

La Prévision Numérique pour les cyclones tropicaux

The Numerical Weather Prediction about tropical cyclones

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

David BARBARY

CMRS/RSMC La Réunion, novembre 2019

Plan

1. Principes généraux

- Un peu d'histoire
- Le modèle numérique
- 2 étapes pour la prévision

2. L'analyse (assimilation de données)

3. La prévision

4. La prévision d'ensemble

5. Evaluation des prévisions

6. Conclusions et perspectives

1. General principles

- *Some history*
- *The numerical model*
- *2 steps for the forecast*

2. The analysis (data assimilation)

3. The forecast

4. Ensemble prediction

5. Forecast assessment

6. Conclusions and prospects

1. Principes généraux / *General principles*

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

- Bjerkness (1904)
- Richardson (1920)



- Von Neumann: ENIAC (1945) premier calculateur électronique / *first computer*
- Charney : Premier modèle (3 niveaux) en routine (USA, 1955) / *first model (3 levels) run routinely (USA, 1955)*

1. Principes généraux / *General principles*

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

- Vers 1970 : installation opérationnelle de modèles dans beaucoup de services
 - 1979: Le CEPMMT opérationnel en Europe (Reading – GB)
 - Années 60-70: modèles quasi-géostrophiques
 - Années 80-90 : modèles hydrostatiques (équations primitives)
 - A partir de 2000 : relâchement de l'hypothèse hydrostatique.
- *In 1970s : operational use of models is effective in numerous meteorological services*
 - *1979 : ECMWF model operational in Europe*
 - *1960-70 : most of models are quasi-geostrophic*
 - *1980-90 : hydrostatic models (primitive equations)*
 - *From 2000 : more and more non-hydrostatic models*

1. Principes généraux / *General principles*

Le modèle numérique
The numerical model

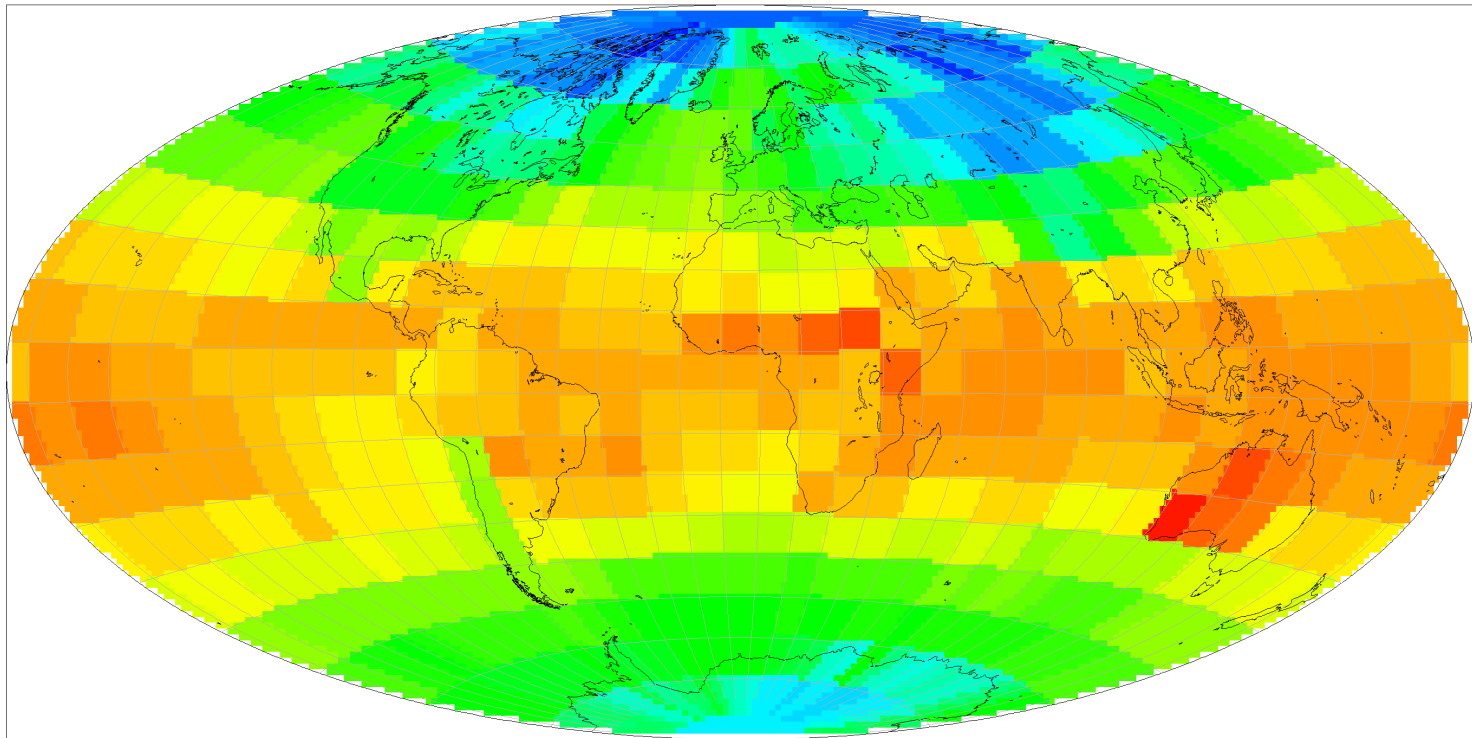
- La prévision numérique =
déterminer les valeurs futures
des paramètres atmosphériques
à partir de valeurs initiales, par le
calcul numérique
**= problème aux conditions
initiales**
- Calcul par un ordinateur :
besoin de discrétisation
 - spatiale : différence finie ou
méthode spectrale
 - temporelle
- *Numerical prediction = to
determine the values of
atmospheric parameters
in the future from some
initial values, using
numerical computation*
**= an initial-value
problem**
- *To be handled by a
computer, the atmosphere
must be discretized*
 - spatially : finite differences or
spectral method
 - temporal

1. Principes généraux / *General principles*

Le modèle numérique
The numerical model

- Discrétisation horizontale de l'atmosphère

- *The horizontal discretization of the atmosphere*



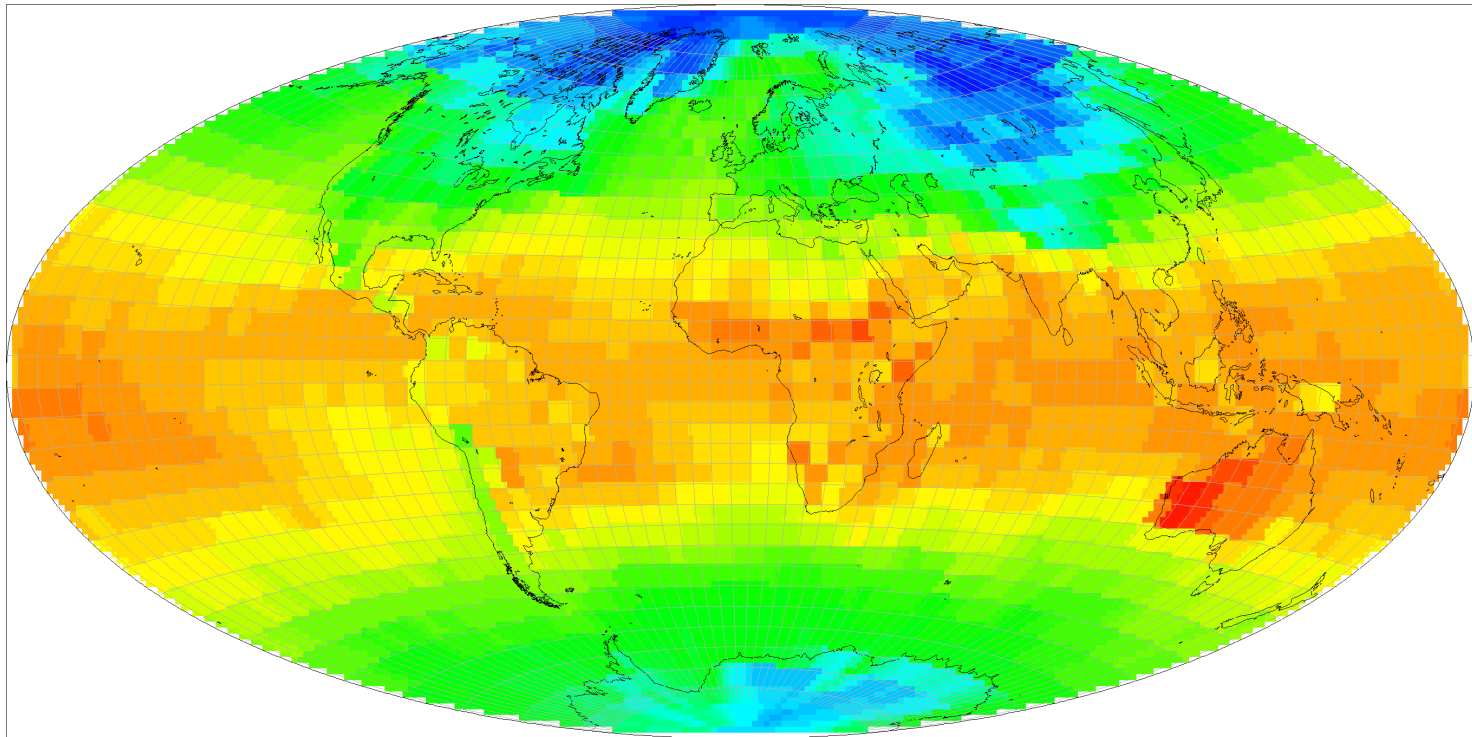
resolution 10°

1. Principes généraux / *General principles*

Le modèle numérique
The numerical model

- Discrétisation horizontale de l'atmosphère

- *The horizontal discretization of the atmosphere*



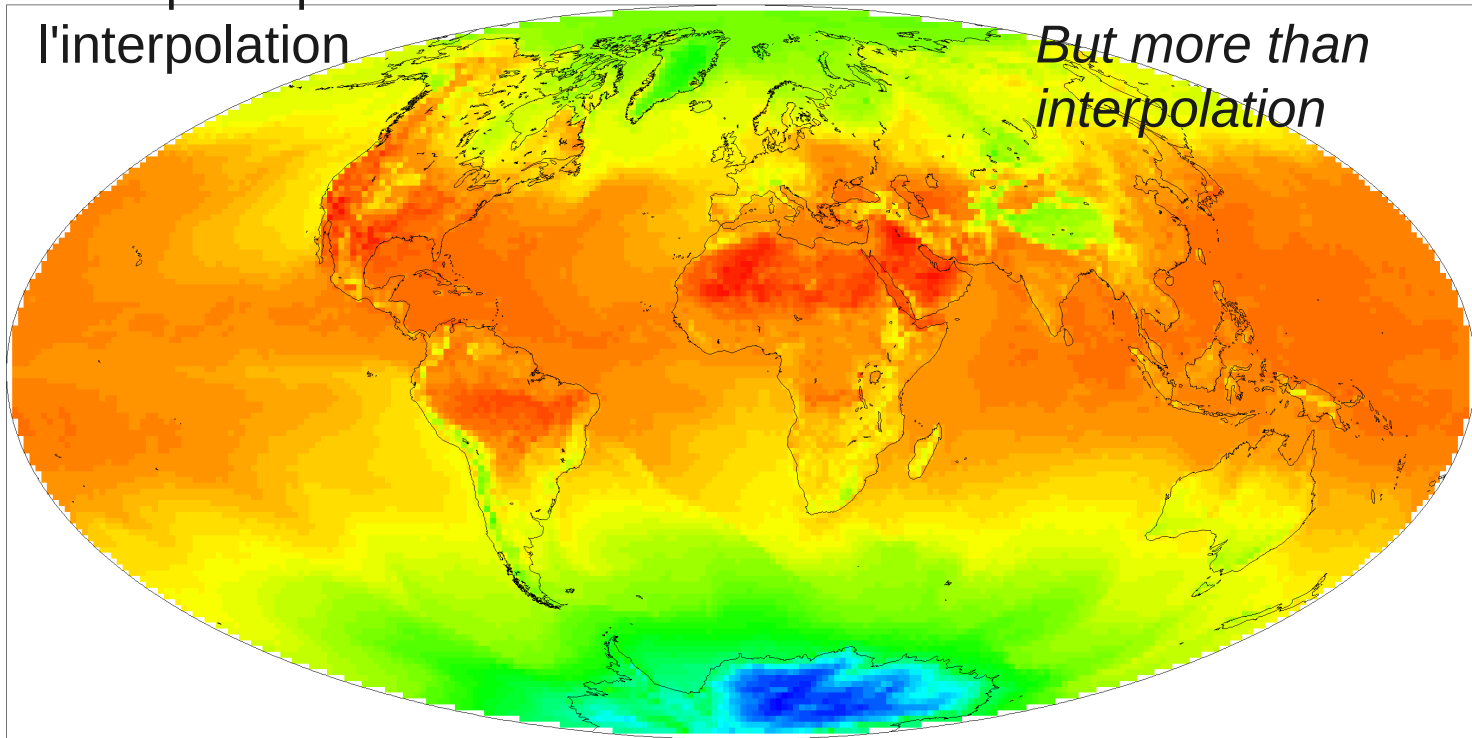
resolution 5°

1. Principes généraux / General principles

Le modèle numérique
The numerical model

- Discrétisation horizontale de l'atmosphère
Mais plus que de l'interpolation

- *The horizontal discretization of the atmosphere
But more than interpolation*



resolution 1° (≈ 100 km)

1. Principes généraux / *General principles*

Le modèle numérique
The numerical model

- Grilles des modèles actuels :
 - Modèle global IFS du CEPMMT :
résolution 9 km, 137 niveaux verticaux
→ 200 000 000 points
 - Modèle AROME-Indien à aire limitée
dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien :
résolution 2.5km, 90 niveaux verticaux
→ 130 000 000 points
- **Etat de l'atmosphère** à un instant = valeurs des paramètres météorologiques en ces points (= vecteur d'état)
- Grids of present-day models :
 - *Global model IFS from ECMWF:*
9 km resolution, 137 vertical levels
→ 200 000 000 points
 - *Limited-area AROME-Indian model in the South-West Indian Ocean :*
2.5km resolution, 90 vertical levels
→ 130 000 000 points
- ***The atmospheric state*** at an instant is given by the values of the meteorological parameters at these points (= state vector)

1. Principes généraux / *General principles*

Le modèle numérique
The numerical model

- Pour effectuer une prévision, on doit se donner :
 - 1 Valeurs de l'état initial = **Analyse** ;
 - 2 Equations d'évolution (tendances temporelles en tout point) = **Modèle** ;
 - 3 Valeurs des paramètres sur la frontière du domaine = **Conditions aux limites**
 - Qualité de la prévision numérique dépend de la qualité de ces trois points.
- *In order to make a forecast, we need:*
 - 1 *The values of the initial state = **analysis** ;*
 - 2 *The equations of evolution = **model** ;*
 - 3 *The values of parameters at the boundaries of the domain at every instant = **boundary conditions***
 - *The forecast quality depends on the three above points.*

1. Principes généraux / *General principles*

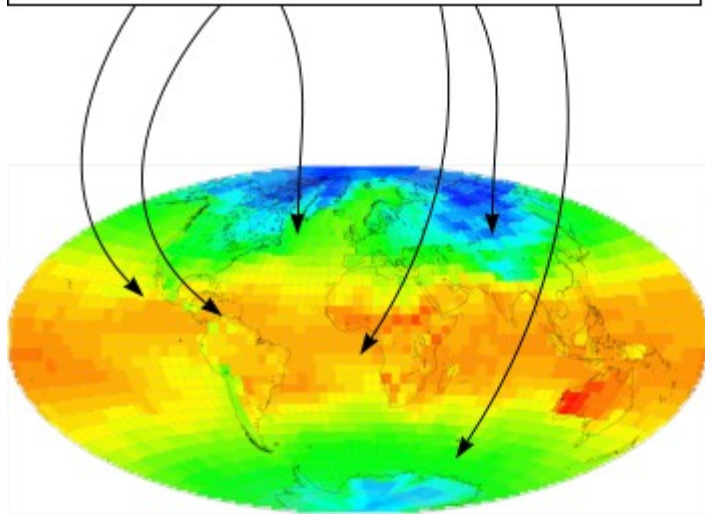
2 étapes pour la prévision
2 steps for the forecast

- Les 2 étapes principales :
l'analyse et la prévision

- *The 2 main steps : the
analysis and the
forecast*

Observations météorologiques
(température, pression, vent,
mesurées au sol, par satellite, bouées...)

*Meteorological observations
(temperature, pressure, wind, ...
measured at the ground, by satellite, buoys, ...)*



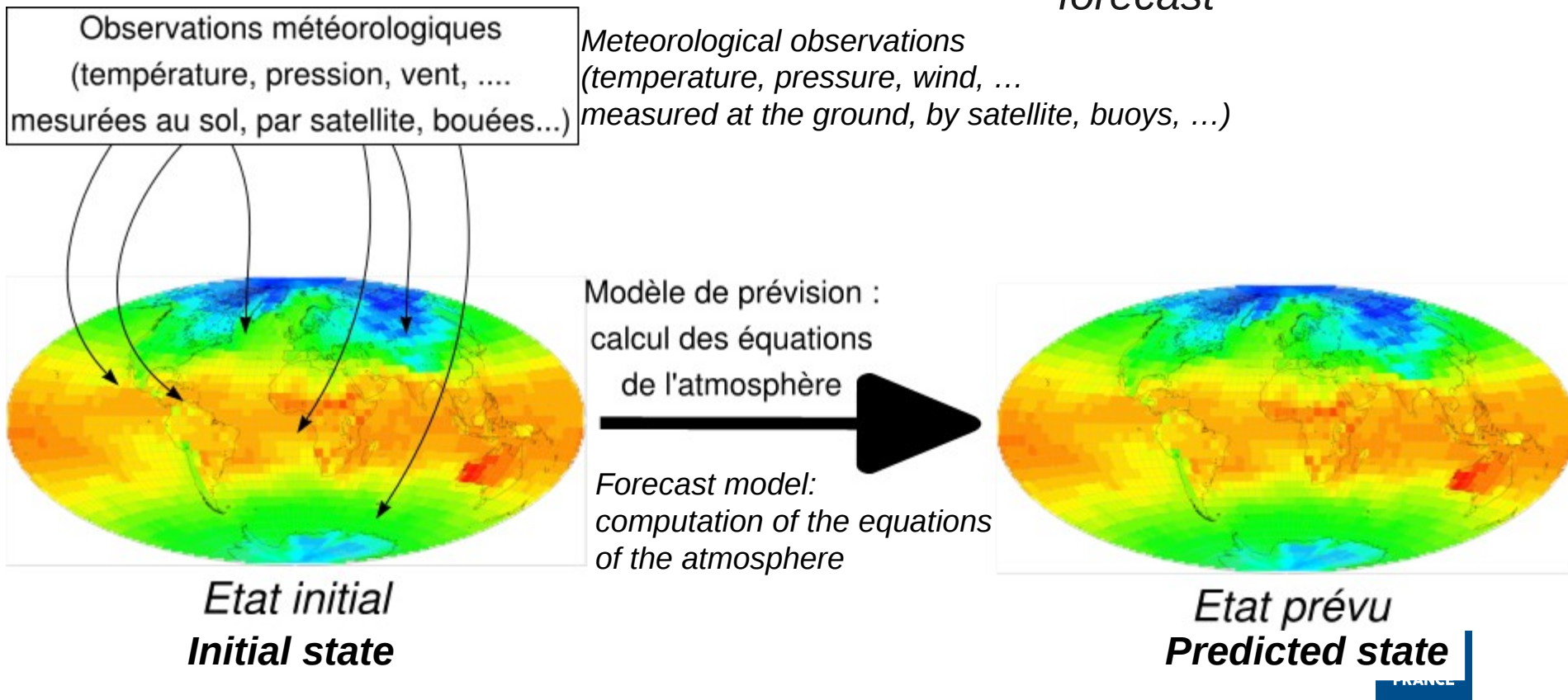
Etat initial
Initial state

1. Principes généraux / General principles

2 étapes pour la prévision
2 steps for the forecast

- Les 2 étapes principales :
l'analyse et la prévision

- The 2 main steps : the
analysis and the
forecast



Plan

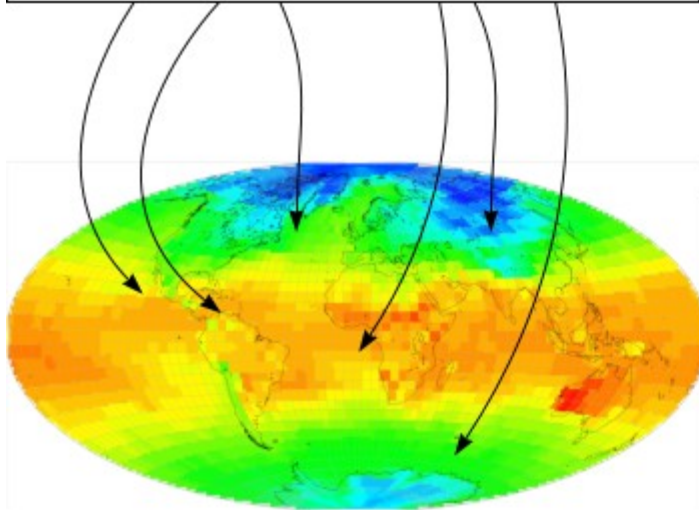
1. Principes généraux
2. L'analyse (assimilation de données)
 - Les observations météorologiques disponibles
 - Les algorithmes d'assimilation
 - Spécificités pour les cyclones
3. La prévision
4. La prévision d'ensemble
5. Evaluation des prévisions
6. Conclusions et perspectives

- 1. General principles*
- 2. The analysis (data assimilation)*
 - *The available meteorological observations*
 - *The algorithms of assimilation*
 - *Specificities for cyclones*
- 3. The forecast*
- 4. Ensemble prediction*
- 5. Forecast assessment*
- 6. Conclusions and prospects*

2. L'analyse / The analysis

- Objectif : estimer l'état initial de l'atmosphère en utilisant des observations météorologiques

Observations météorologiques
(température, pression, vent,
mesurées au sol, par satellite, bouées...)



Etat initial
Initial state

- Aim: to estimate the atmospheric initial state by using some meteorological observations

*Meteorological observations
(temperature, pressure, wind, ...
measured at the ground, by satellite, buoys, ...)*

2. L'analyse / *The analysis*

Les observations
The observations

■ Types d'observations

- Stations de surface et Radiosondages du réseau synoptique fournissent des **mesures directes aux heures synoptiques** mais de façon très **inhomogène** dans l'espace.
- Systèmes spatiaux fournissent des **mesures indirectes** (radiances, ondes réfléchies) à des **heures quelconques** et de façon inhomogène dans l'espace.

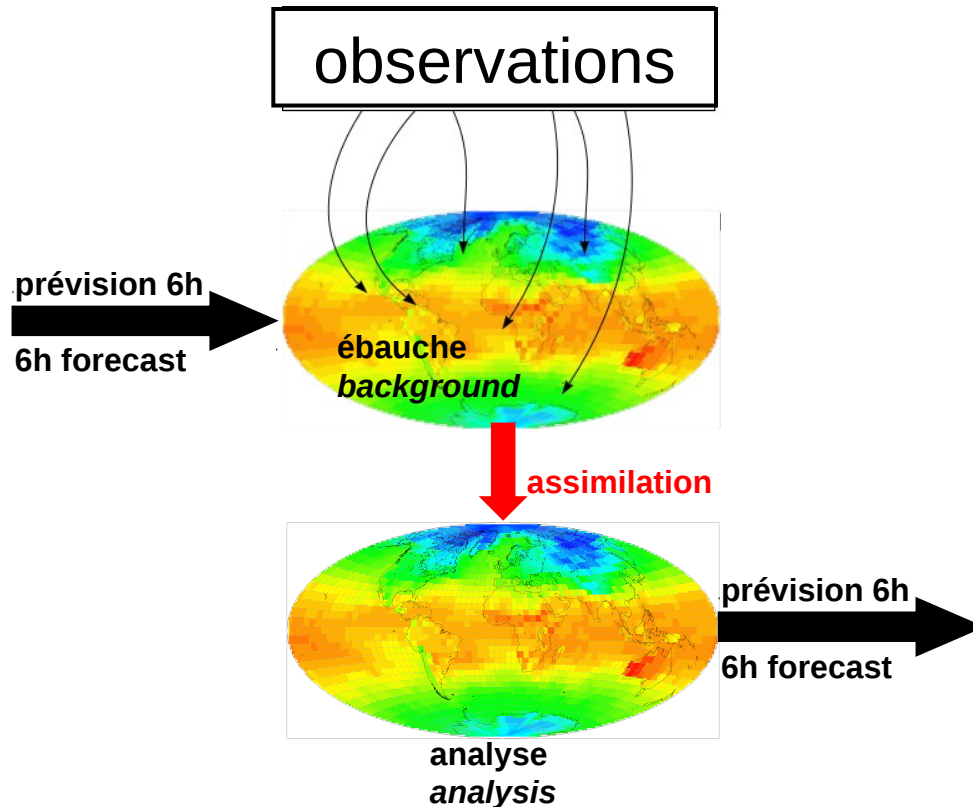
■ *Types of observations:*

- *Which measures are available ? The soundings and synoptic stations give **direct measurements at synoptic hours** but **not homogeneously** in space.*
- *Satellites make **indirect measurements** of these parameters (brightness temperatures, reflected waves) at **asynoptic hours** and not homogeneously in space.*

2. L'analyse / The analysis

L'assimilation
The assimilation

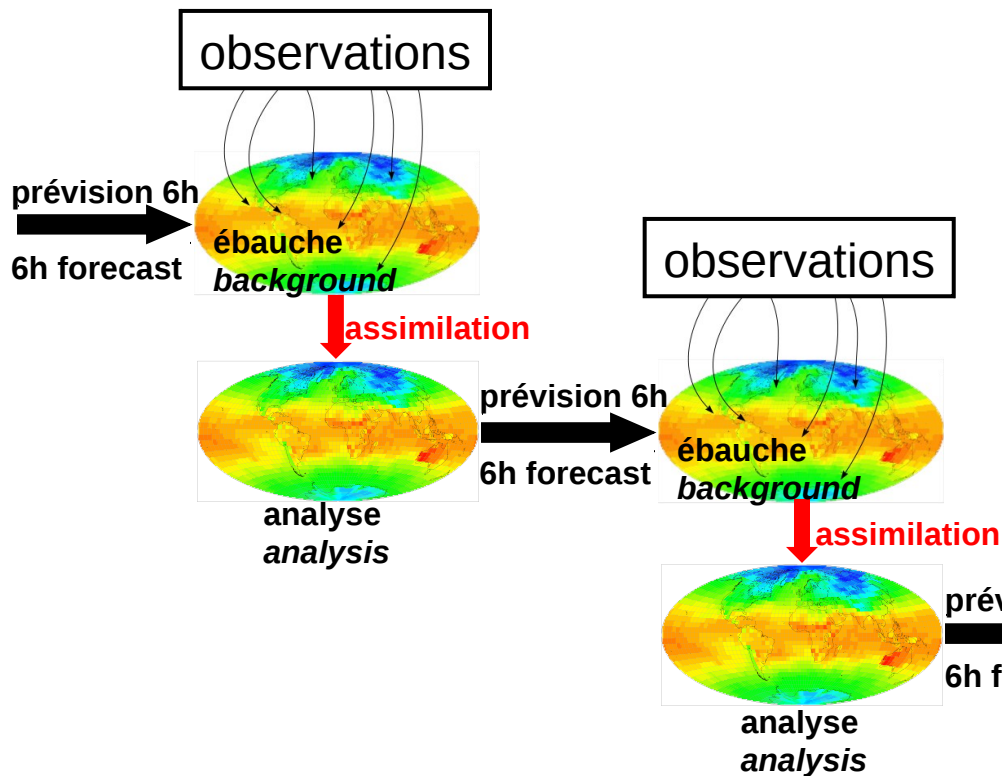
- Les observations sont **assimilées** dans une prévision provenant du passé récent : l'**ébauche**
- The observations are **assimilated** in a forecast coming from the recent past: the **background**



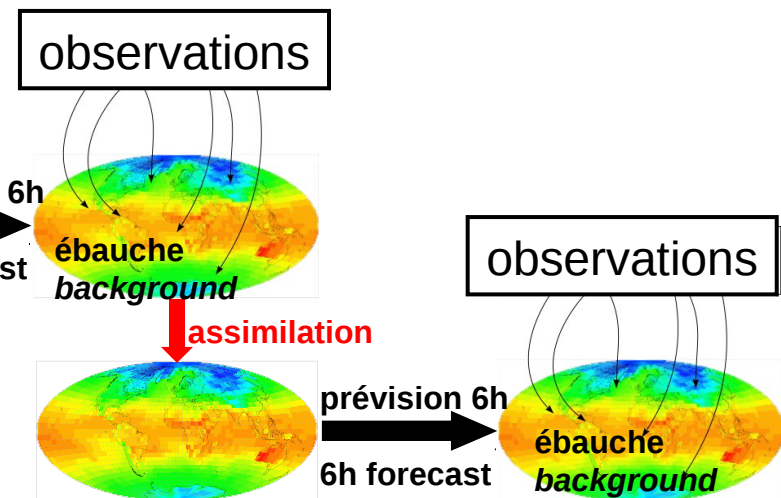
2. L'analyse / The analysis

L'assimilation
The assimilation

- Le cycle d'assimilation :



- *The assimilation cycle :*



2. L'analyse / *The analysis*

Méthodes de calcul
Methods of computation

- Assimilation des observations par estimation par les moindres carrés
 - Méthodes de calcul de cette estimation :
 - Interpolation optimale
 - Filtre de Kalman
 - L'assimilation variationnelle
 - 3D-Var (ex Arôme)
 - 4D-Var (ex IFS)
 - Données dérivées
- *Assimilation of observations by least-square estimation*
 - *Methods of computation of this estimation:*
 - *Optimal interpolation*
 - *Kalman Filter*
 - *Variational assimilation*
 - *3D-Var (ex Arôme)*
 - *4D-Var (ex IFS)*
 - *Variables deduced from model*

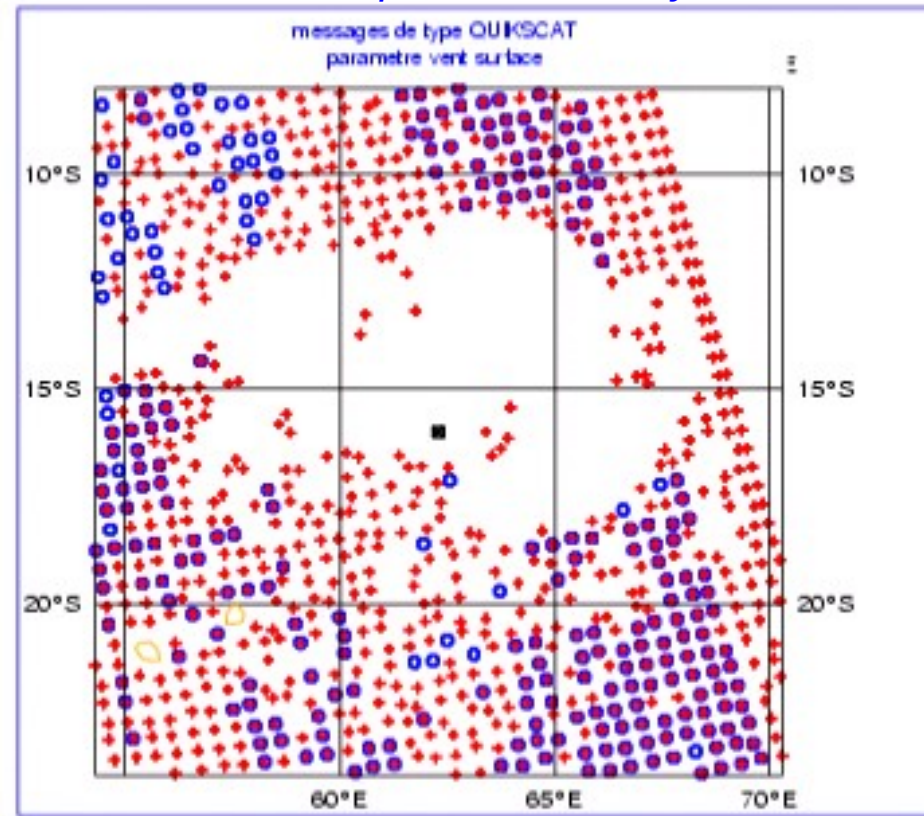
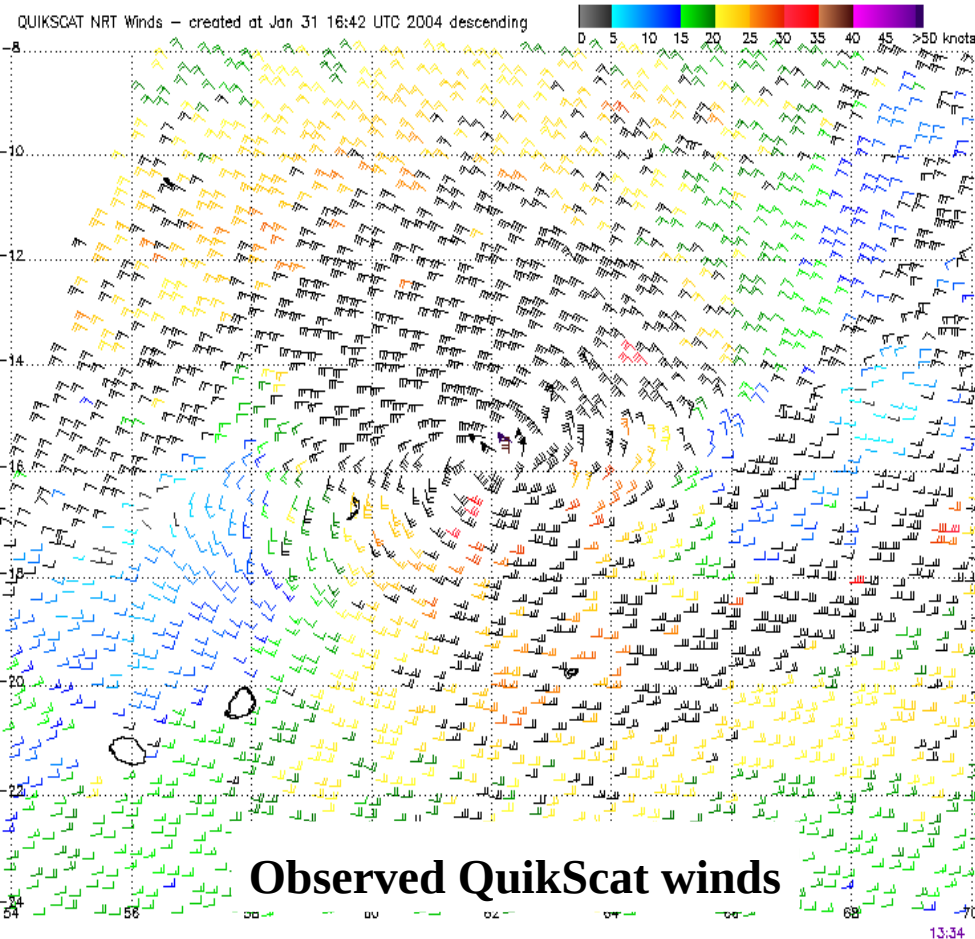
Plan

1. Principes généraux
2. L'analyse (assimilation de données)
 - Les observations météorologiques disponibles
 - Les algorithmes d'assimilation
 - Spécificités pour les cyclones
3. La prévision
4. La prévision d'ensemble
5. Evaluation des prévisions
6. Conclusions et perspectives

- 1. General principles*
- 2. The analysis (data assimilation)*
 - *The available meteorological observations*
 - *The algorithms of assimilation*
 - *Specificities for cyclone*
- 3. The forecast*
- 4. Ensemble prediction*
- 5. Forecast assessment*
- 6. Conclusions and prospects*

2. L'analyse / The analysis

Spécificités pour les cyclones
Specificities for cyclones



+ not assimilated

o assimilated

Manque d'informations dans le cyclone
Lack of information in the cyclone

Plan

1. Principes généraux
2. L'analyse (assimilation de données)
3. La prévision
 - Les équations d'évolution
 - Les paramétrisations physiques et conditions aux bords
 - Qq exemples pour l'environnement et le cyclone
 - Les traqueurs
4. La prévision d'ensemble
5. Evaluation des prévisions
6. Conclusions et perspectives

- 1. General principles*
- 2. The analysis (data assimilation)*
- 3. The forecast*
 - *The equations of evolution*
 - *The physical parametrizations and boundary conditions*
 - *Some examples about environment and cyclone*
 - *Trackers*
- 4. Ensemble prediction*
- 5. Forecast assessment*
- 6. Conclusions and prospects*

3. La prévision / *The forecast*

Les équations d'évolution
The equations of evolution

- $\frac{d \vec{V}}{dt} = \vec{g} - \frac{1}{\rho} \overrightarrow{\text{grad}} p - 2 \vec{\Omega} \wedge \vec{V} + \underline{\vec{F}_f}$ Motion
- $\text{Div } \vec{V} + \frac{1}{\rho} \frac{d \rho}{dt} = 0$ Continuity
- $dU(T) = \delta U + \underline{\delta Q}$ (Travail + Chaleur) Energy
- $\frac{dq}{dt} = \underline{Evaporation - Précipitation}$ Water
- $p = \rho R T$

Termes physiques
sans eux, équations adiabatiques
et sans frottements

— Physics terms
without these terms, the equations
are adiabatic and without frictions

3. La prévision / *The forecast*

Les équations d'évolution *The equations of evolution*

- Equations d'évolution pour les variables **pronostiques** :
 - le vent horizontal (deux composantes u et v) et vertical si non-hydrostatique,
 - la température de l'air T ,
 - la pression de surface P_s ,
 - l'humidité spécifique $q = M_{\text{eau}} / M_{\text{totale}}$
 - certains hydrométéores en fct des modèles
- *Evolution equations for **prognostic** variables :*
 - *horizontal wind (zonal and meridian components) and vertical,*
 - *air temperature T ,*
 - *surface pressure P_s ,*
 - *specific humidity $q = M_{\text{water}} / M_{\text{total}}$*
 - *some hydrometeors according models*
- Déduire les autres quantités = variables **diagnostiques** :
Géopotential, la vitesse verticale (si hydrostatique), le tourbillon, la divergence ...
- *All other quantities (= **diagnostic** variables) can be deduced from these variables :*
Geopotential height, vertical velocity (if hydrostatism), vorticity, divergence ...

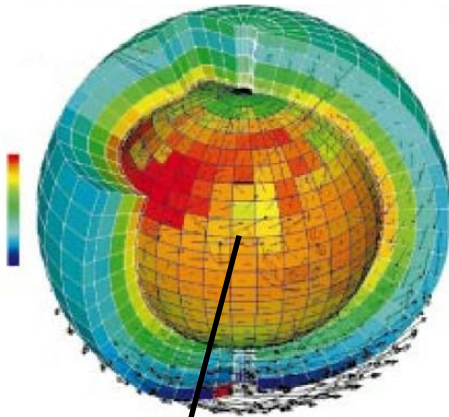
3. La prévision / *The forecast*

Les paramétrisations physiques
The physical parametrizations

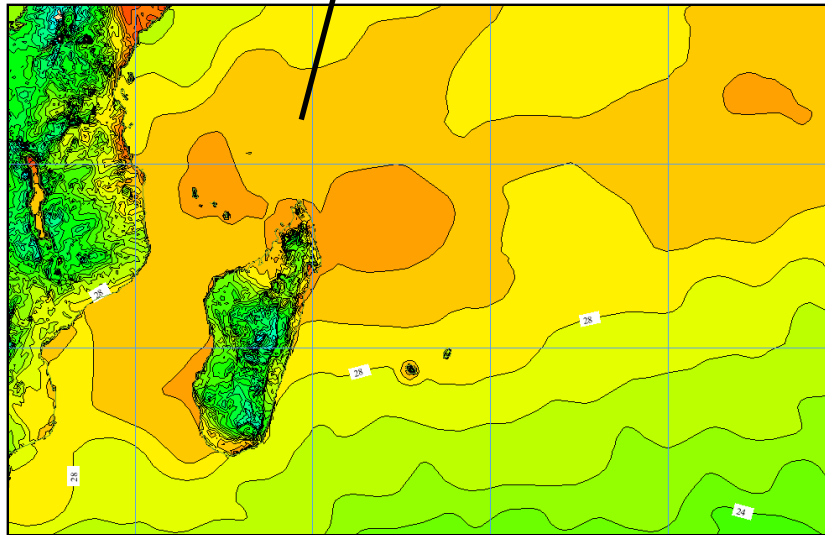
- Termes physiques à paramétrer :
 - Rayonnement,
 - Echanges avec le sol/ocean et la diffusion turbulente,
 - Précipitations de grande échelle (= résolues),
 - Effets de la convection,
 - Effet des ondes de gravité orographiques.
- But : Evaluer l'effet moyen
- Méthode : Calcul des flux à la base et au sommet de chaque couche du modèle
- *Physical processes to parameterize :*
 - *The radiation,*
 - *Exchanges with the surface and turbulent diffusion,*
 - *Large scale precipitation (= resolved),*
 - *convection,*
 - *Orographic gravity waves.*
- *Objective : To determine the mean effect*
- *Approach : Calculate the fluxes at the top and bottom of each model layer*

3. La prévision / *The forecast*

Les conditions aux bords
The boundary conditions

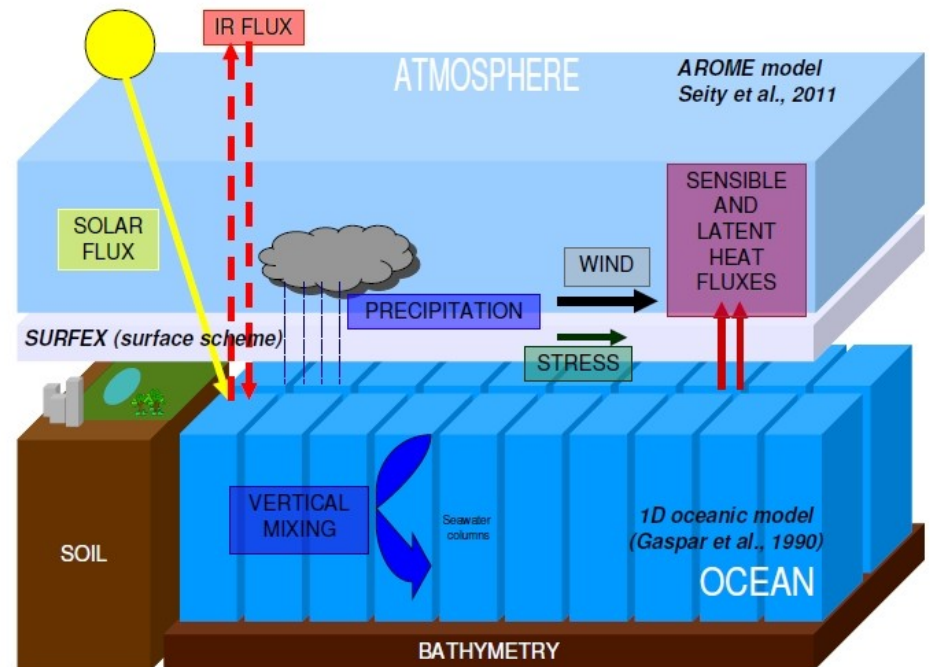


« toit » du modèle très haut (~ 100 km 0.1hPa)
the « top » of the model is very high (~ 100 km 0.1hPa)



surface : paramètres météorologiques donnés à
chaque début de prévision
*surface: meteorological parameters given at the
beginning of each forecast*

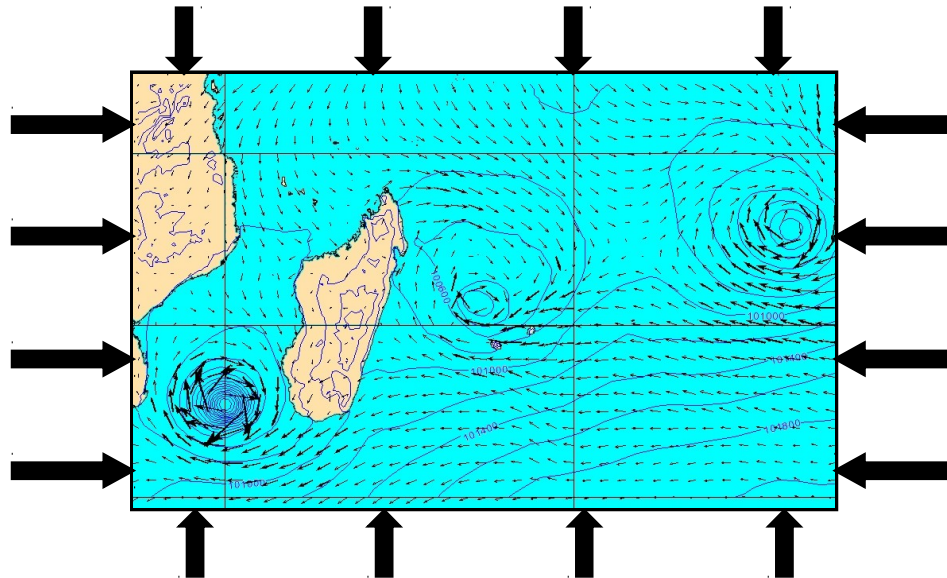
Modèle couplé ou forcé / *coupled ou forced model*



3. La prévision / *The forecast*

Les conditions aux bords
The boundary conditions

- Les conditions aux bords du domaine fournies par un modèle global (= **modèle coupleur**), à intervalles réguliers (= **fréquence de couplage**)
- *The boundary conditions of the domain predicted by a global model (= **coupling model**), given at fixed intervals (= **coupling frequency**)*



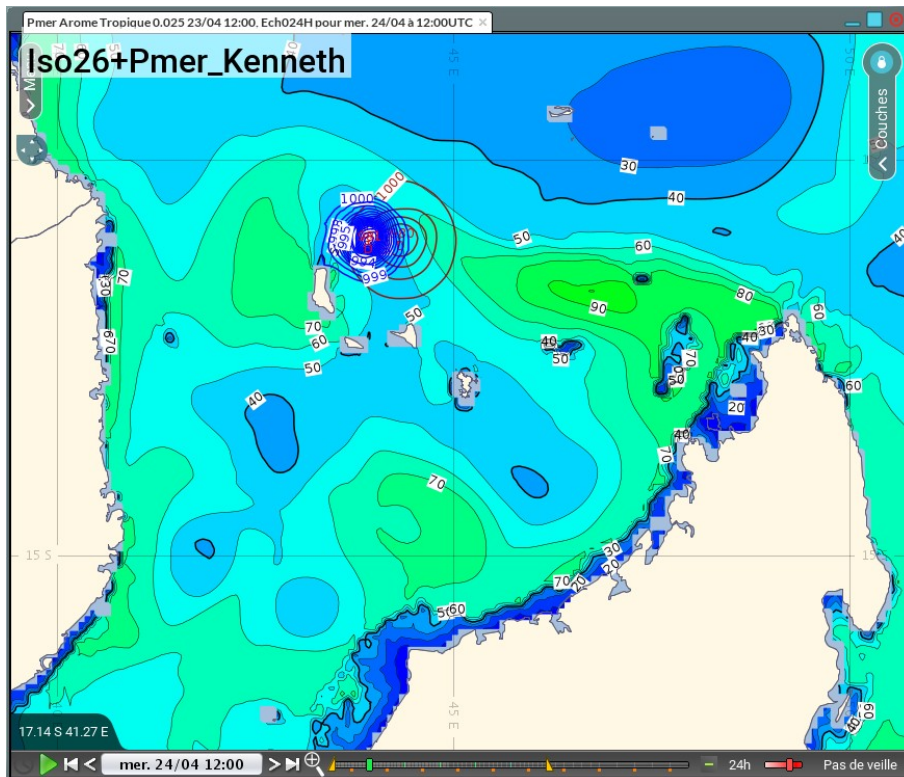
Plan

1. Principes généraux
2. L'analyse (assimilation de données)
3. La prévision
 - Les équations d'évolution
 - Les paramétrisations physiques et conditions aux bords
 - Qq exemples pour l'environnement et le cyclone
 - Les traqueurs
4. La prévision d'ensemble
5. Evaluation des prévisions
6. Conclusions et perspectives

- 1. General principles*
- 2. The analysis (data assimilation)*
- 3. The forecast*
 - *The equations of evolution*
 - *The physical parametrizations and boundary conditions*
 - *Some examples about environment and cyclone*
 - *Trackers*
- 4. Ensemble prediction*
- 5. Forecast assessment*
- 6. Conclusions and prospects*

3. La prévision / *The forecast*

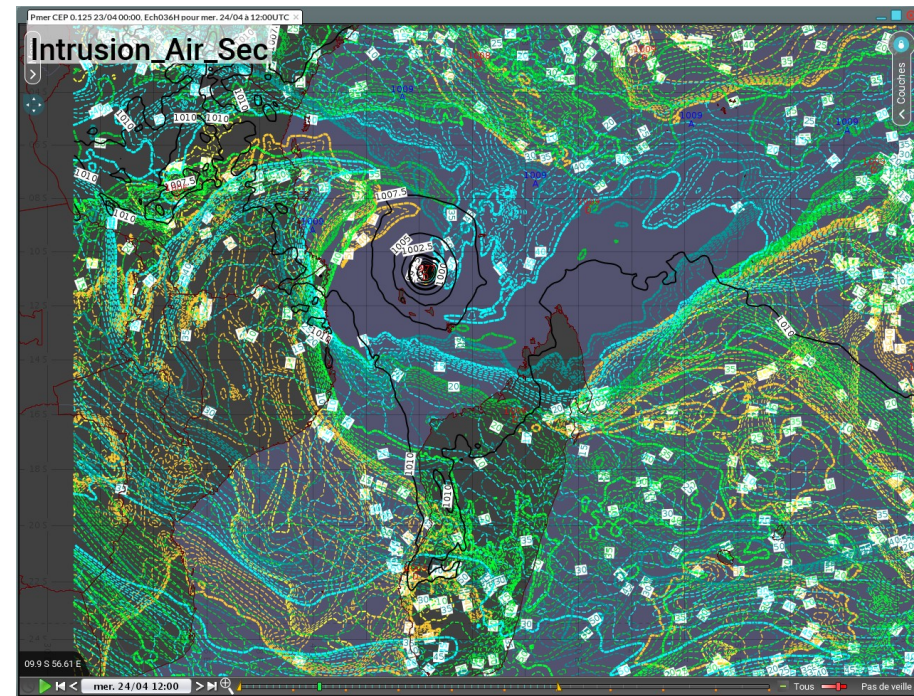
- Les différents champs environnementaux



Paramètres océaniques / *Oceanic parameters*

L'environnement
The environment

- *The different fields representing the environment*



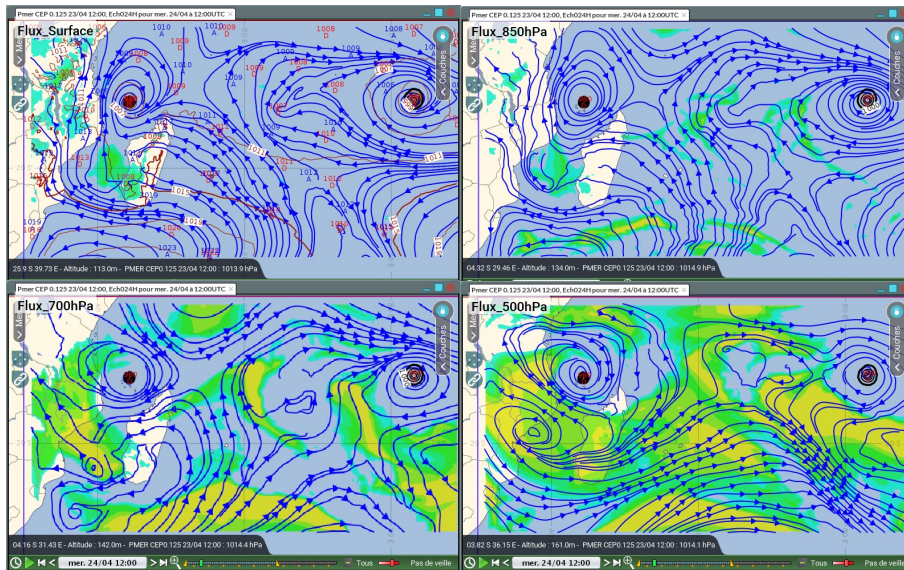
Air sec / *Dry air intrusion*
300-400 hPa / 500-600 hPa / 700-850 hPa

3. La prévision / The forecast

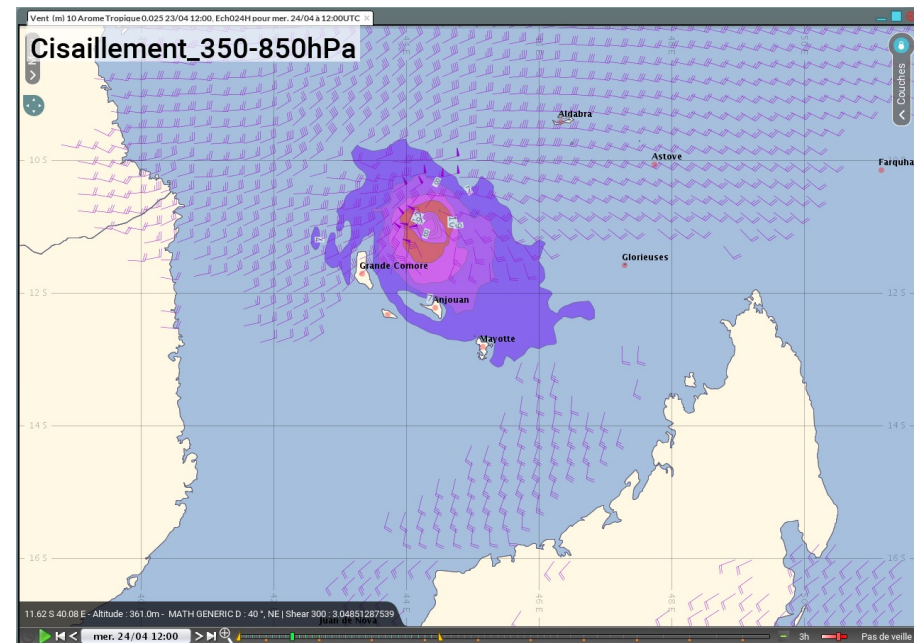
L'environnement
The environment

- Les différents champs environnementaux

- The different fields representing the environment*



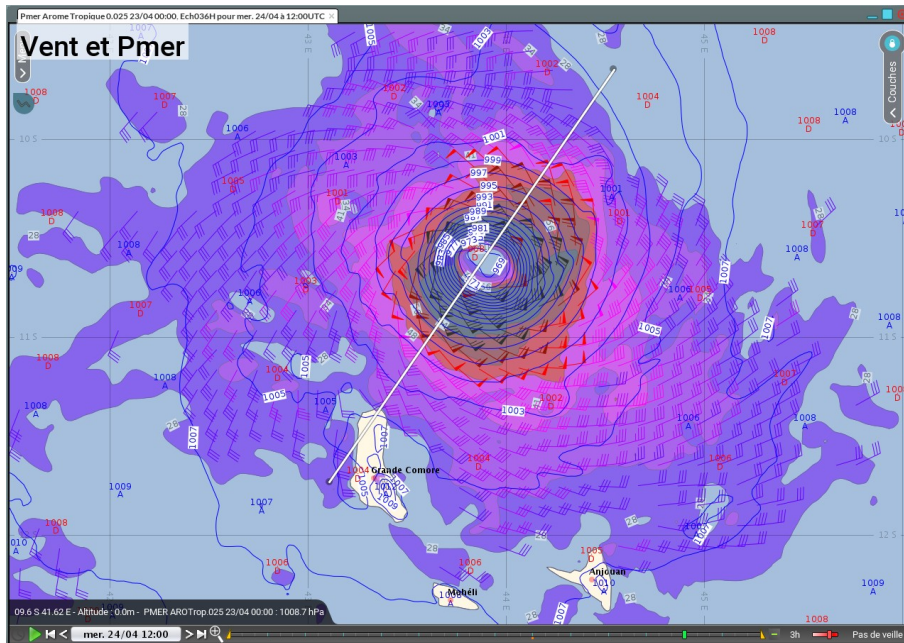
Centres d'action / Synoptic structures



Cisaillement de vent / Vertical wind shear

3. La prévision / *The forecast*

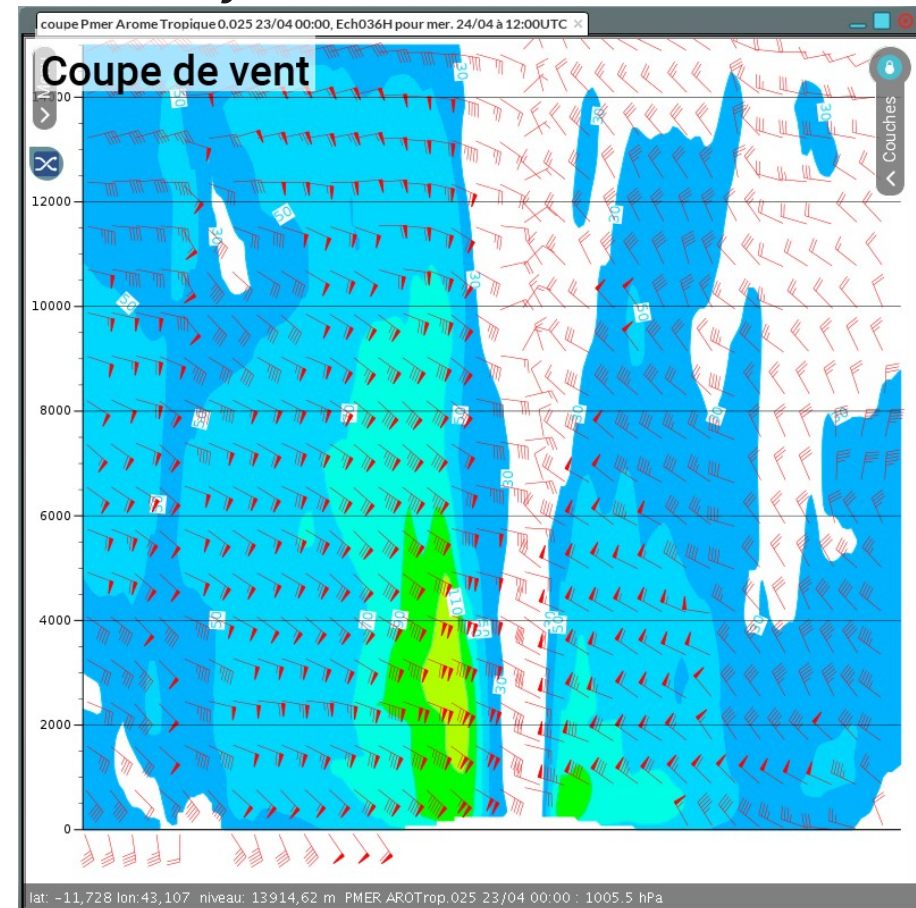
- Les différents champs représentant le cyclone



Pression et vent / *Pressure and wind*

Le cyclone
The cyclone

- *The different fields representing the cyclone*

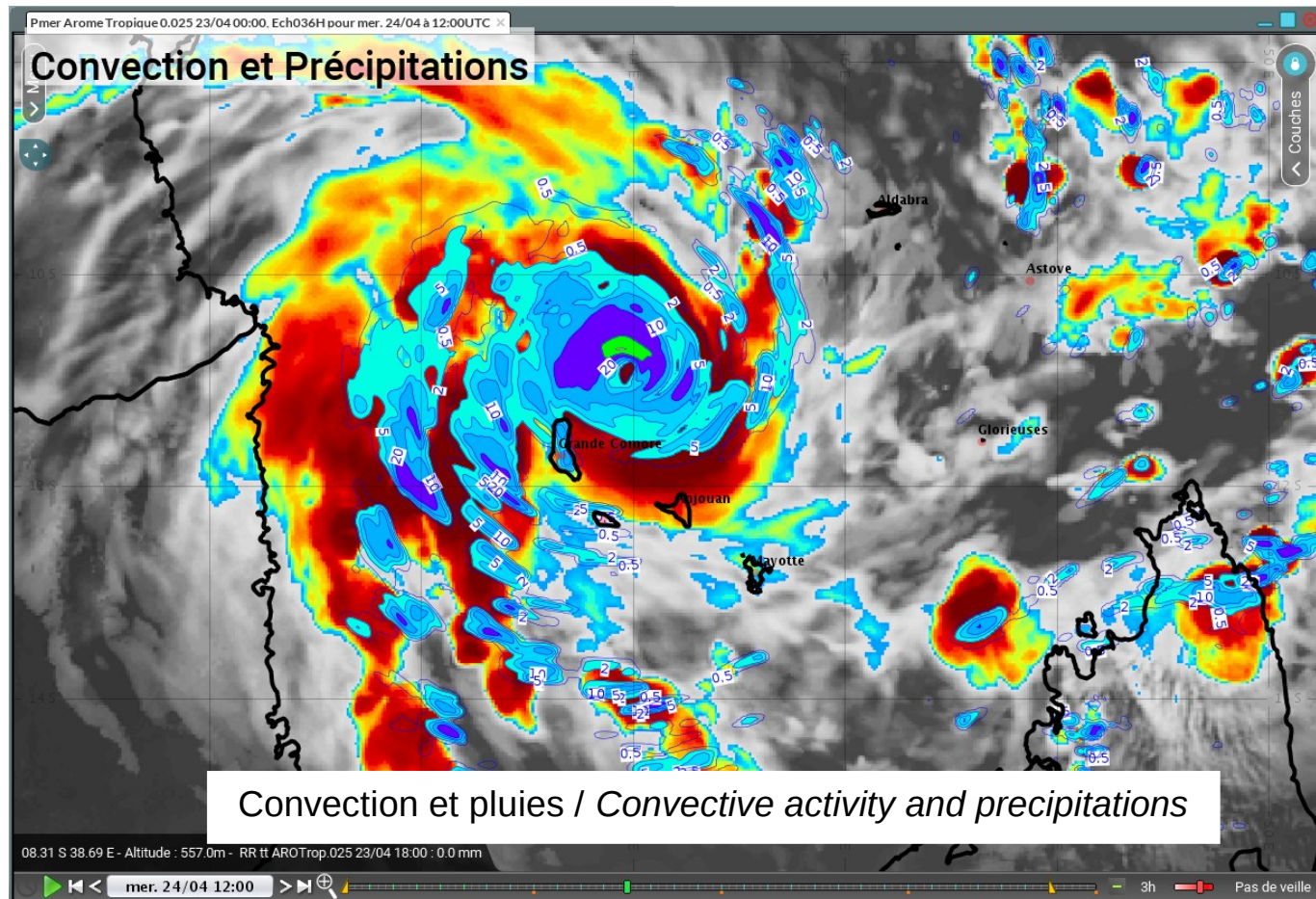


Coupe verticale / *Vertical cross-section*

3. La prévision / The forecast

Le cyclone
The cyclone

- Les différents champs représentant le cyclone
- *The different fields representing the cyclone*



3. La prévision / *The forecast*

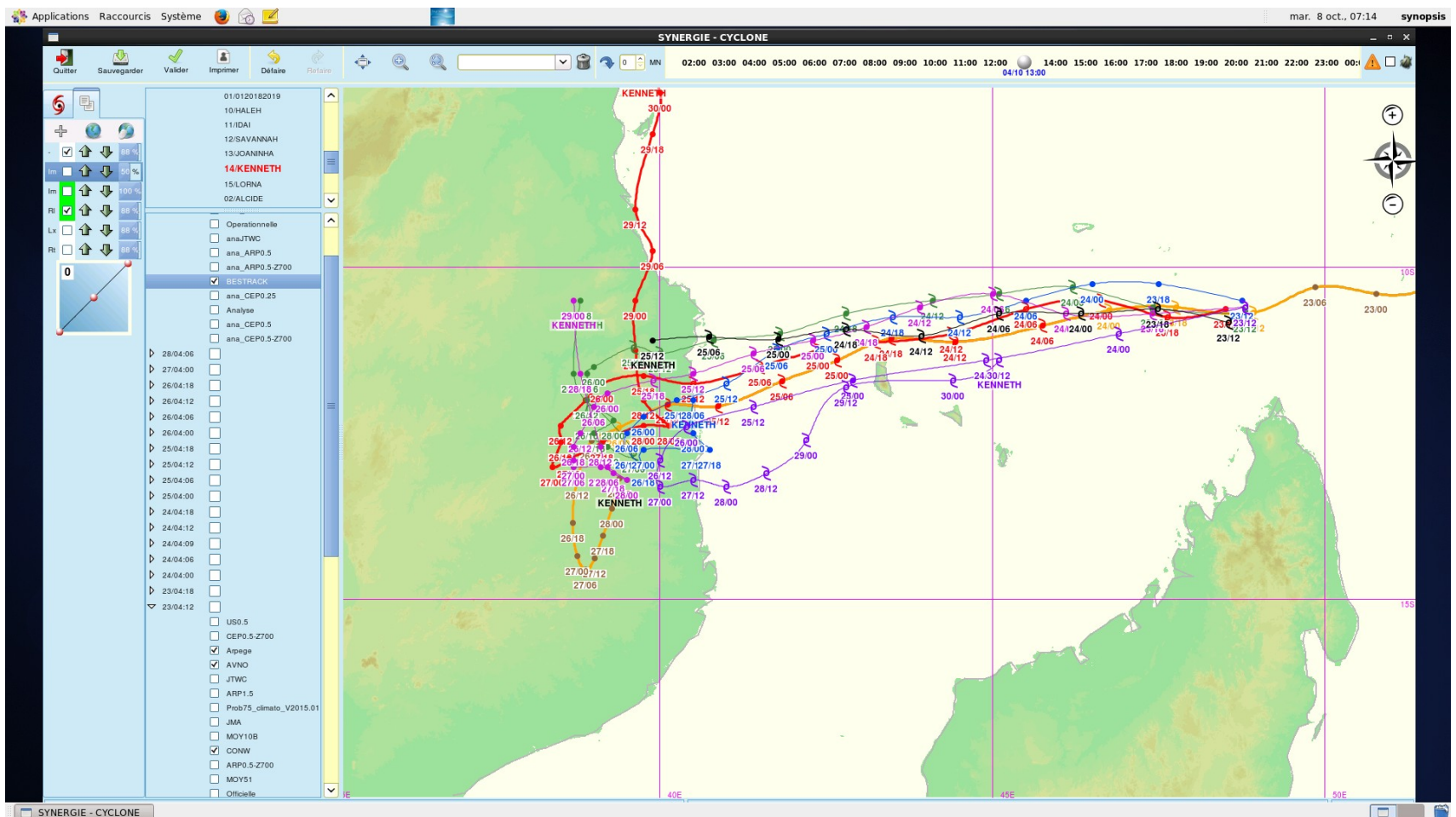
Les traqueurs
The Trackers

- Traqueurs / *Trackers* = Synthèse de données modèles / *Model data synthesis* :
 - Lat/Lon,
 - Vitesse/Cap (*Speed/Direction*),
 - minPmer/Vmax/RVmax (*Pressure/Max Wind and radius*),
 - Extensions / *Wind Structures* (28, 34, 48, 64kt)
- Les différents modèles / *Different models* :
 - Déterministes globaux / *Global Numerical models* : IFS, GFS, UKMO, AVNO ...
 - Déterministes HR / *HR models* : Arome, ACCESS_TC, HWRF ...
 - Statistique / *Statistical models* : SHIPS, TIPS, SHIFOR ...
 - Prévisions d'ensemble / *Ensemblists models* : EPS, PEARP, GEFS, ...
 - Consensus / *Consensus* : CONW, HCCA, FSSE ...

3. La prévision / The forecast

Les traqueurs
The Trackers

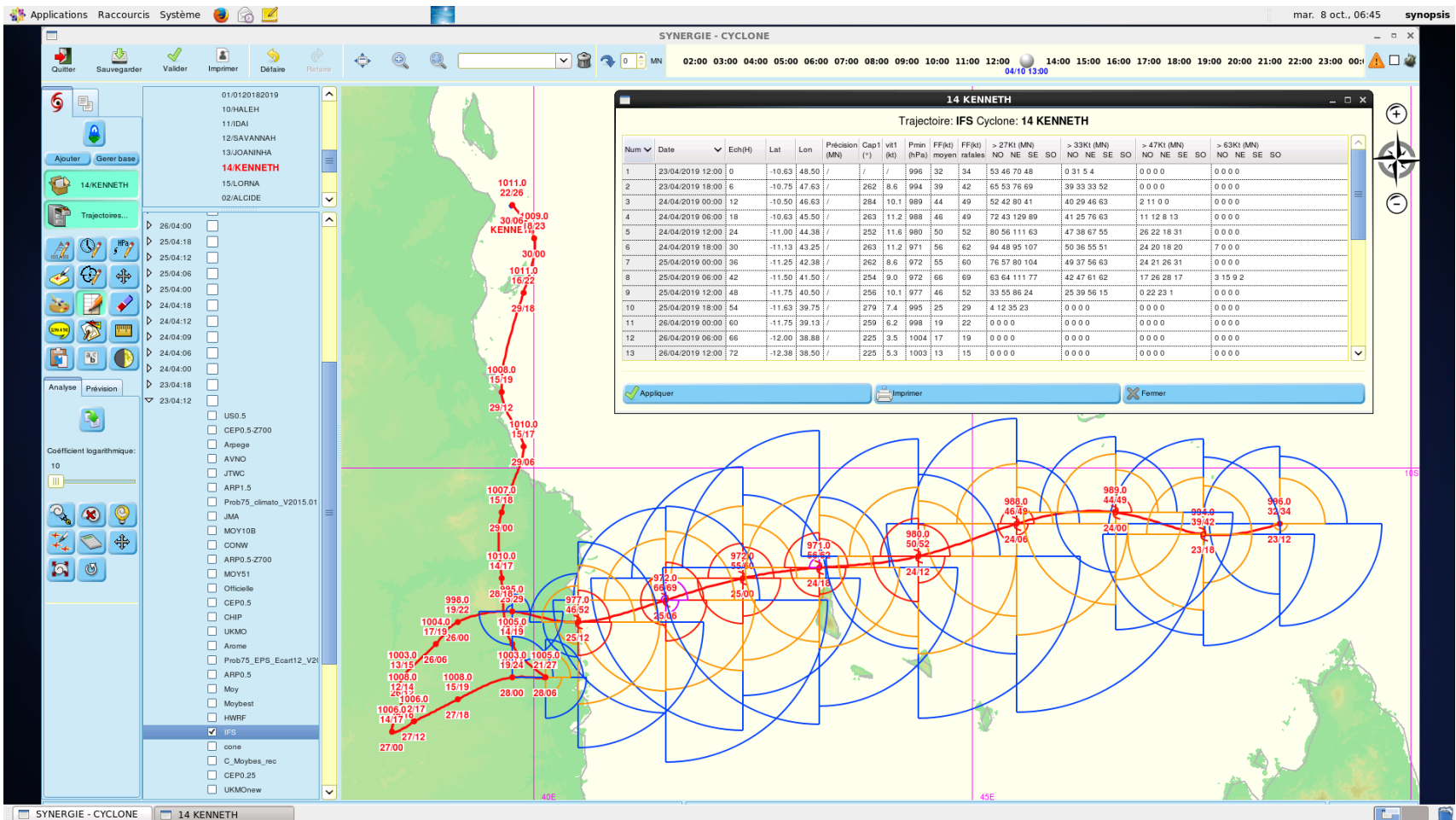
- Représentation des trajectoires
- Extensions
- Tracks
- Wind Structure



3. La prévision / The forecast

Les traqueurs
The members

- Représentation des trajectoires
- Extensions
- Tracks
- Wind Structure



Plan

1. Principes généraux
2. L'analyse (assimilation de données)
3. La prévision
4. La prévision d'ensemble
 - Principes généraux
 - Les ingrédients
 - Les produits de la prévision d'ensemble
5. Evaluation des prévisions
6. Conclusions et perspectives

- 1. General principles*
- 2. The analysis (data assimilation)*
- 3. The forecast*
- 4. Ensemble prediction*
 - *General principles*
 - *Ingredients of an ensemble prediction*
 - *Outputs of an ensemble prediction*
- 5. Forecast assessment*
- 6. Conclusions and prospects*

4. Prévision d 'ensemble / *Ensemble prediction*

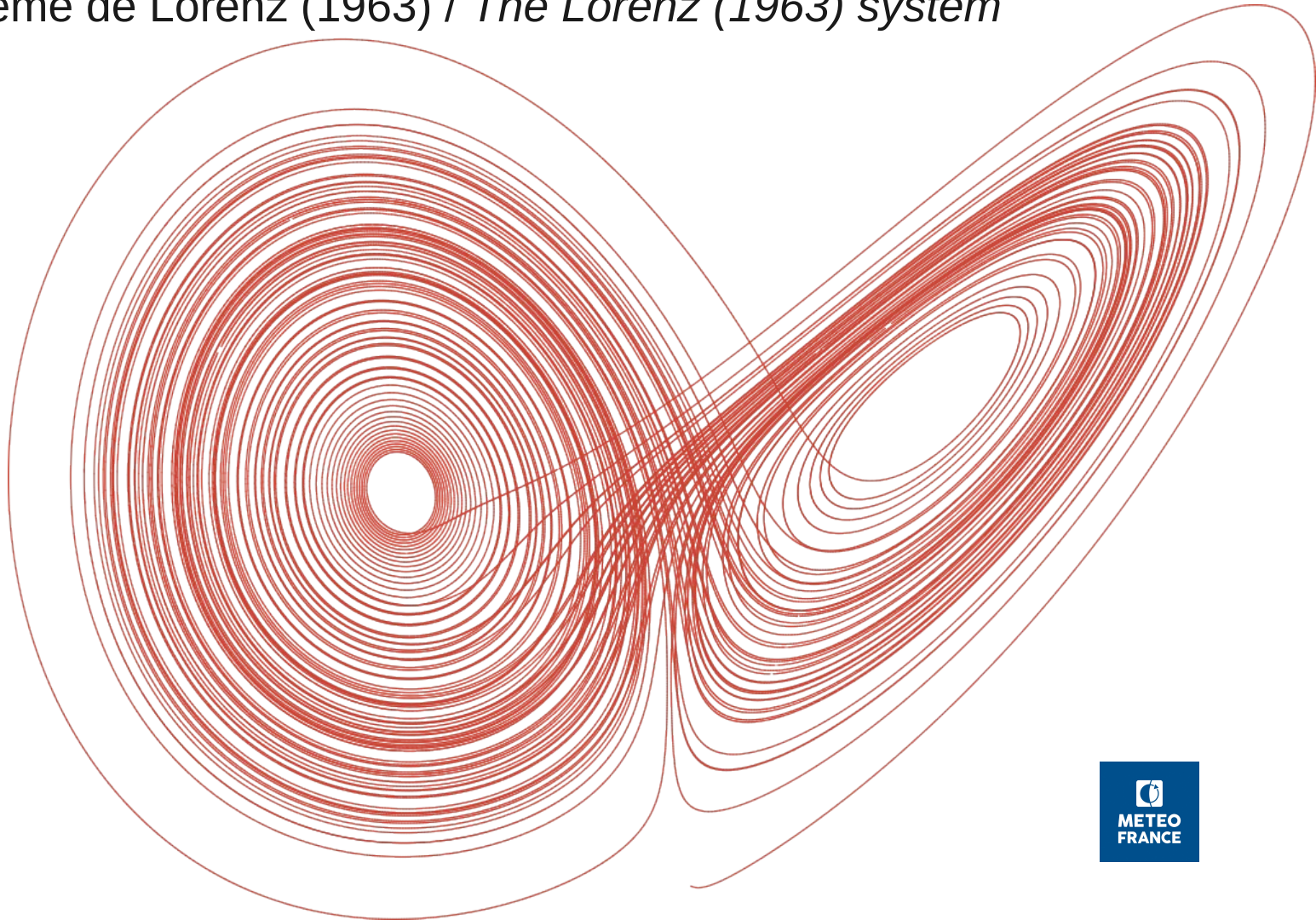
Principes généraux ...
General principles ...

- Laplace (~1800) : si on connaît l tat 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*
→ **D terministic = Predictable.**
- Poincaré (~1900) : *some deterministic systems have solutions that are extremely **sensitive to the initial conditions.***
- Lorenz (~1960) : *discovery of the determinisitic chaos*
→ **D terministic   Predictable.**

4. Prévision d 'ensemble / *Ensemble prediction*

Principes généraux ...
General principles ...

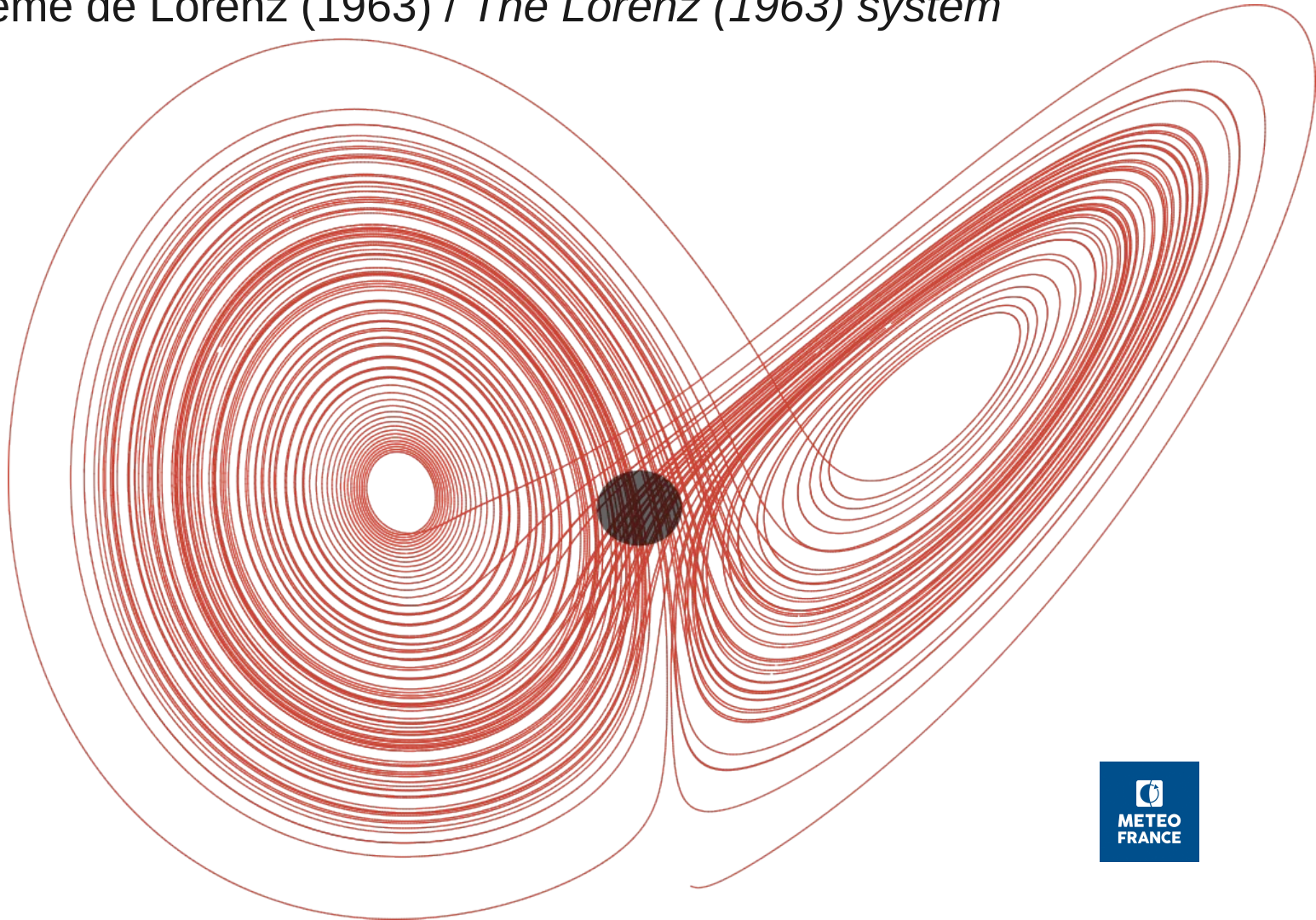
- Le système de Lorenz (1963) / *The Lorenz (1963) system*



4. Prévision d 'ensemble / *Ensemble prediction*

Principes généraux ...
General principles ...

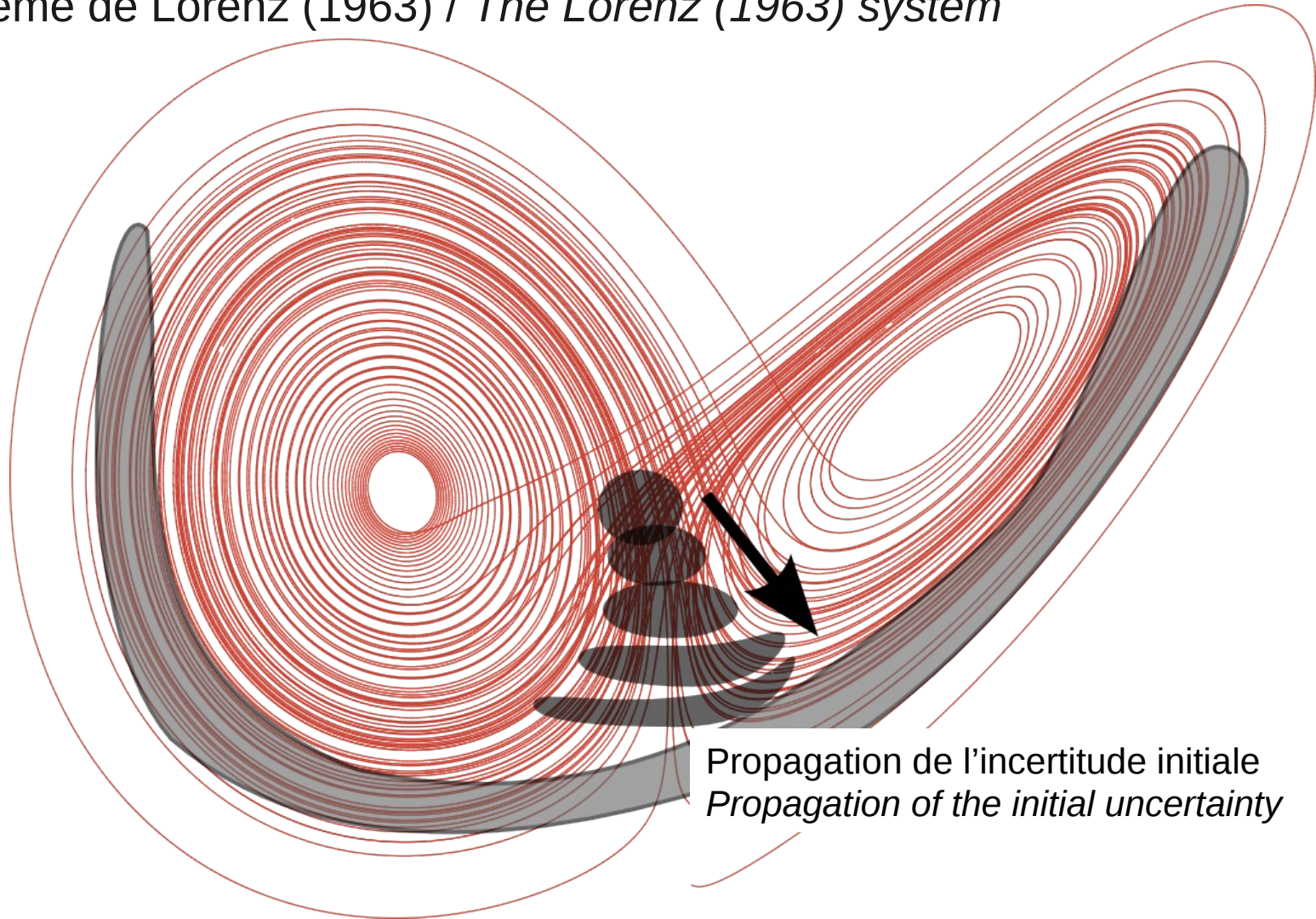
- Le système de Lorenz (1963) / *The Lorenz (1963) system*



4. Prévision d 'ensemble / *Ensemble prediction*

Principes généraux ...
General principles ...

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



4. Prévision d 'ensemble / *Ensemble prediction*

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 intrinsically 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*

4. Prévision d 'ensemble / *Ensemble prediction*

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.*

Plan

1. Principes généraux
2. L'analyse (assimilation de données)
3. La prévision
4. La prévision d'ensemble
 - Principes généraux
 - Les ingrédients
 - Les produits de la prévision d'ensemble
5. Evaluation des prévisions
6. Conclusions et perspectives

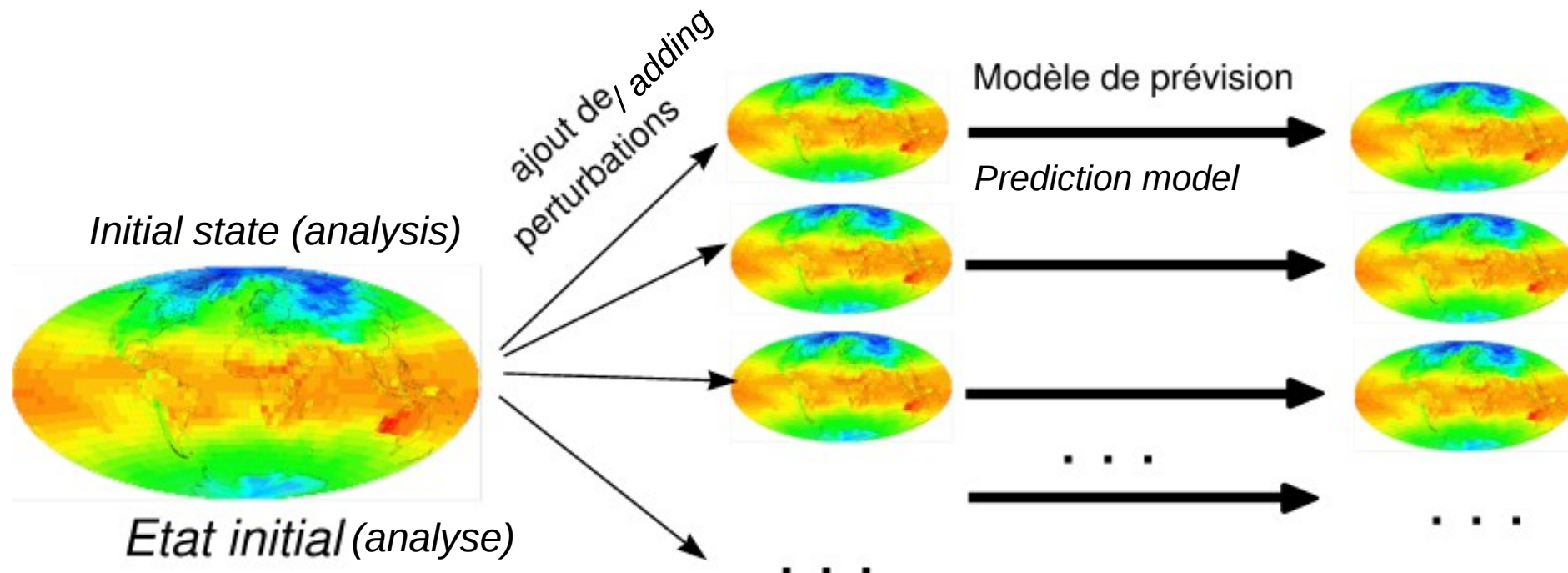
- 1. General principles*
- 2. The analysis (data assimilation)*
- 3. The forecast*
- 4. Ensemble prediction*
 - *General principles*
 - *Ingredients of an ensemble prediction*
 - *Outputs of an ensemble prediction*
- 5. Forecast assessment*
- 6. Conclusions and prospects*

4. Prévision d 'ensemble / *Ensemble prediction*

Le modèle numérique
The numerical model

- Système de prévision d'ensemble = simuler plusieurs  volutions possibles de l'atmosphère, les **membres**.
Nombre de membre < 50

- *Ensemble prediction system = in running several possible evolutions of the atmospheric state, the **members**.
number of members < 50.*



4. Prévision d 'ensemble / *Ensemble prediction*

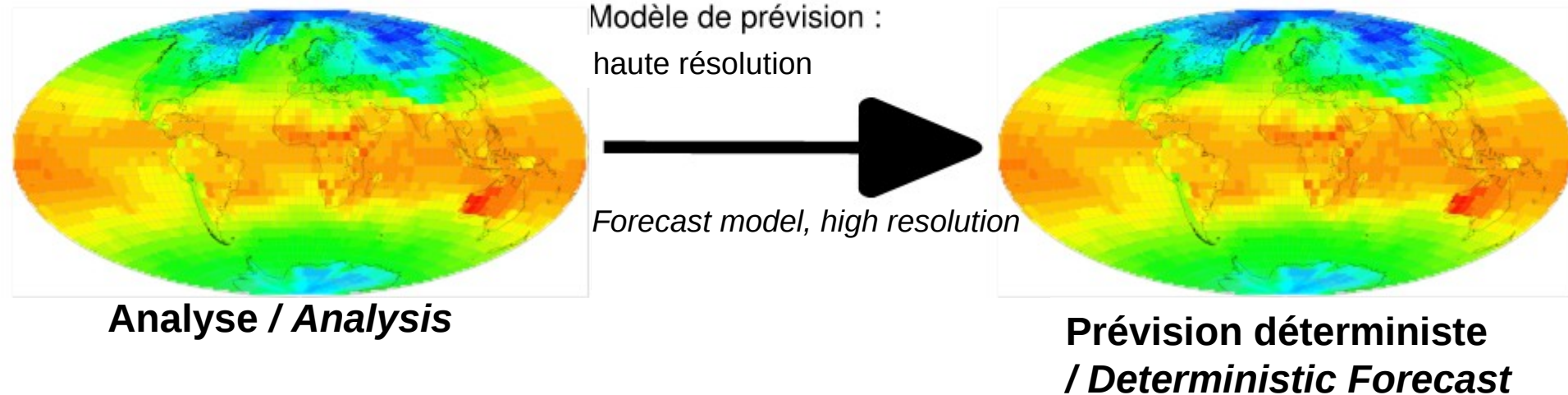
Le modèle numérique
The numerical model

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

4. Prédiction d 'ensemble / *Ensemble prediction*

Le modèle numérique
The numerical model

- Une prédiction d'ensemble est associée à un modèle de prédiction numérique. Souvent, la résolution des membres est moindre que celle du modèle déterministe.
- Le membre non-perturbée s'appelle le **contrôle** (différent de la **prédiction 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**).*



4. Prévision d 'ensemble / *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)*

4. Prévision d 'ensemble / *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*

4. Prévision d 'ensemble / *Ensemble prediction*

Description des principaux systèmes
Description of the main systems

	Centre	Number of members	Resolution	Initial perturbations	Model perturbations
EPS	CEPMMT ECMWF	51	18km (0-15j) 36km (16-46j)	Singular vectors + perturbed observations	Physics (stochastic)
PEARP	Météo-France	35	8 km France ~22 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

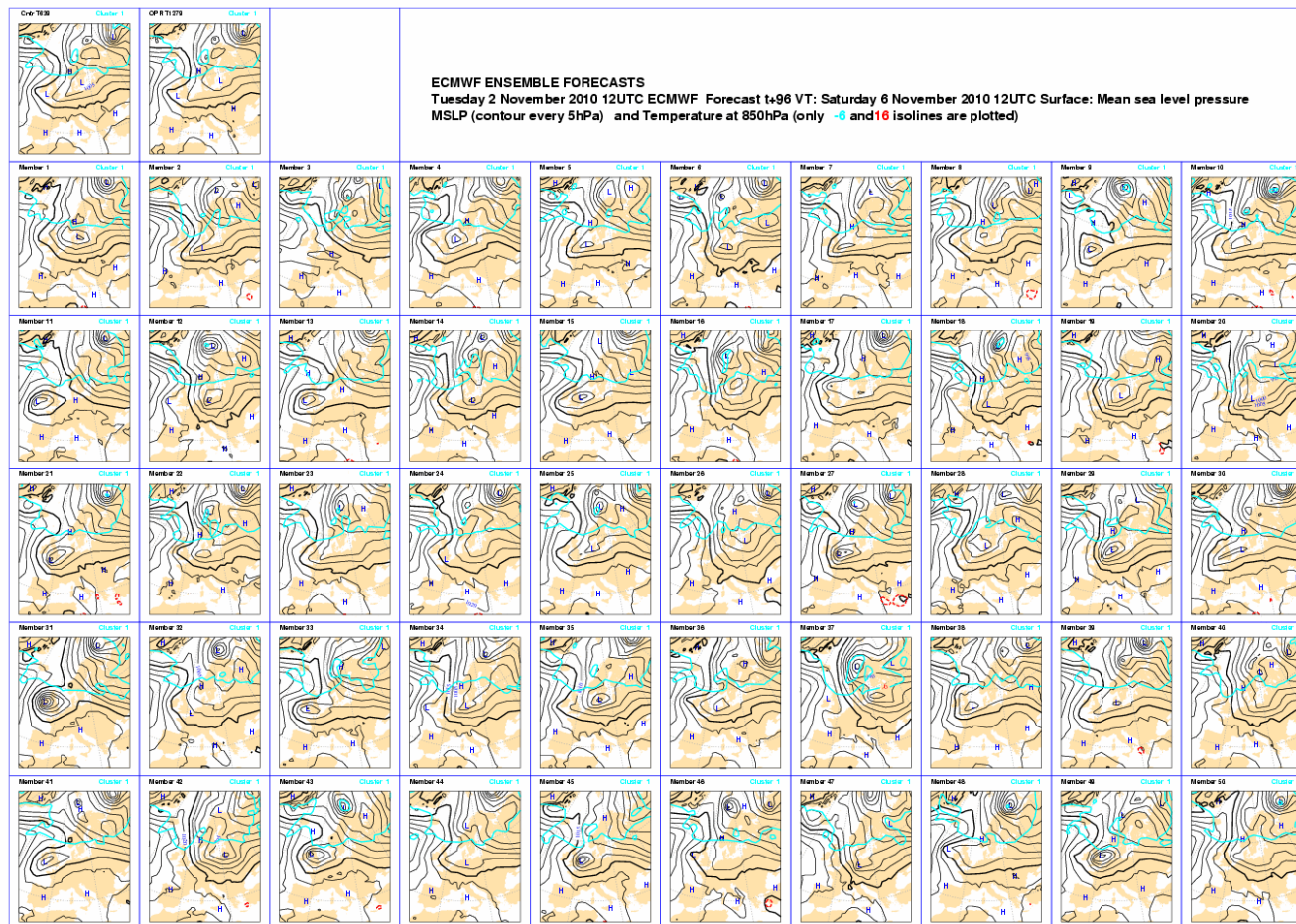
1. Principes généraux
2. L'analyse (assimilation de données)
3. La prévision
4. La prévision d'ensemble
 - Principes généraux
 - Les ingrédients
 - Les produits de la prévision d'ensemble
5. Evaluation des prévisions
6. Conclusions et perspectives

- 1. General principles*
- 2. The analysis (data assimilation)*
- 3. The forecast*
- 4. Ensemble prediction*
 - *General principles*
 - *Ingredients of an ensemble prediction*
 - *Outputs of an ensemble prediction*
- 5. Forecast assessment*
- 6. Conclusions and prospects*

4. Prédiction d'ensemble / Ensemble prediction

Les membres
The members

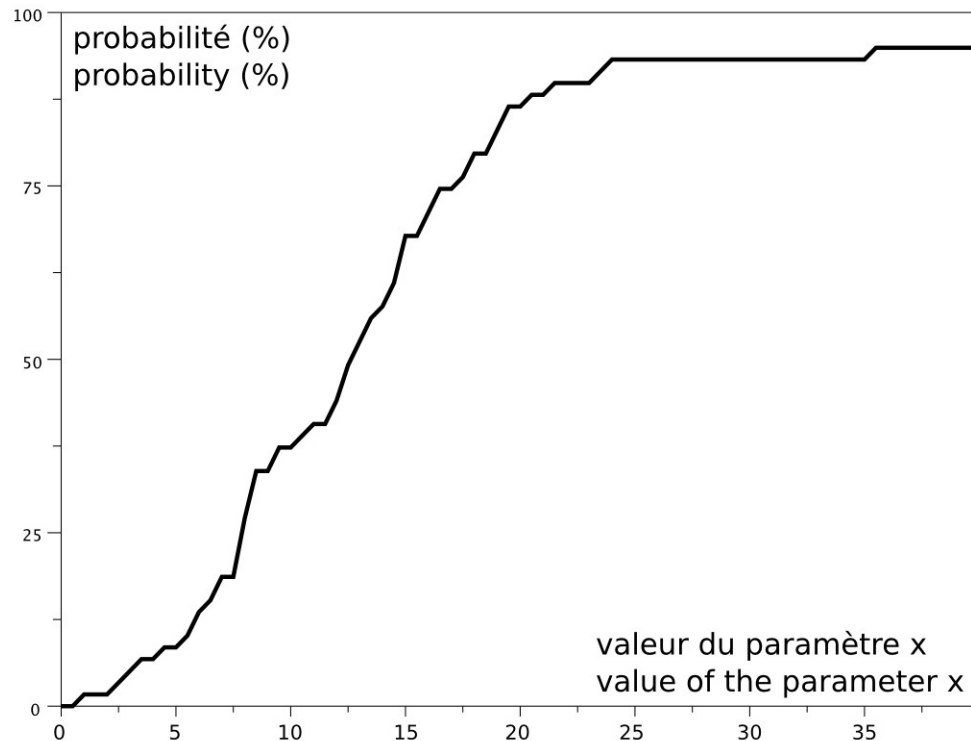
- Les différents membres prévus sont supposés **équiprobables**
- *The different forecast members are supposed **equiprobables***



4. Prévision d'ensemble / *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.*



4. Prévision d'ensemble / *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)*

4. Prévision d'ensemble / Ensemble prediction

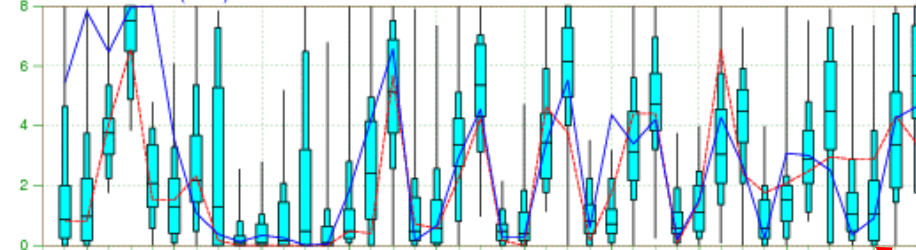
Dispersion
Spread

■ Les EPSgrams utilisent la dispersion

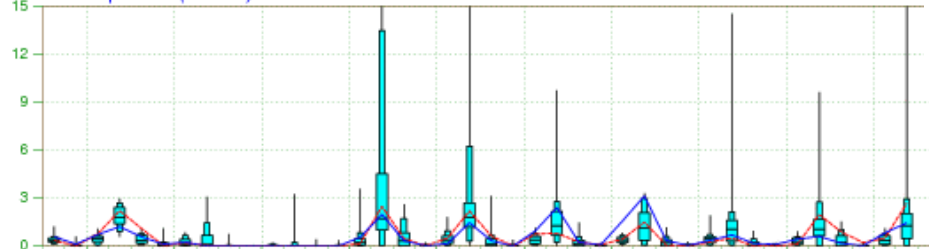
■ EPSgrams use spread

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

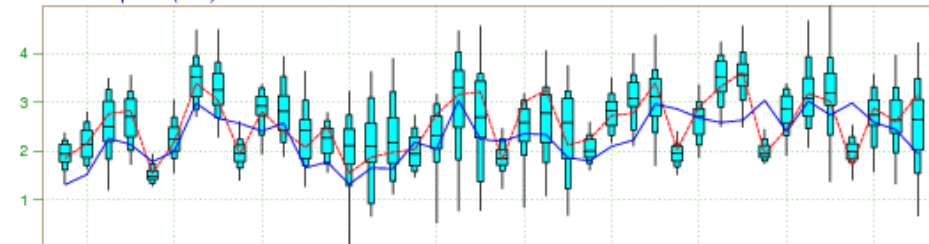
Total Cloud Cover (okta)



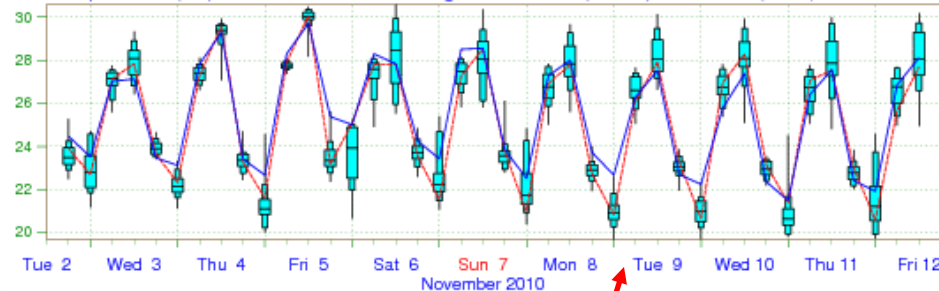
Total Precipitation (mm/6h)



10m Wind Speed (m/s)

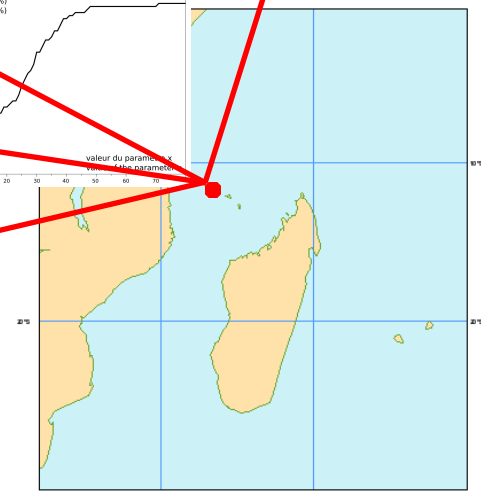
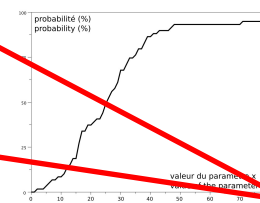


2m Temperature (°C) reduced to the station height from 618 m (T1279) and 215 m (T639)



max
90%
75%
median
25%
10%
min

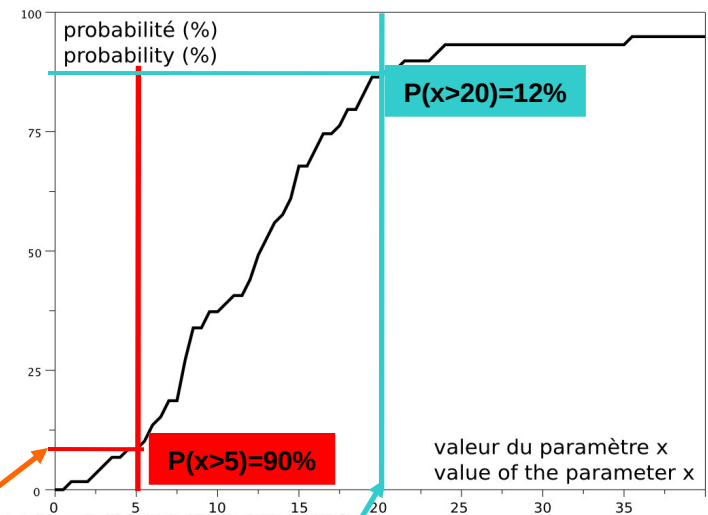
EPS Control(31 km) High Resolution Deterministic(16 km)



4. Prévision d'ensemble / Ensemble prediction

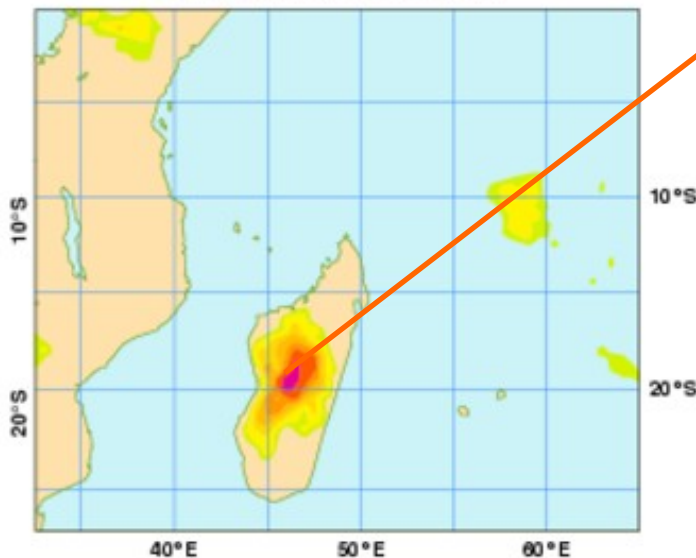
- Probabilité de dépassement de seuil en un point
- *Probability of value above a threshold at a point*

Probabilités / Probabilities

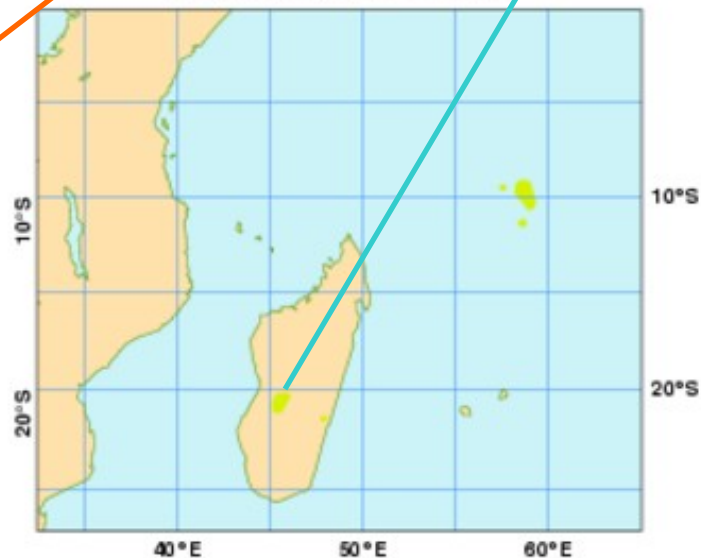


EPS du 02/11/2010 0h, echeance 42h, valide le 03/11/2010 18h

Probabilite RR6 > 5mm



Probabilite RR6 > 20mm



4. Prévision d'ensemble / *Ensemble prediction*

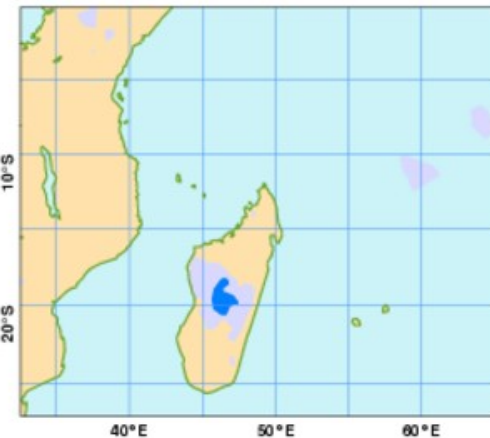
Probabilités / *Probabilities*

- Quantiles en un point

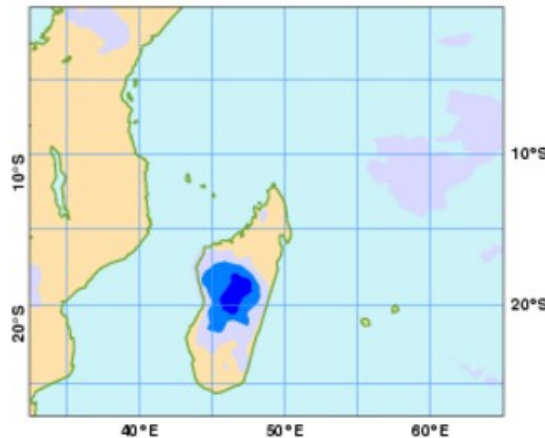
- *Quantiles at a point*

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

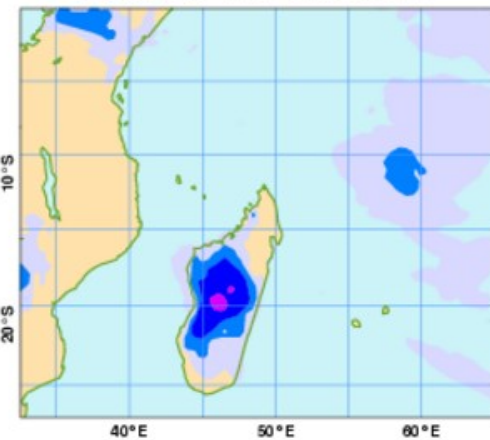
Quantile 25 - RR6 - unites : mm



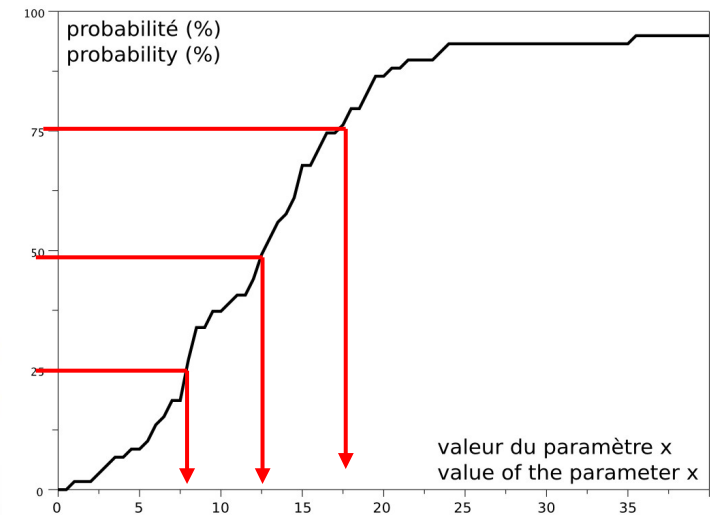
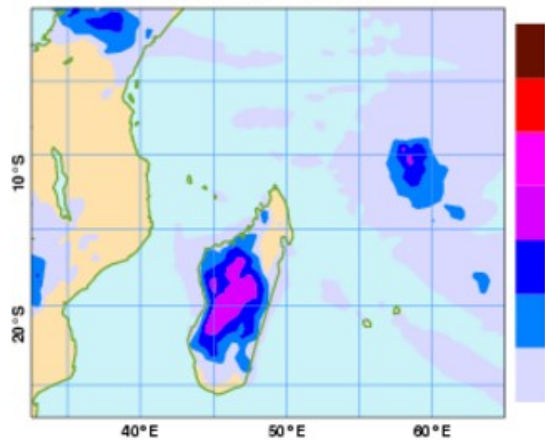
Quantile 50 - RR6 - unites : mm



Quantile 75 - RR6 - unites : mm



Quantile 90 - RR6 - unites : mm



4. Prédiction d'ensemble / Ensemble prediction

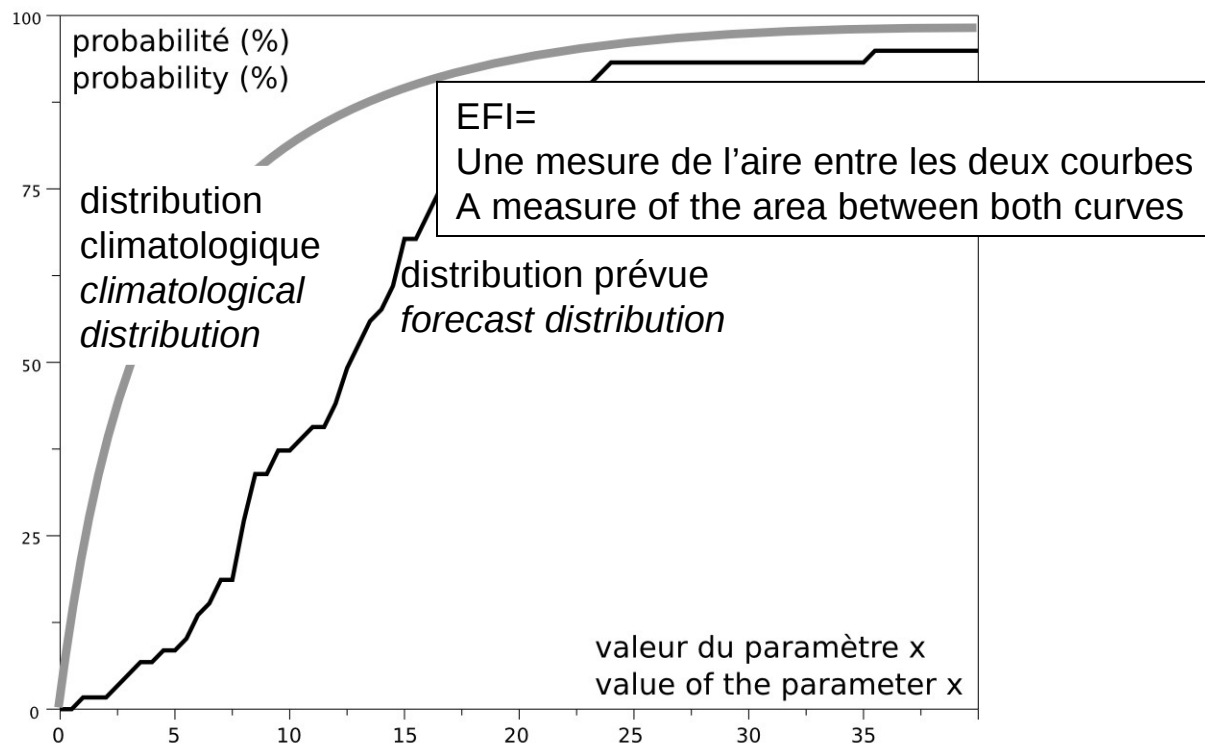
Probabilités / Probabilities

■ 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*



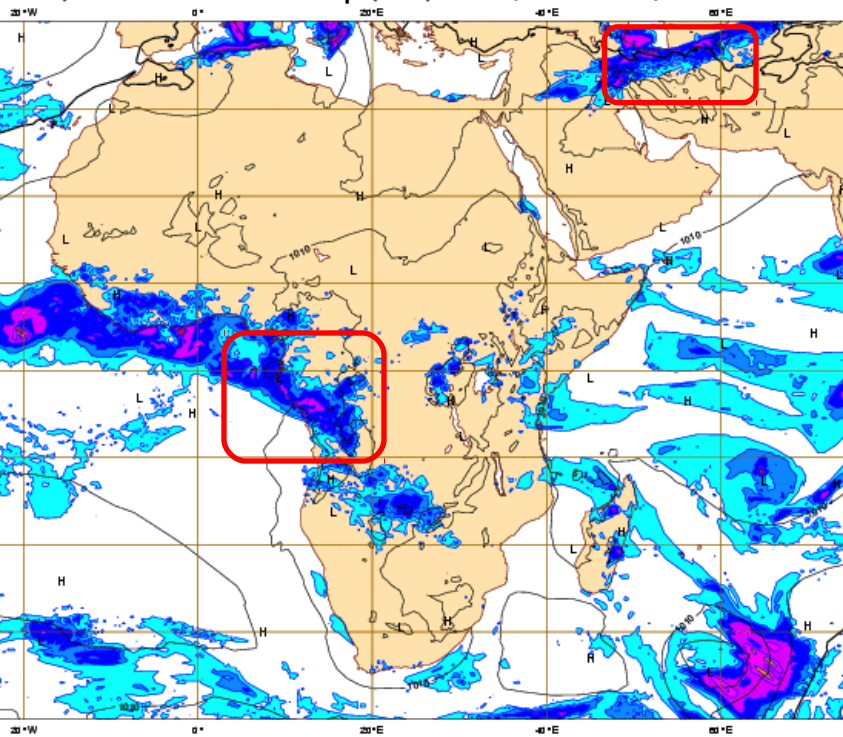
4. Prédiction d'ensemble / Ensemble prediction

Probabilités / Probabilities

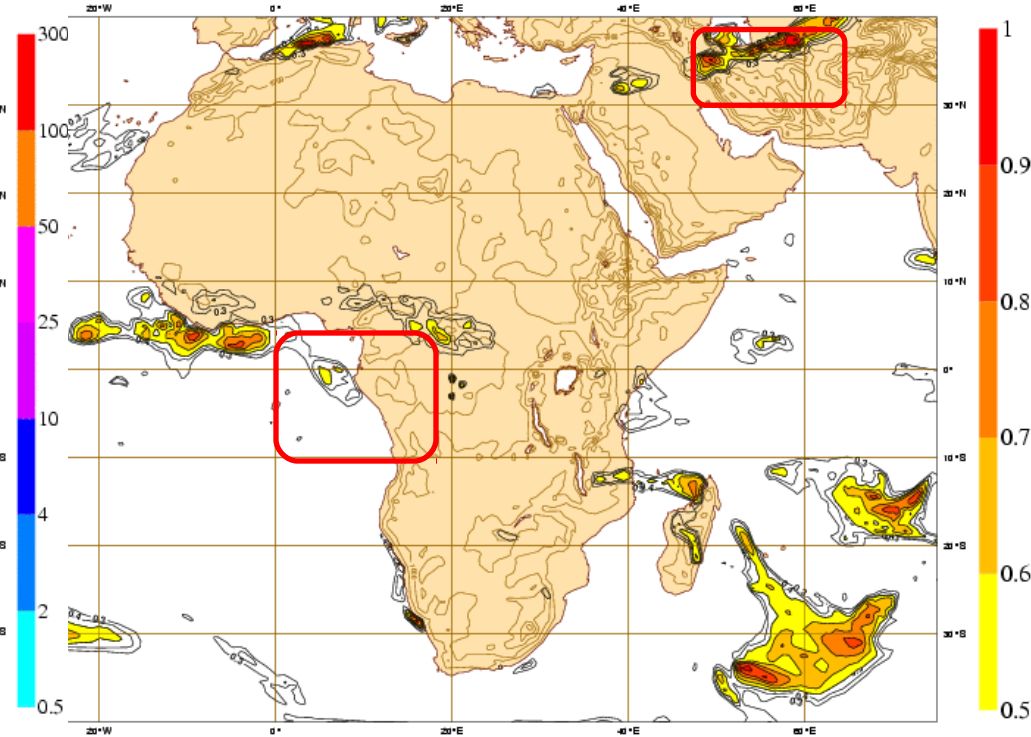
- Extreme Forecast Index (EFI)
 - Objectif: prévoir les événements extrêmes (vent, précipitations), par rapport à la climatologie du modèle
 - Indique si le modèle prévoit des valeurs inhabituelles

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

Precipitations 24h



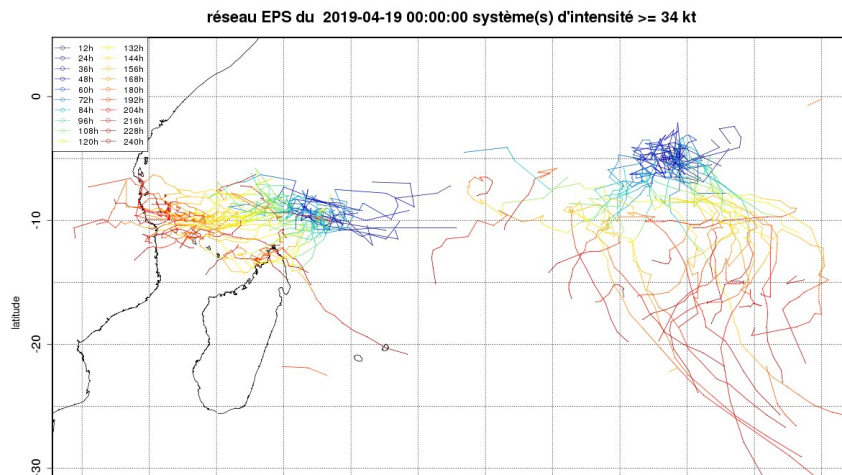
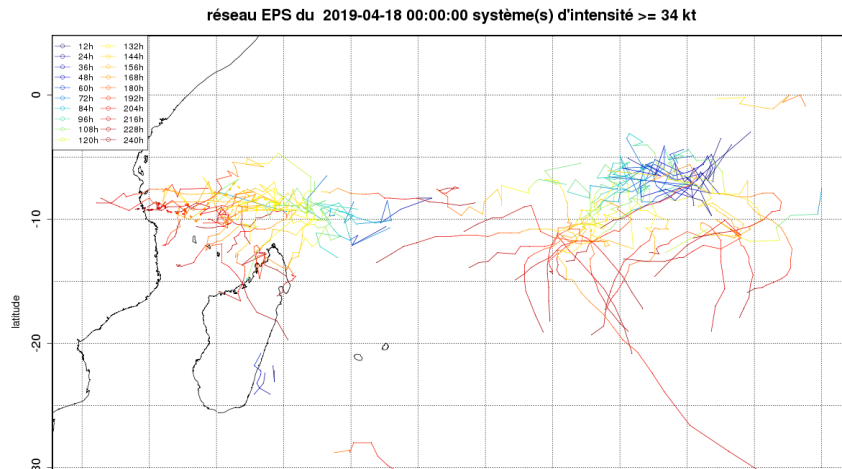
EFI Précipitations 24h



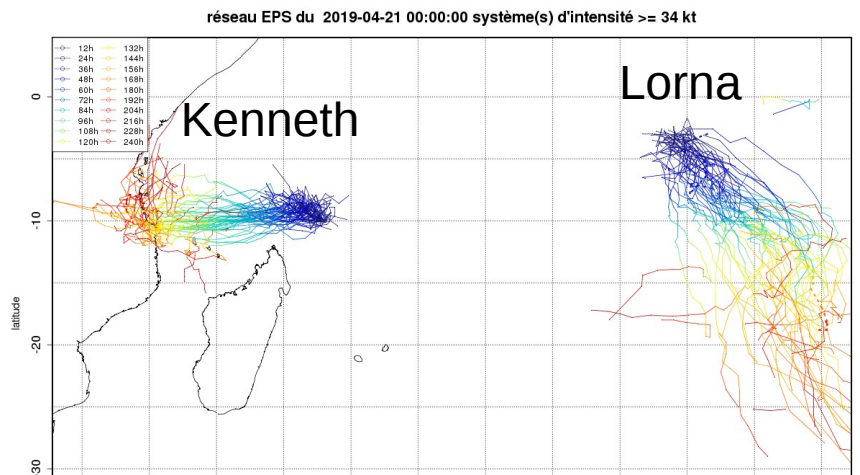
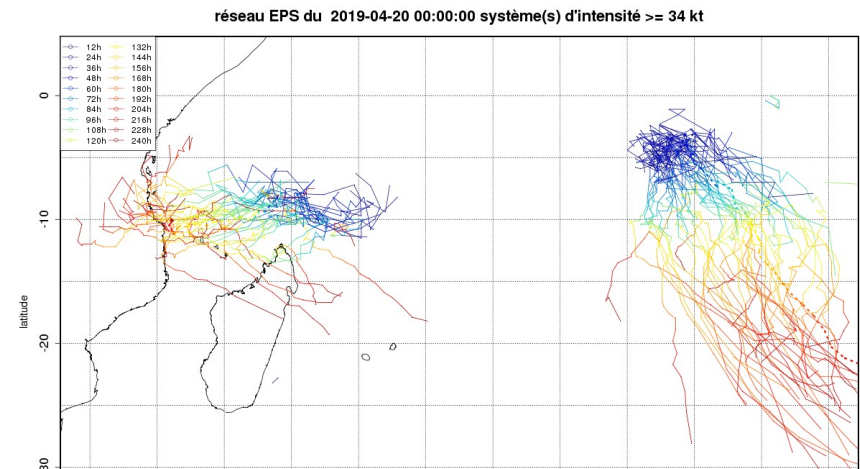
4. Prévision d'ensemble / Ensemble prediction

Produits cyclone
Cyclone products

■ Panache de trajectoires



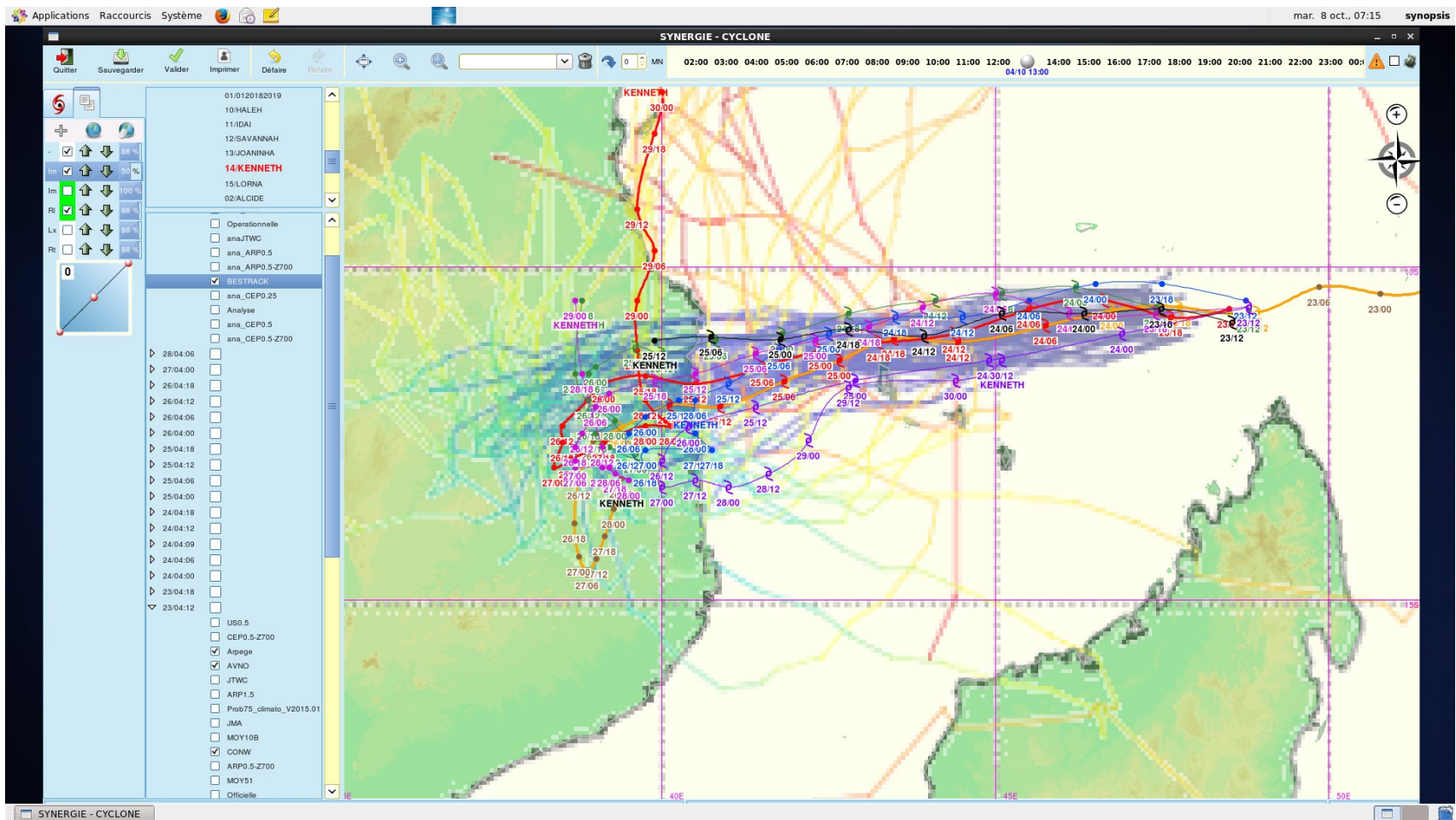
■ Track plumes



4. Prévision d'ensemble / Ensemble prediction

Produits cyclone
Cyclone products

- Panache de trajectoires
- *Track plumes*

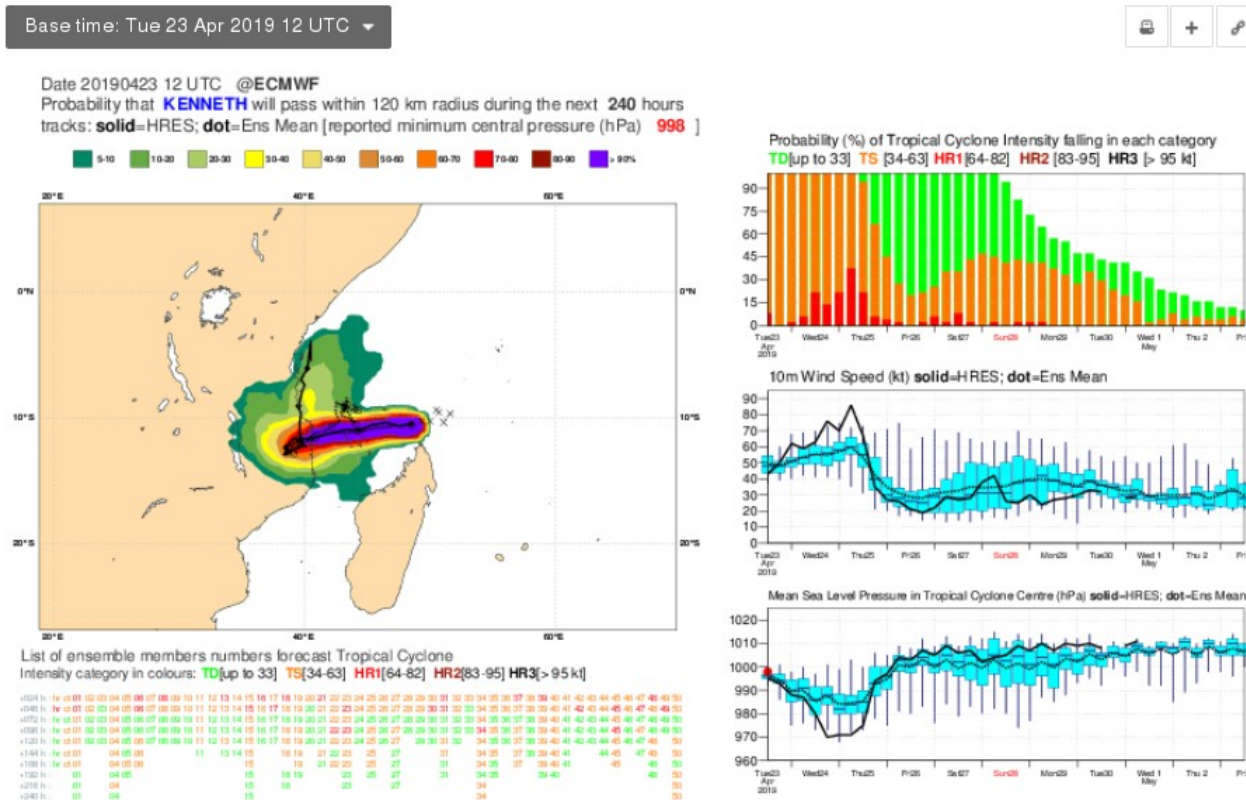


4. Prévision d'ensemble / Ensemble prediction

Produits cyclone
Cyclone products

- Produits ECMWF
 - Panache de trajectoires / *Track plumes*
 - Panache d'intensités / *Intensity plumes*

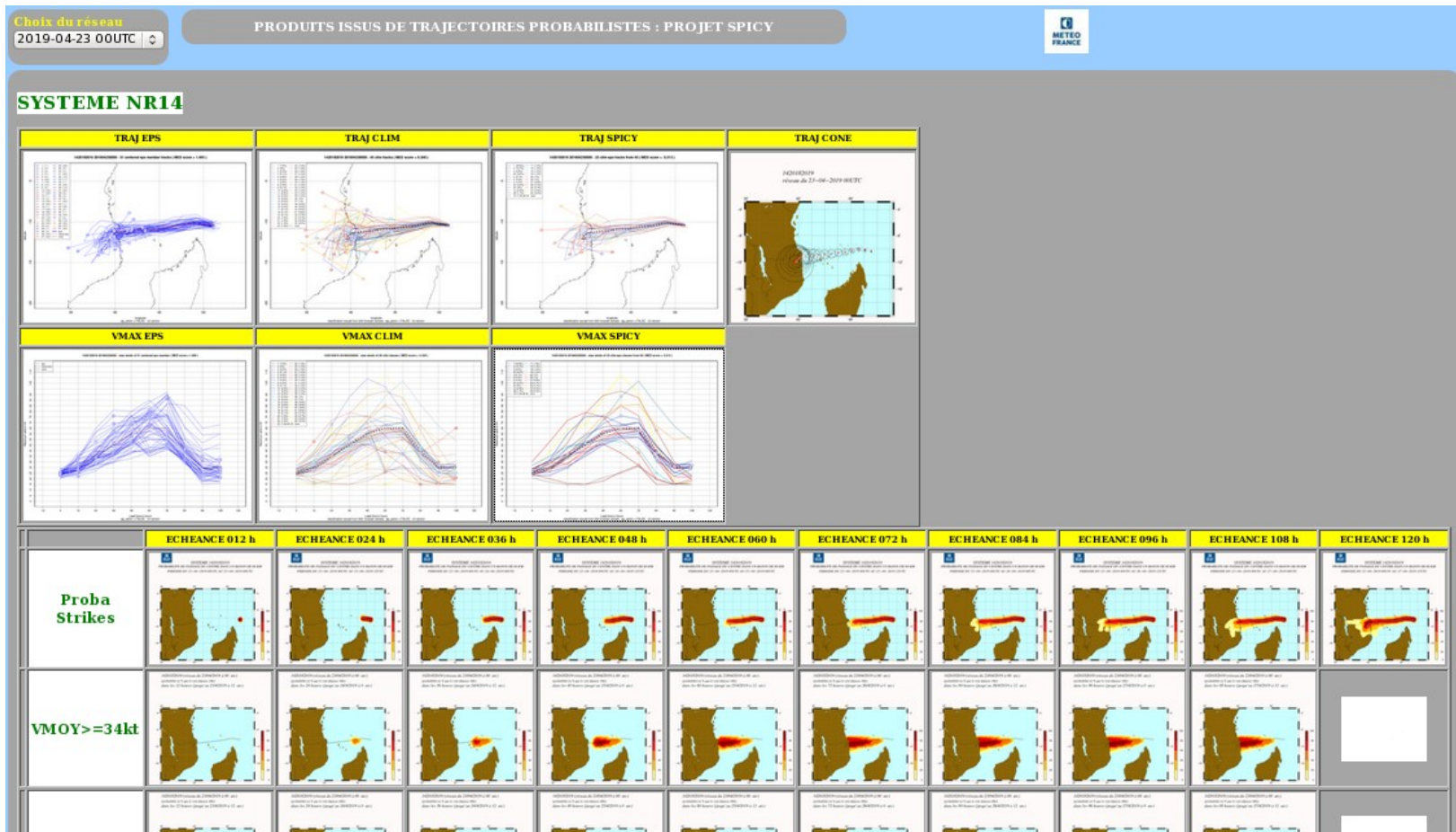
Tropical cyclone strike probability for KENNETH



4. Prévision d'ensemble / Ensemble prediction

- Produits Spicy / *Spicy Products*
 - Panache de trajectoires / *Track plumes*
 - Panache d'intensités / *Intensity plumes*
 - Cone d'incertitude / *Strike probabilities*

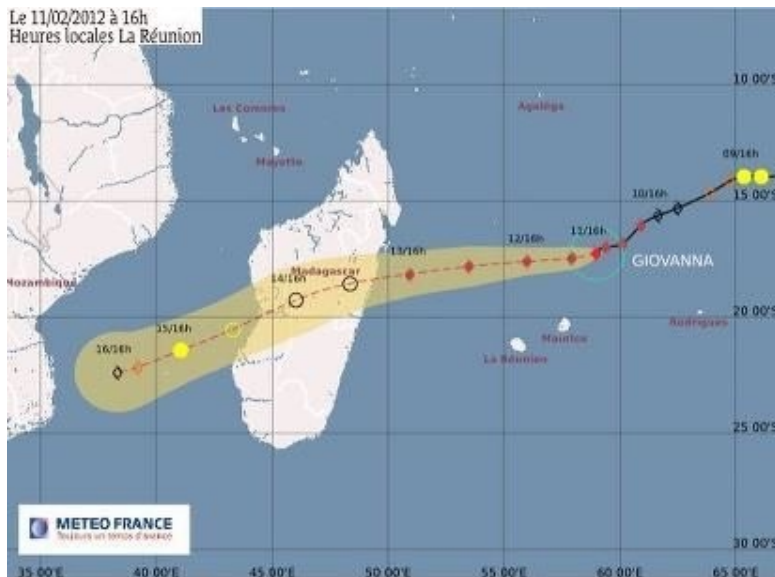
Produits cyclone
Cyclone products



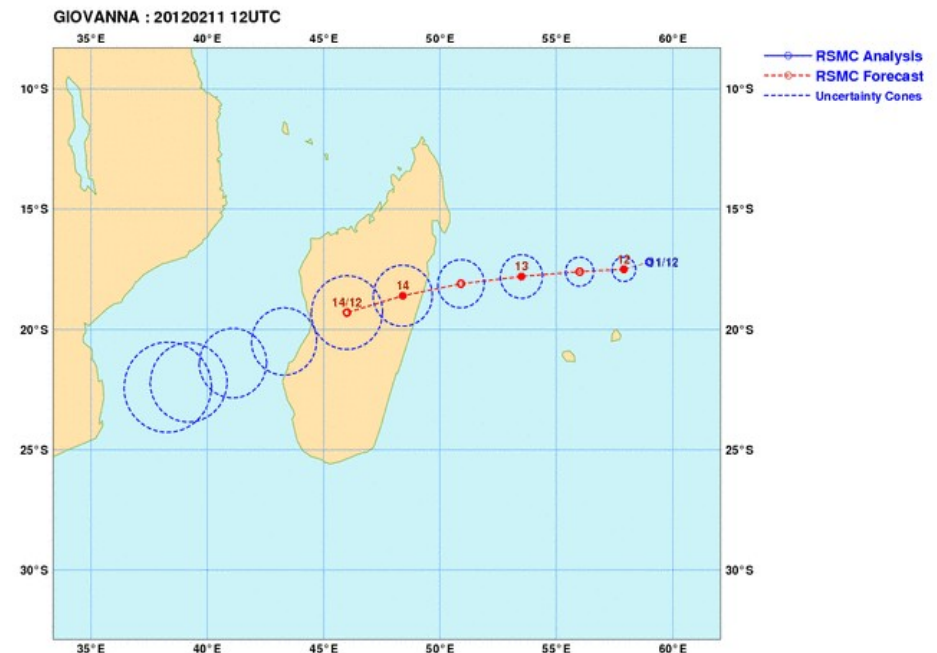
4. Prévision d'ensemble / Ensemble prediction

Produits cyclone
Cyclone products

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



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



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

4. Prévision d'ensemble / *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



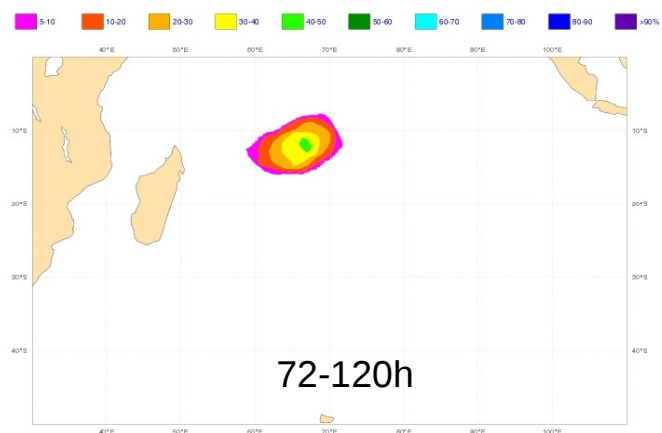
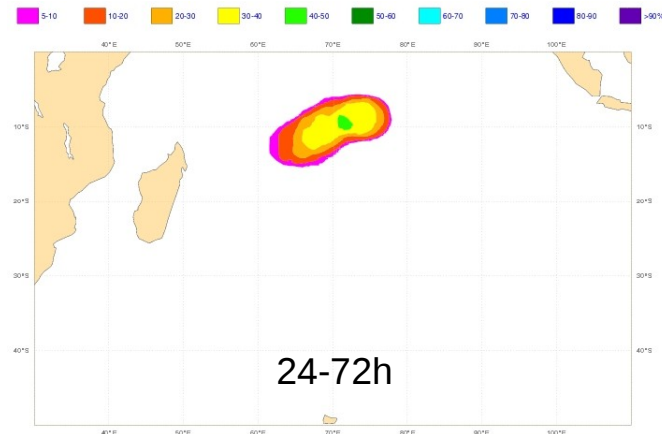
Pmer - isoligne 1008 hPa



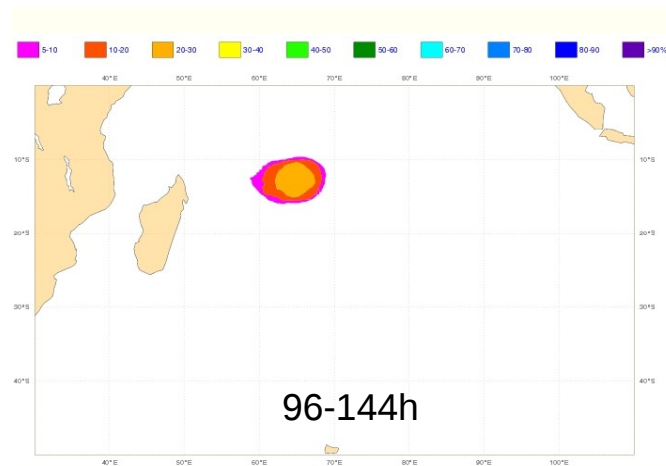
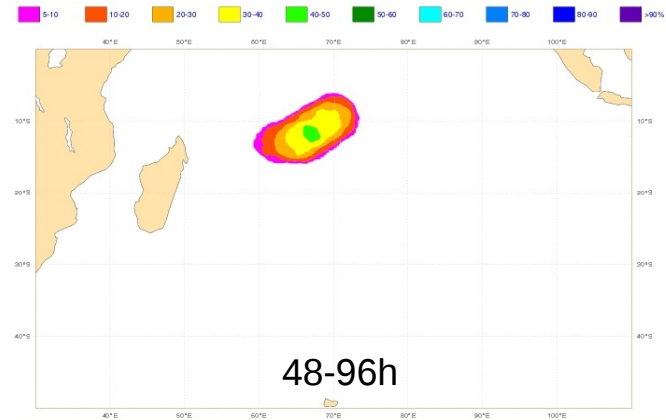
4. Prévision d'ensemble / Ensemble prediction

Produits cyclone
Cyclone products

- Probabilités de présence pour la détection de la cyclogenèse



- *Strike probabilities for the detection of cyclogenesis*



Plan

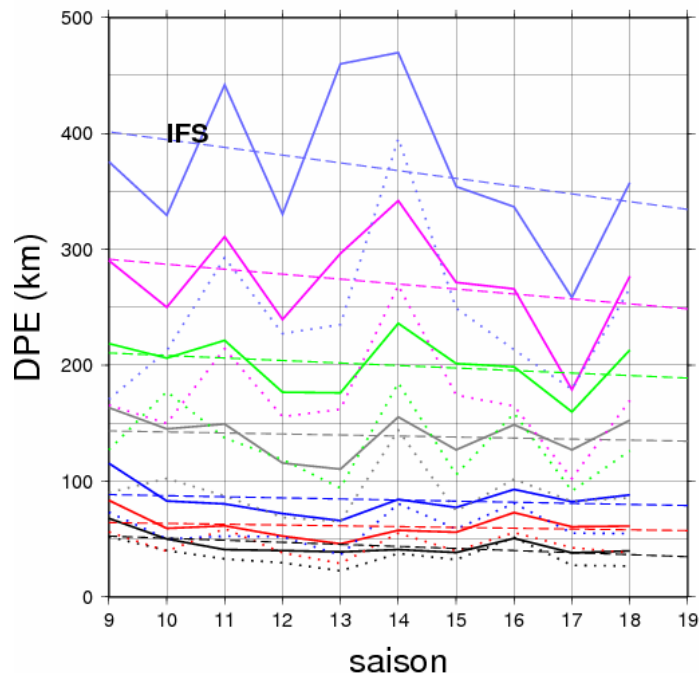
1. Principes généraux
2. L'analyse (assimilation de données)
3. La prévision
4. La prévision d'ensemble
5. Evaluation des prévisions
6. Conclusions et perspectives

- 1. General principles*
- 2. The analysis (data assimilation)*
- 3. The forecast*
- 4. Ensemble prediction*
- 5. Forecast assessment*
- 6. Conclusions and prospects*

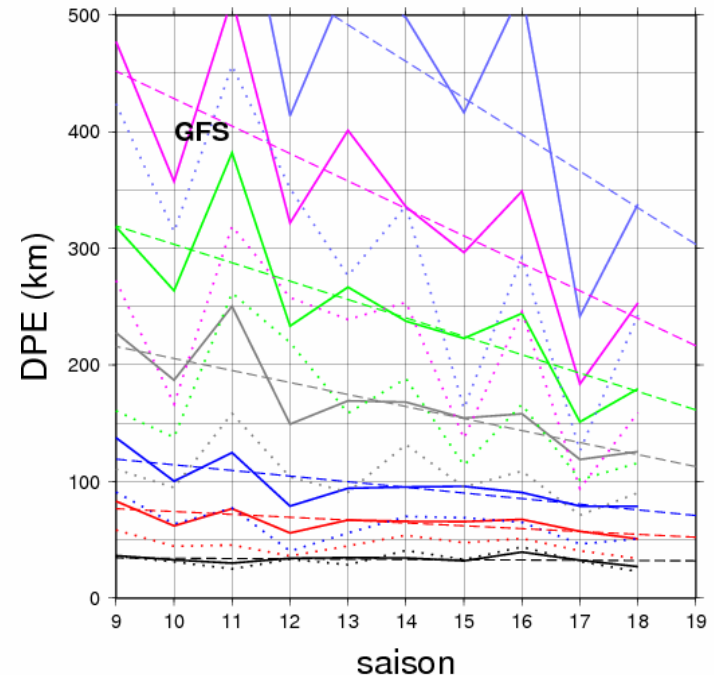
5. Evaluation des prévisions / Forecast assessment

Evolution au cours des saisons
Skill during seasons

- Erreur directe de position
 - IFS : bonne performance mais difficile à améliorer
 - GFS : en amélioration et devient le meilleur
 - Des saisons plus difficiles à prévoir



- *Direct Position Error*
 - *IFS : good skill but difficult to improve*
 - *GFS : better and better*
 - *Some seasons difficult to forecast*

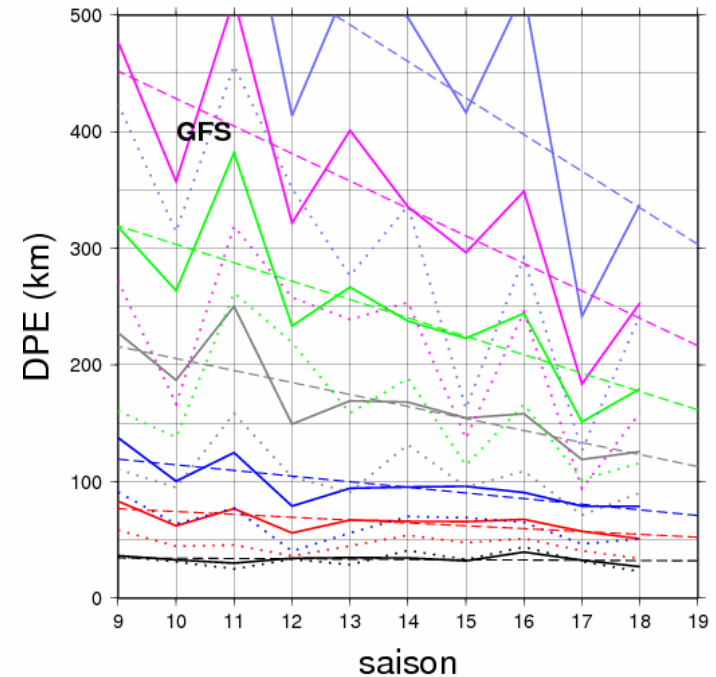
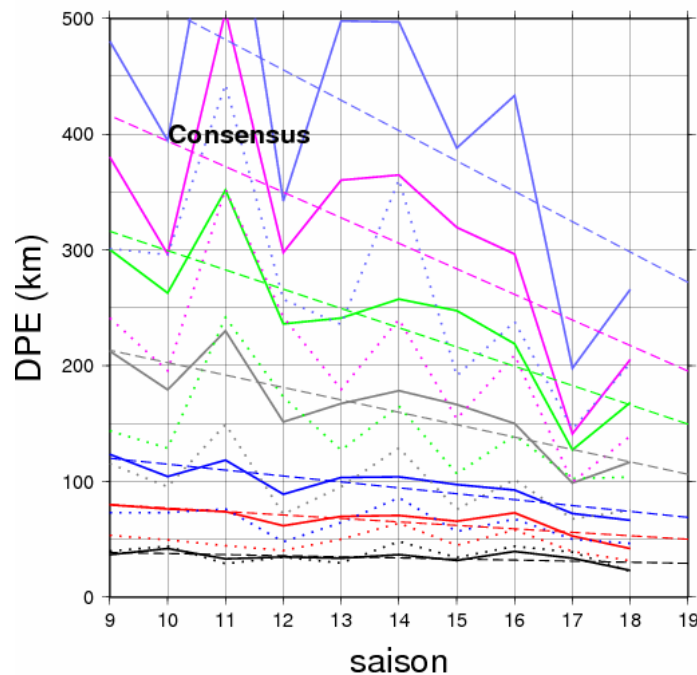


5. Evaluation des prévisions / *Forecast assessment*

Evolution au cours des saisons
Skill during seasons

- Erreur directe de position
 - Consensus : un plus par rapport aux modèles
 - Mais dégradation sur certains cas

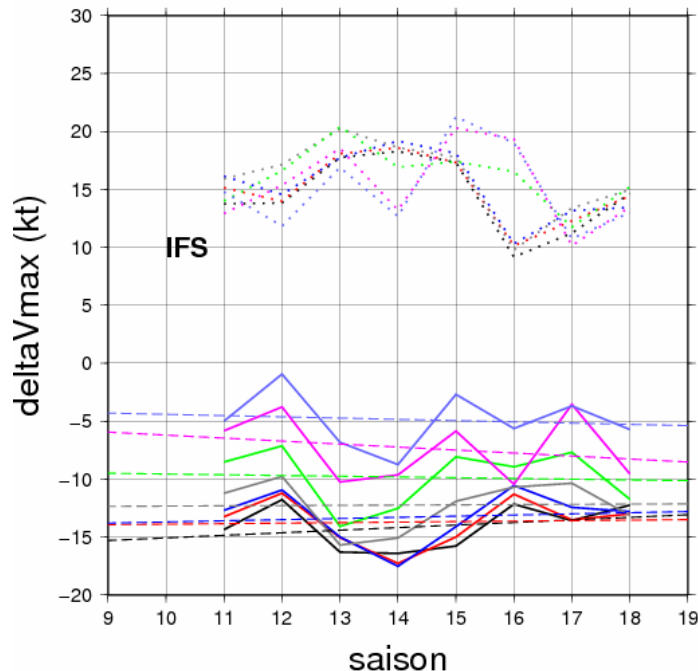
- *Direct Position Error*
 - *Consensus : better than numerical models*
 - *But less effective in some cases*



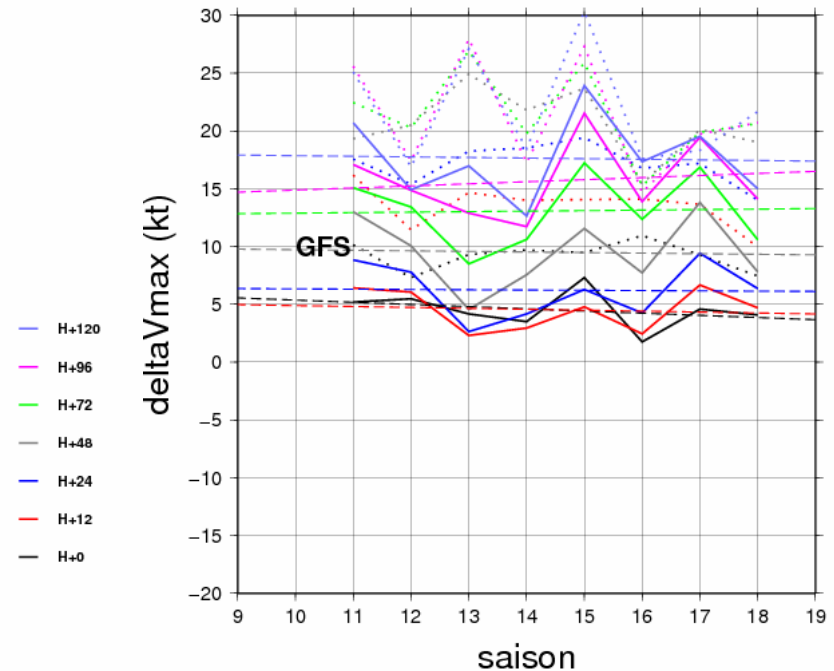
5. Evaluation des prévisions / *Forecast assessment*

Evolution au cours des saisons
Skill during seasons

- Intensité maximale en vent
 - Permet d'estimer les sur-estimations ou sous-estimations
 - IFS : sous-estime et meilleure performance à longue échéance
 - GFS : Sur-estime et tend à accentuer son défaut



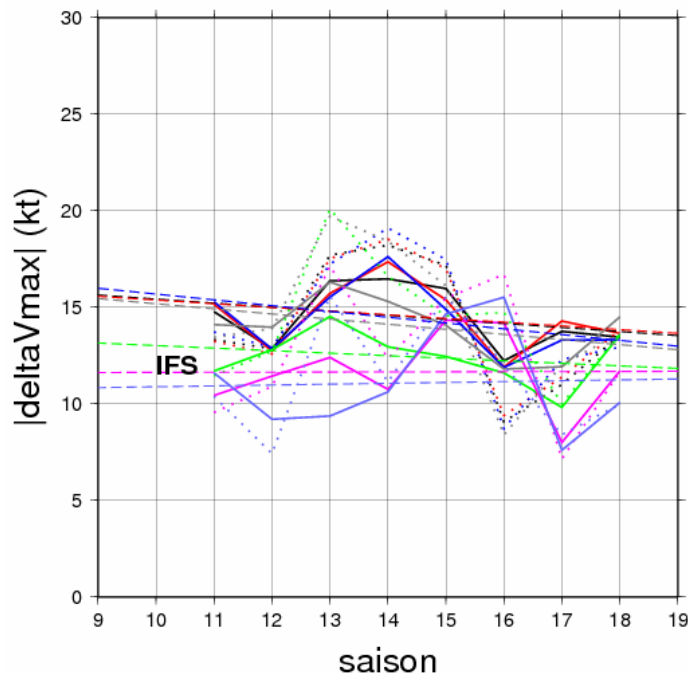
- Maximal wind intensity
 - Information about over or under estimation
 - IFS : under-estimate and better skill at long terms
 - GFS : over-estimate and accentuates its error at long-terms



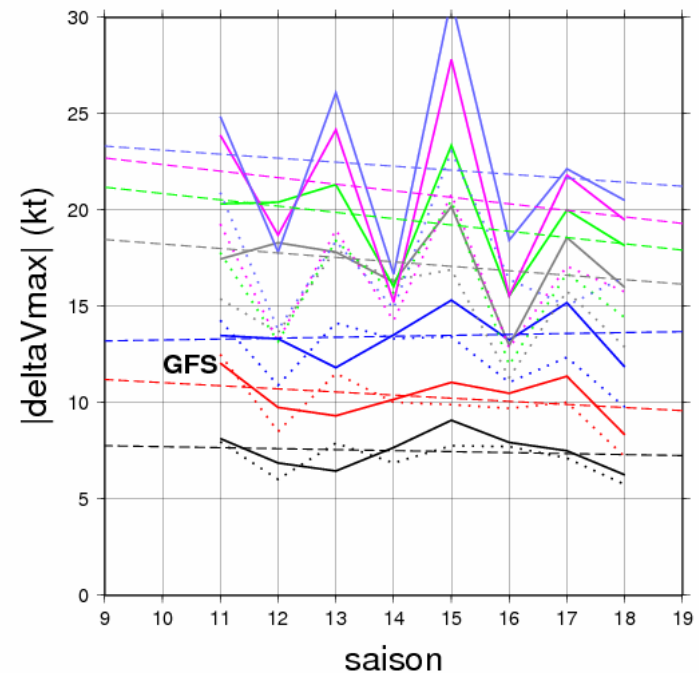
5. Evaluation des prévisions / *Forecast assessment*

Evolution au cours des saisons
Skill during seasons

- $|V_{\max} - \text{obs}|$
 - Comparaison des biais possibles
 - IFS : performances peu dépendantes de l'échéance
 - GFS : même comportement que $V_{\max}$, biais et écart-type importants



- $|V_{\max} - \text{obs}|$
 - Average comparaison possible
 - IFS : performance not very time-dependent
 - GFS : same that $V_{\max}$, important mean and standard deviation

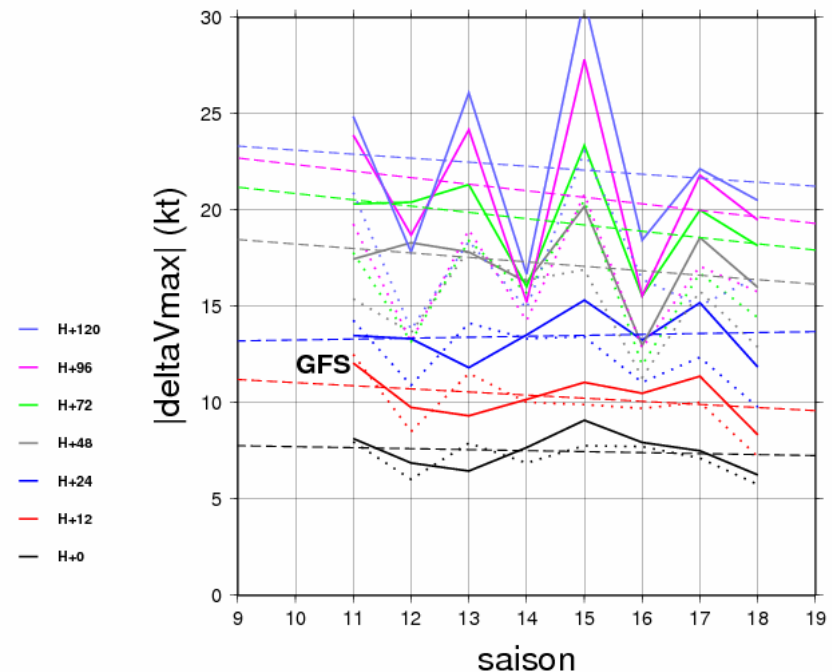
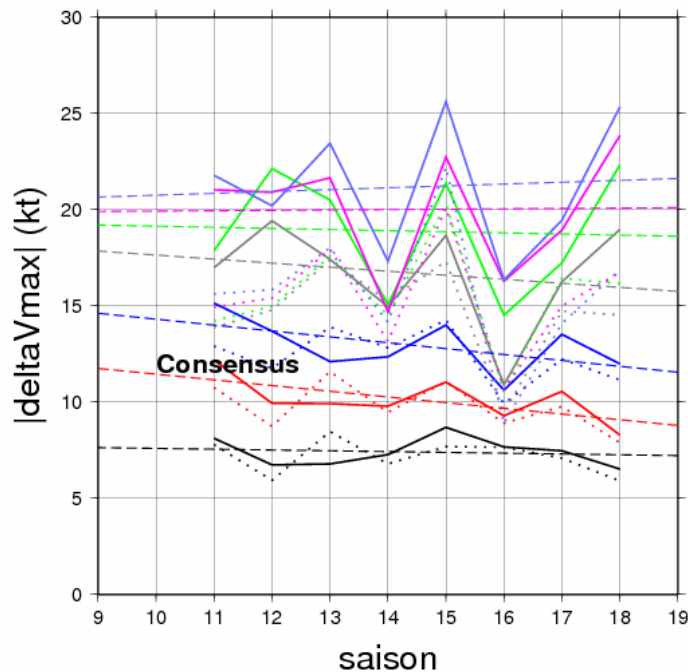


5. Evaluation des prévisions / *Forecast assessment*

Evolution au cours des saisons
Skill during seasons

- $|V_{\max} - \text{obs}|$
 - Dégradation possible accentuée
 - Gain important possible en intensité

- $|V_{\max} - \text{obs}|$
 - Possible increased degradation
 - Significant improvement is possible in intensity

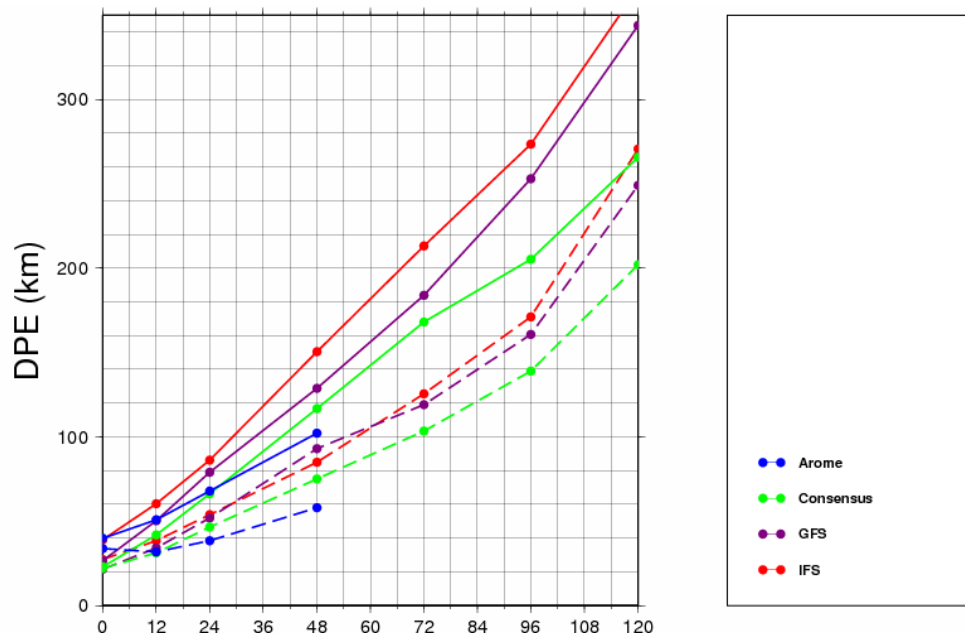


5. Evaluation des prévisions / *Forecast assessment*

Saison 2018-2019
Season 2018-2019

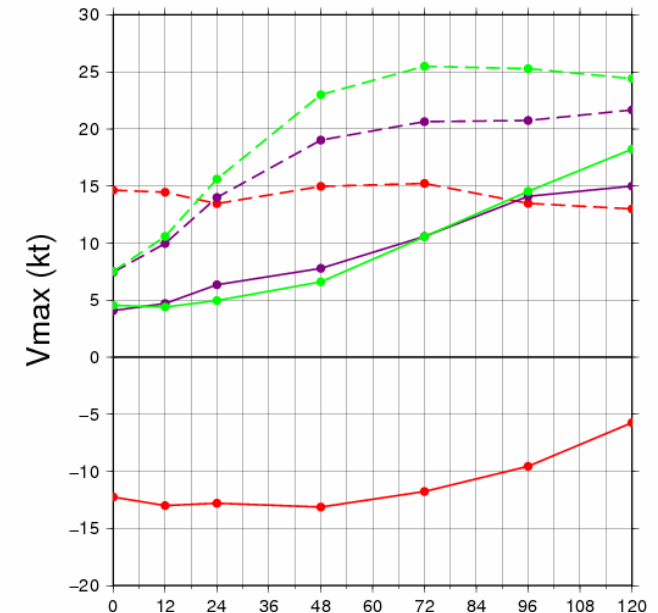
■ Saison 2018-2019

- Importance du consensus en erreur de localisation
- Comportement différent en intensité
- Confiance mitigée à cause des écart-types



■ Season 2018-2019

- Interest of consensus for DPE
- Behaviour is different for intensity
- Large standard deviation



Plan

1. Principes généraux
2. L'analyse (assimilation de données)
3. La prévision
4. La prévision d'ensemble
5. Evaluation des prévisions
6. Conclusions et perspectives

- 1. General principles*
- 2. The analysis (data assimilation)*
- 3. The forecast*
- 4. Ensemble prediction*
- 5. Forecast assessment*
- 6. Conclusions and prospects*

5. Conclusions et perspectives

Conclusions and prospects

- Modèle numérique = 2 étapes
 - Assimilation
 - Prévision = équations avec approximations en fonction de la résolution
 - Différents modèles → différentes performances
 - Importance du type d'observations et de la méthode d'assimilation
 - Importance des paramétrisations et de la résolution
 - Moyens de calcul importants nécessaires
- Numerical model = 2 steps
 - Assimilation
 - Forecast = equations with approximations according resolution
 - Several models → different skills
 - Importance of such observations and assimilation method
 - Importance of parametrizations and resolution
 - Need of significant computing power

5. Conclusions et perspectives

Conclusions and prospects

- Une évolution permanente nécessaire et bénéfique
- Prévisions de trajectoires évoluent peu maintenant
- Depuis quelques années, capacité des modèles à prévoir l'intensité
- Réduire la dispersion = une nécessité
- *A permanent and beneficial evolution*
- *The track forecasts : not changing much now*
- *In recent years, model ability to forecast intensity*
- *Reduce standard deviation = a needed*

5. Conclusions et perspectives

Conclusions and prospects

- L'avenir : des modèles à haute résolution ($< 3\text{km}$) résolvant la convection pour mieux prévoir
 - l'intensité et la structure des cyclones
 - leurs impacts sur les territoires (vent, pluies)
- Assimilation à méso-échelle
 - Amélioration des structures cycloniques
 - Amélioration des précipitations
 - Apport des données radar
- Couplage océanique
 - Permet de limiter les intensités
 - Peut expliquer certaines intensifications rapides dans le canal du Mozambique
- *The future : high-resolution models ($< 3\text{km}$) resolving convection to better forecast*
 - *the intensity and the structure of cyclones*
 - *their impacts over territories (wind, rain)*
- *Mesoscale assimilation*
 - *Improve forecasted structure of cyclones*
 - *Improve forecasted pattern of rain*
 - *Use of radar data*
- And what about ocean coupling?
 - To limit the intensity
 - Can explain some rapid intensification in Mozambique Channel

5. Conclusions et perspectives

Conclusions and prospects

- **Limite indépassable** à la prévisibilité : prévoir l'incertitude de la prévision
 - La prévision d'ensemble est une technique assez récente (~20 ans) :
 - Comment calculer les perturbations initiales ?
 - Quelles techniques de perturbation du modèle?
 - Caractériser l'incertitude de la prévision de trajectoire et de la cyclogenèse.
- *Impassable limit to the atmospheric predictability : need to know the uncertainty of the forecast.*
 - *Ensemble prediction is a quite recent technique (~20 years old) :*
 - *How to compute the initial perturbations?*
 - *What techniques for perturbing the model?*
 - *To characterize the uncertainty of track forecast and of cyclogenesis.*

5. Conclusions et perspectives

Conclusions and prospects

- 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*

La Prévision Numérique pour les cyclones tropicaux

The Numerical Weather Prediction about tropical cyclones

Merci de votre attention

Thank you for your attention

David BARBARY

CMRS/RSMC La Réunion, novembre 2019