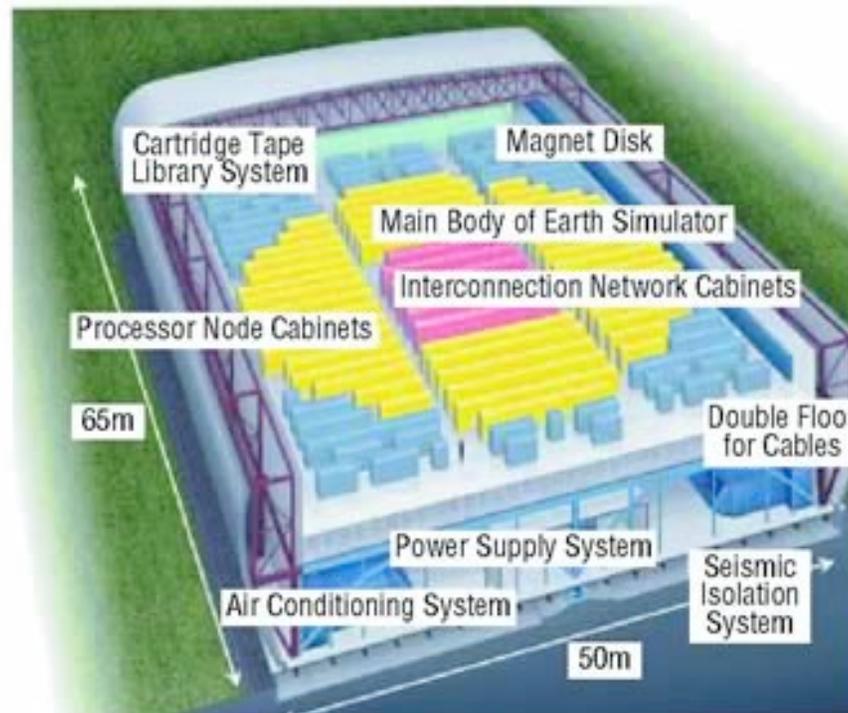
# Prévision numérique

## 3<sup>e</sup> étape : Calculs du modèle

### Earth Simulator



Implement simulation by dividing the Earth into  $10\text{km}^2$ .



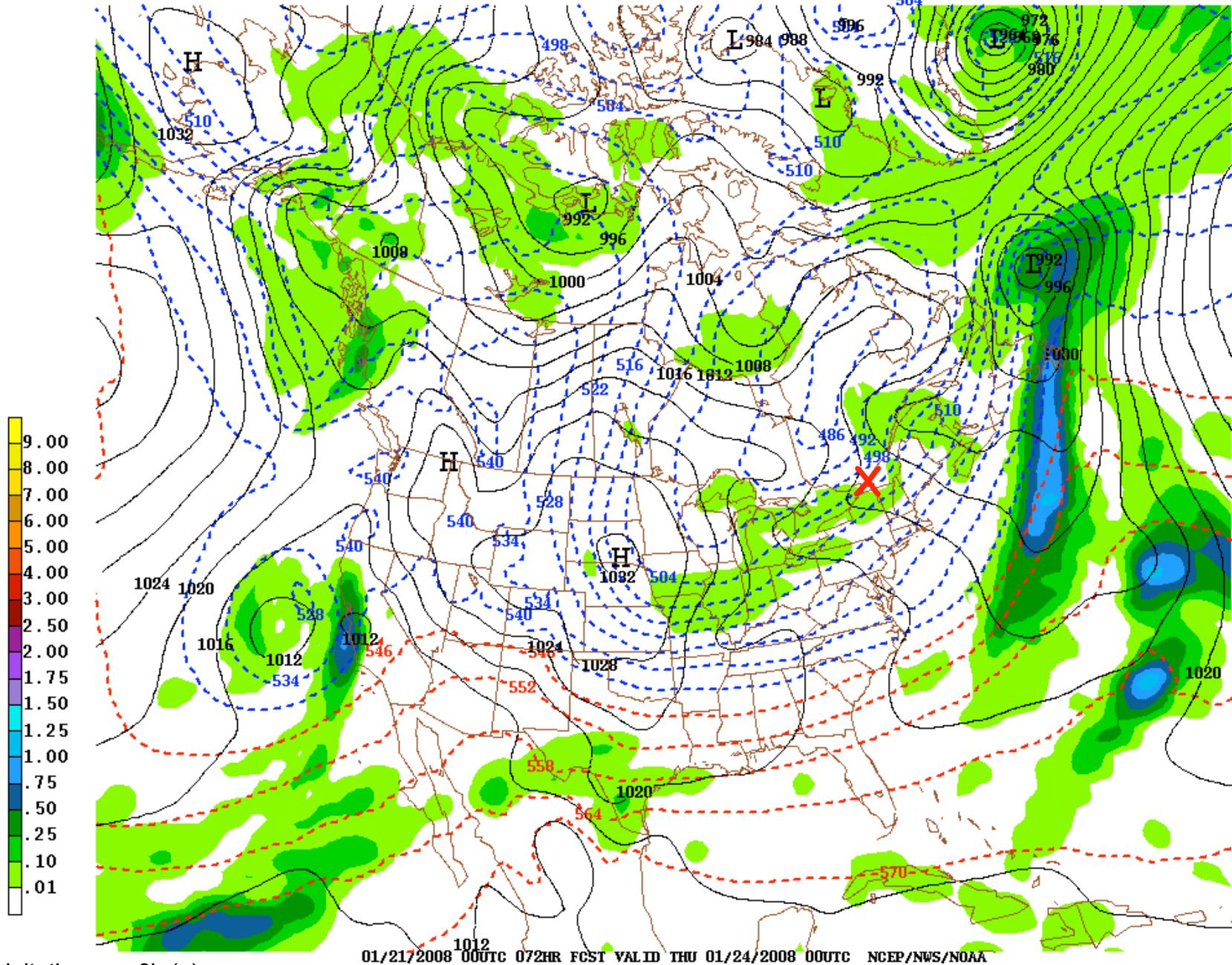
- Total number of processors: 5120
- Total number of computing nodes: 640
- Total peak performance: 40 Tflops (teraflops)
- Total main memory: 10TB (terabyte)
- Achievement of advanced simulation with approximately 1,000 times the accuracy of the previous simulation

# Prévision numérique

## 4<sup>e</sup> étape : Diffusion des résultats du modèle

- Les produits des modèles sont rendus publics à 00Z et à 12Z.
- On peut visionner la prévision pour
  - 00 (assimilation des conditions actuelles par le modèle)
  - 12 (prévu dans 12h)
  - 24 (prévu dans 24h)
  - 36 (prévu dans 36h)
  - 48 (prévu dans 48h)
  - ...
  - 240 (prévu dans 10 jours)
  - ...
  - 360 (prévu dans 15 jours)

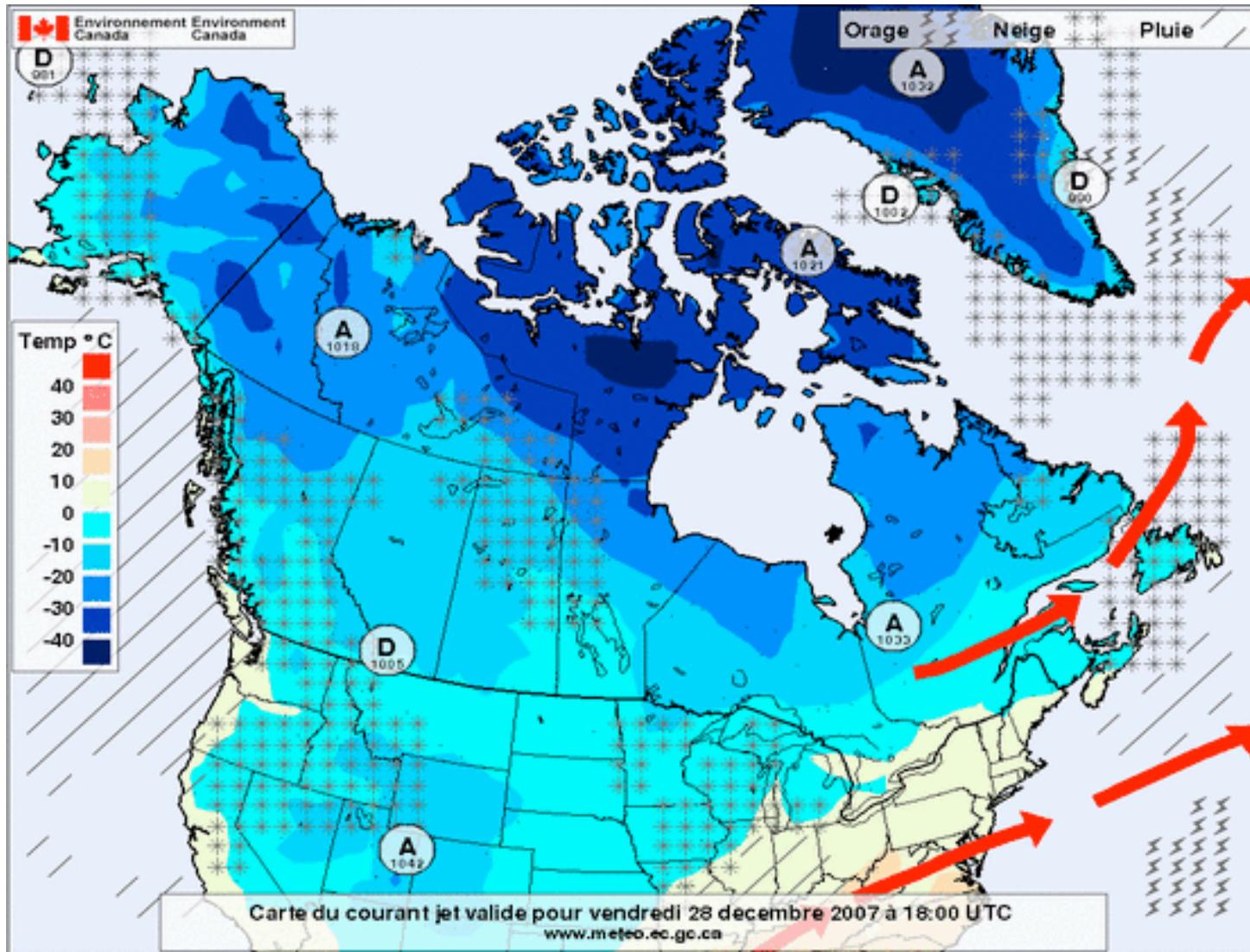
080124/0000V072 GFS MSLP ,PRECIP, 1000-500 MB THICKNESS



Précipitations au 6h (p)

# Prévision numérique

4<sup>e</sup> étape : Diffusion des résultats du modèle



# Prévision numérique

4<sup>e</sup> étape : Diffusion des résultats du modèle



# Les modèles nord-américains



- GEM-Global
  - *Modèle Global environnemental multi-échelles, global*
  - résolution : ~30km
- GEM-Regional
  - *Modèle Global environnemental multi-échelles, régional*
  - résolution : ~15km

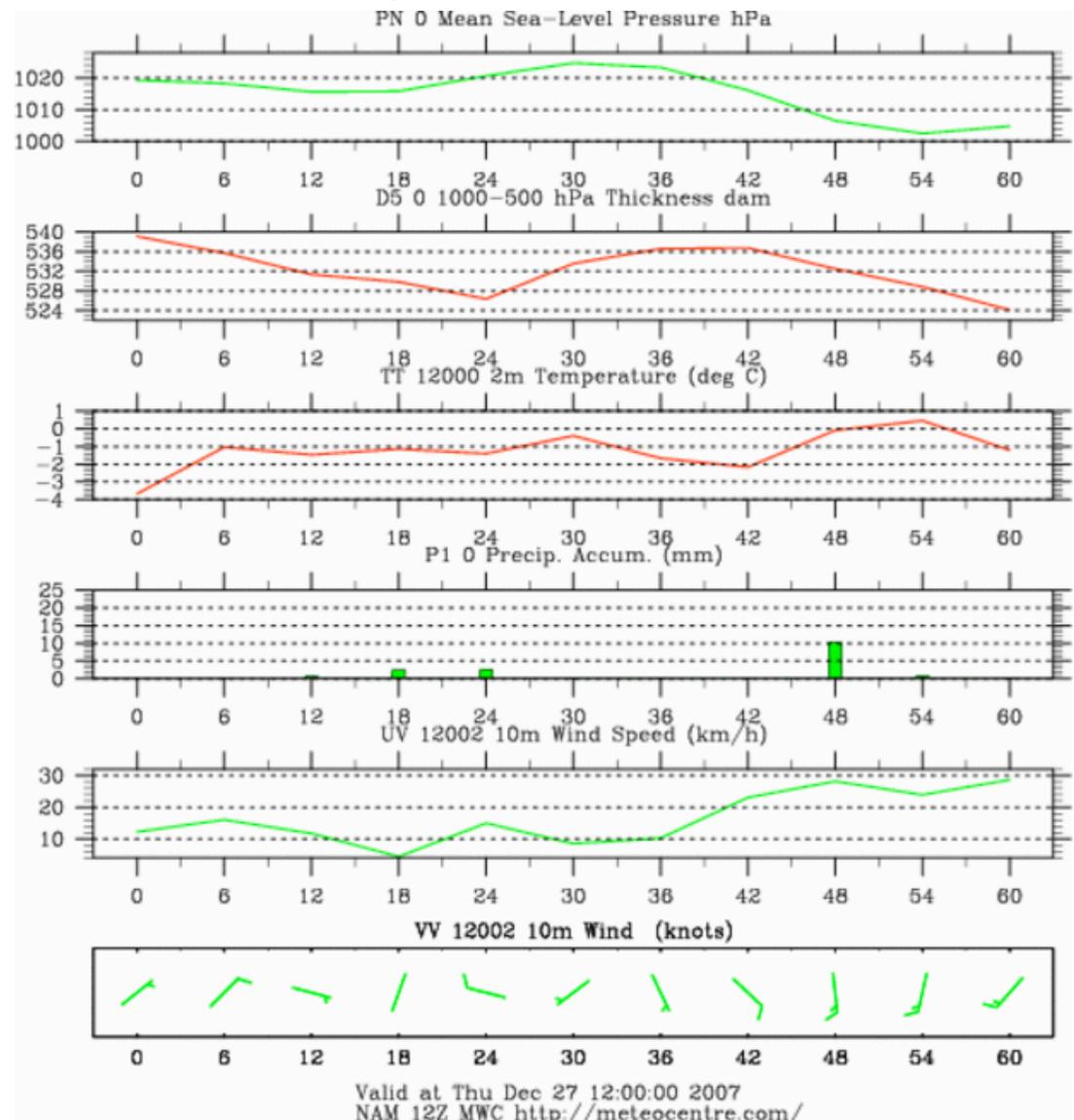


- GFS
  - *Global Forecasting System*
  - résolution : ~35km
- WRF
  - *Weather Research and Forecasting model*
  - résolution : ~12km

# Prévision numérique

## 4<sup>e</sup> étape : Diffusion des résultats du modèle

- On peut aussi lire le **Météogramme**
- Prévision pour Montréal dans 48h :
  - Température 0°C,
  - Neige,
  - Vents du sud à 30km/h.



# Théorie du chaos

# Histoire du chaos

- En 1963, le météorologue **Edward Lorenz** du MIT expérimente avec un des premiers ordinateurs pour résoudre les équations du déplacement de l'air en trois dimensions.
- Il laissa la machine calculer et il est revenu plus tard pour observer les résultats. Il recommença en changeant les données initiales par quelques millièmes (par erreur). À sa grande surprise, **ces modifications minimales entraînent des résultats très différents.**
- En 1972, Lorenz fait une conférence intitulée :  
« Prédicibilité : le battement d'ailes d'un papillon au Brésil provoque-t-il une tornade au Texas ? »

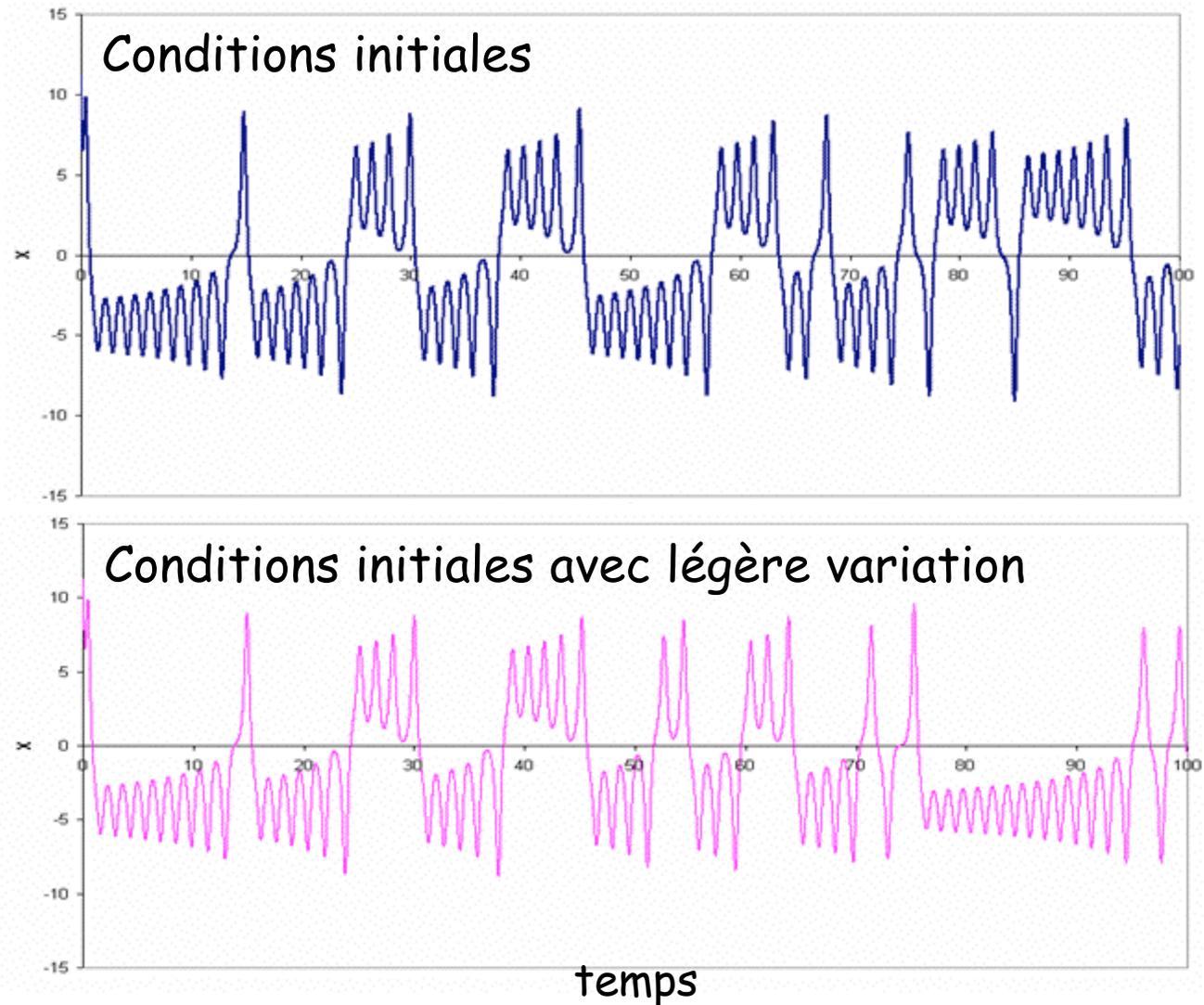


# Expérience de Lorenz

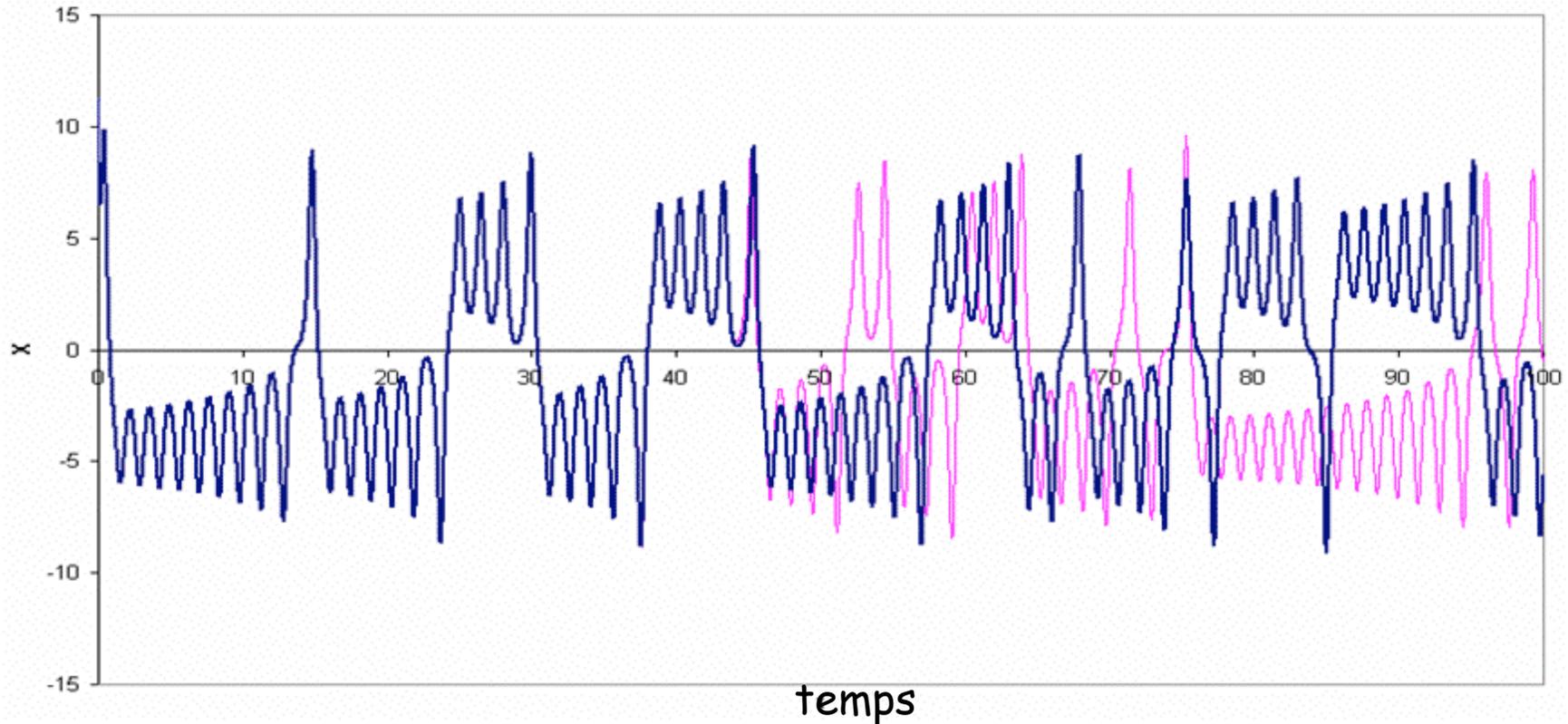
## Exemple météo

Température  
initiale à  
Montréal:  
**7,0°C**

Température  
initiale à  
Montréal:  
**7,1°C**



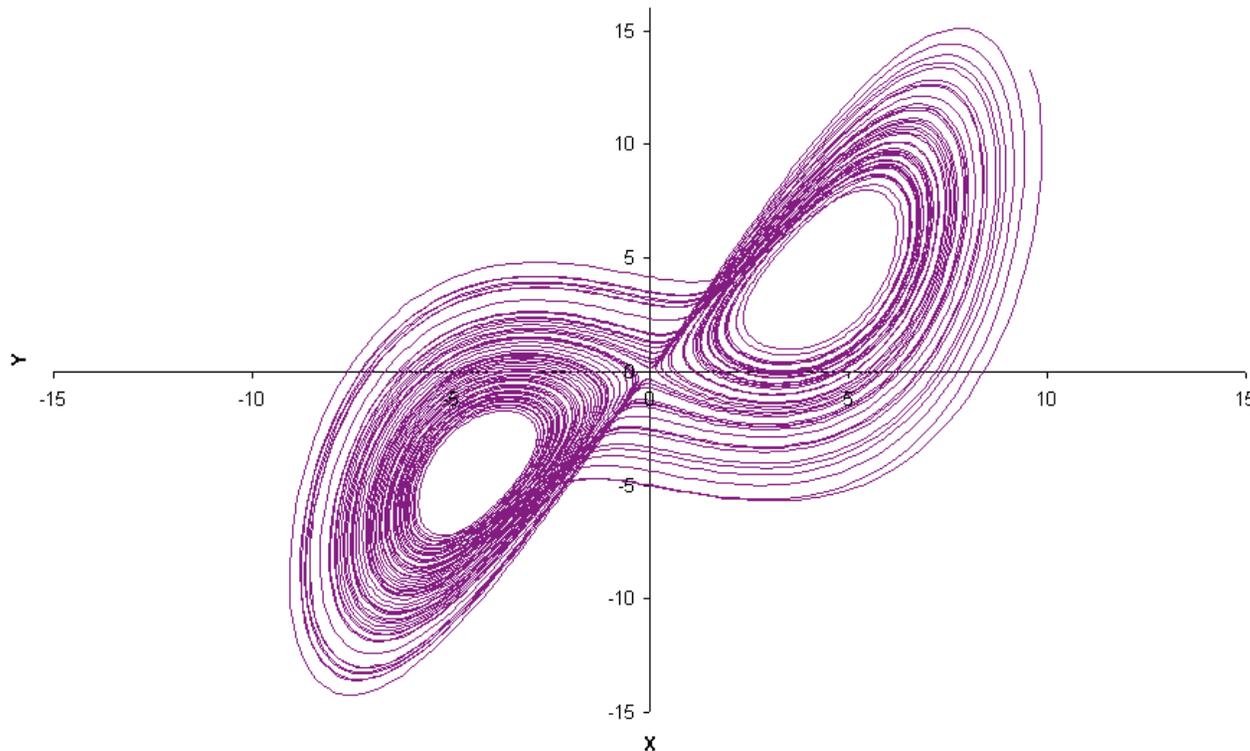
# Expérience de Lorenz



- Les courbes ont une allure très différent après un certain temps. Elles sont *décorrélées*, simplement à cause d'une **petite variation des conditions initiales**.

# Expérience de Lorenz

- Quand on place les résultats de Lorenz en graphique 2D, on remarque un dessin d'une étrange beauté.



- Le parcours ne passe jamais par le même chemin, mais semble toujours attiré par « l'étrange attracteur ».

# Le chaos

## Définition

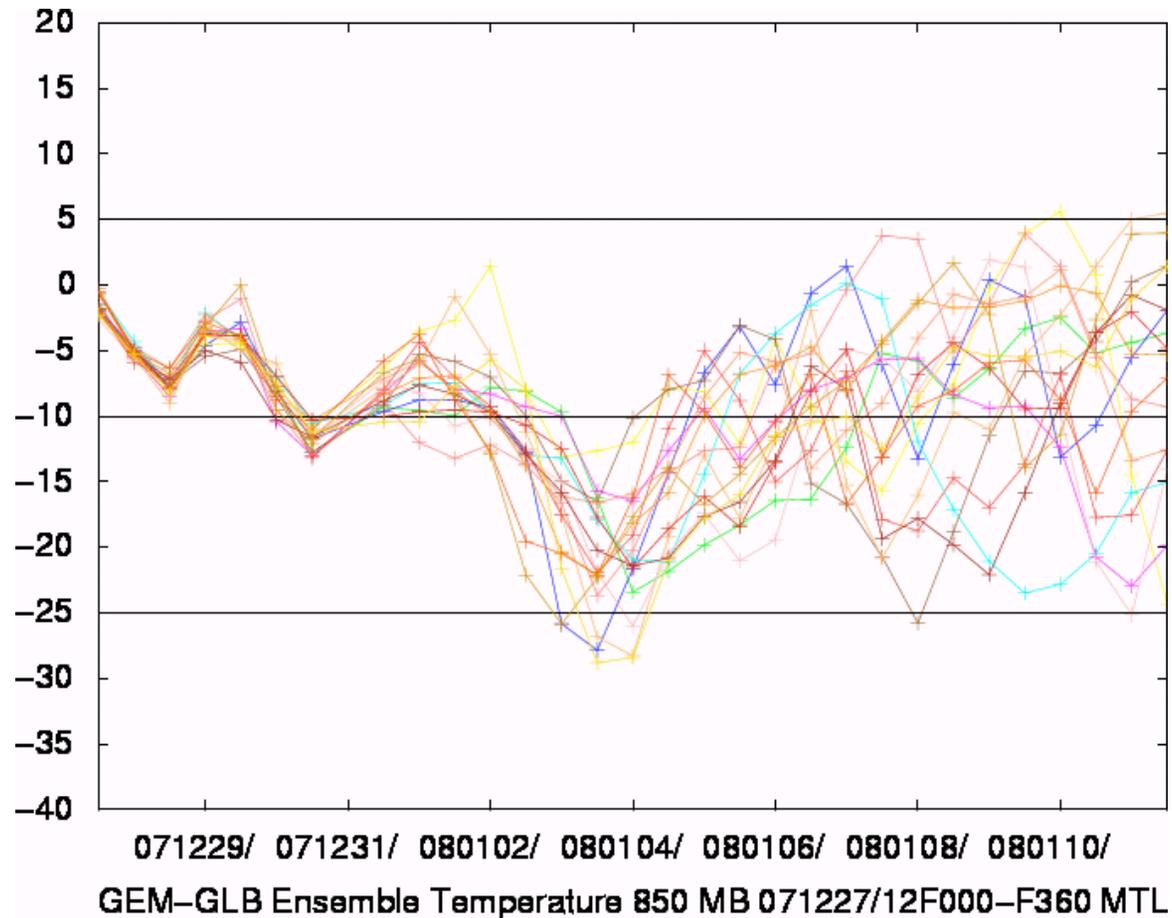
Lorsqu'une **faible variation des conditions initiales** peut donner des résultats **très différents** après un certain temps, l'atmosphère est dans un état appelé chaotique.

**Attention :** En science, l'expression « chaos » ne signifie pas « désordre », « trouble », « confusion »...

# Le chaos en prévision du temps

- Pour valider la justesse d'une prévision, on fait des **modifications minimales aux conditions initiales** du modèle de prévision numérique du temps.
- On place les différents **résultats** du modèle sur le **même graphique**.
  - Par exemple, on peut placer sur un même graphique (couleurs différentes) la température prévue à la ville de Montréal dans les 14 prochains jours. L'éloignement des lignes montre que la prévision est moins fiable.

# Le chaos en prévision du temps



- Le résultat est évident : les prévisions à court terme (3 premiers jours) sont assez justes, mais les prévisions à long terme dégringolent.

## PNT : Méthode des ensembles

- Permet de visionner les résultats du même modèle, mais qui portait des petites variations dans les conditions initiales.
- Si on obtient la même prévision pour un endroit donné, la prévision est fiable.

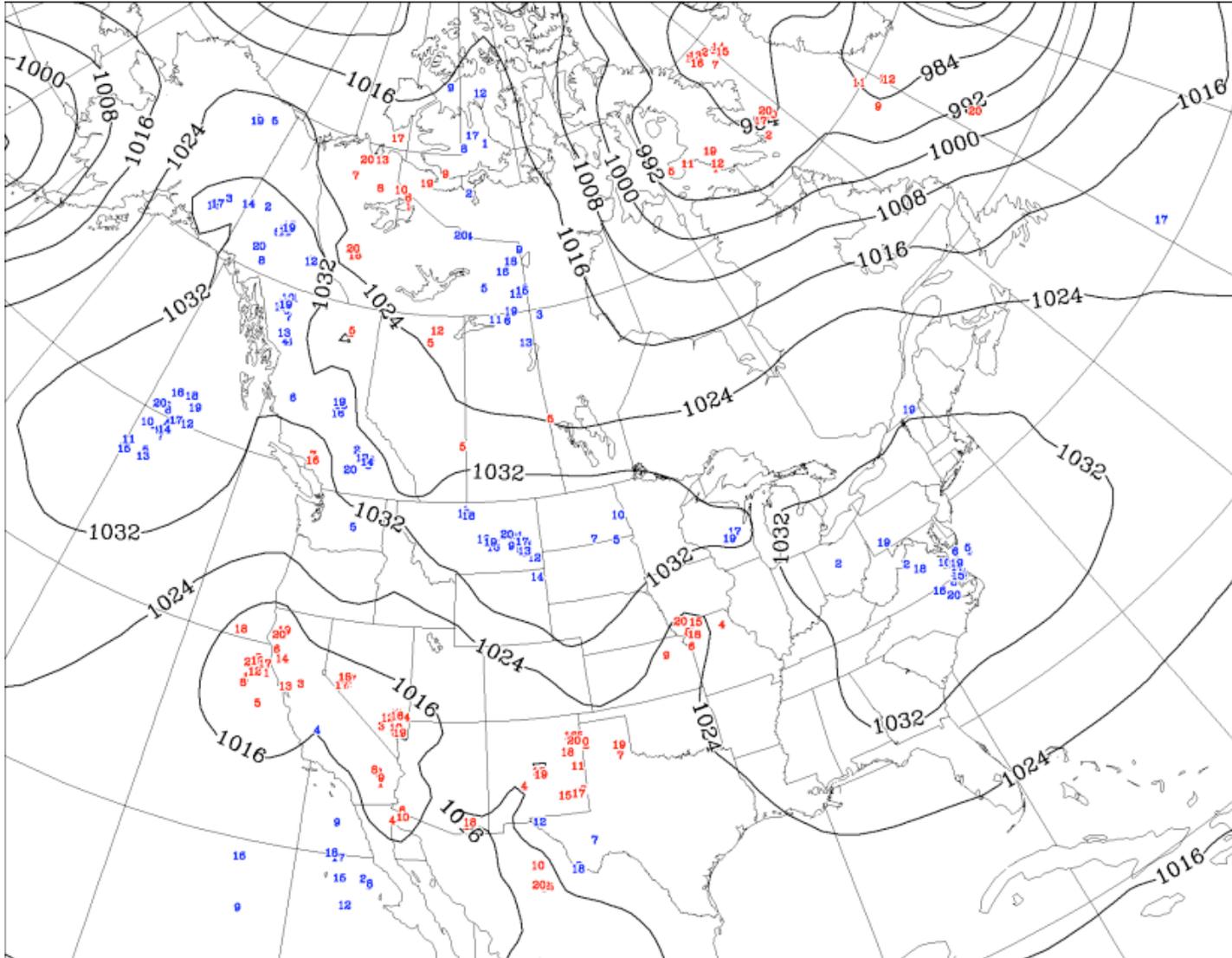
# Les prévisions d'ensemble canadiennes

## Pression au niveau de la mer, prévision 048h valide le 22 janvier 2008 00 UTC



Météo  
www.meteo.gc.ca

English Accueil Contactez-nous Aide Recherche canada.gc.ca



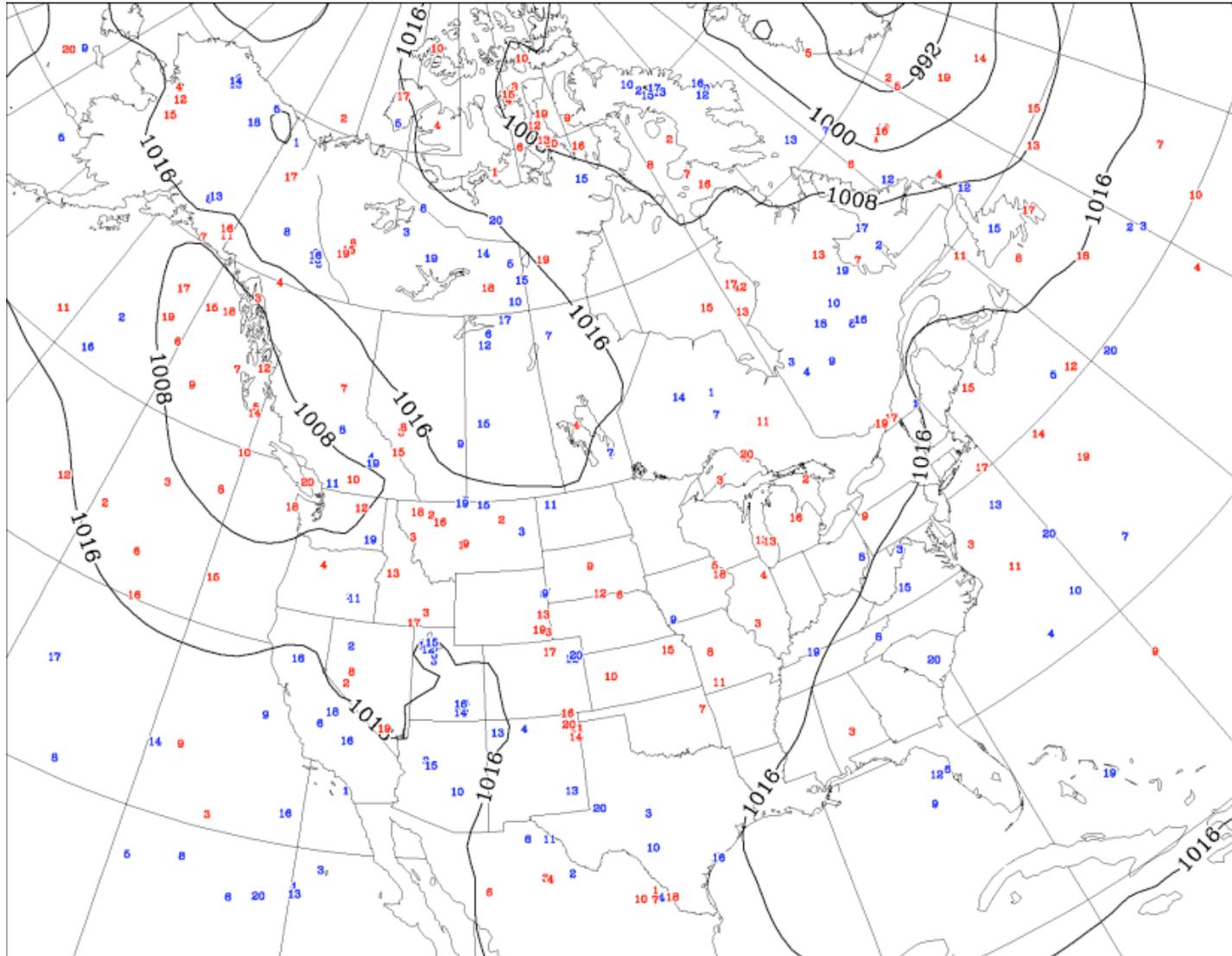
*On voit la prévision de la moyenne des ensembles. Les petits chiffres en rouge montrent les centres de dépression et ceux en bleu dénotent les centres d'anticyclone des membres correspondants.*

# Les prévisions d'ensemble canadiennes

Pression au niveau de la mer,  
prévision 240h valide le 30 janvier 2008 00 UTC

Météo  
www.meteo.gc.ca

English Accueil Contactez-nous Aide Recherche canada.gc.ca



*On voit la prévision de la moyenne des ensembles. Les petits chiffres en rouge montrent les centres de dépression et ceux en bleu dénotent les centres d'anticyclone des membres correspondants.*

L'étrange attracteur de Lorenz

