

# La prévisibilité en Météorologie

L.Descamps

C.Labadie, A. Joly

CNRM/GMAP/RECYF

# Plan

- **Prévisibilité en météorologie**
  - Limites de la prévision déterministe
  - Horizon de prévisibilité
  - Autres approches de la prévision météorologique

# Prévisibilité en météorologie

- Fondements de la prévision météorologique



V. Bjerknes  
(1862 – 1951)

# *Prévisibilité en météorologie*

- Fondements de la prévision météorologique
- V.Bjerknes, 1904: ...sufficient conditions for the rational solution of forecasting are the following:
  - A sufficiently accurate knowledge of the state of the atmosphere at the initial time.
  - A sufficiently accurate knowledge of the laws according to which one state of the atmosphere develops from another.

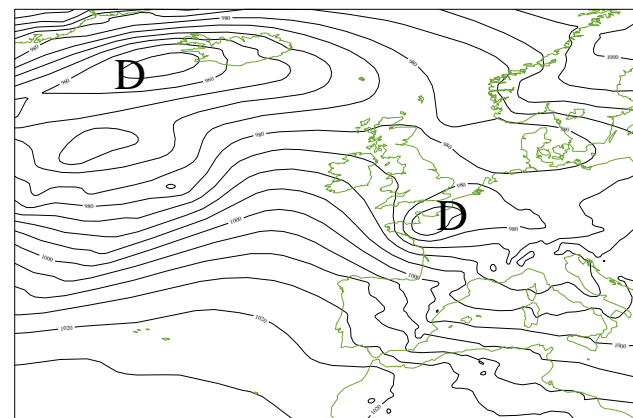
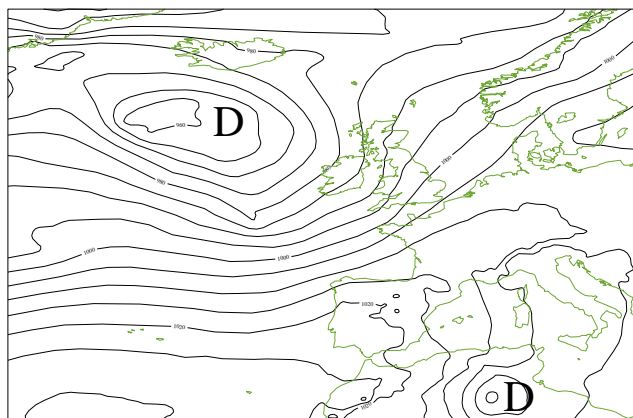
# Prévisibilité en météorologie

## ● Fondements de la prévision météorologique

Etat initial

Modèle de Prévision

Prévision à 60h



# Prévisibilité en météorologie

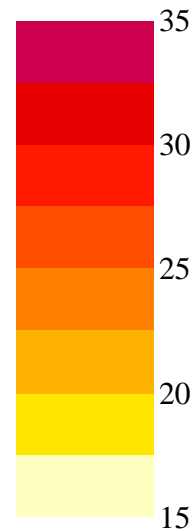
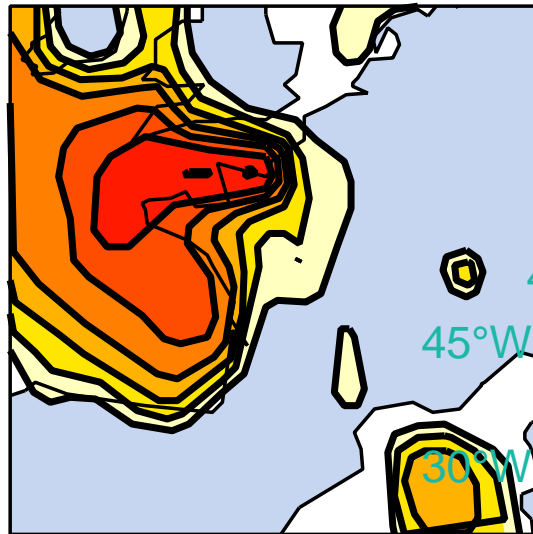
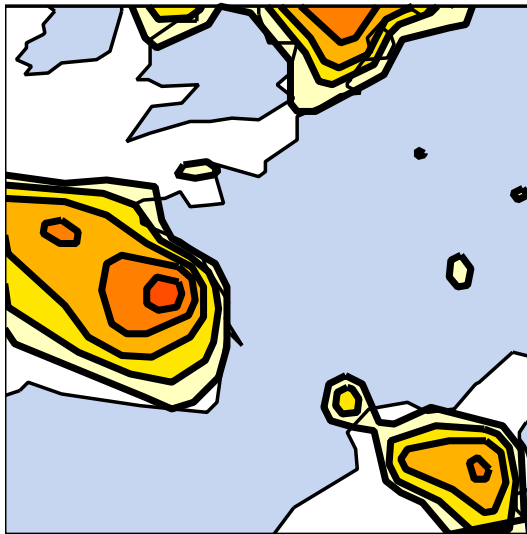
- Limites de la prévision déterministe
- Avènement de la prévision numérique (à partir des années 50)
- Amélioration constante des modèles de prévision
  - Plus précis, plus fiables ...
- et pourtant ...

# Prévisibilité en météorologie

- Prévission du CEPMMT à 72h (17/12/2004), vent à 10m (rafales) (m/s)

Oper T511 error :229.71

Verification (fc12 from 2004/12/17 at 0



# Prévisibilité en météorologie

- Limites de la prévision déterministe



H. Poincaré  
(1854 – 1912)



# Prévisibilité en météorologie

## ● Limites de la prévision déterministe

*"Pourquoi les météorologistes ont-ils tant de mal à prédire le temps avec quelque certitude ? Pourquoi les chutes de pluie, les tempêtes elles-mêmes nous semblent arriver au hasard...un dixième de degré en plus ou en moins en un point quelconque, le cyclone éclate ici et non pas là...Si on avait connu ce dixième de degré, on aurait pu le savoir d'avance mais les observations n'étaient ni assez serrées, ni assez précises, et c'est pour cela que tout semble dû à l'intervention du hasard..."*

**H. Poincaré, 1908**

# Prévisibilité en météorologie

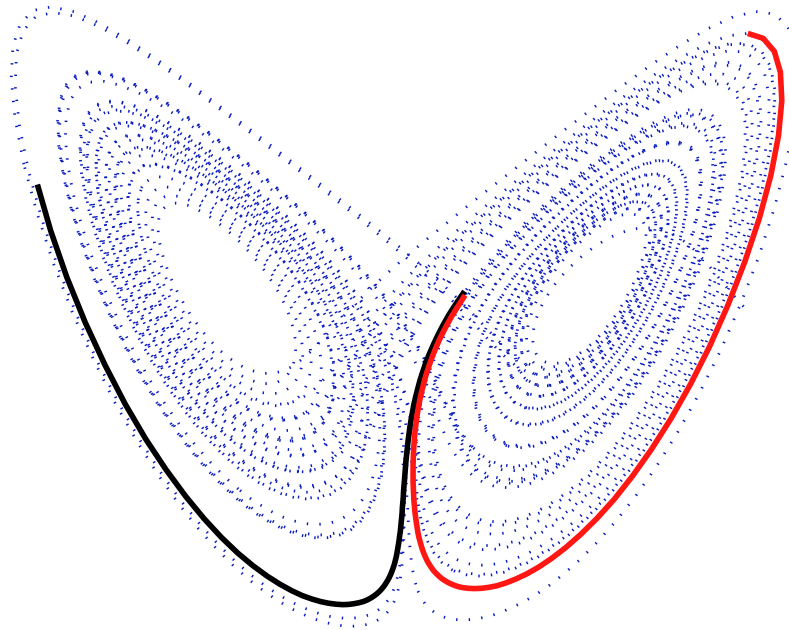
- Limites de la prévision déterministe



E.N Lorenz

# Prévisibilité en météorologie

- E.N. Lorenz: Caractère chaotique et sensibilité aux conditions initiales des modèles de prévision



Attracteur du modèle de Lorenz

# Prévisibilité en météorologie

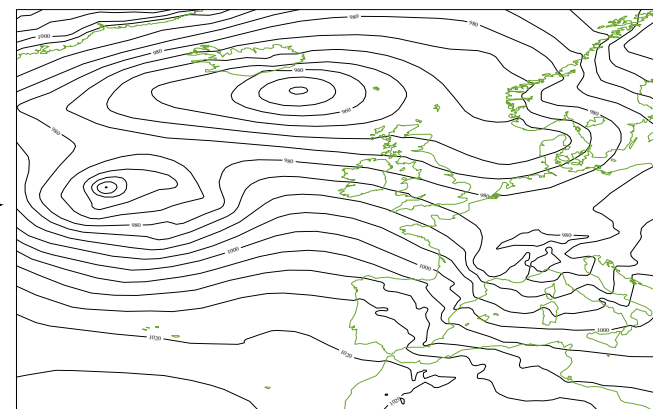
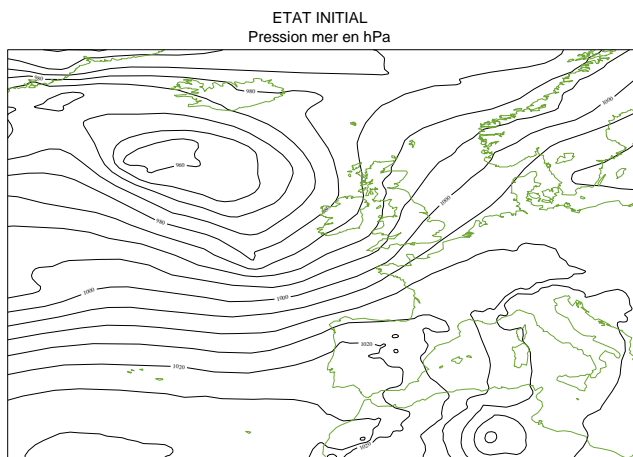
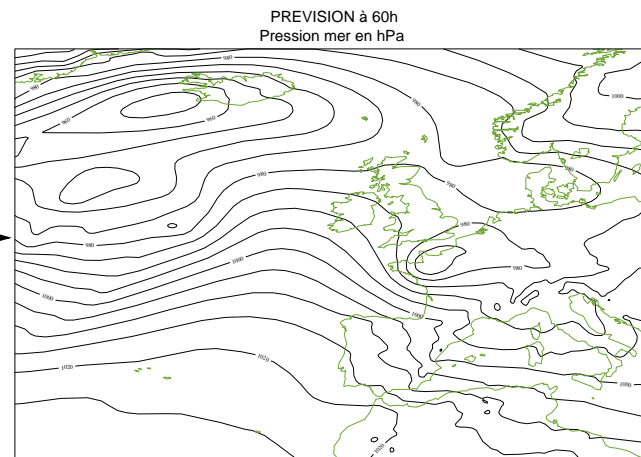
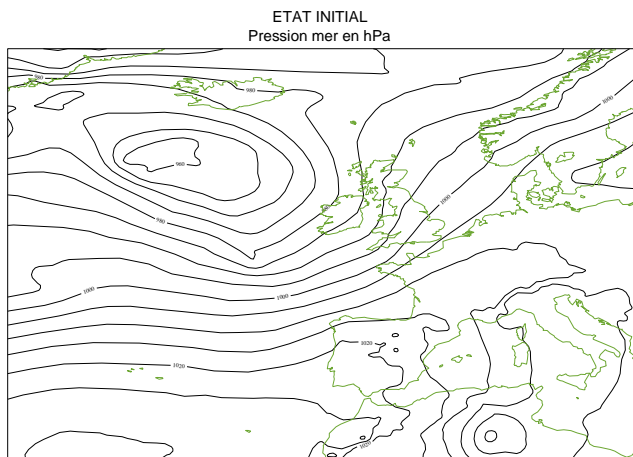
- limites de la prévision déterministe
- les différentes sources d'incertitude
  - Incertitude sur les conditions initiales
    - on ne connaît jamais parfaitement l'état de l'atmosphère à un instant  $t$
  - Incertitude sur les lois de l'écoulement
    - les modèles de prévision ne sont pas parfaits

# Prévisibilité en météorologie

Etat initiaux

Modèle de Prévision

Prévisions à 60h



# *Prévisibilité en météorologie*

- Horizon de prévisibilité
- Limite temporelle au delà de laquelle l'approche déterministe n'a plus de sens.

# *Prévisibilité en météorologie*

- Horizon de prévisibilité
  - varie suivant le phénomène auquel on s'intéresse
  - concerne toutes les échelles

# Horizon de prévisibilité

- Structures cohérentes
- organisations caractéristiques de l'écoulement :  
courant jet, dépressions, cumulonimbus
- Structures cohérentes
- existent pour toutes les échelles spatiales
- ont chacune leur cycle de vie
  - quelques heures pour un cumulonimbus, quelques jours pour une dépression



# Horizon de prévisibilité

- L'horizon de prévisibilité varie suivant les structures cohérentes
- Environ un cycle de vie (en moyenne)
  - quelques heures pour un cumulonimbus, quelques jours pour une dépression
- Il n'existe pas **UN** horizon de prévisibilité de l'atmosphère mais **DES** horizons de prévisibilités propres à chaque échelle de structure cohérente

# *Horizon de prévisibilité*

- L'incertitude sur la prévision:
  - peut rester modérée à 10 jours d'échéance
  - ...mais peut être forte au bout de quelques heures d'échéance
- Nécessité de quantifier cette incertitude
- Nécessité d'une autre approche de la prévision

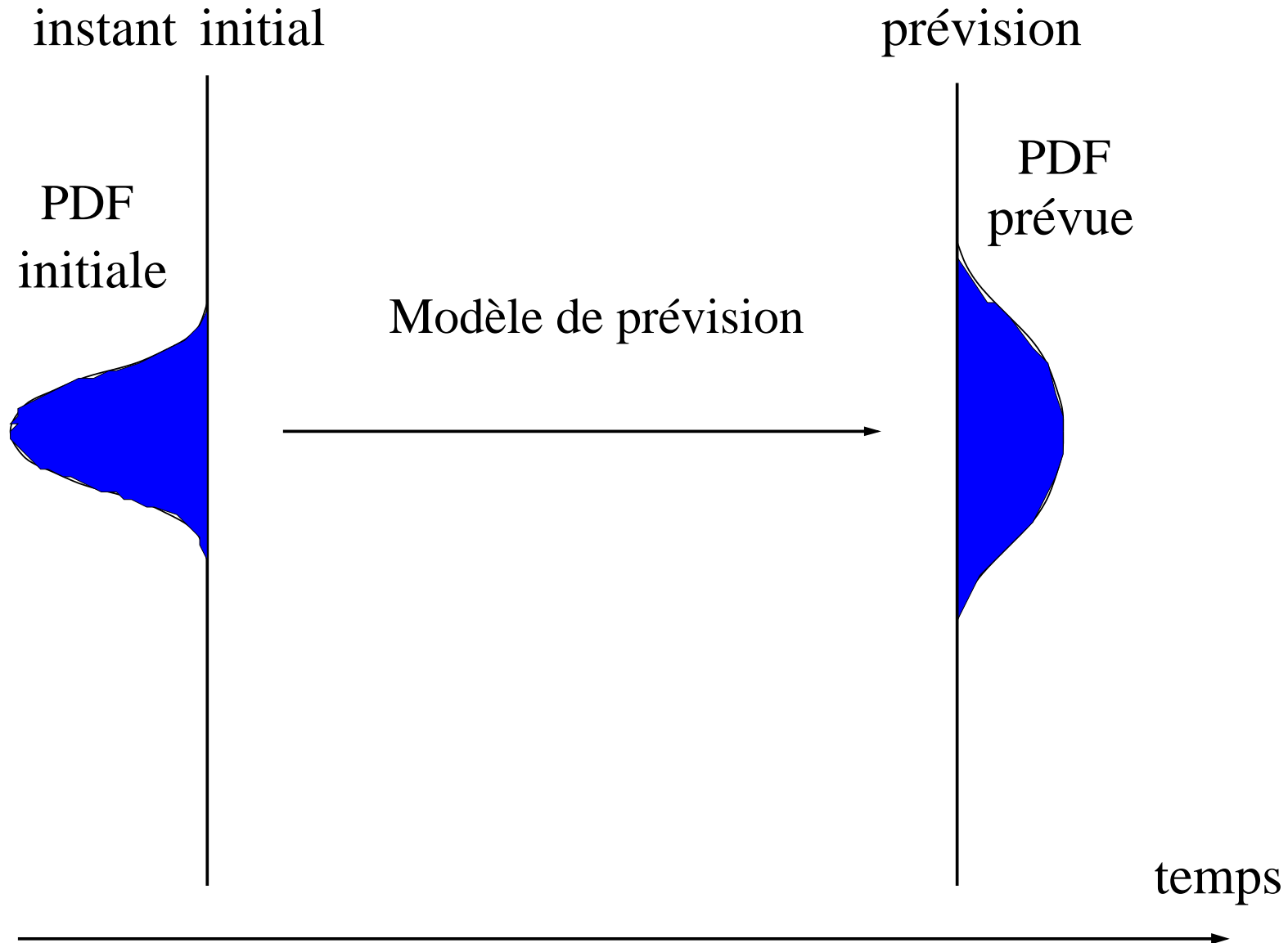
# Différentes approches de la prévision probabiliste

- La prévision probabiliste
  - On cherche à prévoir l'évolution de  $\rho(X, t)$
  - $\int_V \rho(X, t) dV$  représente la probabilité que l'état 'réel' de l'écoulement  $X_t$  soit compris dans ce volume  $V$

# *Différentes approches de la prévision probabiliste*



# *Différentes approches de la prévision probabiliste*



# Différentes approches de la prévision probabiliste

- La prévision probabiliste
  - L'évolution de  $\rho(X, t)$  est donnée par l'équation de Liouville (ou celle de Fokker-Planck)

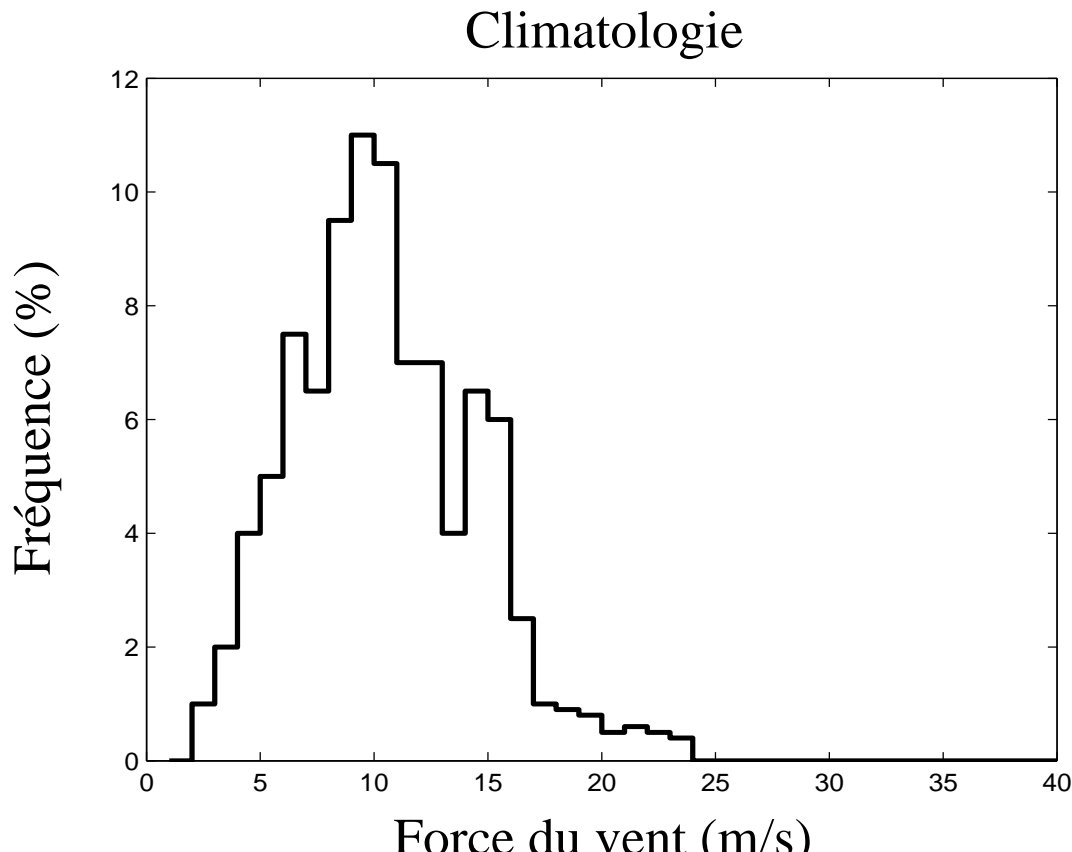
$$\frac{\partial \rho(X, t)}{\partial t} + \sum_{k=1}^{\mathcal{N}} \frac{\partial}{\partial X_k} (\dot{X}_k(X, t) \rho(X, t)) = 0.$$

# *Différentes approches de la prévision probabiliste*

- La prévision probabiliste
  - Une telle prévision probabiliste est impossible à réaliser en pratique
    - Connaissance de la PDF ?
    - Coût numérique

# Différentes approches de la prévision probabiliste

- La prévision probabiliste
  - la distribution climatique : façon la plus simple de produire une prévision probabiliste la distribution climatique



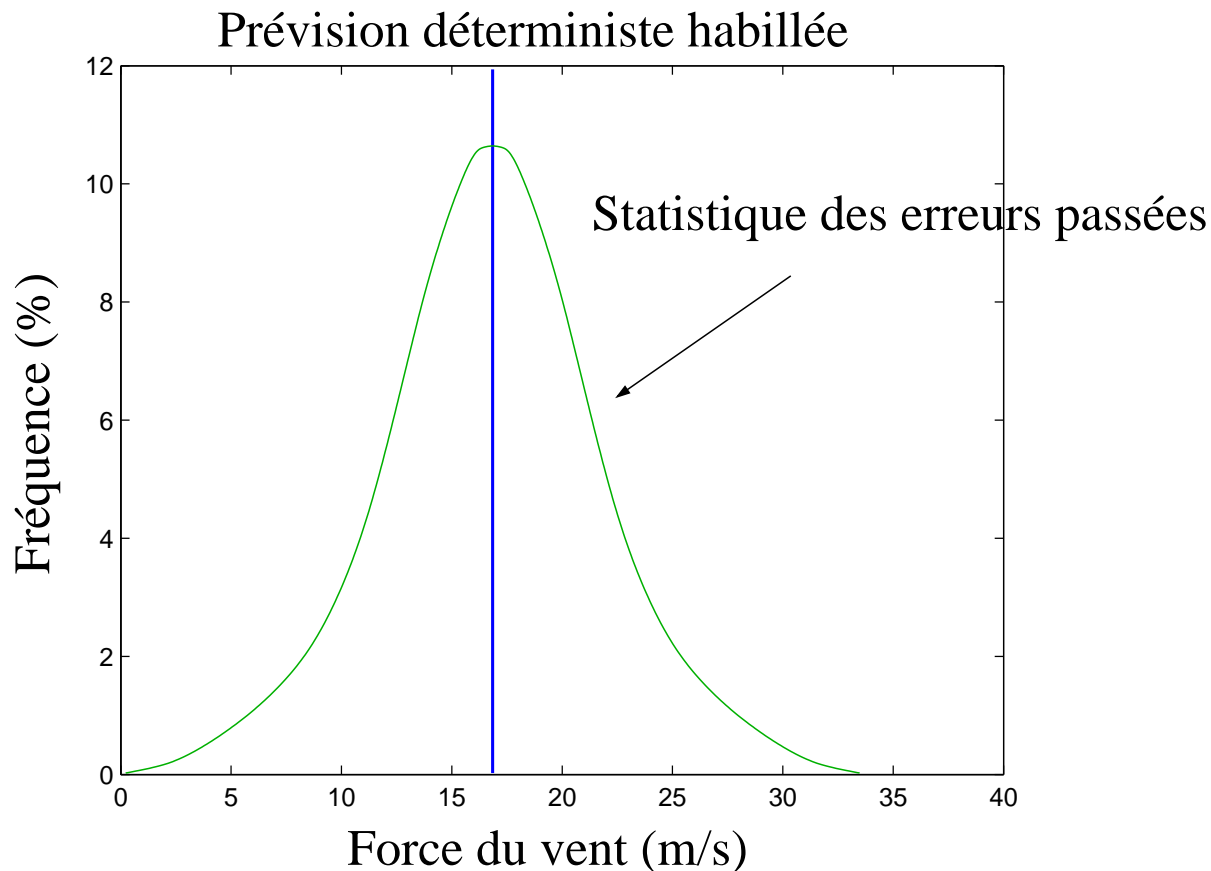


# *Différentes approches de la prévision probabiliste*

- La prévision probabiliste
  - la distribution climatique
    - Avantage : réalisme (obs), coût numérique nul
    - Inconvénient : ne dépend pas de l'écoulement du jour

# Différentes approches de la prévision probabiliste

- La prévision probabiliste
  - Utilisation d'une prévision déterministe habillée de la statistique de ses erreurs passées



# *Différentes approches de la prévision probabiliste*

- La prévision probabiliste
  - utilisation des 'erreurs du passé'
    - Avantage : coût numérique nul
    - Inconvénient : ne peut pas proposer de vrais scénarios alternatifs ; à refaire à chaque changement du modèle

# *Différentes approches de la prévision probabiliste*

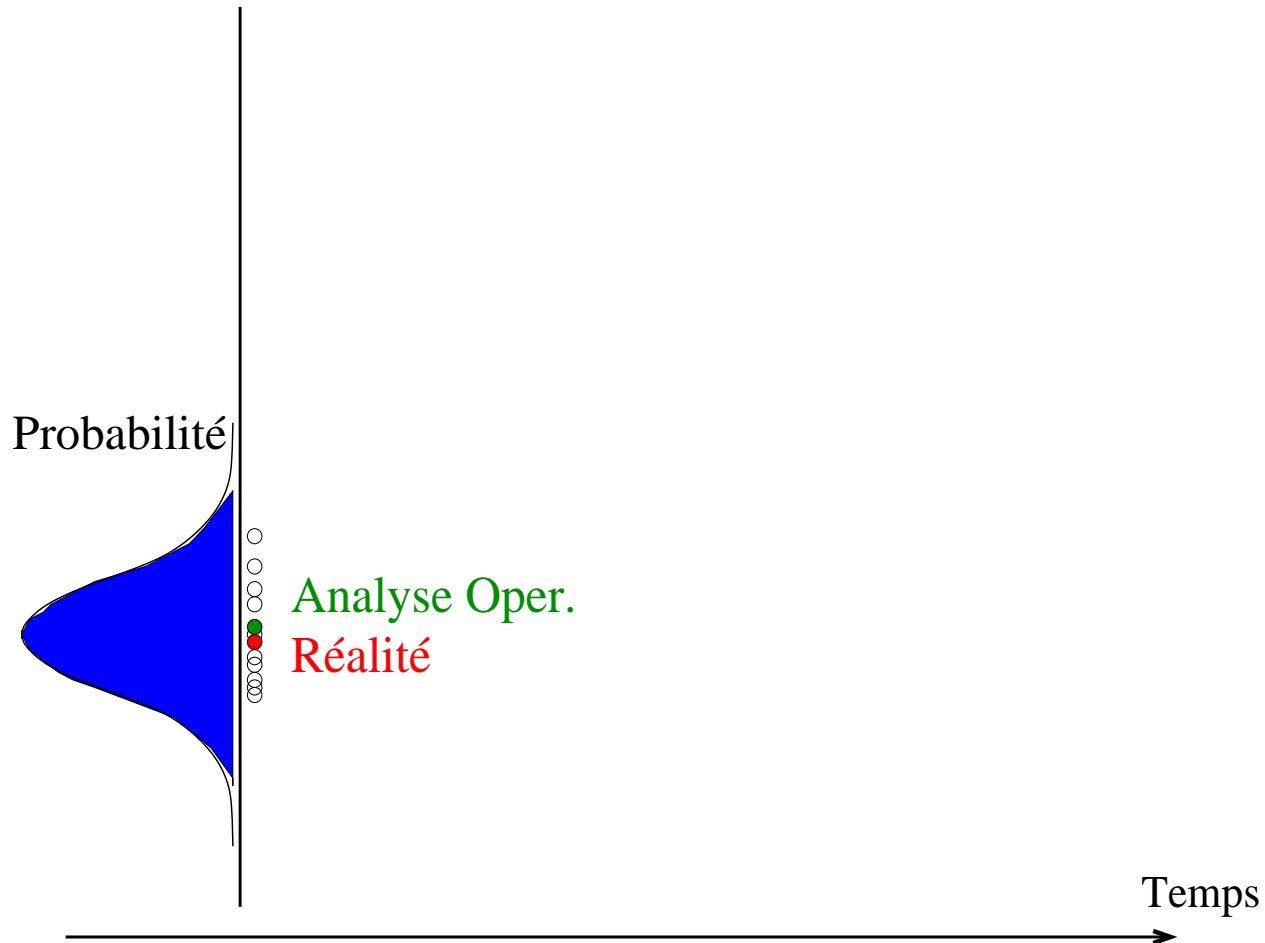
- La prévision probabiliste
  - Echantillonnage de la PDF prévue par la prévision d'ensemble

# *Différentes approches de la prévision probabiliste*

- La prévision d'ensemble
  - Objectif : Fournir un échantillon représentatif de la PDF prévue
  - Utilisation d'un ensemble de **N** prévisions

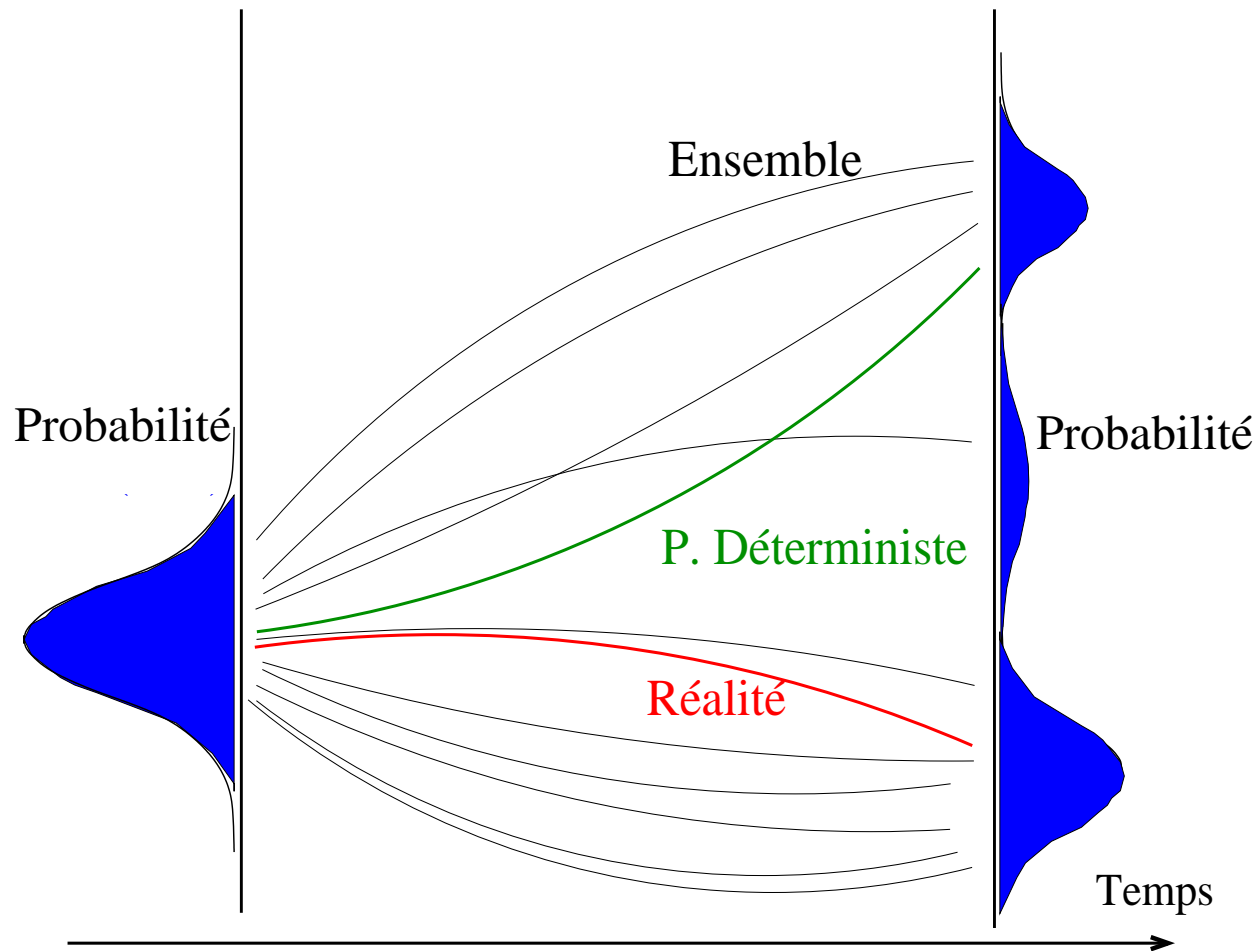
# Différentes approches de la prévision probabiliste

- La prévision d'ensemble



# Différentes approches de la prévision probabiliste

- La prévision d'ensemble



# *Différentes approches de la prévision probabiliste*

- La prévision d'ensemble
  - Avantage : dépend de l'écoulement du jour, peut proposer de vrais scénarios alternatifs
  - Inconvénient : coût numérique élevé



# *Différentes approches de la prévision probabiliste*

- La prévision d'ensemble
  - Initialisation de l'ensemble : échantillonner l'erreur d'analyse (incertitude initiale)

# *Différentes approches de la prévision probabiliste*

- Initialisation de l'ensemble
  - Ajout de bruit aléatoire à l'analyse ?
    - Ne fonctionne pas, se dissipe rapidement

# *Différentes approches de la prévision probabiliste*

- Initialisation de l'ensemble
  - Utilisation de modes dynamiques
  - Généralisation de l'approche ensembliste à la période d'assimilation des observations

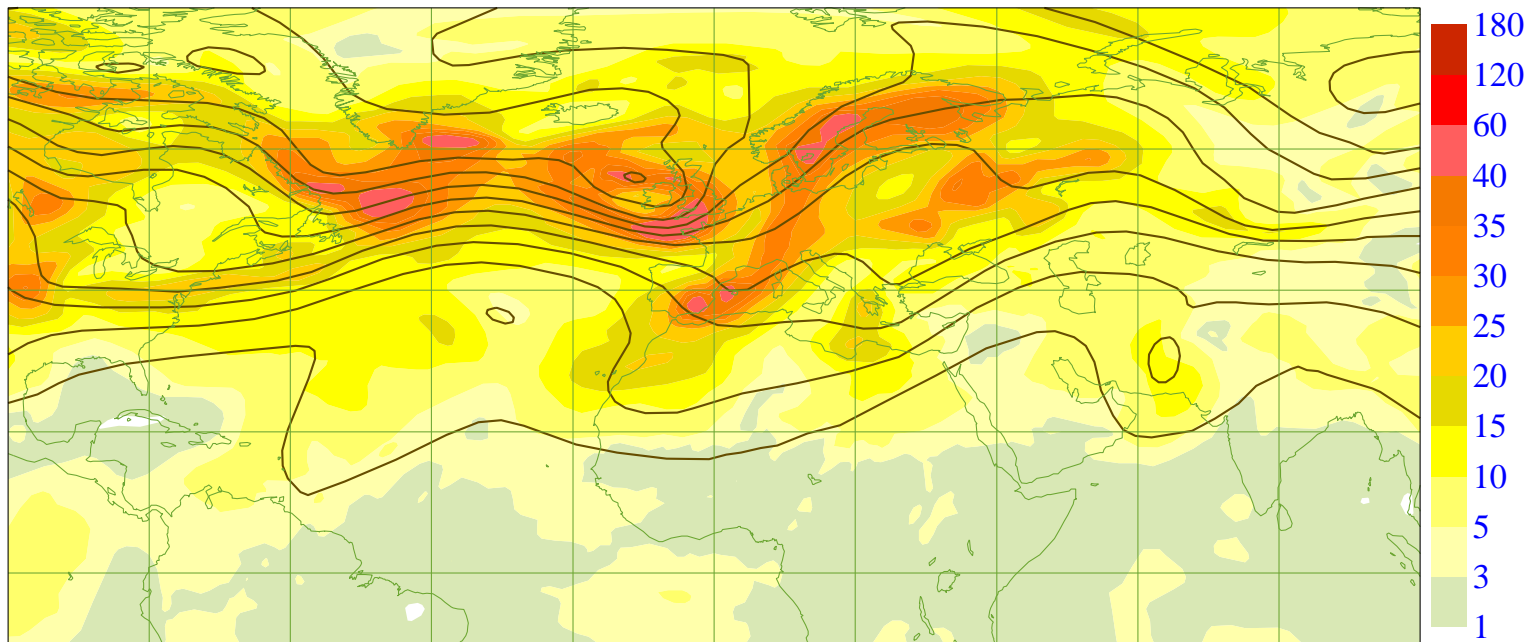
# Utilisation des prévisions d'ensemble

- Le prévisionniste
  - Information quantitative sur l'incertitude de la prévision

# Utilisation des prévisions d'ensemble

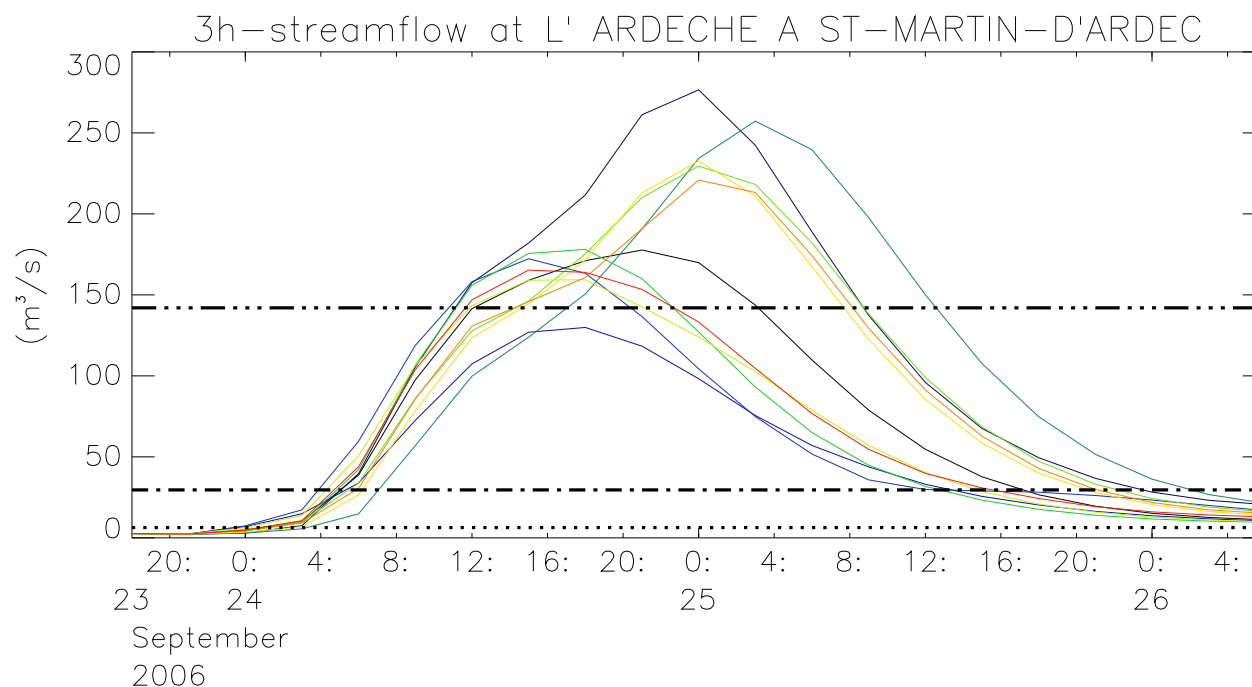
Prévision à 60h pour le 10/03/2008

Moyenne de l'ensemble et dispersion PEARP pour la Z500



# Utilisation des prévisions d'ensemble

## ● Les domaines connexes à la météorologie



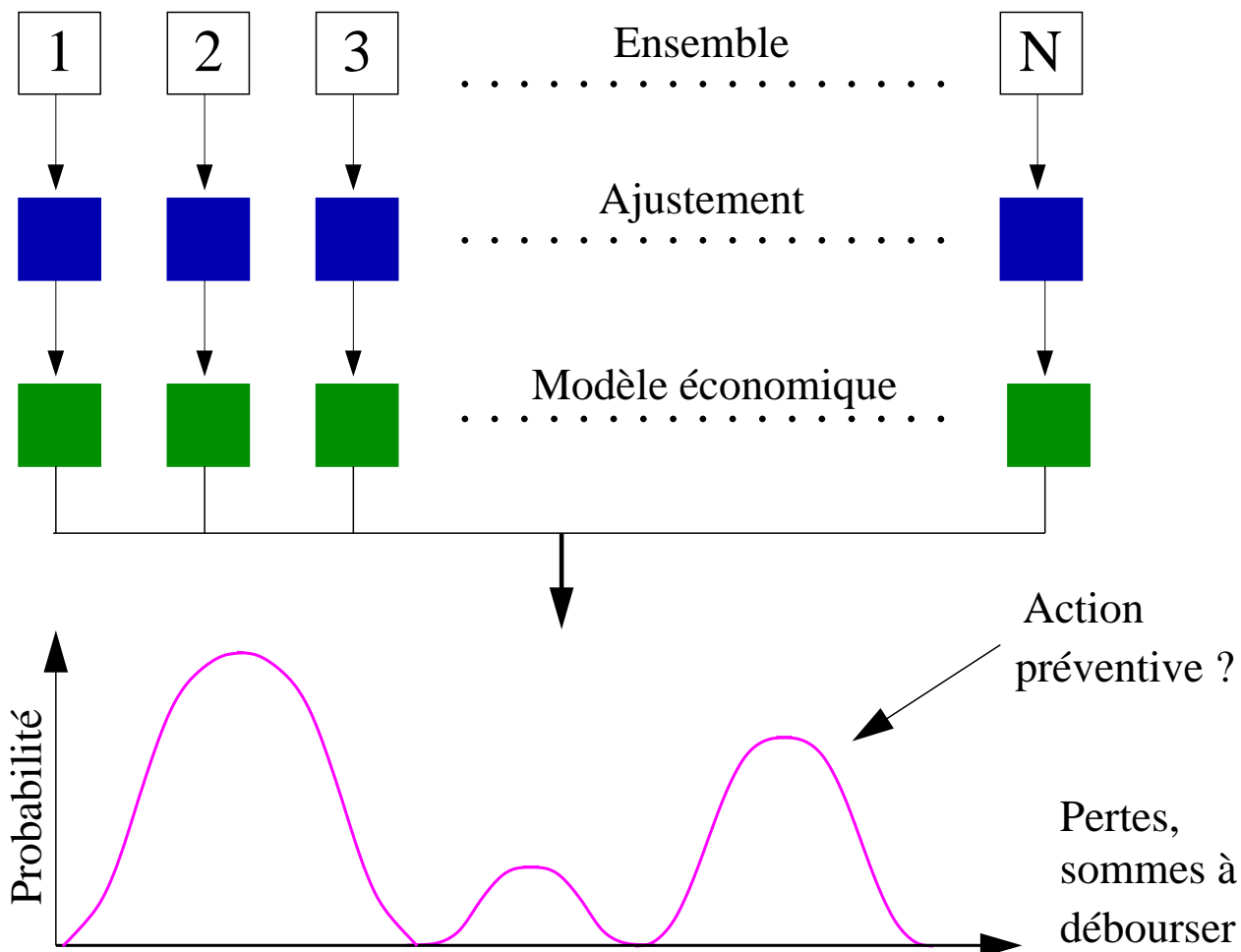
## ● Application à la prévision des crues : débit de l'Ardèche (G.Thirel (CNRM))

# Utilisation des prévisions d'ensemble

- Les domaines "météo-sensibles"
  - Permet une gestion du risque acceptable en terme de coûts/pertes
  - La valeur économique potentielle d'une prévision d'ensemble est supérieure à celle d'une prévision déterministe

# Utilisation des prévisions d'ensemble

## Les domaines "météo-sensibles"





# Conclusion

- L'incertitude est associée à toute prévision météorologique
- Elle dépend :
  - de l'échelle du phénomène auquel on s'intéresse
  - de l'état de l'écoulement
  - L'approche déterministe est insuffisante
    - Aucune information sur l'incertitude

# Conclusion

- L'incertitude est associée à toute prévision météorologique
- Elle dépend :
  - de l'échelle du phénomène auquel on s'intéresse
  - de l'état de l'écoulement
  - L'approche déterministe est insuffisante
    - Aucune information sur l'incertitude
- Approche ensembliste
  - Permet la gestion du risque météorologique

# Conclusion

- L'incertitude est associée à toute prévision météorologique
- Elle dépend :
  - de l'échelle du phénomène auquel on s'intéresse
  - de l'état de l'écoulement
  - L'approche déterministe est insuffisante
    - Aucune information sur l'incertitude
- Approche ensembliste
  - Permet la gestion du risque météorologique
- Vers une vraie approche probabiliste ?

# Conclusion

des questions ?

