

# La Prévision d'Ensemble

## *Ensemble Prediction*

Formation OMM des prévisionnistes de la RA1  
*WMO training for the forecasters of AR1*

David BARBARY  
CMRS/RSMC La Réunion –  
Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones  
Septembre 2015

# Plan

## 1. Principes généraux

- Un peu d'histoire
- Prévisibilité de l'atmosphère

## 2. Les ingrédients d'une prévision d'ensemble

## 3. Les produits d'une prévision d'ensemble

## 4. Evaluation des prévisions

## 5. Conclusion

## *1. General principles*

- *Some history*
- *The atmospheric predictability*

## *2. The ingredients of an ensemble prediction*

## *3. The outputs of an ensemble prediction*

## *4. Evaluation of the forecasts*

## *5. Conclusion*



# 1. Principes généraux / *General principles*

Un peu d'histoire ...  
*Some history ...*

- Laplace (~1800) : si on connaît l'état initial d'un système physique et les équations qui le régissent, on peut prévoir son évolution en tout instant futur

→ **Déterministe = Prévisible.**

- Poincaré (~1900) : certains systèmes déterministes ont des solutions extrêmement **sensibles aux conditions initiales.**
- Lorenz (~1960) : découverte du chaos déterministe  
→ **Déterministe ≠ Prévisible.**

- Laplace (~1800) : *if the initial state of a physical system and its equations of evolution are known, then it should be possible to predict its evolution in the future*

→ **Déterministic = Predictable.**

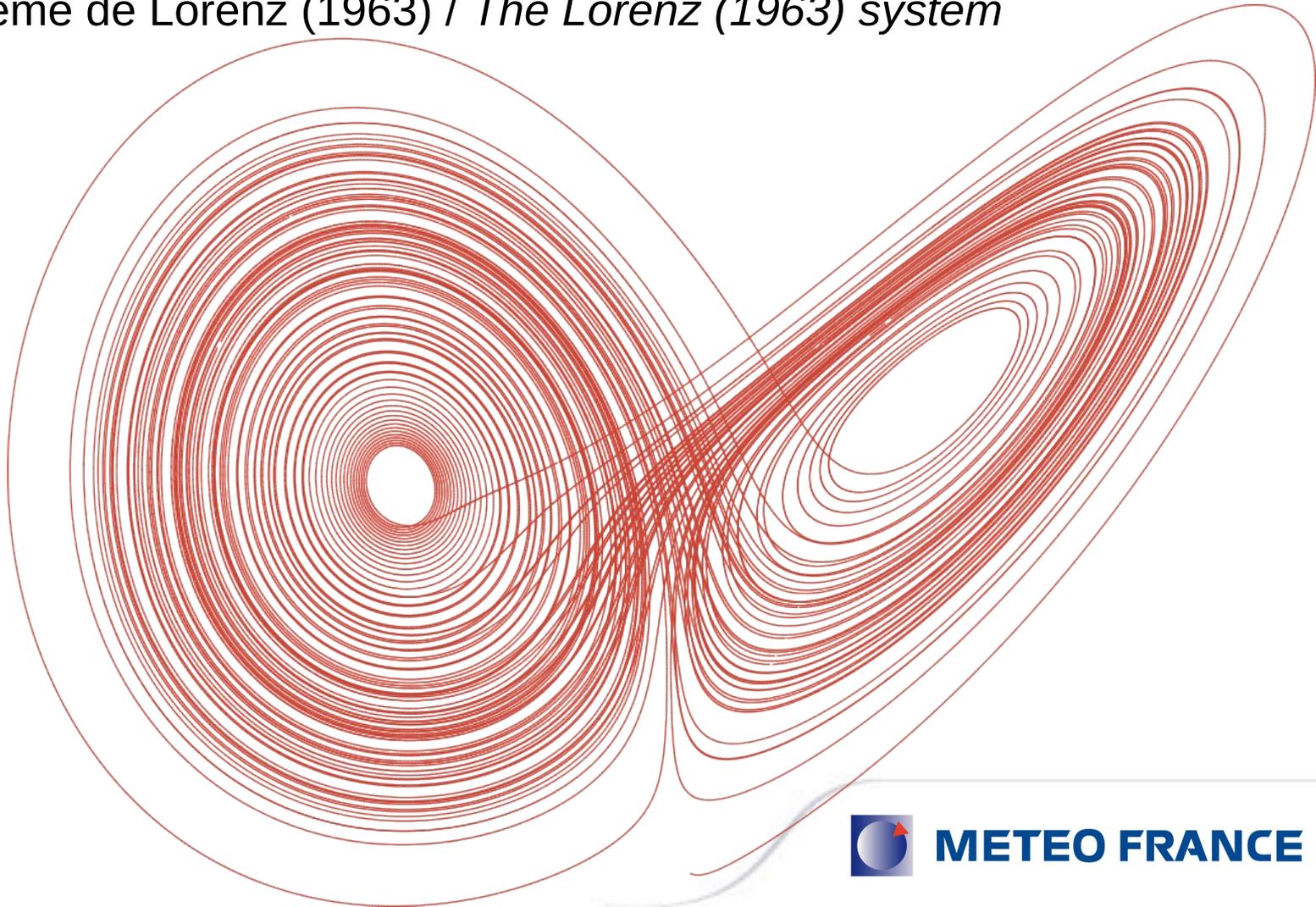
- Poincaré (~1900) : *some deterministic systems have solutions that are extremely **sensitive to the initial conditions.***
- Lorenz (~1960) : *discovery of the deterministic chaos*  
→ **Déterministic ≠ Predictable.**



# 1. Principes généraux / *General principles*

Un peu d'histoire ...  
*Some history ...*

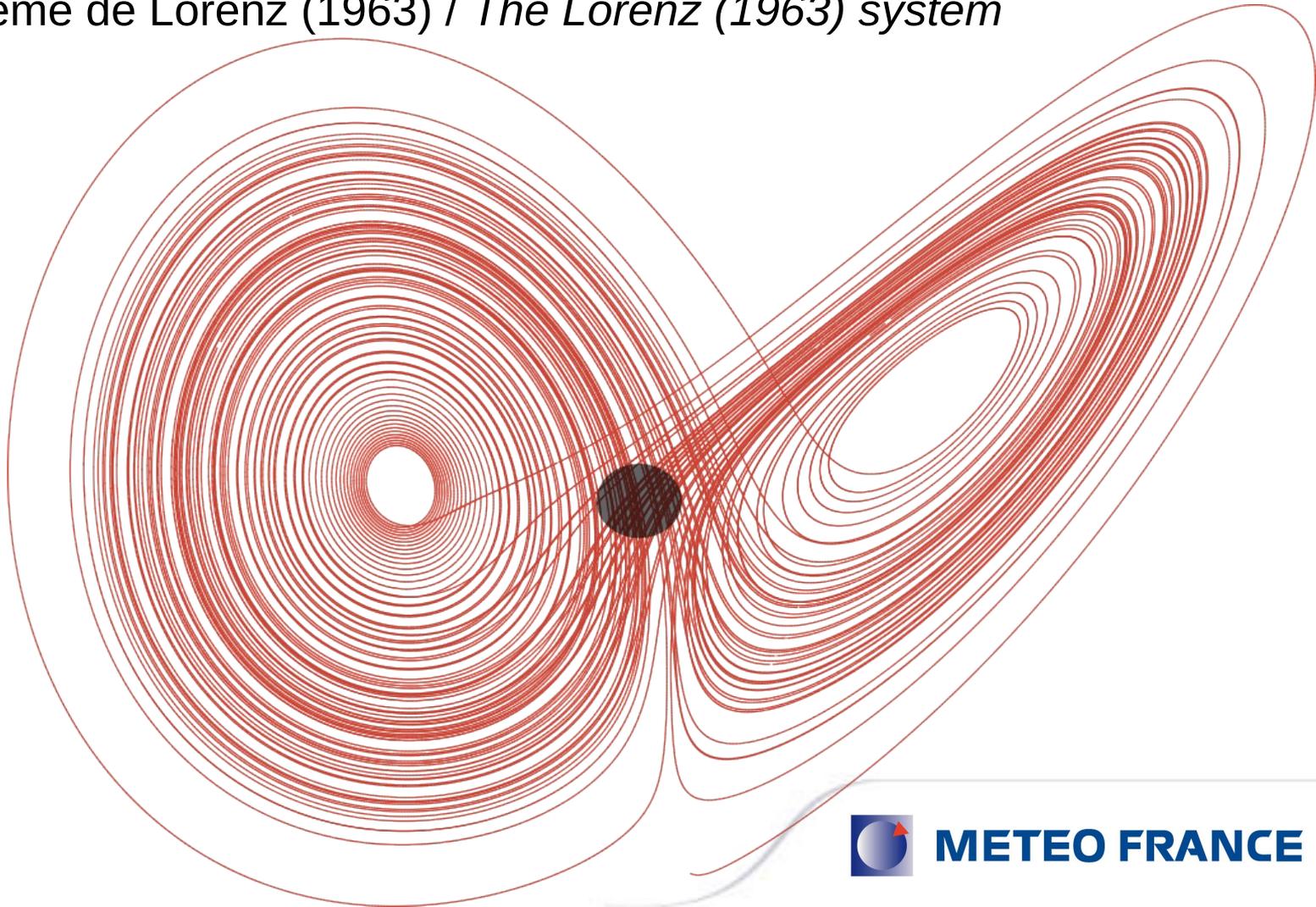
- Le système de Lorenz (1963) / *The Lorenz (1963) system*



# 1. Principes généraux / *General principles*

Un peu d'histoire ...  
*Some history ...*

- Le système de Lorenz (1963) / *The Lorenz (1963) system*

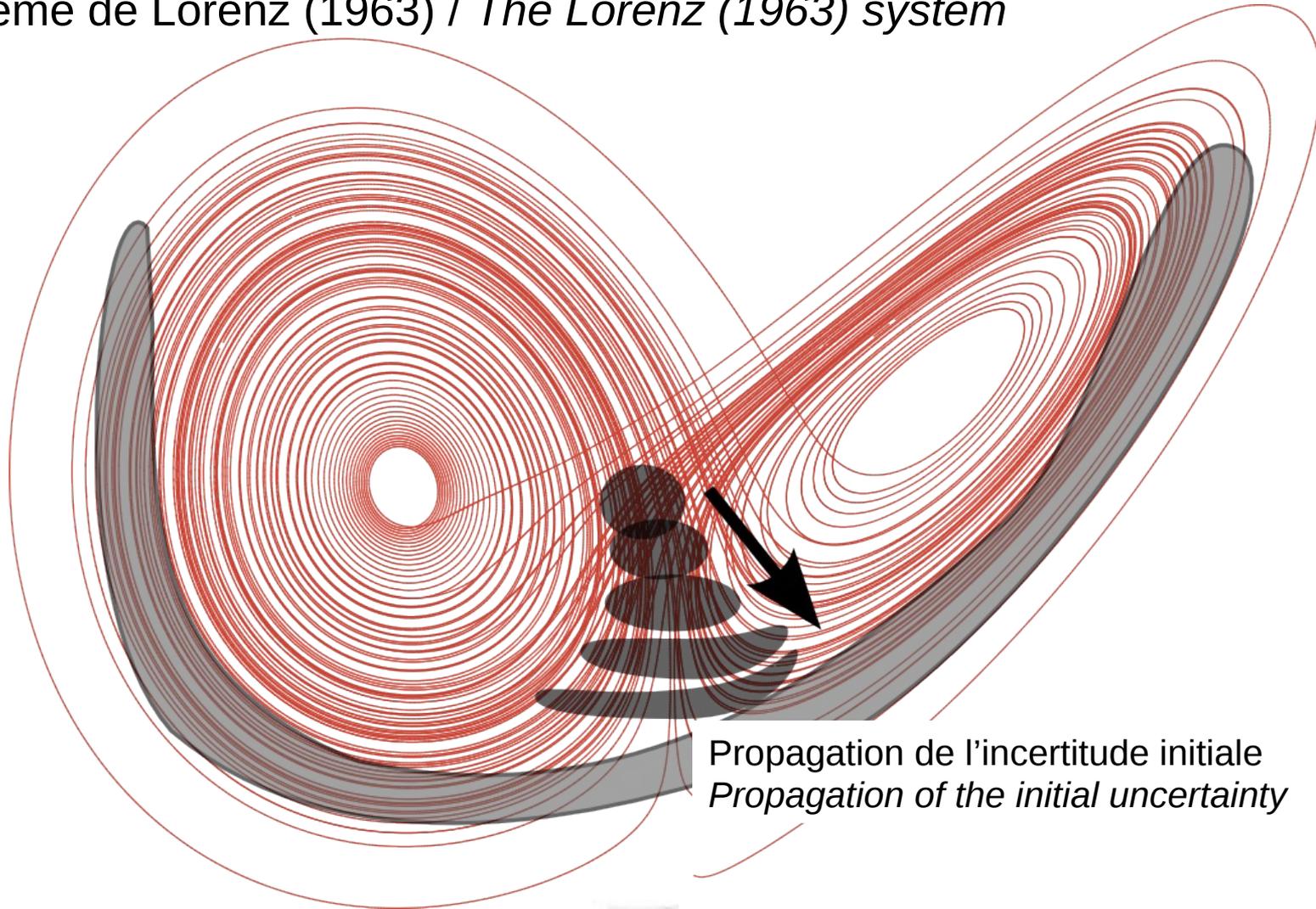


**METEO FRANCE**

# 1. Principes généraux / *General principles*

Un peu d'histoire ...  
*Some history ...*

- Le système de Lorenz (1963) / *The Lorenz (1963) system*



# 1. Principes généraux / *General principles*

La prévisibilité de l'atmosphère  
*The atmospheric predictability*

- L'évolution de l'atmosphère présente une forte sensibilité aux conditions initiales
  - Les prévisions sont incertaines intrinsèquement
- Premier objectif de la prévision d'ensemble = estimer l'incertitude d'une prévision
  - Plusieurs prévisions sont lancées, partant de conditions initiales légèrement perturbées par rapport à l'analyse
- *The evolution of the atmosphere is highly sensitive to the initial conditions*
  - *The forecasts are intrinsiquely uncertain*
- *Ensemble prediction aims firstly at estimating the uncertainty of a forecast*
  - *Several forecasts are run, starting from initial states slightly perturbed around the analysis*



# 1. Principes généraux / *General principles*

La prévisibilité de l'atmosphère  
*The atmospheric predictability*

- La modélisation de l'atmosphère introduit aussi des erreurs car elle repose sur des simplifications :
  - Equations incomplètes
  - Discrétisations et schéma temporel
  - Paramétrisations physiques (phénomènes sous-maille)

→ Certaines prévisions d'ensemble ont pour objectif d'introduire ces sources d'erreur

- *The modelization of the atmosphere also introduces some errors because it relies on some simplifications :*
  - *Imperfect equations*
  - *The discretization and temporal scheme*
  - *the physical parametrizations (under-mesh phenomenas)*

→ *Some ensemble prediction systems aim to introduce these error sources.*

# 1. Principes généraux / *General principles*

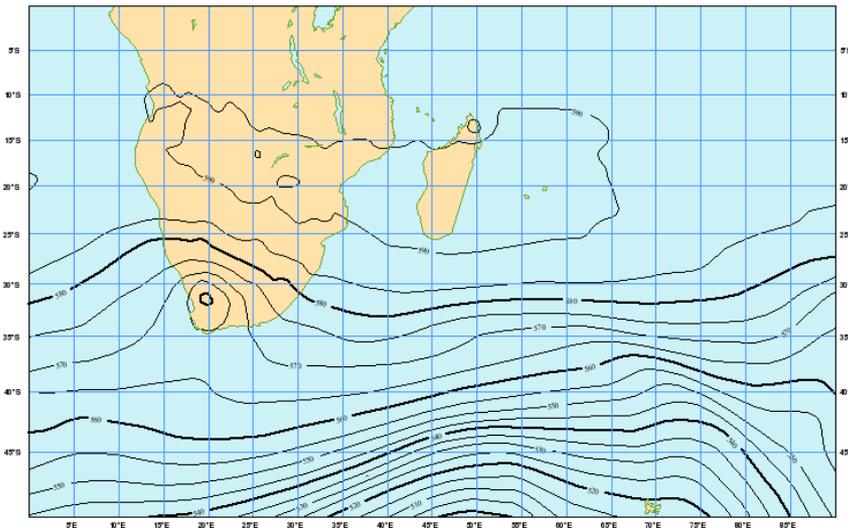
La prévisibilité de l'atmosphère  
*The atmospheric predictability*

■ Illustration de la divergence entre deux prévisions :

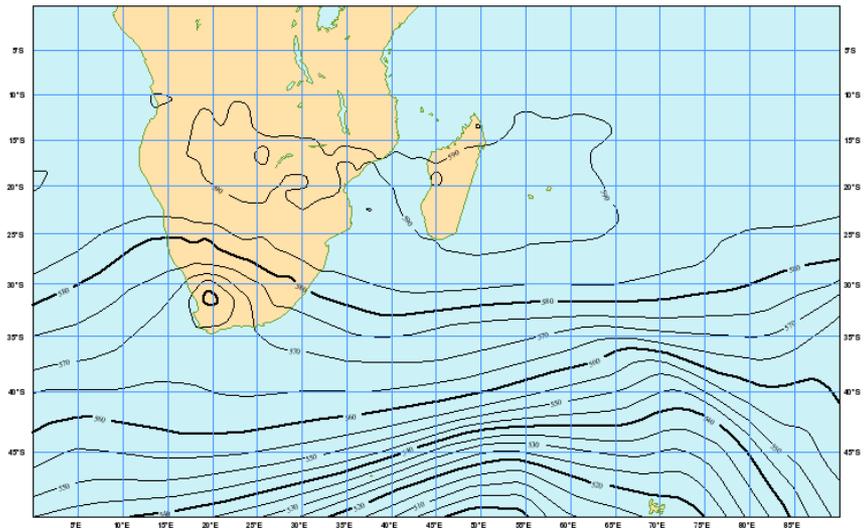
- États initiaux très proches (différence inférieure à l'erreur d'analyse moyenne)
- Même modèle, sauf paramétrisations physiques

■ *Illustration of the divergence between two forecasts:*

- *The initial states are very close (difference lower than the mean analysis error)*
- *The same model, except for the physical parametrizations*



0 H



**METEO FRANCE**

# 1. Principes généraux / *General principles*

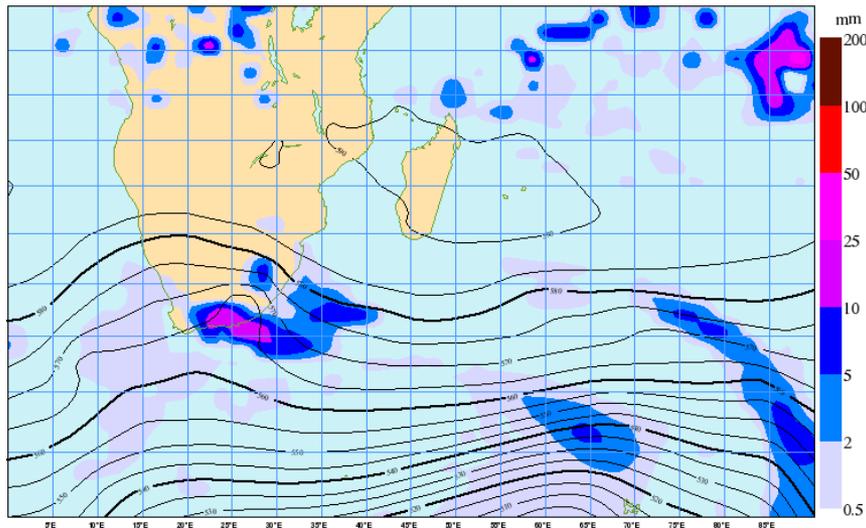
La prévisibilité de l'atmosphère  
*The atmospheric predictability*

■ Illustration de la divergence entre deux prévisions :

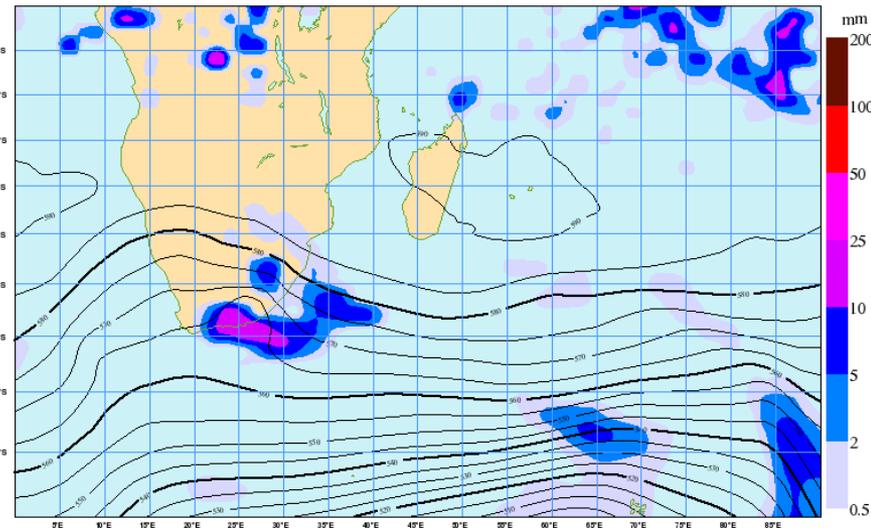
- États initiaux très proches (différence inférieure à l'erreur d'analyse moyenne)
- Même modèle, sauf paramétrisations physiques

■ *Illustration of the divergence between two forecasts:*

- *The initial states are very close (difference lower than the mean analysis error)*
- *The same model, except for the physical parametrizations*



12 H



**METEO FRANCE**

# 1. Principes généraux / *General principles*

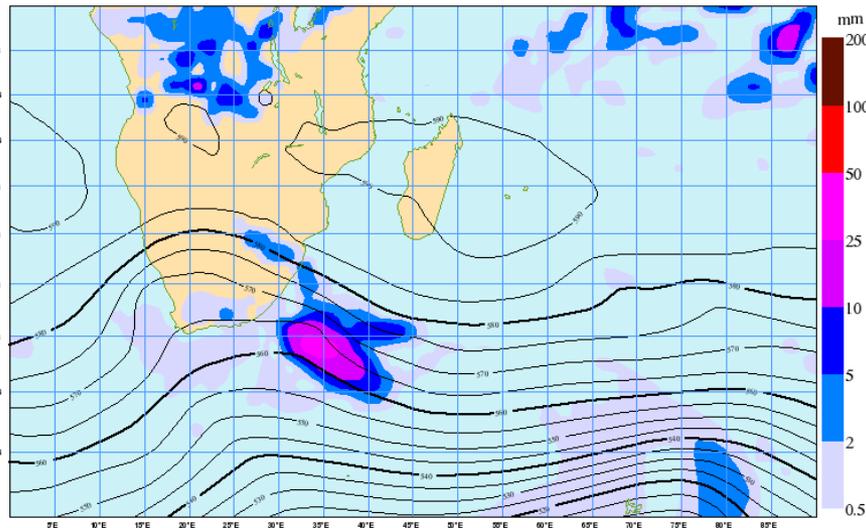
La prévisibilité de l'atmosphère  
*The atmospheric predictability*

■ Illustration de la divergence entre deux prévisions :

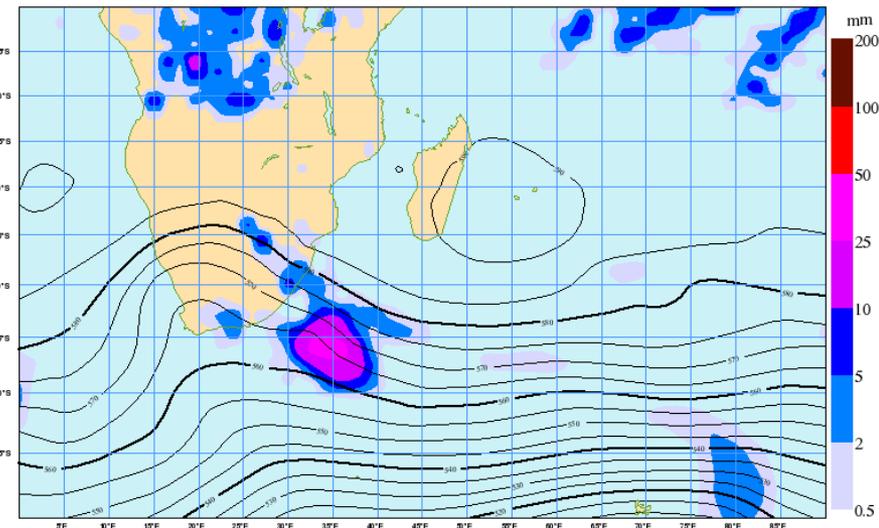
- États initiaux très proches (différence inférieure à l'erreur d'analyse moyenne)
- Même modèle, sauf paramétrisations physiques

■ *Illustration of the divergence between two forecasts:*

- *The initial states are very close (difference lower than the mean analysis error)*
- *The same model, except for the physical parametrizations*



24 H



# 1. Principes généraux / *General principles*

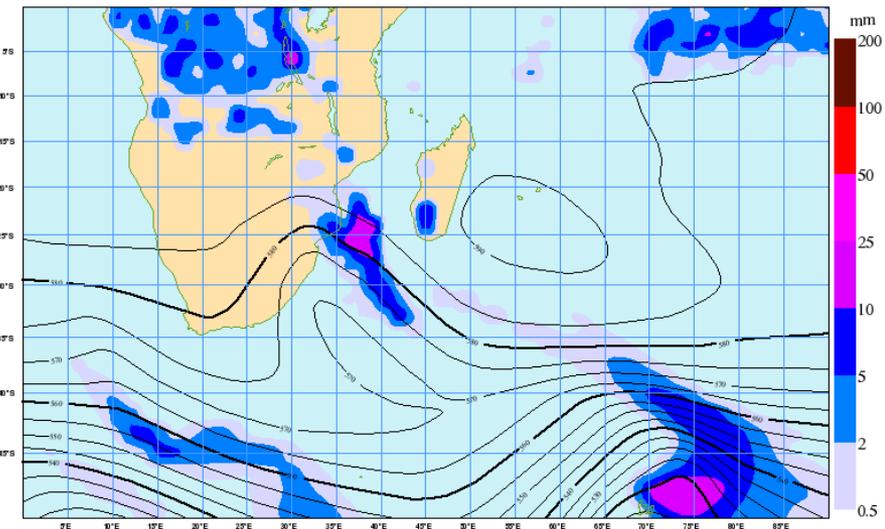
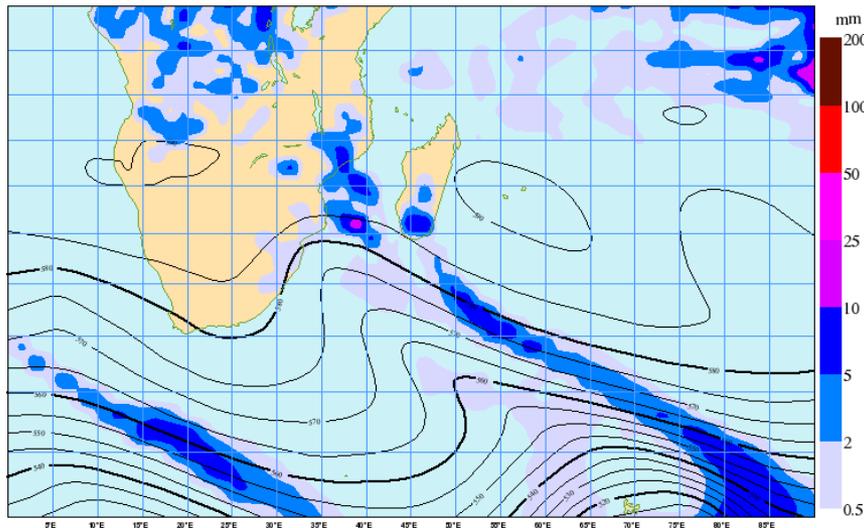
La prévisibilité de l'atmosphère  
*The atmospheric predictability*

■ Illustration de la divergence entre deux prévisions :

- États initiaux très proches (différence inférieure à l'erreur d'analyse moyenne)
- Même modèle, sauf paramétrisations physiques

■ *Illustration of the divergence between two forecasts:*

- *The initial states are very close (difference lower than the mean analysis error)*
- *The same model, except for the physical parametrizations*



**METEO FRANCE**

# 1. Principes généraux / *General principles*

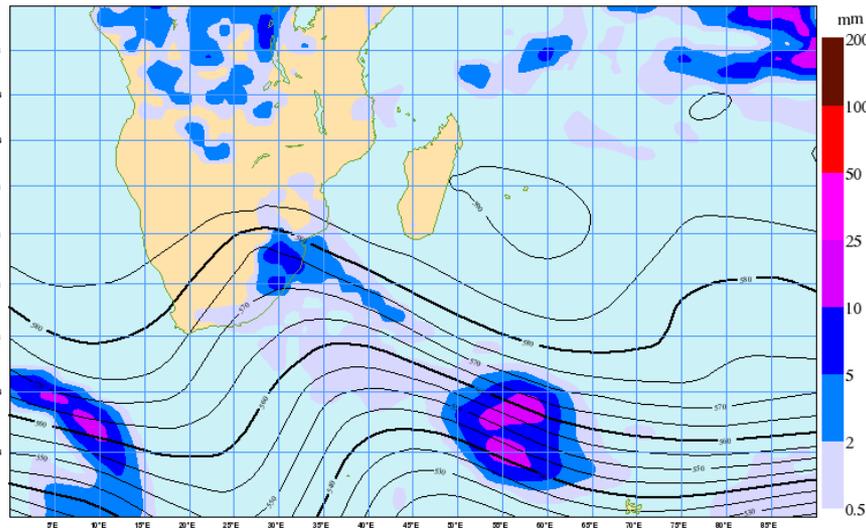
La prévisibilité de l'atmosphère  
*The atmospheric predictability*

■ Illustration de la divergence entre deux prévisions :

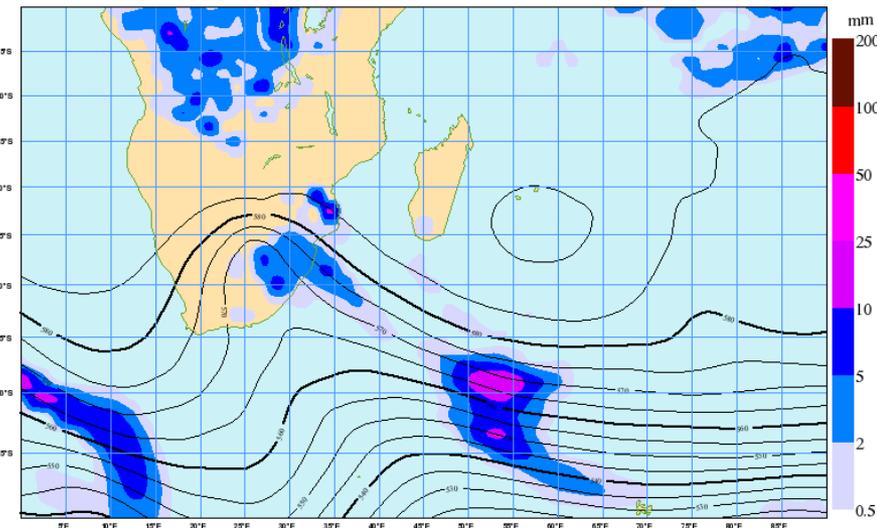
- États initiaux très proches (différence inférieure à l'erreur d'analyse moyenne)
- Même modèle, sauf paramétrisations physiques

■ *Illustration of the divergence between two forecasts:*

- *The initial states are very close (difference lower than the mean analysis error)*
- *The same model, except for the physical parametrizations*



72 H



**METEO FRANCE**

# Plan

1. Principes généraux
2. Les ingrédients d'une prévision d'ensemble
  - Le modèle numérique
  - Les perturbations initiales
  - Les perturbations du modèle
  - Les principaux systèmes de prévision d'ensemble
3. Les produits d'une prévision d'ensemble
4. Evaluation des prévisions
5. Conclusion

1. *General principles*
2. *The ingredients of an ensemble prediction*
  - *The numerical model*
  - *The initial perturbations*
  - *The model perturbations*
  - *Principal models of ensemble prediction*
3. *The outputs of an ensemble prediction*
4. *Evaluation of the forecasts*
5. *Conclusion*



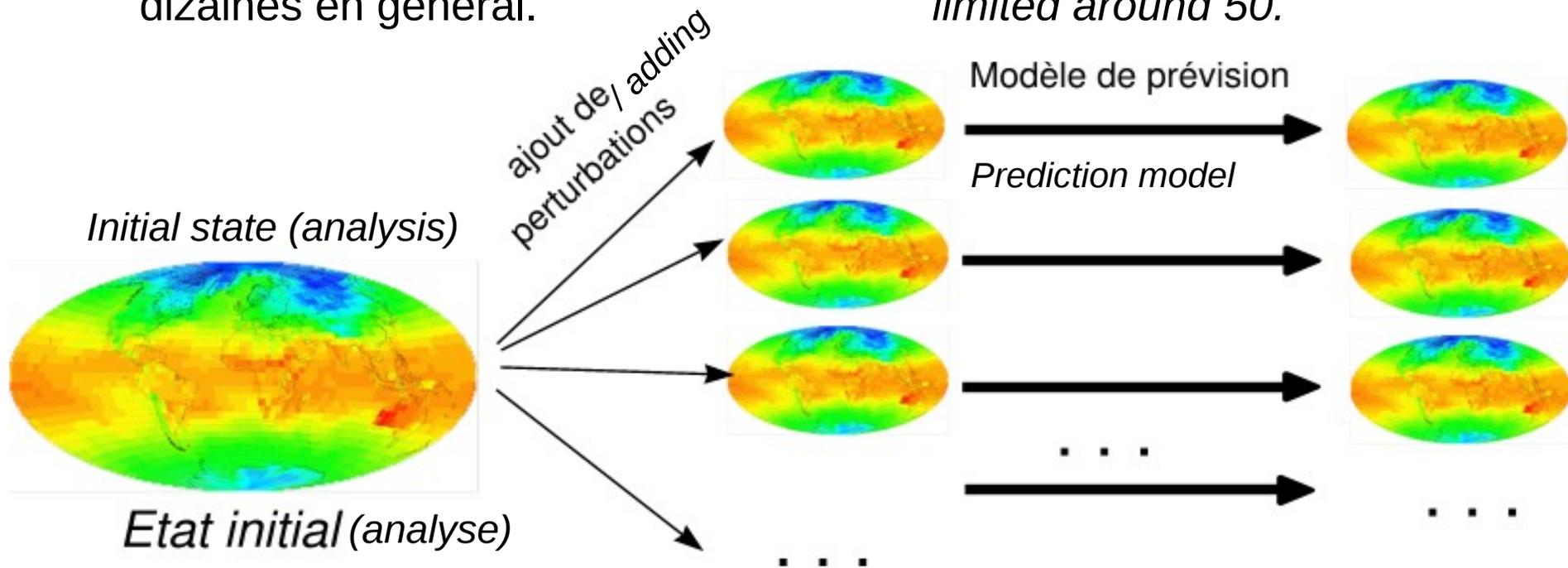
## 2. Les ingrédients d'une prévision d'ensemble

### *The ingredients of an ensemble prediction*

Le modèle numérique  
*The numerical model*

- Un système de prévision d'ensemble consiste à simuler plusieurs évolutions possibles de l'état de l'atmosphère, les **membres**. Le nombre de membre est limité à quelques dizaines en général.

- *An ensemble prediction system consists in running several possible evolutions of the atmospheric state, the members. The number of members is generally limited around 50.*



## 2. Les ingrédients d'une prévision d'ensemble

### *The ingredients of an ensemble prediction*

Le modèle numérique  
*The numerical model*

- Un système de prévision d'ensemble repose sur :
  - Un modèle de prévision numérique
  - Le calcul de perturbations initiales
  - Le calcul de perturbations du modèle
- *An ensemble prediction system relies on:*
  - *A numerical prediction model*
  - *The computation of initial perturbations*
  - *The computation of perturbations of the model*

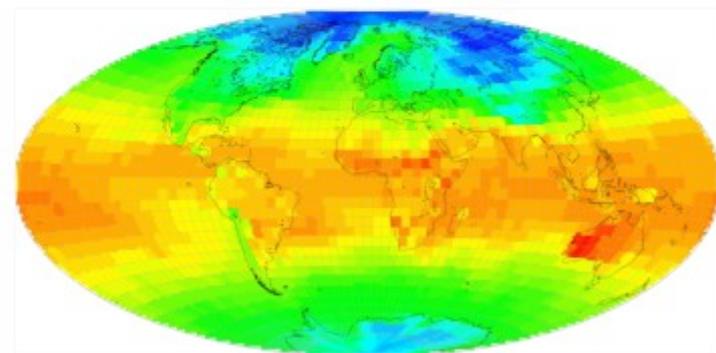


## 2. Les ingrédients d'une prévision d'ensemble

### *The ingredients of an ensemble prediction*

Le modèle numérique  
*The numerical model*

- Une prévision d'ensemble est associée à un modèle de prévision numérique. Souvent, la résolution des membres est moindre que celle du modèle déterministe.
- Le membre non-perturbée s'appelle le **contrôle** (différent de la **prévision déterministe**).
- *An ensemble forecast is associated to a numerical prediction model. The resolution of the members is generally lower than the deterministic model.*
- *The non-perturbed member is called the **control** (different to the **deterministic forecast**).*

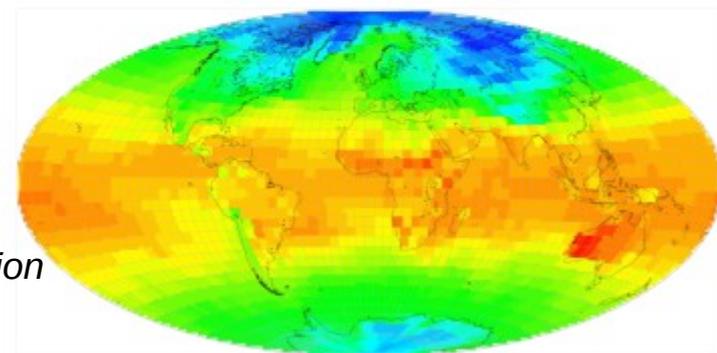


**Analyse / Analysis**

Modèle de prévision :  
haute résolution



*Forecast model, high resolution*



**Prévision déterministe  
/ Deterministic Forecast**

## 2. Les ingrédients d'une prévision d'ensemble

### The *ingredients of an ensemble prediction*

Les perturbations initiales  
*The initial perturbations*

- Quelles perturbations initiales ?  
Aléatoirement?
  - Leur amplitude doit être inférieure à l'erreur initiale moyenne
  - L'objectif est d'estimer les directions les plus probables d'évolution de l'état de l'atmosphère ; mais comment ?
  - Quelques méthodes de calcul :
    - Vecteurs singuliers
    - Observations perturbées
    - *Ensemble Transform Kalman Filter (ETKF)*
- *What initial perturbations ?  
Randomly?*
  - *Their amplitude should be lower than the mean initial error*
  - *The objective is to estimate the most probable directions of evolution of the atmospheric state; but how?*
  - Some calculation methods :
    - *Singular vectors*
    - *Perturbed observations*
    - *Ensemble Transform Kalman Filter (ETKF)*



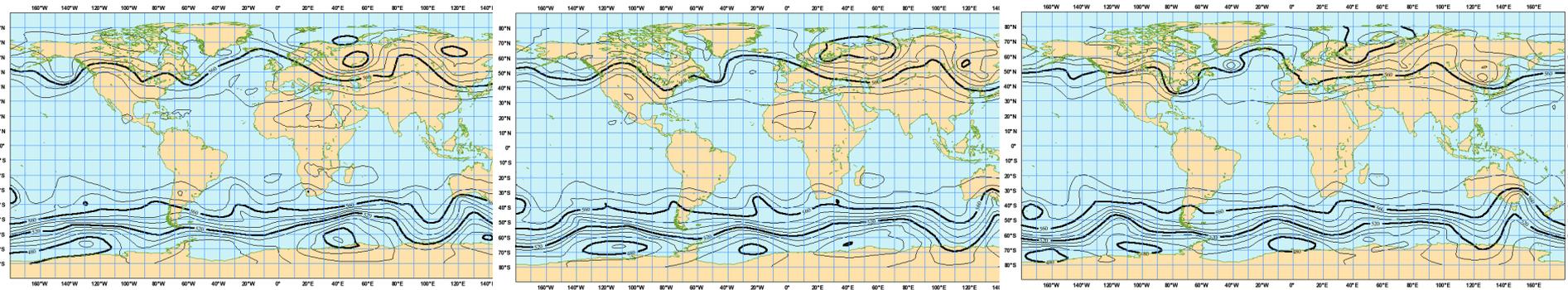
## 2. Les ingrédients d'une prévision d'ensemble *The ingredients of an ensemble prediction*

Les vecteur singuliers  
*Singular vectors*

0h

24h

48h



Prévision déterministe / *Deterministic forecast*

$$x(t) = M(x(0))$$

→ L'idée est de rechercher les directions privilégiées vers lesquelles la solution peut évoluer.

→ *The idea is to look for the most favorable directions towards which the solution may evolve.*



**METEO FRANCE**

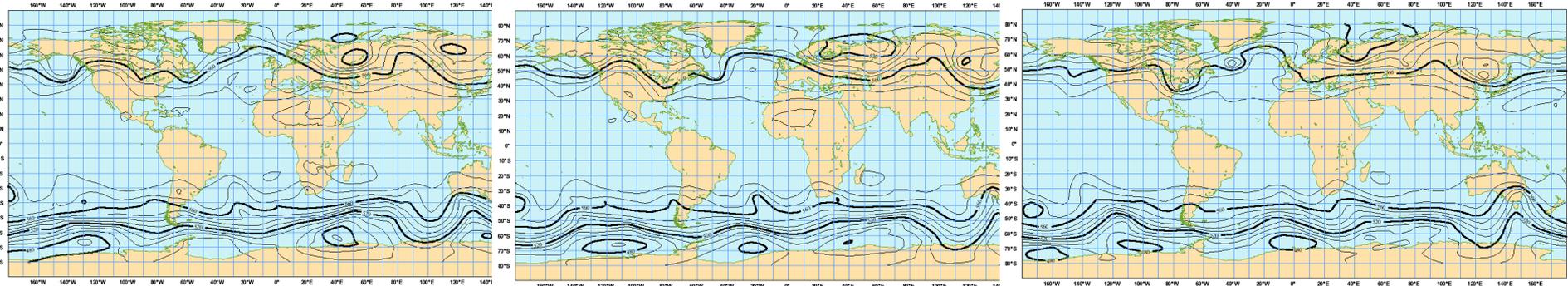
## 2. Les ingrédients d'une prévision d'ensemble *The ingredients of an ensemble prediction*

Les vecteur singuliers  
*Singular vectors*

0h

24h

48h



Prévision déterministe / *Deterministic forecast*

$$x(t) = M(x(0))$$

Les vecteurs singuliers sont les petites perturbations instables qui croissent le plus vite

*Singular vectors are the small unstable perturbations that grow the most rapidly*

$$x(t) + e(t) = M'(x(0) + e(0))$$

$$\|e(t)\| / \|e(0)\| \text{ maximal}$$

$e(t)$  infiniment petite / *infinitely small*



**METEO FRANCE**

## 2. Les ingrédients d'une prévision d'ensemble

### *The ingredients of an ensemble prediction*

Les vecteur singuliers  
*Singular vectors*

$$x(t) + e(t) = M'(x(0) + e(0))$$

$\|e(t)\| / \|e(0)\|$  maximal

$e(t)$  infiniment petite / *infinitely small*

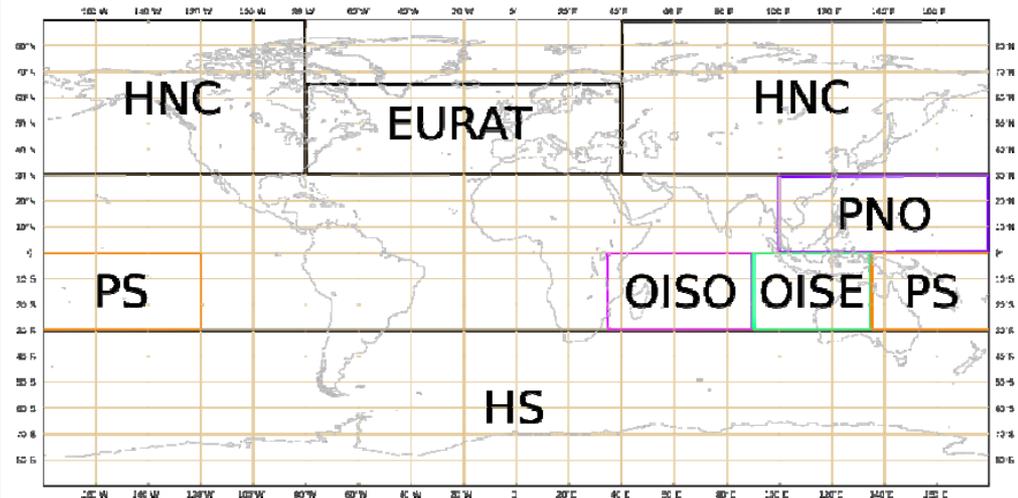
- Supposer que  $e(t)$  reste “infiniment petit” permet de linéariser le modèle  $M$  autour de la prévision, et de résoudre le problème mathématique.
- Le modèle linéarisé a en général une résolution moindre que les membres ; il incorpore ou non des processus physiques.
- Les vecteurs sont calculés entre l'instant de l'analyse et un temps final, appelé **temps d'optimisation** (48h pour EPS, 18h ou 24h pour PEARP).
- Assuming that  $e(t)$  remains “infinitely small” allows to **linearize** the model  $M$  around the forecast, and to resolve the mathematical problem.
- The linearized model has generally a lower resolution than the members; it incorporates some physical processes or not.
- The vectors are computed between the instant of the analysis and an final time, the **optimization time** (48h for EPS, 18h or 24h for PEARP).

## 2. Les ingrédients d'une prévision d'ensemble *The ingredients of an ensemble prediction*

Les vecteur singuliers  
*Singular vectors*

Exemple de domaines de calcul de la norme (PEARP) / *Example of computation domains for the norm (PEARP):*

	Temps d'optimisation <i>Optimization time</i>	Resolution	Norme norm
EURAT	18h	~200km	Energie totale Total energy
HNC, HS	24h	~200km	Energie totale Total energy
Tropiques/ tropics	18h	~200km	Energie cinétique Kinetic energy

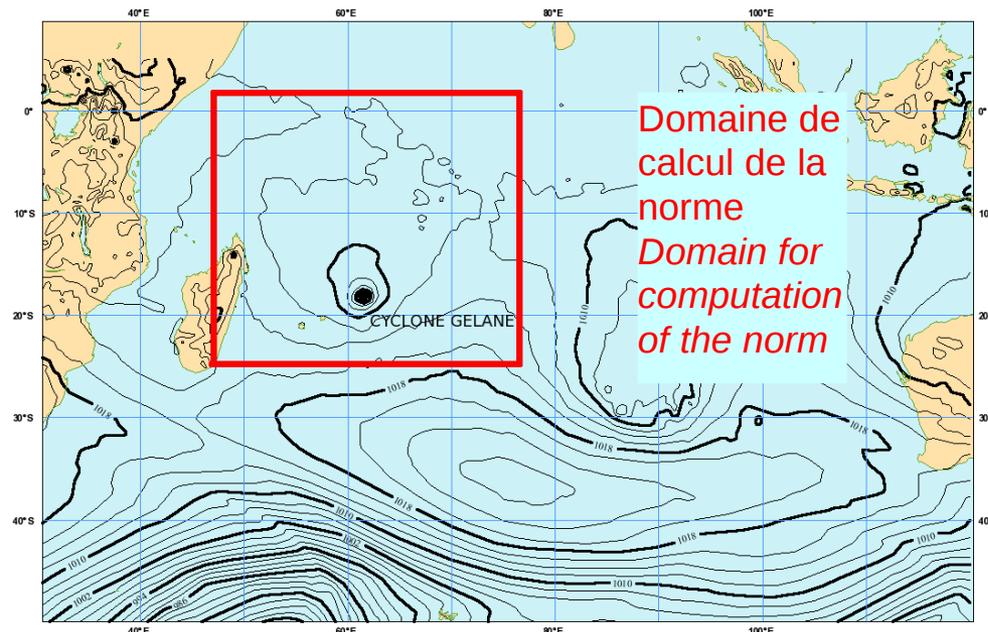


## 2. Les ingrédients d'une prévision d'ensemble

### *The ingredients of an ensemble prediction*

Les vecteur singuliers  
*Singular vectors*

- Le CEPMMT utilise des vecteurs singuliers "ciblés" autour des cyclones tropicaux
- La norme est l'énergie totale
- Le modèle linéarisé incorpore des processus physiques
- *ECMWF uses some "targeted" singular vectors around tropical cyclones*
- *Total energy norm*
- *The linearized model incorporates some physical processes*



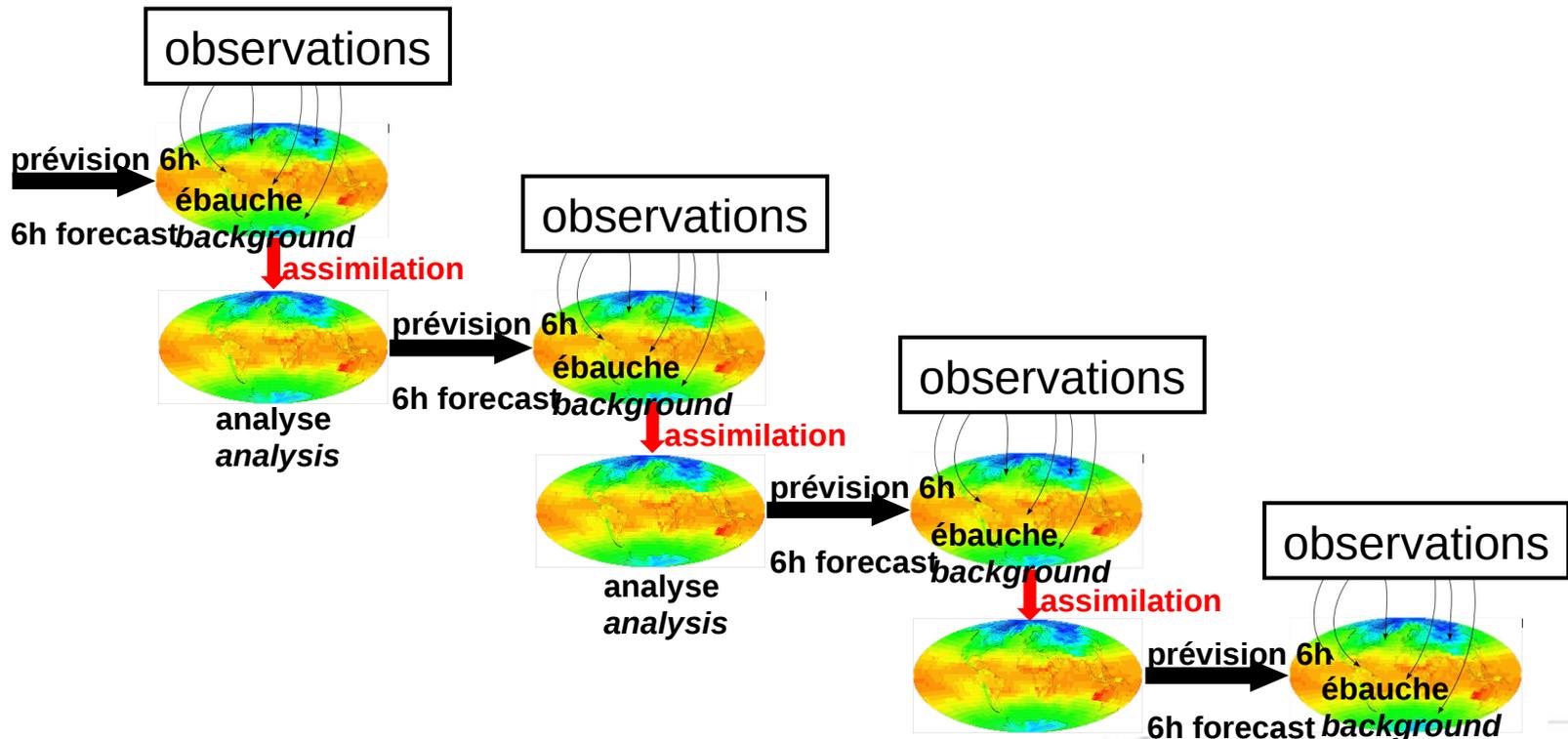
## 2. Les ingrédients d'une prévision d'ensemble

### *The ingredients of an ensemble prediction*

Observations perturbées  
*Perturbed observations*

- Objectif : On cherche à estimer l'incertitude de l'analyse en la propageant dans le cycle d'assimilation

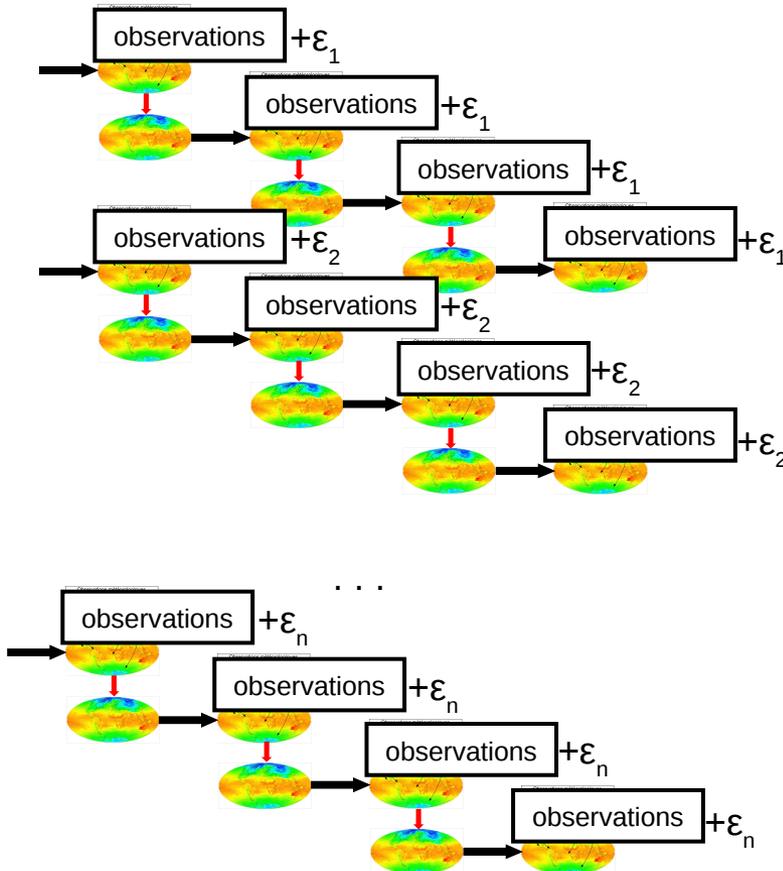
- Aim : The method aims at estimating the uncertainty of the analysis by propagating it in the assimilation cycle*



## 2. Les ingrédients d'une prévision d'ensemble

### *The ingredients of an ensemble prediction*

Observations perturbées  
*Perturbed observations*



- Méthode : On ajoute des perturbations aléatoires  $\epsilon$  aux observations. L'écart entre les analyses perturbées est ajusté (normalisé) à une valeur fixe. On réalise un ensemble d'assimilation.
- *Method : Random perturbations  $\epsilon$  are added to the observations. The spread between the perturbed analyses is fitted (normalized) to a fixed value. We use an ensemble of assimilation.*

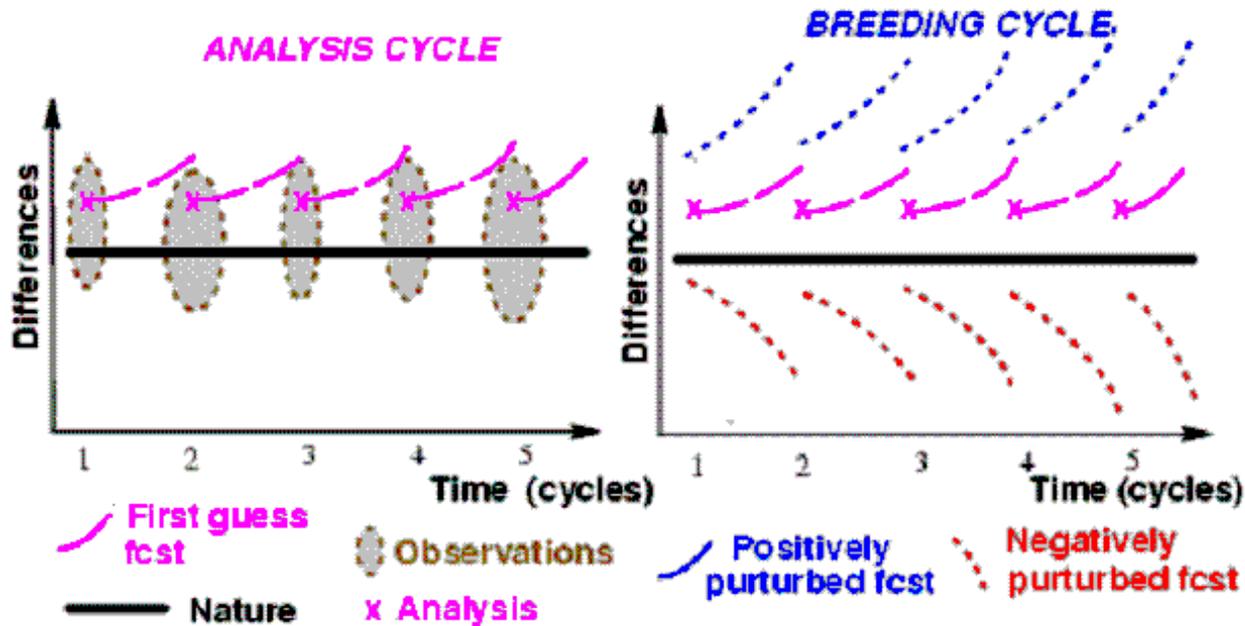


## 2. Les ingrédients d'une prévision d'ensemble

### *The ingredients of an ensemble prediction*

Ensemble Transform  
Kalman Filter

- Méthode basée sur la “culture” de petites perturbations
- A chaque étape d'analyse, les perturbations sont réorganisées pour coller à la variance d'erreur d'analyse
- Method based on the “breeding” of small perturbations
- At every analysis step, the perturbations are reorganized so that to fit to the variance of analysis error



## 2. Les ingrédients d'une prévision d'ensemble

### *The ingredients of an ensemble prediction*

Description des principaux systèmes  
*Description of the main systems*

- Comment prendre en compte l'incertitude due au modèle ?
  - Ensemble multi-modèle
  - Physique différente
  - Physique stochastique (perturbation aléatoire des coefficients de paramétrisation)
- La plus grande source d'incertitude provient des phénomènes sous-maille représentés par les paramétrisations physiques
- *How to take into account the model uncertainty?*
  - *Multi-model ensemble*
  - *Different physics*
  - *Stochastic physics (random disturbance of parametrization coefficients)*
- *The largest source of uncertainty comes from the under-mesh processes represented by the physical parametrizations*



## 2. Les ingrédients d'une prévision d'ensemble

### *The ingredients of an ensemble prediction*

Description des principaux systèmes  
*Description of the main systems*

	Centre	Number of members	Resolution	Initial perturbations	Model perturbations
EPS	CEPMMT ECMWF	51	32 km	Singular vectors + perturbed observations	Physics (stochastic)
PEARP	Météo-France	35	10 km France ~35 km Océan Indien	Singular vectors + perturbed observations	Physics
MO GREPS	UK Met Office	46 (7days) 24 (15 days)	33 km 60 km	ET KF ET KF	- Physics
	CMC (Canada)	21	~100 km	Perturbed observations	Physics
GEFS	NCEP (USA)	21	~100 km	ET Rescaled	Stochastic total tendency

# Plan

1. Principes généraux
2. Les ingrédients d'une prévision d'ensemble
3. Les produits d'une prévision d'ensemble
  - Produits généraux
  - Produits « cyclones »
4. Evaluation des prévisions
5. Conclusion

1. *General principles*
2. *The ingredients of an ensemble prediction*
3. *The outputs of an ensemble prediction*
  - *General products*
  - *« Cyclone » products*
4. *Evaluation of the forecasts*
5. *Conclusion*

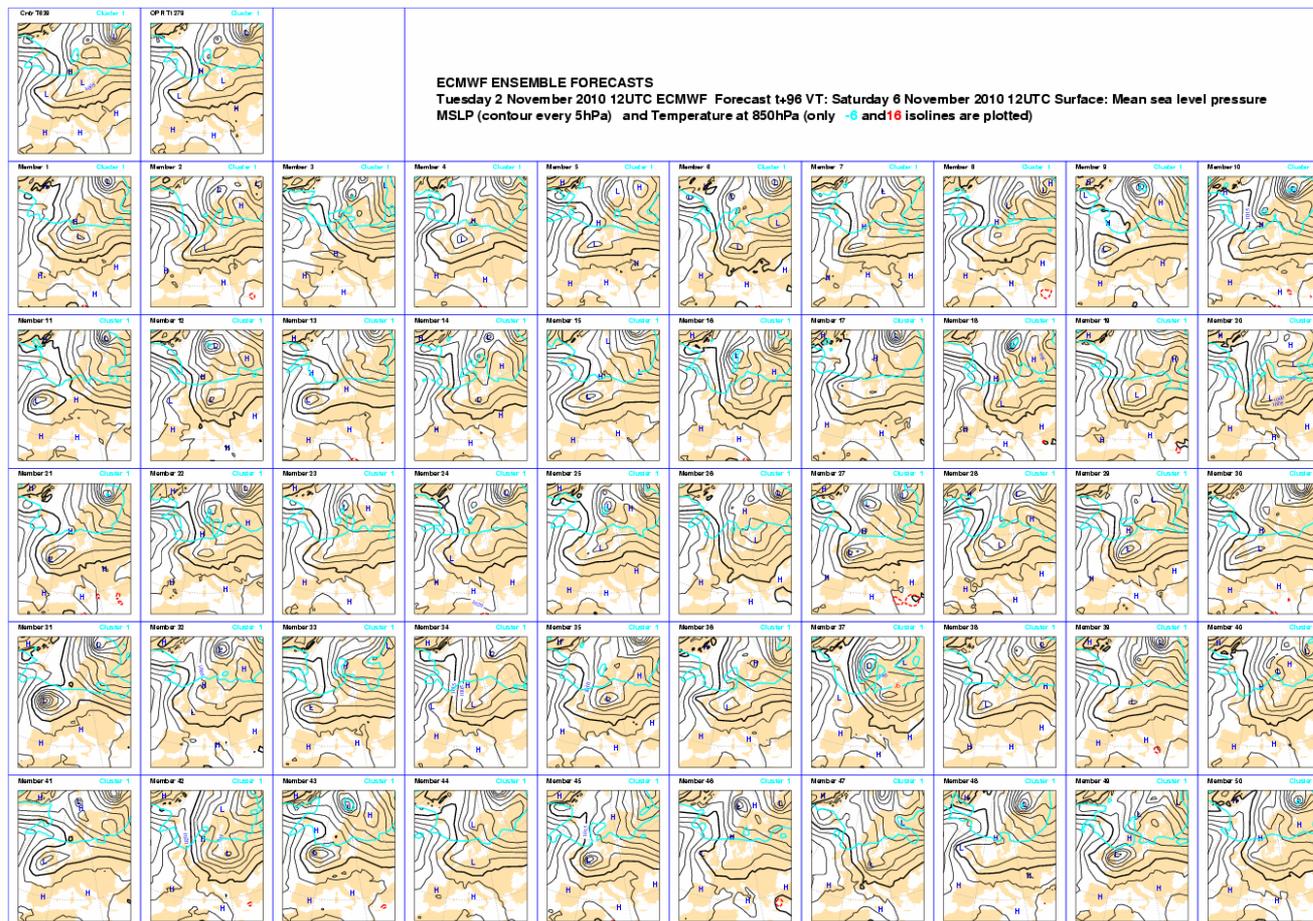


# 3. Les produits d'une prévision d'ensemble

## *The outputs of an ensemble prediction*

Les membres  
*The members*

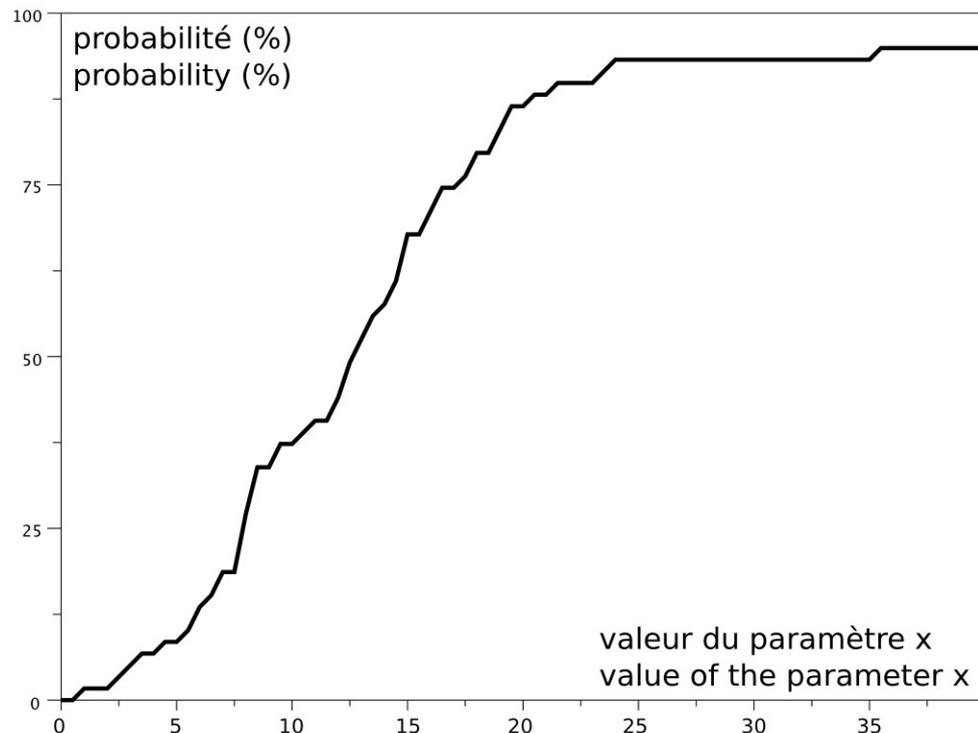
- Les différents membres prévus sont supposés **équiprobables**
- The different forecast members are supposed **equiprobables***



### 3. Les produits d'une prévision d'ensemble *The outputs of an ensemble prediction*

Les membres  
*The members*

- En chaque point de la carte, pour chaque paramètre prévu, une **distribution de probabilité prévue** est déduite.
- *At every point of the map, for every predicted parameter, a **distribution of forecast probability** is deduced.*



### 3. Les produits d'une prévision d'ensemble

#### *The outputs of an ensemble prediction*

Dispersion  
Spread

- Nécessité de mesurer l'incertitude
  - Écart-type
  - Dispersion par boîte à moustache
  - Probabilité de dépassement de seuil
  - Quantiles
  - Index de prévision extrême (EPI)
- *Requirement to measure the uncertainty*
  - *Standard deviation*
  - *Spread by box plot*
  - *Probability of value above a threshold*
  - *Quantiles*
  - *Extreme Forecast Index (EPI)*



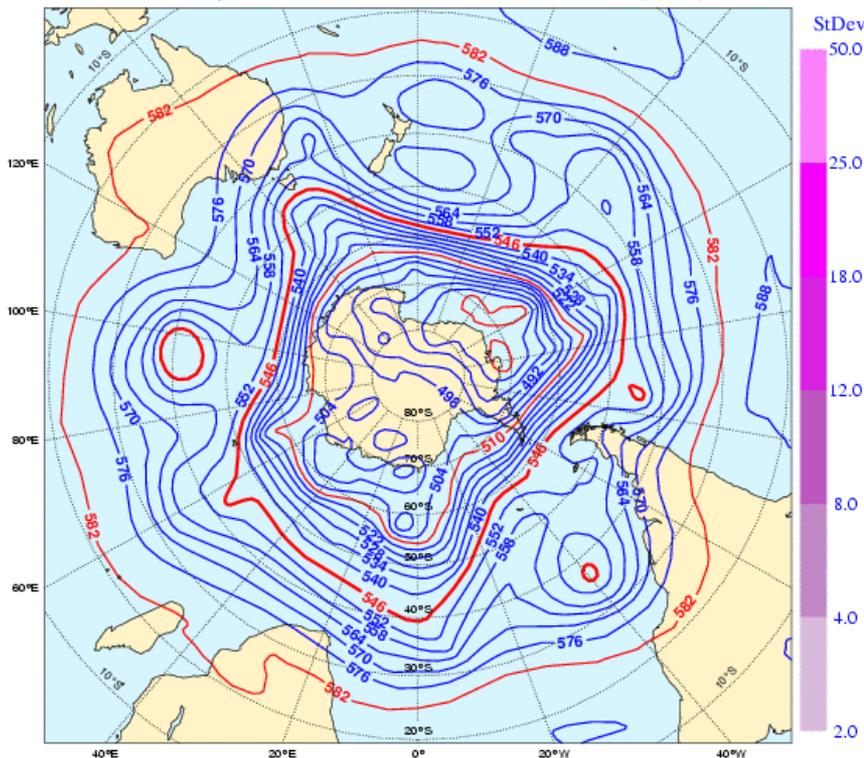
# 3. Les produits d'une prévision d'ensemble

## *The outputs of an ensemble prediction*

Dispersion  
Spread

- Evaluation de l'écart-type en lien avec la prévision déterministe
- *Assessment of standard deviation linked with the determinist forecast*

Tuesday 2 November 2010 12UTC ECMWF Forecast t+0 VT: Tuesday 2 November 2010 12UTC  
500hPa Geopotential Deterministic Forecast and Standard Deviation (shaded)



$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2$$

0h



**METEO FRANCE**

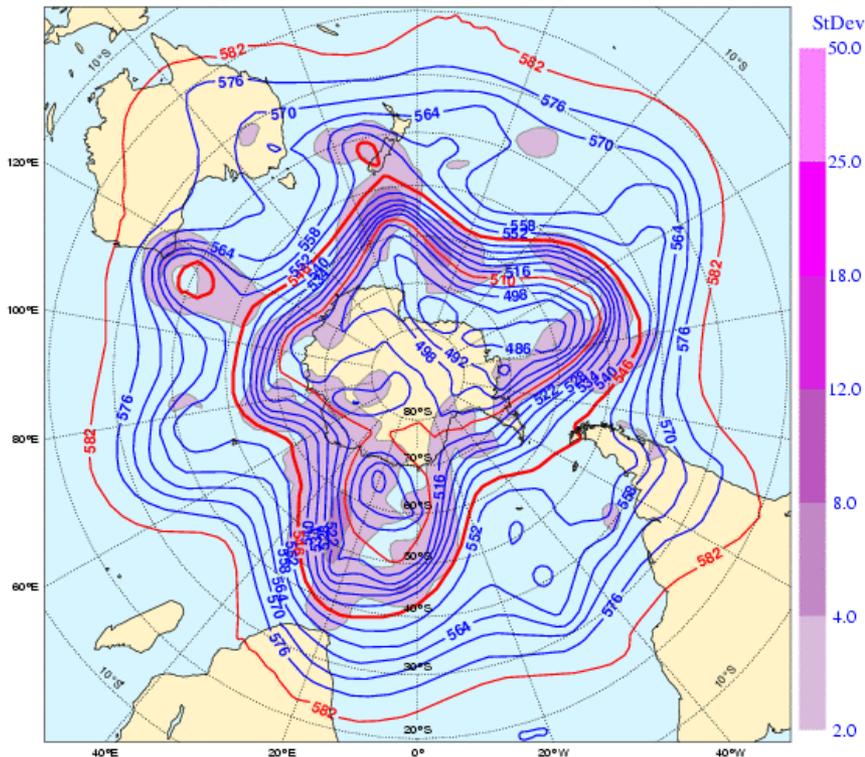
# 3. Les produits d'une prévision d'ensemble

## *The outputs of an ensemble prediction*

Dispersion  
Spread

- Evaluation de l'écart-type en lien avec la prévision déterministe
- *Assessment of standard deviation linked with the determinist forecast*

Tuesday 2 November 2010 12UTC ECMWF Forecast t+48 VT: Thursday 4 November 2010 12UTC  
500hPa Geopotential Deterministic Forecast and Standard Deviation (shaded)



$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2$$

48h



METEO FRANCE

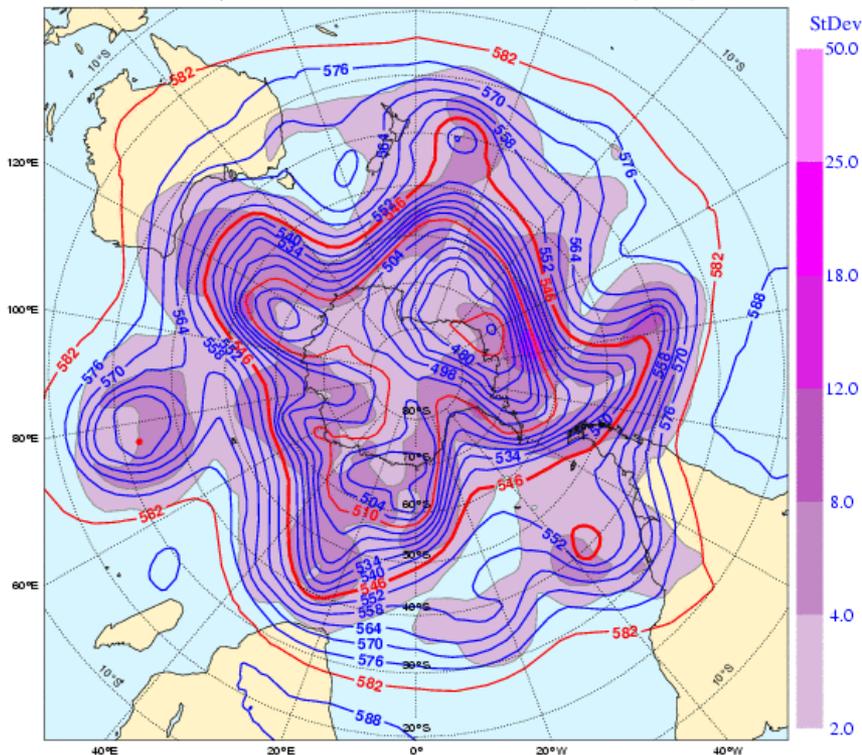
# 3. Les produits d'une prévision d'ensemble

## *The outputs of an ensemble prediction*

Dispersion  
Spread

- Evaluation de l'écart-type en lien avec la prévision déterministe
- *Assessment of standard deviation linked with the determinist forecast*

Tuesday 2 November 2010 12UTC ECMWF Forecast t+96 VT: Saturday 6 November 2010 12UTC  
500hPa Geopotential Deterministic Forecast and Standard Deviation (shaded)



96h

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2$$



**METEO FRANCE**

# 3. Les produits d'une prévision d'ensemble

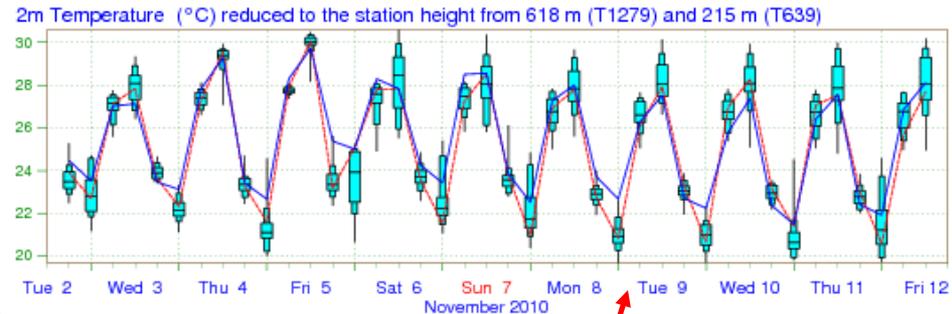
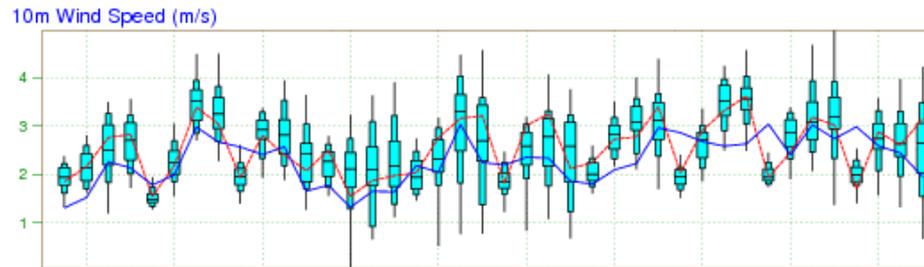
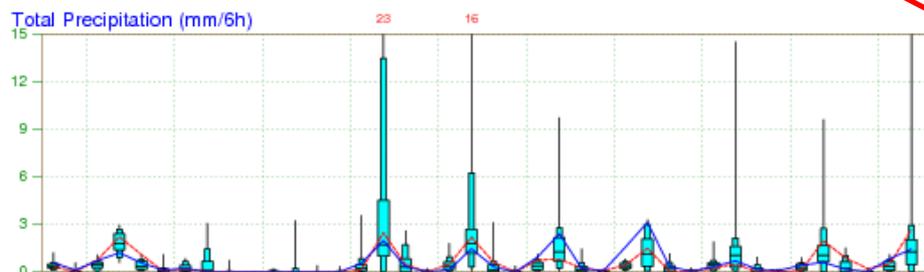
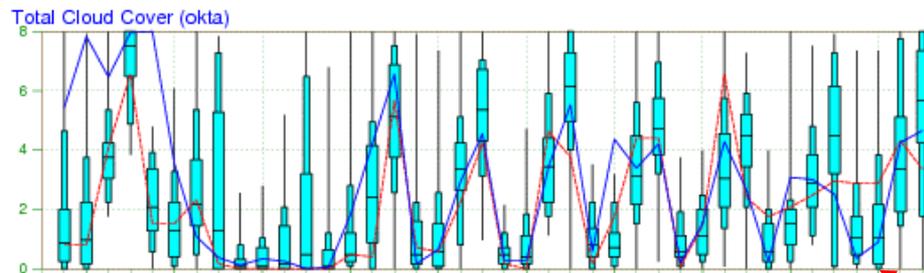
## *The outputs of an ensemble prediction*

Dispersion  
Spread

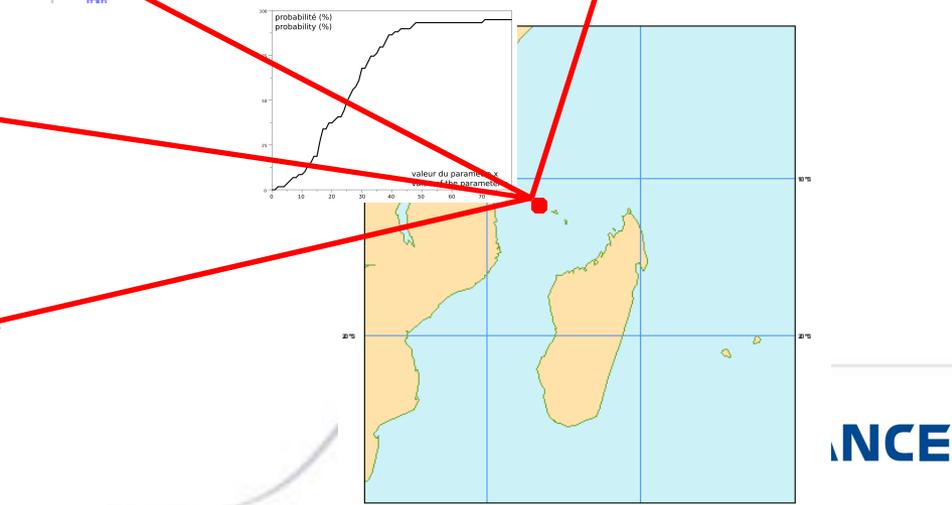
■ Les EPSgrams utilisent la dispersion

■ *EPSgrams use spread*

EPS Meteogram  
Moroni 11.66° S 43.31° E (EPS land point) 35 m  
Deterministic Forecast and EPS Distribution Tuesday 2 November 2010 12 UTC



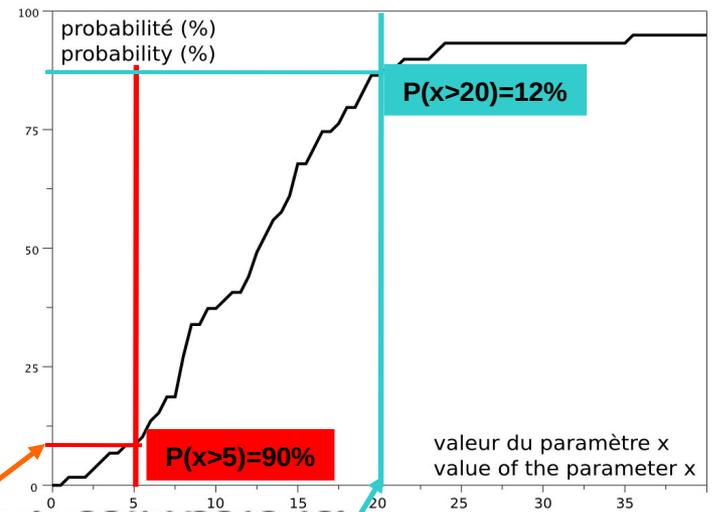
Tue 2 Wed 3 Thu 4 Fri 5 Sat 6 Sun 7 Mon 8 Tue 9 Wed 10 Thu 11 Fri 12  
November 2010



### 3. Les produits d'une prévision d'ensemble *The outputs of an ensemble prediction*

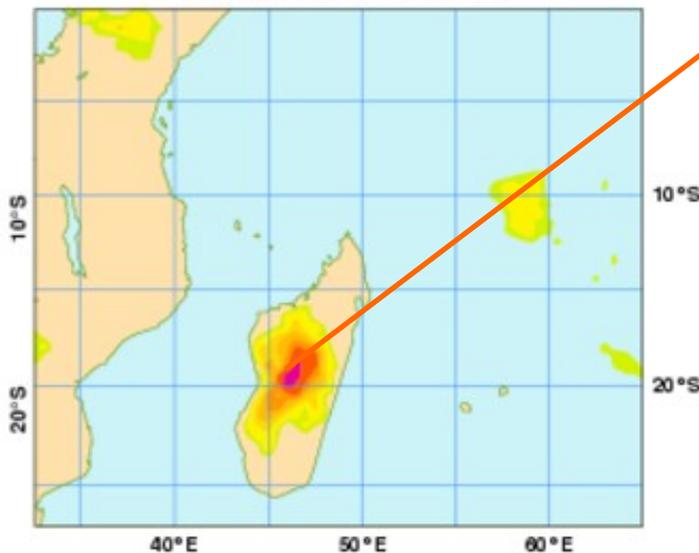
Probabilités / Probabilities

- Probabilité de dépassement de seuil en un point
- *Probability of value above a threshold at a point*



EPS du 02/11/2010 0h, echeance 42h, valide le 03/11/2010 18h

Probabilite RR6 > 5mm



Probabilite RR6 > 20mm



# 3. Les produits d'une prévision d'ensemble

## *The outputs of an ensemble prediction*

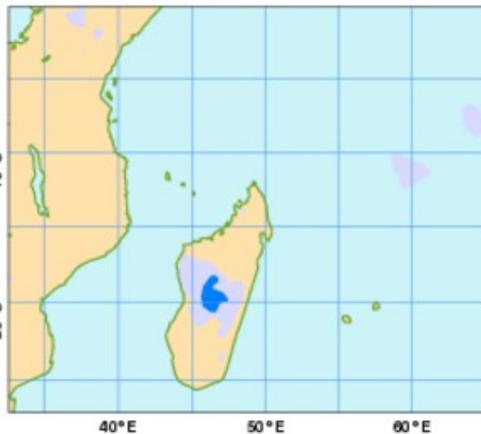
Probabilités / Probabilities

- Quantiles en un point

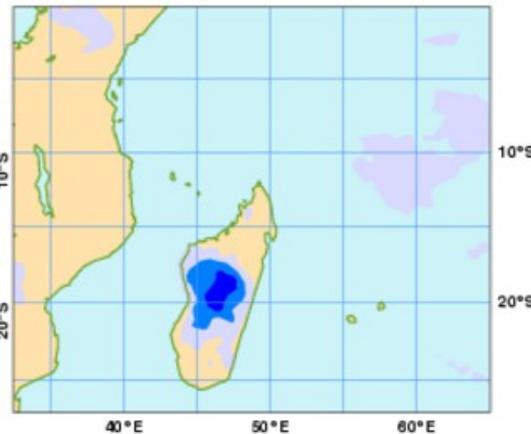
- Quantiles at a point

EPS du 02/11/2010 0h, echeance 42h, valide le 03/11/2010 18h

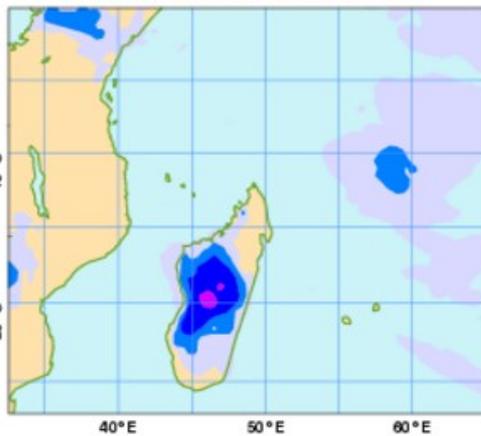
Quantile 25 - RR6 - unites : mm



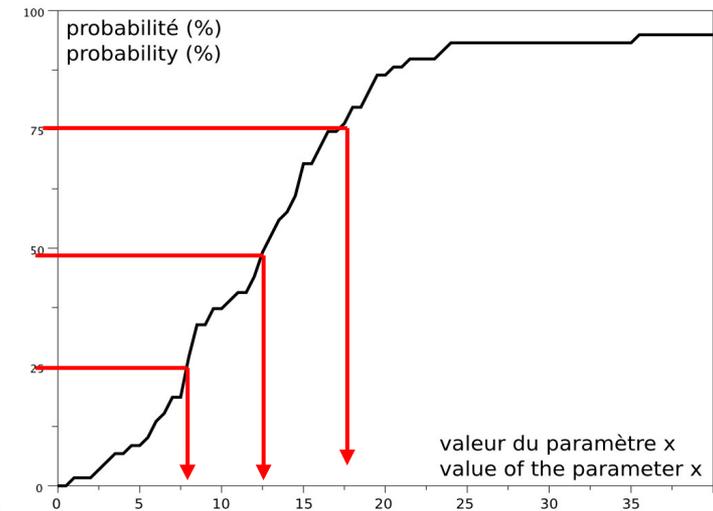
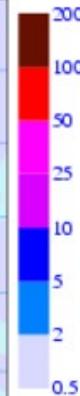
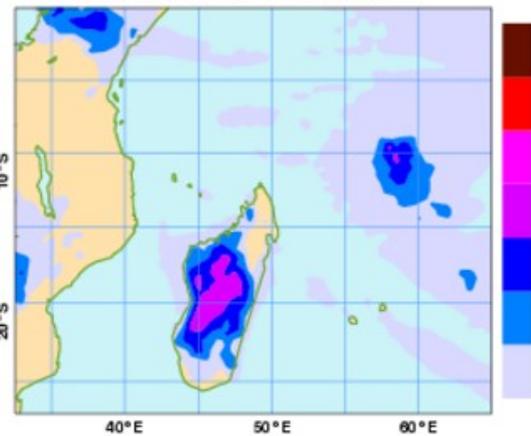
Quantile 50 - RR6 - unites : mm



Quantile 75 - RR6 - unites : mm



Quantile 90 - RR6 - unites : mm



METEO FRANCE

# 3. Les produits d'une prévision d'ensemble

## *The outputs of an ensemble prediction*

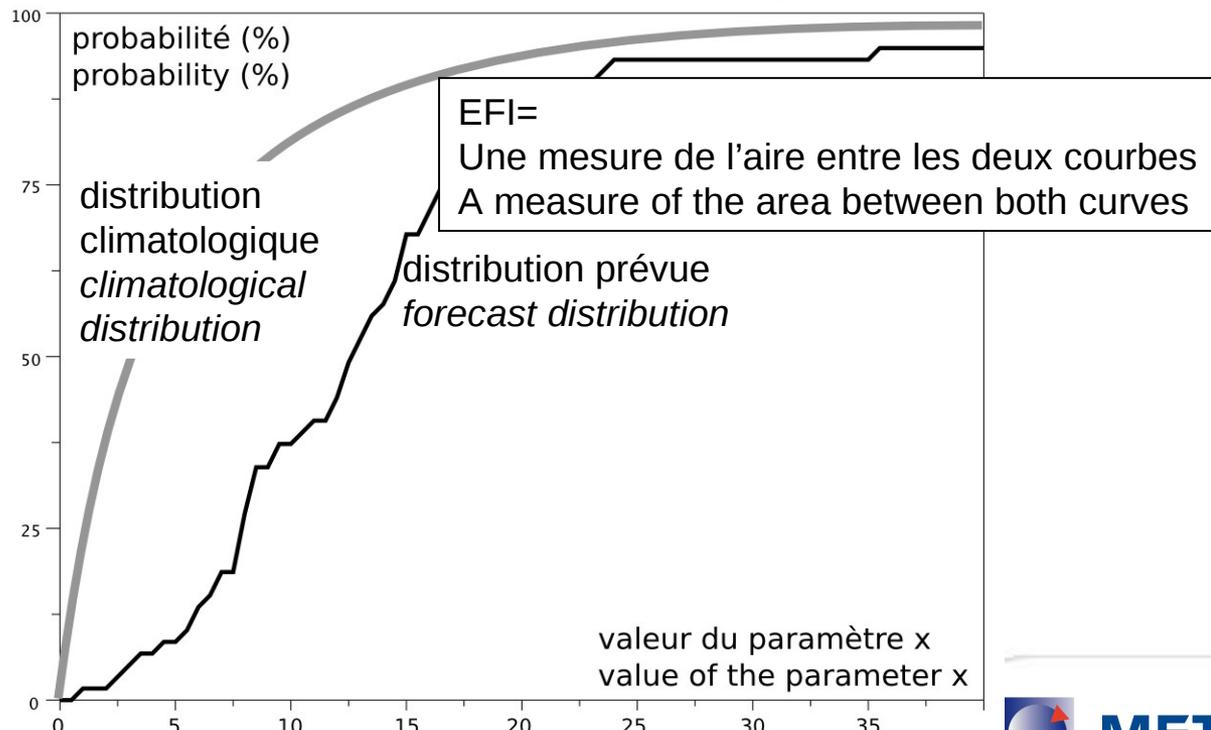
Probabilités / Probabilities

### ■ Extreme Forecast Index (EFI)

- Objectif: prévoir les événements extrêmes (vent, précipitations), par rapport à la climatologie du modèle
- Indique si le modèle prévoit des valeurs inhabituelles

### ■ Extreme Forecast Index (EFI)

- *Aim: forecasting the extreme events (wind, precipitations), taking into account the model climatology*
- *Indicates whether the model predicts unusual values*



**METEO FRANCE**

# 3. Les produits d'une prévision d'ensemble

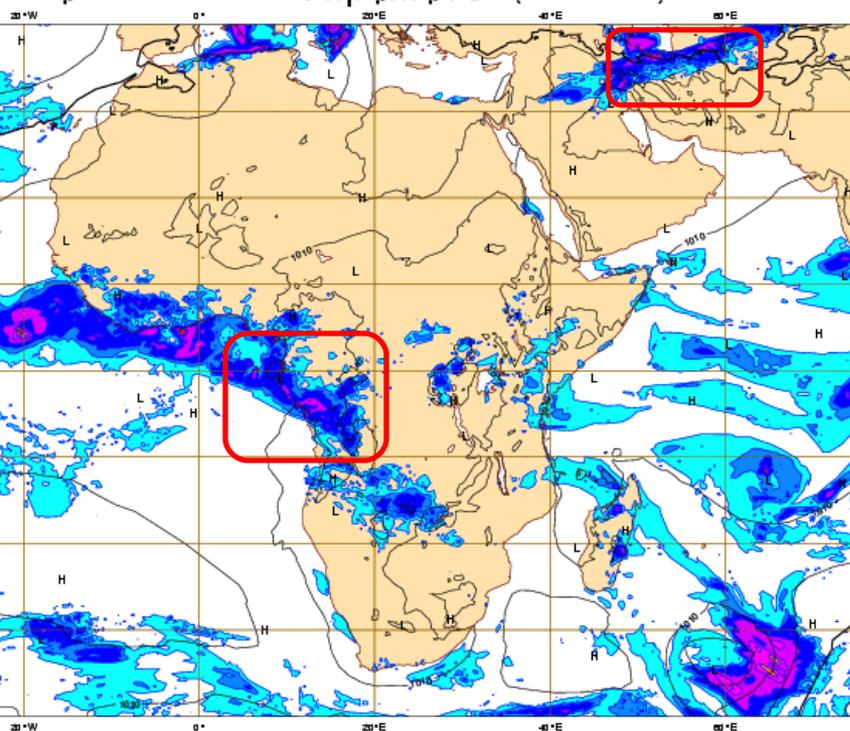
## *The outputs of an ensemble prediction*

Probabilités / Probabilities

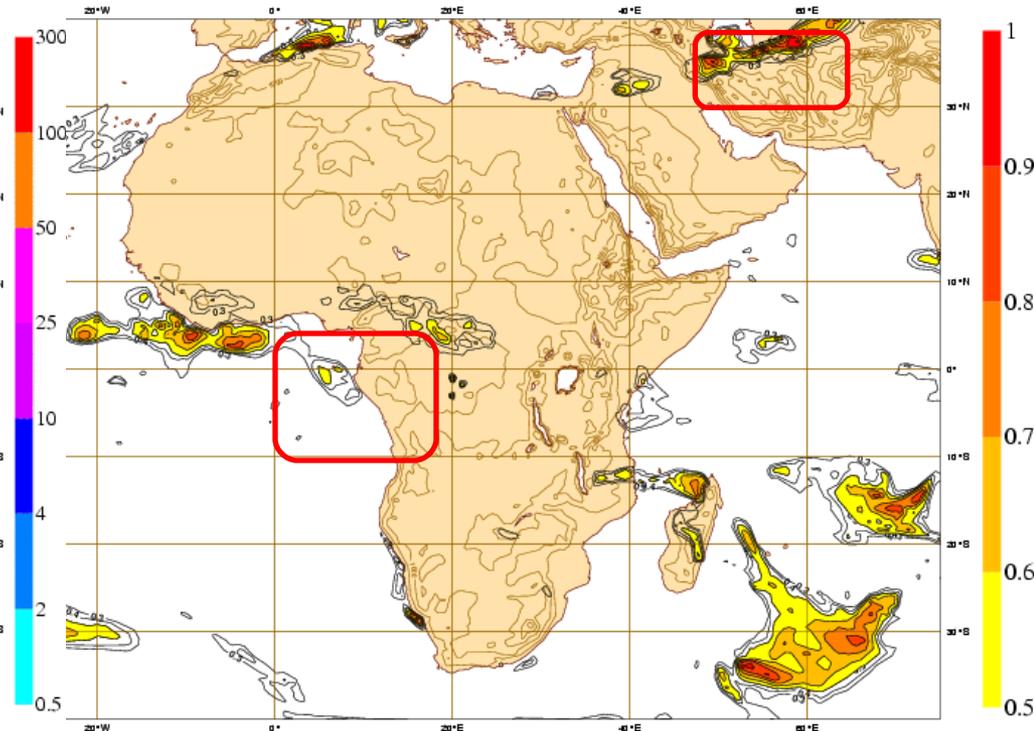
- Extreme Forecast Index (EFI)
  - Objectif: prévoir les événements extrêmes (vent, précipitations), par rapport à la climatologie du modèle
  - Indique si le modèle prévoit des valeurs inhabituelles

- Extreme Forecast Index (EFI)
  - *Aim: forecasting the extreme events (wind, precipitations), taking into account the model climatology*
  - *Indicates whether the model predicts unusual values*

Précipitations 24h



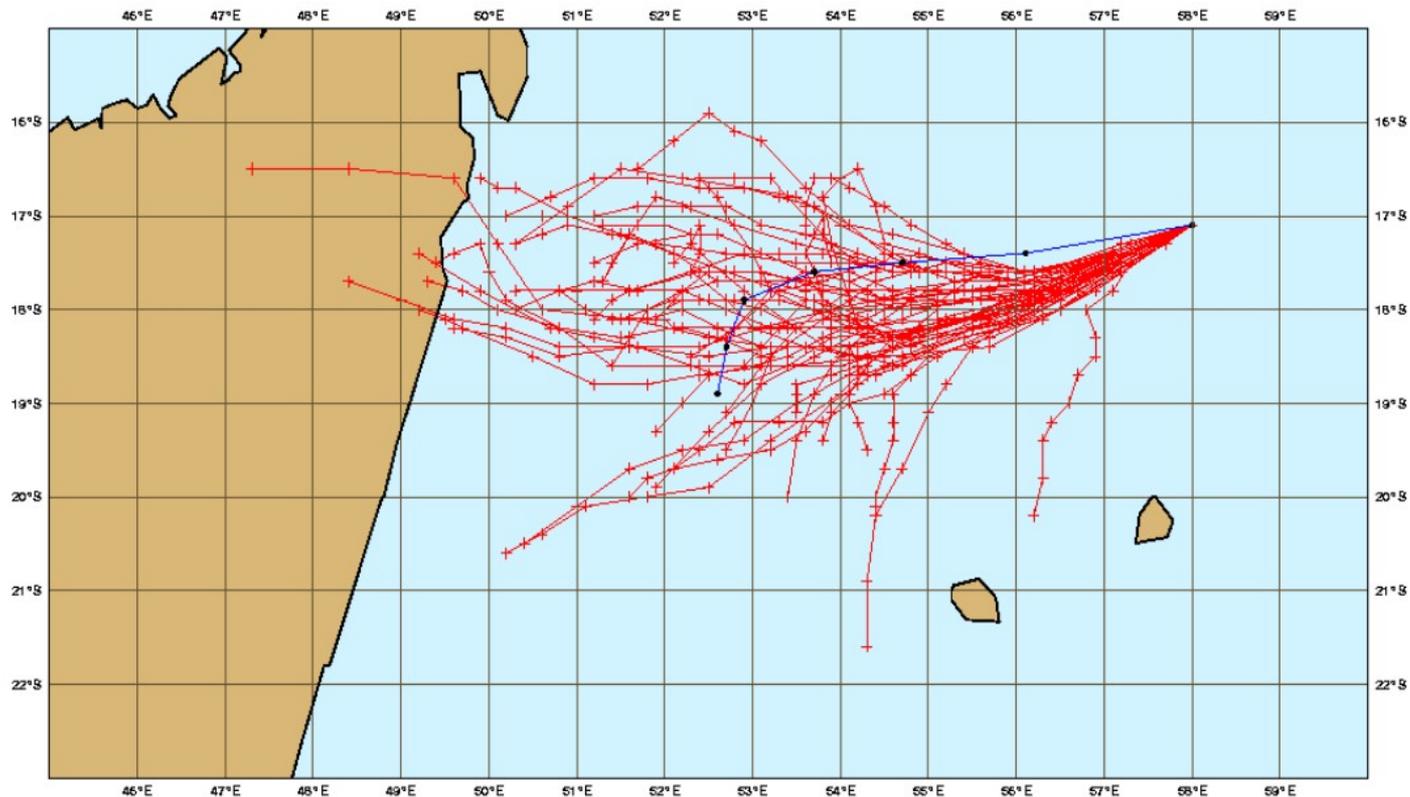
EFI Précipitations 24h



### 3. Les produits d'une prévision d'ensemble *The outputs of an ensemble prediction*

Produits cyclone  
*Cyclone products*

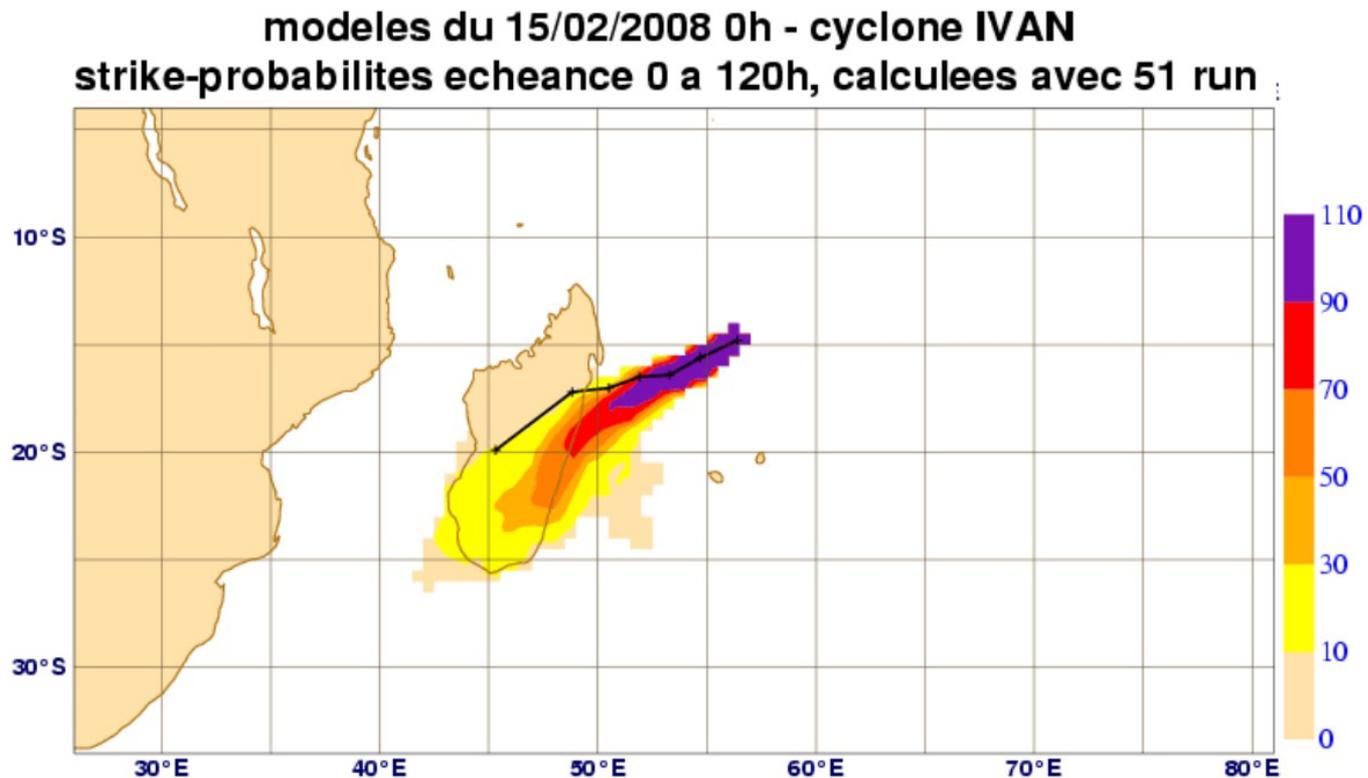
- Trajectoires du cyclone prévues par les membres
- *Trajectories of the cyclone forecasted by the members*



### 3. Les produits d'une prévision d'ensemble *The outputs of an ensemble prediction*

Produits cyclone  
*Cyclone products*

- Strike probabilités : probabilité qu'un cyclone tropical passe dans un rayon de 120 km dans les prochaines 120 h.
- *Strike probabilities : probability that a tropical cyclone will pass within a 120km radius during the next 120h.*

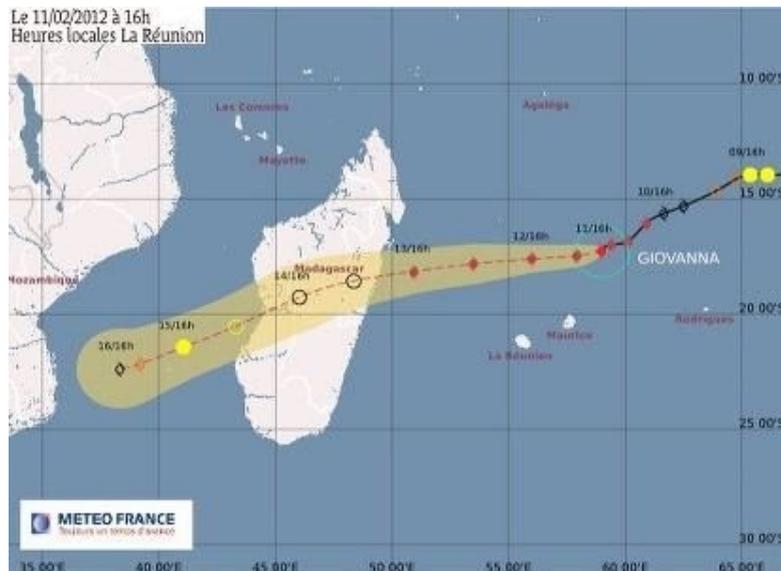


# 3. Les produits d'une prévision d'ensemble

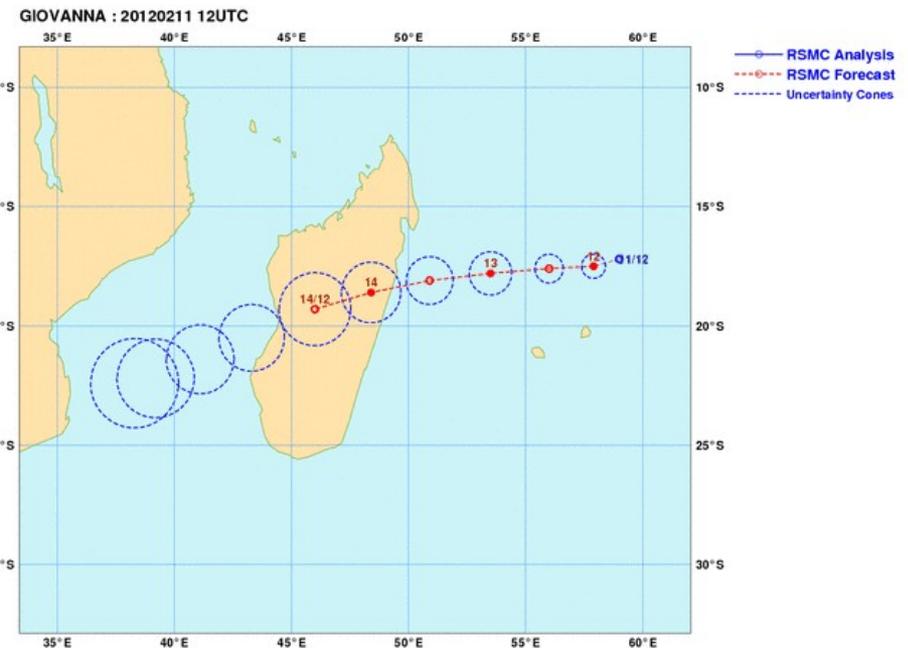
## *The outputs of an ensemble prediction*

Produits cyclone  
*Cyclone products*

- Cone d'incertitude de la prévision de trajectoire du CMRS
- *Uncertainty cone of the RSMC*



Site internet public du CMRS de la Réunion  
*Public Website of RSMC La réunion*



Site internet SWFDP (accès restreint)  
Southern Africa SWFDP Website  
(Restricted Acces)

### 3. Les produits d'une prévision d'ensemble *The outputs of an ensemble prediction*

Produits cyclone  
*Cyclone products*

- Spaghettis Pmer pour la détection de la cyclogenèse
- *MSLP spaghettis for the detection of cyclogenesis*

**EPS du 02/11/2010 12h, echeance 36h, valide le 04/11/2010 00h**

Pmer - isoligne 998 hPa



Pmer - isoligne 1000 hPa



Pmer - isoligne 1004 hPa



Pmer - isoligne 1008 hPa



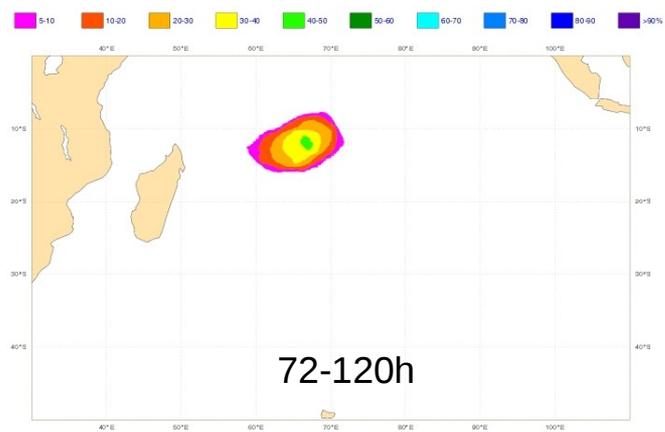
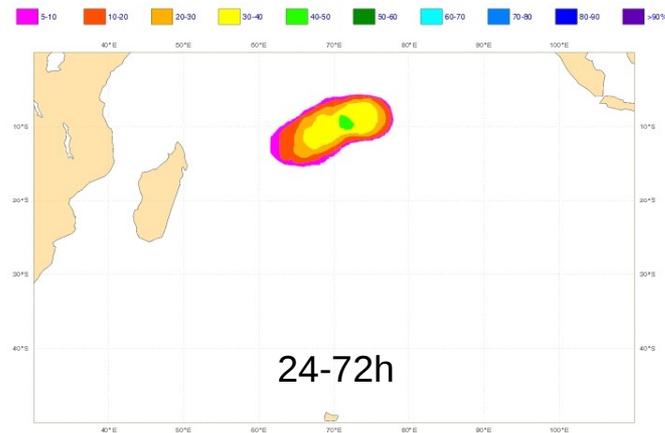
**METEO FRANCE**

# 3. Les produits d'une prévision d'ensemble

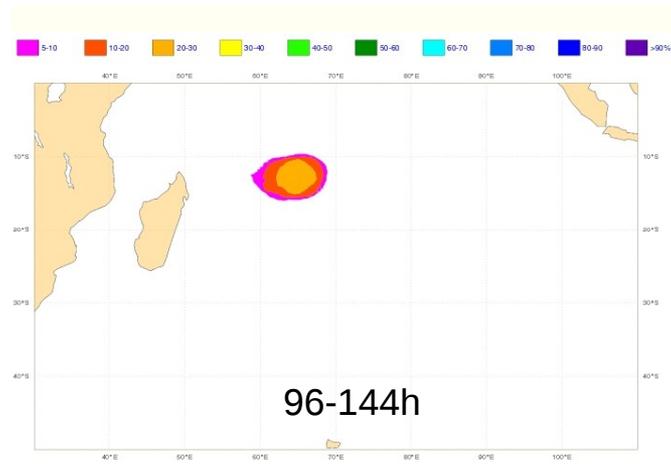
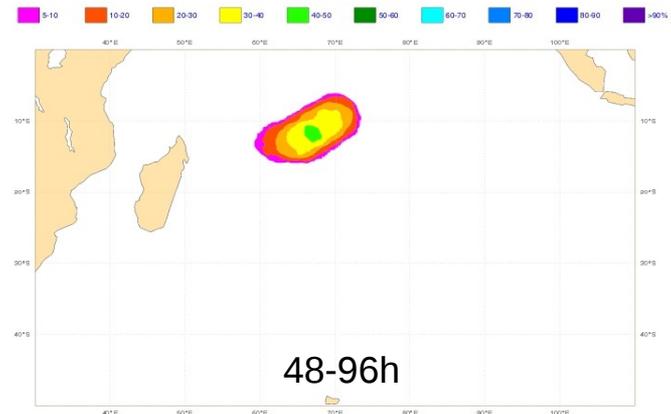
## *The outputs of an ensemble prediction*

Produits cyclone  
Cyclone products

- Strike probabilités pour la détection de la cyclogenèse



- *Strike probabilities for the detection of cyclogenesis*



# Plan

1. Principes généraux
2. Les ingrédients d'une prévision d'ensemble
3. Les produits d'une prévision d'ensemble
4. Evaluation des prévisions
  - Comment vérifier une prévision d'ensemble?
  - Paramètres de qualité
  - Scores
5. Conclusion

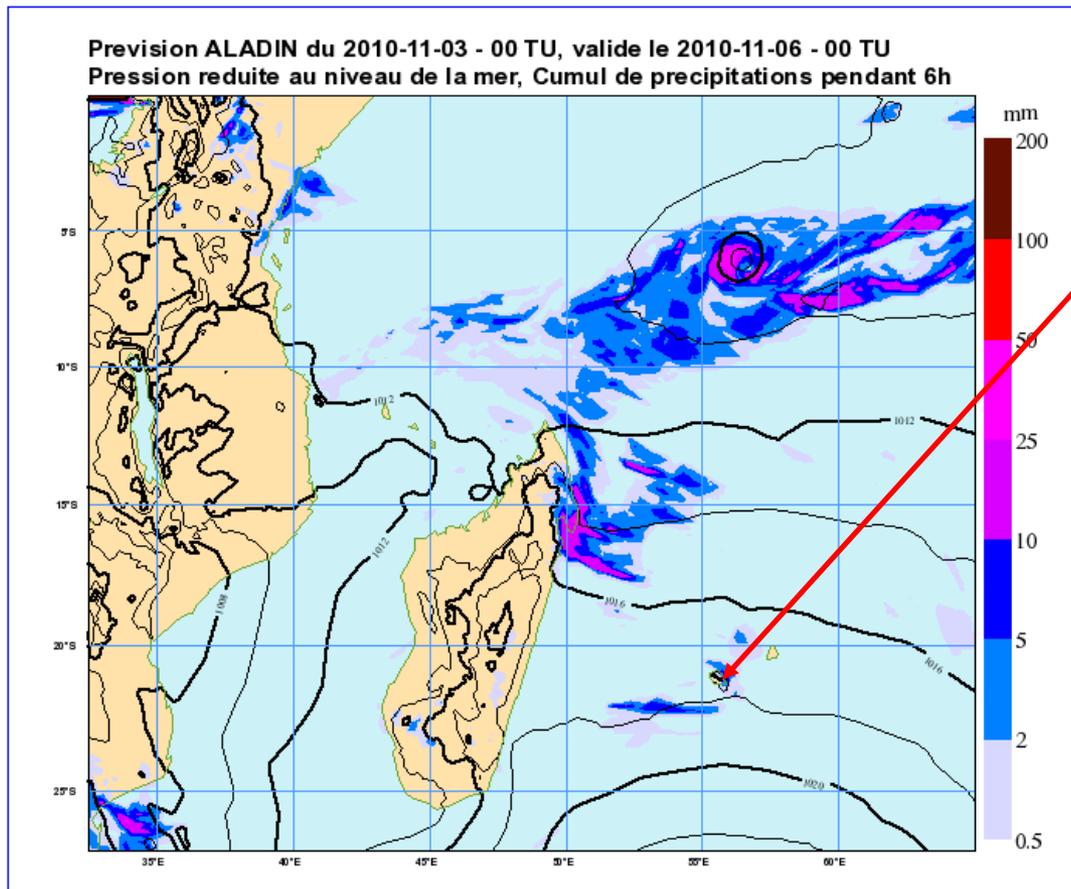
1. *General principles*
2. *The ingredients of an ensemble prediction*
3. *The outputs of an ensemble prediction*
4. *Evaluation of the forecasts*
  - *How to verify ensemble prediction?*
  - *Quality parameters*
  - *Scores*
5. *Conclusion*



# 4. Evaluation des prévisions

## *Evaluation of the forecasts*

- Une prévision déterministe peut être comparée à une observation
- *A deterministic forecast may be compared to an observation*



Exemple :  
prévision 8mm/6h  
peut être comparée à l'observation

*Example:  
Forecast 8mm/6h  
may be compared to the observation*

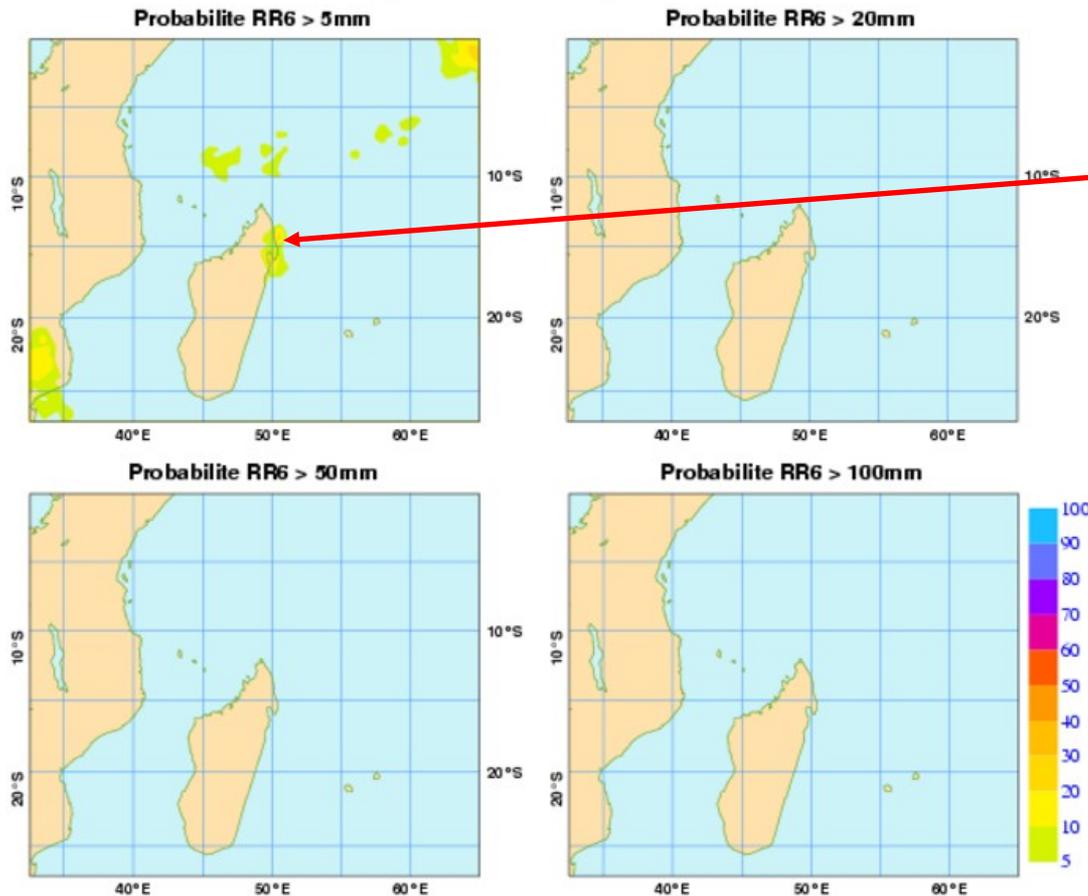


# 4. Evaluation des prévisions

## *Evaluation of the forecasts*

- Comment vérifier et évaluer une prévision d'ensemble ?
- *How to verify and evaluate an ensemble forecast?*

EPS du 02/11/2010 12h, echeance 84h, valide le 06/11/2010 00h



La probabilité qu'il pleuve au moins 5mm pendant 6h est de 20%.  
S'il pleut effectivement, la prévision est-elle bonne ?  
S'il ne pleut pas, la prévision est-elle bonne ?

*The probability that rain is over 5mm for 6h is 20%.  
If it actually rains, is it a good forecast?  
If it does not rain, is it a good forecast?*



## 4. Evaluation des prévisions *Evaluation of the forecasts*

- Comment vérifier et évaluer une prévision d'ensemble ?
- *How to verify and evaluate an ensemble forecast?*

EPS du 02/11/2010 12h, echeance 84h, valide le 06/11/2010 00h

Probabilite RR6 > 5mm

Probabilite RR6 > 20mm



**On ne peut pas comparer une probabilité prévue à une valeur observée → on ne peut pas mesurer la qualité d'une prévision d'ensemble sur un cas !**

***It is not possible to compare a predicted probability with an observed value → the quality of a single ensemble forecast cannot be assessed !***



**METEO FRANCE**

# 4. Evaluation des prévisions

## *Evaluation of the forecasts*

Paramètres de qualité  
*Quality parameters*

- Evaluation de la qualité globale du modèle et non en lien avec une prévision
- Besoin de grands échantillons pour avoir des scores significatifs
  - Amélioration par calibration
- Paramètres de qualité = scores
  - Fiabilité
  - Résolution
  - Score de Brier
  - Courbe ROC
- *Assessment of the overall quality of the model and not specific to a forecast*
- *Need large samples to have significant scores*
  - *Improvement by calibration*
- *Quality parameters = scores*
  - *Reliability*
  - *Resolution*
  - *Brier Score*
  - *ROC plot*



# 4. Evaluation des prévisions

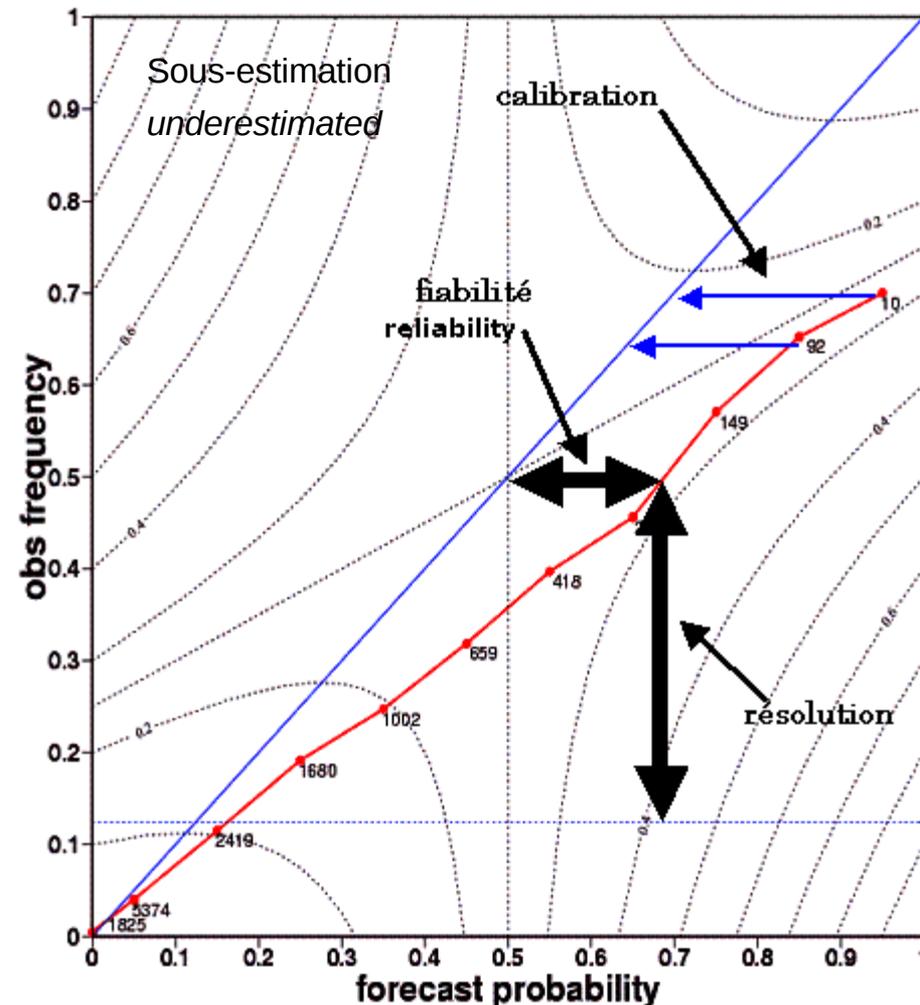
## *Evaluation of the forecasts*

Paramètres de qualité  
*Quality parameters*

- Fiabilité : accord entre probabilités prévues et fréquences observées
- Plus la fiabilité a une valeur petite, mieux c'est
- La fiabilité peut être améliorée en **calibrant** le système.

$$\text{fiabilité / reliability} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i (p_i - o_i)^2$$

- *Reliability : agreement between predicted probabilities and observed frequencies*
- *The smaller the reliability is, the better it is.*
- *The reliability may be improved by **calibrating** the system*



# 4. Evaluation des prévisions

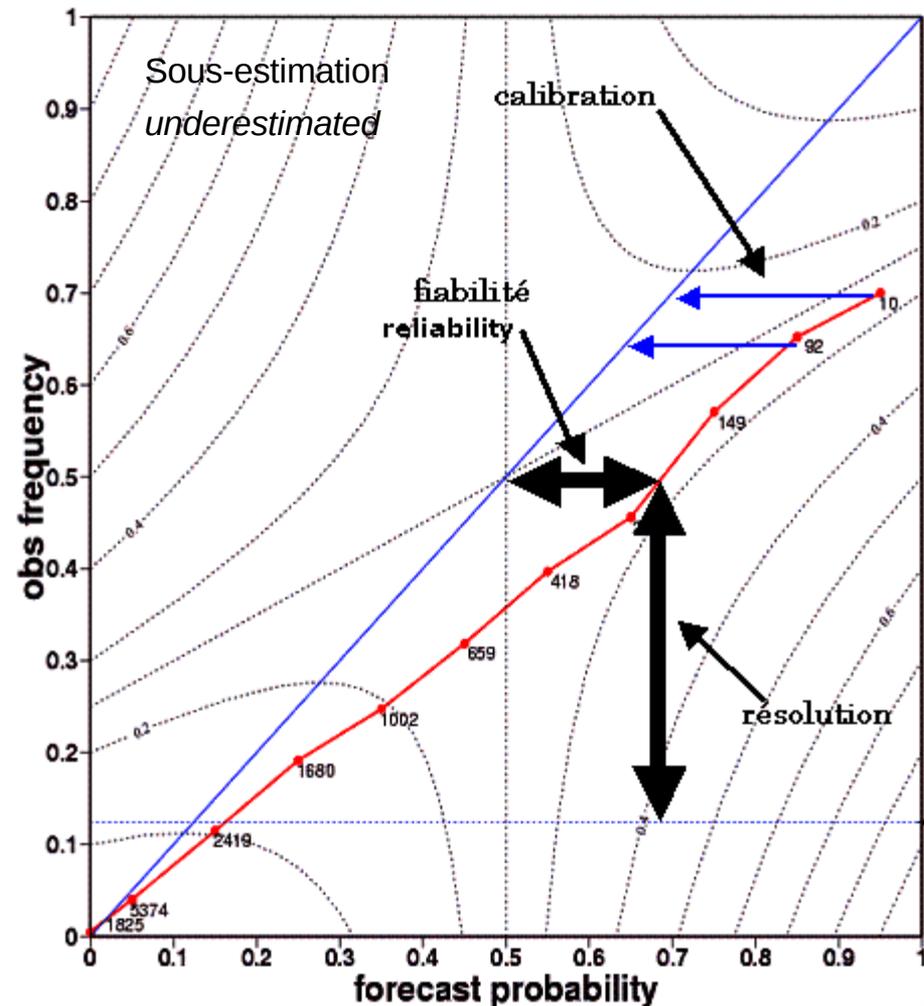
## *Evaluation of the forecasts*

Paramètres de qualité  
*Quality parameters*

- Résolution : capacité à discriminer les situations ayant des probabilités d'occurrence du phénomène étudié différentes
- Plus la résolution a une grande valeur, mieux c'est → être loin de l'observation moyenne « c »

$$resolution = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i (o_i - c)^2$$

- *Resolution : ability to discriminate situations with different probabilities of occurrence*
- *The bigger the resolution is, the better it is → furthest of the mean value « c »*



# 4. Evaluation des prévisions

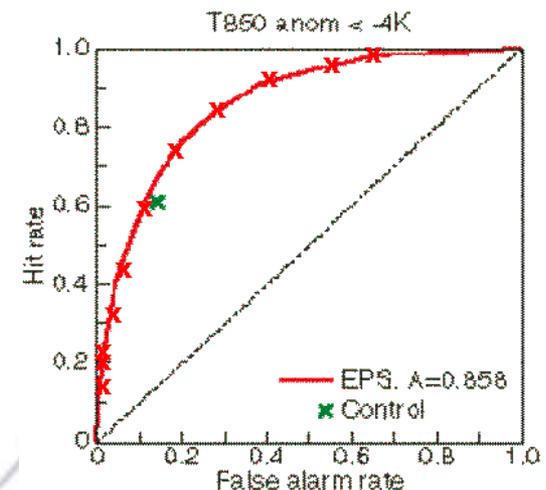
## *Evaluation of the forecasts*

Scores  
Scores

$$\text{Brier score} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p_i - o_i)^2$$

- Fiabilité sans pondération
  - Plus le score a une petite valeur, mieux c'est
  - Courbe ROC (Caractéristiques relatives de fonctionnement) à partir de plusieurs seuils pour
    - Taux de fausses alarmes :  $b/(b+d)$
    - Taux de réussite :  $a/(a+c)$
- *No-weighted Fiability*
  - *The smaller the brier score is, the better it is*
  - ROC plot (Relative Operating Characteric) using different thresholds for
    - False alarm rate :  $b/(b+d)$
    - Hit rate :  $a/(a+c)$

Seuil = n%	Observé / <i>observed</i>	Non observé / <i>Not observed</i>
Prévu / <i>Forecasted</i>	a	b
Non prévu / <i>Not forecasted</i>	c	d



# Conclusion

- Malgré les progrès continus de la prévision numérique et humaine, il existe une **limite indépassable** à la prévisibilité de l'atmosphère ; il est utile de prévoir l'incertitude de la prévision.
- La prévision d'ensemble est une technique assez récente (~15 ans), pour laquelle des recherches actives sont toujours en cours :
  - Comment calculer les perturbations initiales ?
  - Quelles techniques de perturbation du modèle?
- *Despite the continuous improvements of the numerical and human prediction, there is an **impassable limit** to the atmospheric predictability ; it is useful to forecast the uncertainty of the forecast.*
- *Ensemble prediction is a quite recent technique (~15 years old), for which active research is still going on :*
  - *How to compute the initial perturbations?*
  - *What techniques for perturbing the model?*



# Conclusion

- Les résultats de la prévision d'ensemble peuvent prendre plusieurs formes : dispersion, probabilités, EFI,...
- Des produits spécifiques pour les cyclones permettent de caractériser l'incertitude de la prévision de trajectoire et de la cyclogenèse.
- L'évaluation des prévisions d'ensemble nécessite d'appliquer des outils statistiques à un échantillon suffisamment grand.
- *The results from ensemble prediction may take several forms: spread, probabilities, EFI,...*
- *Some specific products for tropical cyclones allow to characterize the uncertainty of track forecast and of cyclogenesis.*
- *The evaluation of ensemble forecasts requires to apply some statistical tools to a sufficiently large sample.*



# Conclusion

- La prévision d'ensemble est une aide supplémentaire permettant d'évaluer l'incertitude et quantifier les risques de phénomènes dangereux
- Base pour les prévisions mensuelles, saisonnières et climatiques
- Utilisation pour la prévision d'ensemble de vagues
- *Ensemble prediction is an additional help to evaluate uncertainties and quantify risks of hazards*
- *basis of monthly, seasonal and climate predictions*
- *Used for ensemble prediction of wave models*

