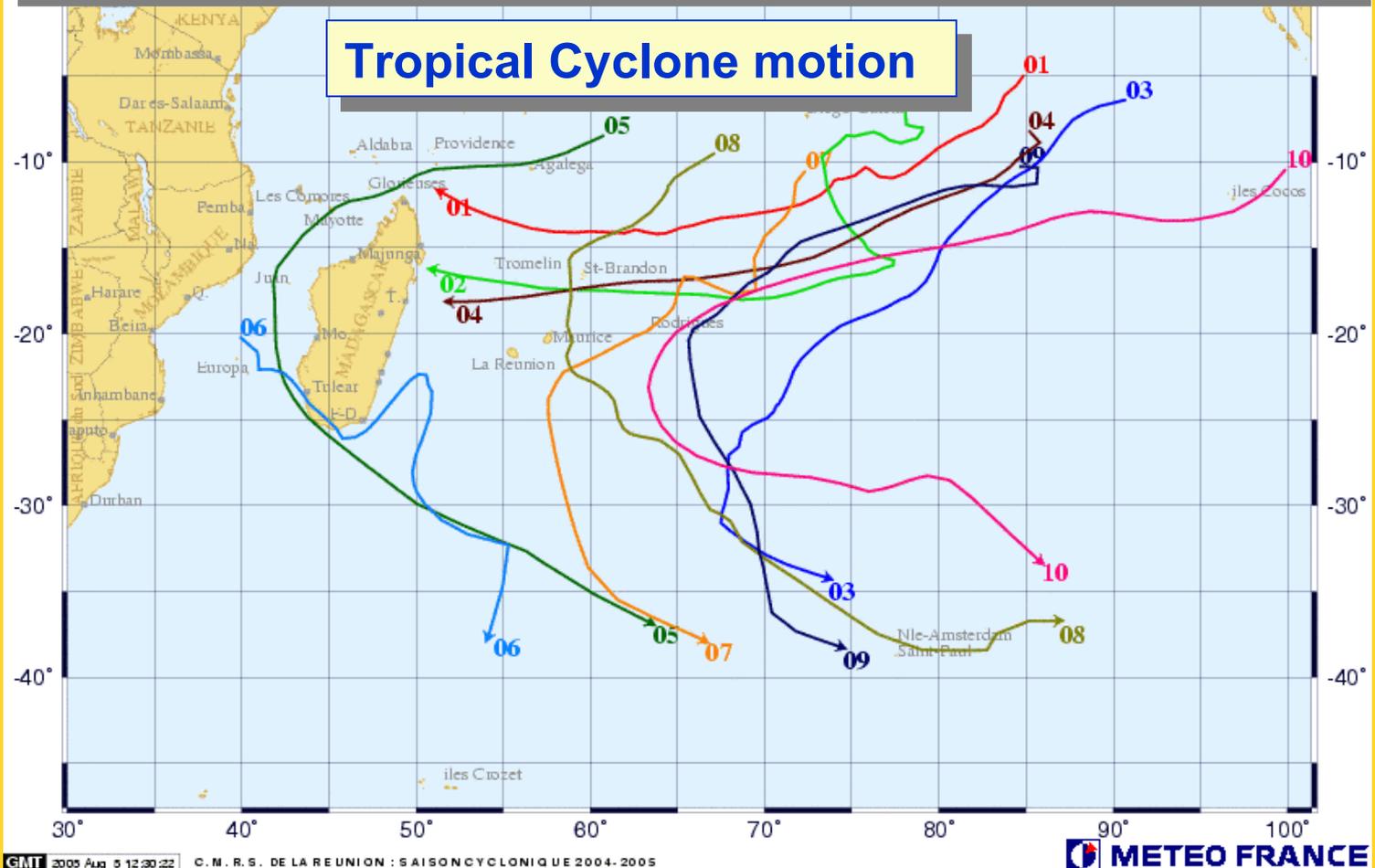
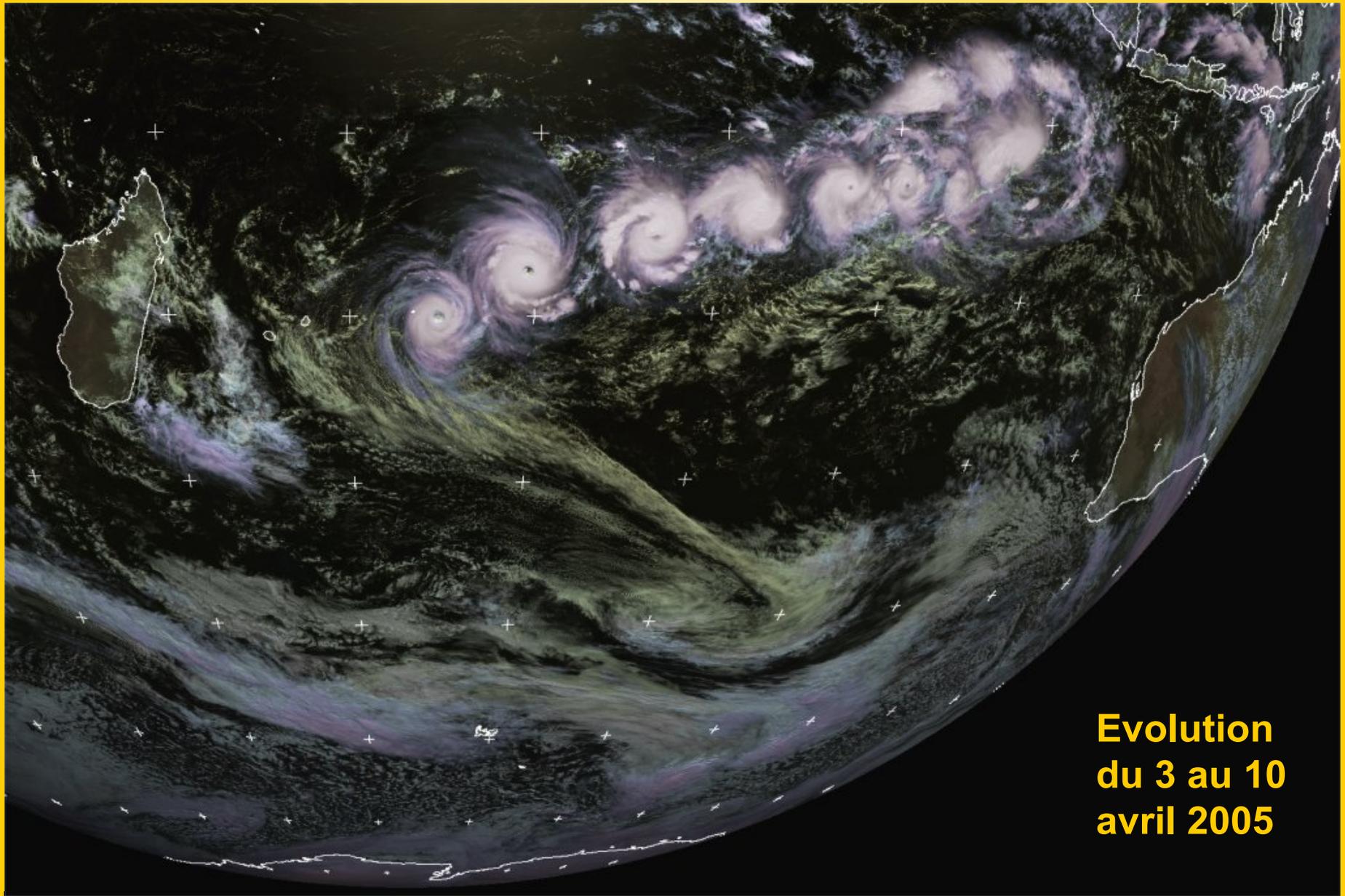




## Le déplacement des perturbations tropicales





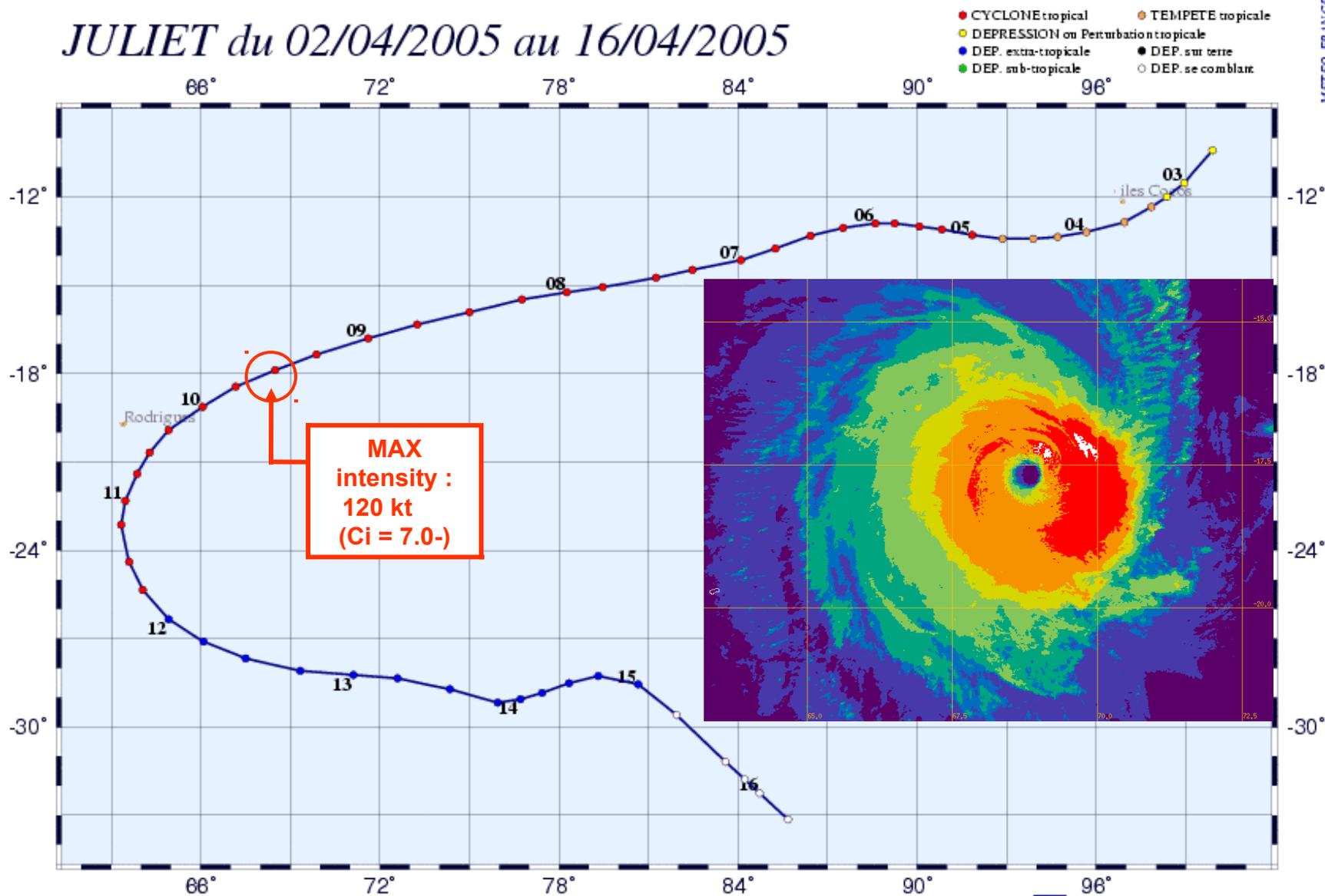
**Evolution  
du 3 au 10  
avril 2005**

**CT**

**INDIA**

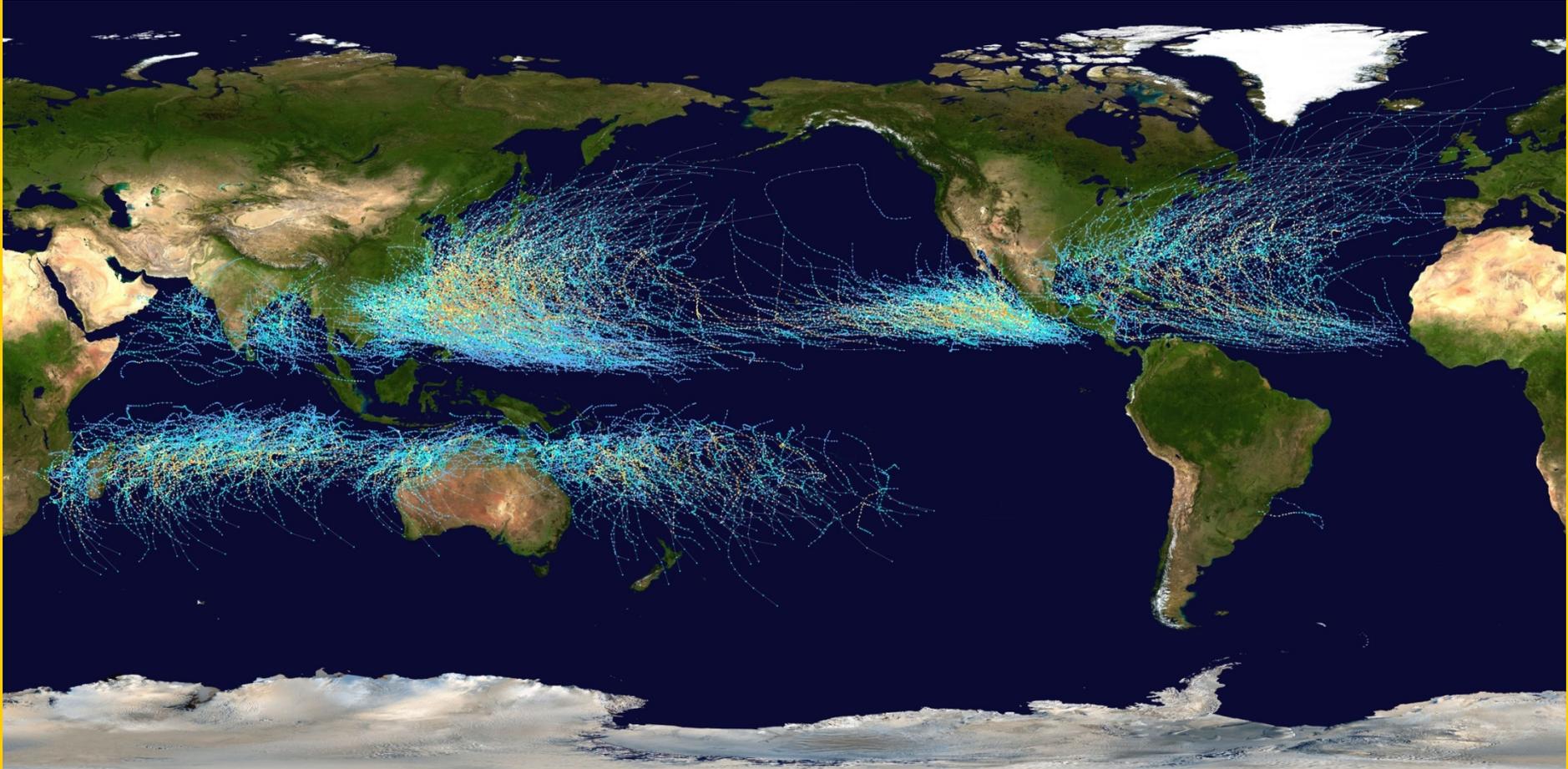
# Trajectoire du cyclone tropical Juliet

*JULIET du 02/04/2005 au 16/04/2005*



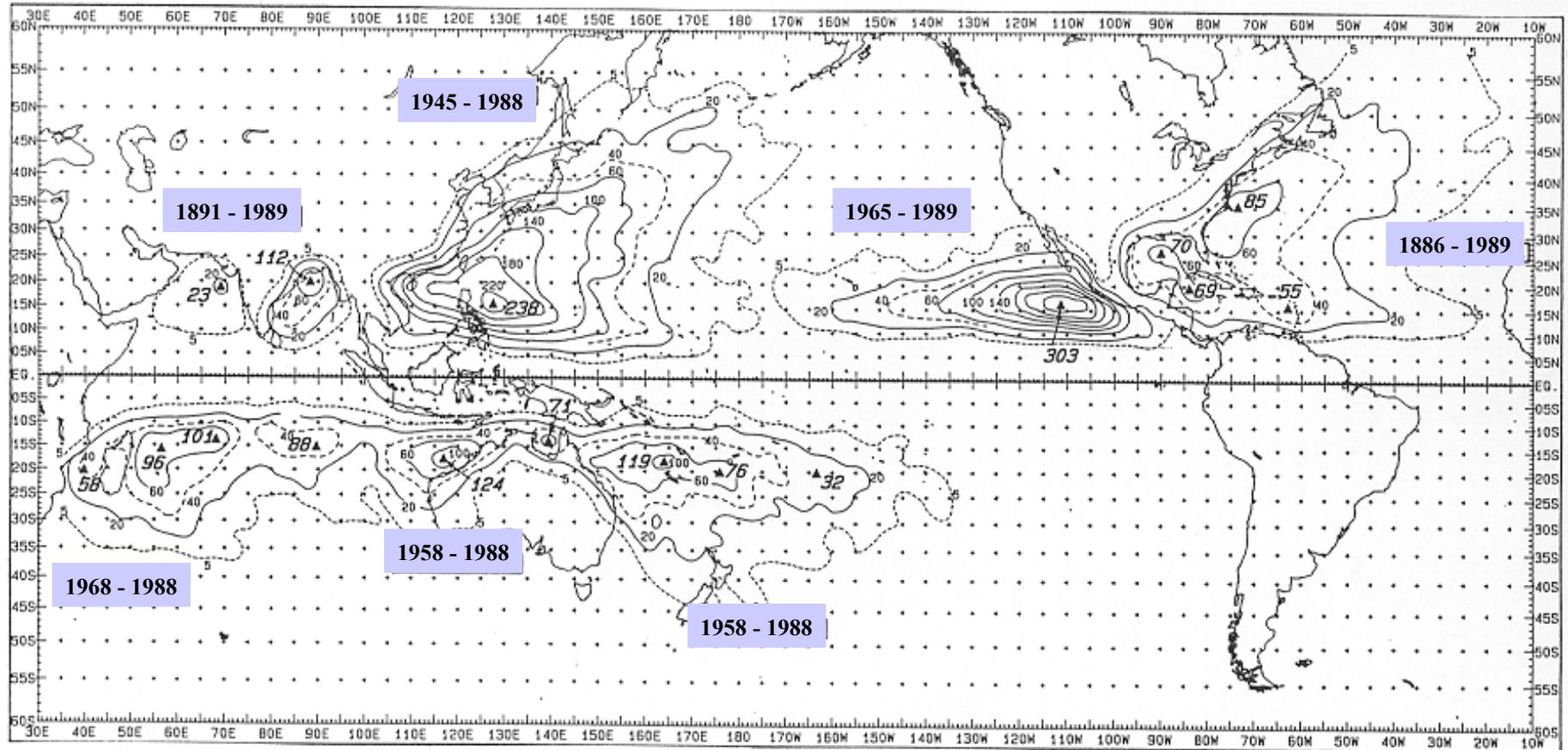
METEO-FRANCE

**Ensemble des trajectoires des tempêtes tropicales et cyclones (avec vents maximaux supérieurs à 34 kt) ayant évolué à la surface du globe sur la période 1985-2005**



**Tracks of tropical storms/cyclones  
(with maximum winds greater than 63km/h, 34kt)  
for the period 1985-2005.**

# Fréquence d'occurrence des perturbations tropicales

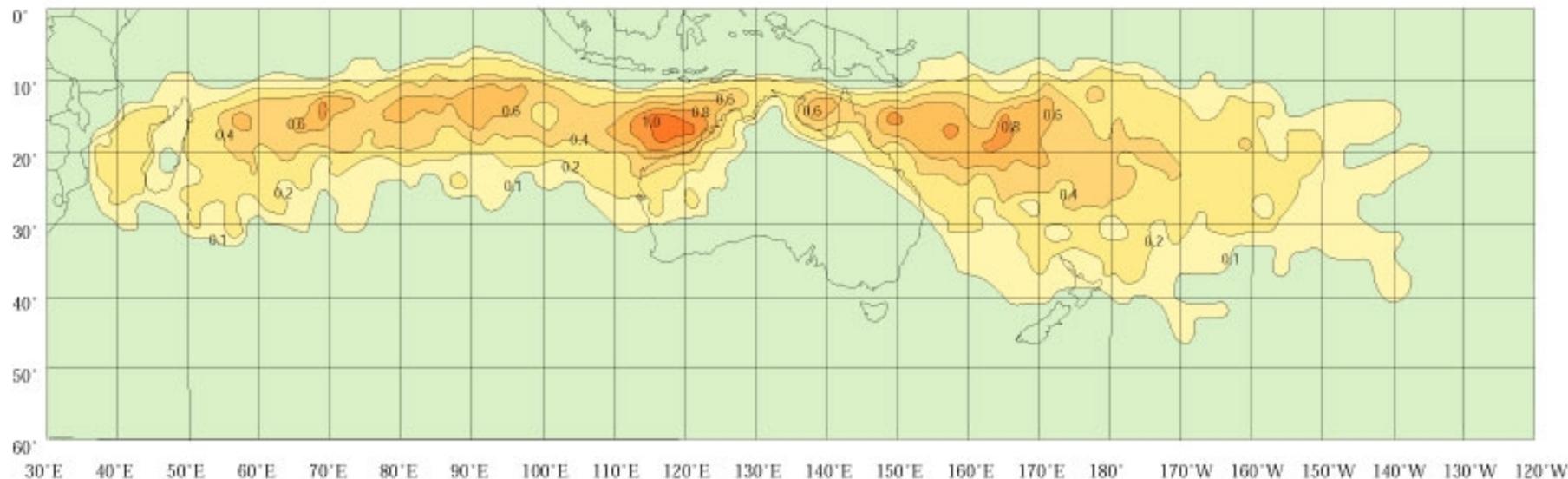


Exprimée comme le nombre d'individus passant sur une période de 100 ans à moins de 140 km d'un point quelconque. Les triangles noirs indiquent les maxima.  
(Les périodes de données ayant abouti à cette statistique sont indiquées pour chaque bassin cyclonique.)

Frequency of tropical cyclones per 100 years within 140 km of any point.  
Solid triangles indicate maxima, with values shown. (Period of record is shown in boxes for each basin.)

# Fréquence d'occurrence des perturbations tropicales : hémisphère Sud

## Average annual number of tropical cyclones



0.1 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2



© Commonwealth of Australia 2003  
Bureau of Meteorology  
National Climate Centre

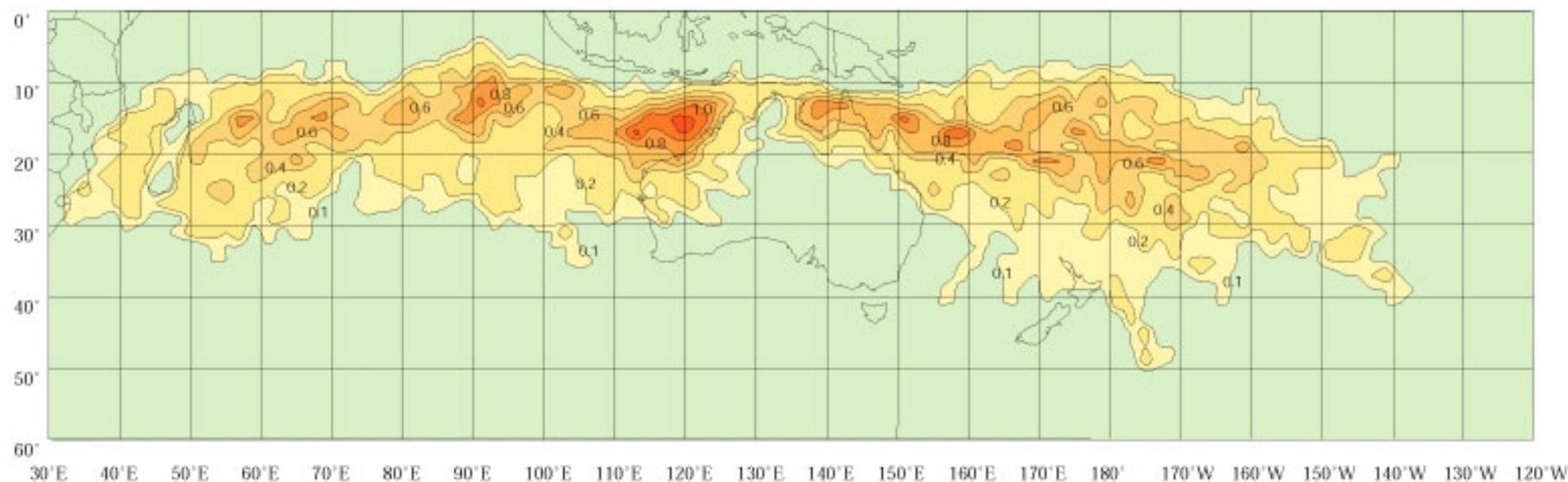
Based on a 2 x 2 degree resolution gridded analysis using 30 years of data (1969/70 to 1998/99 tropical cyclone seasons).

**Fréquence annuelle d'occurrence : données globales**

(période de référence : 30 ans (saisons cycloniques 1969/1970 à 1998/1999)).

# Fréquence d'occurrence des perturbations tropicales : hémisphère Sud

Average annual number of tropical cyclones - neutral years



0.1 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2



© Commonwealth of Australia 2003  
Bureau of Meteorology  
National Climate Centre

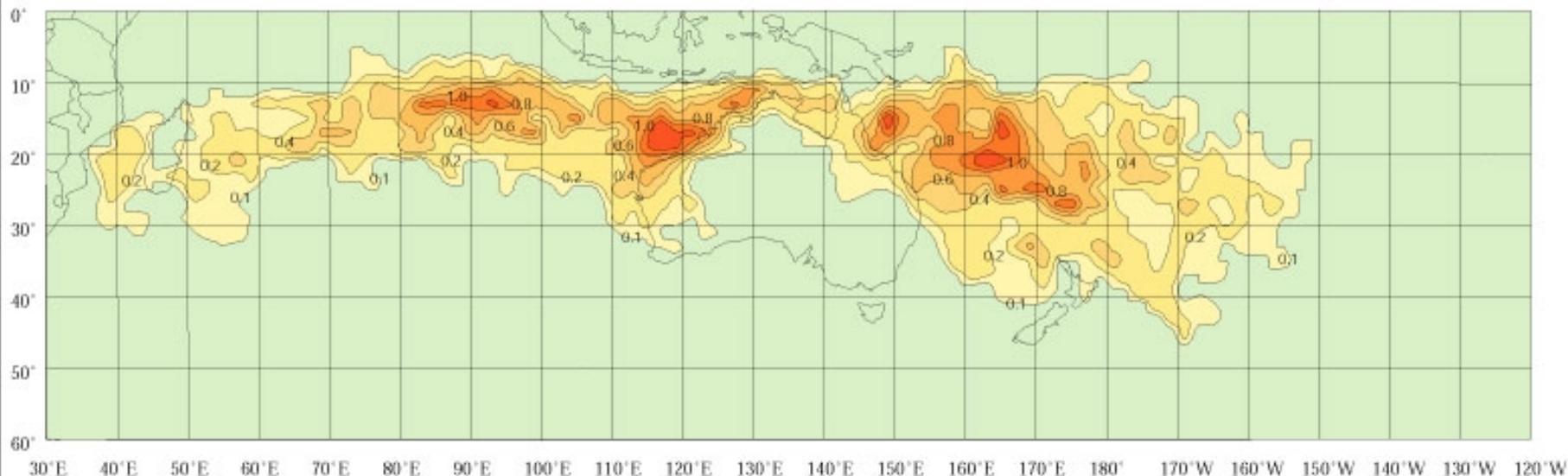
Based on a 2 x 2 degree resolution gridded analysis using 30 years of data (1969/70 to 1998/99 tropical cyclone seasons).

**Fréquence annuelle d'occurrence : années normales.**

**(période de référence : 30 ans (saisons cycloniques 1969/1970 à 1998/1999)).**

# Fréquence d'occurrence des perturbations tropicales : hémisphère Sud

Average annual number of tropical cyclones - La Nina years



0.1 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2



© Commonwealth of Australia 2003  
Bureau of Meteorology  
National Climate Centre

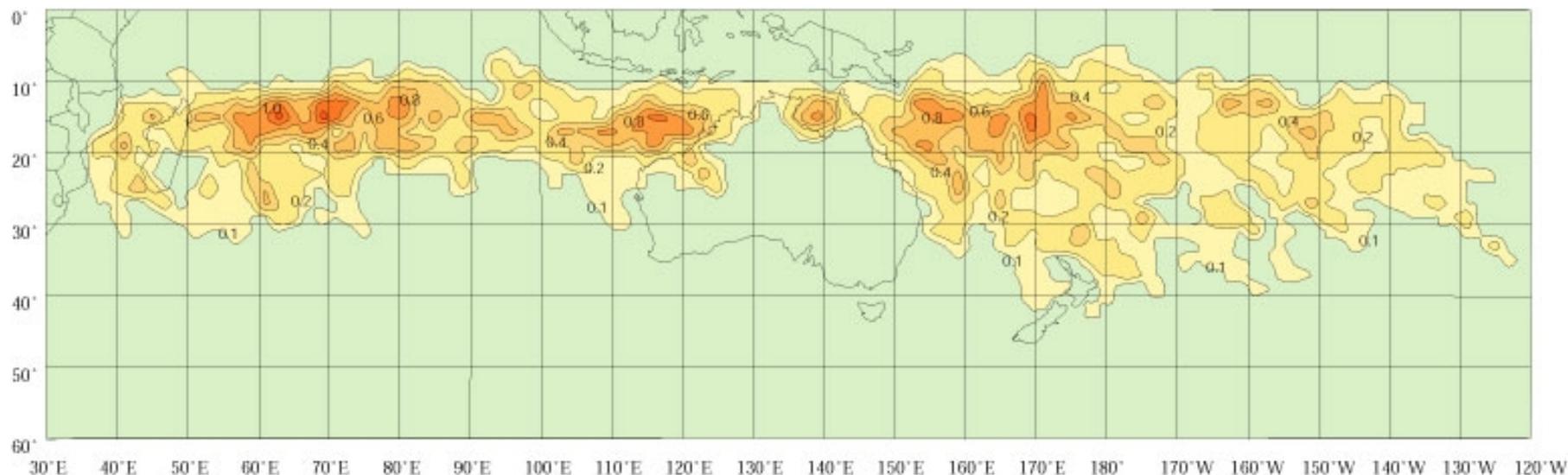
Based on a 2 x 2 degree resolution gridded analysis using 30 years of data (1969/70 to 1998/99 tropical cyclone seasons).

**Fréquence annuelle d'occurrence : années La Niña.**

**(période de référence : 30 ans (saisons cycloniques 1969/1970 à 1998/1999).**

# Fréquence d'occurrence des perturbations tropicales : hémisphère Sud

Average annual number of tropical cyclones - El Nino years



0.1 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2



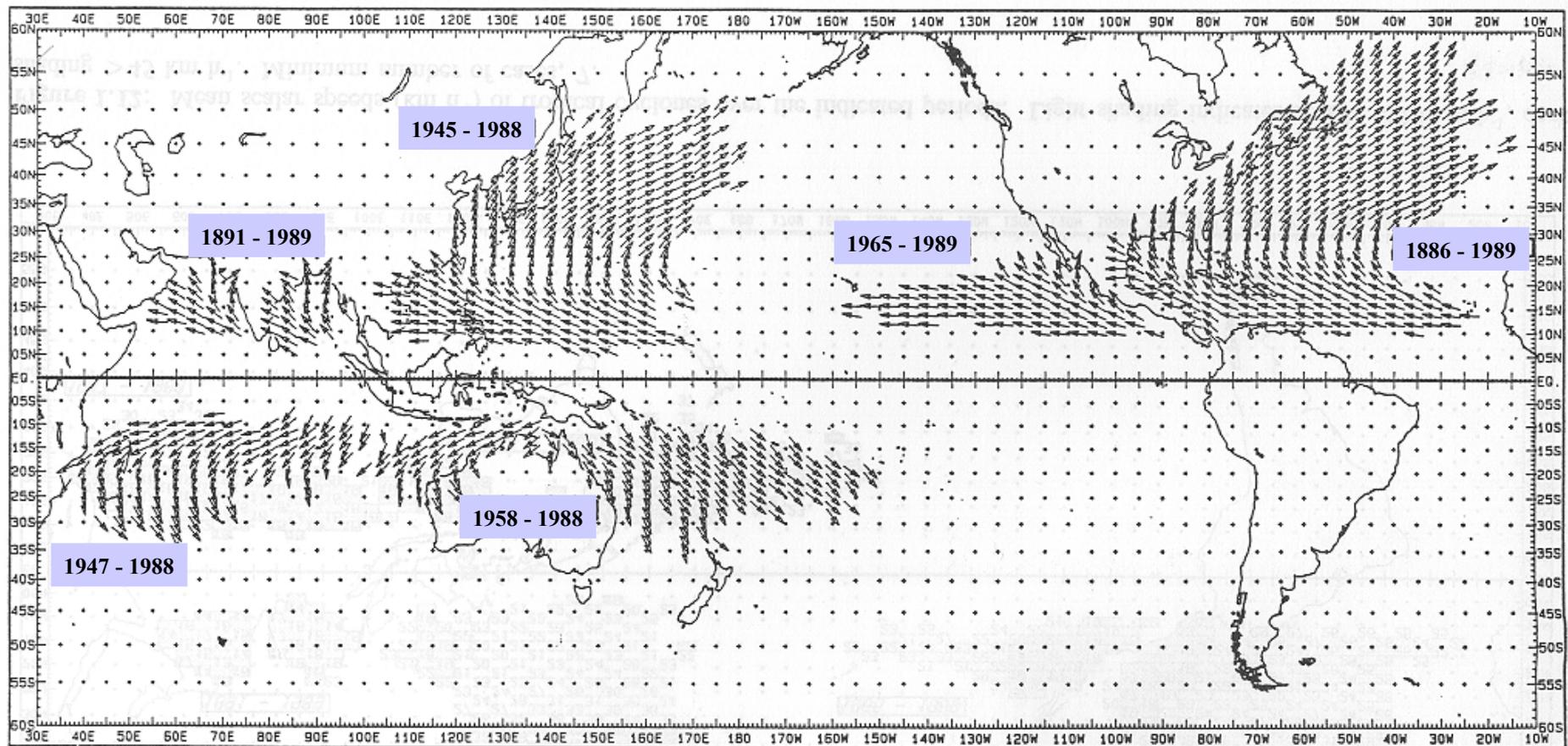
© Commonwealth of Australia 2003  
Bureau of Meteorology  
National Climate Centre

Based on a 2 x 2 degree resolution gridded analysis using 30 years of data (1969/70 to 1998/99 tropical cyclone seasons).

**Fréquence annuelle d'occurrence : années El Niño.**

(période de référence : 30 ans (saisons cycloniques 1969/1970 à 1998/1999).)

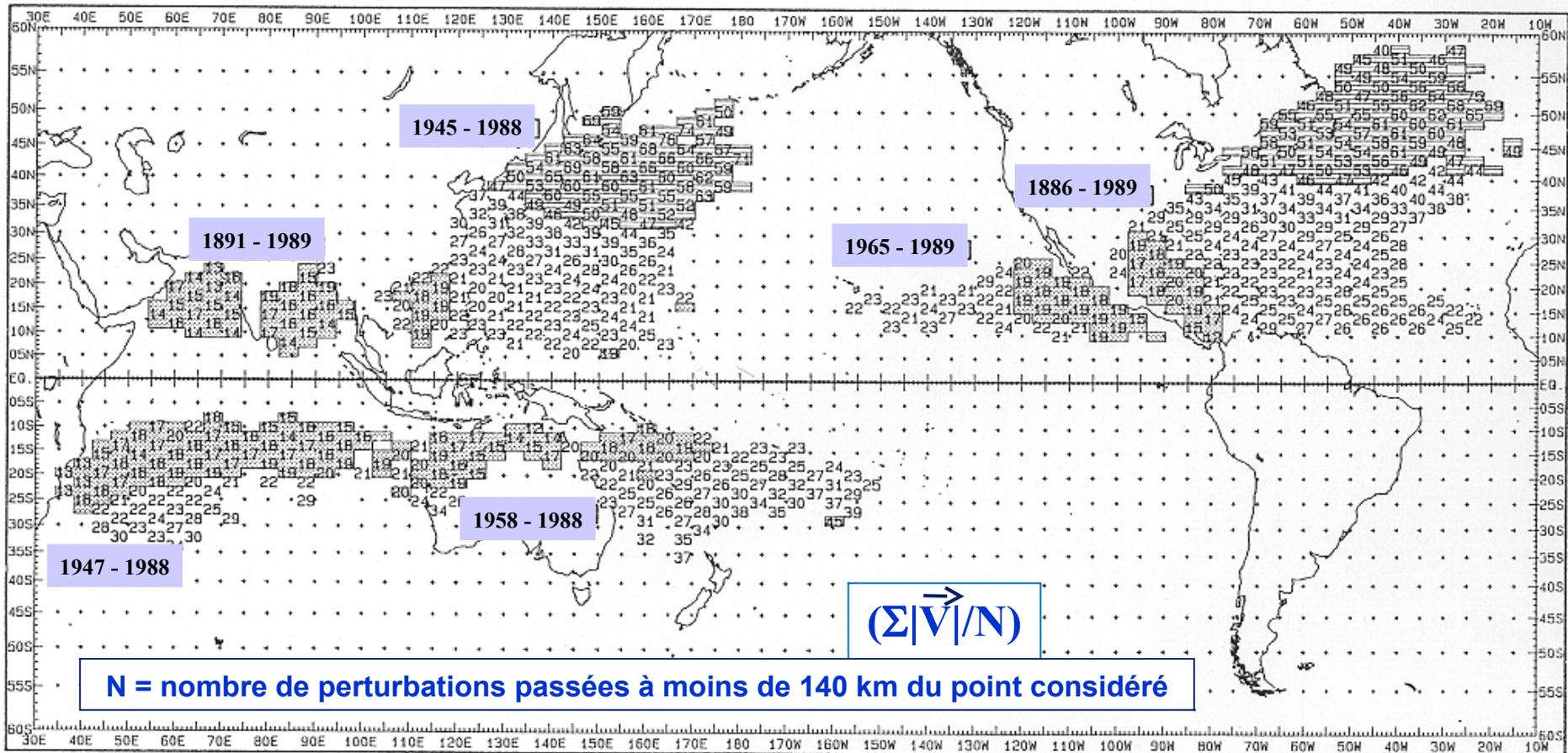
# Direction moyenne de déplacement des perturbations tropicales



Les périodes de référence sont indiquées au niveau de chaque bassin cyclonique.

Mean direction of tropical cyclone motion (over the periods indicated in the different basins).

# Vitesses scalaires moyennes (km/h) des perturbations tropicales

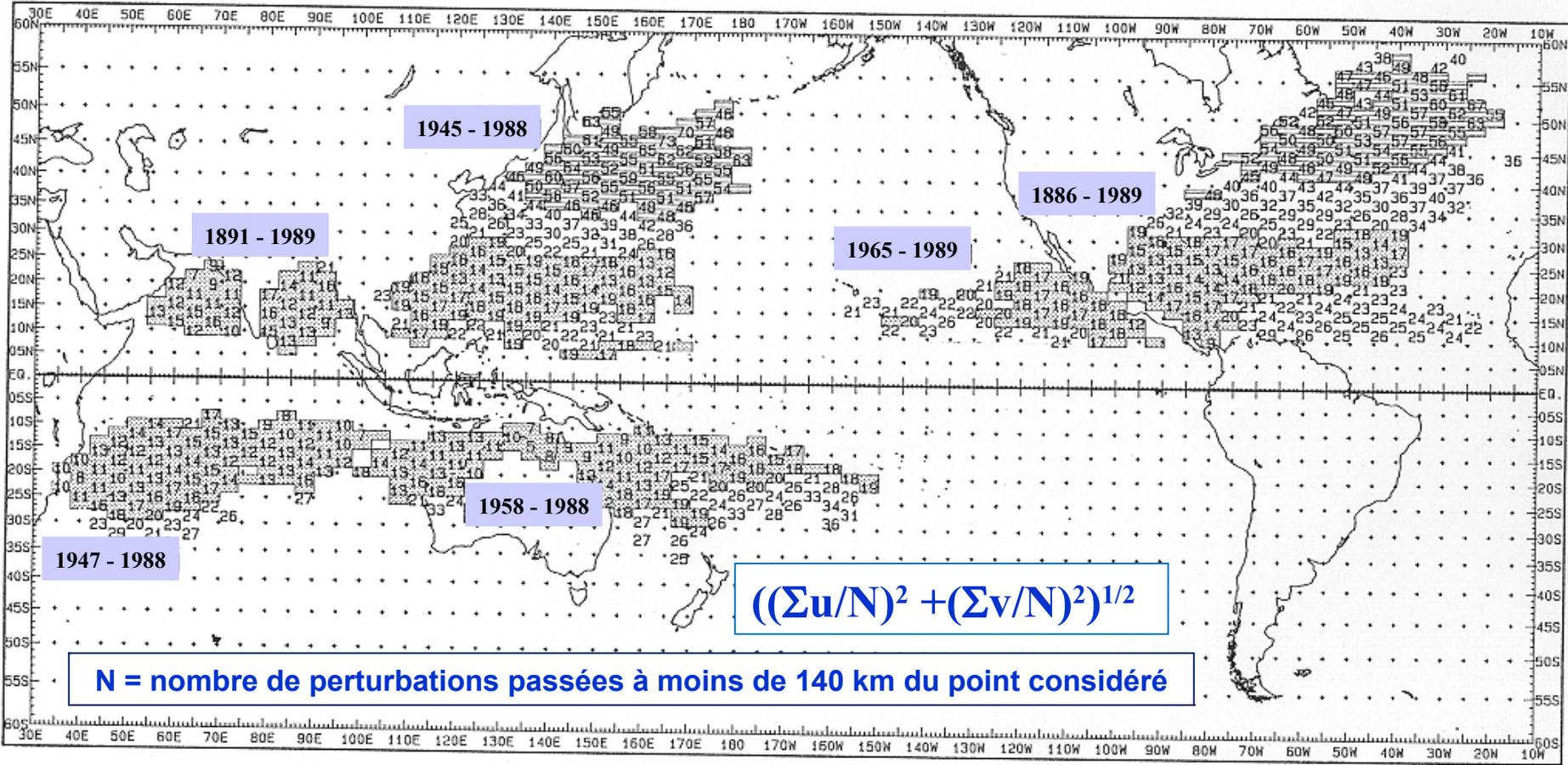


$\vec{V} = \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}$  Vecteur déplacement

Les périodes de référence sont indiquées au niveau de chaque bassin cyclonique. Les zones où les vitesses sont < 20 km/h et > à 45 km/h sont respectivement en grisé léger et sombre.

Mean scalar speeds (km/h) of tropical cyclone motion (over the periods indicated in the different basins). Light shading indicates speeds < to 20 km/h, dark shading > to 45 km/h. Minimum number of cases, 7.

# Vitesses vectorielles moyennes (km/h) des perturbations tropicales

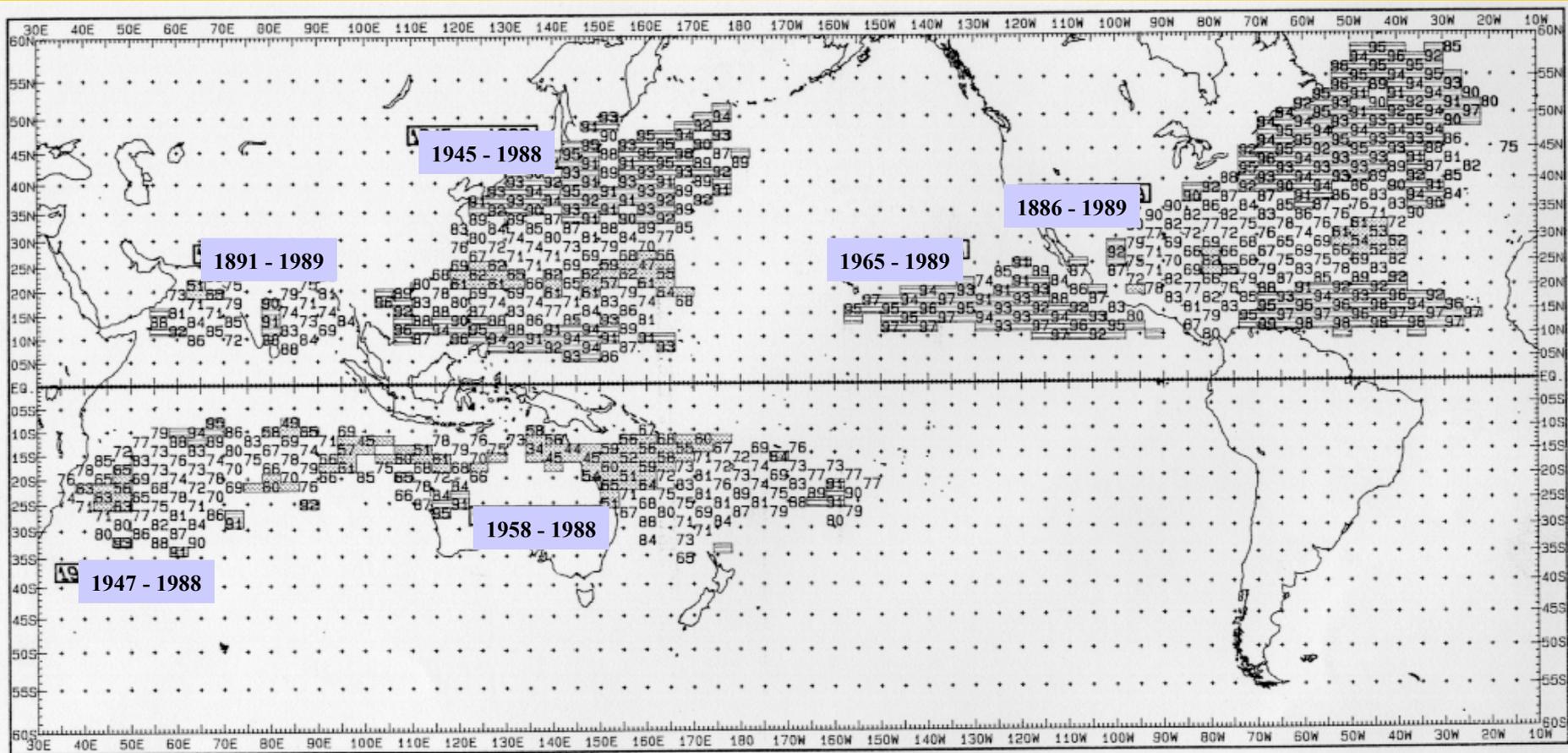


$\vec{v} = \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}$  Vecteur déplacement

Les périodes de référence sont indiquées au niveau de chaque bassin cyclonique. Les zones où les vitesses sont < 20 km/h et > à 45 km/h sont respectivement en grisé léger et sombre.

Mean vector speeds (km/h) of tropical cyclone motion (over the periods indicated in the different basins). Light shading indicates speeds < to 20 km/h, dark shading > to 45 km/h. Minimum number of cases, 7.

# Régularité des déplacements des perturbations tropicales



Les périodes de référence sont indiquées au niveau de chaque bassin cyclonique.  
L'index est défini par :  $100 * (\text{vitesse vectorielle}) / (\text{vitesse scalaire})$ .

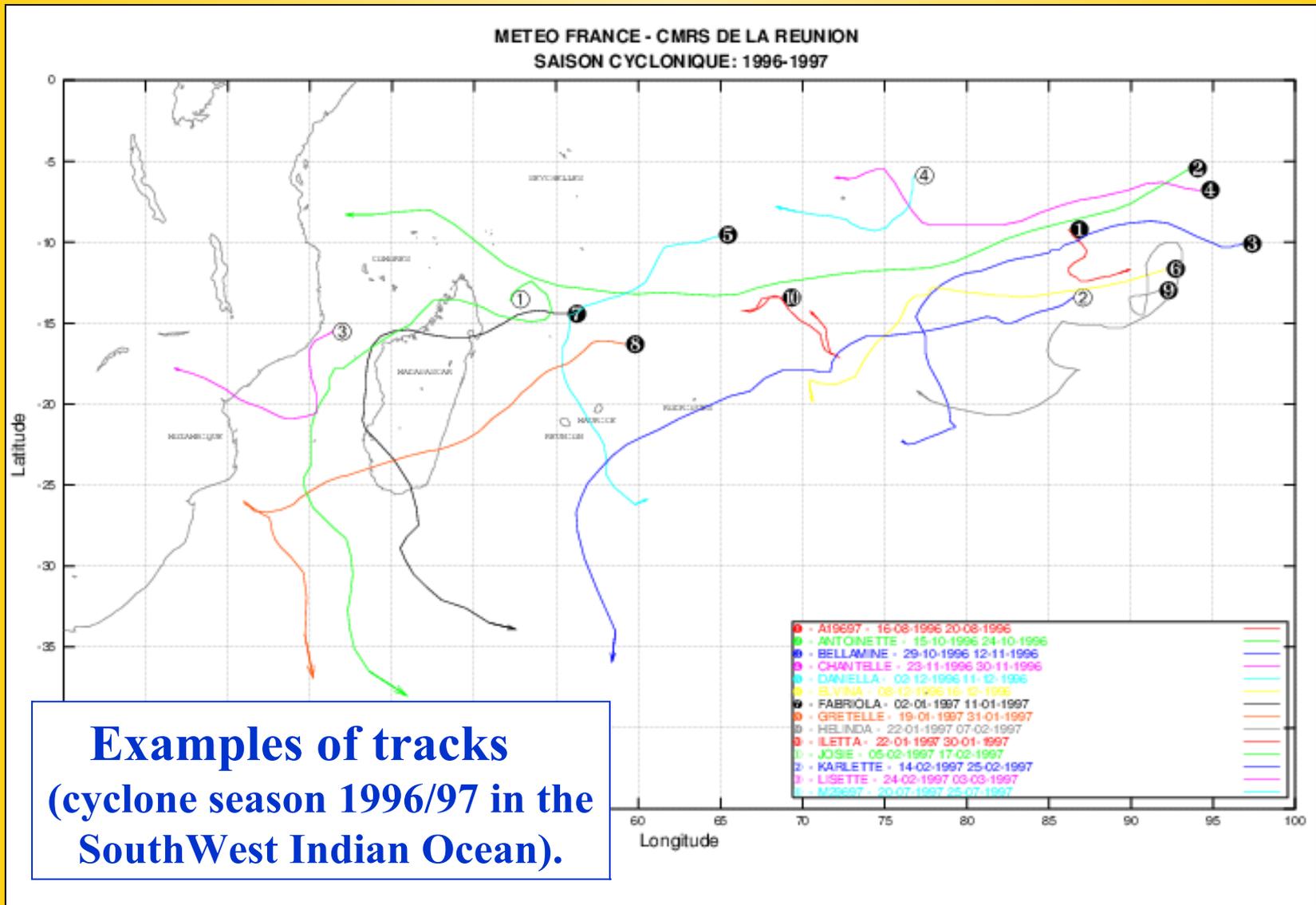
Les zones où l'index est  $< 65$  et  $> 90$  sont respectivement en grisé léger et sombre.

Steadiness of tropical cyclone motion (over the periods indicated in the different basins).

Index defined by  $100 * (\text{vector speed}) / (\text{scalar speed})$ .

Light shading indicates index  $< 65$ , dark shading  $> 90$ . Minimum number of cases, 7.

# Exemples de trajectoires (Saison cyclonique 1996-1997 dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien)



**Examples of tracks  
(cyclone season 1996/97 in the  
South West Indian Ocean).**

## Equation d'évolution (simplifiée) du tourbillon en atmosphère barotrope

$$\delta\zeta/\delta t = - \vec{V}_h \cdot \overrightarrow{\text{grad}\zeta} - \beta v - (f + \zeta) \cdot \text{div}\vec{V}_h \quad (1)$$

**Vorticity equation** (twisting and frictional terms omitted)

$\zeta$  = vertical component of the relative vorticity

$f$  = Coriolis parameter

$\beta$  =  $df/dy$  (meridional gradient of the earth vorticity)

# Equation d'évolution (simplifiée) du tourbillon en atmosphère barotrope

La tendance d'évolution du tourbillon va déterminer le déplacement du cyclone.

$$\delta\zeta/\delta t = -\vec{V}_h \cdot \overrightarrow{\text{grad}\zeta} - \beta v - (f + \zeta) \cdot \text{div}\vec{V}_h \quad (1)$$

The cyclone will be displaced toward (away from) the region with maximum cyclonic (anticyclonic) vorticity tendency.

**Vorticity equation** (twisting and frictional terms omitted)

$\zeta$  = vertical component of the relative vorticity

$f$  = Coriolis parameter

$\beta$  =  $df/dy$  (meridional gradient of the earth vorticity)

# Equation d'évolution (simplifiée) du tourbillon en atmosphère barotrope

$$\delta\zeta/\delta t = -\vec{V}_h \cdot \overrightarrow{\text{grad}\zeta} - \beta v - \underbrace{(\mathbf{f} + \zeta) \cdot \text{div}\vec{V}_h}_{=0} \quad (1)$$

= 0 for barotropic and non-divergent flow

**Vorticity equation** (twisting and frictional terms omitted)

$\zeta$  = vertical component of the relative vorticity

$f$  = Coriolis parameter

$\beta$  =  $df/dy$  (meridional gradient of the earth vorticity)

## Equation d'évolution (simplifiée) du tourbillon en atmosphère barotrope

$$\delta\zeta/\delta t = - \vec{V}_h \cdot \overrightarrow{\text{grad}\zeta} - \beta v \quad (2)$$

**Vorticity equation** (twisting and frictional terms omitted ;  
barotropic and non-divergent flow)

$\zeta$  = vertical component of the relative vorticity

$f$  = Coriolis parameter

$\beta$  =  $df/dy$  (meridional gradient of the earth vorticity)

# Equation d'évolution (simplifiée) du tourbillon en atmosphère barotrope

$$\delta\zeta/\delta t = - \underbrace{\vec{V}_h \cdot \overrightarrow{\text{grad}}\zeta}_{\text{Advection term}} - \beta v \quad (2)$$

**Advection term**  
(by the mean flow)

**Vorticity equation** (twisting and frictional terms omitted ;  
barotropic and non-divergent flow)

$\zeta$  = vertical component of the relative vorticity

$f$  = Coriolis parameter

$\beta$  =  $df/dy$  (meridional gradient of the earth vorticity)

# Equation d'évolution (simplifiée) du tourbillon en atmosphère barotrope

$$\delta\zeta/\delta t = - \underbrace{\vec{V}_H \cdot \overrightarrow{\text{grad}\zeta}}_{\text{Advection term}} - \beta v \quad (2)$$

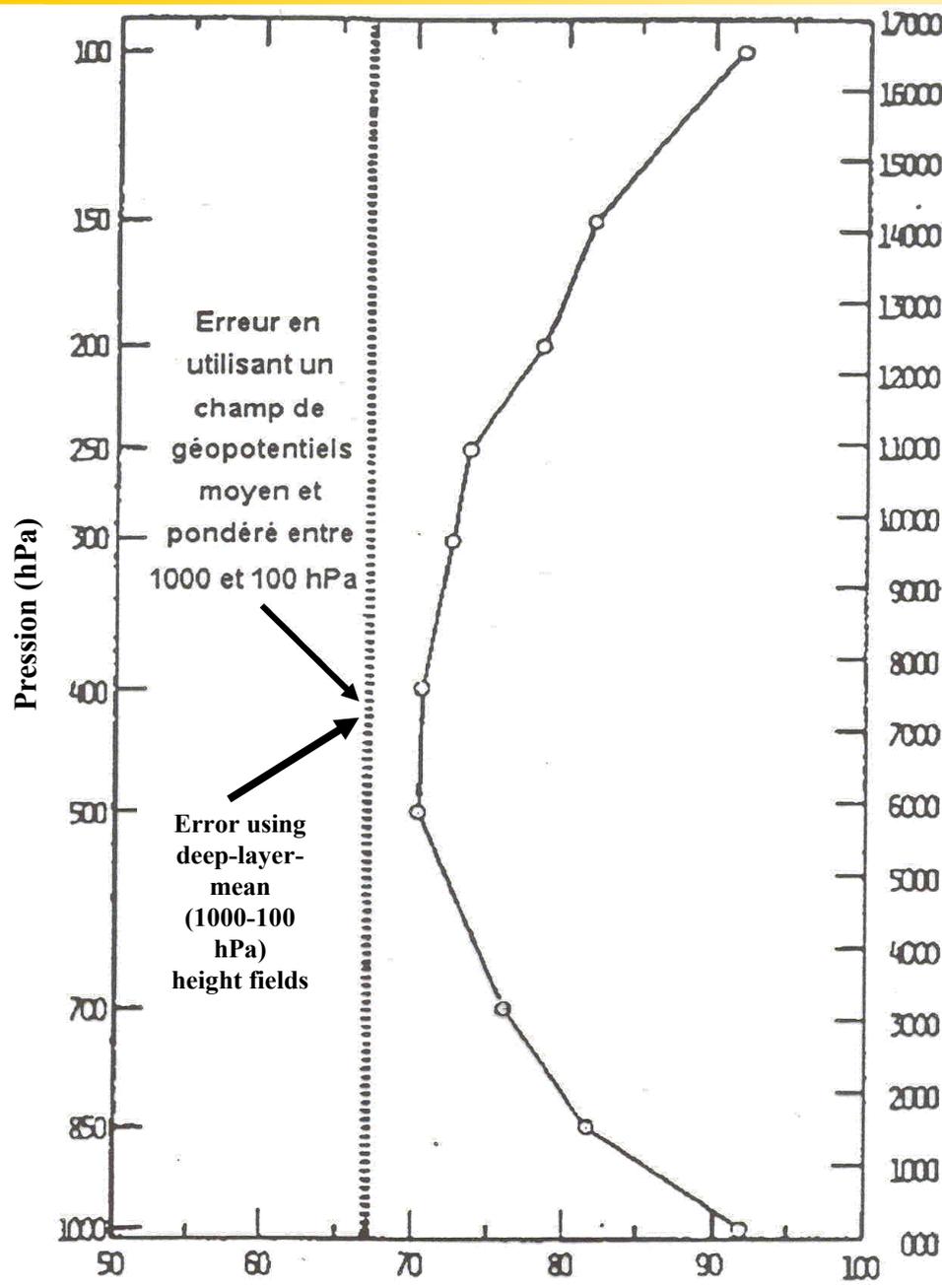
**Advection term**  
(by the mean flow)



**"Steering" concept** : the cyclone tends to move with the speed and direction of the deep-layer environmental flow.

*The steering flow can account for 30 to 80% of the variability of the 24-72h TC's motion.*

# Influence du niveau choisi comme source des prédicteurs sur la performance des modèles statistico-dynamiques



Prévisions à 12 heures produites par 10 modèles simples ayant leurs prédicteurs choisis parmi l'un des 10 niveaux standards.

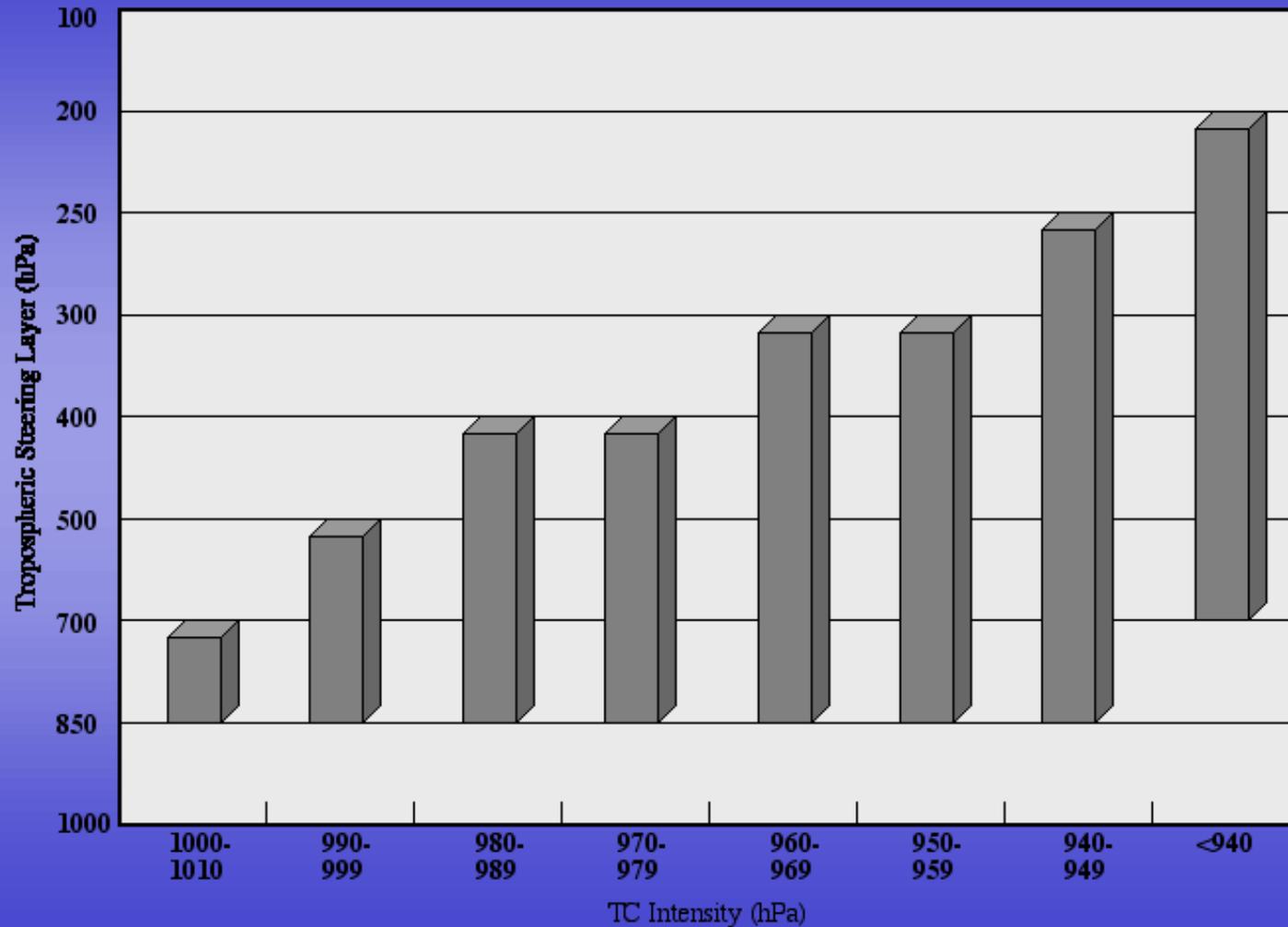
La verticale en pointillé indique la performance d'un modèle équivalent utilisant un flux moyen pondéré.

Profile of dependent data 12h forecast error produced by 10 different simple statistical models, each having geopotential height predictors limited to one of 10 specified levels, 1000 to 100 hPa. Dashed vertical line gives model error using a pressure weighted deep-layer-mean height field. Data set consisted of 994 cases over period 1965-1977 (Neumann, 1979).

Erreur moyenne de position/Mean Vector Error (nm)

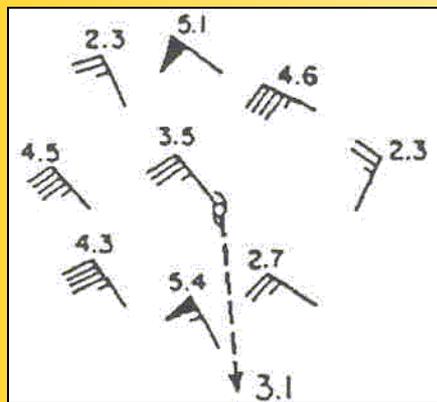
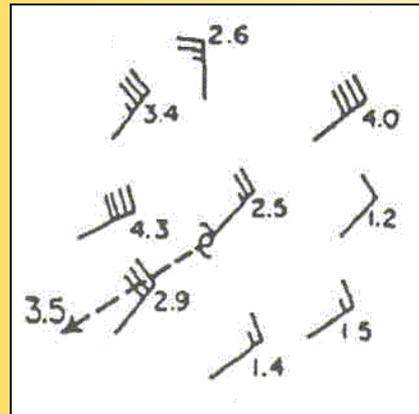
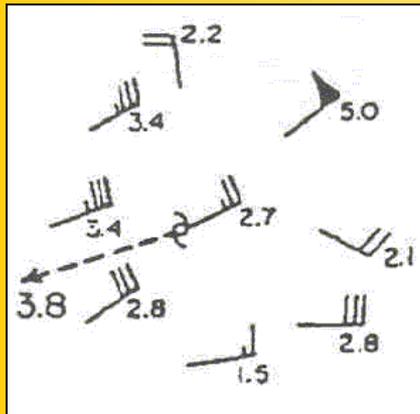
# Niveaux influençant le flux directeur en fonction de l'intensité

## TC Intensity Vs. TC Environmental Steering

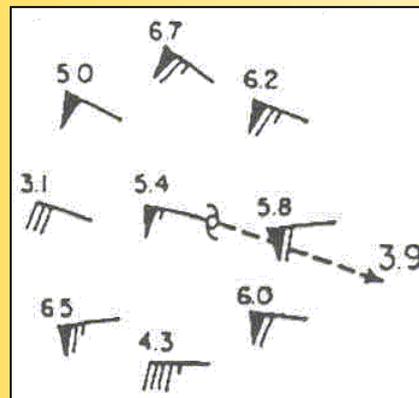
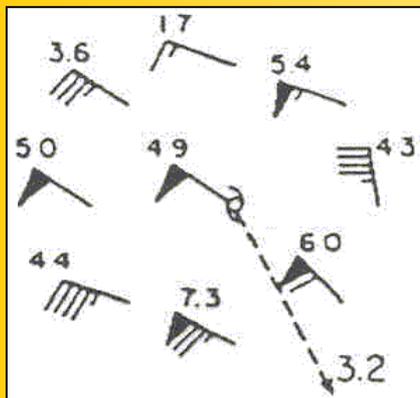


TC steering layer as a function of intensity (Velden, 1993, AMS 20th)

## Comparaison du déplacement moyen et du courant de base



Echelle (Plat)  
0 2 4 6



Cas de cinq cyclones composites de l'hémisphère sud (d'après Holland 1984).

Le flux est un flux moyen pondéré entre 800 et 300 hPa. Le courant de base moyen est représenté au centre, la flèche en tiretés représentant le déplacement du cyclone.

Pour la représentation du vent, la convention adoptée est : une barbule = 1 m/s.

Comparison between mean motion and environmental basic currents for 5 composite southern hemisph. cyclones (from Holland 1984).

Each inset contains the 800-300 hPa mass-weighted mean-current (after the symmetric cyclone wind field has been removed) at eight octants and a nominal radius of  $6^\circ$  latitude. The azimuthally averaged basic current is shown at the center, and the cyclone motion is indicated by the dashed arrow.

Speed convention is one barb = 1 m/s and actual speeds are also shown.

# Equation d'évolution (simplifiée) du tourbillon en atmosphère barotrope Effet Béta (1)

$$\delta\zeta/\delta t = - \vec{V}_h \cdot \overrightarrow{\text{grad}\zeta} - \beta v \quad (2)$$

Beta effect term

**Vorticity equation** (twisting and frictional terms omitted ;  
barotropic and non-divergent flow)

$\zeta$  = vertical component of the relative vorticity

$f$  = Coriolis parameter

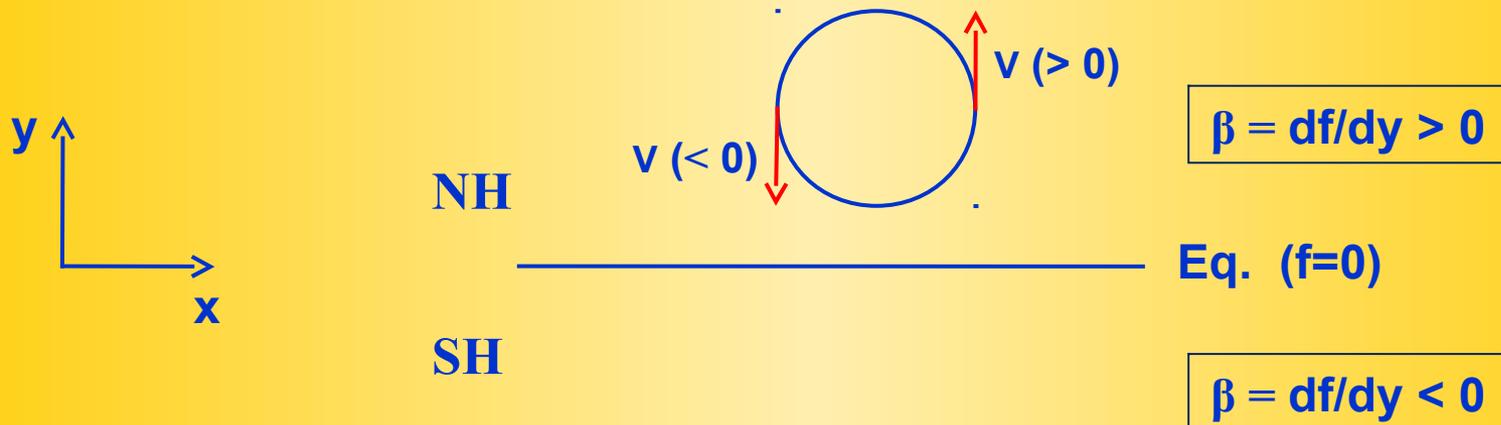
$\beta$  =  $df/dy$  (meridional gradient of the earth vorticity)

# Equation d'évolution (simplifiée) du tourbillon en atmosphère barotrope Effet Béta (2)

$$\delta\zeta/\delta t = -\vec{V}_H \cdot \overrightarrow{\text{grad}\zeta} - \beta v \quad (2)$$

Effet Beta = advection de  
tourbillon planétaire.

Beta effect term

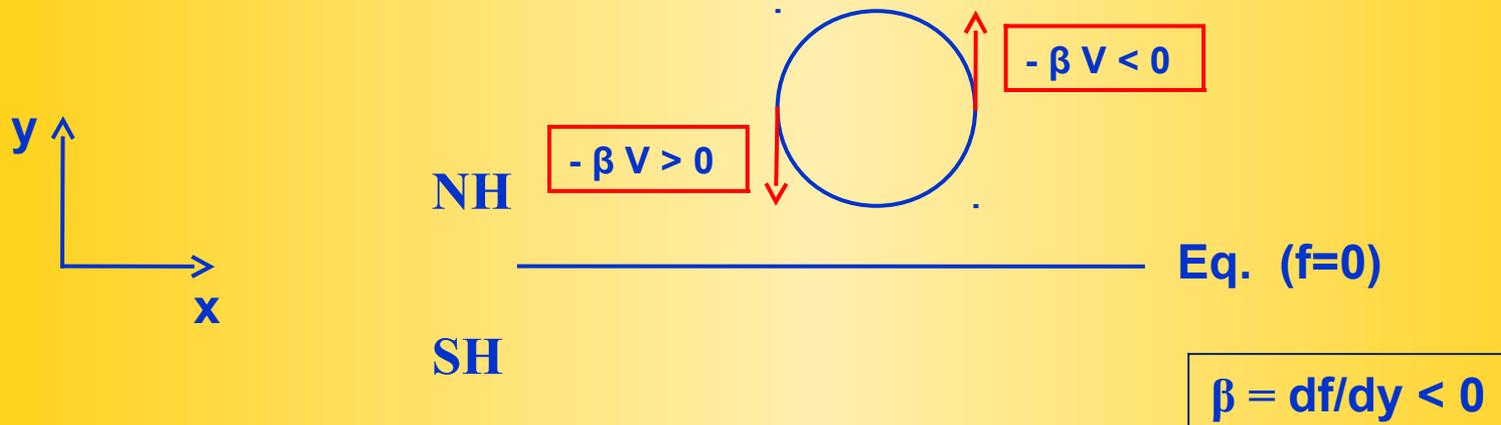


# Equation d'évolution (simplifiée) du tourbillon en atmosphère barotrope Effet Béta (3)

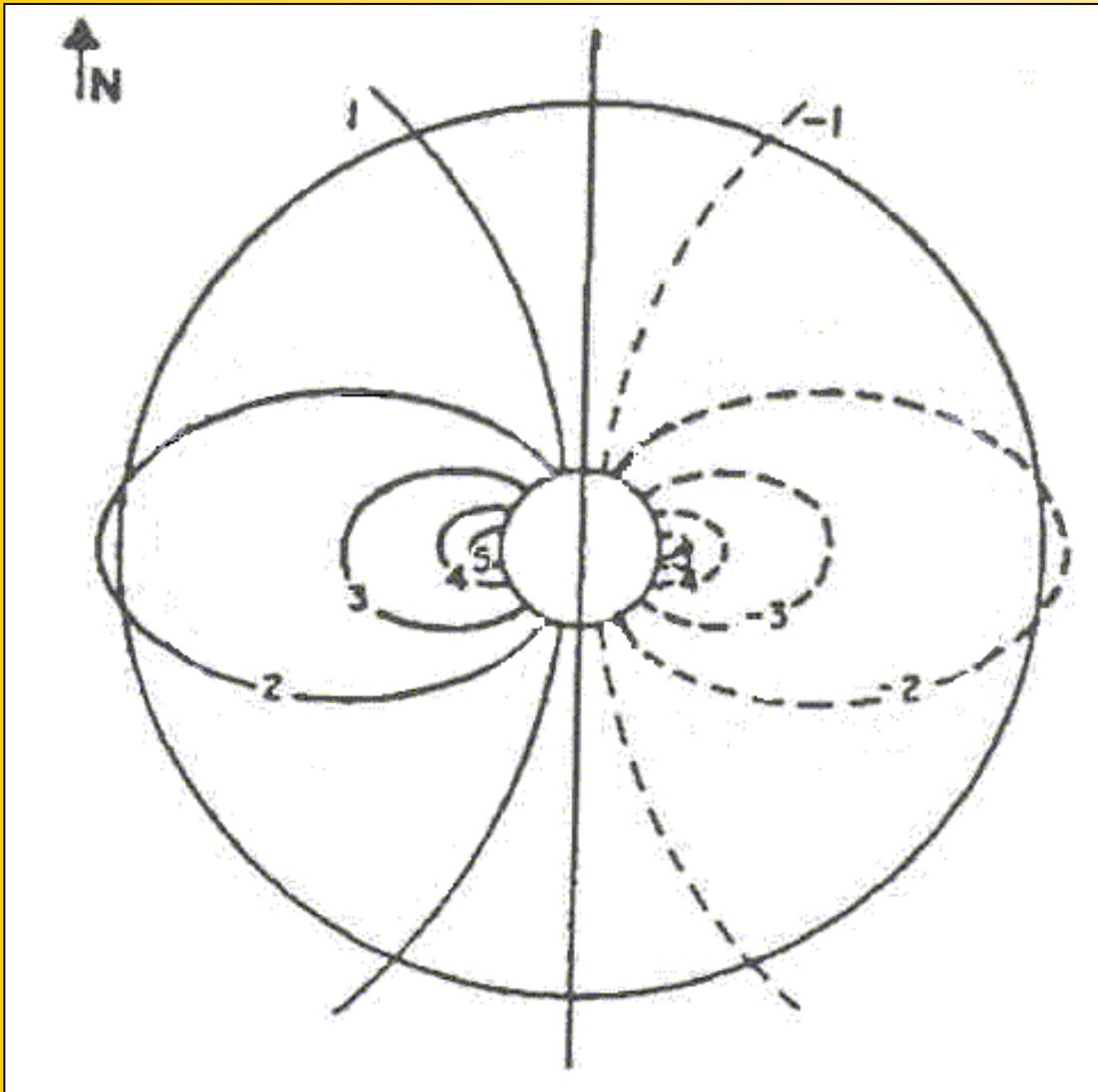
$$\delta\zeta/\delta t = -\vec{V}_H \cdot \overrightarrow{\text{grad}\zeta} - \beta v \quad (2)$$

Beta effect term

The beta effect accounts for 15-20% (up to 2 m/s) of TC motion.



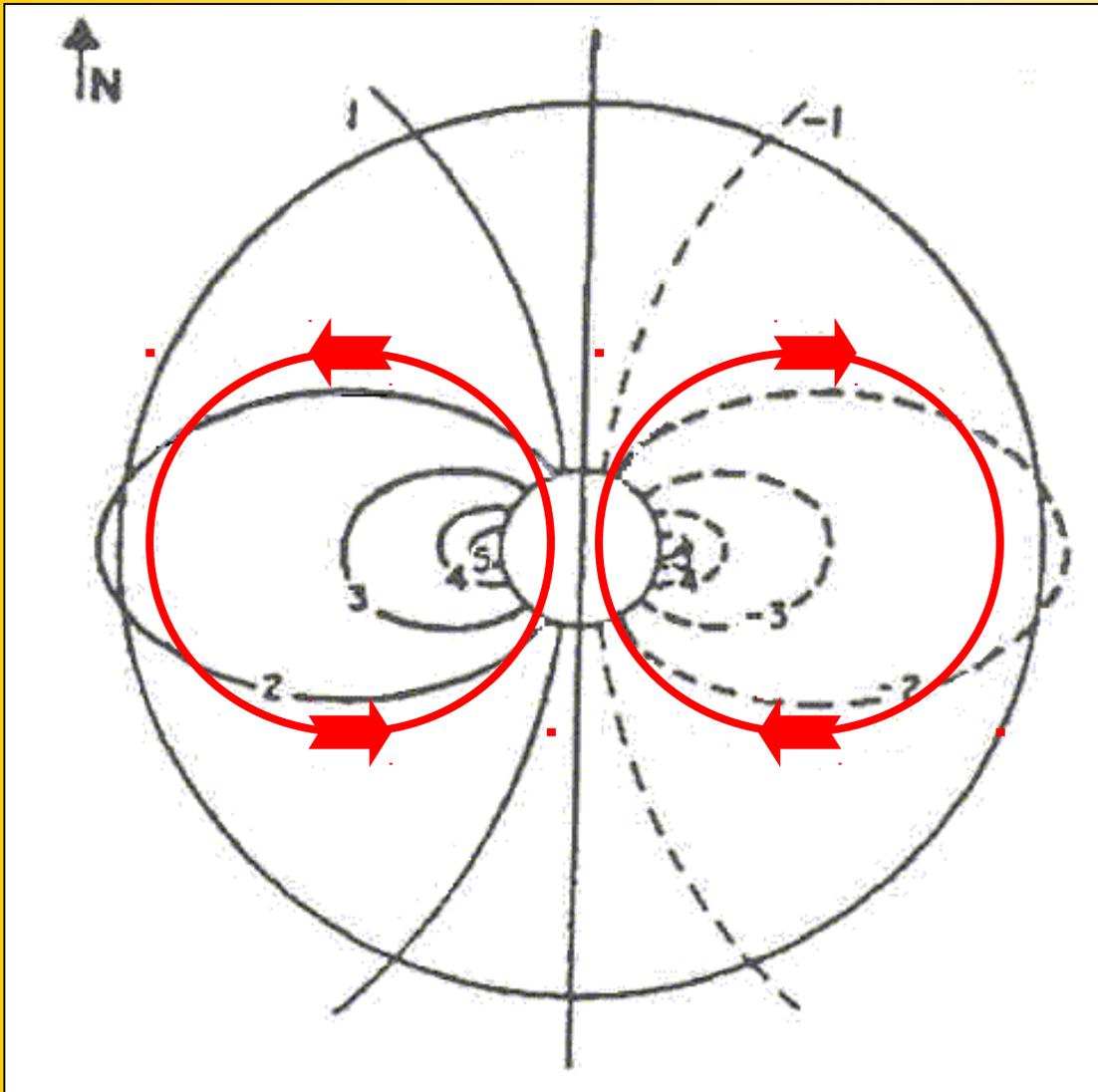
## Effet Béta (4)



Champ de  $\delta\zeta/\delta t$  (unités arbitraires), centré sur un cyclone symétrique et non divergent de l'hémisphère nord, en l'absence de flux environnant (Holland).

Field of  $\delta\zeta/\delta t$ , in arbitrary units, centered on a non-divergent and symmetric cyclone on a northern hemisphere beta plane, with no basic flow (from Holland).

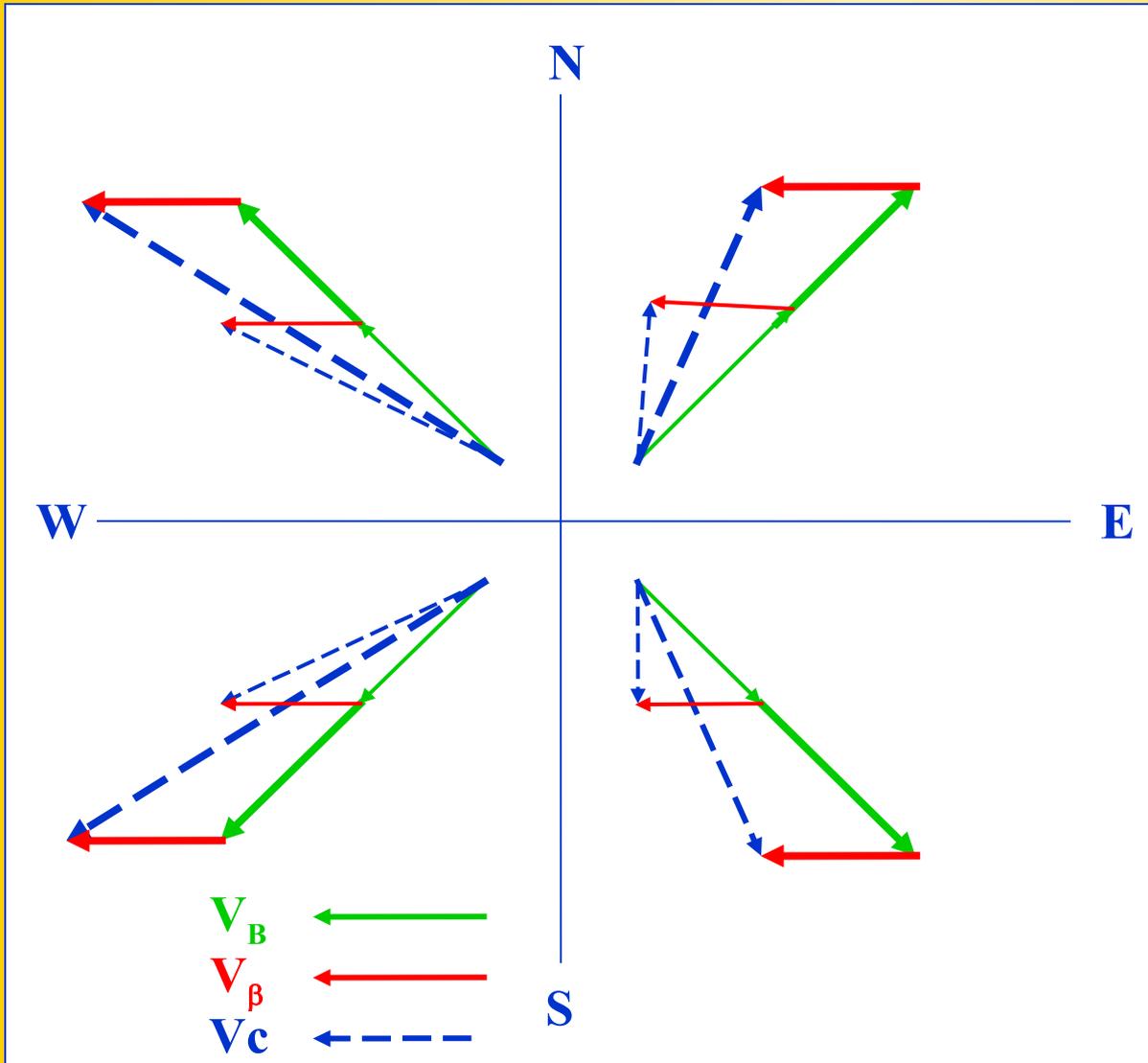
## Effet Béta (5)



Champ de  $\delta\zeta/\delta t$  (unités arbitraires), centré sur un cyclone symétrique et non divergent de l'hémisphère nord, en l'absence de flux environnant (Holland).

Field of  $\delta\zeta/\delta t$ , in arbitrary units, centered on a non-divergent and symmetric cyclone on a northern hemisphere beta plane, with no basic flow (from Holland). In red is shown the secondary circulation resulting from the vorticity changes

## Effet Béta (6)

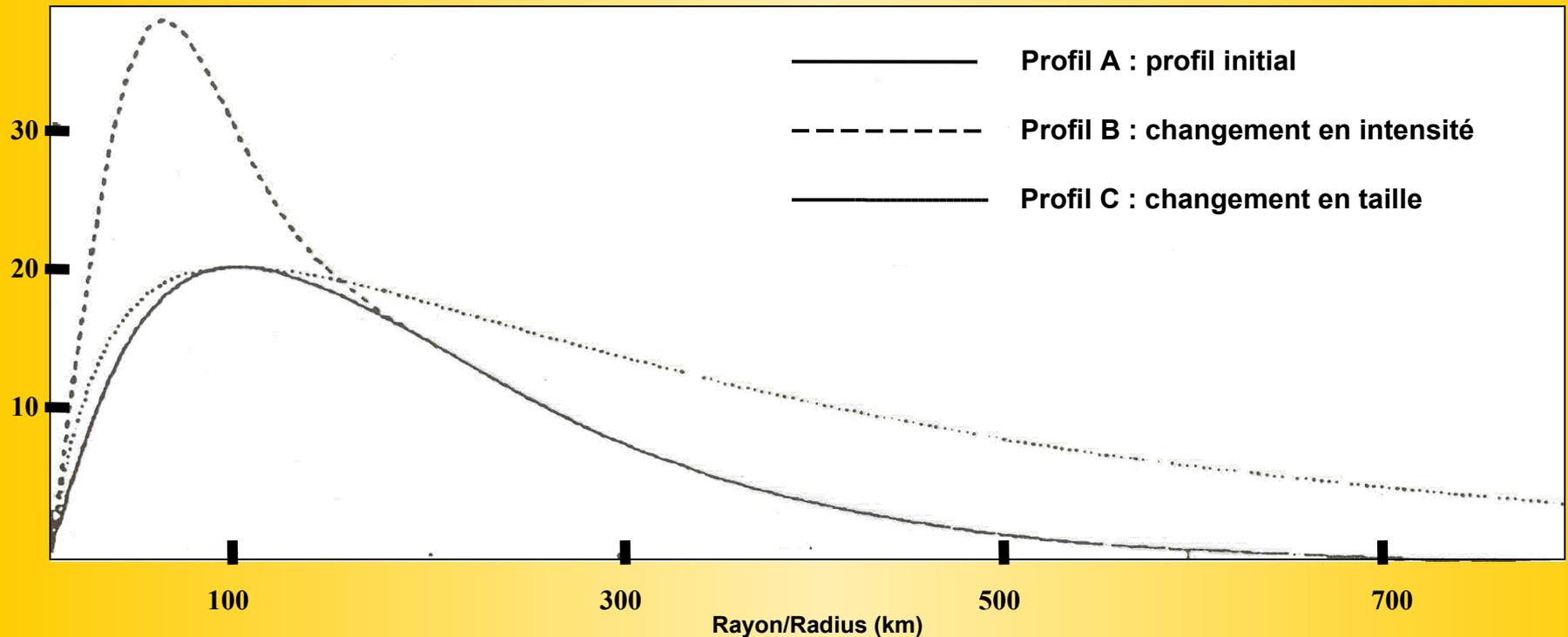


Représentation schématique de la composition de l'effet  $\beta$  ( $V_\beta$ ) et de différents flux de base ( $V_b$ ), et du mouvement ( $V_c$ ) en résultant pour un cyclone tropical (d'après Holland).

Diagram of the composition between the beta-effect  $\beta$  ( $V_\beta$ ) and different basic flows ( $V_B$ ) and the resulting motion ( $V_C$ ) for a tropical cyclone (from Holland).

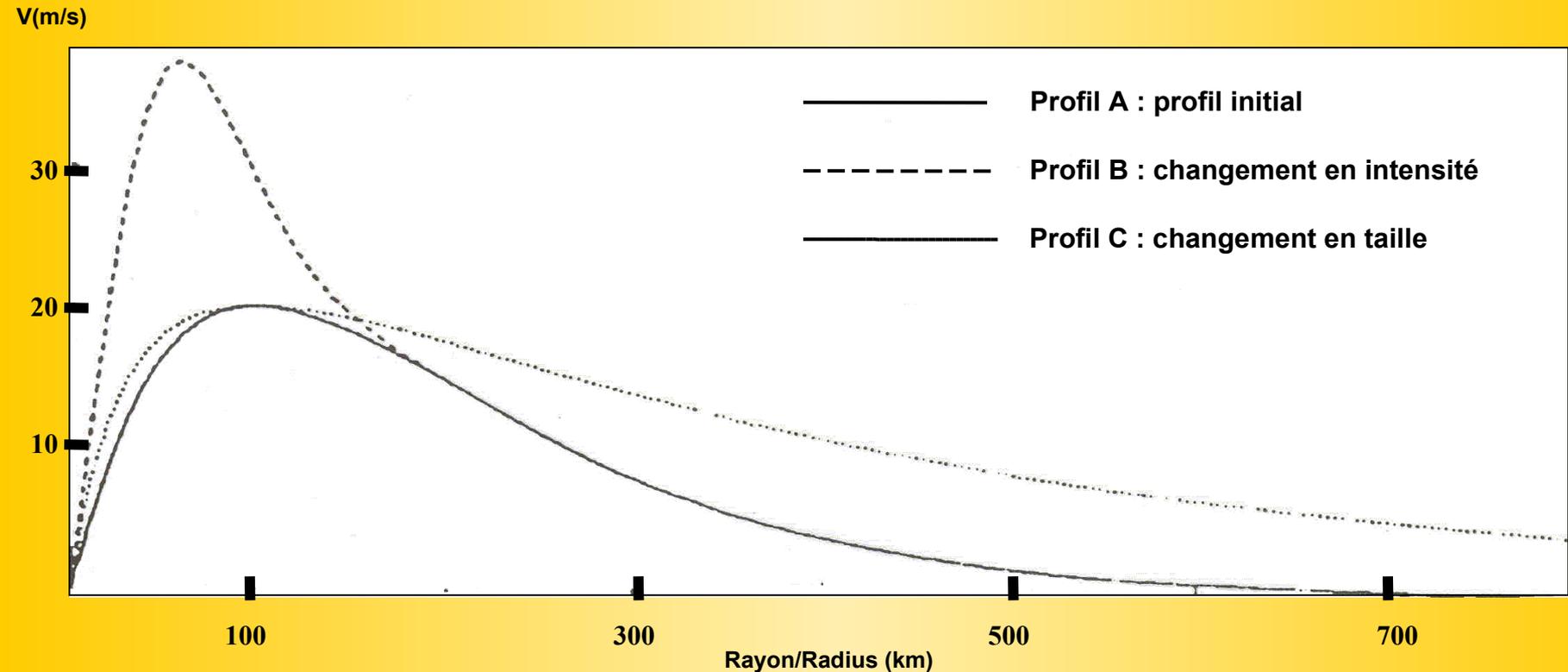
## Profils du vent tangentiel, illustrant un changement en intensité ou en taille

V(m/s)



Tangential wind profiles to illustrate change in intensity (case B, dashed) or change in size (case C, dotted) for a tropical cyclone (case A, initial profile).

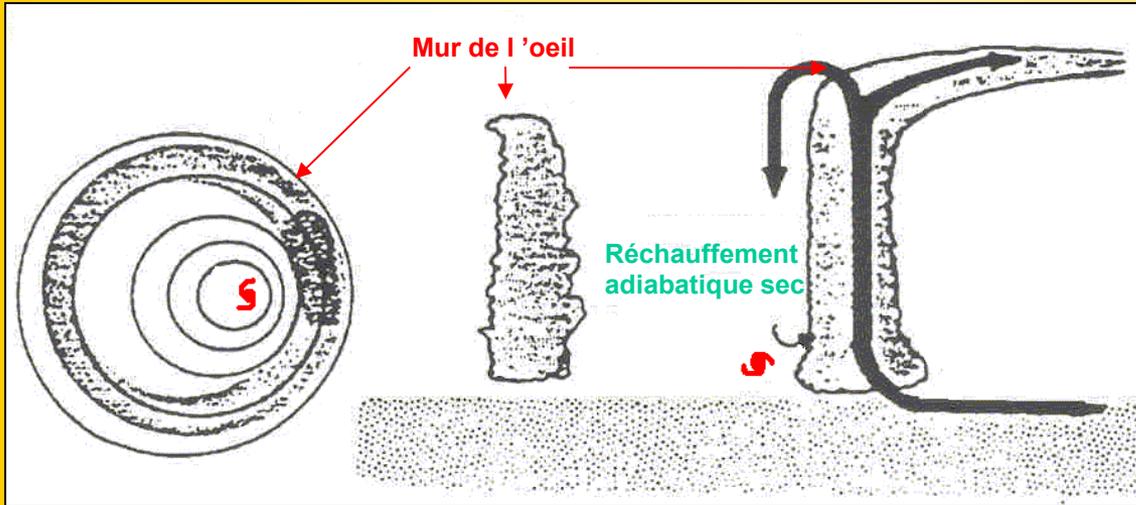
## Profils du vent tangentiel, illustrant un changement en intensité ou en taille



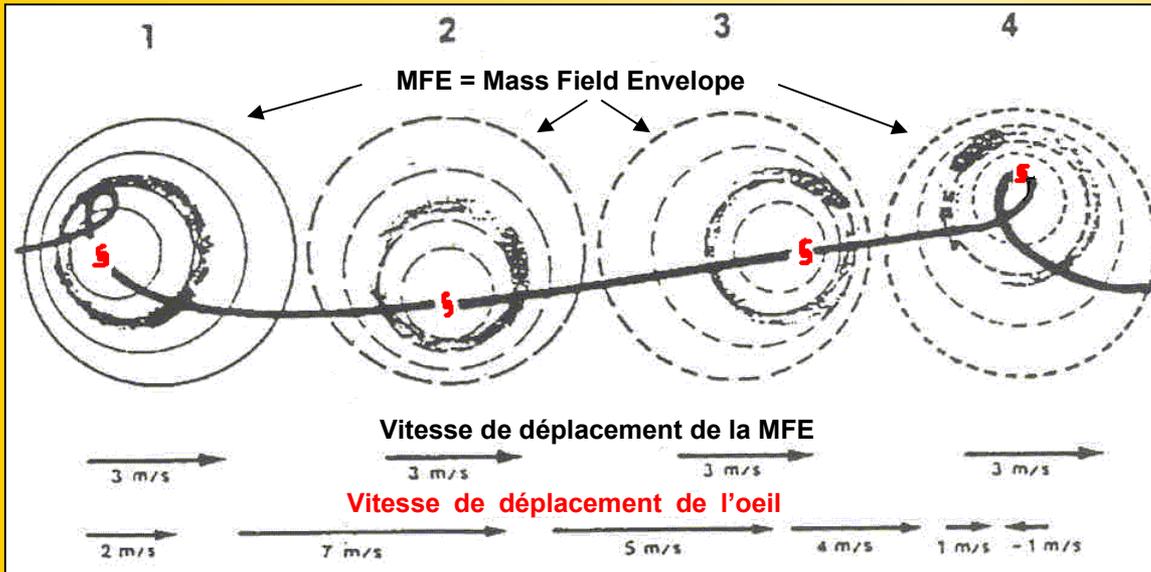
Tangential wind profiles to illustrate change in intensity (case B, dashed) or change in size (case C, dotted) for a tropical cyclone (case A, initial profile).

A cyclone with profile C will have a southwestward displacement (in the SH) that is nearly twice that of profile A, while there will virtually be no difference for a cyclone with profile B.

# Représentation schématique du mouvement trochoïdal



Le mouvement trochoïdal peut résulter de la présence d'un point chaud dans le mur de l'œil d'un cyclone tropical.



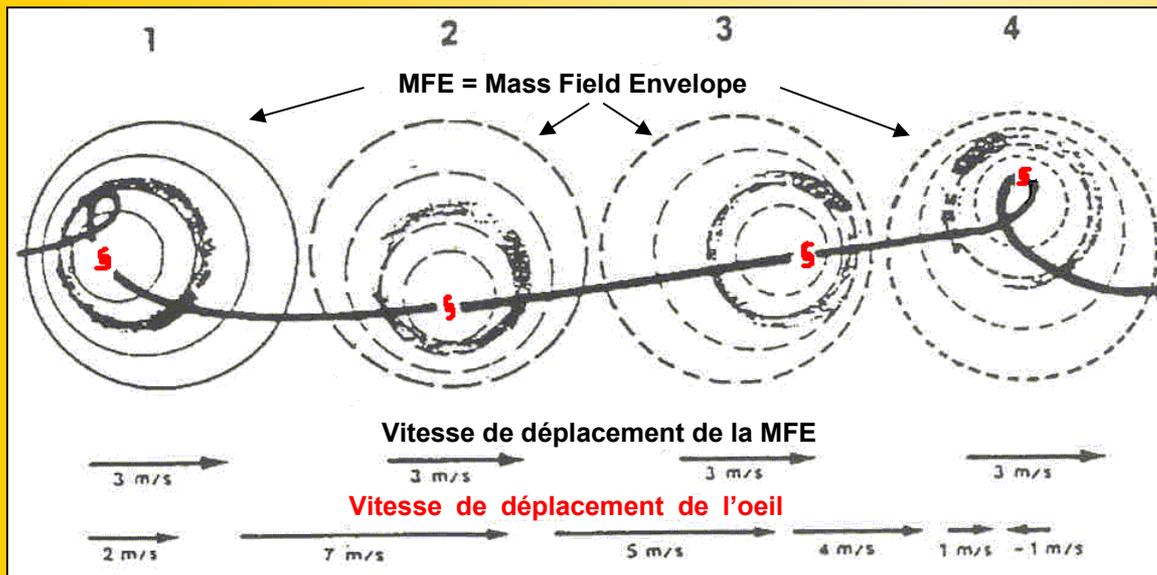
The trochoidal motion may result from a warm spot in the tropical cyclone eyewall.

## Le mouvement trochoïdal

Nombre de trajectoires connaissent de telles oscillations trochoïdales autour du mouvement moyen.

Ces oscillations trochoïdales peuvent être sujettes à mauvaise interprétation (changement de trajectoire).

Les oscillations trochoïdales sont souvent lissées ou ignorées dans les best-tracks officielles.



Many storms experience « wobbles » or oscillations with respect to their time averaged motion vector.

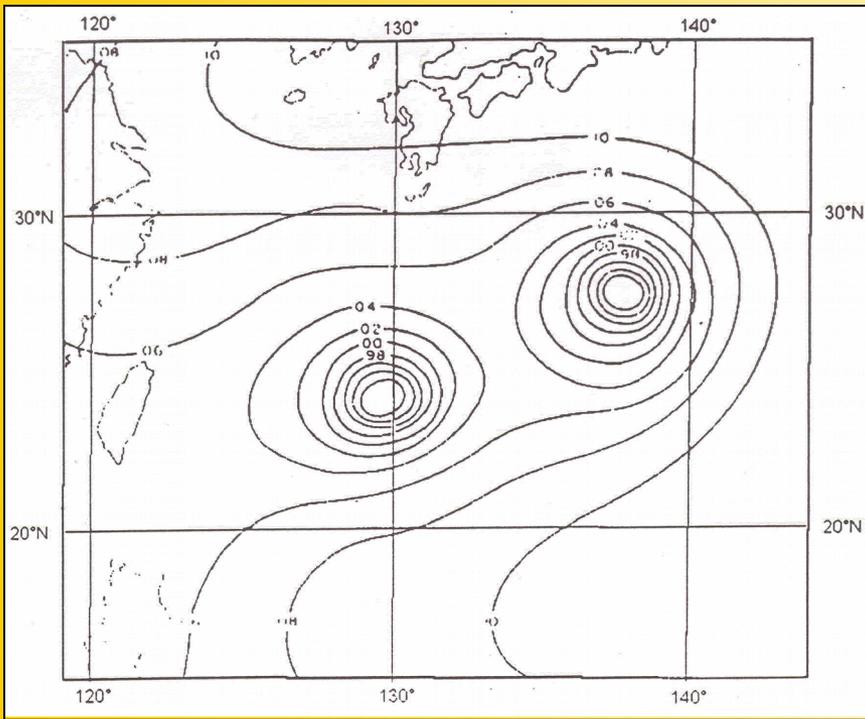
Trochoidal motions may be misinterpreted as "turns" ...

Trochoidal wobbles are often removed from the official best-track.

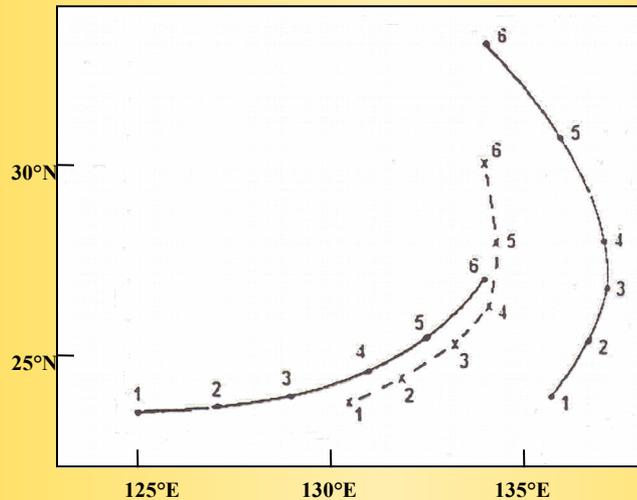
# Illustration de l'effet FUJIWHARA

Analyse en surface du 25/08/1945 sur le Pacifique Nord-Ouest.

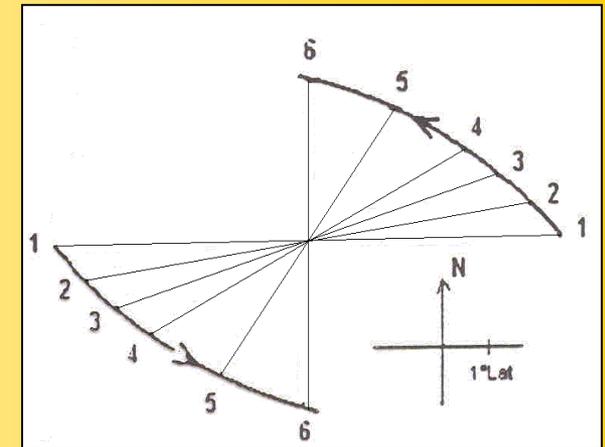
Surface analysis chart for 08/25/1945 over the NorthWest Pacific.



Trajectoires des deux cyclones et de leur centre de rotation à partir du 24/08/1945 (positions de 12h en 12h).



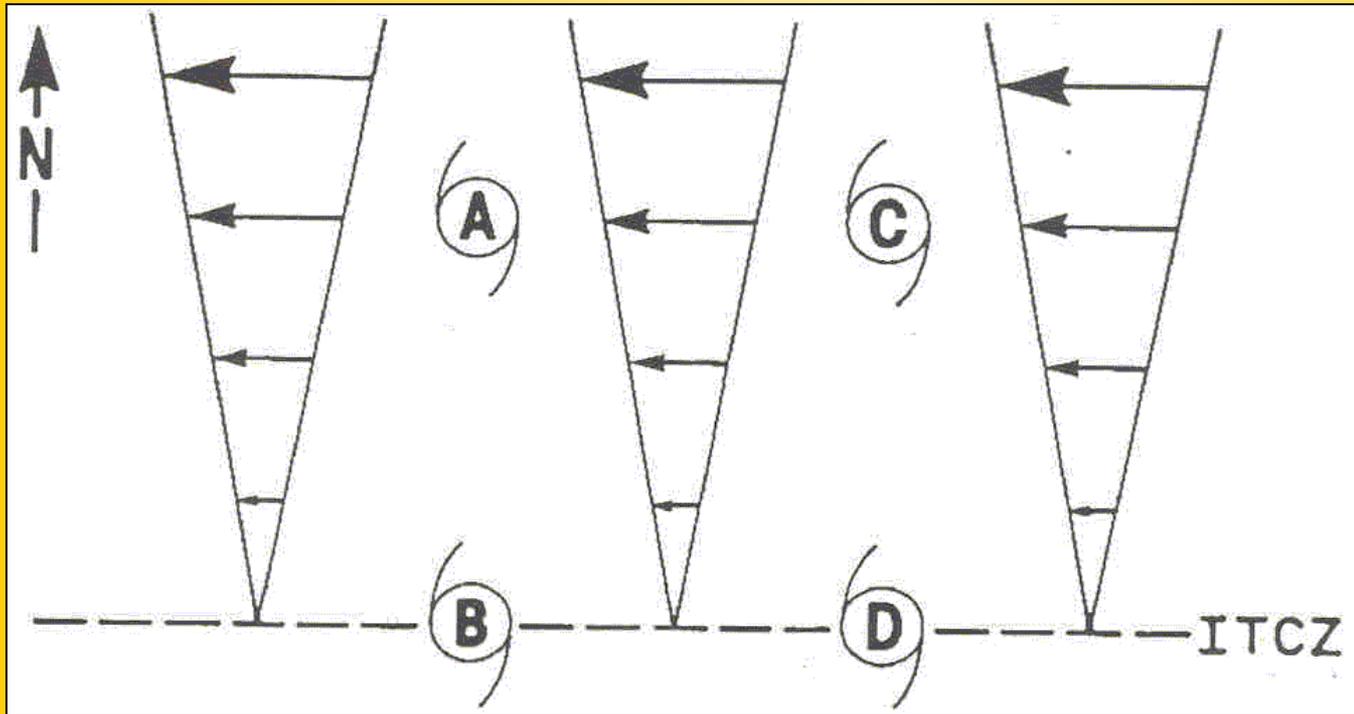
Tracks of the 2 cyclones and of their centroid of rotation (12 hourly positions starting 08/24/1945).



Mouvement relatif des deux cyclones.

Relative motion of the binary cyclones

## Illustration de l'influence du cisaillement horizontal du flux directeur sur l'effet Fujiwhara (Hém. nord)

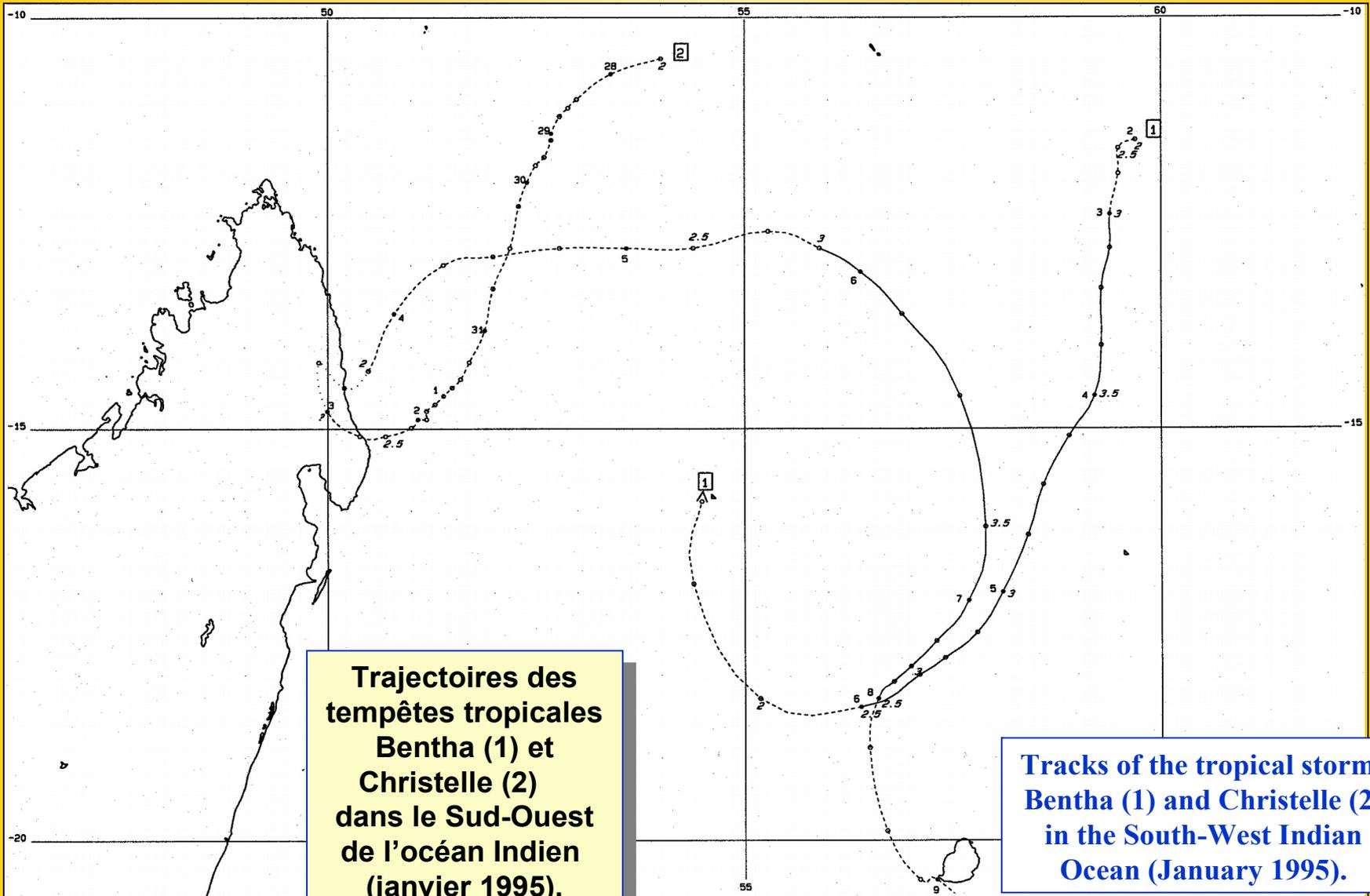


Schematic indicating influence of ITCZ-type horizontal wind shear on the relative motion of binary tropical cyclones.

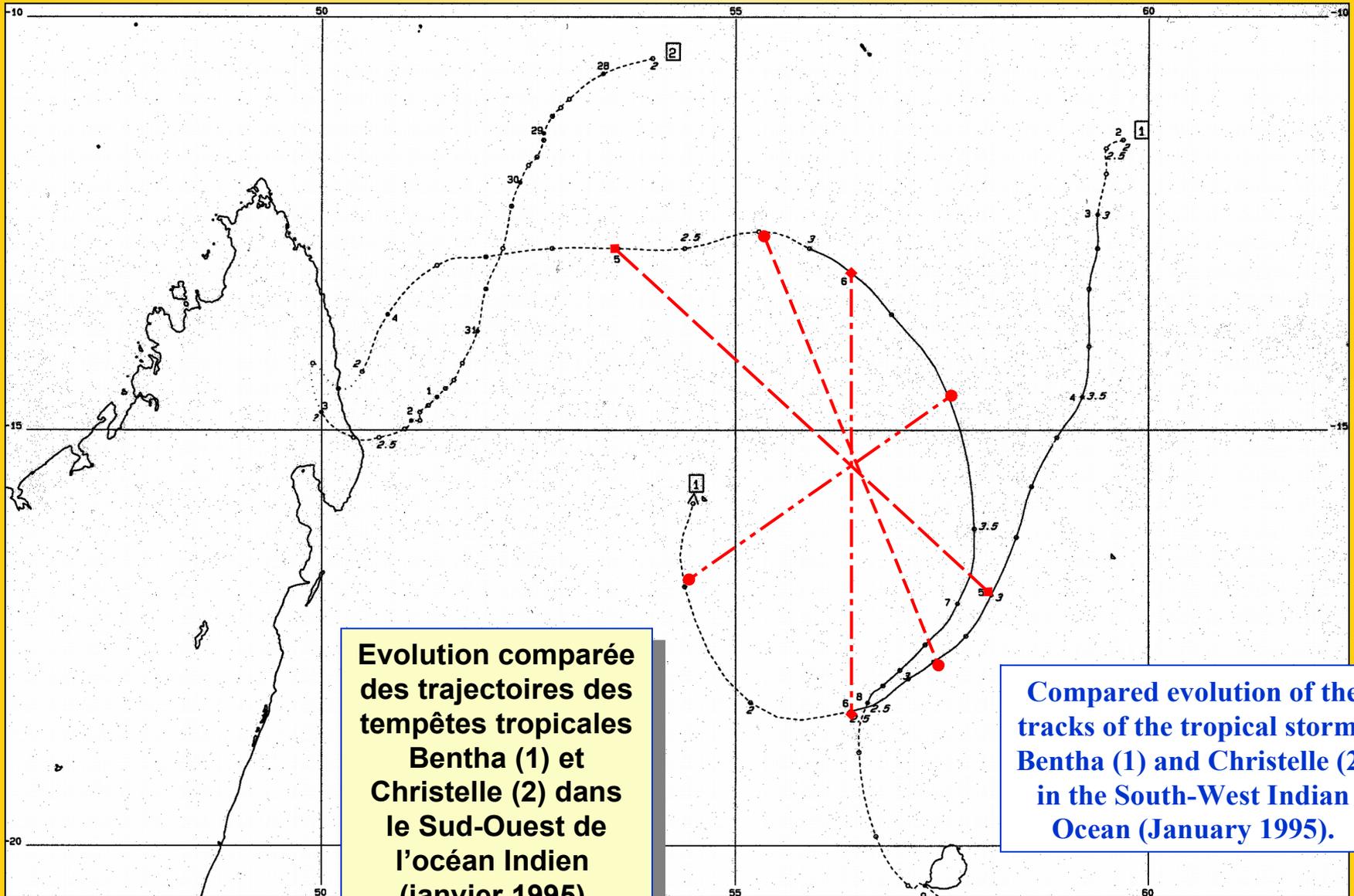
Les paires A/B ou C/D, contrairement aux paires A/C ou B/D, devraient voir une tendance accrue à la rotation dans le sens cyclonique. Ceux de la paire B/C devrait avoir une tendance marquée à se rapprocher, tandis qu'en raison du cisaillement, ceux de la paire A/D devraient avoir tendance à s'écarter mutuellement.

Cyclone pairs A/B or C/D would be expected to increase their relative counterclockwise rotation. By contrast, pairs A/C or B/D would not have any additional rotation effect due to the shear. Binary pair B/C would have an additional tendency to approach, whereas pair A/D would appear to separate due to the wind shear.

# Effet FUJIWHARA (1)



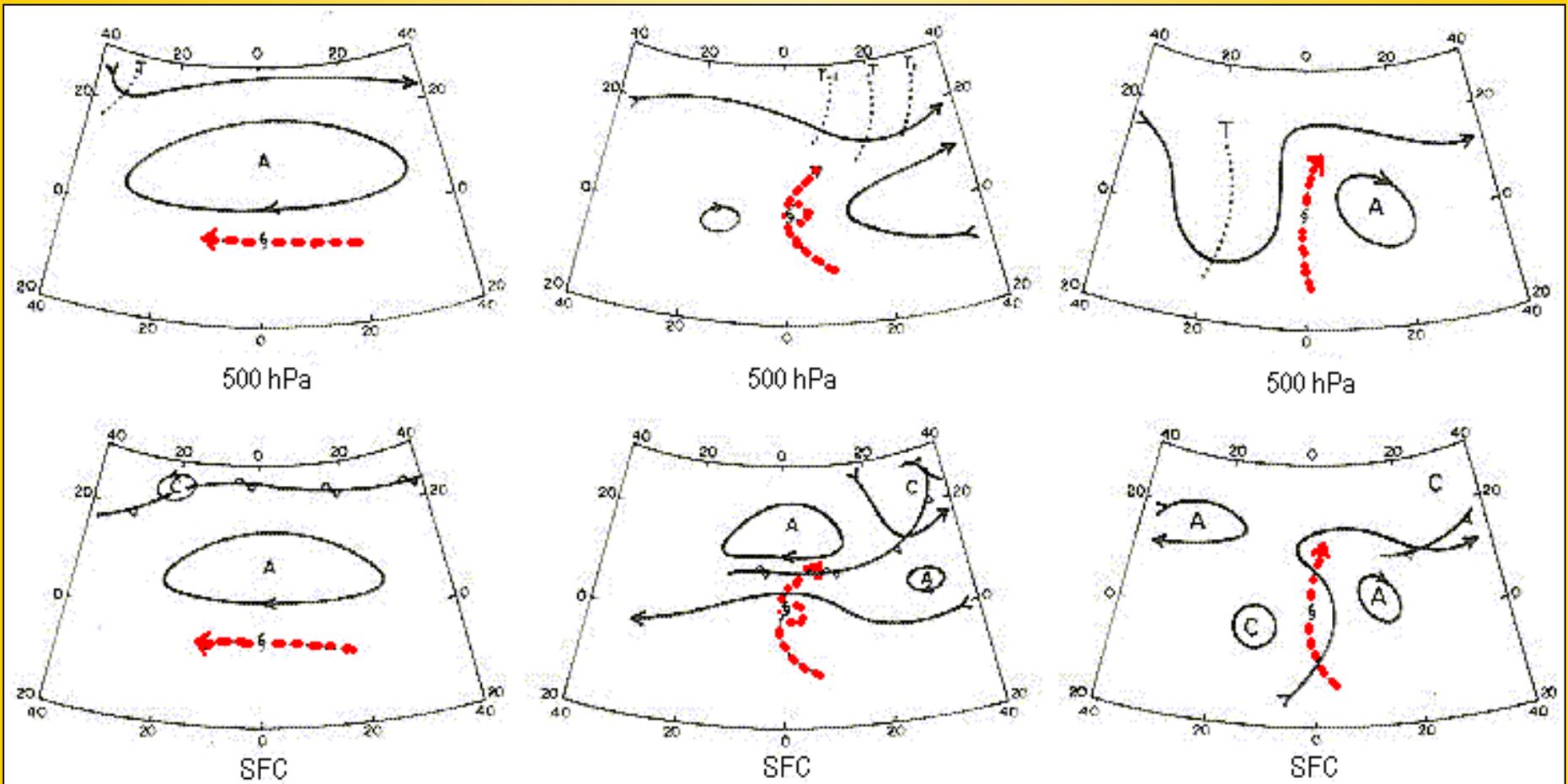
# Effet FUJIWHARA (2)



Evolution comparée  
des trajectoires des  
tempêtes tropicales  
Bentha (1) et  
Christelle (2) dans  
le Sud-Ouest de  
l'océan Indien  
(janvier 1995).

Compared evolution of the  
tracks of the tropical storms  
Bentha (1) and Christelle (2)  
in the South-West Indian  
Ocean (January 1995).

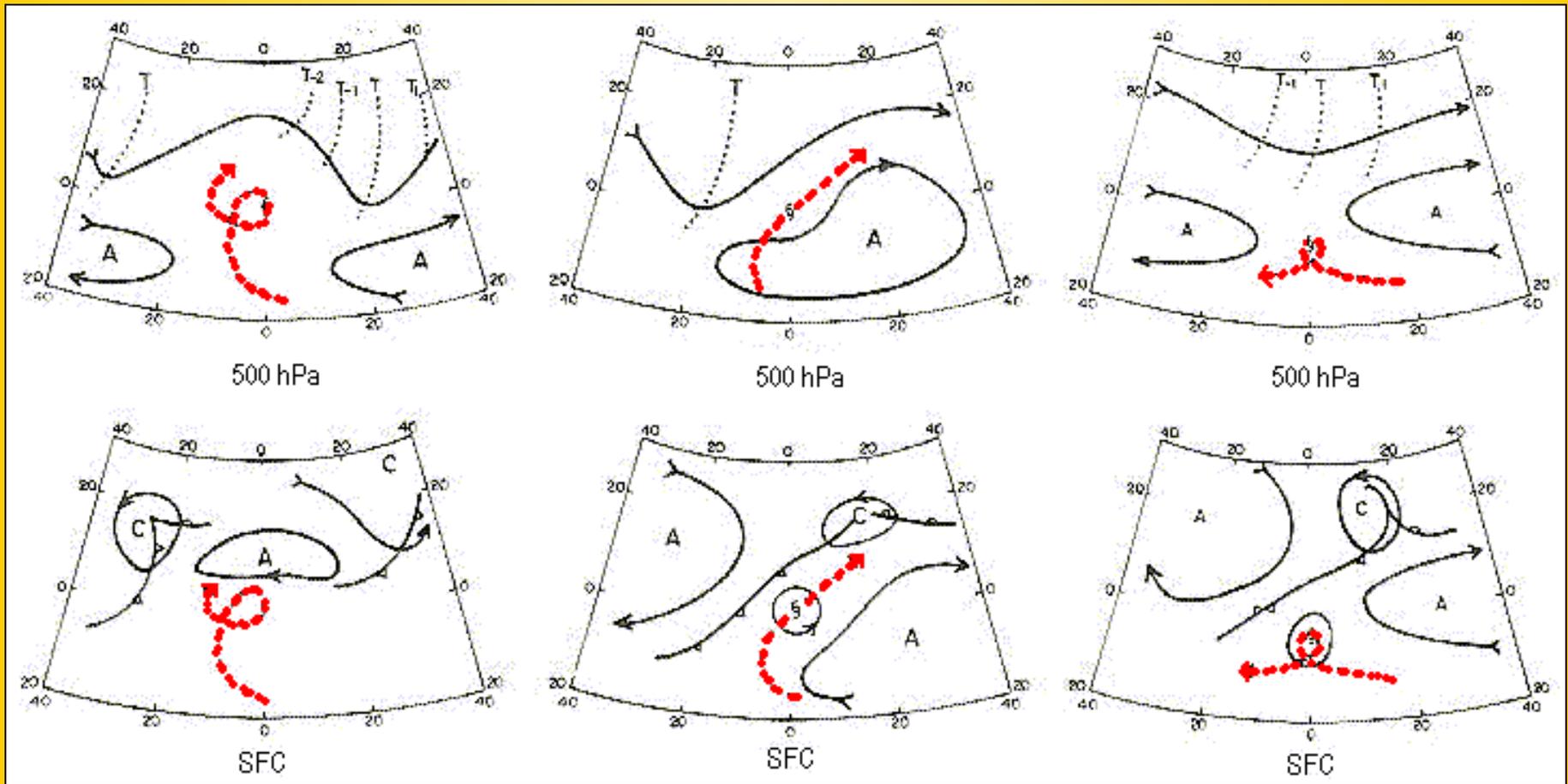
## Quelques situations types de déplacement (2)



Schémas idéalisés des configurations à 500 hPa et des configurations correspondantes en surface, associées à différents types de déplacement.

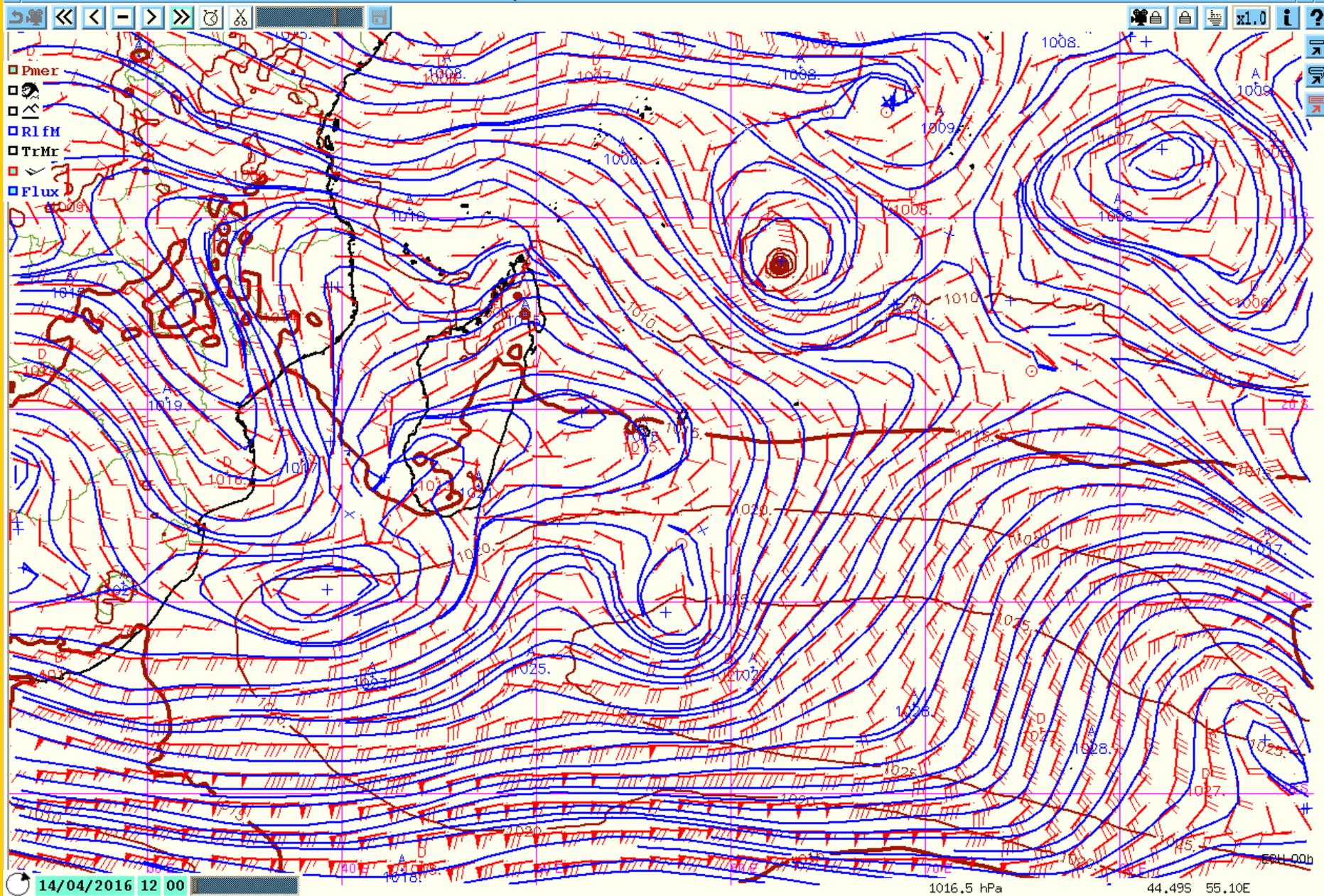
Idealized 500 hPa pattern (above) and corresponding surface pattern (below) depicting the type of motion predicted.

# Quelques situations types de déplacement (1)

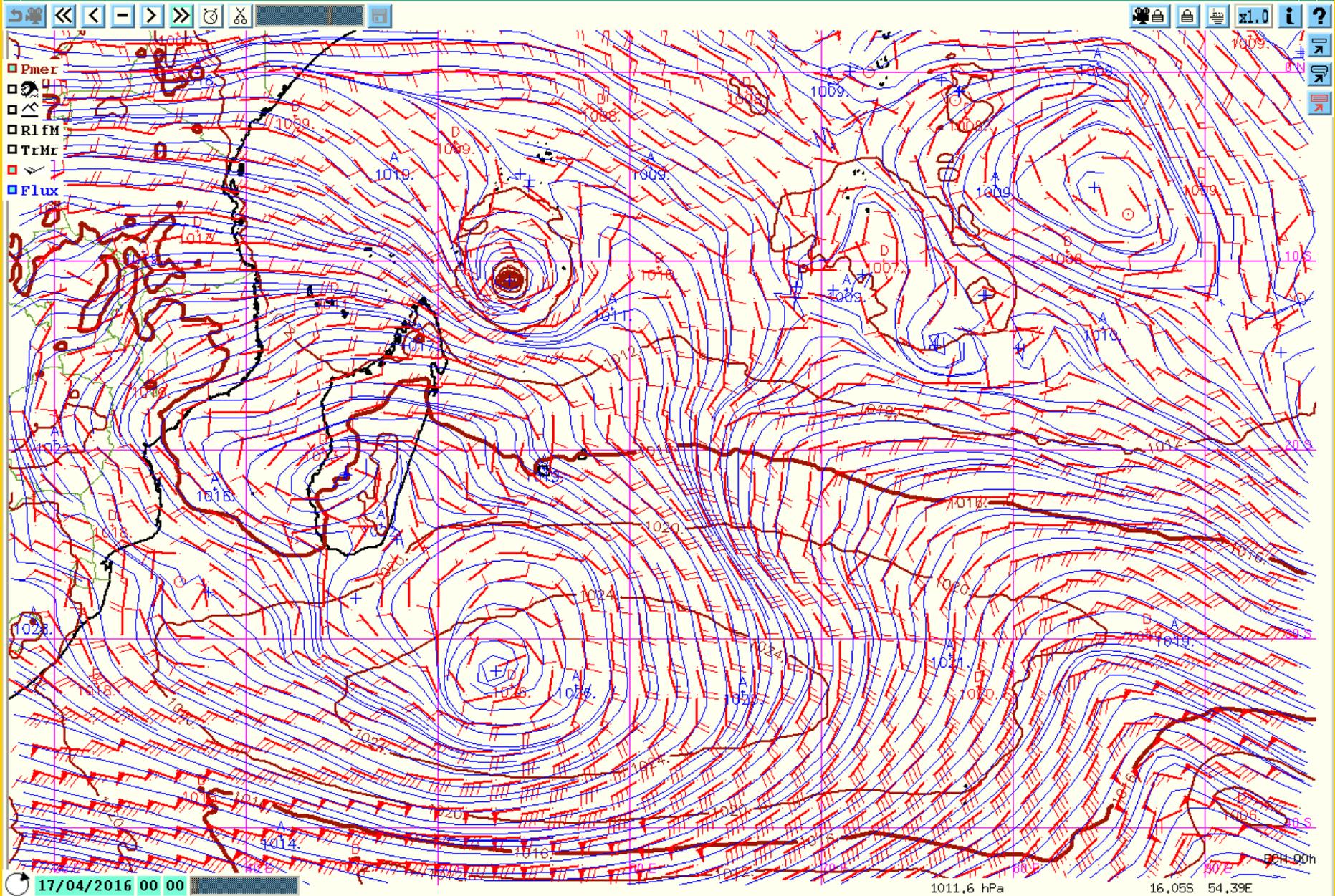


Schémas idéalisés des configurations à 500 hPa et des configurations correspondantes en surface, associées à différents types de déplacements.

Idealized 500 hPa pattern (above) and corresponding surface pattern (below) depicting the type of motion predicted.



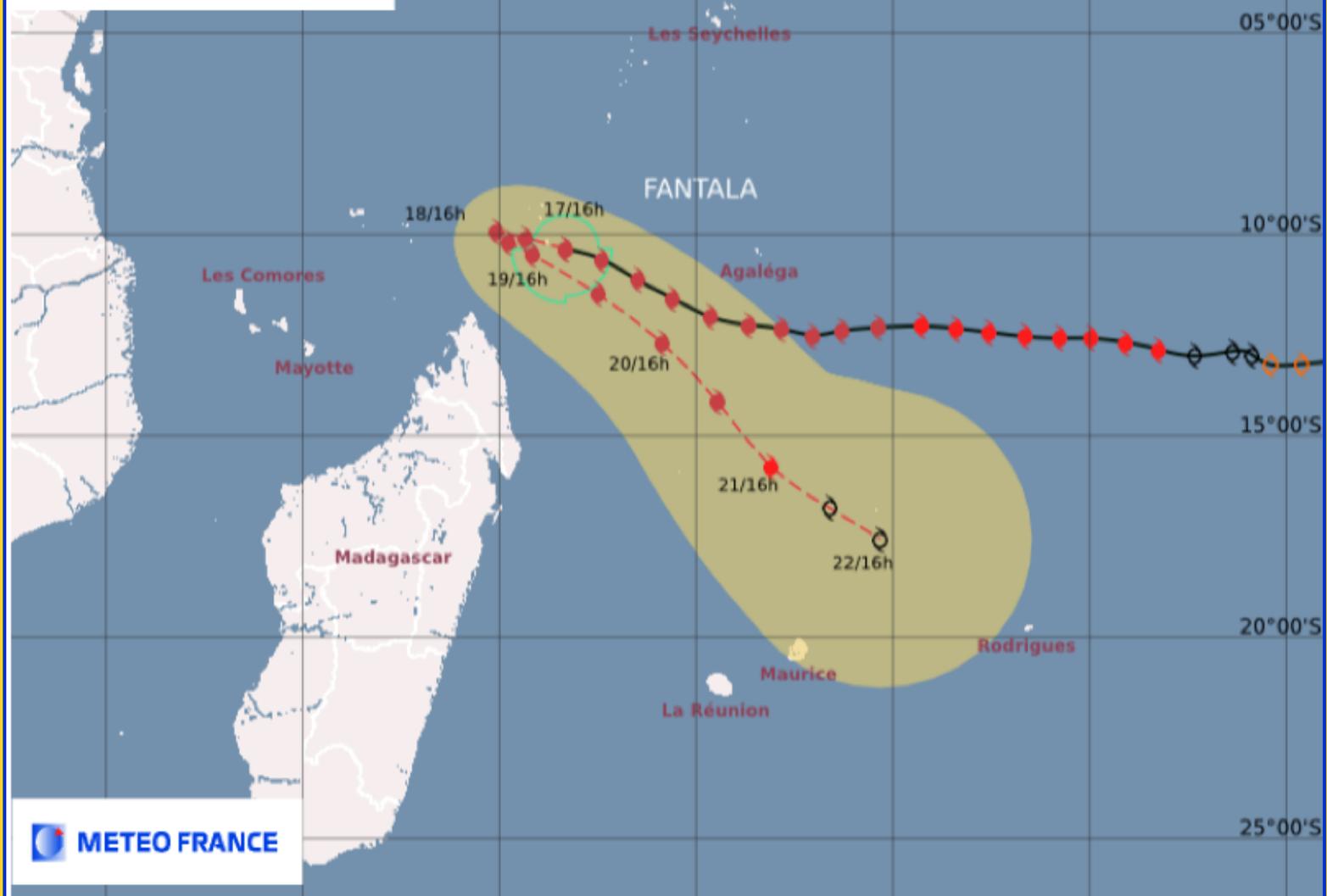
**Pmer et Flux à 500 hPa : prévision du modèle du CEP du 14/04/2016 à 12 utc**



Pmer et Flux à 500 hPa : prévision du modèle du CEP du 17/04/2016 à 00 utc

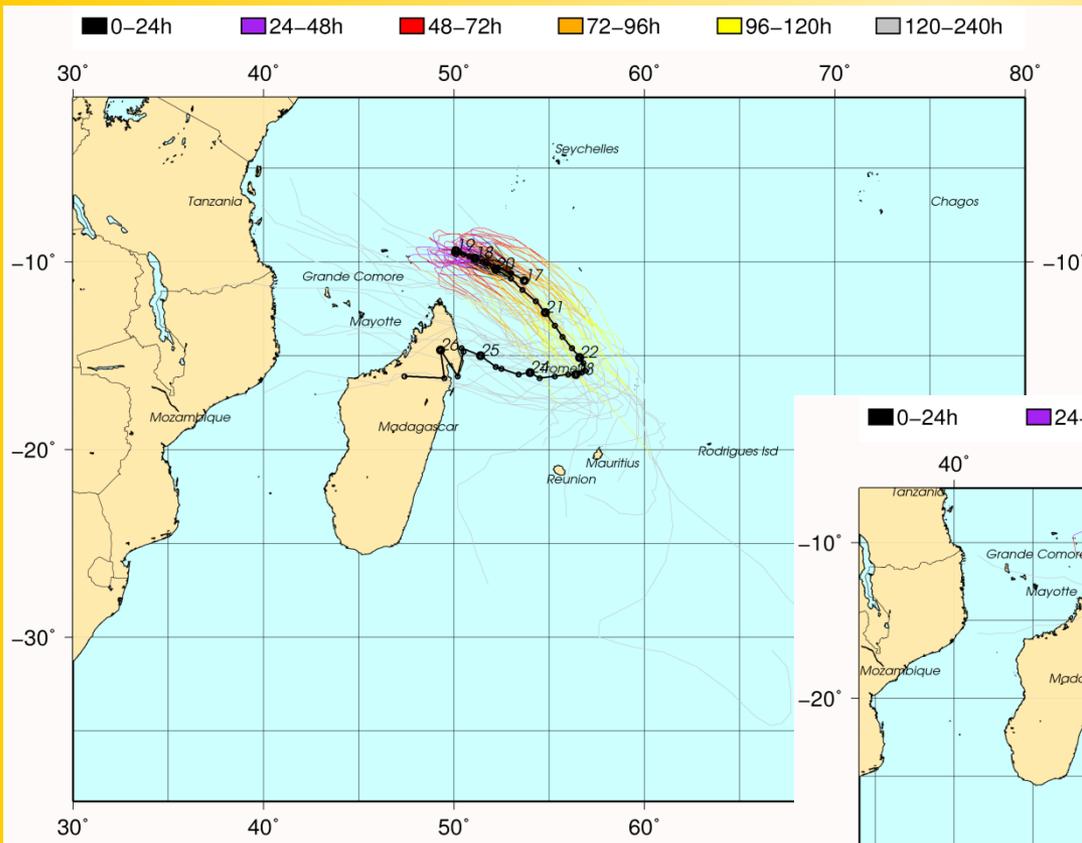
# TC FANTALA TRACK FORECAST

Le 17/04/2016 à 16h  
Heures locales La Réunion



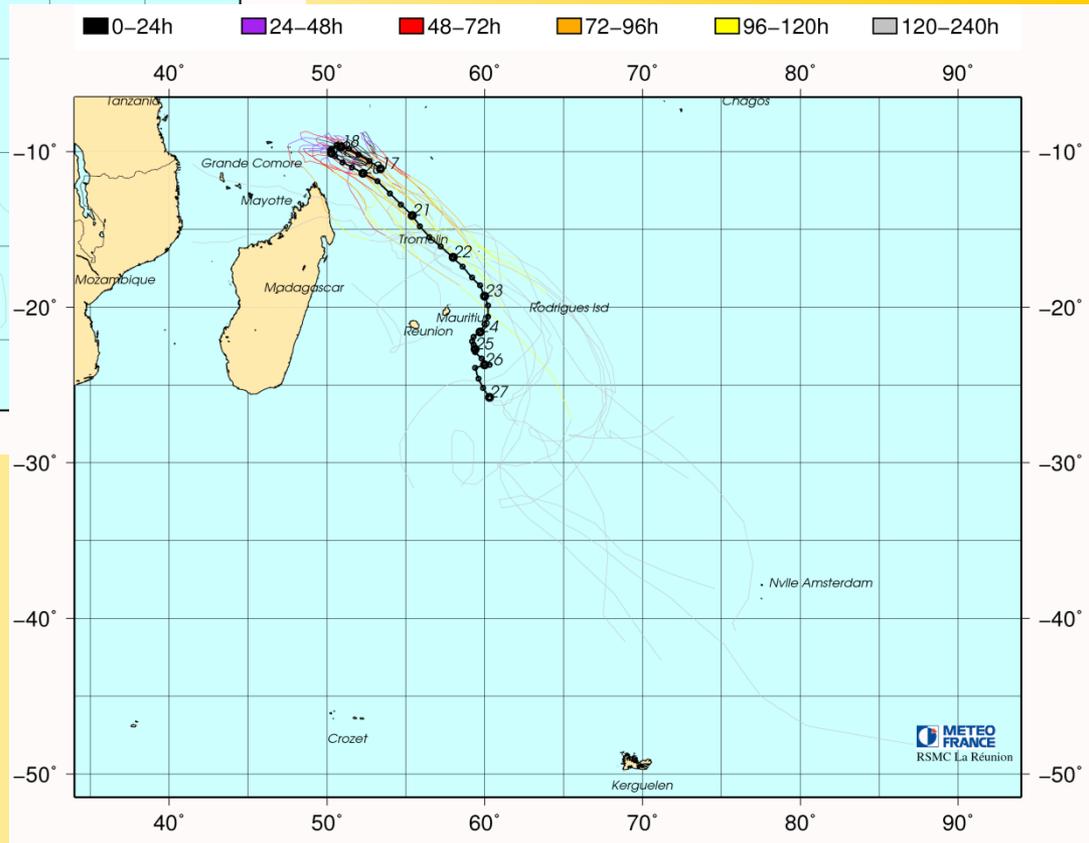
RSMC La Reunion : track forecast 17 April 2016 at 12 utc.

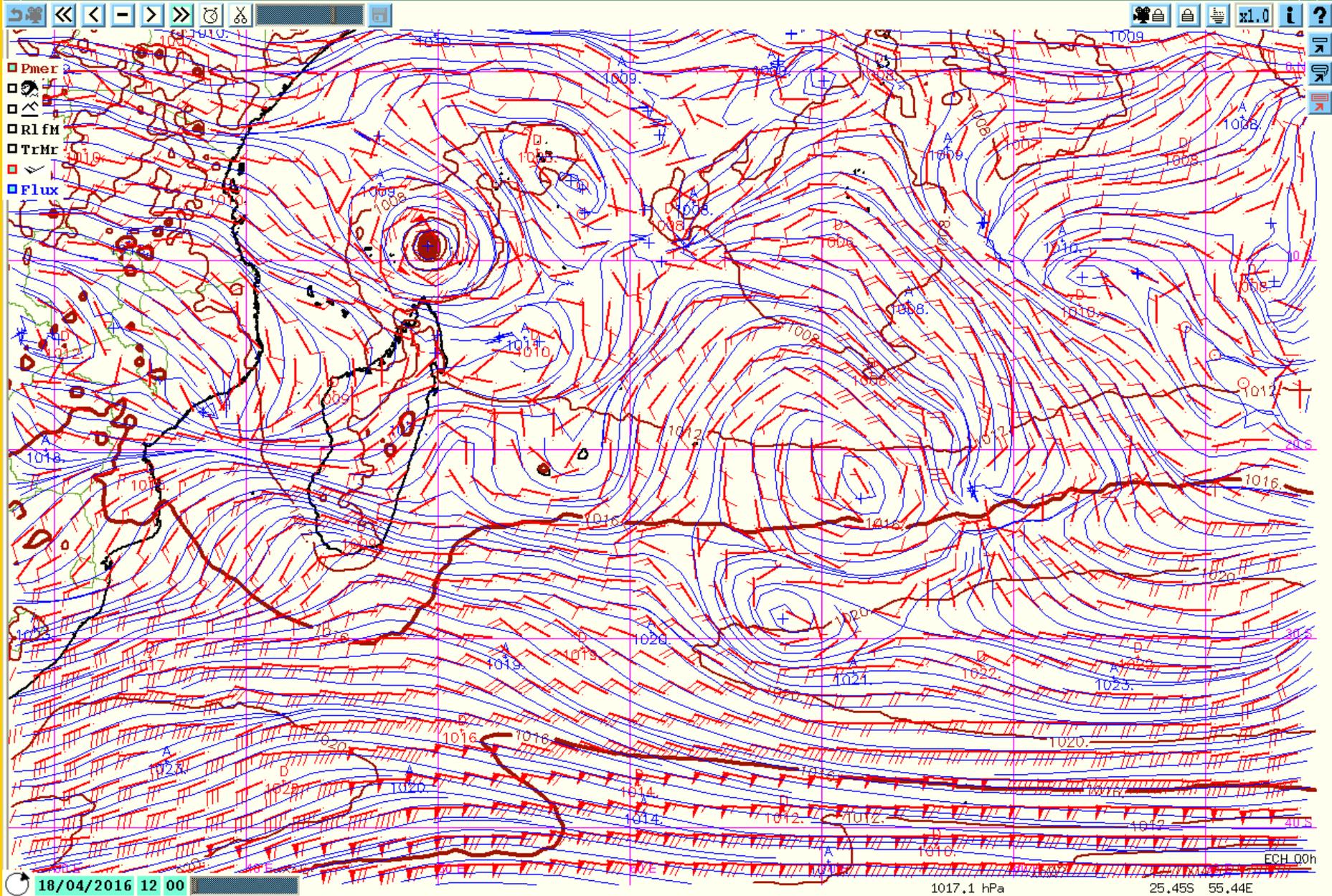
# TC FANTALA TRACK FORECAST



**Prévisions d'ensemble du  
17/04/2016 à 00 utc  
(EPS ci-contre, GEFS ci-dessous)**

**Ensemble track forecasts 17 April  
2016 at 00 utc (EPS above, GEFS  
to the right).**

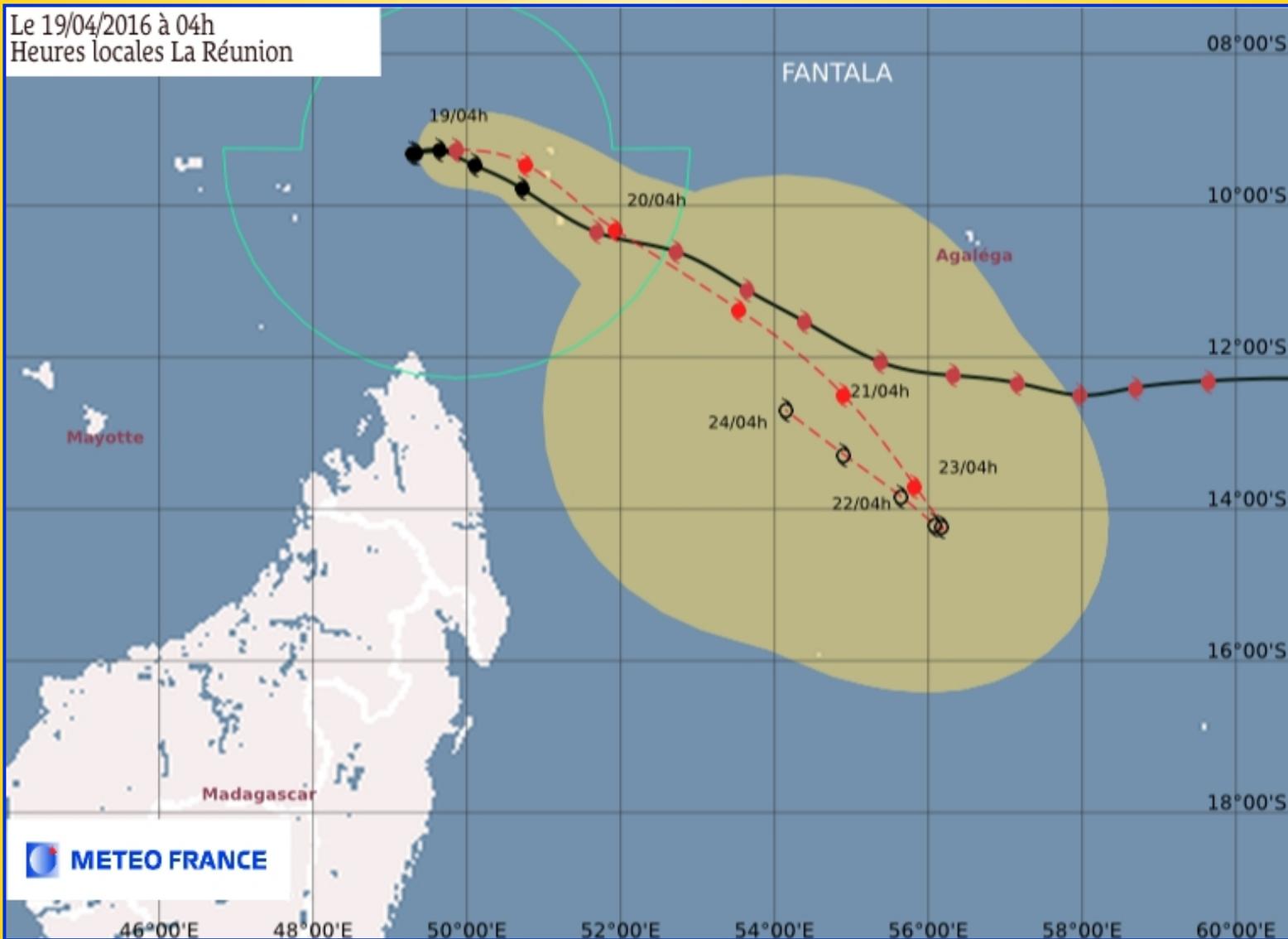




**Pmer et Flux à 500 hPa : prévision du modèle du CEP du 18/04/2016 à 12 utc**

# TC FANTALA TRACK FORECAST

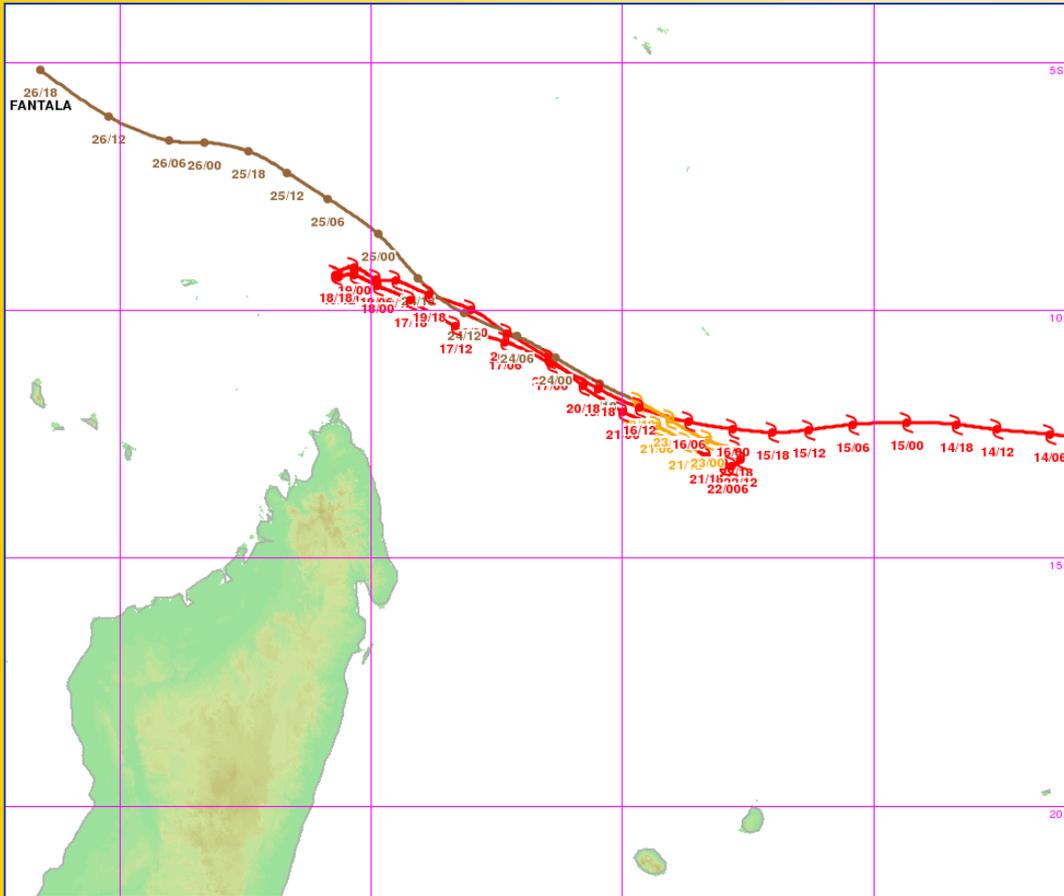
Le 19/04/2016 à 04h  
Heures locales La Réunion



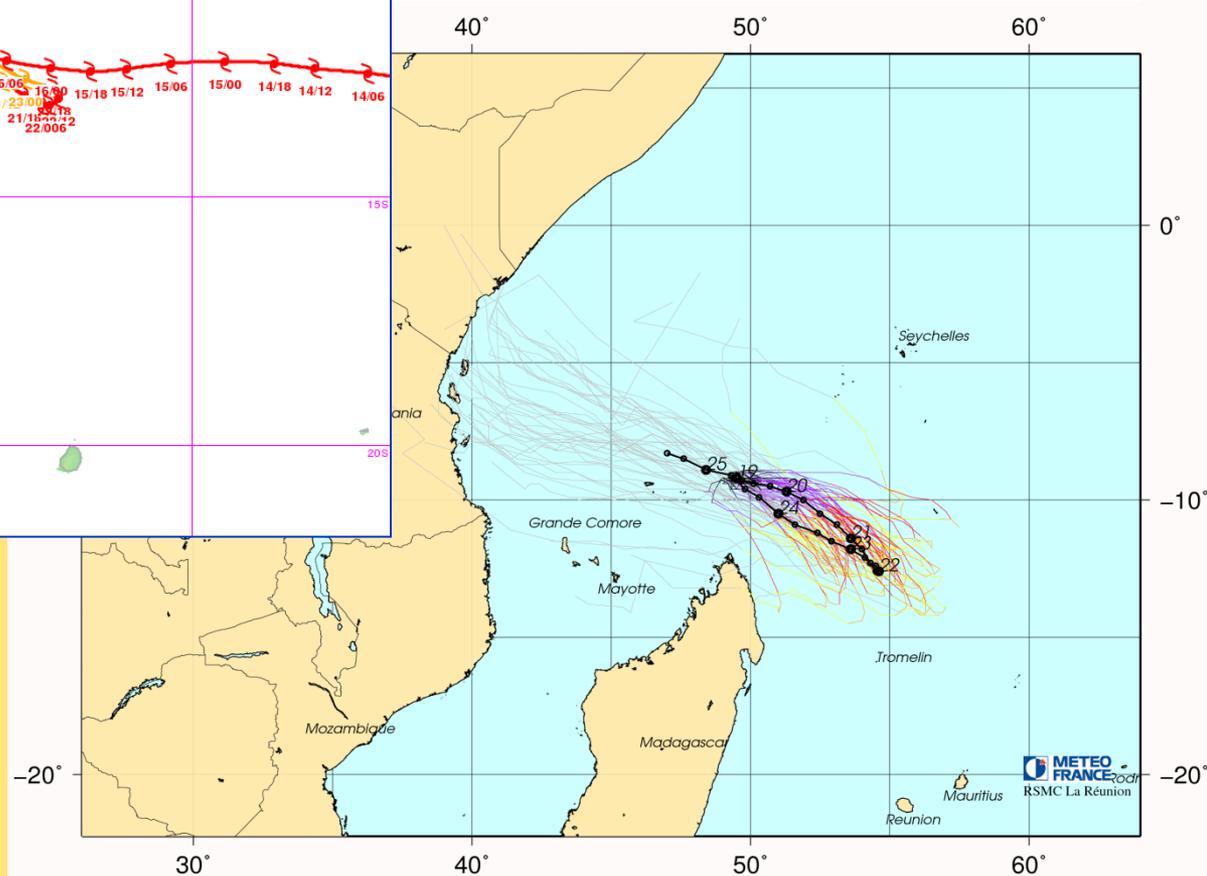
RSMC La Reunion : track forecast 19 April 2016 at 00 utc.

# TC FANTALA TRACK FORECAST

Prévisions d'ensemble du  
18/04/2016 à 12 utc  
(EPS ci-dessous)



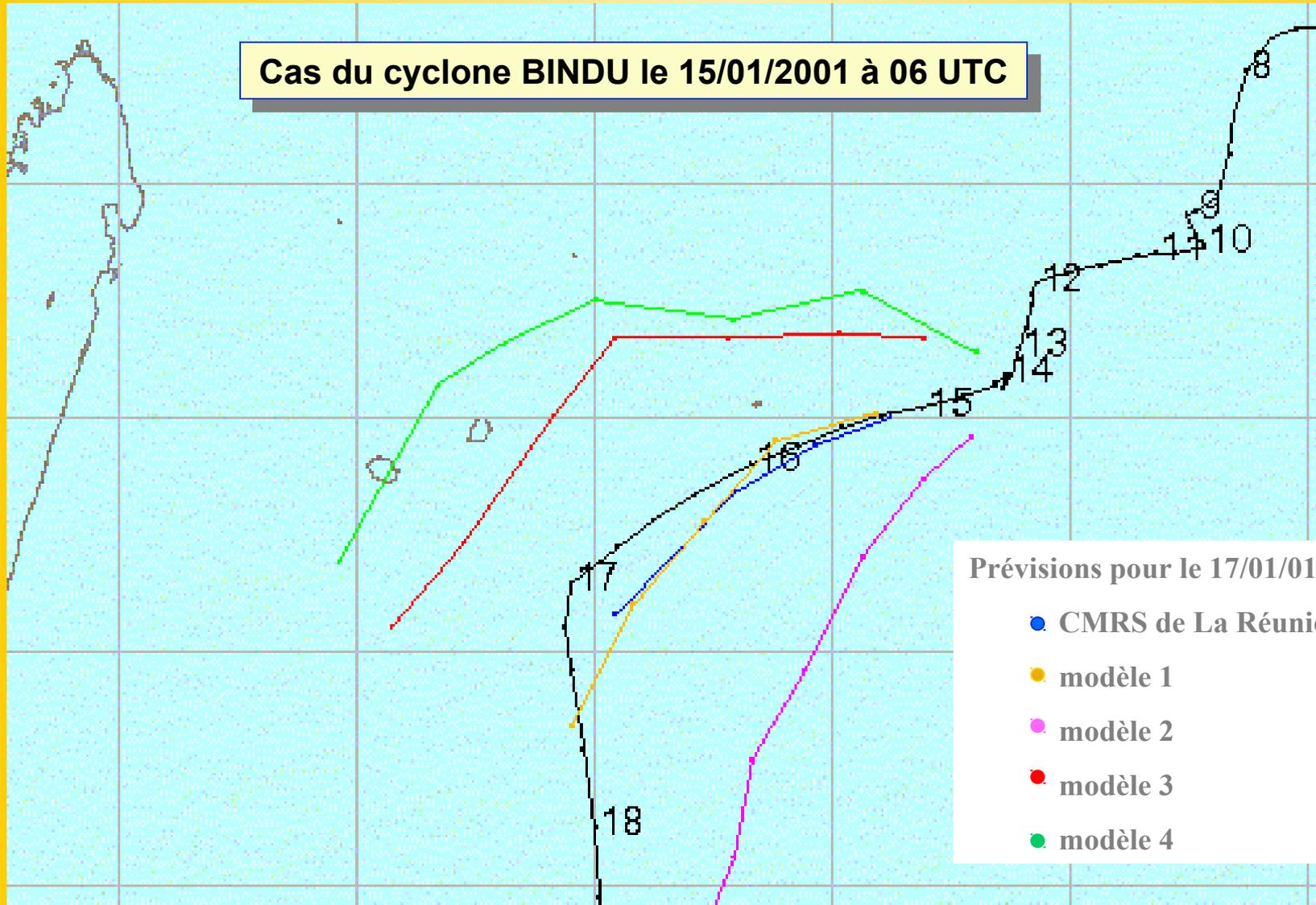
48-72h 72-96h 96-120h 120-240h



EPS ensemble track forecasts  
18 April 2016 at 12 utc (right).

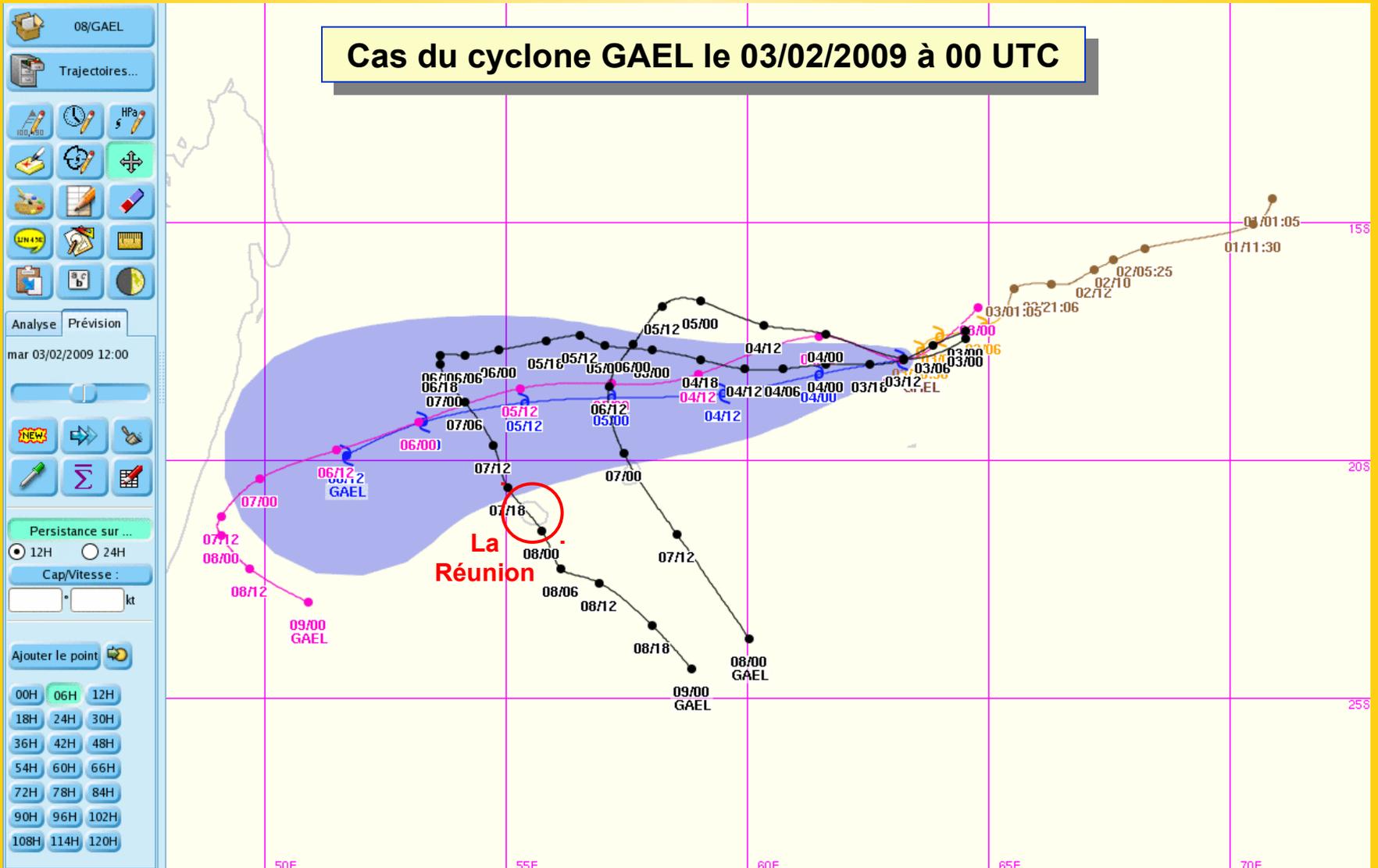
# Les récentes techniques de prévision de trajectoires cycloniques : le consensus de modèles

Cas du cyclone BINDU le 15/01/2001 à 06 UTC



# Utilisation des modèles numériques pour la prévision de trajectoires cycloniques

## Cas du cyclone GAEL le 03/02/2009 à 00 UTC



# Utilisation des modèles numériques pour la prévision de trajectoires cycloniques

## Cas du cyclone GAEL le 03/02/2009 à 00 UTC

08/GAEL

Trajectoires...

HPa

Analyse Prévision

mar 03/02/2009 12:00

Persistence sur ...

12H 24H

Cap/Vitesse :

Ajouter le point

00H 06H 12H

18H 24H 30H

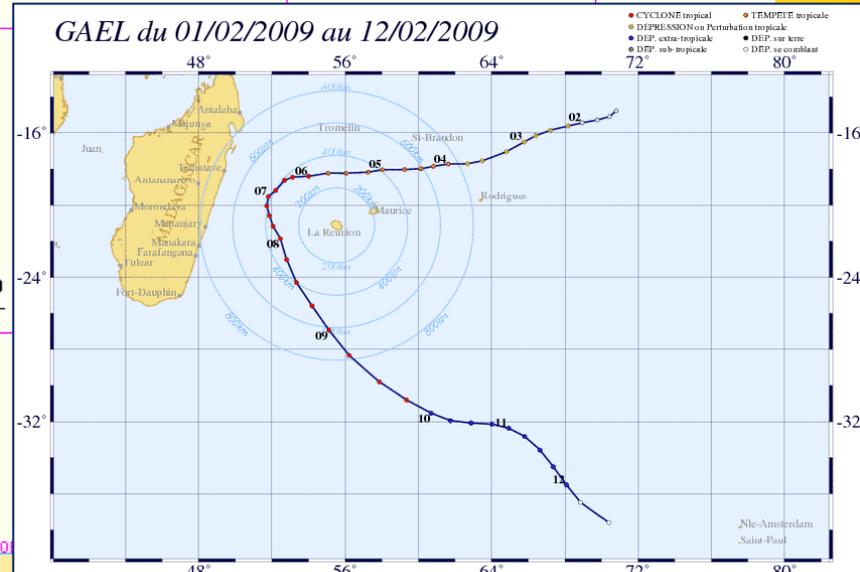
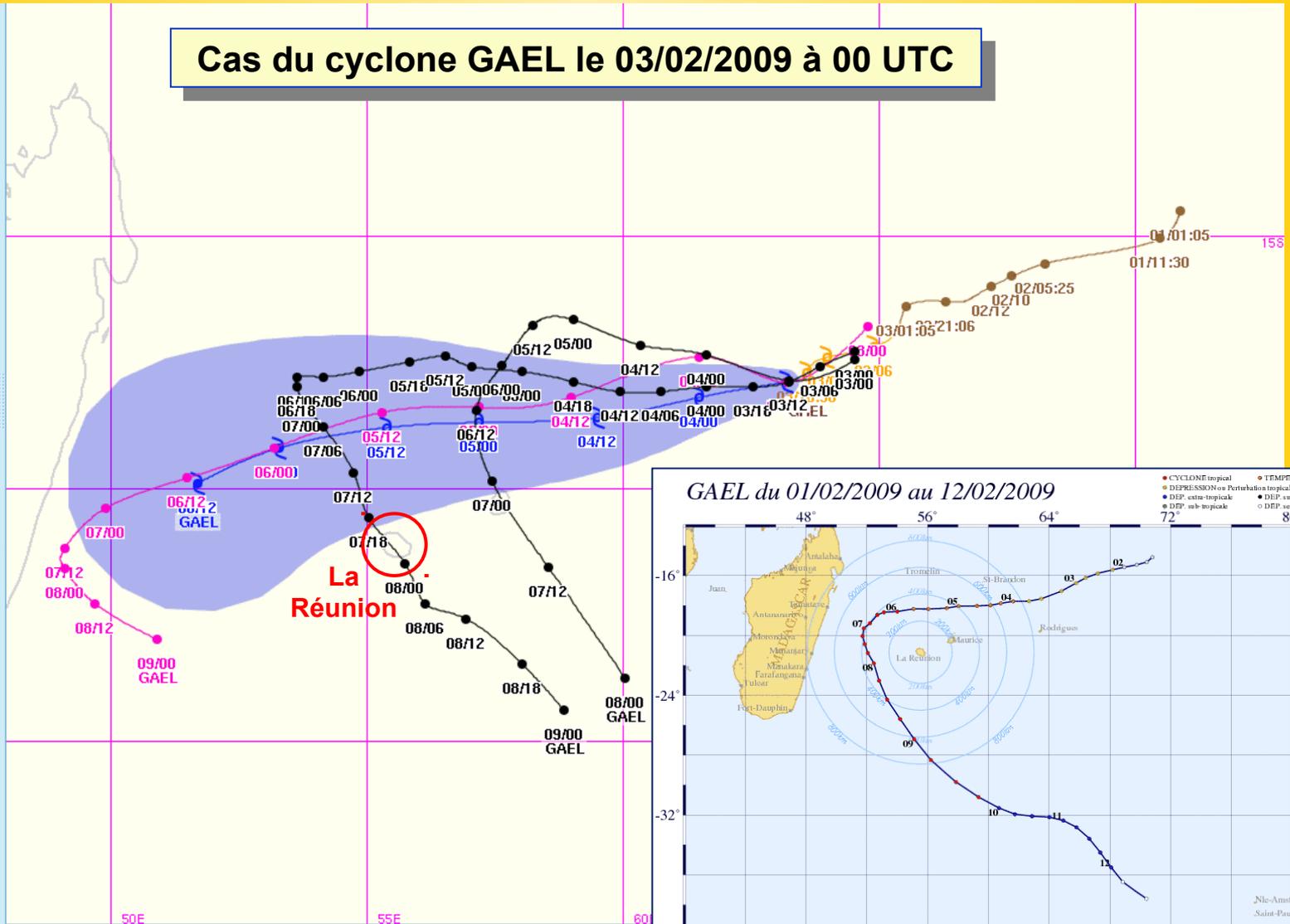
36H 42H 48H

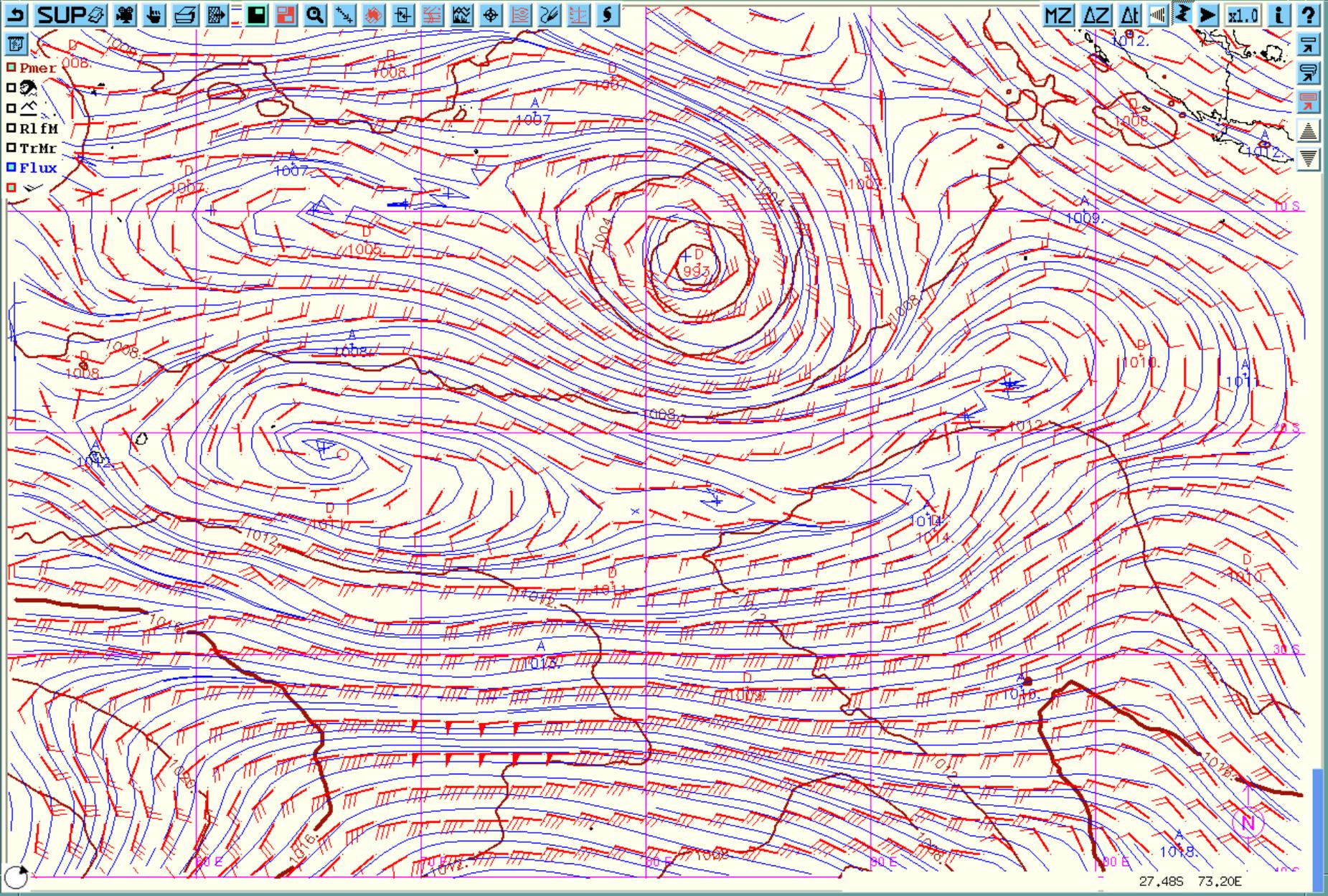
54H 60H 66H

72H 78H 84H

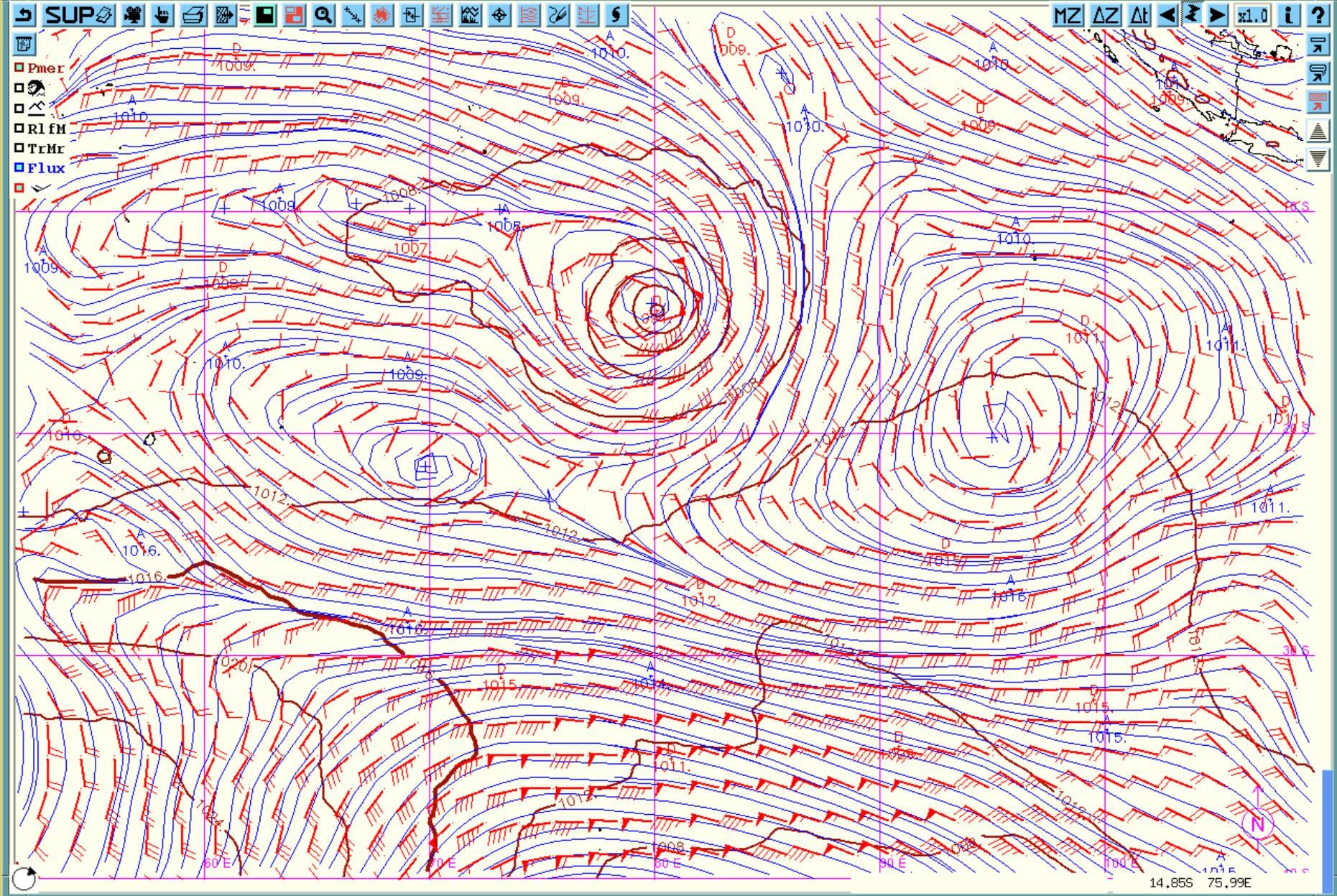
90H 96H 102H

108H 114H 120H

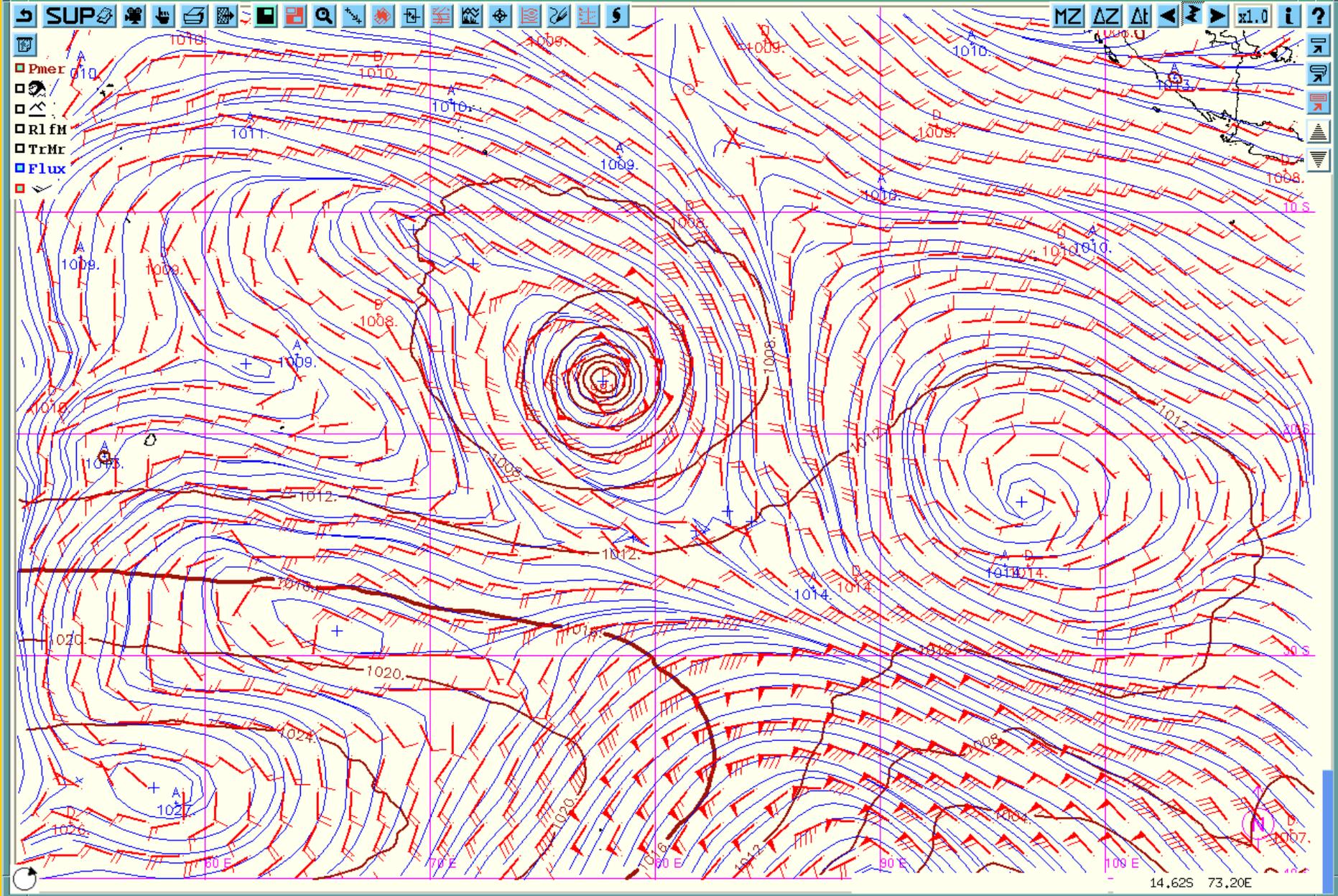




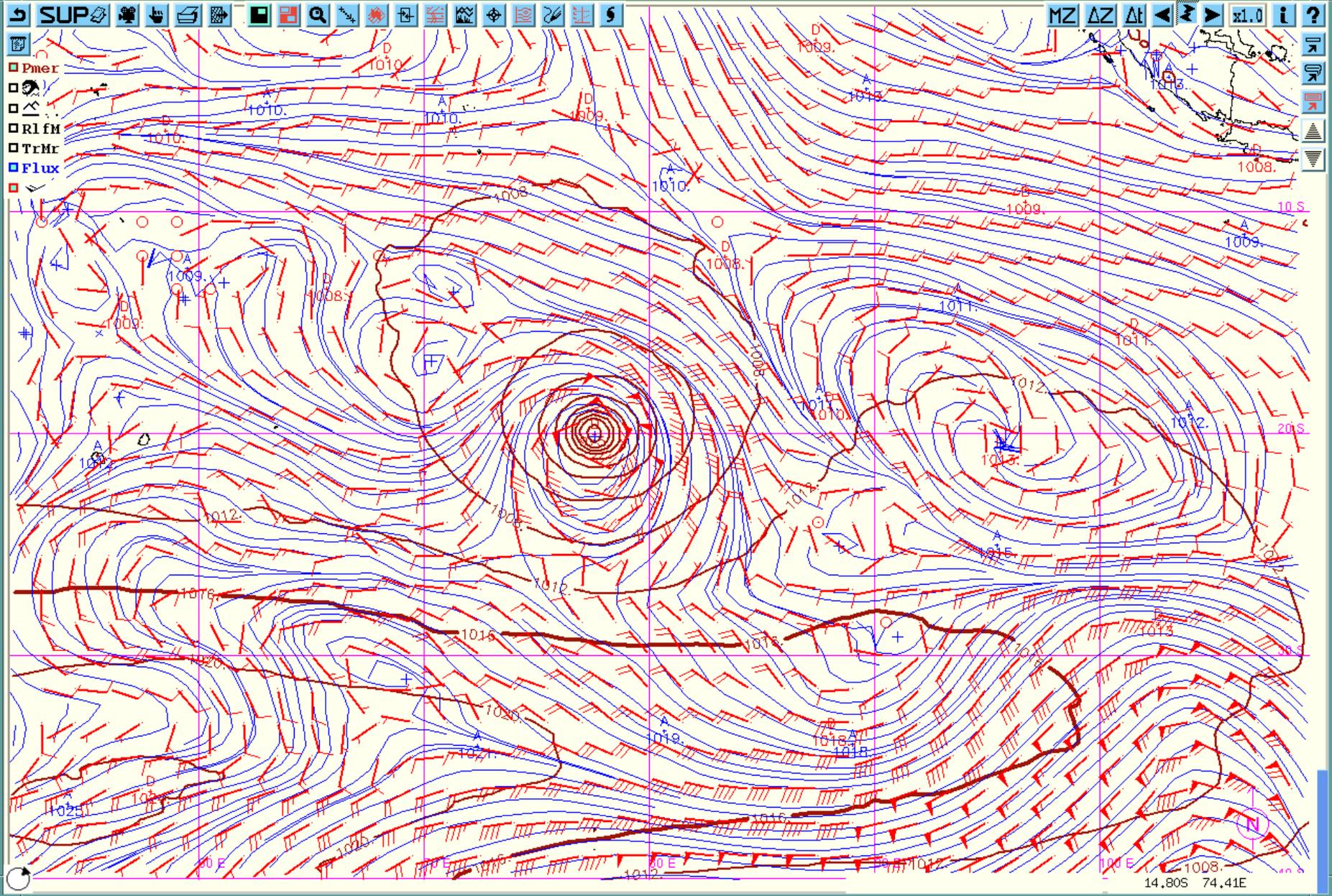
Pmer et Flux à 500 hPa : analyse du modèle du CEP du 11/02/2013 à 00 utc



**Pmer et Flux à 500 hPa : modèle du CEP du 11/02/2013 à 00 utc + 18h**

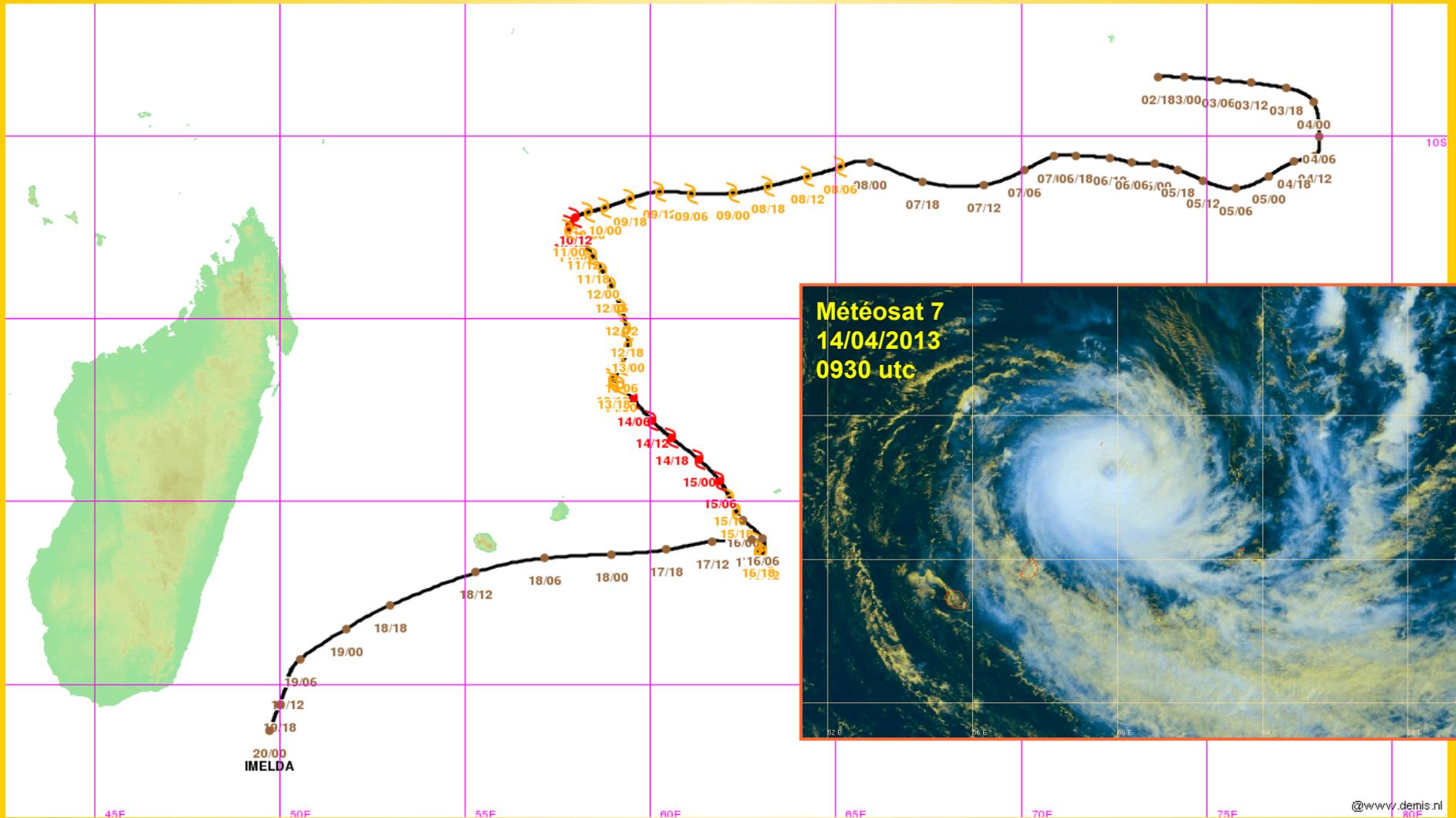


**Pmer et Flux à 500 hPa : modèle du CEP du 11/02/2013 à 00 utc + 42h**

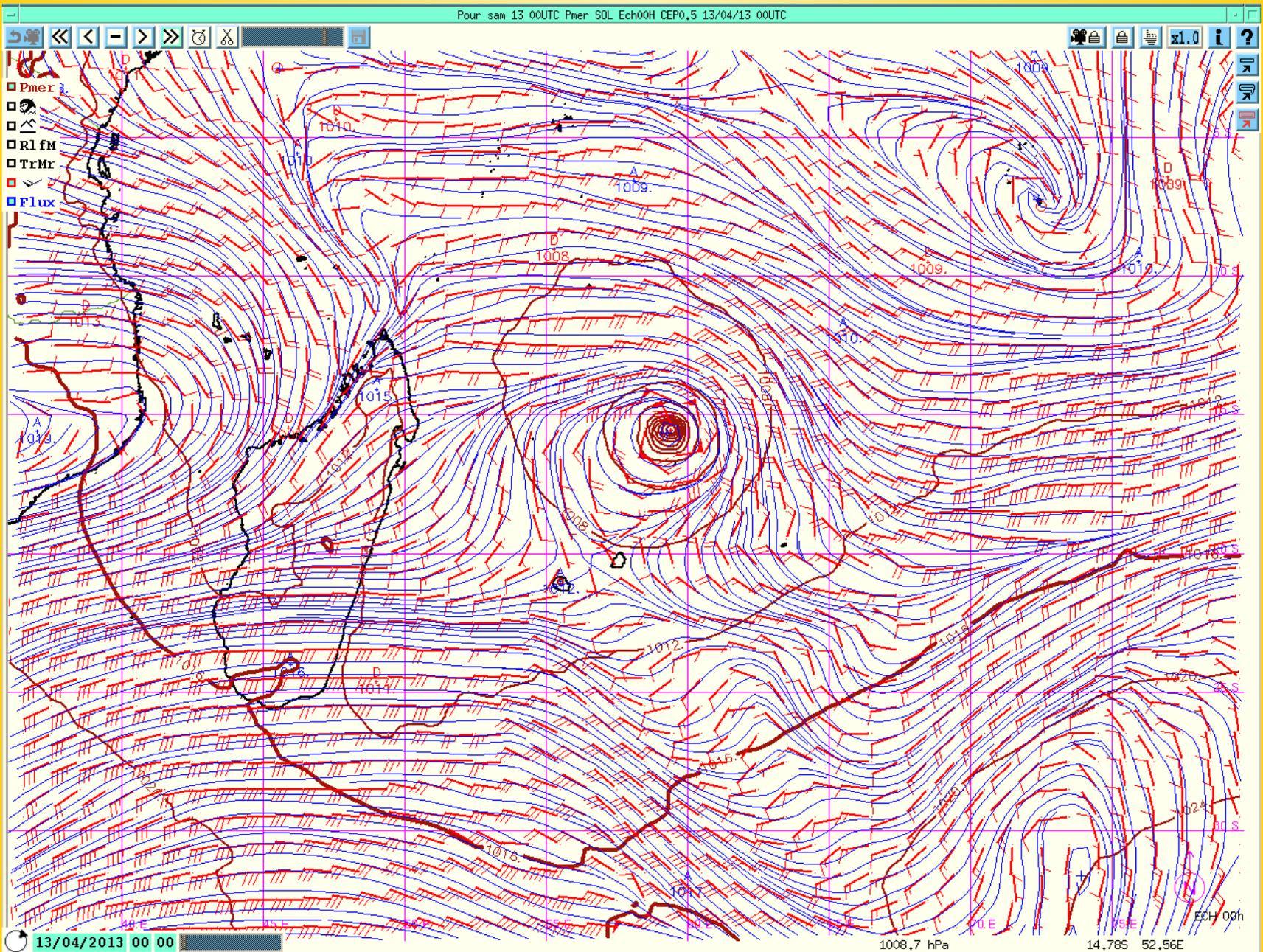


**Pmer et Flux à 500 hPa : modèle du CEP du 11/02/2013 à 00 utc + 66h**

# La prévision de trajectoires cycloniques : cas du cyclone IMELDA (trajectoire observée)

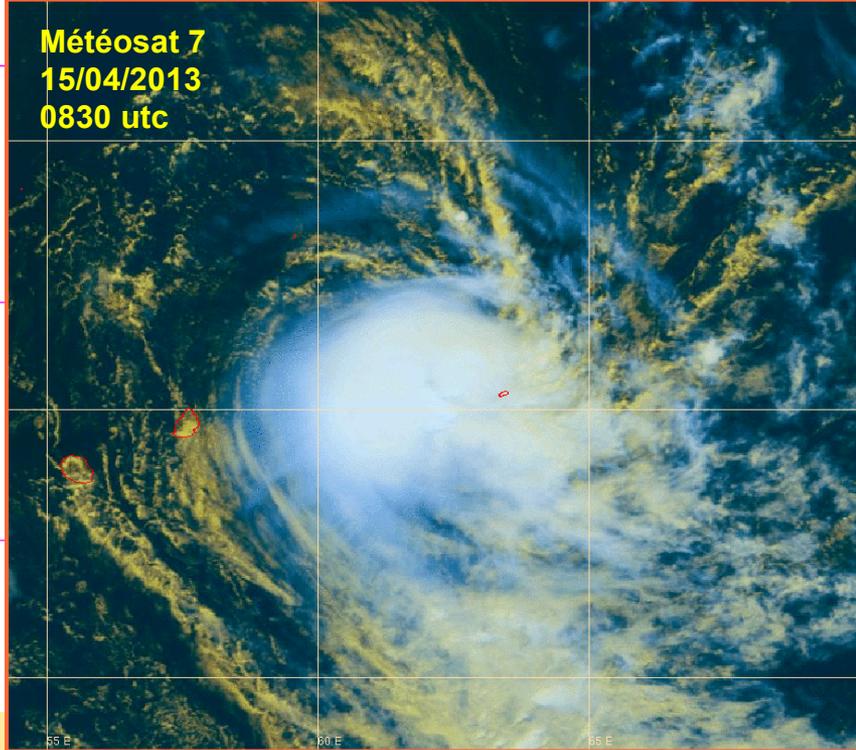
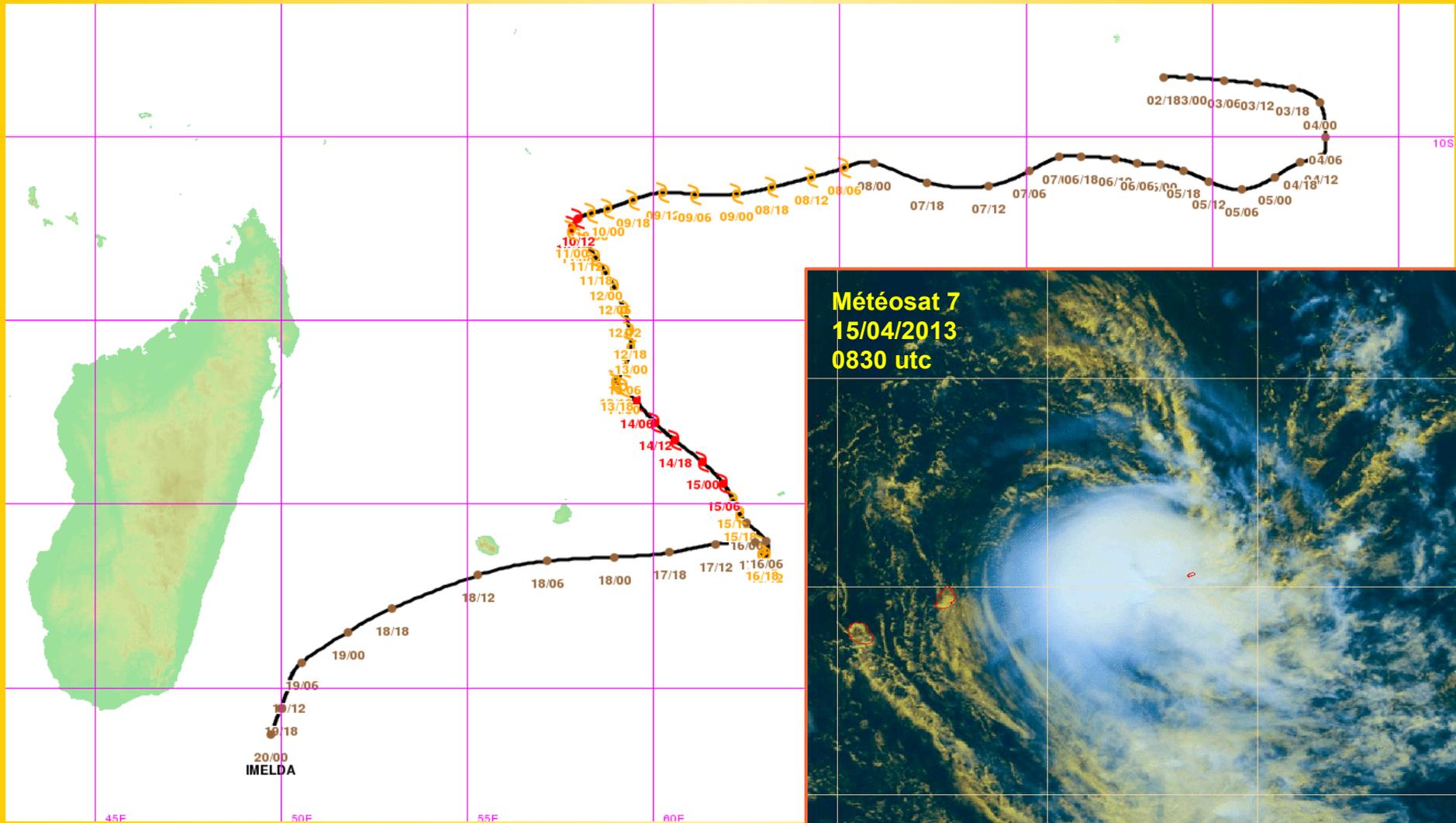


Trajectoire d'IMELDA (2 au 20 avril 2013).



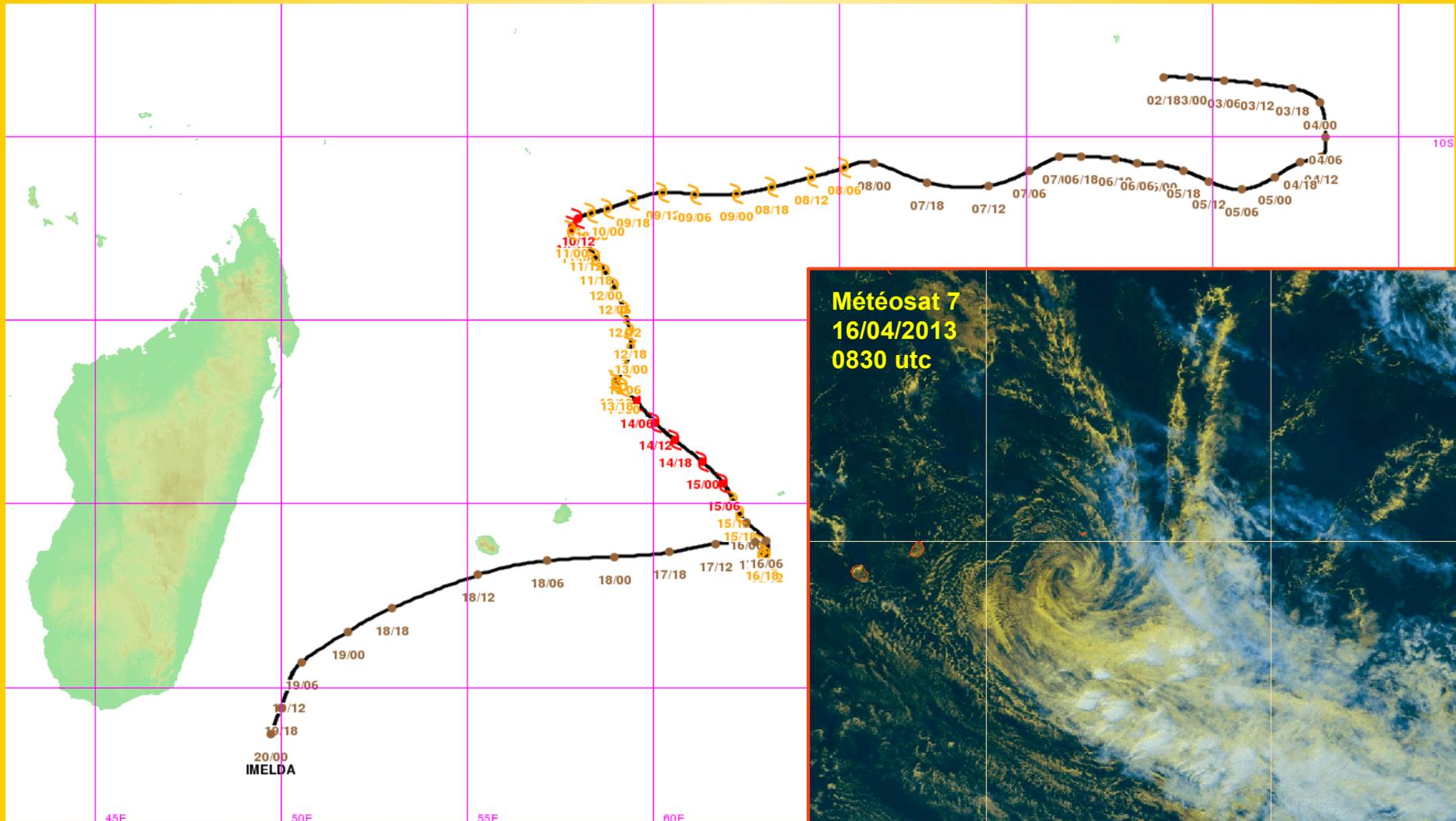
**Pmer et Flux à 500 hPa : modèle du CEP du 13/04/2013 à 00 utc (animation 120h)**

# La prévision de trajectoires cycloniques : cas du cyclone IMELDA (trajectoire observée)



Trajectoire d'IMELDA (2 au 20 avril 2013).

# La prévision de trajectoires cycloniques : cas du cyclone IMELDA (trajectoire observée)

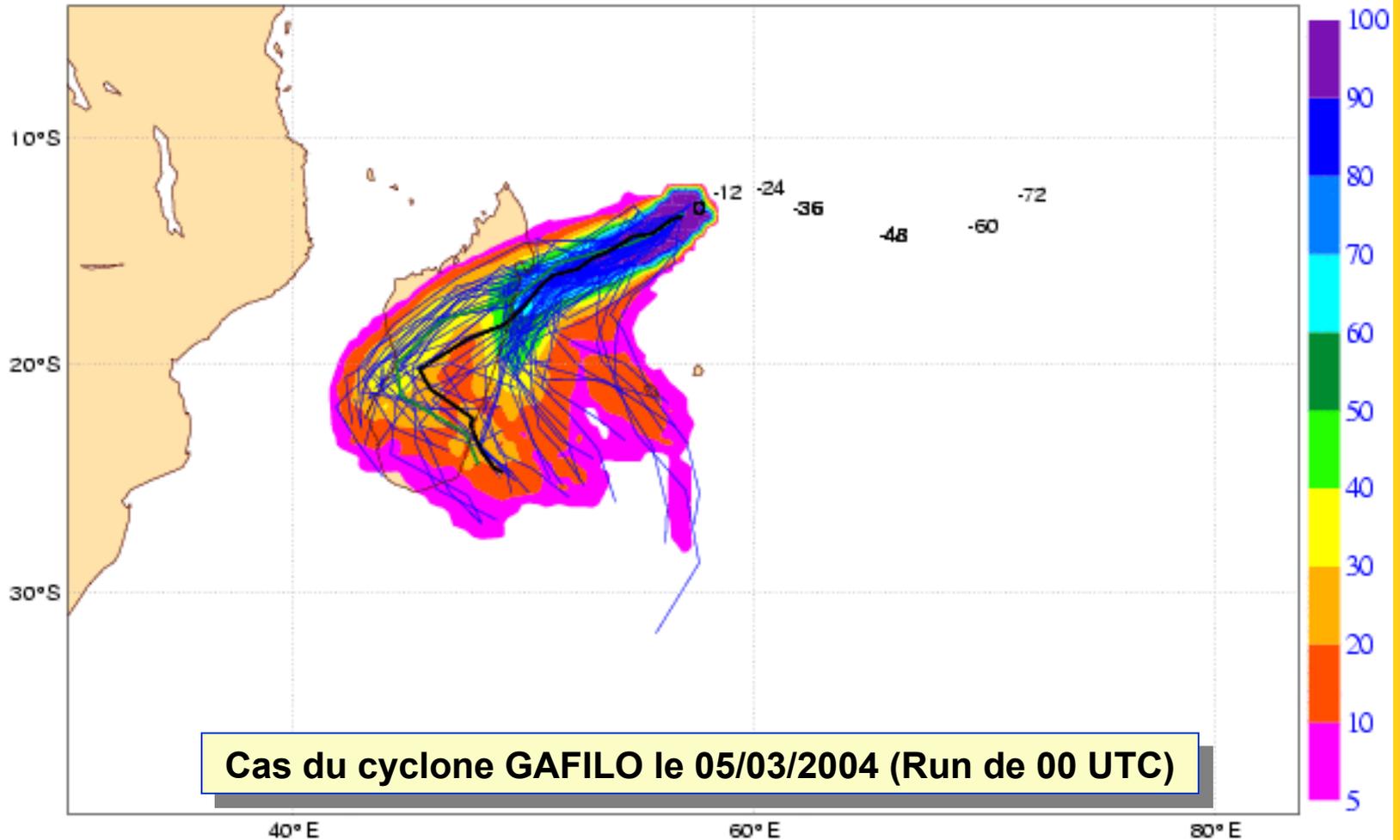


Trajectoire d'IMELDA (2 au 20 avril 2013).

# Les nouvelles techniques de prévision de trajectoires cycloniques : la prévision d'ensemble

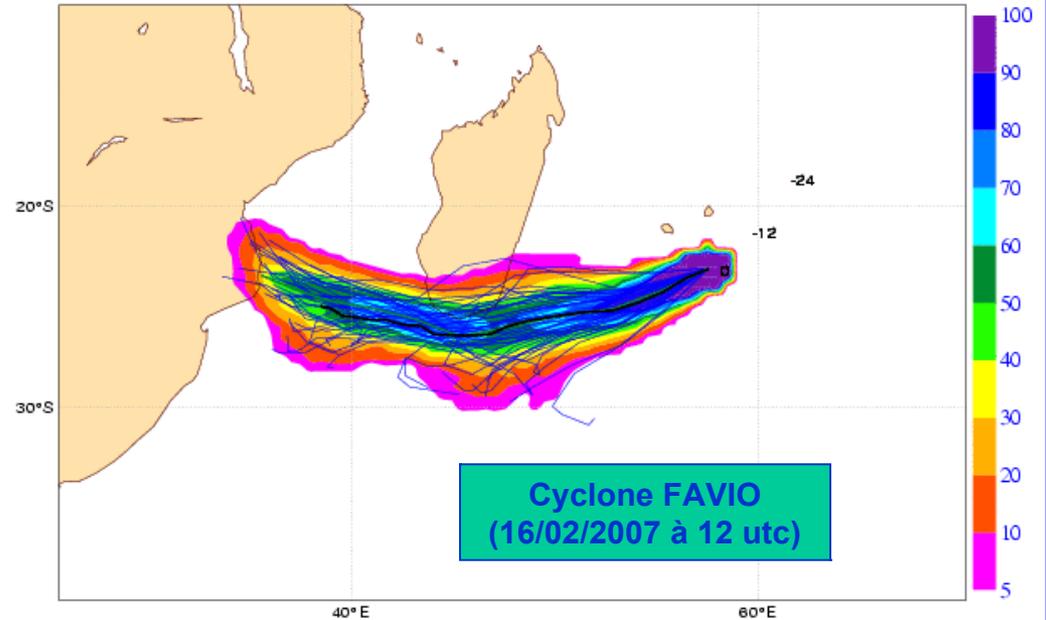
20040305 00 UTC

Probability that GAFILO will pass within 120km radius during the next 120 hours  
tracks: black=OPER, green=CTRL, blue=EPS numbers: observed positions at t+..h

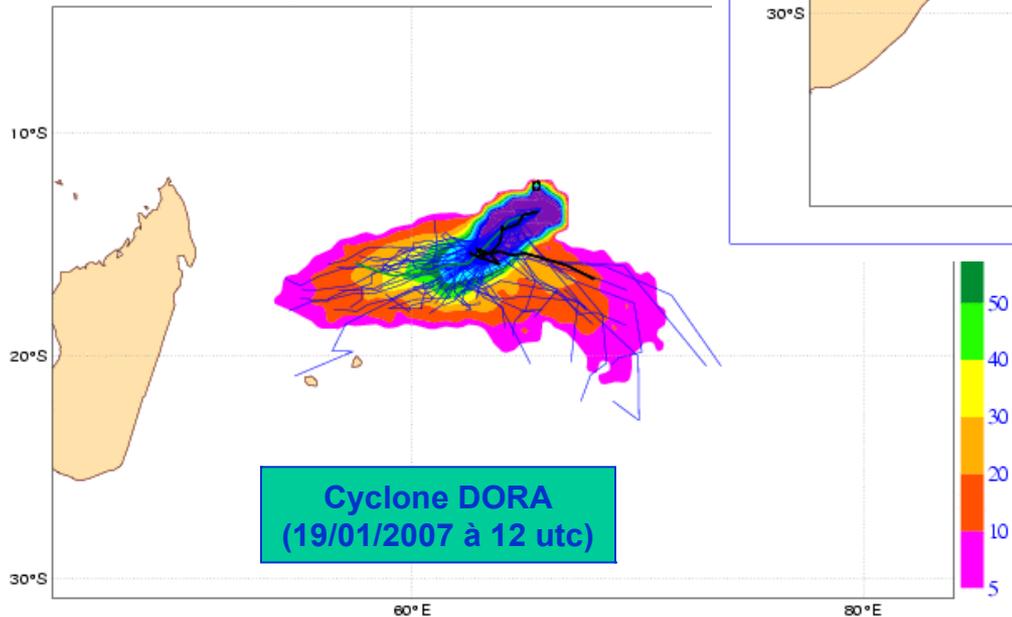


# La prévision d'ensemble : un outil pour mieux « quantifier » l'incertitude sur la prévision

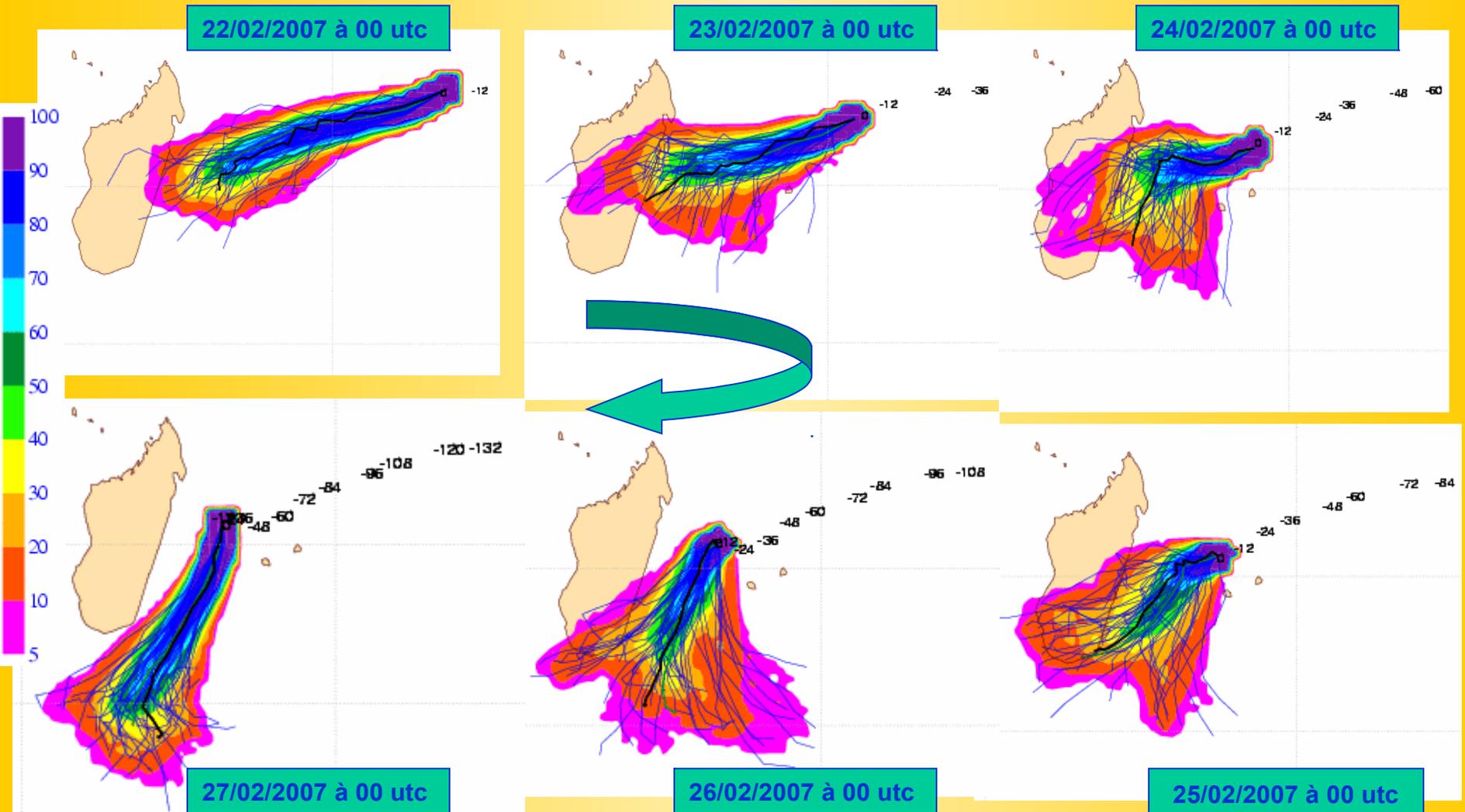
20070216 12 UTC  
Probability that FAVIO will pass within 120km radius during the next 120 hours  
tracks: black=OPER, green=CTRL, blue=EPS numbers: observed positions at t+.h



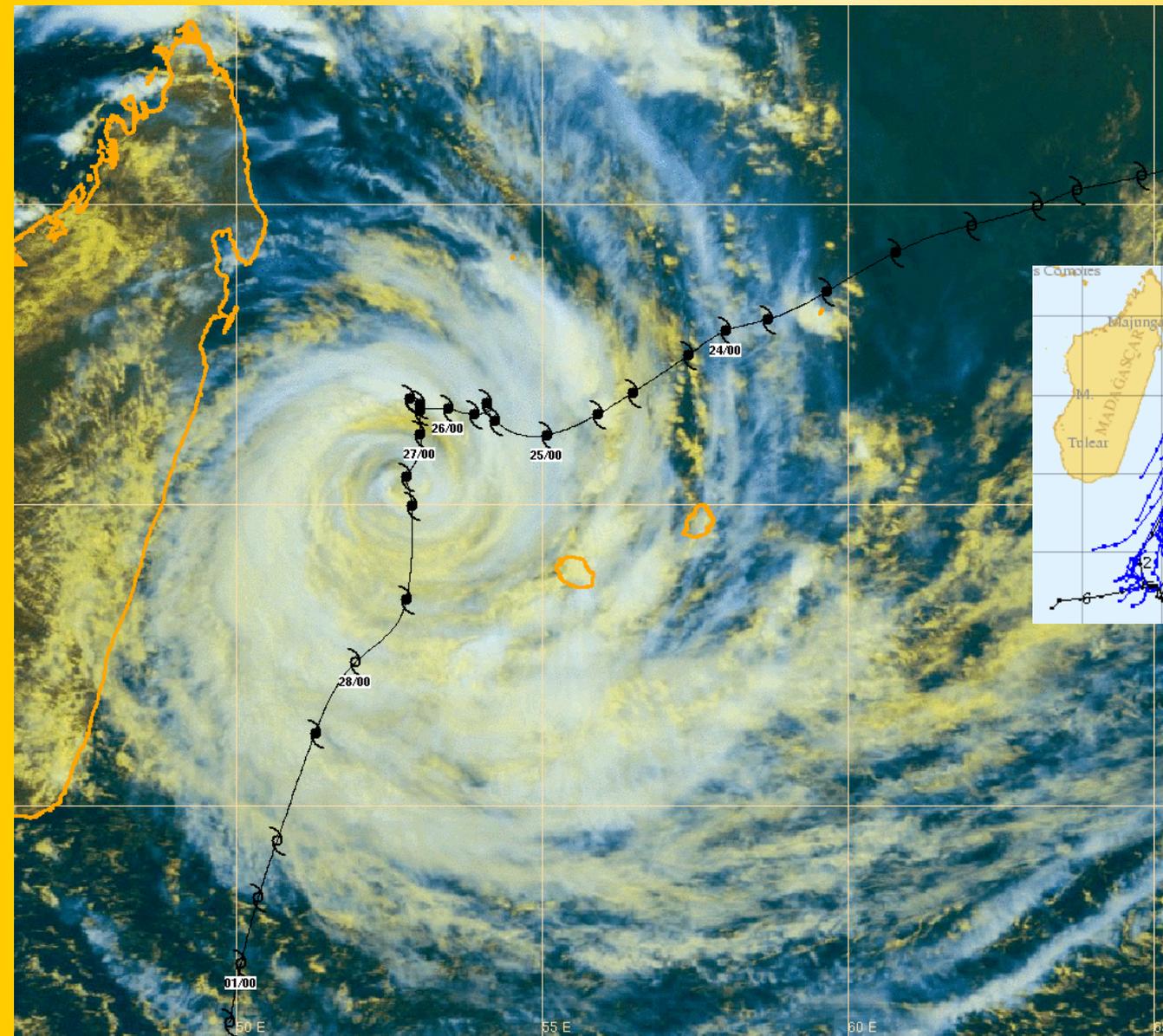
20070129 12 UTC  
Probability that DORA will pass within 120km radius during  
tracks: black=OPER, green=CTRL, blue=EPS numbers: obse



# Trajectoires de la prévision d'ensemble du CEP pour le cyclone tropical GAMEDE (du 22 au 27 février 2007)



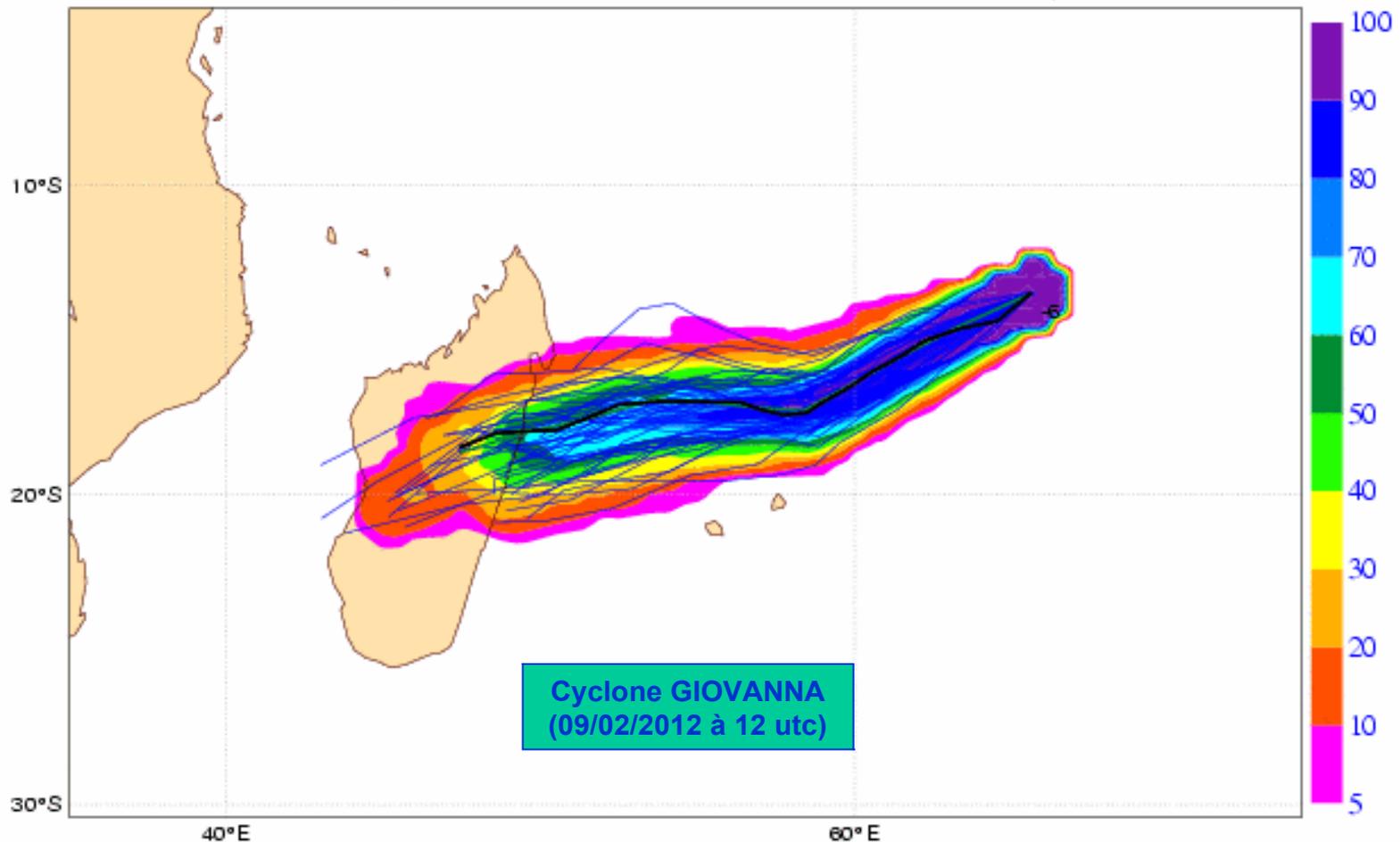
# Trajectoire du cyclone tropical GAMEDE du 24 février au 1er mars 2007



# La prévision d'ensemble : un outil pour mieux « quantifier » l'incertitude sur la prévision

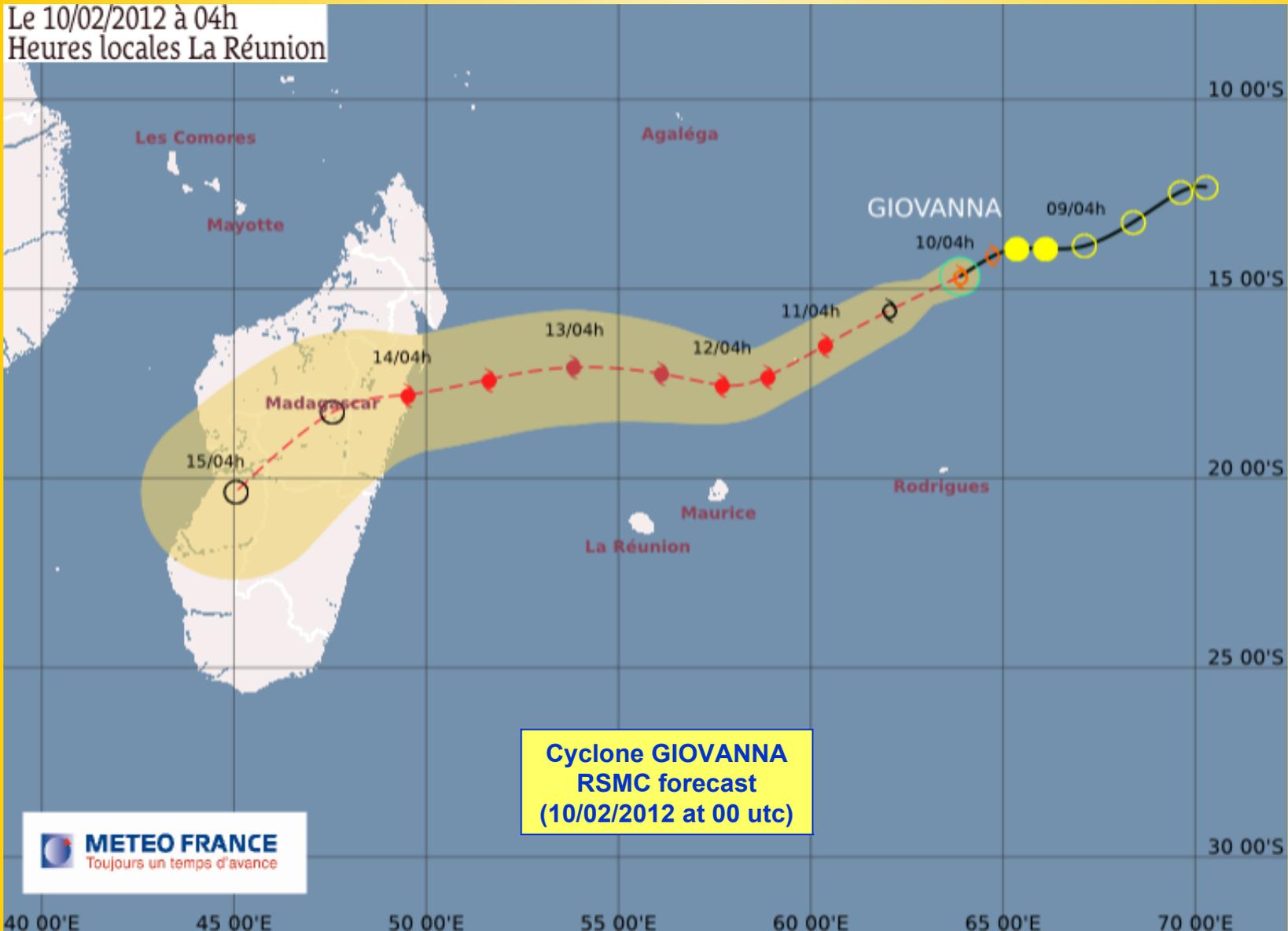
20120209 12 UTC

Probability that 09S will pass within 120km radius during the next 120 hours  
tracks: black=OPER, green=CTRL, blue=EPS numbers: observed positions at t+.h

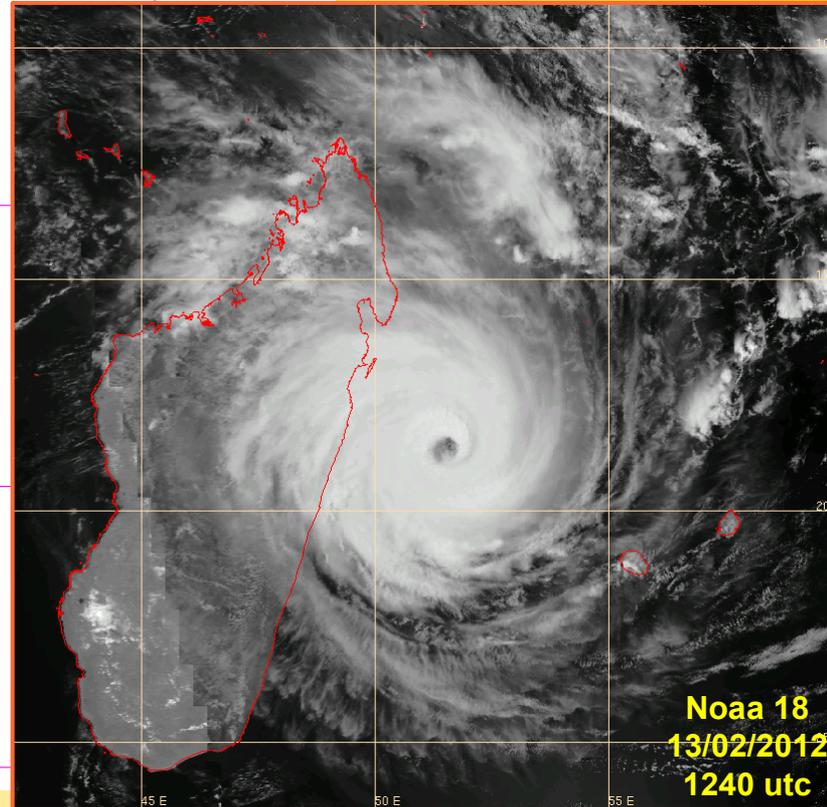
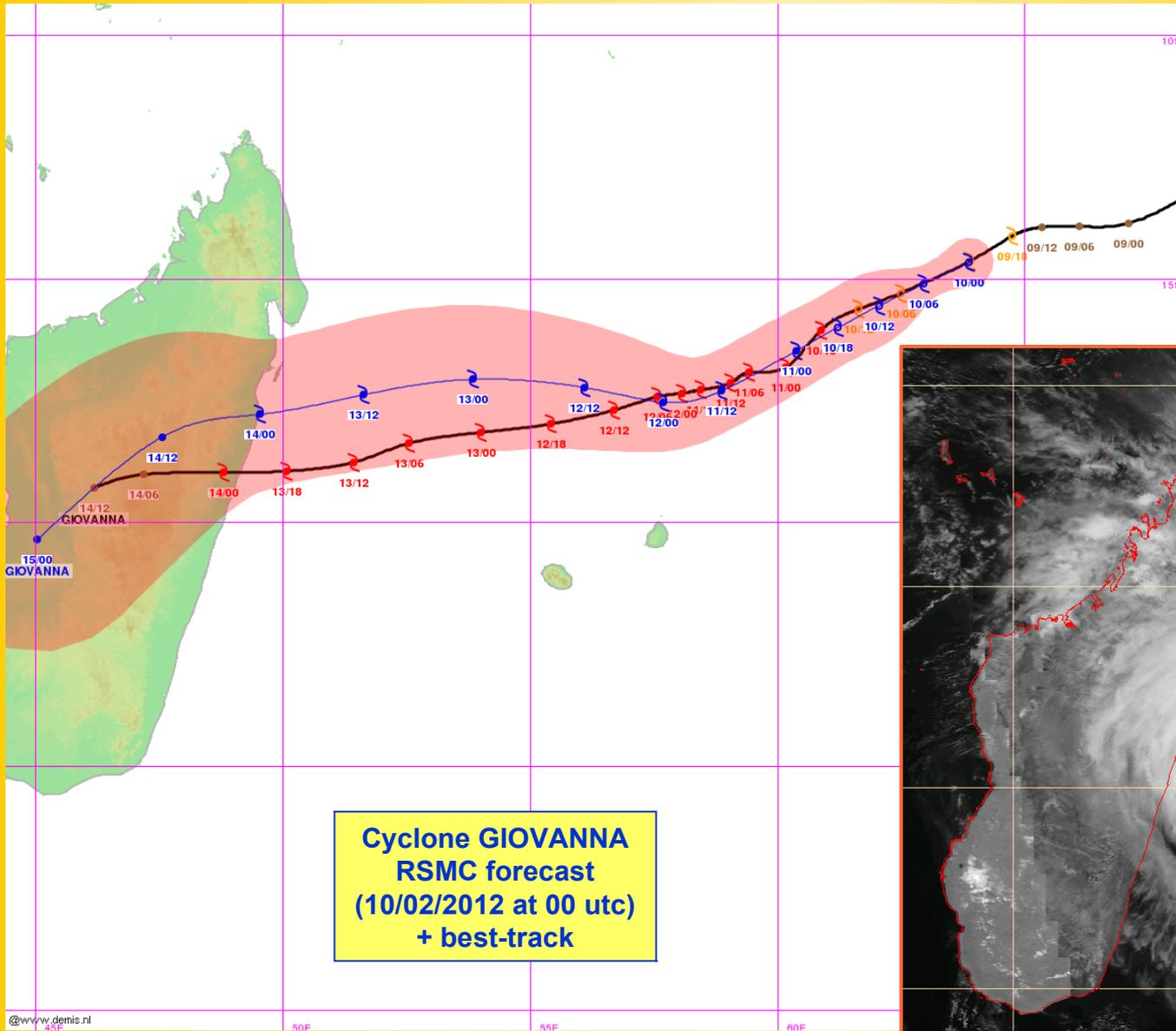


# La prévision d'ensemble : un outil pour mieux « quantifier » l'incertitude sur la prévision

Le 10/02/2012 à 04h  
Heures locales La Réunion

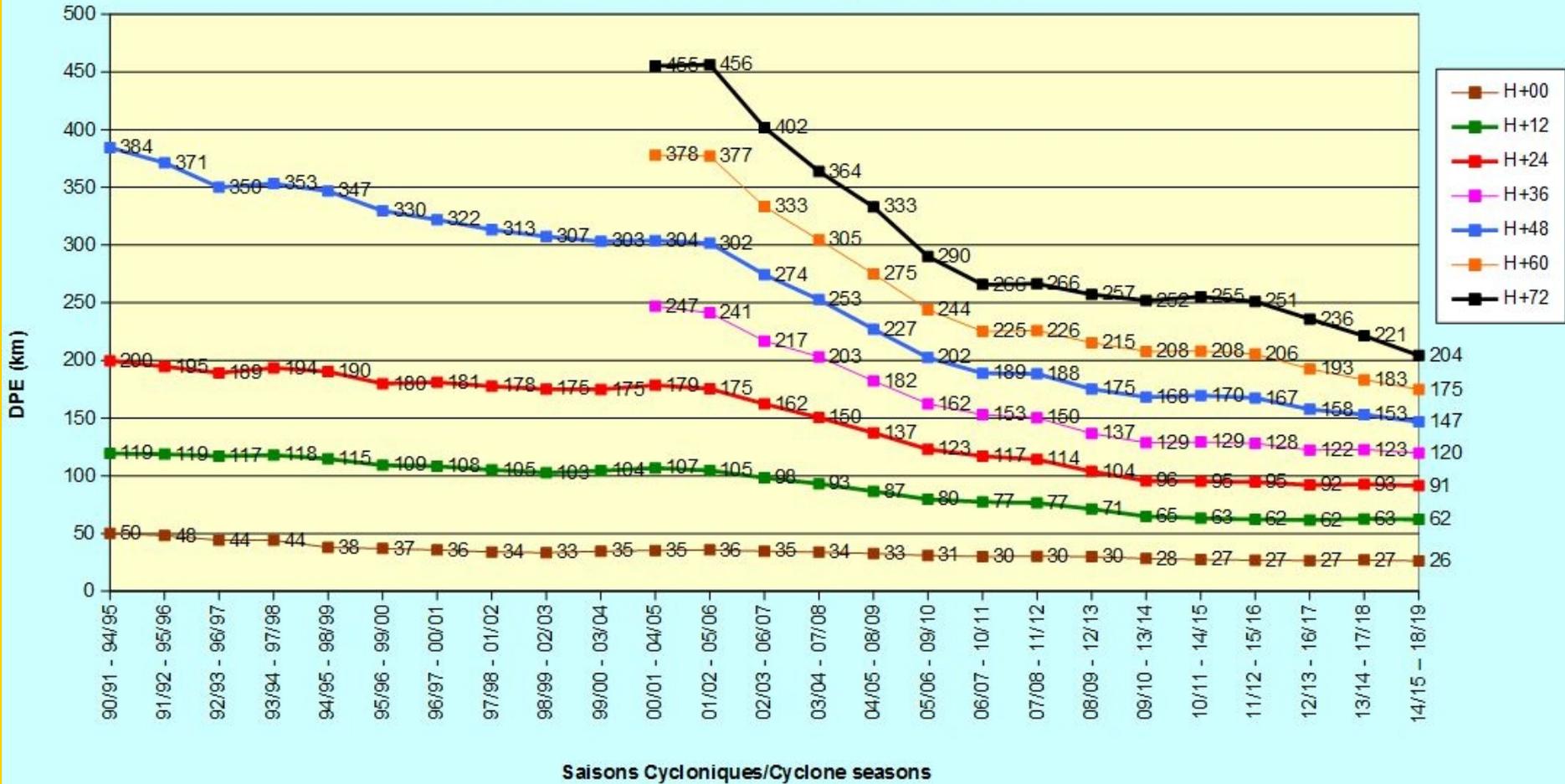


# La prévision d'ensemble : un outil pour mieux « quantifier » l'incertitude sur la prévision



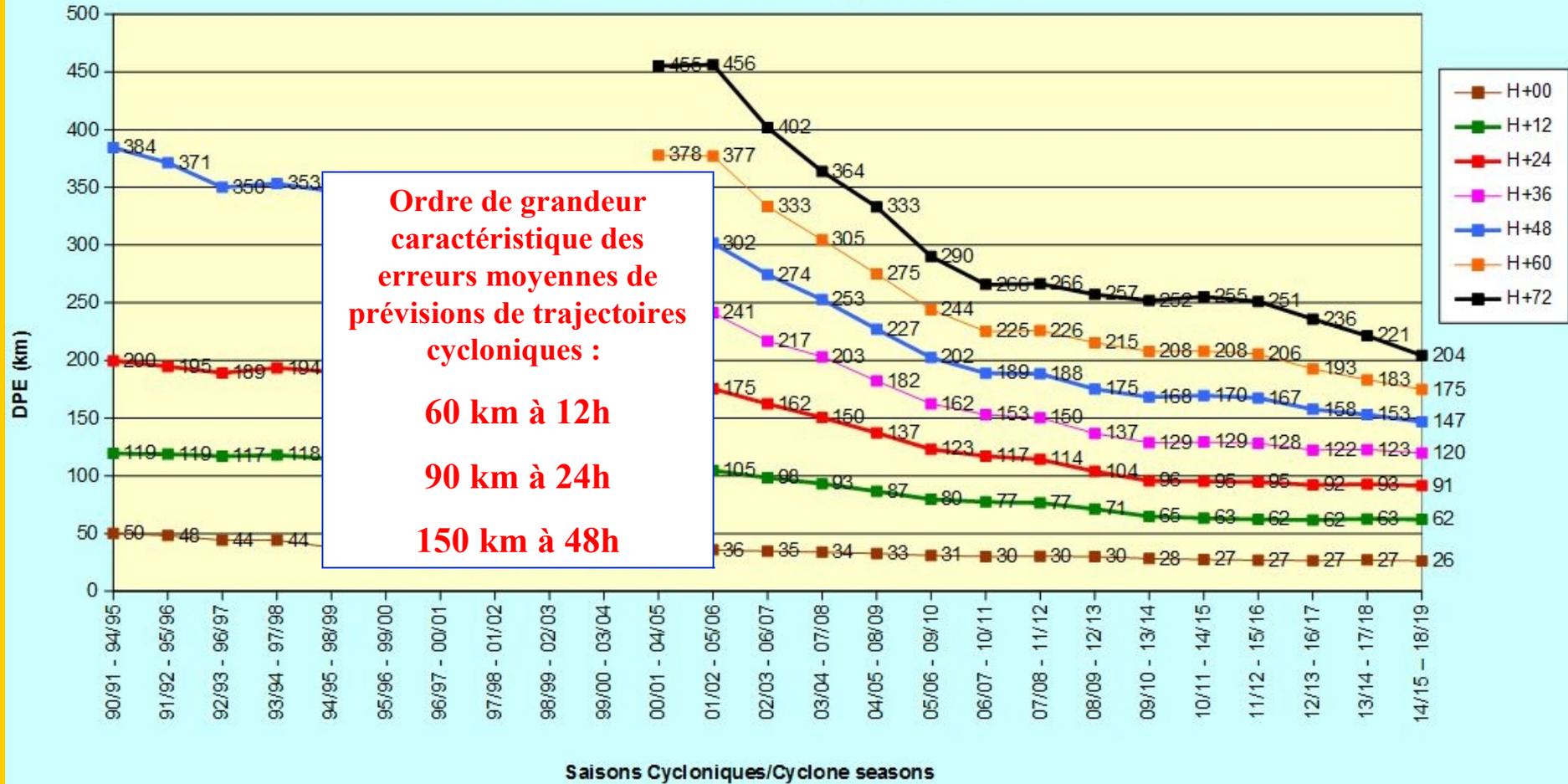
# RSMC track forecasts verification

RSMC LA REUNION : Time-evolution of Cyclone tracks forecasts errors  
5-years running means of direct position errors

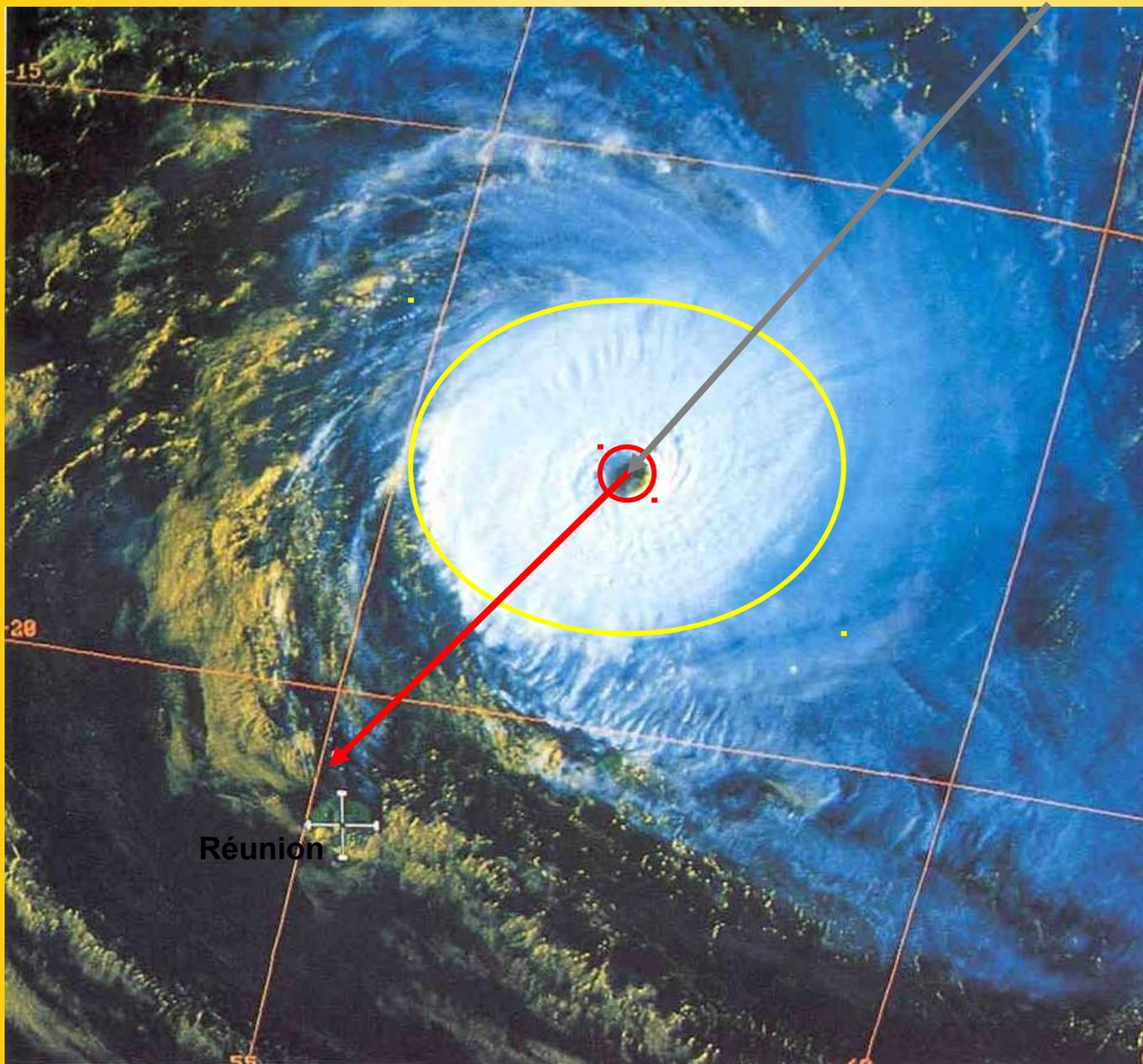


# RSMC track forecasts verification

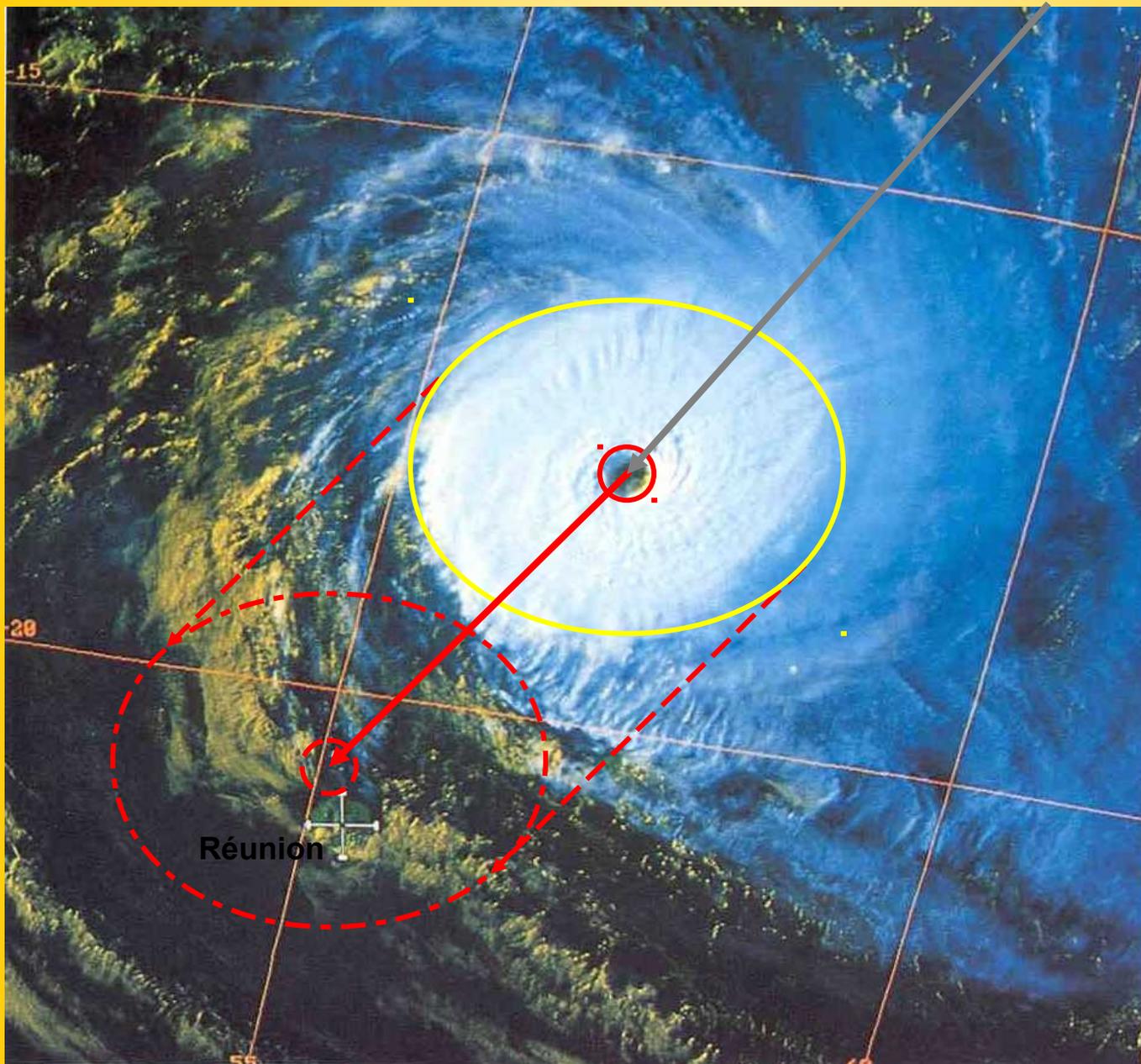
RSMC LA REUNION : Time-evolution of Cyclone tracks forecasts errors  
5-years running means of direct position errors



# Prévision cyclonique et petites îles : « le syndrome du tout ou rien »

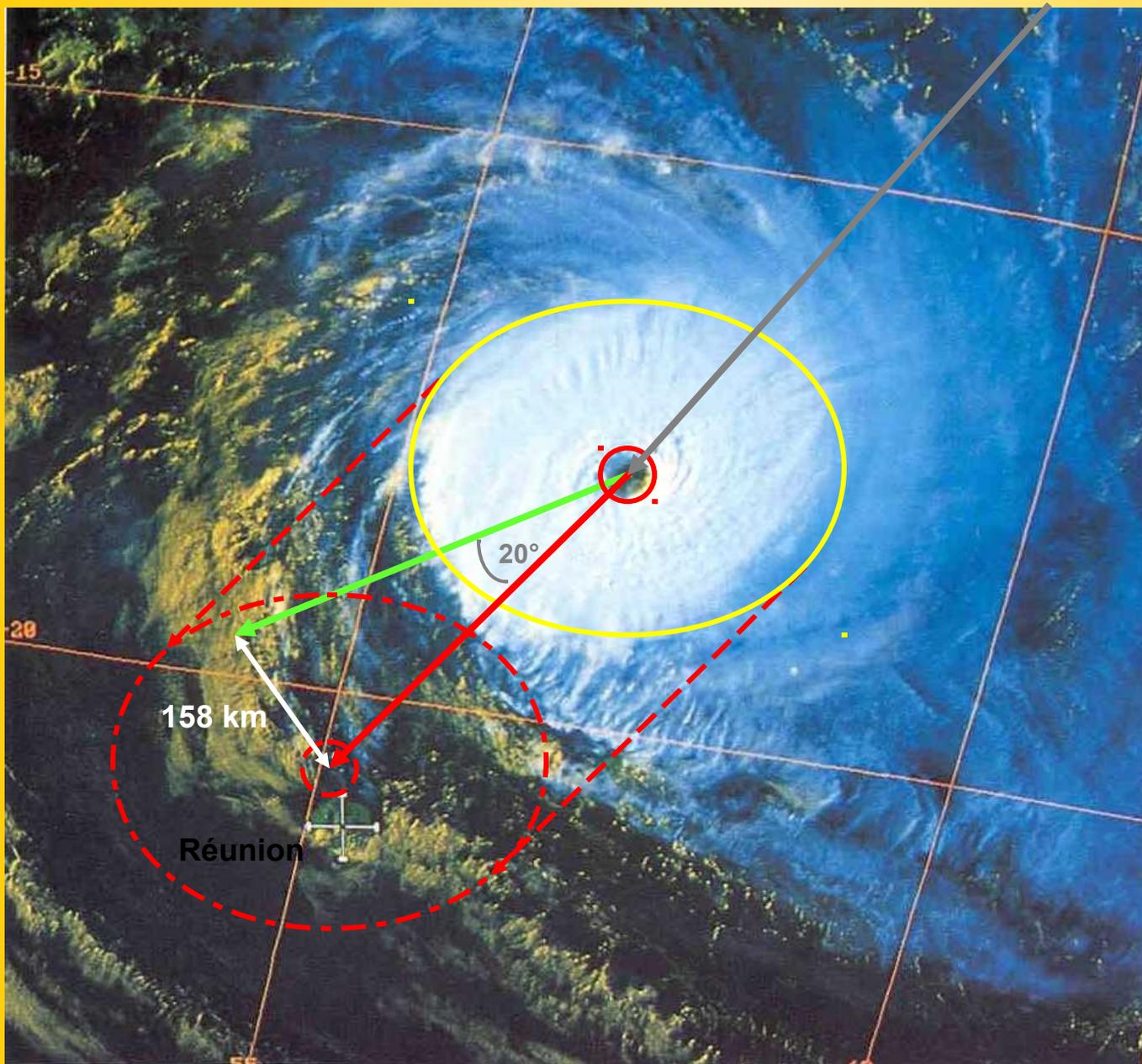


# Prévision cyclonique et petites îles : « le syndrome du tout ou rien »



**« TOUT »**  
i.e. conditions  
cycloniques  
potentiellement  
catastrophiques

# Prévision cyclonique et petites îles : « le syndrome du tout ou rien »



*A la vitesse de  
10 nœuds  
(18,5 km/h),  
une inflexion  
de trajectoire  
de 20°  
correspond,  
au bout de  
24h, à un écart  
de 158 km.*