

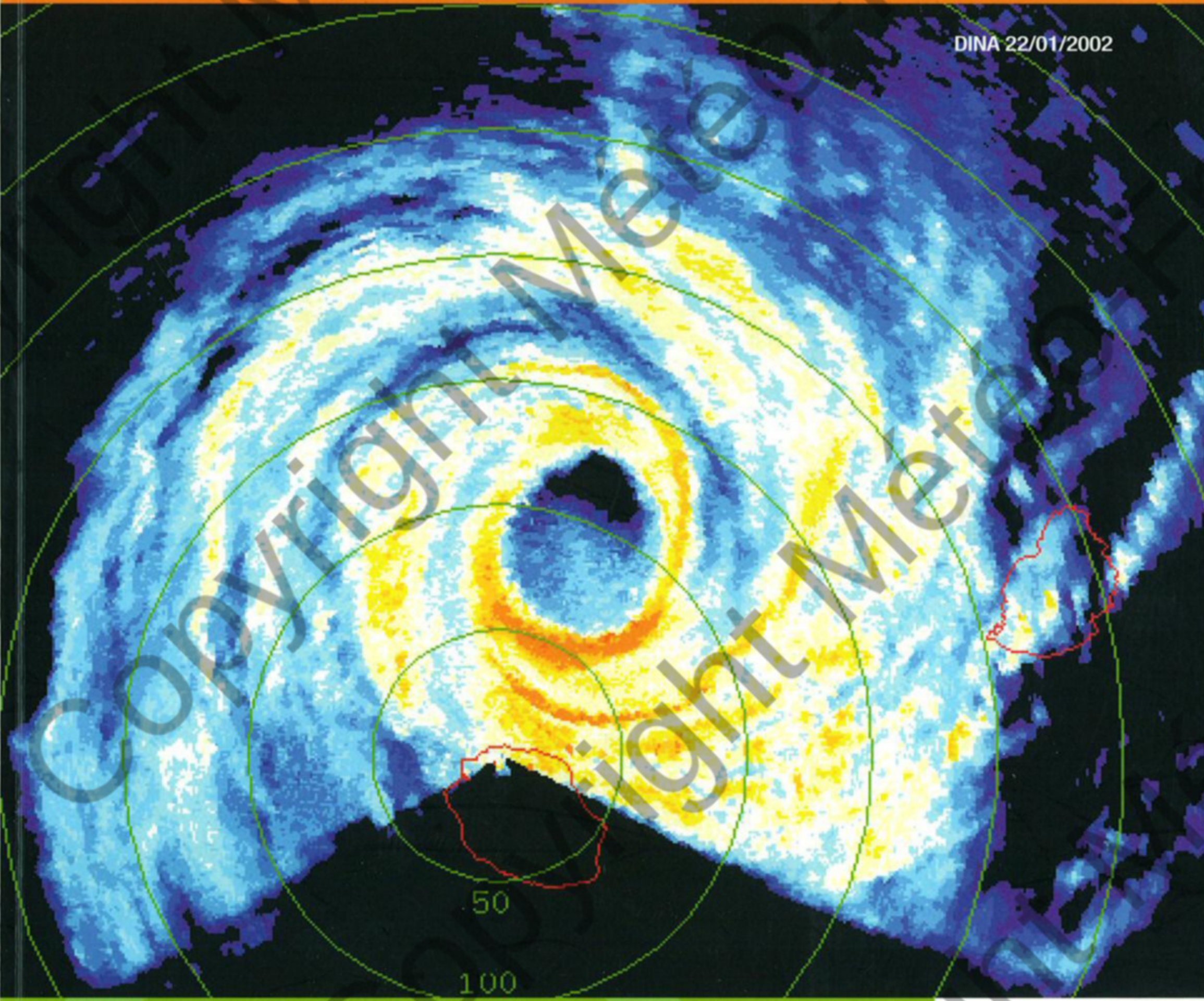
Centre des  
Cyclones Tropicaux  
de La Réunion

*La Reunion  
Tropical Cyclone  
Centre*

# SAISON CYCLONIQUE

Sud-Ouest de l'océan Indien

DINA 22/01/2002



## CYCLONE SEASON

*South-West Indian Ocean*

 METEO FRANCE

**2001**  

---

**2002**

# Saison Cyclonique 2001-2002

Sud-Ouest de l'océan Indien

*Cyclone Season*

*South-West Indian Ocean*

## Sommaire

*Contents*

Introduction.....	Page 2
<i>Introduction</i>	
Liste et intensité maximale des perturbations.....	Page 4
<i>List of tropical disturbances with their maximum intensities</i>	
Cartographie des trajectoires.....	Page 5
<i>Map of trajectories</i>	
Caractéristiques de la saison cyclonique et données statistiques.....	Page 6
<i>Main features of the cyclone season and statistical data</i>	
Note explicative sur l'analyse individuelle des perturbations.....	Page 9
<i>Explanatory note on the individual analysis of disturbances</i>	
Activité du Centre des Cyclones Tropicaux de LA RÉUNION.....	Page 10
<i>Activities of the Tropical Cyclones Centre/LA REUNION</i>	
Analyse chronologique des perturbations de la saison.....	Page 12
<i>Analysis of the disturbances of the season in chronological order</i>	
Terminologie.....	Page 94
<i>Terminology</i>	
Classification des systèmes dépressionnaires dans le Sud-Ouest de l'océan Indien.....	Page 95
<i>Classification of the tropical disturbances used in the South-West Indian Ocean</i>	

Directeur de la publication:  
Dominique LANDAIS

Rédaction et réalisation:  
Philippe CAROFF

Avec la contribution des prévisionnistes cyclone  
du CMRS de La Réunion:

Philippe ALIAGA  
Catherine BIENTZ  
Anne CHARLAT  
Anne-Claire FONTAN  
Mireille MAYOKA

# SAISON CYCLONIQUE

Sud-Ouest de l'océan Indien

---

**CYCLONE SEASON**

*South-West Indian Ocean*

**2001 - 2002**



**METEO FRANCE**

# Introduction

## Saison cyclonique 2001-2002 dans le Sud-Ouest de l'océan Indien

2001-2002 Cyclone season in the South-West Indian Ocean

**A**près une année que l'on pouvait qualifier de plutôt calme, cette saison cyclonique 2001-2002 a été d'une intense activité, se situant au deuxième rang parmi les saisons les plus actives de ces trente dernières années. L'élément le plus remarquable et le plus caractéristique de cette saison aura été l'intensité moyenne anormalement élevée atteinte par l'ensemble des différentes perturbations, avec une proportion exceptionnelle de systèmes dépressionnaires s'étant développés en cyclones tropicaux. Fort heureusement la majorité des perturbations a évolué sur l'Est du bassin du Sud-Ouest de l'océan Indien et est donc demeurée loin des terres habitées. Trois d'entre elles ont, toutefois, touché MADAGASCAR, mais sans conséquences trop dommageables, tandis que le cyclone tropical intense DINA, affectait, lui, assez sévèrement les MASCAREIGNES, devenant à ce titre le phénomène le plus mémorable de cette saison cyclonique.

Cette saison a donc été extrêmement active, ce, non pas en raison d'un nombre particulièrement important de systèmes, mais du fait de l'intensité élevée affichée en moyenne par les différents météores. Le nombre de 11 systèmes dépressionnaires ayant atteint le stade de tempête tropicale (et donc baptisés), n'excède, en effet, que peu significativement la normale (la moyenne se situant à 9), mais sur ces 11 systèmes, 9 se sont transformés en cycloniques tropicaux, soit une proportion réellement hors norme. Il faut en effet remonter à plus de trente ans en arrière pour retrouver des taux comparables, au début de l'ère satellitaire (à une période où l'imagerie satellitaire était de qualité nettement moindre et les analyses d'intensité des perturbations tropicales sujettes à caution...). À l'arrivée, cette fréquence inhabituelle de cyclones – double de la normale –, classe cette saison parmi les deux ou trois plus actives depuis 1967 (début de l'ère satellitaire), quasiment au niveau de la dernière « grande saison » en date, celle de 1993-1994, qui demeure la référence en matière de summum d'activité cyclonique sur le bassin du Sud-Ouest de l'océan Indien, que ce soit en termes de nombre de systèmes dépressionnaires ou de nombre de jours cycloniques.

Par rapport à la saison précédente 2000-2001, l'activité perturbée a plus que doublé, avec 73 jours cumulés avec présence d'un système dépressionnaire significatif – d'intensité au moins égale à la tempête tropicale modérée (contre 36 lors de la saison précédente), à comparer avec une moyenne de 53 et une médiane de 48. Mais l'écart à la normale est encore plus remarquable si l'on considère le nombre de jours cyclo-

niques (avec présence d'un cyclone tropical sur zone) ; ce nombre atteint en effet 35, contre 20 en moyenne (valeur réévaluée en tenant compte de l'ajustement d'échelle Dvorak intervenu fin 1999).

Cette intense activité cyclonique n'a pas été la conséquence d'un nombre de cyclogenèses particulièrement élevé (15 systèmes dépressionnaires ont fait l'objet de l'émission de bulletins, ce qui se situe tout à fait dans la norme), mais a résulté de la très grande facilité avec laquelle, tout au long de la saison, les systèmes dépressionnaires qui se sont formés ont ensuite pu s'intensifier. Ce trait dominant a constitué la spécificité majeure de cette saison 2001-2002. Outre le fait que 9 cyclones ont ainsi pu voir le jour, ce fort potentiel d'intensification a permis à 5 d'entre eux d'atteindre le stade de cyclone tropical intense, un étant même classé cyclone tropical très intense (HARY succédant ainsi à HUDAH, dernier cyclone en date à avoir connu ce rare privilège – en avril 2000). La dernière fois qu'un tel nombre de cyclones intenses avait été observé, c'était lors de la « fameuse » saison 1993-1994, saison référence que vient donc talonner dans la hiérarchie des saisons d'intense activité la présente saison (26 jours avec présence d'un cyclone tropical mature sur zone – avec intensité de Dvorak CI  $\geq$  5.0, contre 27 en 1993-1994).

Cette saison aura marqué une rupture par rapport aux précédentes en termes de longévité. Les quatre dernières saisons, avaient, en effet, été anormalement tardives et plutôt concentrées dans le temps, s'étendant *grosso modo* sur les trois-quatre mois de pleine saison chaude. Cette fois, le comportement a été inverse, avec une saison à la fois précoce et tardive, qui s'est étirée du coup sur six mois et demi.

Le premier système dépressionnaire, issu du Sud-Est de l'océan Indien, s'est formé fin octobre, ce qui classe cette saison parmi les saisons réellement précoces. Rappelons qu'en matière de date de début de saison, la médiane se situe au 17 novembre (50 % des débuts de saison intervenant avant cette date, 50 % après). Il faut en fait remonter à septembre 1992, pour trouver le dernier système à avoir démarré plus tôt dans la saison, avec la tempête AVIONA.

La clôture de la saison est intervenue très tardivement, le 11 mai 2002, qui correspond de fait à la date du dernier quintile, en termes de date de fin de saison (la dispersion en la matière étant nettement moindre que pour les dates de début de saison, avec notamment une médiane située au 20 avril). Mettant un point d'orgue final à une saison placée sous le signe de systèmes de forte intensité, KESINY n'a pas déparé et est resté dans la lignée des météores précédents, devenant un des rares cyclones répertoriés en

mai sur le bassin et surtout le premier depuis le début de l'ère satellitaire à toucher, à l'intensité de cyclone tropical, une terre habitée, en l'occurrence le Nord de MADAGASCAR.

Les cyclogenèses se sont régulièrement réparties sur la saison cyclonique, avec une activité toutefois plus concentrée fin janvier, comme il n'est pas illogique au cœur de la saison chaude. Outre le fait de n'avoir pas été spécialement nombreuses, mais par contre généralement peu contrariées et « efficaces », on retiendra qu'elles se sont produites prioritairement sur l'Est du bassin ou en dehors, c'est-à-dire sur le Sud-Est de l'océan Indien, 6 systèmes se formant à l'Est de 80°E, dont 4 à l'Est de 90°E, en zone de responsabilité australienne. Il est à noter qu'un seul système dépressionnaire s'est formé sur le Canal de MOZAMBIQUE, tandis que la zone à proximité des CHAGOS, zone de cyclogenèse habituellement privilégiée, est demeurée improductive. Enfin, on accordera une mention spéciale au cyclone GUILLAUME pour sa cyclogenèse originale.

GUILLAUME s'est également singularisé au niveau de sa trajectoire, réellement atypique. Pour le reste, les trajectoires ont été assez variées, mais avec, comme lors de la saison précédente, une prédominance de trajectoires méridiennes ou « pseudo-paraboliques ». Aux trajectoires plutôt zonales, comme assez classiquement observé en début ou en fin de saison, d'ANDRÉ et de KESINY, ont répondu les trajectoires « pseudo-paraboliques » de DINA et d'HARY, tandis que les systèmes présents en forte concentration sur l'Est du bassin, par suite d'un taux de cyclogenèse important dans ce secteur, présentaient quasiment tous des trajectoires à forte composante méridienne et associées à des points de rebroussement ou à des changements de trajectoire assez marqués.

La plupart des systèmes ont atteint leur pleine maturité entre 15 et 20°Sud, comme c'est souvent le cas sur le bassin, mais cela a été particulièrement spectaculaire cette saison, puisque les 7 systèmes dépressionnaires qui ont circulé dans cette gamme de latitudes y ont tous évolué au stade cyclonique et ce sur quasiment la totalité de cette tranche de latitudes.

Lors des saisons où les trajectoires méridiennes dominent nettement, le risque cyclonique est généralement atténué pour les terres habitées concentrées sur l'Ouest du bassin, et c'est a priori d'autant plus vrai que les cyclogenèses se produisent majoritairement loin à l'Est, comme cela a été le cas lors de cette saison. Cela n'a été que partiellement vérifié, car si l'AFRIQUE AUSTRALE a été effectivement exempte de toute perturbation, il se trouve que les 5 systèmes dépres-

sionnaires à s'être formés à l'ouest de 80°E sont tous venus influencer plus ou moins directement MADAGASCAR et les MASCAREIGNES.

MADAGASCAR a été, comme souvent du fait de sa taille, la plus concernée, mais n'a finalement pas eu trop à souffrir des différents météores qui l'ont touchée, du moins comparativement à certaines années. HARY, qui était alors quasiment au maximum de sa puissance, n'a fort heureusement fait que « riper » sur la pointe orientale de la Grande Ile et était qui plus est de taille réduite. Il n'a donc pas eu l'impact désastreux qu'il aurait pu avoir avec une trajectoire différente. Les MASCAREIGNES s'en sont à l'arrivée moins bien sorties, le cyclone intense DINA faisant quelques victimes à MAURICE et laissant derrière lui des dégâts considérables. Elles ont, toutefois, été en partie épargnées, échappant à un

*Following a year that could be described as relatively calm, the 2001-2002 cyclone season was very active – the second most active season over the past 30 years. The most remarkable and most characteristic feature of this season was the abnormally high average intensity attained by all the various disturbances, with an exceptionally high proportion of depression systems developing into tropical cyclones. Fortunately, the majority of disturbances originated over the east of the SouthWest Indian Ocean Basin, and thus stayed well away from populated land. However, three of them did hit MADAGASCAR, although without causing too much damage, whilst intense tropical cyclone DINA hit the MASCARENES quite severely, making it the most memorable event of this cyclone season.*

*This season was a very active one, not because of a particularly high number of systems, but as a result of the high average intensity shown by the various events. Eleven depression systems reached the tropical storm stage (and were therefore named), a number which is in fact only slightly above normal (the average being nine), but of these eleven systems, nine developed into tropical cyclones, which is a far from normal proportion. To find comparable rates we have to go back 30 years to the beginning of the satellite era (a period when the quality of satellite imagery was far inferior and analysis of the intensity of tropical disturbances was to be treated with caution). In the final analysis, this unusual frequency of cyclones (twice the normal rate) puts this season among the two or three most active since 1967 (start of the satellite era), virtually on a par with the most recent 'big' season, that of 1993-1994, which remains the point of reference for the height of cyclone activity in the SouthWest Indian Ocean Basin, both in terms of the number of depression systems and the number of cyclone days.*

*Compared with the previous 2000-2001 season, disturbed activity more than doubled, to a total of 73 days (as opposed to 36 during the previous season) with the presence of a significant system – i.e. at least at moderate tropical storm stage – compared to a mean of 54 and a median of 48. But the departure from the norm is even more marked if we consider the number of cyclone days (days on which a tropical cyclone was present in the area); this figure reached 35, compared with a mean of 20 (reassessed figure to reflect the adjustment of the Dvorak scale at the end of 1999). This intense cyclone activity was not the result of a particularly high occurrence of cyclogenesis (15 systems required the issuance of advisories, which is not at all out of the ordinary), but resulted from the tremendous ease, throughout the season, with which depressions that had formed were subsequently able to intensify. This dominant characteristic was the main specificity of the 2001-2002 season. In addition to the fact that nine cyclones were able to develop, this high potential for intensification allowed five of them to reach the stage of intense tropical cyclone, one of them even being classified as a very intense tropical cyclone (HARY thus succeeding to HUDAH the most recent cyclone to*

impact direct du météore. Et globalement, on peut tout de même estimer que cette saison cyclonique n'a pas eu les conséquences catastrophiques qu'elle aurait pu avoir, eu égard au potentiel de destruction représenté par un tel nombre de cyclones et de phénomènes particulièrement intenses. Si l'on se réfère à nouveau à la saison 1993-1994, comparable de ce point de vue, on se souvient encore à quel point cette année avait été terrible pour les populations de la côte Est de MADAGASCAR, avec les cyclones GERALDA, LITANNE, DAISY, NADIA. Cette année-là avait également vu un fort taux de cyclogenèse sur l'Est du bassin, mais les trajectoires avaient présenté une forte zonalité. Plus que la localisation des cyclogenèses et leur éloignement des terres habitées, c'est donc plutôt l'aspect trajectoires qui est l'élément primordial.

*have known this rare privilege – in April 2000). The last time that such a large number of intense cyclones was recorded was during the 'infamous' 1993-1994 season, the season of reference that is followed closely by this season in the hierarchy of seasons with intense activity (26 days of presence of a mature tropical cyclone – with a Dvorak intensity of  $CI \geq 5.0$ , as opposed to 27 in 1993-1994).*

*In terms of longevity, this season marks a split from those preceding it. The previous four seasons were in fact unusually late and fairly concentrated in terms of duration, lasting more or less the three to four months of the plain warm season. This time the pattern was reversed, with a season that was both early and late, stretching out over six and a half months.*

*The first system, which originated in the SouthEast Indian Ocean, developed at the end of October, making this year one of the particularly early seasons. As a reminder, in terms of the starting dates of the cyclone season, the median stands 17th November (50% of seasons starting before this date, 50% after). We have to go back in fact as far as 1992 to find the last system having started earlier in the season, with the storm AVIONA.*

*The end of the season came very late, on 11th May 2002, which corresponds to the date of the last quintile, in terms of the end date for the season (season end dates being considerably less dispersed than start dates, with the median being set 20 April). As the final fanfare to a season characterised by very intense systems, KESINY did not deviate from the pattern of previous events, becoming one of the few recorded cyclones over the basin in May and more importantly the first since the advent of the satellite era to hit, at tropical cyclone intensity, populated land, namely the North of MADAGASCAR.*

*Cyclogenesis was spread rather evenly throughout the cyclone season, although activity was more concentrated at the end of January, as is to be expected in the height of the warm season. In addition to the fact that cyclogenesis were not especially frequent but generally "efficient", we note that the genesis spots mostly focused on the east of the basin or even farther east, that is to say over the SouthEast Indian Ocean, six systems forming east of 80°E, of which 4 were east of 90°E, in the Australian area of responsibility. It should be noted that only one depression system formed over the MOZAMBIQUE Channel, and the area close to the CHAGOS archipelago, normally a favoured zone for cyclogenesis, remained unproductive. Finally, we will make particular reference to cyclone GUILLAUME, due to its original cyclogenesis.*

*GUILLAUME also stands out for its very unusual track. For the others the tracks were fairly varied, although there was, as during the previous season, a predominance of meridian-like or 'pseudo-parabolic' tracks (like those of DINA and HARY). The zonal trajectories of ANDRE and KESINY, fairly typical for the beginning or end of the season, were the minority, whilst almost all the tracks of all the systems densely concentrated over the eastern part of the basin (as a result of a maximum*

En l'occurrence, la tendance méridienne dominante de cette saison 2001-2002, a bien eu un effet modérateur évident comparativement à 1993-1994.

Ce rapport annuel, qui s'efforce de concilier éclairage technique et accessibilité au plus grand nombre, présente, comme à l'accoutumée, textes et illustrations documentant la vie des différentes perturbations de cette saison 2001-2002. Gageons que le lecteur, qu'il soit fidèle ou occasionnel, trouvera matière à satisfaire sa passion ou sa curiosité, au gré des différentes pages et des commentaires, graphes, tableaux et images qui les agrémentent.

Bonne lecture !

*genesis rate in this sector), showed a strong meridian-like bias exhibiting also frequent sharp changes of tracks or cuspidal points.*

*Most systems attained their full maturity between 15 and 20°S, as is often the case over the basin, but this was particularly spectacular this season, as the seven systems which tracked in this range of latitudes all evolved at the cyclone stage there and almost on this entire span of latitudes.*

*In seasons when meridian-like trajectories largely dominate, the cyclone risk is generally abated for the populated land concentrated in the west of the basin, and this should be all the more true when the majority of cyclones emerge far to the East, as was the case this season. This assumption only partially verified this year, since whilst Southern AFRICA was indeed spared from any disturbance, the five systems that formed west of 80°E all came to influence (with varying degrees of directness) MADAGASCAR and the MASCARENES. MADAGASCAR bore with greatest concern, as is often the case because of its size. However, compared to some years at least, it did not in fact suffer too much from the various events that affected it. HARY, which was then almost at its maximum strength, very fortunately only 'scraped' the eastern tip of the 'big island' and was moreover of small size. It therefore did not have the disastrous impact that it could have done with a different track. The MASCARENES fared less well, intense cyclone DINA claiming some victims in MAURITIUS and leaving behind considerable damage both in MAURITIUS and LA REUNION which were, nonetheless, spared to a degree, in that they escaped a direct hit. On the whole, we can nonetheless consider that this cyclone season did not have the disastrous consequences that it might have done, in view of the destructive potential of such a high number of cyclones and of particularly intense events. If we once again refer back to the 1993-1994 season, which was comparable in this respect, we remember still how terrible that year was for the populations of the east coast of MADAGASCAR, with cyclones GERALDA, LITANNE, DAISY, and NADIA. That year had also been seen a high rate of cyclogenesis over the east of the basin, but the trajectories were very much zonal.*

*More than the localisation of cyclogenesis and their remoteness from inhabited land, the key element is the question of the tracks and their direction. The dominant meridian-like tendency of this 2001-2002 season did have a clear mitigating effect in comparison to 1993-1994.*

*This annual report which aims at providing technical information while remaining accessible to a great number of people, presents, as usual, texts and pictures illustrating the lifecycle of the various disturbances of the season. Let's hope the reader, whether regular or occasional, will find enough matter to feed his passion or curiosity, while drifting along the various pages and comments, graphs, tables and pictures which make up this report.*








Enjoy your reading!

# Perturbations

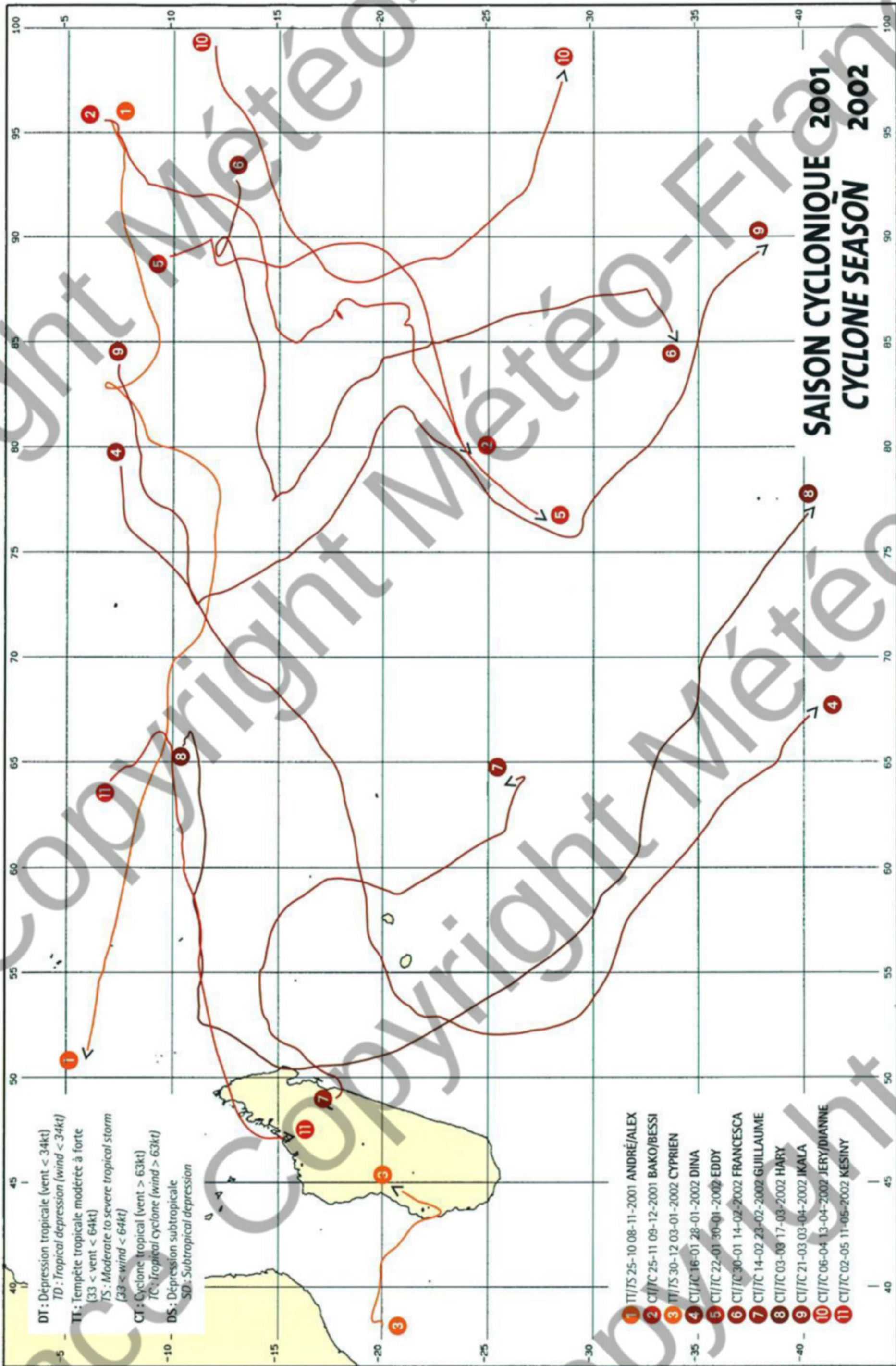
analysées dans l'ordre chronologique

Analysed disturbances in chronological order

-  **01. ANDRÉ/ALEX:**  
Forte tempête tropicale  
(25 octobre au 8 novembre 2001)
-  **02. BAKO/BESSI:**  
Cyclone tropical  
(25 novembre au 9 décembre 2001)
-  **03. CYPRIEN:**  
Forte tempête tropicale  
(30 décembre 2001 au 3 janvier 2002)
-  **04. DINA:**  
Cyclone tropical intense  
(16 au 28 janvier 2002)
-  **05. EDDY:**  
Cyclone tropical  
(22 au 30 janvier 2002)
-  **06. FRANCESCA:**  
Cyclone tropical intense  
(30 janvier au 14 février 2002)
-  **07. GUILLAUME:**  
Cyclone tropical intense  
(14 au 23 février 2002)
-  **08. HARY:**  
Cyclone tropical très intense  
(3 au 17 mars 2002)
-  **09. IKALA:**  
Cyclone tropical intense  
(21 mars au 3 avril 2002)
-  **10. JERY/DIANNE:**  
Cyclone tropical  
(6 au 13 avril 2002)
-  **11. KESINY:**  
Cyclone tropical  
(2 au 11 mai 2002)

-  **01. ANDRE/ALEX:**  
Severe tropical storm  
(25 October - 8 November 2001)
-  **02. BAKO/BESSI:**  
Tropical cyclone  
(25 November - 9 December 2001)
-  **03. CYPRIEN:**  
Severe tropical storm  
(30 December 2001 - 3 January 2002)
-  **04. DINA:**  
Intense tropical cyclone  
(16 - 28 January 2002)
-  **05. EDDY:**  
Tropical cyclone  
(22 - 30 January 2002)
-  **06. FRANCESCA:**  
Intense tropical cyclone  
(30 January - 14 February 2002)
-  **07. GUILLAUME:**  
Intense tropical cyclone  
(14 - 23 February 2002)
-  **08. HARY:**  
Very intense tropical cyclone  
(3 - 17 March 2002)
-  **09. IKALA:**  
Intense tropical cyclone  
(21 March - 3 April 2002)
-  **10. JERY/DIANNE:**  
Tropical cyclone  
(6 - 13 April 2002)
-  **11. KESINY:**  
Tropical cyclone  
(2 - 11 May 2002)

NUMÉRO D'ORDRE <i>Number</i>	SYSTÈME <i>System</i>	TYPE <i>Type</i>	VENT MAXIMAL MOYEN SUR 10 MN (nœuds) et date <i>Max 10-min average wind (knots) and date</i>	PRESSIION MER MINIMALE (hPa) <i>Minimum sea-level pressure (hPa)</i>
1	ANDRÉ/ALEX	TT/TS	50 (28/10/2001)	985
2	BAKO/BESSI	CT/TC	65 (02/12/2001)	968
3	CYPRIEN	TT/TS	55 (01/01/2002)	980
4	DINA	CT/TC	115 (20/01/2002)	910
5	EDDY	CT/TC	70 (26/01/2002)	965
6	FRANCESCA	CT/TC	105 (04/02/2002)	925
7	GUILLAUME	CT/TC	110 (18/02/2002)	920
8	HARY	CT/TC	120 (10/03/2002)	905
9	IKALA	CT/TC	90 (27/03/2002)	945
10	JERY/DIANNE	CT/TC	80 (09/04/2002)	955
11	KESINY	CT/TC	70 (09/05/2002)	965



# Caractéristiques

de la saison 2001-2002 dans le Sud-Ouest de l'océan Indien

Statistical data relative to the 2001-2002 season in the South-West Indian Ocean

## 1. DISTRIBUTION DE L'ACTIVITÉ CYCLONIQUE (CI $\geq 2.5$ ) (DISTRIBUTION OF CYCLONE ACTIVITY)

TYPE	NOM NAME	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	DURÉE LIFETIME (CI $\geq 2,5$ )
TT	ANDRÉ/ALEX			■										5
CT	BAKO/BESSI				■									10
TT	CYPRIEN					■								4
CT	DINA						■							9
CT	EDDY							■						6
CT	FRANCESCA								■					13
CT	GUILLAUME									■				8
CT	HARY										■			9
CT	IKALA											■		8
CT	JERY/DIANNE												■	6
CT	KESINY												■	8
MOYENNE (AVERAGE LIFETIME) =														8

## 2. ACTIVITÉ CYCLONIQUE (CYCLONE ACTIVITY)

CI (intensité)/(intensity)	$\geq 2.0^*$	$\geq 2.5$	$\geq 3.0$	$\geq 5.0$	$\geq 6.0$	$\geq 7.0$
<b>NOMBRE DE PERTURBATIONS (Number of disturbances)</b>		11	11 (9)	6 (4)	4	1
<b>NOMBRE DE JOURS D'ACTIVITÉ CYCLONIQUE (calendaires) (Number of days with cyclone activity)</b>	90 (68)	76	66 (42)	26 (13)	12	1
<b>NOMBRE DE JOURS D'ACTIVITÉ CYCLONIQUE (cumulés pour l'ensemble des perturbations) (Total number for all the disturbances)</b>	93 (75)	79	67 (48)	26 (13)	12	1

\* Données relatives aux seules perturbations analysées

NOTA: • CI = Intensité sur l'échelle de DVORAK (page 95) (Intensity on DVORAK scale)

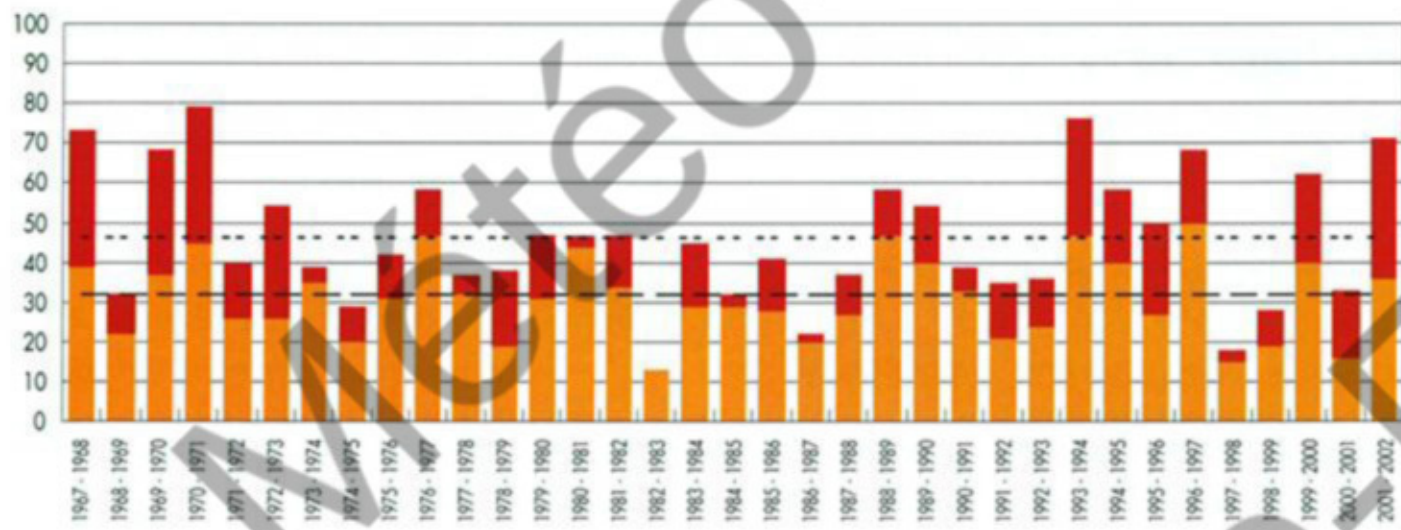
- CI = 2.5: dépression tropicale (tropical depression)
- CI = 3.0 à 4.0: tempête tropicale (tropical storm)
- CI = 4.5 à 5.0: cyclone tropical (tropical cyclone)
- CI = 5.5 à 6.5: cyclone tropical intense (intense tropical cyclone)
- CI = 7.0 et plus: cyclone tropical très intense (very intense tropical cyclone)

Entre parenthèses, dans le tableau, figure la médiane, calculée sur la période 1967-1968 à 1996-1997. La médiane peut se définir comme la valeur correspondant à une saison normale. Il y a, en effet, autant de saisons où cette valeur est dépassée que de saisons où elle n'est pas atteinte.

Medians for the period 1967-1968 to 1996-1997 are indicated in brackets in the table. The median can be defined as the value corresponding to a standard season, for there are as many seasons above the median as below.

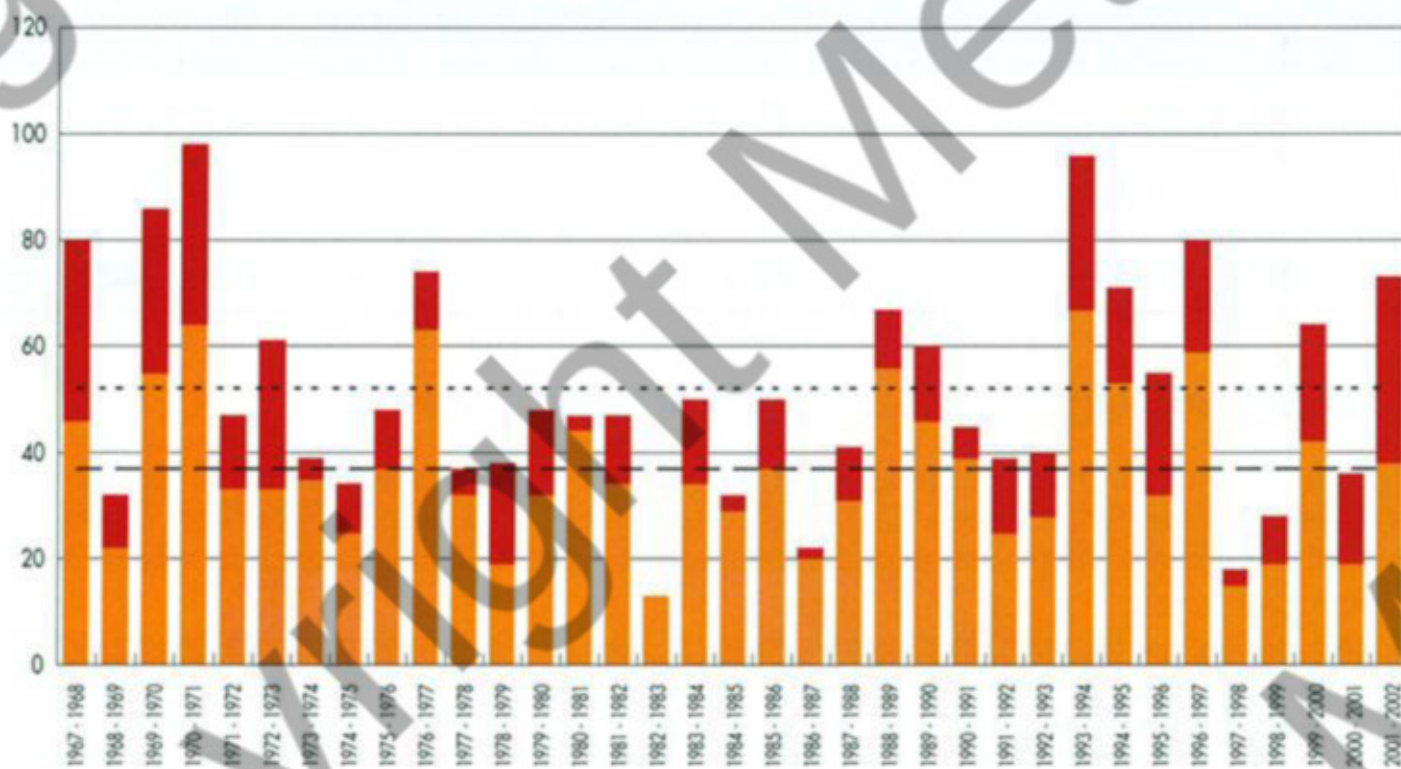
N.B.: les correspondances entre intensités Dvorak et classification des systèmes dépressionnaires tropicaux ont été modifiées à compter de la saison 1999-2000 (voir explications page 95). Starting from the season 1999-2000, the classification of tropical systems regarding Dvorak intensities has been modified (see explanations page 95).





Variation interannuelle du nombre de jours avec activité cyclonique sur le bassin Sud-Ouest de l'océan Indien et moyenne.  
 Annual variation in the number of days with cyclonic activity in the South-West Indian Ocean basin and average.

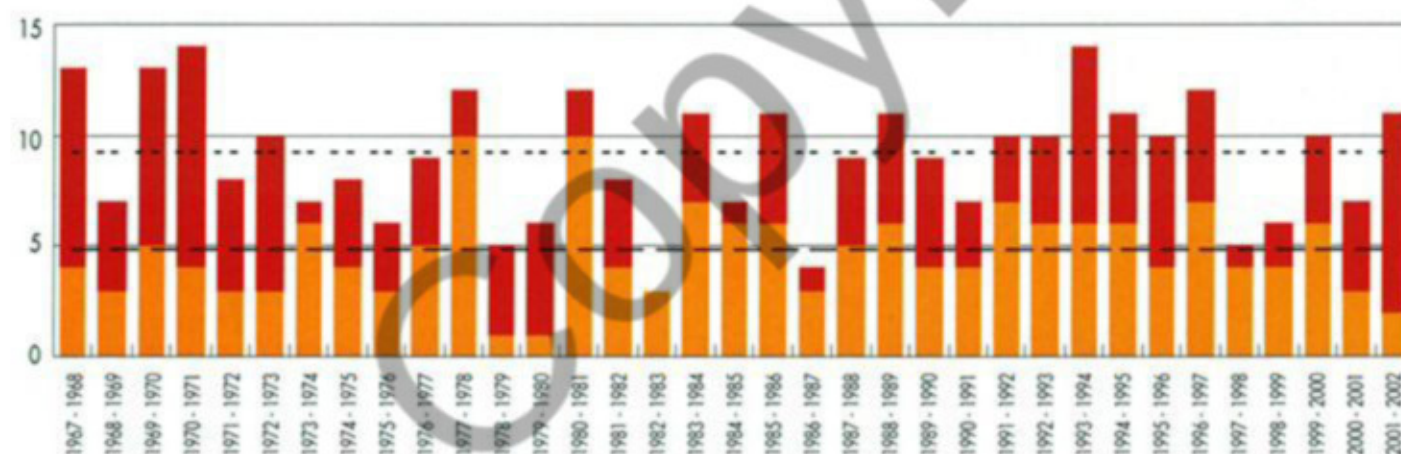
■ Avec tempête(s) tropicale(s) modérée(s) ou forte(s) mais sans cyclone  
 With moderate to severe tropical storm(s) but without cyclone  
■ Avec au moins un cyclone tropical  
 With at least one tropical cyclone  
 — Normale 1      - - - Normale 2



Variation interannuelle de l'activité cyclonique\* sur le bassin Sud-ouest de l'océan Indien et moyenne  
 (\* définie comme le cumul pour l'ensemble des perturbations d'une saison du nombre de jours avec présence d'une tempête tropicale ou d'un cyclone).

Annual variation in cyclonic activity\* in the South-West Indian Ocean basin and average  
 (\* defined as the total number of days in the season on which the disturbances were of tropical storm intensity at least).

■ Cumul pour l'ensemble des perturbations de la saison des jours d'intensité du niveau de la tempête tropicale.  
 Total number of days on which the disturbances were of tropical storm intensity  
■ Cumul des jours cycloniques (d'intensité supérieure à 4.5 sur l'échelle de Dvorak).  
 Total number of days with hurricane intensity (tropical cyclone with intensity above 4.5 on the Dvorak scale)  
 — Normale 1      - - - Normale 2



Variation interannuelle et moyenne du nombre de :  
 Annual distribution and average of number of :

■ Tempêtes tropicales modérées ou fortes  
 Moderate to severe tropical storms  
■ Cyclones tropicaux  
 Tropical cyclones  
 — Normale 1      - - - Normale 2

### 3. INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES (OTHER INDICATIONS)

#### Genèse (Genesis)

- Nord-Est bassin (Northeastern area) (est de 70°E) = 7
- Centre bassin (Central area) (de 60°E à 70°E) = 2
- Nord-Ouest bassin (Northwestern area) (de 50°E à 60°E) = 1
- Canal de MOZAMBIQUE (MOZAMBIQUE Channel) = 1

#### Cyclolyse (Cyclolysis)

- Domaine polaire (polar area) = 3
- Domaine tropical (tropical area) = 8  
dont [ Sur terre (overland) = 2  
(among which) [ Sur mer (oversea) = 6

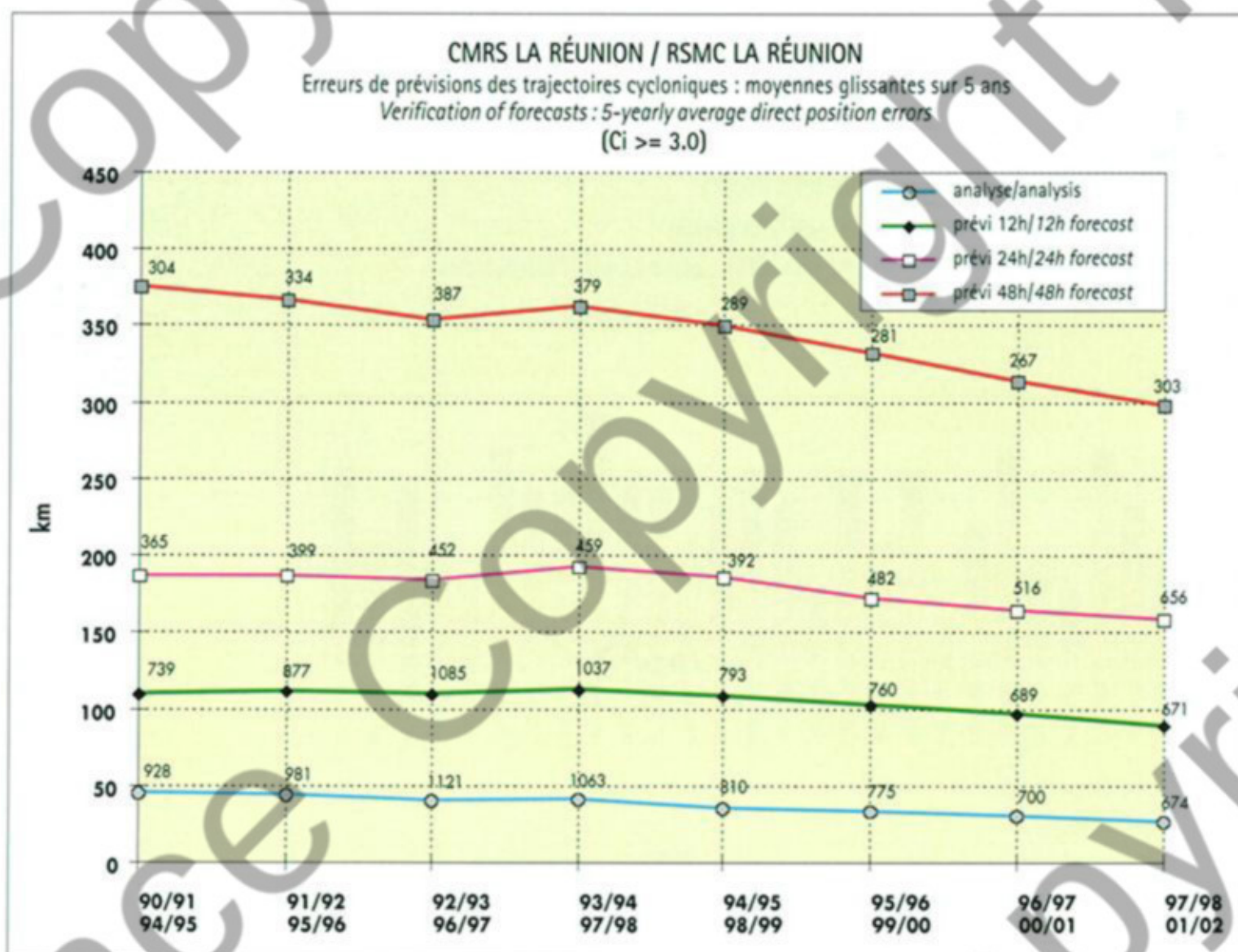
### 4. QUALITÉ DES PRÉVISIONS (VERIFICATION OF FORECASTS)

ÉCHÉANCE (HEURES) (FORECAST HOUR)	ÉCART MOYEN (KM) CI ≥ 2.0 MEAN ERROR (NOMBRE DE CAS) (NUMBER OF CASES)	ÉCART MOYEN (KM) CI ≥ 3.0 MEAN ERROR (NOMBRE DE CAS) (NUMBER OF CASES)	ÉCART MOYEN (KM) CI ≥ 5.0 MEAN ERROR (NOMBRE DE CAS) (NUMBER OF CASES)
12	97 (285)	86 (224)	68 (83)
24	168 (283)	156 (224)	127 (83)
48	296 (130)	284 (107)	243 (42)

#### ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ DES PRÉVISIONS (TIME-EVOLUTION OF TRACK FORECASTS):

Le graphe ci-dessous présente l'évolution temporelle récente de la qualité des prévisions de trajectoires en fonction de l'échéance et ce pour des intensités significatives à l'analyse (au moins 3.0 sur l'échelle de Dvorak). Les erreurs de prévisions sont calculées en moyennes glissantes sur cinq ans, ce afin de disposer d'échantillons suffisamment représentatifs (les chiffres en italiques figurant au-dessus des courbes, indiquent les nombres de prévisions correspondants).

The graphic below presents the time-evolution of the track forecast errors for the last decade. For systems at significant intensity (analysed intensity of at least 3.0 on the Dvorak scale) forecast errors have been averaged on a 5-yearly basis at each range. Doing this enables to benefit from enough large and significant sets of data (the figures in italics displayed above the graphics indicate the number of forecasts used to calculate the errors).



N.B. : les valeurs figurant dans le tableau et le graphe ci-dessus sont des moyennes. Les erreurs de prévision individuelles peuvent s'en écarter notablement et sont très variables d'une perturbation à l'autre et, pour une même perturbation, d'un jour à l'autre.

The values given in the table and graphic above are averages. Individual forecast errors can be noticeably different (either smaller or larger) and can fluctuate a lot from one system to another one and, for the same disturbance, from day to day.

**5. NOMBRE DE BULLETINS ÉMIS PAR LE CENTRE DES CYCLONES TROPICAUX DE LA RÉUNION**  
**(saison 2001-2002)**  
**NUMBER OF BULLETINS ISSUED BY RSMC/LA REUNION (CYCLONE SEASON 2001-2002)**

N°	PERTURBATIONS TROPICALES TROPICAL DISTURBANCES	BMS					TOTAL	BULLETINS CMRS RSMC BULLETINS	BULLETINS SAT SAT BULLETINS	AVIS CONSULTATIF ICAO ADVISORIES	BEST TRACKS
		AVERTISSEMENTS WARNINGS	AVIS DE GRAND FRAIS NEAR GALE WARNINGS	AVIS DE COUP DE VENT GALE WARNINGS	AVIS DE TEMPETE STORM WARNINGS	AVIS D'OURAGAN HURRICANE WARNINGS					
01	01 2001 2002	7	6				13	4			
02	ANDRÉ/ALEX	1	3	7	7		18	8		12	1
03	03 2001 2002	15	3				18	4			
04	BAKO/BESSI		7	14	9	3	33	13	2	19	1
05	CYPRIEN	4	3	3	4		14	5	1	7	1
06	DINA	2		5	8	24	39	19	7	37	1
07	EDDY	5	4	5	7	3	24	11	1	15	1
08	FRANCESCA	3	7	7	10	24	51	24	4	41	1
09	09 2001 2002	2					2				
10	GUILLAUME	4	3	4	2	18	31	15	1	24	1
11	HARY	2	2	6	11	21	42	16	4	38	1
12	IKALA	6	4	14	5	7	36	12	2	26	1
13	JERY/DIANNE		1	4	6	6	17	6	1	13	1
14	KESINY	5	7	12	12	1	37	16		25	1
15	15 2001 2002	6					6	2			
	<b>TOTAUX (TOTALS)</b>	<b>62</b>	<b>50</b>	<b>81</b>	<b>81</b>	<b>107</b>	<b>381</b>	<b>155</b>	<b>23</b>	<b>257</b>	<b>11</b>

On notera, dans le tableau ci-dessus, que des bulletins ont été émis pour des perturbations qui ne sont pas décrites dans le présent ouvrage, car n'ayant pas atteint (ou pas suffisamment longtemps) le stade de dépression tropicale (en général, seules les perturbations ayant atteint pendant au moins 24h le stade de dépression tropicale sont décrites).

As it can be noticed in this table, some bulletins have been issued for tropical systems which are not presented in this publication. In fact, we usually include in this report only the tropical systems which have maintained "tropical depression" intensity during at least 24h.

**NOTE EXPLICATIVE**

L'étude de chaque perturbation s'attache à décrire les conditions de sa formation puis de son évolution, ainsi que l'influence qu'elle a pu avoir sur les régions habitées de la zone.

Le texte est illustré par un certain nombre de documents de base :

1 - une carte de la trajectoire :

- afin de mieux mettre en valeur chacune des trajectoires, le fond de la carte est variable.
- les positions sont portées de 6h en 6h (sous forme d'un rond noir à 00 UTC et d'un rond blanc à 06, 12 et 18 UTC) ;
- le tracé de la trajectoire diffère en fonction du stade d'évolution de la perturbation et, pour plus de précision, les changements d'intensité sur l'échelle de DVORAK apparaissent également.

2 - une image satellitaire ou une composition de plusieurs images ;

3 - l'évolution du nombre CI (de DVORAK) et de l'intensité sous forme graphique (de 6 en 6h).

**EXPLANATORY NOTE**

The study of each depression aims at describing the conditions during formation and during development as well as its effect on the inhabited regions of the zone.

The text is accompanied by several illustrations.

1. A map showing the trajectory

- In order that the trajectories may come out well the latitude and longitude grids have been made variable.
- The positions are given at 6 hourly intervals (a black dot for 00 UTC and a white dot for 06, 12 and 18 UTC).
- The plotting of the trajectory differs for each stage of development of the disturbance and for better accuracy the changes in intensity as given by the Dvorak Scale are also indicated.

2. A satellite picture or a composite of several images.

3. A graph with the 6-hr CI number (DVORAK) and intensity evolution.

# Activité

## du Centre des Cyclones Tropicaux de LA RÉUNION

Activities of the RSMC/Tropical Cyclones of LA REUNION

**V**oici quelques informations sur les différents types de messages diffusés :

- **BULLETINS MÉTÉOROLOGIQUES SPÉCIAUX (BMS) :**

Ces bulletins, actualisés toutes les 6h (à 00, 06, 12 et 18 UTC) dès qu'une perturbation a été repérée sur la zone de responsabilité du Centre, sont diffusés, en français et en anglais, à l'intention des bateaux faisant route et des usagers concernés. Ils regroupent les simples « avertissements », les « avis de grand frais », les « avis de coup de vent », les « avis de tempête » et les « avis d'ouragan » (remplaçant les « avis de cyclone tropical » depuis la saison cyclonique

1999-2000). Ils renseignent sur la position actuelle de la perturbation, son intensité et sa pression au centre, son déplacement, la distribution des vents et du temps à grains, ainsi que l'état de la mer. Ils donnent, également, les positions prévues 12 et 24h plus tard, de même qu'une indication sur l'évolution de l'intensité à ces échéances.

- **BULLETINS DE PRÉVISION CYCLONIQUE (CMRS) :**

Ces bulletins, actualisés toutes les 12h (à 06 et 18 UTC), sont diffusés, en français et en anglais, à l'intention des pays membres du Comité des Cyclones. Ce sont des bulletins techniques d'analyse et de prévision cycloniques. Les posi-

tions et intensités prévues à 12, 24 et 48h figurent notamment dans ces bulletins.

- **BULLETINS SATELLITE D'ANALYSE CYCLONIQUE (SAT) :**

Les images satellitaires (des satellites défilant prioritairement) sur lesquelles sont visibles au moins une perturbation, font l'objet de bulletins spéciaux diffusés, de manière aléatoire, en français et en anglais, à l'intention des pays membres du Comité des Cyclones, dans le meilleur délai après réception et exploitation des dites images. Ces bulletins d'analyse renseignent sur la position, l'intensité et le déplacement de la (des) perturbation(s).

- **AVIS CONSULTATIFS :**

Ces bulletins sont élaborés toutes les 6h (à 00, 06, 12, 18 UTC) à l'intention des Centres de Veille Météorologique de l'océan Indien, afin de les aider dans l'élaboration de leurs messages SIGMET/Cyclones Tropicaux.

En effet, à la demande de l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale), le CMRS de LA RÉUNION joue le rôle de Centre consultatif pour les cyclones tropicaux sur la zone de responsabilité qui lui incombe.

Ces bulletins donnent des informations sur les perturbations d'intensité au moins égale à celle de la tempête tropicale modérée (position, intensité, déplacement, zone de convection profonde associée, prévisions à 12 et 24h de la trajectoire et de l'intensité).

- **MESSAGES « BUFR » :**

Ces messages, élaborés toutes les 6h (à 00, 06, 12 et 18 UTC) à l'intention des Centres mondiaux de prévision numéri-



Le satellite géostationnaire METEOSAT 5 à 36 000 km au-dessus de l'océan Indien le 22 janvier 2002.  
The geostationary satellite METEOSAT 5 at 36,000 km above the Indian Ocean on the 22<sup>nd</sup> January 2002.

que, renseignent sur la position et la structure des perturbations tropicales analysées, dans la perspective d'améliorer la prise en compte de ces systèmes dans les modèles numériques de prévision et donc d'accroître la qualité de leurs prévisions de trajectoire et d'intensité. Ils utilisent un code spécifique (dénommé BUFR).

- **BULLETINS DE TRAJECTOIRE FINALISÉE («BEST TRACK ») :**

Ces bulletins, diffusés dans un délai habituel d'un mois après chaque épisode cyclonique, fournissent des informations précises sur la perturbation analysée avec, toutes les 6h, la position et l'intensité retenues par le Centre, ainsi que le vent maximum et la pression au centre du système. Ces trajectoire et intensités « optimales », obtenues par réanalyse *a posteriori* de tous les éléments disponibles, constituent ensuite le fichier de référence climatologique de la perturbation.

- **BULLETINS MINITEL et WEB :**

Par ailleurs, une page spécifique « cyclone », accessible à tous les usagers, est enregistrée sur les répondeurs téléphoniques kiosqués de Météo-France ainsi que sur le MINITEL et actualisée toutes les 6h, voire toutes les 3h en cas d'alerte à LA RÉUNION, lorsqu'une dépression, une tempête ou un cyclone tropical évoluent sur zone. Cette page, également disponible depuis la saison cyclonique 1998-1999 - toutes les 6h -, sur INTERNET (via le serveur web de Météo-France), renseigne notamment sur la position, l'intensité et le déplacement de la ou des perturbations en question.



Prévisionniste cyclone devant sa station de travail Synergie.  
Hurricane specialist and its Meteo-France working station Synergie.

Here is some information on the different bulletins issued at the present time by RSMC – LA REUNION:

- **SPECIAL MARINE BULLETINS ("BMS"):** These bulletins are issued every six hours (valid at standard times: 00, 06, 12 and 18 UTC) from the moment a tropical system with a significant organisation has been detected on the RSMC's area of responsibility. They are transmitted both in French and English for the sake of ships at sea and of other interested users. These well-known "Warnings", "Near Gale Warnings", "Gale Warnings", "Storm Warnings" and "Hurricane Warnings" (replacing the former "Tropical Cyclone Warnings" in use prior to cyclone season 1999-2000) include the following information: the current position of the surface centre, the direction and speed of movement, the central pressure, the distribution of the winds and of the squally weather, a description of the state of the sea in and around the system, and also 12 and 24-hours range forecast of position and intensity change.

- **"RSMC-BULLETINS" (OR TROPICAL CYCLONE ADVISORIES):** These bulletins are issued every 12 hours (at 06 and 18 UTC) in French and English to the sake of the Members of the Tropical Cyclones Committee for the South-West Indian Ocean. These bulletins are technical bulletins which provide a comprehensive analysis of the storm and 12-hours, 24-hours and 48-hours positions and intensities forecasts complemented by prognostic reasoning information.

- **SATELLITE BULLETINS:** Such bulletins are produced irregularly for satellite pictures (mainly for polar orbiting satellite's data) on which at least a tropical system is visible. These bulletins which contain information on the centre position, the motion and the intensity of the system(s) as well as a description of its (their) organisation, are issued both in French and English. These bulletins are released to the communication networks as soon as possible after the picture's processing.

- **ICAO ADVISORIES:** These bulletin are issued at 6 hourly intervals (at 00, 06, 12 and 18 UTC) for the needs of

the Meteorological Watching Centres of the Indian Ocean. They have been introduced in order to provide them with a technical support for preparing the Tropical Cyclone/SIGMET messages. RSMC LA REUNION has been designated by ICAO (International Civil Aviation Organization) as Advisory Centre for the tropical cyclones over its area of responsibility (South-West Indian Ocean). These bulletins provide informations on tropical storms and cyclones (position, intensity, motion, deep convection area, 12-hours and 24-hours forecast positions and intensities).

- **"BUFR MESSAGES":** These messages are issued at 6 hourly intervals (at 00, 06, 12 and 18 UTC) for the needs of NWP Centres which use bogussing techniques to improve the representation of the tropical vortex in their model's analysis and, by way of consequence, the performance of tropical cyclone track forecasting. These messages give detailed information, in a specific code, on the location, motion, intensity and structure of the system.

- **BEST TRACK BULLETINS:** The "Best Track Bulletins", which are issued within usually one month after the dissipation of each significant tropical system, give detailed information on the RSMC's final post-analysis of the whole evolution of the storm or tropical cyclone. The 6-hourly positions (standard times: 00, 06, 12, 18 UTC), intensities, max winds and central pressures are provided. It is this information that is transmitted at the end of the season, in WMO format, to the NCDC of ASHEVILLE (USA).

- **WEB AND MINITEL BULLETINS:** Besides, a specific "cyclone page" is updated every 6 hours on the MINITEL (the french telematic system) and on a specific Audiotel system every time a tropical disturbance is present on the RSMC's area of responsibility. These bulletins are updated every 3 hours when LA REUNION is under the threat of a tropical storm or tropical cyclone. This "cyclone page" can also be found on INTERNET since cyclone season 1998-1999 as also included and updated –every 6 hours– inside the web serveur of Meteo-France.

# André/Alex

## Forte Tempête Tropicale du 24 octobre au 8 novembre 2001

Severe Tropical Storm "André/Alex" (24 October-08 November 2001)



### FORMATION

**L**e démarrage de la saison cyclonique 2001-2002 intervient dès le mois d'octobre, mettant ainsi fin à un cycle de plusieurs saisons consécutives ayant débuté tardivement, voire très tardivement. Et, bien qu'on ne le sache pas encore à ce moment-là, cette rupture précoce marque le point de départ d'une ère de saisons cycloniques à venir placées, au contraire, sous le signe d'une extrême précocité.

Si la première tempête tropicale ne se développe qu'en fin de mois, on peut de fait considérer que l'inauguration de cette saison remonte au début octobre, avec la formation du premier système dépressionnaire, sur l'Est de la zone de responsabilité du CMRS de LA RÉUNION. Ce système, suivi durant la première décade du mois, n'a atteint que temporairement le stade de dépression tropicale (environ 24h, entre le 5 et le 6 octobre) et n'a donc pas été retenu au bilan de la saison en tant que système dépressionnaire significatif. Mais ce premier ballon d'essai annonçait la couleur : cette saison cyclonique ne serait pas de tout repos.

La confirmation que le potentiel de cyclogénèse est déjà bien là en ce début de printemps austral, ne va d'ailleurs pas tarder à arriver, avec, assez rapidement, l'émergence d'un nouveau système dépressionnaire, cette seconde cyclogénèse se produisant toutefois nettement plus à l'est, sur la zone du Sud-Est de l'océan Indien, et aboutissant au premier phénomène baptisé de la saison.

Tout commence le 24 octobre, au large des côtes sud-ouest de l'île indonésienne de Sumatra, légèrement au sud du 5<sup>e</sup> parallèle Sud. Une zone de convection persistante y est présente au sein du talweg proche-équatorial et se décale en direction de l'ouest-sud-ouest, tout en gagnant assez rapidement en organisation.

Une circulation dépressionnaire associée se matérialise clairement dès le lendemain sur l'imagerie satellitaire, sous la forme d'un vortex de nuages bas relativement large et déjà bien affirmé, que l'on devine assez bien, partiellement exposé qu'il est au sein de la convection morcelée. La confirmation « sol » de l'existence de cette dépression embryonnaire, est apportée par les observations transmises par un bateau transitant la nuit suivante dans le secteur nord du minimum.

Au petit matin du 26, il ne fait plus guère de doute que la première tempête tropicale de la saison est sur les rails. La convection s'est regroupée et organisée, avec constitution d'un amas central plus actif au-dessus du centre de la circulation dépressionnaire ; la configuration nuageuse est caractéristique d'une dépression tropicale.

Les conditions de développement demeurent plutôt favorables, la dépression se situant en phase avec l'axe de la dorsale d'altitude, dans un environnement associé à un flux de secteur nord soufflant très modérément sous l'extension occidentale de cette dorsale et générant un léger cisaillement vertical de vent, mais

dans des limites acceptables. La divergence d'altitude apparaît par contre relativement restreinte.

Le Centre d'Avertissements de Cyclones Tropicaux australien de Perth, alors en charge de ce système dépressionnaire, procède à son baptême, en tant que tempête tropicale ALEX, à la mi-journée de ce 26 octobre. Le centre de la tempête, qui se situe alors à quelque 575 km dans le nord-nord-ouest de l'île Cocos, progresse toujours vers l'ouest, mais assez lentement, avant d'accélérer légèrement en fin de journée (à un peu plus de 10 km/h).

### ÉVOLUTION

La nuit suivante ne voit aucun changement significatif, que ce soit en termes de déplacement ou d'intensité. ALEX demeure classé au stade minimal de la tempête tropicale. Une orbite TRMM, acquise en deuxième partie de nuit, a montré que la convection restait faiblement représentée et, en outre, décalée du centre de la perturbation, du côté sud-ouest du vortex central, trahissant de fait la persistance d'une petite contrainte cisailée de nord-est.

La journée du 27 marque toutefois une recrudescence d'activité ainsi qu'un recentrage de la convection, prenant la forme d'un CDO (amas nuageux central dense), irrégulier dans un premier temps, puis devenant plus régulier la nuit suivante et atteignant finalement sa définition maximale en deuxième partie de nuit, à l'approche du 90<sup>e</sup> méridien Est.

Consécutivement à ce supplément d'organisation, l'intensité du météore est considérée avoir franchi le seuil de la forte tempête tropicale à l'aube du 28 octobre. Peu après, ALEX franchit le 90<sup>e</sup> méridien et quitte la zone de responsabilité de Perth, pour pénétrer dans celle du CMRS de LA RÉUNION. Il est renommé du nom d'ANDRÉ.

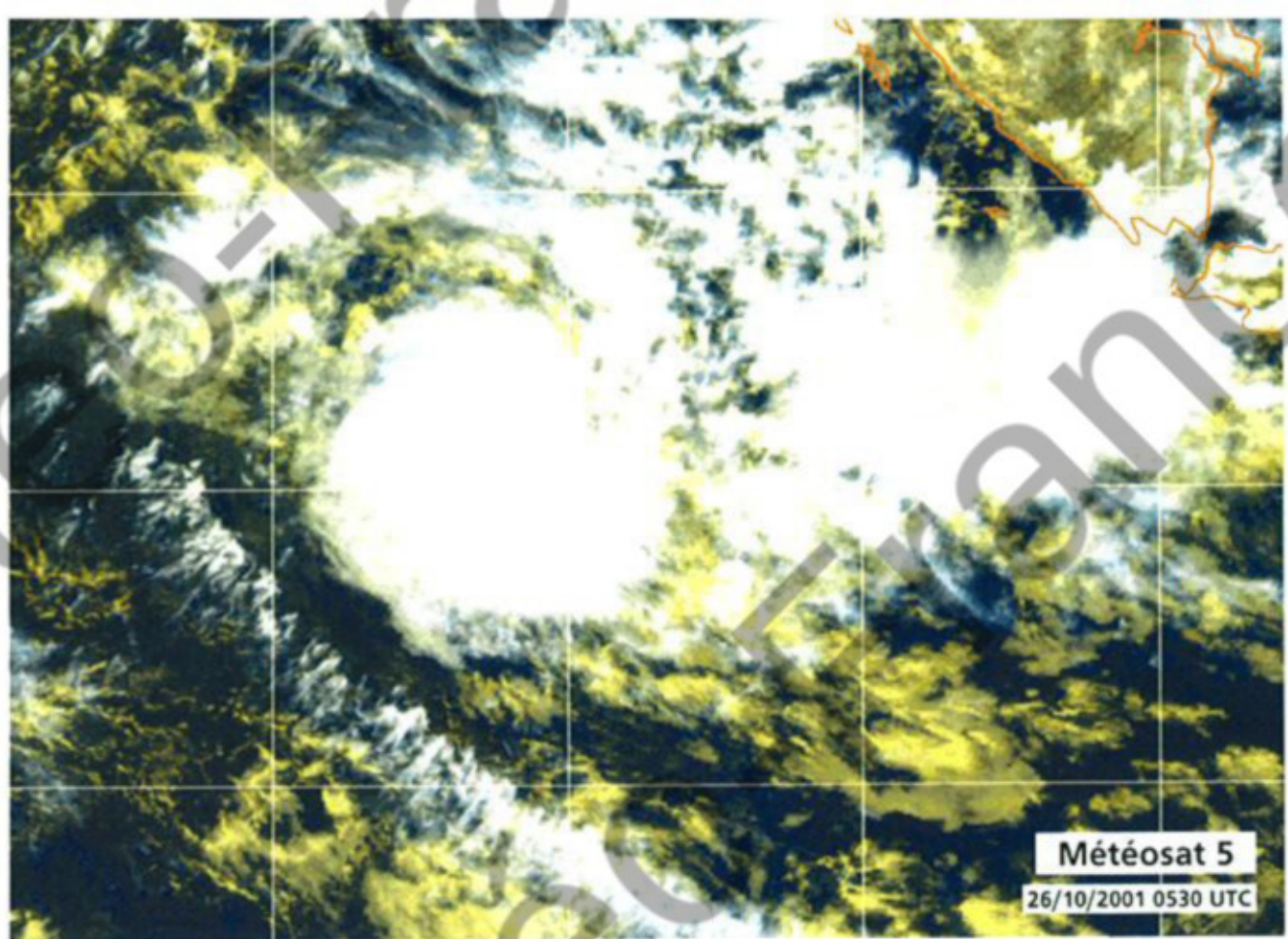
Si la première partie de vie d'ALEX, passée dans le Sud-Est de l'océan Indien, avait correspondu à la phase de croissance du météore, la deuxième partie, passée sous le nom d'ANDRÉ, allait être celle de sa dégénérescence dans le Sud-Ouest de l'océan indien. Car l'état mature

correspondant au maximum d'intensité atteint au voisinage du 90° méridien Est, ne perdure que quelques heures.

À l'avant de la trajectoire de la tempête, le cisaillement vertical de vent tend en effet à se renforcer, tout en restant relativement modéré: 10 nœuds le 28, puis 15 nœuds le 29, c'est malgré tout suffisant pour affecter le météore. Cet accroissement du cisaillement de vent provient du fait que l'axe de la dorsale d'altitude tend à se décaler vers le sud. Initialement en phase avec le météore, il s'en déconnecte de plus en plus. Malgré un déplacement de la tempête ouest-sud-ouest, qui plus est assez rapide désormais, depuis que la tempête se situe plus au contact de la bordure septentrionale de la cellule anticyclonique subtropicale positionnée au sud (jusqu'à plus de 25 km/h de vitesse de déplacement dans la nuit du 28 au 29), l'éloignement avec l'axe de la dorsale augmente inexorablement. ANDRÉ subit ainsi l'impact croissant du flux d'est à nord-est présent du côté équatorial de cette dorsale.

La puissance très modérée du cisaillement de vent, fait que la déstructuration nuageuse, de même que l'affaiblissement résultant du météore, vont s'opérer très graduellement. ANDRÉ va ainsi demeurer classé en tempête tropicale modérée durant encore 48h. La phase d'affaiblissement plus sensible démarre à compter de la mi-journée du 29 octobre. À cette date on peut, en effet, faire correspondre le moment où intervient la rupture du couplage vertical du système. Cela se traduit par un brusque changement de trajectoire d'ANDRÉ, qui incurve en direction du nord-ouest, par suite du passage du flux directeur de la perturbation sous le contrôle du flux régnant en basse troposphère.

Cette nouvelle trajectoire, qui ramène le météore en direction de l'équateur, se prolonge jusqu'en fin de matinée du 30. Parvenu en bout de dorsale, le minimum dépressionnaire, déclassé à ce moment là en dépression tropicale, freine puis s'arrête, avant d'effectuer une petite boucle sur place, pour finalement redémarrer franchement en direction du sud-ouest dans la nuit du 30 au 31, en direction de la faiblesse générée dans le champ de pression



Encore classé en dépression tropicale, mais sur le point de franchir le seuil de la tempête tropicale modérée, ALEX va être baptisé peu après par le Centre d'Avertissement de Cyclones Tropicaux de Perth.

*Still ranked as a tropical depression, but on the verge to cross the threshold of the moderate tropical storm stage, ALEX would soon be named by the Tropical Cyclone Warning Centre of Perth.*

#### FORMATION

*The onset of the 2001–2002 cyclone season, which occurred in October, put an end to several consecutive seasons that started tardily. And although no one knew it at the time, this break up marked the starting point of an era of very precocious cyclone seasons to come.*

*While the first tropical storm only developed at the end of the month, the set off of the season went back to the beginning of October with the formation of a first depression system over the eastern part of the area of responsibility of LA REUNION'S RSMC. This system, which had been monitored during the first decade of the month, went through a short-lived status of tropical depression (about 24h between 5 and 6 October) and thus was not recorded as a significant depression in the cyclone season. But this first trial gave the mood of the season which would be far from quiet.*

*The cyclogenesis potential already existing at the beginning of this austral spring was soon confirmed by the rapid advent of a new depression. This second cyclogenesis intervened more eastward, over the SouthEast Indian Ocean, and yielded the first named phenomenon of the season.*

*It all started on 24 October, off the southwest coast of the Indonesian Island Sumatra, slightly south of latitude 5°South. There was an area of persistent convection within the near-equatorial trough which was shifting towards the west-southwest and gaining fairly rapid organisation. A related clockwise circulation clearly materialised the next day on the satellite picture as a low-level clouds vortex arose. Quite large and well-defined, it appeared partially exposed*

*within the scattered convection. "Ground" confirmation of this existing embryonic depression was given by the observations of a ship transiting the next night in the northern sector of the low centre.*

*In the early morning on 26 October, there was no longer any doubt that the first tropical storm of the season was on its tracks. The convection had gathered and got organised with the formation of a more active central overcast focusing above the centre of the clockwise circulation. The cloud configuration was typical of a tropical depression. The developing conditions remained favourable, as the depression lay beneath the upper ridge axis, in an environment influenced by northerly winds blowing moderately within the western extension of the ridge and generating a slight vertical windshear. Yet, the upper divergence looked restrained.*

*Australian Tropical Cyclones Warning Centre of Perth, in charge of the depression at the time, named the tropical storm ALEX in the middle of the day on 26 October. The storm's centre, which was situated some 575 km to the north-northwest of Cocos Island at that time, was still –yet quite slowly– travelling towards the west before speeding up slightly at the end of the day (to a little more than 10 km/h).*

#### EVOLUTION

*There was no significant change the following night, neither in motion nor intensity. ALEX was still analysed at the minimal stage of tropical storm. A TRMM orbit acquired in the second half of the night showed that the convection remained scarce and moreover displaced from the centre of the disturbance on the*

southwestern side of the central vortex, thereby betraying the persistence of a slight northeasterly shear constraint. However, during the day of the 27th, there was a recrudescence of activity, the convection shifting to the centre and consolidating as a CDO (central dense overcast), irregular at first, but then increasingly more regular over the following night, and reaching its best definition half through the night as it approached longitude 90°East. As a result, the intensity of the meteor reached the threshold of severe tropical storm by dawn on 28 October. A little afterwards, ALEX crossed longitude 90°East and left Perth's area of responsibility to enter that of LA REUNION's RSMC and was subsequently renamed ANDRE.

While ALEX's life cycle in the SouthEast Indian Ocean had corresponded to the meteor's developing phase, the second part under the identity of ANDRE would mark its decaying phase in the SouthWest Indian Ocean, since the mature state corresponding to its peak of intensity near longitude 90°East would only last a few hours.

Ahead of the storm's path the vertical windshear tended to strengthen while remaining moderate: 10 knots on 28th, then 15 knots on 29th, strong enough though to affect the meteor. The enhancement of the windshear was caused by the southward shifting of the upper ridge axis. Initially in phase with the meteor, it was now gradually disconnecting from it. Despite the west-southwestward motion of the storm, at a now rather fair clip since the storm had been more in contact with the septentrional boundary of the subtropical anticyclonic cell positioned to the south (speed of movement picking up to 25 km/h and over in the night of 28th), the splitting off distance from the ridge axis relentlessly increased. ANDRE was therefore enduring the swelling impact of the east to northeasterly flow present on the equatorial side of the ridge.

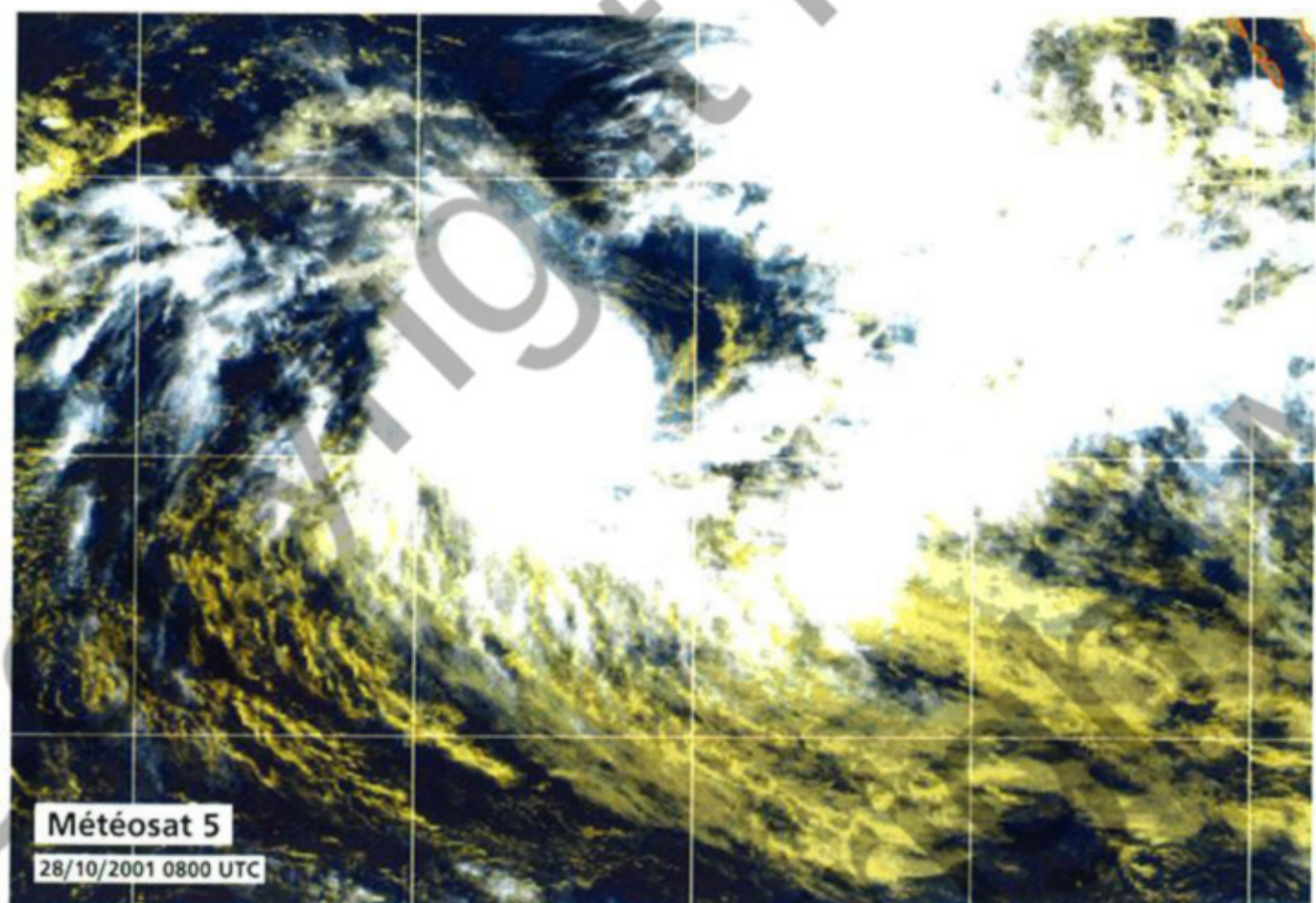
Given the very moderate windshear, the cloud destructuring and resulting weakening of the meteor took effect very gradually. ANDRE thus remained at the status of moderate tropical storm for another 48h. The more tangible weakening phase started from the middle of the day on 29 October. That date corresponded to the time when the vertical coupling of the system broke up. This de-coupling materialised into an abrupt change of track for ANDRE (north-westwards), after the steering flow of the disturbance went under the control of the flow pervading in the low troposphere.

The new path, which brought the storm back towards the equator, lasted till late morning on 30 October. As it reached the end of the ridge, the low centre, now downgraded into a tropical depression, braked and then stopped before making a small loop on the spot. It finally started off again southwestwards in the night of 30th, heading towards the weakness in the pressure field caused by an approaching depression coming from the southeast of the MASCARENES and associated to a waving cold front. At this stage, ex-ANDRE had mostly filled and the residual low was about 1000 hPa. There was still some disorganised and fluctuating convection persisting nearby and this lasted for another week during which the low went on filling, but very slowly. Caught and carried away by the steering trade winds flow in the late afternoon of 1st November, it trekked some 3000 km towards the west-northwest and eventually, on 8th November, ended up melting into the near-equatorial trough west of the SEYCHELLES.

First tropical storm of the season, ANDRE launched the 2001-2002 cyclone season precociously. The last time a named system started earlier was in September 1992 with tropical storm AVIONA. ANDRE's life cycle followed the classic pattern of an early system, with moderate intensity and a zonal track travelling across the basin at a rather low latitude (mainly north of latitude 10°South).

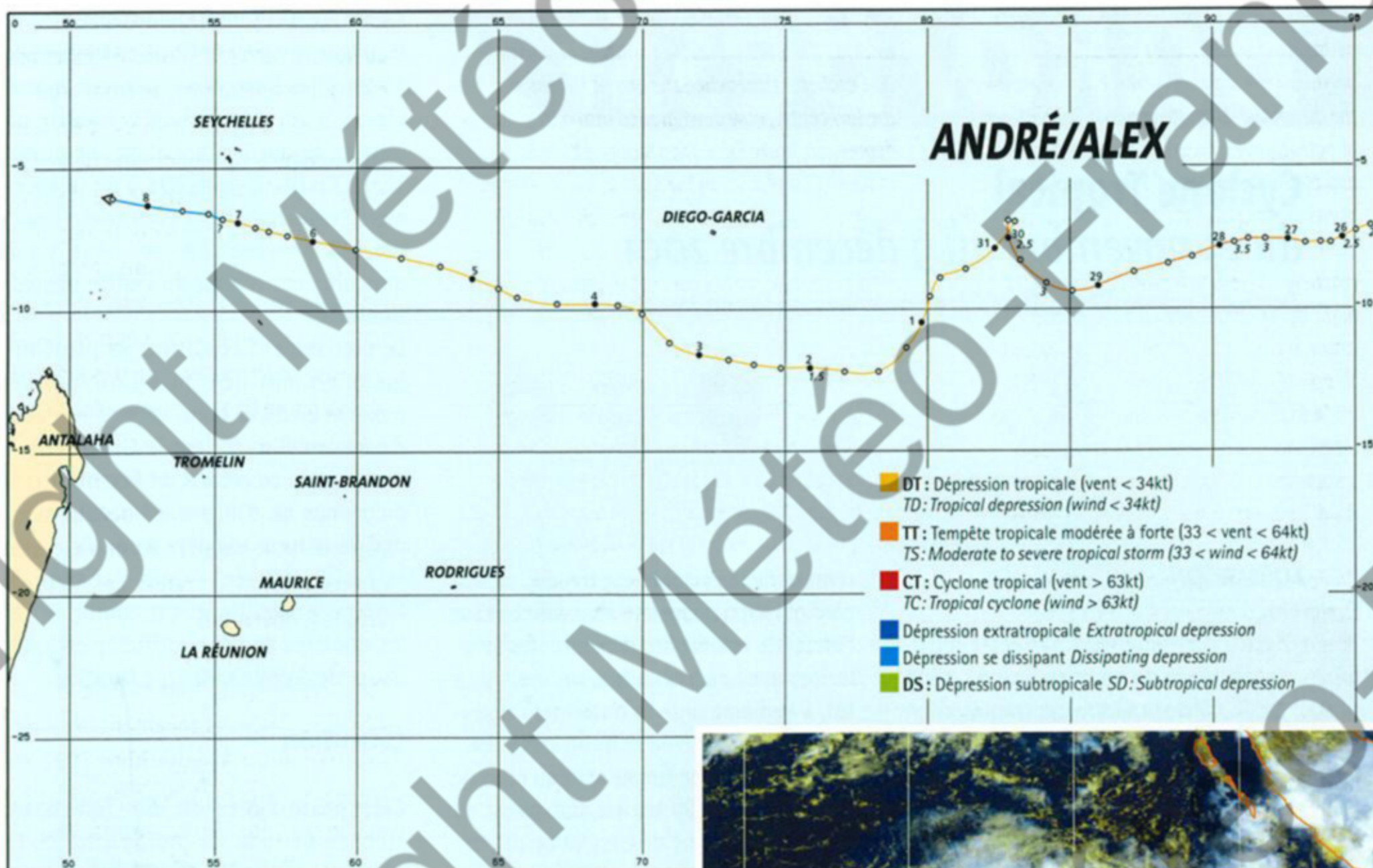
par l'approche d'une dépression évoluant au sud-est des MASCAREIGNES et associée à une ondulation de front froid. À ce stade, l'ex-ANDRÉ s'est en bonne partie comblé et le minimum dépressionnaire résiduel est estimé de l'ordre de 1000 hPa. De la convection inorganisée et fluctuante perdue dans son environnement proche. Et il en sera ainsi durant encore une semaine, au cours de laquelle il n'ira en se comblant que très lentement. Repris par le flux directeur d'alizé en fin d'après-midi du 1<sup>er</sup> novembre, il parcourra près de 3000 km durant cet intervalle en direction de l'ouest-nord-ouest, finissant par venir se fondre au sein du talweg proche-équatorial, à l'ouest des SEYCHELLES, le 8 novembre.

Première tempête tropicale de la saison, ANDRÉ a lancé précocement la saison (il faut remonter à septembre 1992 pour trouver le dernier système baptisé à avoir démarré plus tôt, avec la tempête AVIONA). Son existence a été celle d'un phénomène de début de saison assez classique, avec une intensité relativement modérée et une trajectoire zonale à travers le bassin décrite, pour l'essentiel, au nord du 10° parallèle Sud.

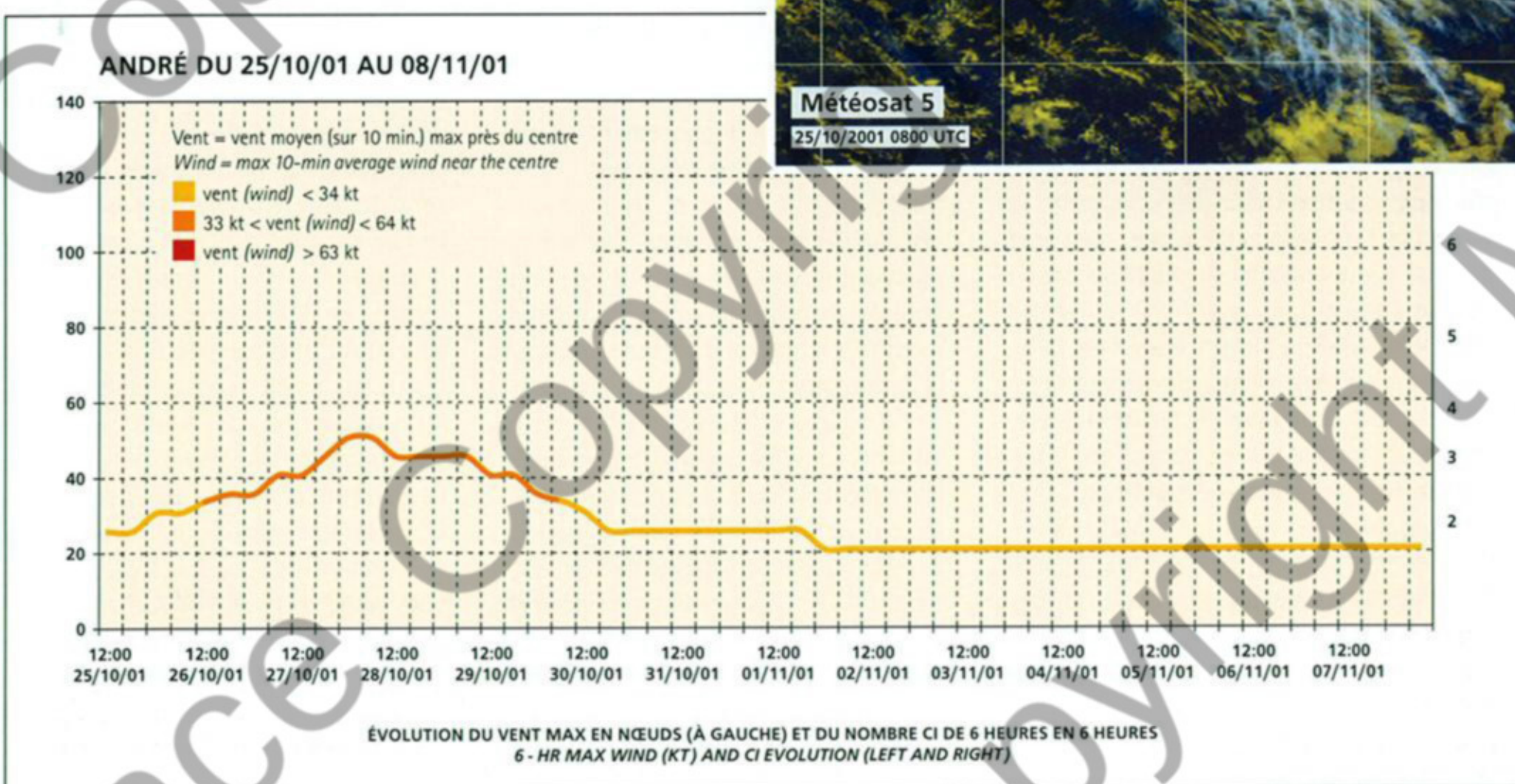
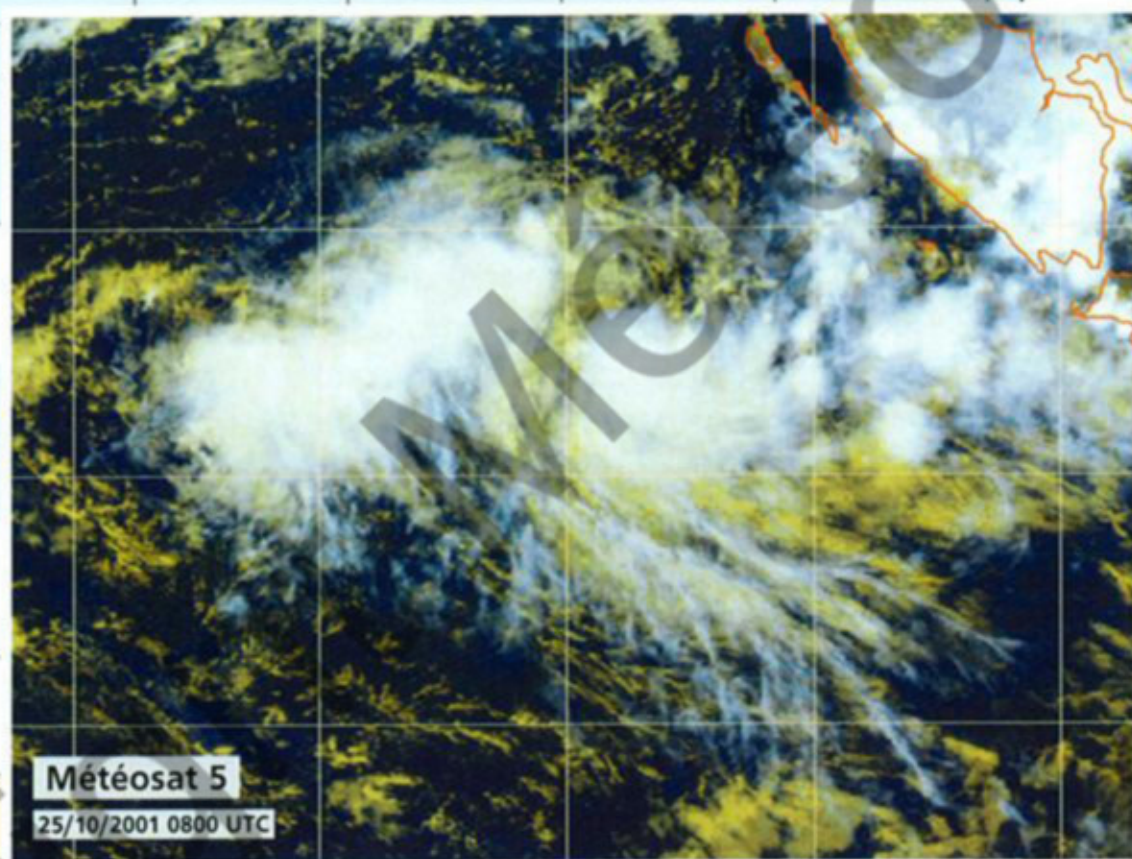


Début de la phase d'affaiblissement d'ANDRÉ. Après avoir atteint son maximum d'intensité quelques heures plus tôt, peu avant le franchissement du 90° méridien Est, ALEX désormais renommé ANDRÉ perd à cet instant son statut de forte tempête tropicale. Sa structure nuageuse dénote clairement l'existence d'une contrainte cisailée d'est-nord-est modérée. *Incipient weakening phase of ANDRE. A few hours earlier former ALEX had reached its intensity peak just prior to the crossing of longitude 90°East (and its subsequent renaming). Loosing its status of severe tropical storm at the time of this image, the cloud structure of the meteor clearly indicated the existence of a moderate east-northeasterly shearing constraint.*





Cyclogenèse d'ALEX/ANDRÉ au large de l'île de Sumatra.  
Le centre du vortex de basses couches (déjà bien affirmé) est occulté par la convection.  
*Cyclogenesis of ALEX/ANDRE off Sumatra Island.  
The centre of the well defined low-level vortex is hidden beneath the convection.*



# Bako/Bessi

## Cyclone Tropical du 25 novembre au 9 décembre 2001

*Tropical Cyclone "Bako/Bessi" (25 November-09 December 2001)*

### FORMATION

**S**tatistiquement parlant, l'occurrence du premier cyclone tropical de la saison cyclonique, intervient deux années sur trois avant le 31 décembre, sur le bassin du Sud-Ouest de l'océan Indien. Pourtant, depuis novembre 1996 et le cyclone tropical intense BELLAMINE, plus aucun cyclone tropical n'avait été observé au cours du dernier trimestre de l'année, conséquence première d'une succession de saisons aux débuts particulièrement tardifs. Mais cette saison cyclonique 2001-2002 va mettre un terme à cette « anomalie », interrompant cette longue période de cinq années « sans », le premier avis d'ouragan étant en l'occurrence émis le 2 décembre.

Ce premier cyclone tropical de la saison a en fait vu le jour une semaine plus tôt, le 24 novembre. Il apparaît le jour même où un autre système dépressionnaire, qui s'était formé préalablement, peu après la mi-novembre, sur l'Est du bassin, se dissipe dans le secteur sud-est de Diego-Garcia (ce système, très faible, n'avait atteint le stade de dépression tropicale que de manière très éphémère – le 21 novembre – et n'a pas été retenu en tant que système significatif de la saison).

Un mois après la genèse d'ALEX/ANDRÉ, c'est sur les mêmes eaux que se forme le quatrième système dépressionnaire de la saison et futur cyclone BAKO, à savoir sur les eaux chaudes présentes au large de l'archipel indonésien. Le 25 novembre, on a même l'impression d'assister à un

remake de la cyclogenèse d'ALEX, tant la configuration nuageuse alors affichée sur l'imagerie satellitaire présente des similarités avec celle exhibée un mois plus tôt, à la même date et quasiment rigoureusement au même endroit, par ALEX. Positionné à quelque 600 km au nord de l'île Cocos et 550 km au sud-ouest de Sumatra, un centre de circulation dépressionnaire est à nouveau clairement apparent au cœur d'un vortex de nuages bas, partiellement occulté par les quelques foyers de cumulonimbus présents alentours. À ce stade, le minimum dépressionnaire en surface est estimé à 1 005 hPa à la mi-journée, mais son creusement est d'ores et déjà amorcé.

La convection s'étoffe au cours des heures suivantes, puis tend à se regrouper en un amas dont la signature nuageuse est caractéristique d'une situation de pré-genèse et justifie le classement du système en perturbation tropicale.

Mais l'imagerie visible du début de journée du 26 montre clairement que le minimum dépressionnaire demeure en marge nord-est de cette convection, conformément à la situation d'altitude, qui situe la perturbation sur la façade équatoriale d'une cellule de hauts géopotentiels en altitude, au sein d'un flux d'est-nord-est légèrement diffluent et associé à un cisaillement vertical de vent faible à modéré. Si cette situation environnementale, relativement classique en début de vie, n'est pas idéale en termes de cyclogenèse et constitue à tout le moins un frein à un creusement trop rapide, elle n'a cependant rien de rédhibitoire. De fait, si le système est contraint de se développer à un

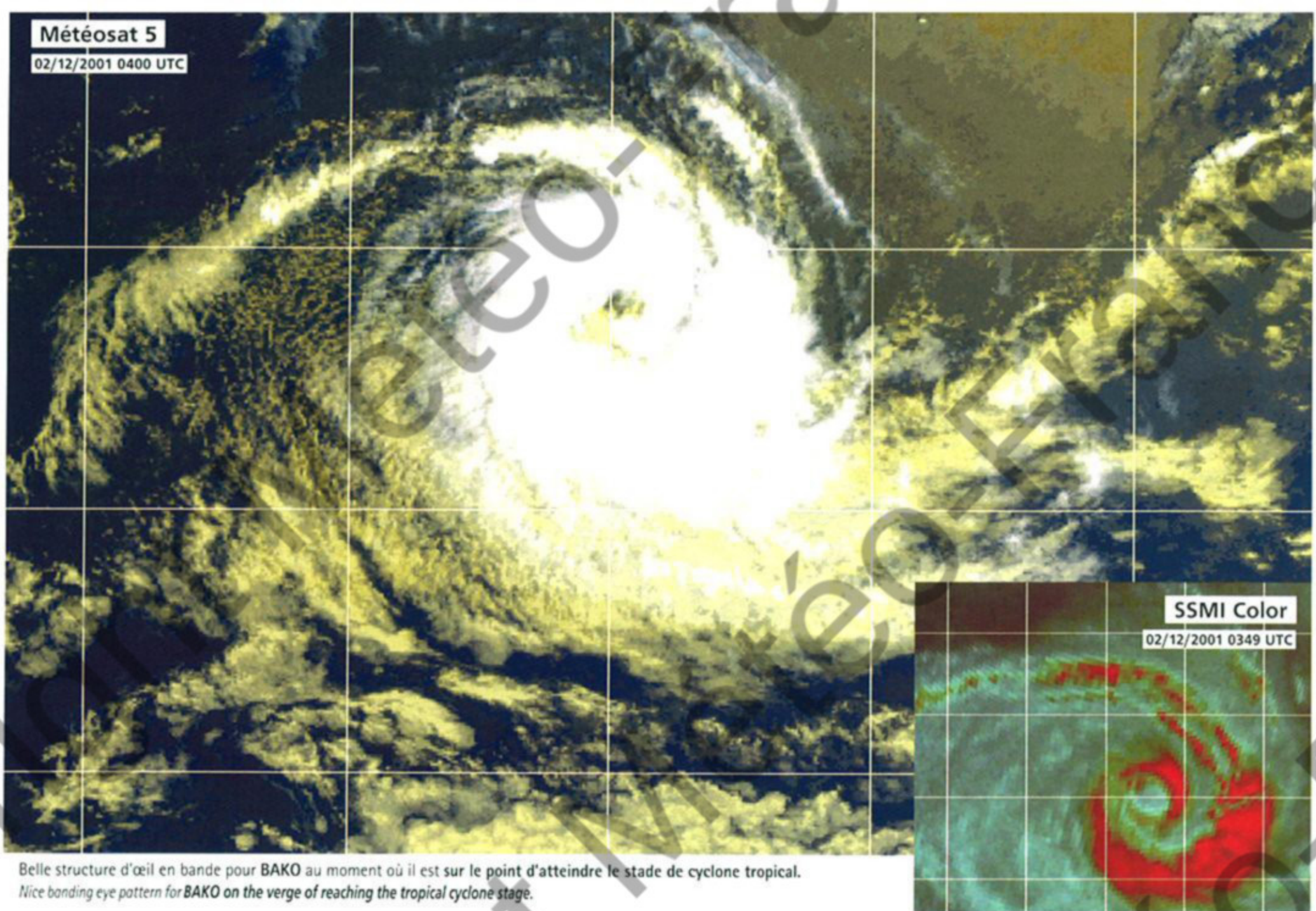
rythme effectivement inférieur à la moyenne, il n'en continue pas moins de s'intensifier. Devenu une dépression tropicale le 27, il va même connaître un brusque regain d'organisation la nuit suivante. Profitant peut-être d'un relâchement temporaire de la contrainte cisailée, la convection se développe puissamment autour du centre dépressionnaire.

Le creusement résultant se prolonge jusqu'en matinée du 28 novembre, moment où BESSI (ainsi nommé en début d'après-midi du 27 par le Centre d'Avis de cyclones tropicaux de Perth) atteint un premier pic d'intensité, au stade minimal de la forte tempête tropicale. Cette intensité estimée d'après l'analyse de l'imagerie satellitaire, est confortée par les données de vents diffusométriques issues de l'orbite matinale QuikScat.

### ÉVOLUTION

Cette phase d'intensification franche est stoppée net à la mi-journée du 28. La structure nuageuse du météore périclite rapidement au cours des heures qui suivent. L'imagerie satellitaire ne laisse guère de doute quant au diagnostic sur l'origine de ce subit accès de faiblesse ; la configuration nuageuse, notamment le rejet de la convection à l'ouest du vortex de basses couches désormais pleinement exposé, trahissent l'impact d'un cisaillement de vent accru et excédant à l'évidence le seuil de tolérance de la perturbation (bien qu'estimé à 15-20 nœuds seulement par le CIMSS).

Alors que BESSI avait observé depuis sa zone de genèse un déplacement assez lent en direction générale du sud-ouest, la tempête a obliqué depuis la nuit précédente en direction du sud-sud-ouest, accélérant quelque peu dans le même temps, en direction de la faiblesse dans le champ de pression induite par la présence au sud d'une dépression évoluant dans le secteur est de l'île d'Amsterdam. BESSI franchit ainsi le 10<sup>e</sup> parallèle Sud en fin d'après-midi du 28. Déclassée quelques heures plus tard en tempête tropicale modérée, elle poursuit ensuite sa course plein sud jusqu'en milieu de journée du 29, moment où la reconsolidation de la ceinture de hautes pressions subtropicales l'oblige à incurver progressive-



Belle structure d'œil en bande pour BAKO au moment où il est sur le point d'atteindre le stade de cyclone tropical.  
*Nice banding eye pattern for BAKO on the verge of reaching the tropical cyclone stage.*

ment vers l'ouest. Cette trajectoire amène le centre du météore à couper le 90° méridien Est en cours de nuit du 29 au 30, légèrement au sud du 14° parallèle Sud. Ayant désormais pénétré dans la zone Sud-Ouest de l'océan indien, BESSI change de nom et devient BAKO en matinée du 30 novembre.

Ce changement d'identité va, coïncidence fortuite, marquer le début d'une deuxième vie de la perturbation. Toujours assujettie à un cisaillement de vent modéré mais en atténuation, son intensité s'était stabilisée au stade de la tempête tropicale modérée le 29. Mais en se rapprochant du 15° parallèle Sud, BAKO s'est également rapproché de l'axe de la dorsale d'altitude, *grosso modo* positionné à cette latitude, et bénéficie du coup d'un cisaillement vertical de vent tendant vers zéro. Ces conditions environnementales nettement plus avantageuses vont, fort logiquement, favoriser une reprise de l'intensification du système.

La convection peut ainsi se re-développer au-dessus du centre dépressionnaire, prenant la forme d'un CDO (amas nuageux central dense) en journée du 30. Le lendemain, la convection perd quelque peu en densité, dévoilant clairement le centre de BAKO, ainsi qu'une bonne partie du vortex de basses couches associé,

#### FORMATION

*Statistically, every two years out of three, the first tropical cyclone of the cyclone season occurs before 31 December over the SouthWest Indian Ocean. However, since November 1996 and the occurrence of the intense tropical cyclone BELLAMINE, no other tropical cyclone had been observed during the last term of the year, first consequence of a succession of especially tardy cyclone season starts. But this 2001-2002 cyclone season was to put an end to this "anomaly", and interrupted this long 5-year period void of such early season cyclones, as the first hurricane warning was issued on 2 December.*

*This first tropical cyclone of the season actually sprang to life a week before, on 24 November. It budded on the very day another depression system, which had formed over the eastern part of the basin before, a short while after mid-November, dissipated in the southeastern sector of Diego-Garcia (this very weak system reached the tropical depression status for only a very short span on 21 November, and was not retained as a significant system of the season). One month after ALEX/ANDRE's genesis, it was on the same waters that the fourth system of the season – and future cyclone BAKO – formed, i.e. on the warm waters of the open sea off the Indonesian Archipelago. The 25th of November felt like a remake of ALEX's cyclogenesis, with a*

*cloud pattern looking strikingly similar to the one exhibited by ALEX one month earlier on the same date and nearly right on the same spot. Positioned some 600 km off the northern coast of Cocos Island, and 550 km southwest of Sumatra, a centre of clockwise circulation was this time again clearly visible in the middle of a low-level clouds vortex, partially hidden by some patches of cumulonimbus nearby. At this stage, the surface low centre was estimated to be 1005 hPa in the middle of the day, but it had already started to deepen.*

*The convection expanded in the following hours and then tended to gather into a cloud mass with typical signature of a pre-genesis stage, warranting the system to be classified as a tropical disturbance. However, the visible picture of the early morning on 26 November clearly showed that the low centre remained outside the northeast edge of the convection, in accordance with the upper-level situation, which situated the disturbance on the northern side of a high height cell within a weak to moderate vertical windshear related to a slightly diffluent east-northeasterly flow. While these classic environmental conditions at the beginning of a life cycle, were not ideal in terms of cyclogenesis and at the least put a brake to a fast deepening, it meant no impediment though. In fact, although the system was forced to develop at a slower than average rate, it still kept intensifying. It became a tropical depression on the 27th and organised itself*

## Bako/Bessi

further on the following night. Taking probably advantage of a temporary relaxation of the sheared constraint, the convection developed sturdily around the low centre. The resulting deepening lasted till morning of 28 November when BESSI (thus named in the early afternoon of the 27th by the Tropical Cyclones Warning Centre of Perth) reached a first peak of intensity, at the minimal stage of severe tropical storm. This estimated intensity assessed from the satellite imagery was further supported by the scatterometer wind data derived from the morning QuikScat orbit.

### EVOLUTION

This downright intensification phase was flatly stopped in mid-day of 28th. The meteor's cloud structure collapsed rapidly in the following hours. The satellite picture let little doubt regarding the origin of this sudden bout of weakening: the cloud configuration, namely the expulsion of the convection to the west of the low-level vortex now fully exposed, betrayed the impact of an increased windshear which obviously exceeded the threshold the disturbance could bear (although being only 15 to 20 knots according to the CIMSS). While BESSI had jogged along from its genesis area on a more general southwestward route, the storm's track had been bending towards the south-southwest since the preceding night, speeding up a little at the same time towards the weakness in the pressure field induced by the presence to the south of a depression situated east of Amsterdam Island.

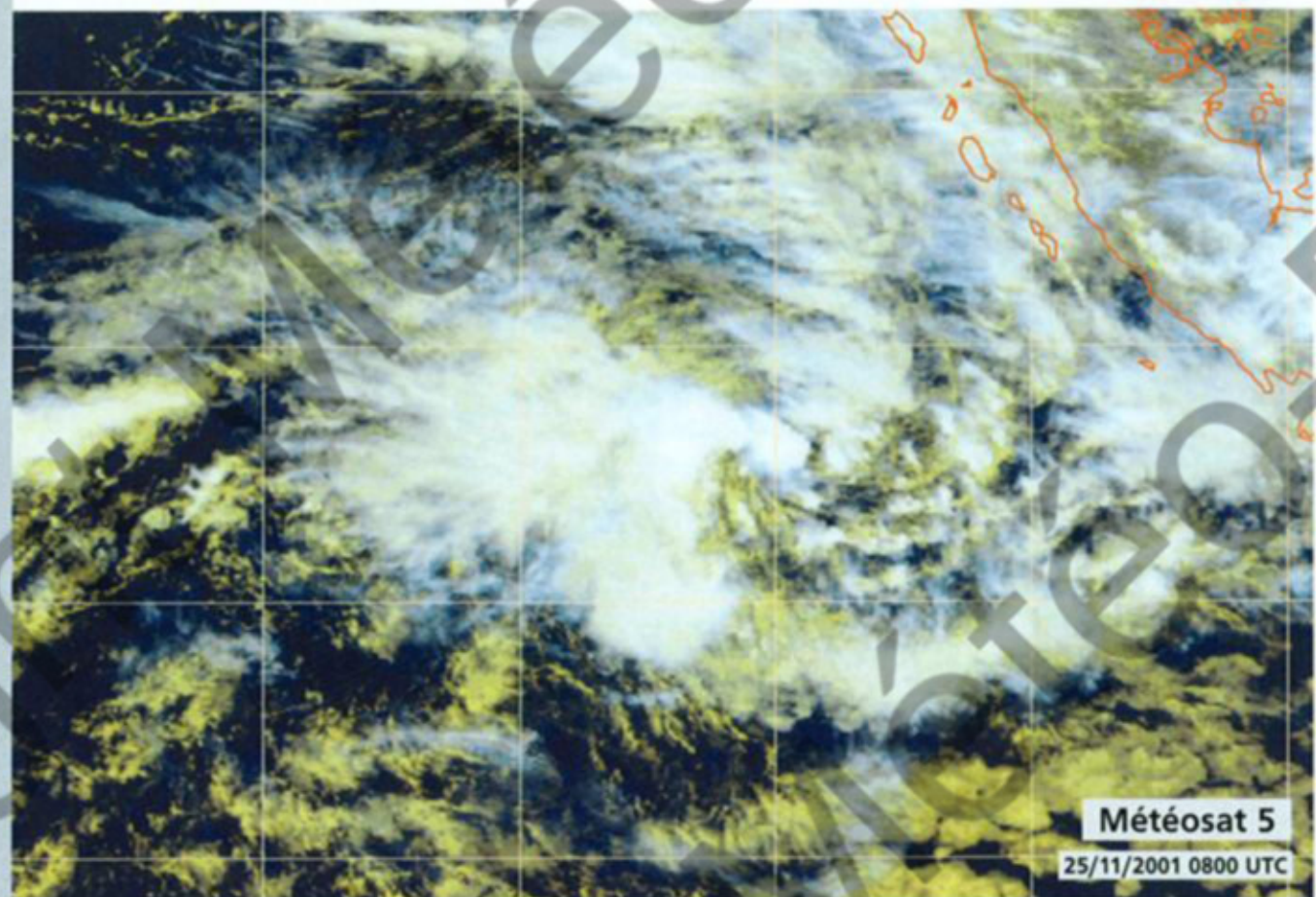
BESSI thereof crossed latitude 10°South in the late afternoon of the 28th. A few hours later, it was downgraded to moderate tropical storm status and pursued its course due south until the mid-day of the 29th, when the rebuilding of the subtropical high pressure belt made it curve gradually towards the west. This path led the meteor's centre to cut through latitude 90°East in the course of the night of the 29th, slightly

dont la structure très affirmée dénote toutefois un accroissement évident de vorticit  par rapport à la veille.

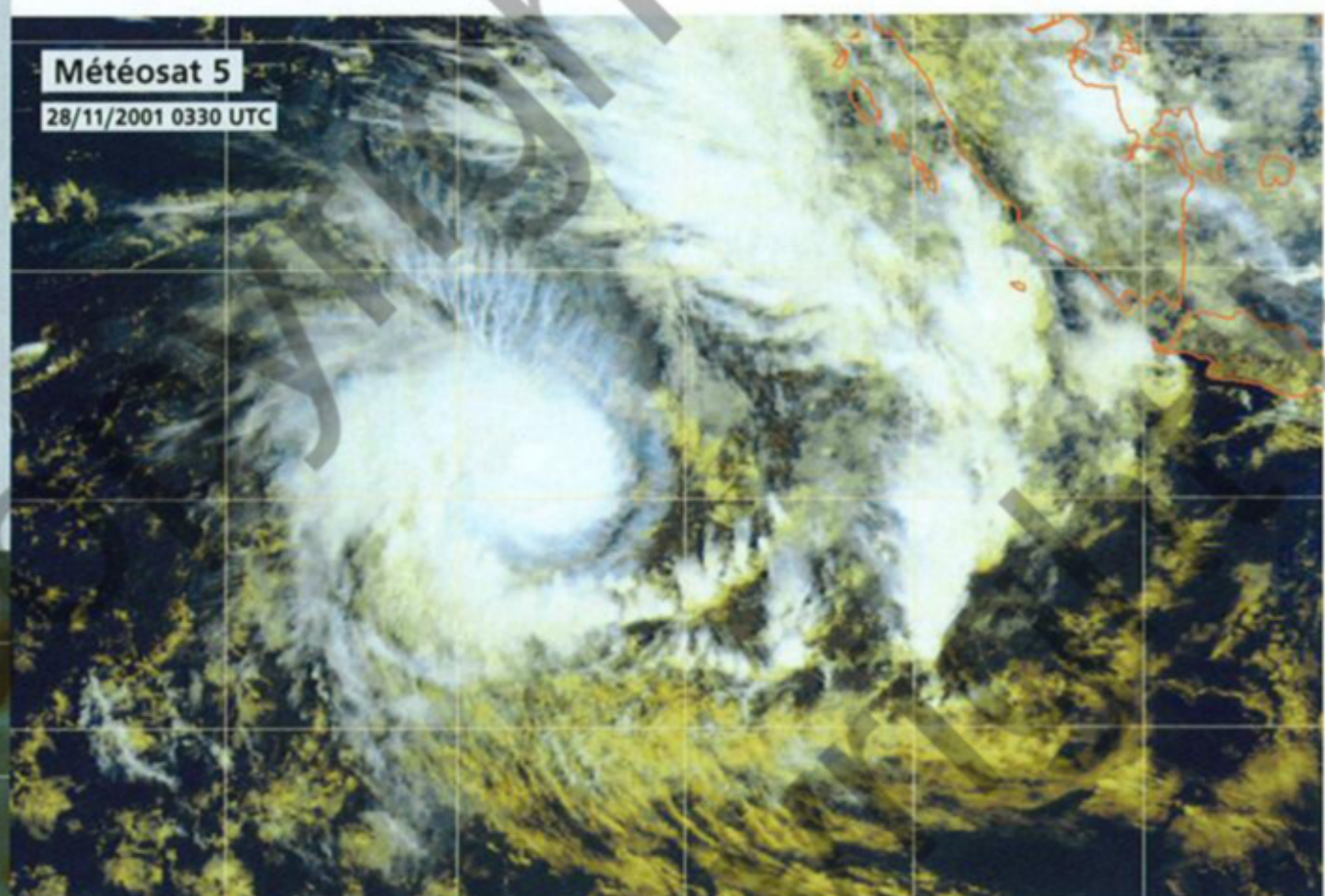
L'imagerie micro-onde confirme d'ailleurs la formation d'un œil déchiqueté en basse troposphère (clairement révélé en canal 37 GHz). Les vents maximaux autour du centre atteignent, selon toute probabilité, de nouveau la force de la tempête dès le début de journée du 1 r décembre et BAKO est reclassé en conséquence en

forte tempête tropicale. Le minimum dépressionnaire est alors sur le point de franchir le 15  parallèle Sud. Ayant sensiblement ralenti, il a également changé de cap, incurvant en direction du sud-ouest.

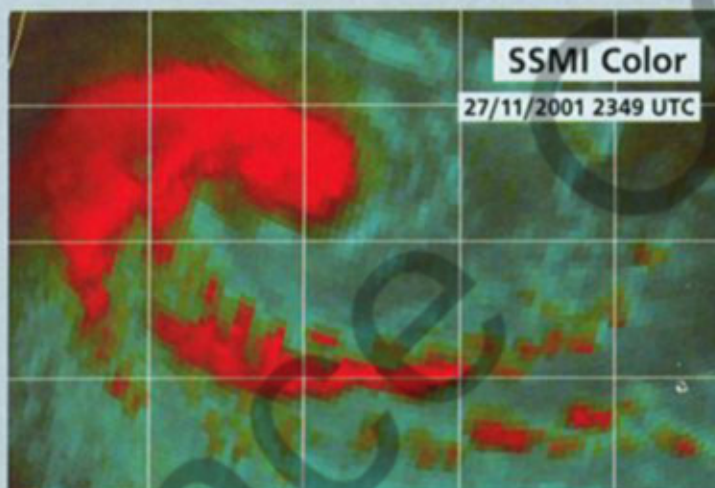
Mais au matin du 2, BAKO oblique en direction du sud-est, revirement de trajectoire quelque peu surprenant que la plupart des modèles numériques n'avait pas prévu. Dans le même temps où le



Cyclogenèse du futur cyclone BAKO au large des côtes de l' le indonésienne de Sumatra. La configuration nuageuse présente une similarité évidente avec celle affichée un mois plus tôt par les prémices d'ALEX/ANDRE (voir image page 15).  
Cyclogenesis of to become tropical cyclone BAKO off the Indonesian Island of Sumatra. The cloud pattern looks strikingly similar to the one displayed one month earlier by the incipient ALEX/ANDRE (see page 15).



Configuration nuageuse classique de type CDO (amas nuageux central dense), pour la forte tempête tropicale BESSI au moment de son premier pic d'intensité.  
Typical CDO(Central Dense Overcast) cloud pattern for severe tropical storm BESSI when at first intensity peak.



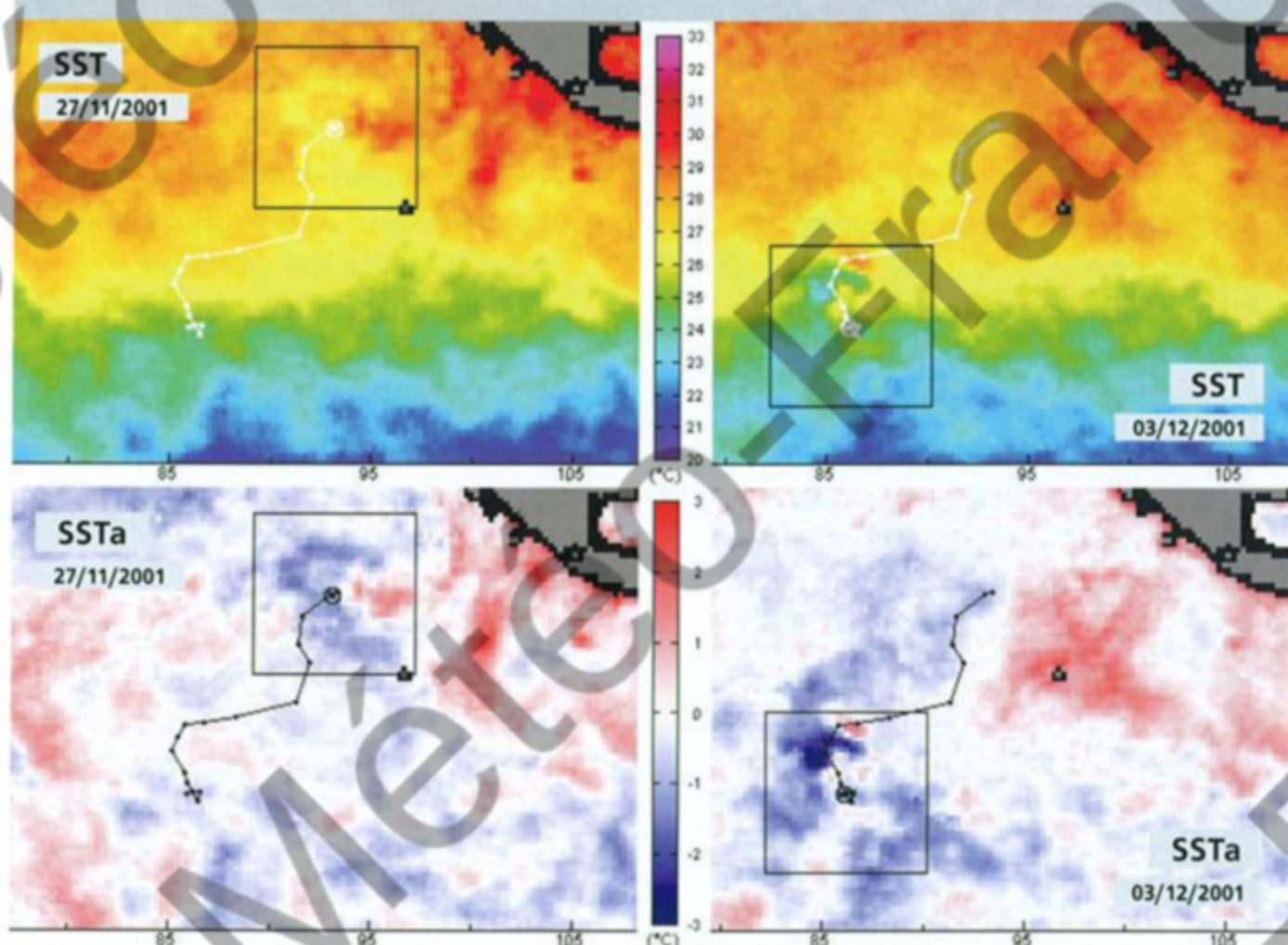
météore semble ainsi venir « buter » sur un obstacle virtuel et « rebondir » sur le 85<sup>e</sup> méridien Est, il est sur le point de franchir le seuil de cyclone tropical. Un œil en bande s'est, en effet, constitué en fin de nuit précédente et tente – difficilement – de se « refermer », ce qu'il parvient à faire en fin de journée, mais de manière éphémère. Ce moment correspond au maximum d'intensité du phénomène, qui en fait un cyclone tropical de premier niveau, c'est-à-dire associé à des vents maximaux moyens sur 10 min approchant les 125 km/h, pour des rafales maximales de l'ordre de 175 km/h.

Le courant de nuit du 2 au 3 décembre marque le début de la phase d'affaiblissement de BAKO. Deux causes principales vont se conjuguer pour provoquer cet affaiblissement.

Il y a tout d'abord la trajectoire de la perturbation : jusqu'en matinée du 3, le cyclone demeure quasi-stationnaire au voisinage du 17<sup>e</sup> parallèle Sud. Alors qu'il évolue sur des eaux encore marginalement chaudes en ce début de saison cyclonique (à peine plus de 26 °C en surface), le refroidissement significatif de la surface océanique sous-jacente que n'a, sans aucun doute, pas manqué de provoquer ce stationnement sur place, est le premier élément ayant contribué à amorcer le processus d'affaiblissement, en détruisant une alimentation énergétique déjà limitée au départ.

Mais cette cause initiale vient se doubler rapidement d'une seconde, à l'impact tout aussi néfaste pour BAKO, à savoir un renforcement du cisaillement vertical de vent (de nord-ouest) en marge sud-ouest de la dorsale d'altitude où évolue désormais la perturbation. La configuration nuageuse affichée en journée du 3 signe d'ailleurs sans ambiguïté la réalité de ce début de cisaillement.

Déclassée en forte tempête tropicale en début d'après-midi du 3, BAKO redémarre au même moment en direction du sud-est, à la faveur d'un affaiblissement des hautes pressions subtropicales, consécutif au transit d'un talweg atténué aux moyennes latitudes. Mais il ne s'agit là que d'un épiphénomène très transitoire et, dès la fin de nuit suivante, BAKO, qui continue de se combler et n'est désormais plus qu'une tempête tropicale modé-



Ces cartes montrent les évolutions des champs de températures (SST) et d'anomalies de températures (SSTa) de surface de la mer entre le 27 novembre et le 3 décembre. Noter le refroidissement substantiel généré par le passage de BAKO au sud de 15°Sud et excédant 3°C dans la zone où il a stationné sur place, au moment de son pic d'intensité entre le 2 et le 3 décembre. Ce faisant, le cyclone a fait chuter la température de surface de la mer bien au-dessous du seuil critique de 26°C, « autodétruisant » son alimentation énergétique et contribuant ainsi à initier son processus d'affaiblissement.

On these maps showing the evolutions of sea surface temperature (SST) and SST anomalies (SSTa) between 27th November and 3rd December, one can notice the significant cooling of the underlying ocean that was generated by BAKO when evolving south of 15°South. The small area of maximum SST drop (with around 3°C maximum fall) corresponds to BAKO's aftermath when it made a standstill at peak intensity between 2nd and 3rd December. By cooling the SST well below the critical threshold of 26°C, BAKO initiated its own decaying phase through self-destruction of its energy supply (data courtesy RSS).

south of latitude 14°South. Now definitely in the SouthWest Indian Ocean, BESSI changed name and became BAKO in the morning of 30 November.

By a casual coincidence this change of identity was to mark the start of a second life cycle for the disturbance. Still subject to a moderate but decreasing windshear, its intensity had settled at the stage of moderate tropical storm on the 29th. Yet, as it approached latitude 15°South, BAKO had been getting closer to the upper ridge axis which was roughly positioned at this latitude, and was thereby benefiting from a virtually nonexistent vertical windshear. These much improved environmental conditions logically resulted in the onset of the re-intensification of the system.

And so, in the course of the 30th, the convection re-developed as a CDO (Central Dense Overcast) above the depression centre. The next day, the convection became more spotty, disclosing BAKO's centre and a big part of related low-level vortex whose tightly wound structure nonetheless denoted a definite increase in vorticity compared to the previous day. The microwave imagery confirmed this impression as depicting the

formation of a ragged eye in the low troposphere (clearly revealed on channel 37 GHz). Maximum winds around the centre very likely reached storm force once again in the early morning of 1st December and consequently, BAKO was classified again as a severe tropical storm. The low centre was about to cross latitude 15°South. Having decelerated a lot, it also changed path and curved southwestward.

In the morning on the 2nd though, BAKO turned off towards the southeast, a somewhat surprising tacking that most numerical models had not forecast. As the meteor was seemingly "bumping" into a virtual obstacle and "rebounded" on longitude 85°East, it was about to cross the threshold of tropical cyclone stage. A banding eye had indeed formed at the end of the previous night, struggling to close up, which it finally managed to do by the end of the day, but only for a short while. That moment corresponded to the intensity peak of the phenomenon levelled up as a first class tropical cyclone, i.e. related to 10-min maximum average winds nearly reaching 125 km/h for maximum gusts of about 175 km/h.

The following night marked the start of BAKO's weakening phase. Two main reasons combined to draw forth this weakening of the system. First, the

path of the disturbance: until morning 3rd December, the cyclone remained nearly at a standstill near latitude 17°South. Since it progressed on waters that were still marginally warm for that inceptive cyclone season (sea surface temperature barely reached 26°C), the significant cooling of the underlying ocean that the cyclone's standstill doubtlessly generated, was the first contributing factor which initiated the weakening process, by destroying the - already limited at a start - energetic supply.

Then soon afterwards, this factor was joined by a second one, whose impact was just as detrimental for BAKO, i.e. a reinforced northwesterly vertical windshear on the southwest periphery of the upper ridge along which the disturbance was now travelling. The cloud configuration displayed on the 3rd December definitely confirmed the existence of the shear.

In the early afternoon on 3rd December, as BAKO was downgraded to severe tropical storm status, it started off again towards the southeast as the subtropical high weakened under the influence of a transiting trough in the mid latitudes. But this was only a transient situation and by the end of the following night, BAKO, which was still filling up and from now on had turned into a mere moderate tropical storm, was once again stopped in its progression by the subtropical high. It started moving erratically, its low centre making a small loop on the spot on 4th December.

Ahead of a longwave trough whose axis stood at the level of the MASCARENES Islands, the northwesterly current strengthened further in altitude, causing the residual convection to volatilise in the middle of the night of the 4th. In the morning of the 5th, only an entirely exposed low clouds vortex abided around the low centre. A wide cloud band connecting aslant in its southern to southeastern sectors, corresponded to the residual zone of strong winds which were still generating gale force by gradient effect with the subtropical anticyclonic cell present in the south. In the next 24 hours, ex-BAKO gained some speed and moved deeper into the south, with the result of maintaining a significant pressure gradient with the subtropical high. In the middle of the day on 6 December, a new change of path occurred, westwards this time, yet with no vigorous steering flow at first. Another 24 hours had to elapse before the low centre, now definitely in its filling phase, was caught again in the east-northeasterly trade winds flow which circulated on the septentrional side of the subtropical anticyclone. On 9 December, the depression system entered its final dissipating phase within the tropical domain.

rée, se retrouve de nouveau bloqué dans sa progression par la barrière des hautes pressions subtropicales. Son déplacement devient à nouveau erratique, le minimum dépressionnaire effectuant une petite boucle sur place le 4 décembre.

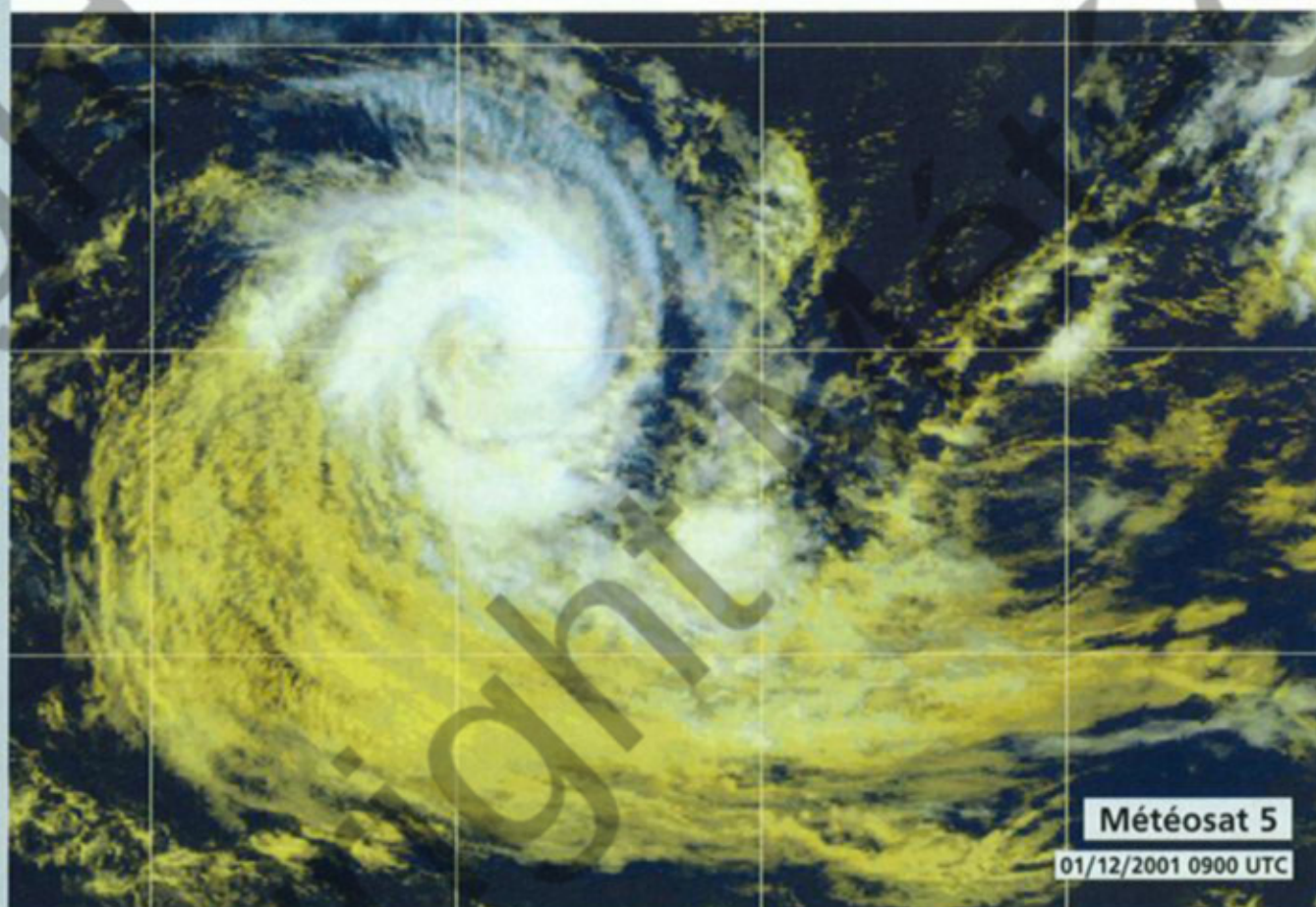
En marge orientale d'un large talweg de grande longueur d'onde axé au niveau des MASCAREIGNES, le courant de nord-ouest se renforce encore en altitude, faisant se volatiliser les restes de convection encore présents en milieu de nuit du 4 au 5.

Au matin du 5 décembre, ne subsiste plus autour du centre dépressionnaire qu'un vortex de nuages bas entièrement exposé. Lui est rattaché, dans son secteur sud à sud-est, une bande nuageuse assez large, où se concentre la zone de vents forts résiduelle, qui, par effet de gradient avec la cellule anticyclonique subtropicale pré-

sente au sud, génère encore du coup de vent.

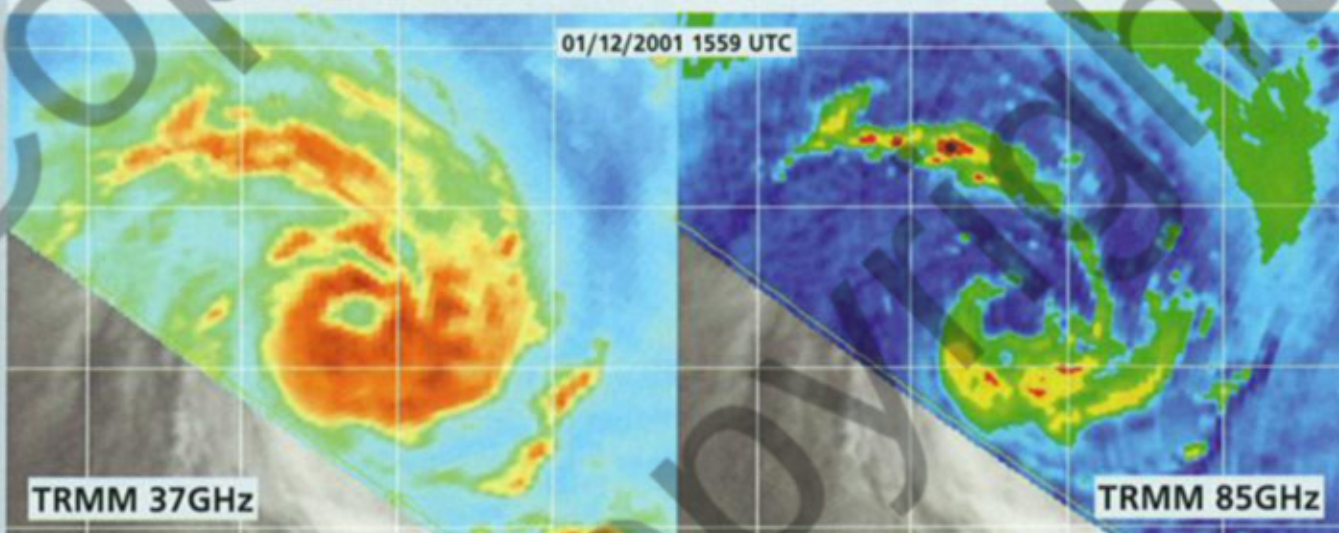
Reprenant un peu de vitesse, l'ex-BAKO s'enfonce un peu plus vers le sud au cours des 24h suivantes, avec pour effet de maintenir un gradient de pression significatif avec les hautes pressions subtropicales.

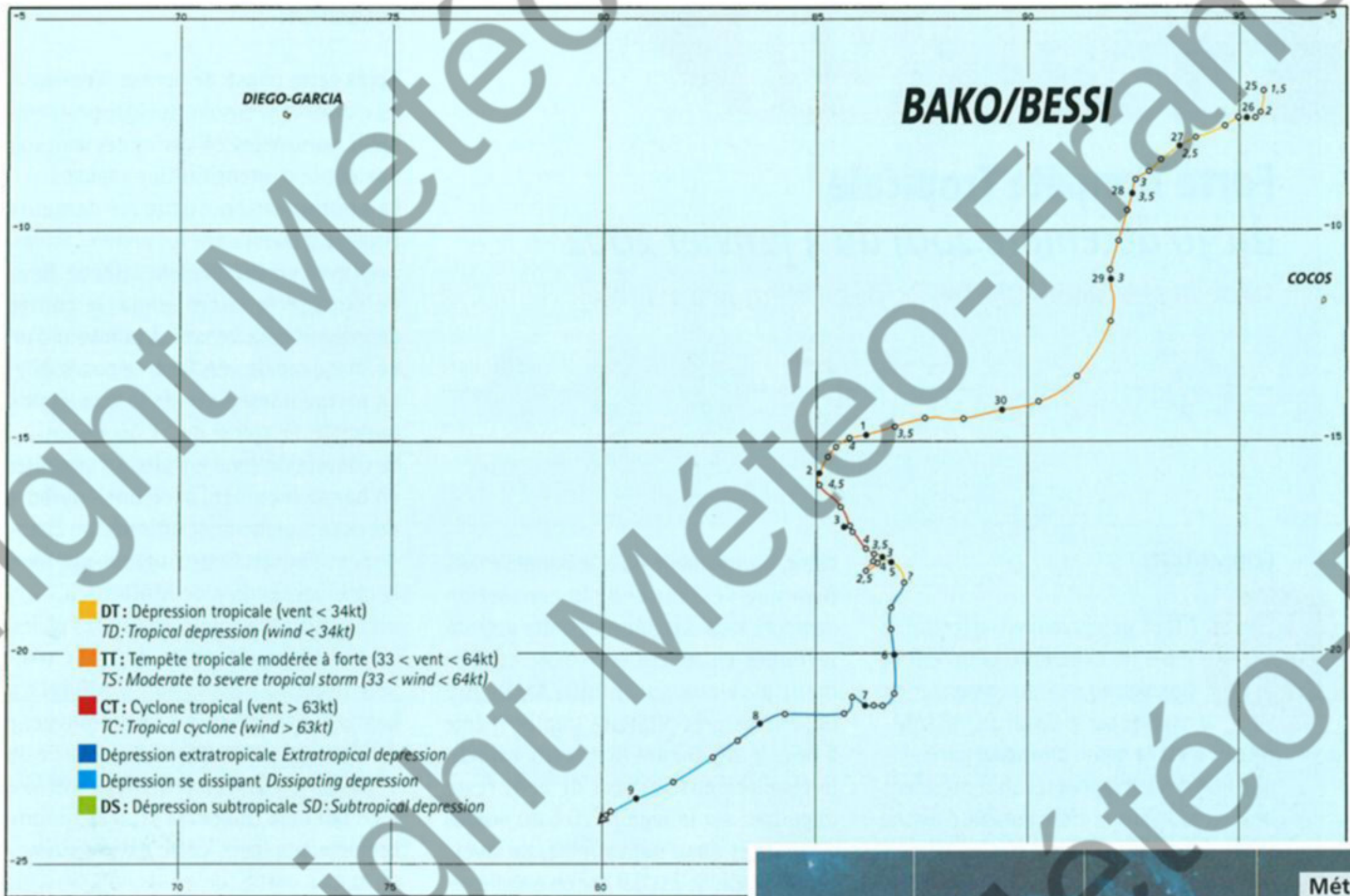
En milieu de journée du 6, un nouveau changement de trajectoire intervient, en direction de l'ouest cette fois, sans pour autant que le flux directeur ne se montre très vigoureux dans un premier temps. Il faut attendre encore 24h pour voir le minimum dépressionnaire, désormais en phase de comblement, réellement repris dans le courant d'alizé d'est-nord-est qui circule en marge septentrionale de l'anticyclone subtropical. Le 9, le système dépressionnaire entre en phase de dissipation terminale au sein du domaine tropical.



BAKO au stade de forte tempête tropicale. La convection profonde ne recouvre que partiellement le vortex de nuages bas et moyens, laissant clairement apparaître le centre de la circulation dépressionnaire, qui s'apparente à un œil de basse troposphère, comme le canal micro-onde 37 GHz de l'orbite TRMM acquise la nuit suivante le fait bien apparaître.

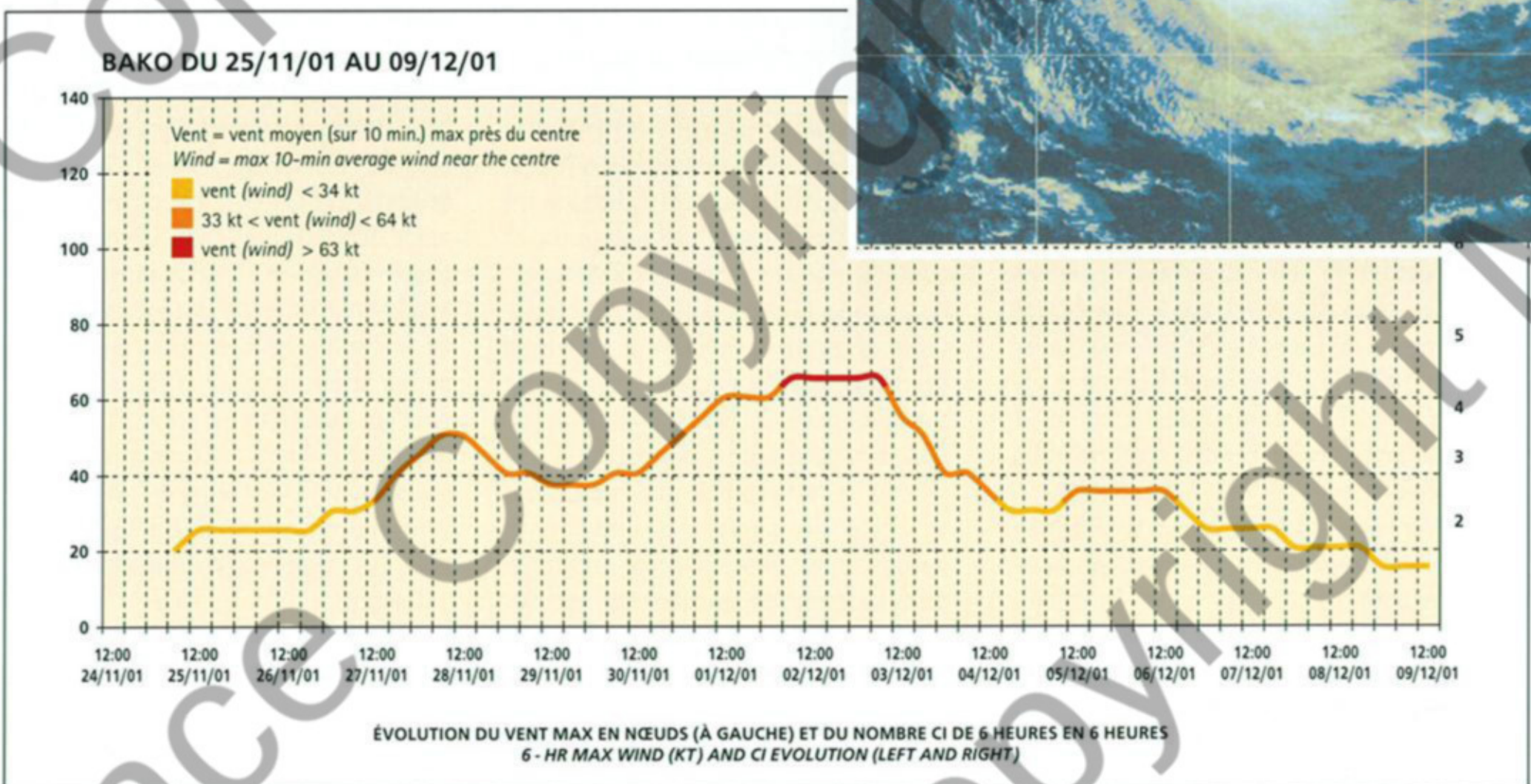
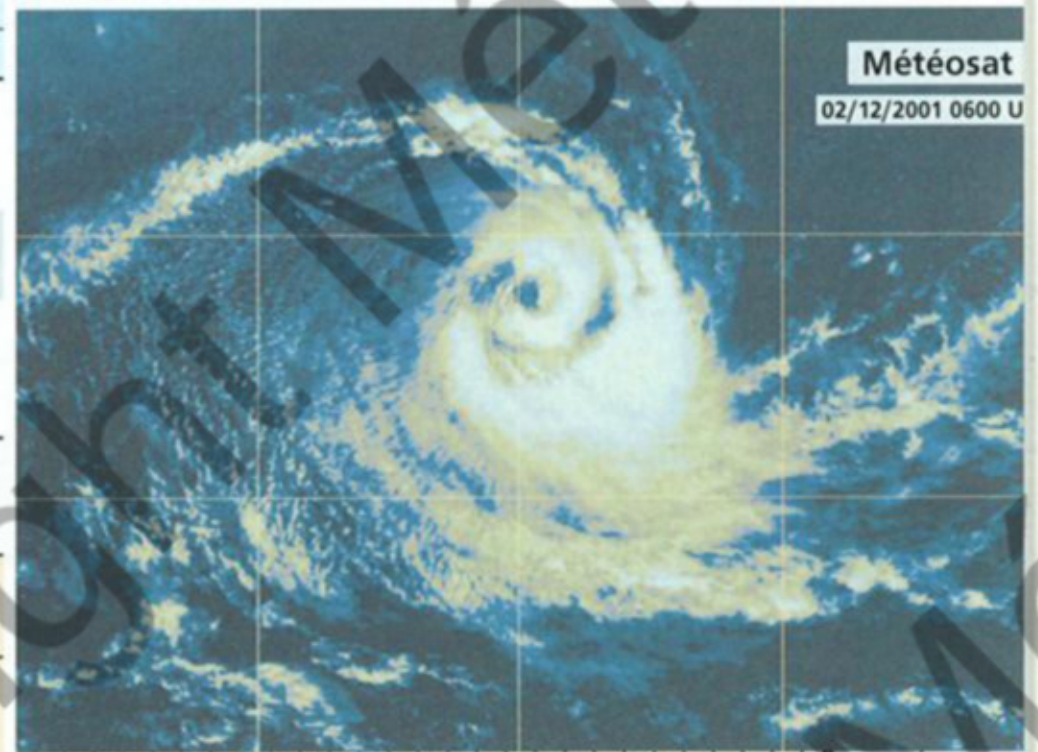
BAKO at severe tropical storm stage. The deepest convection remained spotty, thus unveiling most of the low and mid-level cloud vortex within which the low-level circulation centre was clearly discernible. As an eye-like in the lower troposphere it was even more nicely depicted on the microwave imagery of the TRMM swath acquired the following night (in the 37 GHz channel which is more sensitive to the rainbands in the lower levels).





Météo France - Centre des cyclones tropicaux de la Réunion

BAKO au stade minimal de cyclone tropical.  
BAKO at the very first level of tropical cyclone stage.



# Cyprien

## Forte Tempête Tropicale du 30 décembre 2001 au 3 janvier 2002

*Severe Tropical Storm "Cyprien" (30 December-03 January 2002)*

### FORMATION

**I**l faut généralement attendre le mois de décembre pour voir le flux de mousson commencer de s'installer sur le Canal de MOZAMBIQUE. C'est la raison principale qui explique que des cyclogenèses sont rarement observées avant le changement d'année sur le Canal. Et celles qui surviennent en décembre se produisent souvent en interaction, ou consécutivement, à des passages de talweg des moyennes latitudes sur le Sud du Canal de MOZAMBIQUE. La cyclogenèse du futur CYPRIEN en constitue une belle illustration.

En cette fin d'année 2001, un front froid va remonter très nord au sein du Canal, presque jusqu'au 20° parallèle. Balayant la côte sud-africaine du Natal le jour de Noël, il gagne le MOZAMBIQUE le lendemain 26 décembre. Phénomène assez classique pour ces fronts froids tardifs de printemps, il tend à se réactiver au contact de l'air chaud ramené, le long des côtes africaines, par le flux de nord présent du côté tropical. Il s'ensuit la formation d'une zone de convection modérée associée à une faible circulation dépressionnaire, centrée sur terre initialement, puis sur mer à compter du 27. Alors que la limite frontale se désagrège ensuite rapidement, la convection va elle perdurer.

Pendant les trois jours qui suivent, du 27 au 29, la circulation dépressionnaire se maintient sans se creuser, avec un minimum de basses pressions associé qui reste positionné non loin de la côte mozambi-

caine, au voisinage du 20e parallèle sud. Bien que l'essentiel de la convection demeure localisée sur mer, cette activité perturbée entretient un temps modérément pluvieux sur le MOZAMBIQUE (92 mm de précipitations tout de même à Beira le 28). Durant toute cette période, le cisaillement vertical de vent reste important sur la région (20 à 30 nœuds d'ouest) et donc défavorable. La divergence d'altitude est par contre excellente, tandis que la convergence de basses couches tend à se renforcer, suite à l'arrivée d'une cellule anticyclonique sur le Sud du Canal de MOZAMBIQUE et à la poussée d'alizé induite, le 29.

La convection, dopée par cette convergence accrue, se renforce de manière plus marquée dans la nuit du 29 au 30 décembre, avant de s'affaïsser quelque peu en journée, par cycle diurne classique. Un vortex convectif de méso-échelle ainsi généré est expulsé rapidement vers l'ouest, pénétrant sur terre au nord de Beira avant de se dissiper. L'activité nuageuse et convective tend ensuite à se décaler vers l'est, plus vers le centre du Canal. Un nouveau noyau de convection profonde se développe dans la partie ouest de cette zone perturbée, dans la nuit du 30 au 31. Malgré la contrainte cisailée d'ouest persistante, le minimum de basses pressions va, cette fois, parvenir à se maintenir davantage en phase avec ce maximum de convection, permettant son creusement. De fait, la baisse continue du champ pression observée depuis deux jours se poursuit, amenant à classer la perturbation en dépression tropicale dans l'après-midi du 31 décembre.

### ÉVOLUTION

Après cette phase de genèse laborieuse, les choses vont ensuite quelque peu s'emballer, puisque les 24h suivantes vont voir une phase d'intensification rapide.

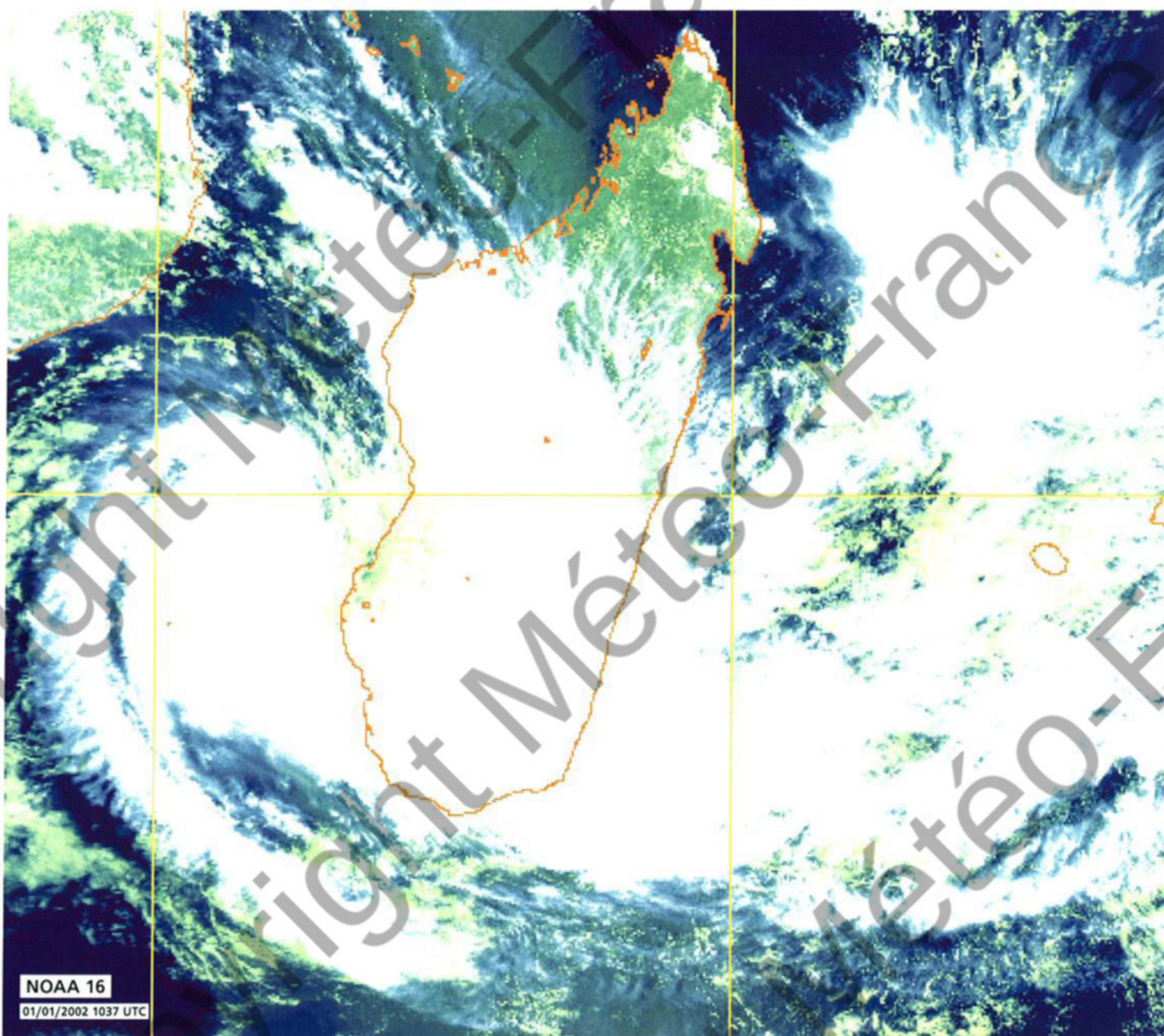
La configuration nuageuse demeure cisailée d'ouest dans un premier temps, mais avec un cisaillement atténué au vu de l'imagerie micro-onde, le centre dépressionnaire venant, à la faveur d'un décalage rapide vers l'est, se positionner en marge immédiate de la convection profonde, en soirée du 31 décembre.

La convection tend ensuite à s'organiser en bande incurvée, avec une courbure devenant rapidement affirmée au changement d'année. Cette bande aborde alors la côte occidentale de MADAGASCAR, y occasionnant les premières fortes pluies, au sud du Cap St-André. Devenue tempête tropicale dans la nuit, CYPRIEN est baptisée par le Service Météorologique de Madagascar en milieu de matinée du 1<sup>er</sup> janvier 2002. À cette heure, le météore a en fait déjà franchi le seuil de la forte tempête tropicale, cette assertion s'appuyant en partie sur les données de vents diffusométriques issues de l'orbite matinale QuikScat, qui ont contribué à une meilleure évaluation de l'intensité du phénomène, en sus de permettre de mieux appréhender la structure du champ de vents associé.

Avec ce creusement rapide (au rythme de près d'un hectoPascal par heure sur les dernières 24h), CYPRIEN devient une menace sérieuse pour MADAGASCAR. Fort heureusement les conditions de développement cessent rapidement d'être aussi favorables et l'intensification est stoppée dès le début d'après-midi. La tempête va toutefois parvenir à se maintenir à son maximum d'intensité durant un peu plus de 24h, soit quasiment jusqu'au moment de son atterrissage sur la côte malgache. Avec un minimum de pression estimé à 980 hPa, les vents maximaux sont de la force tempête (de l'ordre de 100 km/h en vents moyens sur 10 min - 55 nœuds -, pour des rafales sur mer approchant les 150 km/h).

Les nuages d'altitude et la convection s'amenuisant en cours de journée, la structure du météore se dévoile clairement, avec un vortex nuageux central d'environ 300 km de diamètre, dans les





Un nouvel an perturbé sur le Canal de MOZAMBIQUE et l'ouest de MADAGASCAR. La forte tempête tropicale CYPRIEN est à son maximum d'intensité et se rapproche de l'île Rouge. Les masses nuageuses liées à sa circulation dépressionnaire génèrent déjà localement de fortes pluies sur la Grande Ile, en particulier dans la région au sud du Cap St-André. La belle structure en bande incurvée affichée (bande qui effleure l'île d'Europa) s'accompagne d'un magnifique arc de cirrus dans les secteurs ouest à sud du météore, matérialisant spectaculairement le puissant canal d'évacuation du flux sortant d'altitude existant du côté polaire.

**A new year's day of disturbed weather for the MOZAMBIQUE Channel and western MADAGASCAR.** The severe tropical storm CYPRIEN is at peak intensity while bearing towards the Red Island. Orbiting around it, active outer cloudbands have already started to bring local heavy rains on the Great Island (especially in the southern sector of Cape St-André. Besides the nice curved band pattern displayed (skimming Europa Island) one can notice the magnificent cirrus bow blowing off in the western and southern sides of the meteor, thus materialising the existing powerful poleward outflow channel.

secteurs sud et ouest duquel, une bande spiralée relativement étroite de convection converge vers le centre de la circulation dépressionnaire, matérialisé par une petite plage de nébulosité moindre. Depuis la matinée, CYPRIEN a incurvé en direction du sud-est, se déplaçant à une vitesse moyenne d'environ 15 km/h. À mesure qu'il s'éloigne du 20<sup>e</sup> parallèle, le flux d'altitude, désormais orienté au nord-ouest, qui gouverne son déplacement, se fait plus virulent et génère un cisaillement vertical de vent accru. Ce renforcement du cisaillement ne tarde d'ailleurs pas à se signaler visuellement de manière explicite sur l'imagerie satellitaire, via la formation d'un arc de cirrus autour de la

#### FORMATION

*It is usually not until December that the monsoon flow start settling over the MOZAMBIQUE Channel. This is one of the main reasons why any cyclogenesis is hardly ever observed over the Channel before the change of year. And those that occur in December often happen in interaction or as a result of passing mid-latitudes troughs on the southern MOZAMBIQUE Channel. The cyclogenesis of to-be CYPRIEN was a good illustration of this.*

*At the end of the year 2001, a cold front came up very deep into the centre of the Channel, nearly at a rather low latitude of 20°S. After brushing the south African coast from Natal on*

*Christmas Day, it reached MOZAMBIQUE the next day, 26th December. A rather usual phenomenon for those late spring cold fronts, it reactivated when contacting warm air brought back along the African coast by the northerly flow present on the tropical side. Then followed the formation of a moderate convection zone in conjunction with a weak clockwise circulation initially centred inland then on the sea from the 27th. While the frontal boundary soon disintegrated, the convection endured. For the ensuing three days from 27 to 29 December, the clockwise circulation held on without deepening with a low pressure minimum which remained positioned not far from the MOZAMBIQUE Coast, near latitude 20°S. Although most of the convection stayed*

over the sea, that disturbed activity supported moderately rainy conditions on MOZAMBIQUE (as much as 92 mm in Beira on 28th though). Throughout that period the vertical wind shear remained strong over the region (20 to 30 knots from a westerly direction) and thus unfavorable. On the other hand, the upper divergence was excellent while the low-level convergence was on a reinforcing trend in consequence of the arrival of an anticyclonic cell on the southern MOZAMBIQUE Channel and the induced trade winds surge on 29th. Boosted by the increased convergence, the convection strengthened further during the night of 29 December before sinking a little in the day through classic diurnal cycle. A meso-scale convective vortex was thus generated but quickly expelled towards the west penetrating inland north of Beira before dissipating. The cloud and convective activity then tended to shift eastwards further towards the centre of the Channel. A new core of deep convection developed in the western part of the disturbed area in the night of the 30th. Despite the persisting westerly shear constraint, the low centre managed this time to keep in phase with this feature of strongest convection thereby enabling its deepening. In fact, the continuous fall of the pressure field observed over the past two days went on, leading to the upgrading of the disturbance as a tropical depression in the afternoon of 31st December.

## EVOLUTION

After this laborious genesis, things tended to get a little out of hand with a rapid intensification phase occurring in the next 24 hours. The cloud configuration remained sheared from the west to start with, but with a lessening shear trend according to the microwave imagery, as the low centre swiftly shifted eastward and thence came in close contact with the deep convection in the evening of new year's eve. Then the convection tended to organise into a curved band with a curvature becoming rapidly pronounced in the change of year. The band was by this time reaching the west coast of MADAGASCAR causing the first heavy rains south of Cape Saint-André. As it had turned into a tropical storm during the night, CYPRIEN was named by the Meteorological Services of Madagascar in the middle of the morning of 1st January 2002. At that time, the meteor had actually already crossed the threshold of a severe tropical storm as asserted by the scatterometer data of the morning's QuikScat swath which contributed to a better assessment

of the phenomenon's intensity in addition to allowing a better capture of the related wind field.

With such a quick deepening (at a rate of nearly one hPa per hour over the last 24 hours), CYPRIEN became a serious threat to MADAGASCAR. Fortunately, the developing conditions soon stopped being so favorable and the intensification came to a hold in the early afternoon. The storm managed to maintain its peak of intensity for more than 24 hours though, i.e. nearly until the system had landed on the Malagasy coast. With a central pressure estimated at 980 hPa, highest winds were of storm force (about 100 km/h in 10-min average winds - 55 knots - with gusts nearing 150 km/h on sea).

As the upper clouds and the convection weakened in the course of the day, the meteor's structure became clear displaying a central cloud vortex of about 300 km in diameter in the southern and western parts from which a rather narrow convective spiral band converged towards the centre of the low circulation identified as a small area of lesser cloudiness. Since morning, CYPRIEN had been recurving southeastward while travelling at an average speed of about 15 km/h. As it kept moving away from latitude 20°S, the steering upper flow, now looking northwesterly orientated, was becoming stronger thus causing increasing shear. The enhanced shear soon showed up on the satellite picture through the formation of a cirrus bow around the disturbance on the leeward side of the upper flow (a classic pre-shear signature). The announced wind shear of the disturbance was soon to materialise. After a last burst of convection near the core during the night, the destructive effects of the shear became obvious on 2nd January at dawn while the meteor was entering its final approaching phase to the southwest Malagasy coast: the dismantled convection staggered away from the centre into the southeast part of the clockwise circulation, soon unveiling the centre of the low level vortex exposed outside the residual convection. This centre had just come closest to the seaside town of Morombe some 30 km southwest. Considering the satellite picture it could be asserted that the locality had been approached by the radius of maximum winds. The extreme parameters observed at the Morombe Meteorological Station (989 hPa of minimum sea level pressure, maximum winds of storm force - 52 knots of mean winds at 04 UTC, i.e. 96 km/h), corroborated the assumed intensity of the storm which at the time, was still at its peak of intensity (considering the inertia of the surface

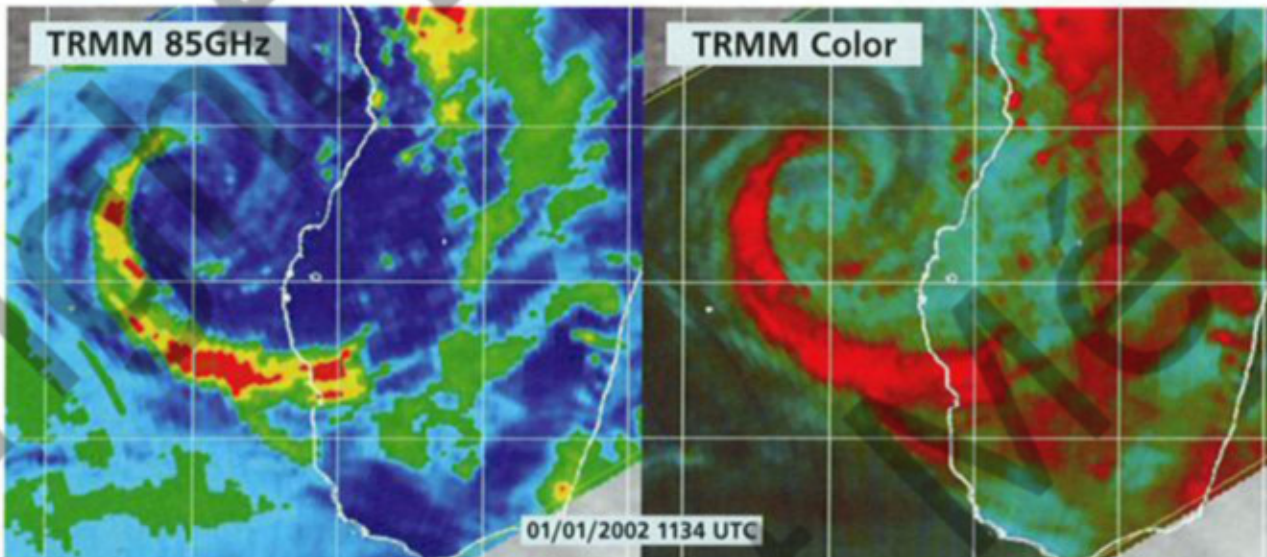
perturbation, du côté « au vent » de ce flux d'altitude (signature classique de pré-cisaillement).

Ce cisaillement annoncé de la perturbation, va effectivement se réaliser. Après une dernière bouffée de convection près du centre dans la nuit, les effets destructeurs du cisaillement deviennent patents à l'aube du 2 janvier, alors que le météore entre en phase finale d'approche de la côte sud-ouest malgache : la convection se disloque et est rejetée dans le secteur sud-est de la circulation dépressionnaire. Le centre du vortex de basses couches apparaît peu après, clairement exposé hors de la convection résiduelle. Il vient de passer au plus près de la ville côtière de Morombe, à environ 30 km au sud-ouest. Au vu de l'imagerie satellitaire, on peut estimer que la localité a été approchée par le rayon des vents maximaux. Les paramètres extrêmes qui ont été observés à la station météorologique de Morombe (989 hPa de pression mer minimale, vents maximaux de la force tempête - 52 nœuds de vent moyen à 04 UTC, soit 96 km/h), confortent l'intensité supposée de la perturbation, encore au maximum de son intensité à ce moment-là (compte tenu de l'inertie du champ de vents en surface, par rapport à l'affaiblissement observé sur l'imagerie satellitaire). La rafale maximale indiquée par la station a culminé à 180 km/h (98 nœuds). Ce maximum de vents a été précédé de fortes pluies, avec 108 mm recueillis en 6h (pour 139 mm en 24h et 173 mm en 48h). Poussée par les vents de nord-ouest et la marée de tempête, la mer a envahi la bordure littorale, et s'il n'y a eu aucune victime, 150 habitations ont été détruites, faisant 900 sinistrés. Le minimum dépressionnaire pénètre sur terre en deuxième partie de matinée, mais, ayant adopté un déplacement sud-sud-est, sa trajectoire épouse quasiment le contour du littoral pendant plusieurs heures. Il se dirige ainsi vers la ville de Tuléar, qu'il n'atteindra finalement pas, obliquant de manière relativement abrupte en direction du nord-nord-est, à une cinquantaine de km au nord. Bien qu'ayant commencé de se combler, il n'en est pas moins encore associé à des vents violents, tout spécialement dans son secteur sud, d'où des vents encore plus virulents qu'à Morombe ressentis à Tuléar en

soirée (excédant 55 nœuds en vents moyens, le rapport annuel de la météo malgache faisant même état d'une rafale maximale de 219 km/h). De fortes pluies s'abattent également dans tout le secteur sud-ouest de la Grande Ile : 121 mm sont recueillis en 12h à Tuléar (pour 140 mm en 24h et 162 mm en 48h). Si aucune perte en vies humaines n'est également à déplorer, les dégâts matériels

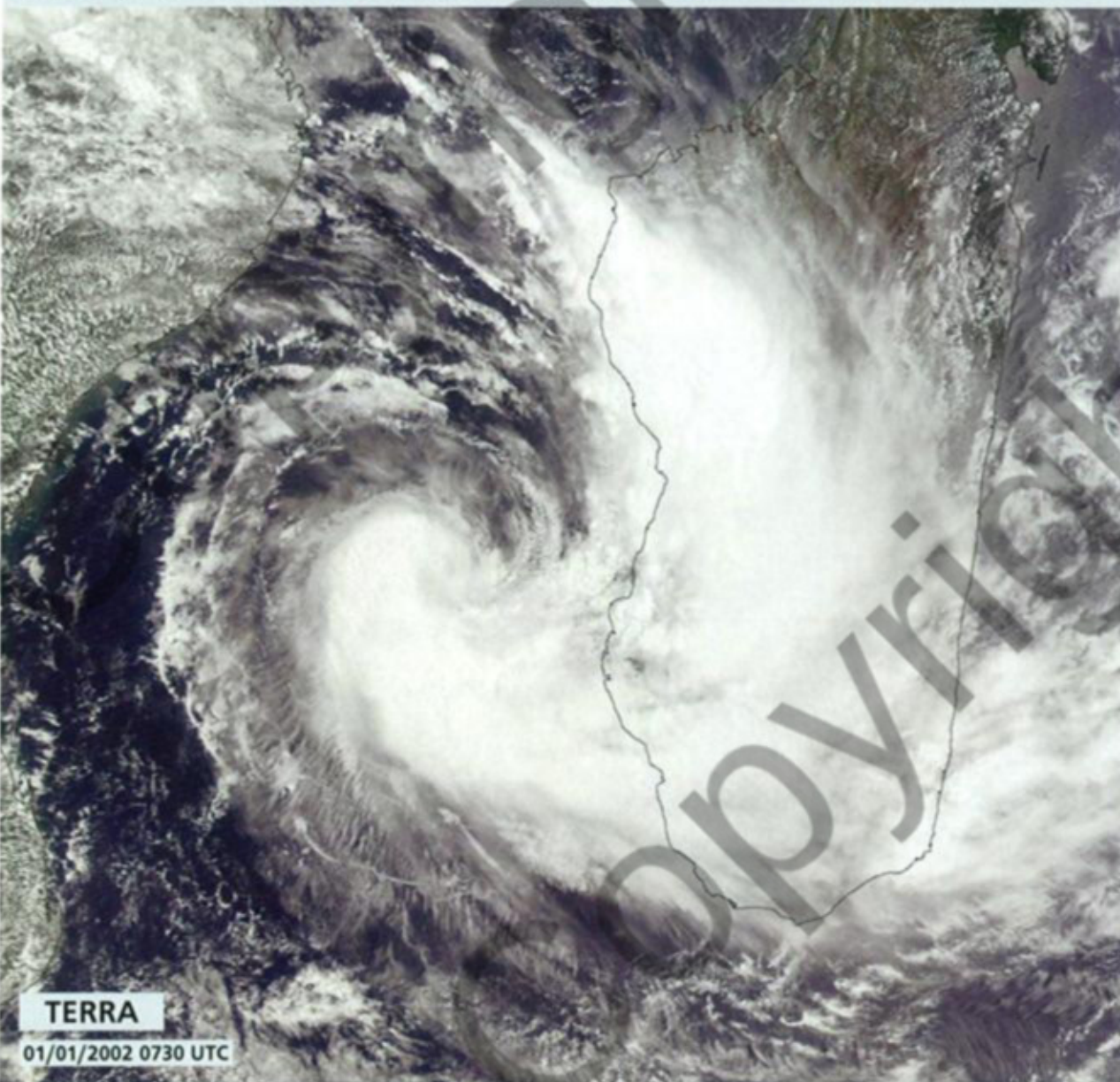
sont importants (180 maisons endommagées, laissant plus de mille personnes sans abri).

Les vents faiblissent ensuite au fil de la nuit. Repoussée en direction du nord-nord-est par une cellule anticyclonique gagnant au sud de MADAGASCAR, la dépression poursuit sa route sur terre et se comble progressivement. Le centre de basses couches demeure encore bien



La structure en bande incurvée de CYPRIEN (peu après son maximum d'intensité) telle que vue par l'imagerie micro-onde TRMM (images à comparer avec la vision classique d'une composition colorée de canaux visible et infrarouge - page 23).

The curved band pattern of CYPRIEN (a little while after reaching peak intensity) as seen by the microwave imagery of TRMM (to compare with the classical vision of a colour composite of visible and infrared channels - page 23).



Parmi la panoplie de nouveaux satellites d'observations de la terre, certains bénéficient d'une résolution accrue, permettant ainsi d'appréhender les détails des éléments nuageux avec une finesse inégalée, comme on peut le voir ici sur cette image de CYPRIEN prise par le satellite Terra (lancé en 1999), dont le radiomètre MODIS peut investiguer dans certaines fréquences avec une résolution de 250 m.

Among the multiple earth observing satellites recently launched, some benefited from increased resolution, thence enabling to catch the details of the cloud features with unprecedented acuteness, as can be verified on this picture of CYPRIEN acquired by the Terra satellite (launched in 1999) whose Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer (MODIS) has channels investigating with a resolution as high as 250 m.

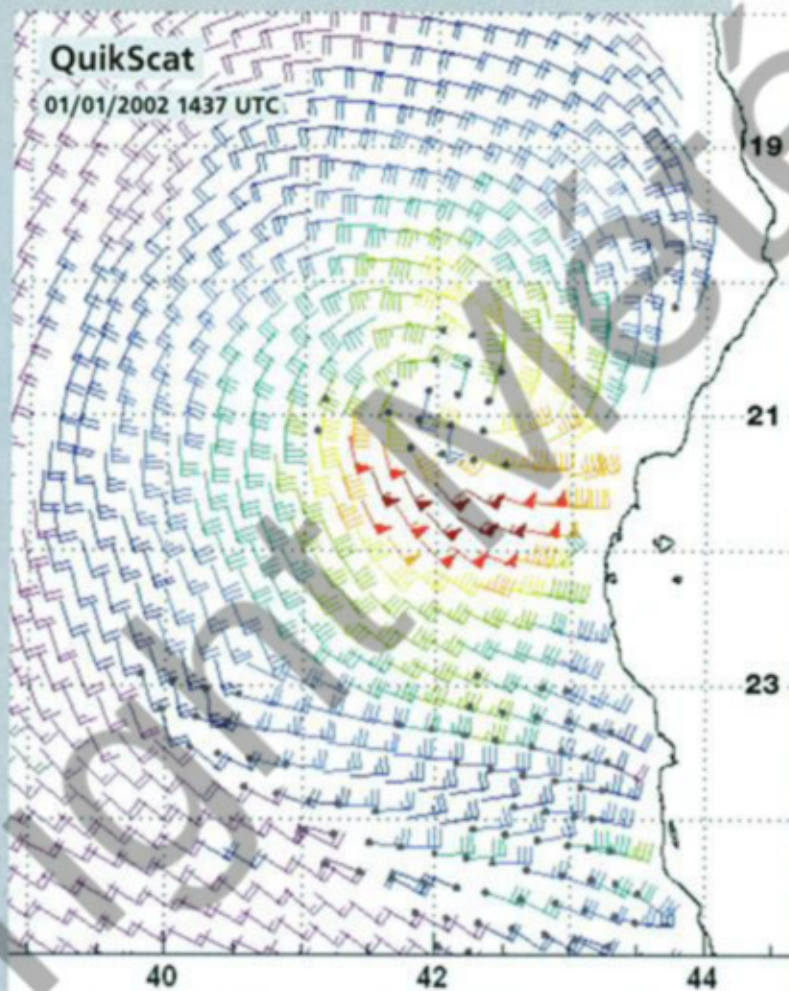
wind field compared to the weakening observed on the satellite imagery). The maximum gust recorded by the station culminated at 180 km/h (98 knots). This wind peak was preceded by heavy rain with 108 mm recorded in 6 hours (139 mm in 24h and 173 mm in 48h). Pushed forward by the northwesterly winds and the storm surge, the sea invaded the shore and even though there was no death casualty, 150 dwellings were destroyed causing 900 disaster victims.

The low centre went inland in the second part of the morning but since it was now heading south-southeastward its track skirted the shoreline for several hours. It was thus bearing towards Tuléar town which it never reached at the end, swerving abruptly north-northeastward some 50 km north. Although it had started to fill up it was still generating violent winds especially in the southern sector, hence more violent winds were felt in Tuléar than in Morombe (exceeding 55 knots in the evening in mean winds, the yearly report of the Malagasy Meteorological Services even mentioned a peak gust of 219 km/h). Heavy rain poured also in the whole southwestern part of the Great Island: 121 mm were recorded in 12 hours in Tuléar (140 mm in 24h and 162 mm in 48h). While there was no death casualty there either, material damage was significant (180 houses were damaged leaving more than a thousand people homeless).

The winds weakened thereafter throughout the night. The depression went on its way inland pushed back towards the north-northeast by an approaching anticyclonic cell south of MADAGASCAR, and filled in progressively. The low level centre remained visible on the satellite imagery for most of the day of 3rd January before dissipating the following night.

First tropical depression of the season that developed in the MOZAMBIQUE Channel, CYPRIEN turned to be also the last one, of a relatively calm season after all in that westernmost and very specific part of the SouthWest Indian Ocean cyclone basin. After CYPRIEN's episode, the Canal was indeed spared from any further disturbed activity since that season - while very active on the whole - was characterised by an activity shifted due east and focused mainly on the far eastern side of the basin. Only cyclone KESINY came to influence the northeastern part of the Channel at the very end of the season and only moderately so.

Although fortunately CYPRIEN started weakening as it approached the Malagasy coast, it still had a significant impact on the southwestern part of the Great Island causing some damage especially on the coastal area between Morombe and Tuléar.



**Amorce de cisaillement pour CYPRIEN en phase finale d'approche des côtes sud-ouest de MADAGASCAR.** Noter le changement de structure rapide, intervenu en l'espace de quelques heures, par rapport à la structure en bande incurvée préalable. Signature caractéristique de pré-cisaillement, on appréciera en particulier la présence, sur cette image infrarouge, d'un magnifique arc de cirrus du côté au vent du flux de nord-nord-ouest d'altitude à l'origine du cisaillement.

Les données de vents issues des données altimétriques d'une fauchée du satellite ERS2 concomitante, confirment par ailleurs la présence de vents de la force tempête dans le secteur sud du minimum dépressionnaire associé à CYPRIEN, ce qu'avaient déjà indiqué les données diffusométriques dérivées d'une orbite QuikScat acquise quelques heures plus tôt (ici la solution RSS).

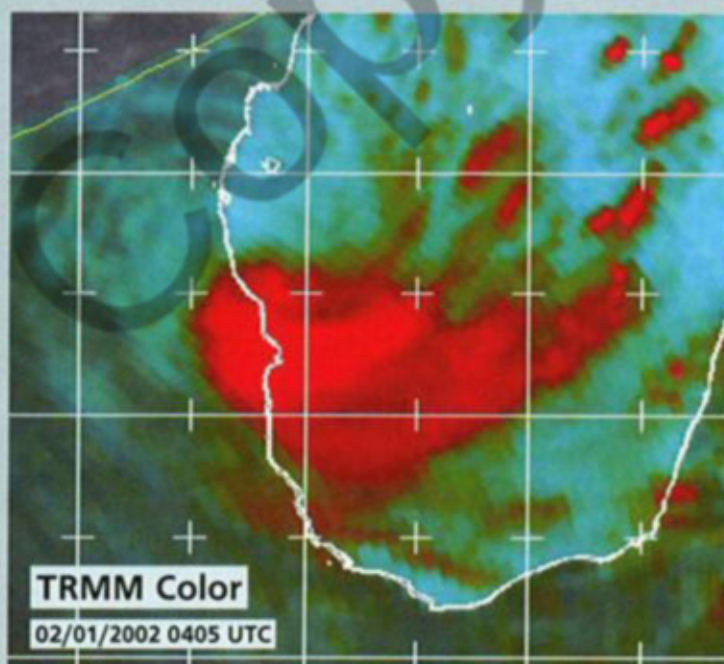
**Incipient shearing phase for CYPRIEN while approaching the southwestern Malagasy coast.** Notice the rapid structure change that had occurred in a few hours span (compared to the previous curved band pattern) and the presence on this infrared picture of a cirrus bow featuring as a typical cloud signature of pre-shearing (on the leeward side of the north-northwesterly upper stream responsible for the shear).

Besides of that, the wind data derived from the altimeter data of an ERS 2 swath acquired at the same time confirmed the presence of storm force winds in the southern sector of CYPRIEN's low, adding more credit to the scatterometer data of a QuikScat swath acquired a few hours earlier (here the RSS solution).



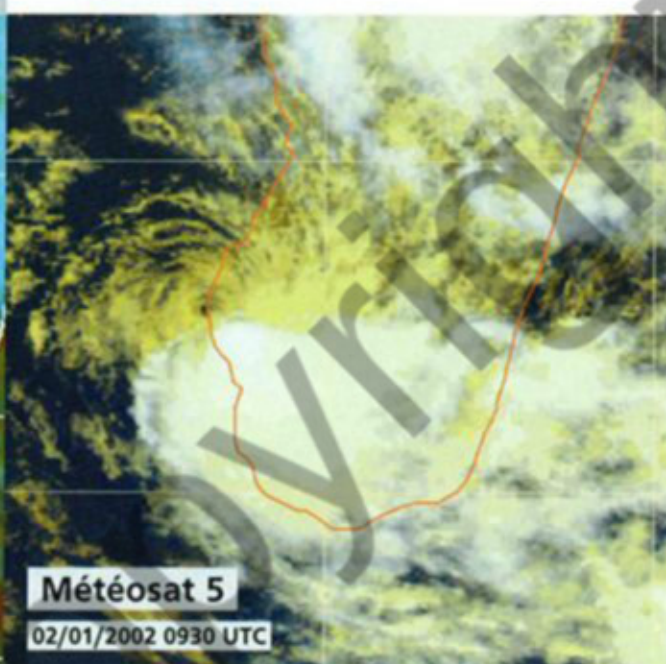
**Météosat 5 + ERS2**

01/01/2002 1949 UTC



**TRMM Color**

02/01/2002 0405 UTC



**Météosat 5**

02/01/2002 0930 UTC

**CYPRIEN affecte le Sud-Ouest de MADAGASCAR.** Associé à un vortex cisailé dont le centre dépressionnaire se situe pile sur la bordure littorale au sud de la ville de Morombe, le météore génère encore de forts vents. La convection résiduelle, rejetée au sud du vortex par le flux d'altitude, occasionne quant à elle de fortes pluies dans la région au nord de Tuléar.

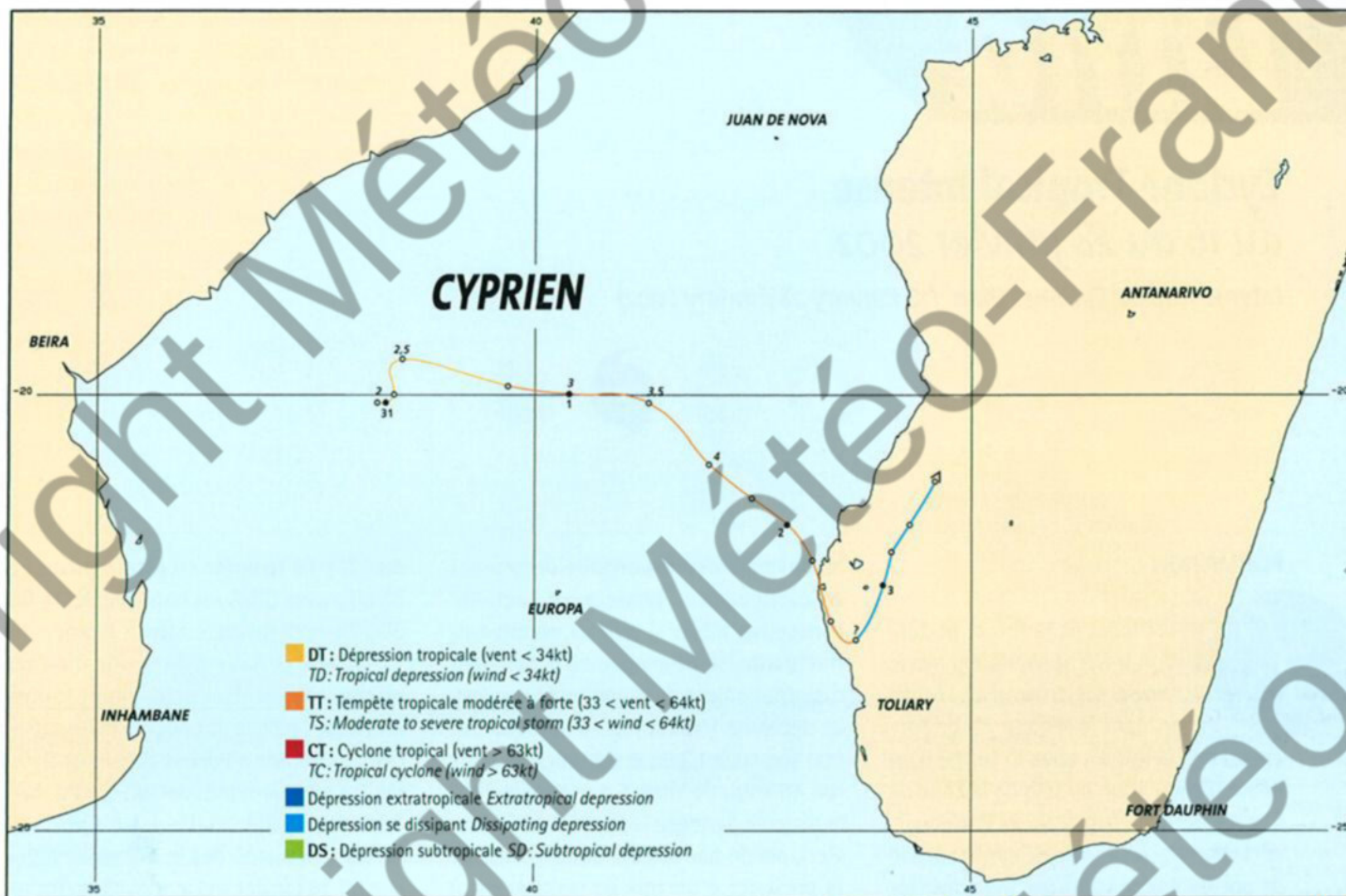
**CYPRIEN when affecting the SouthWest of MADAGASCAR.** Associated to a sheared vortex whose centre was located right on the shoreline south of the city of Morombe, the storm was still generating strong winds. At the same time the residual convection, sheared off to the south of the low-level vortex, was producing heavy rain in the area north of Tuléar.

visible sur l'imagerie satellitaire une bonne partie de la journée du 3 janvier, avant de se dissiper la nuit suivante.

Premier système dépressionnaire tropical de la saison à se développer dans le Canal de MOZAMBIQUE, CYPRIEN s'avèrera également être le dernier d'une sai-

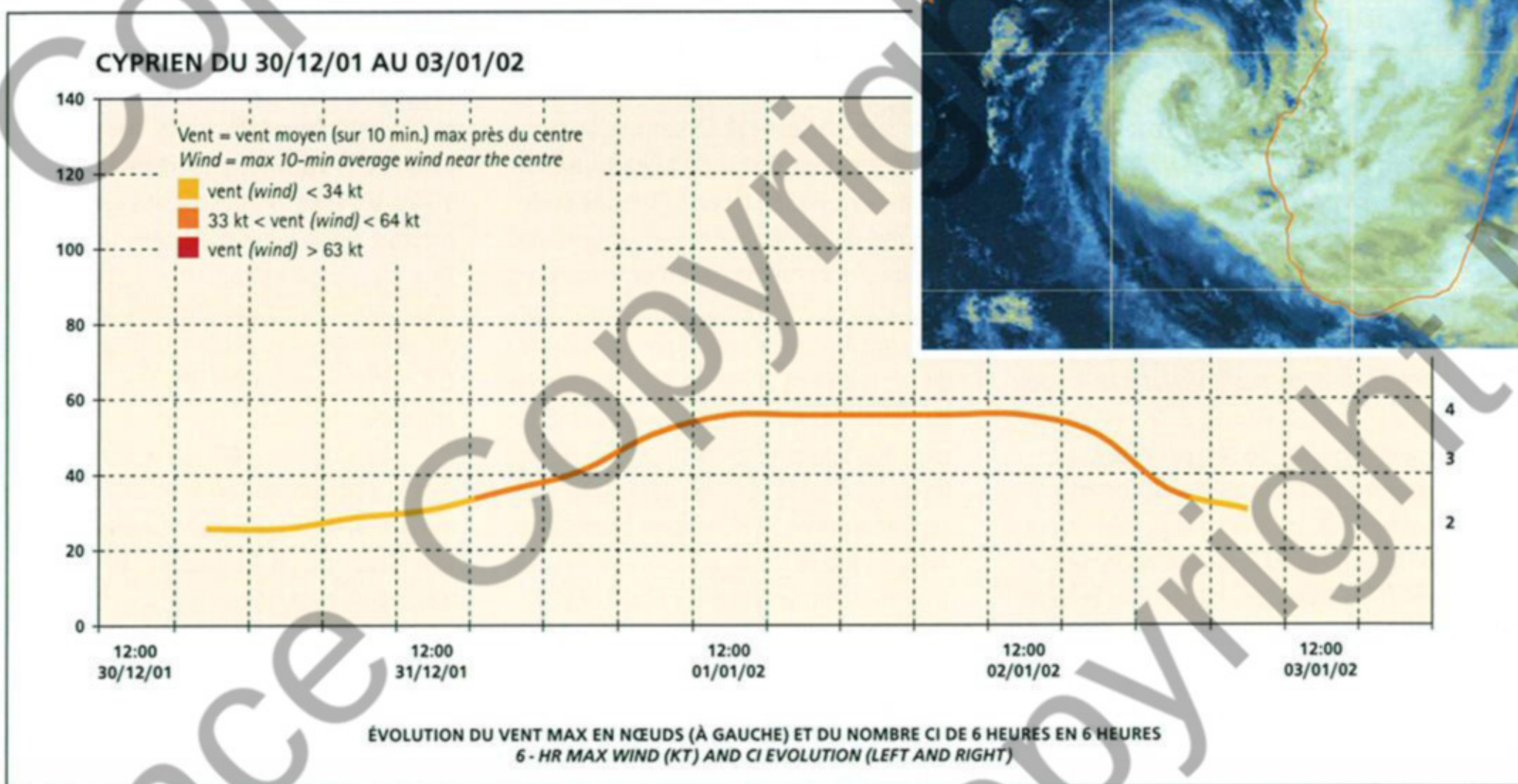
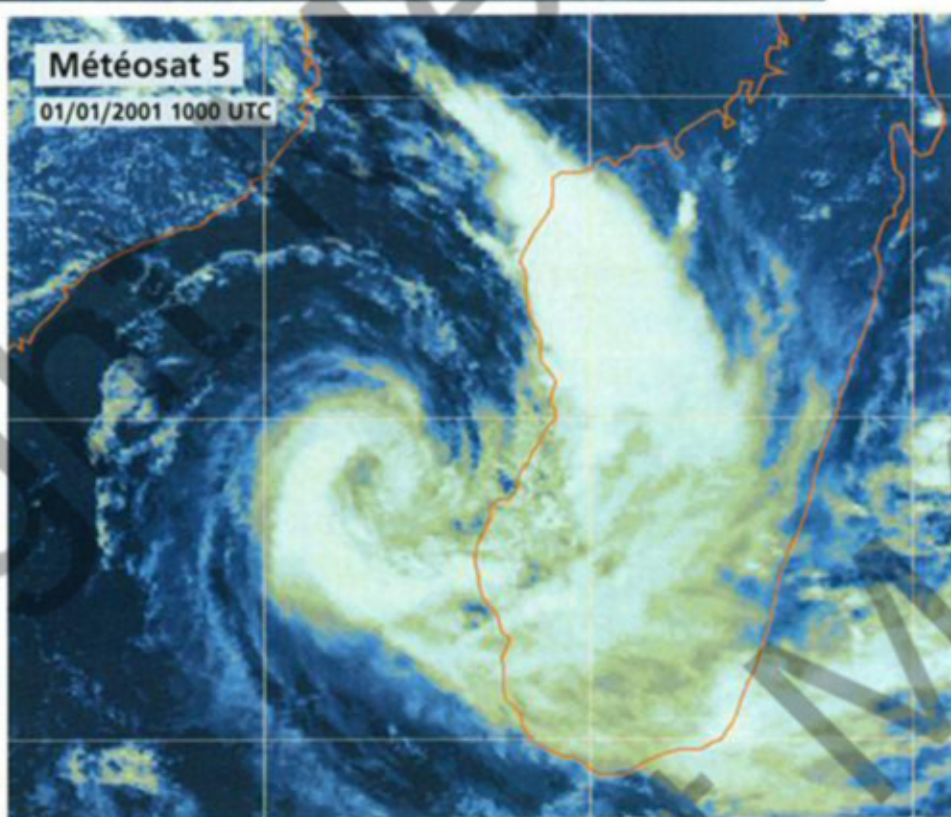
son finalement très calme dans cette partie la plus occidentale et spécifique du bassin cyclonique du Sud-Ouest de l'océan Indien. Après cet épisode CYPRIEN, le Canal demeurera en effet quasiment exempt de toute activité perturbée, cette saison cyclonique, pourtant globalement très active, étant caractérisée par une activité décalée franchement vers l'est et concentrée principalement sur l'extrême Est du bassin. Seul le cyclone KESINY viendra, en toute fin de saison, influencer le Nord-Est du Canal, mais avec une influence très marginale.

Malgré un début d'affaiblissement salutaire à l'approche des côtes malgaches, CYPRIEN aura tout de même eu un impact significatif sur le Sud-Ouest de la Grande Ile, avec quelques dégâts associés, plus particulièrement sur la zone côtière entre Morombe et Tuléar.



Météo France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

La forte tempête tropicale CYPRIEN au maximum de son intensité (image visible colorisée).  
Severe tropical storm CYPRIEN at intensity peak (coloured visible picture).



# Dina

## Cyclone Tropical Intense du 16 au 28 janvier 2002

*Intense Tropical Cyclone "Dina" (16 January-28 January 2002)*

### FORMATION

**L**es prémices de la future perturbation DINA apparaissent dès le 15 janvier sur le Centre de l'océan Indien, dans le secteur est de l'archipel des CHAGOS, sous la forme d'un début d'ondulation au sein de la Zone de Convergence Intertropicale. Le lendemain, cette impression initiale de configuration de pré-genèse se confirme, avec des éléments nuageux qui prennent une courbure affirmée au sein du flux de mousson associé à une forte activité nuageuse et convective, tandis qu'un minimum dépressionnaire, estimé à 1 004 hPa l'après-midi, devient dans le même temps identifiable, à quelque 750 km à l'est de l'île de DIEGO-GARCIA et à près de 3 000 km au nord-est de LA RÉUNION. Ce minimum évolue dans un environnement associé à un flux d'est à nord-est présent à tous niveaux, sur la façade nord d'une puissante cellule de hautes pressions, axée au sud du 20° parallèle sud et s'étendant verticalement à l'ensemble de la troposphère. En haute troposphère, ce flux est très diffluent, rendant la divergence d'altitude plutôt favorable. Il apparaît par contre associé à un cisaillement vertical de vent de secteur est modéré et *a priori* peu favorable à un développement rapide, du moins si l'on en croit les données diffusées par le CIMSS de l'université de Madison, qui estime ce cisaillement de vent à une vingtaine de noeuds. On peut émettre quelques interrogations quant à la validité de ce diagnostic, tant cette contrainte cisailée n'apparaît pas flagrante au vu de l'imagerie satellitaire,

le minimum dépressionnaire demeurant en particulier en phase avec l'activité convective, même si celle-ci, encore très fluctuante, se développe effectivement majoritairement dans son secteur ouest. Le décalage très rapide de la perturbation vers l'ouest, puis le sud-ouest (à environ 40 km/h de vitesse moyenne durant la majeure partie de la journée du 17 janvier), plaide par ailleurs dans le sens de la présence d'un flux de secteur est à nord-est relativement homogène suivant la verticale et donc pour un cisaillement de vent moindre que celui annoncé. Même si les configurations de cisaillement associées à un flux troposphérique d'est généralisé sont nettement moins pénalisantes en termes de cyclogenèse, on ne peut, en outre, s'empêcher de mettre en avant l'élément de doute le plus patent quant à la puissance réelle de ce cisaillement vertical de vent, à savoir le comportement même de la perturbation. Celle-ci va, en effet, connaître une cyclogenèse à l'évidence absolument pas contrariée, et même carrément explosive, tant elle va être rapide et efficace, surclassant le dernier exemple mémorable de cyclogenèse de ce type, à savoir celle du cyclone CONNIE en janvier 2000. Cette fois, 36h seulement vont s'écouler entre le moment où le système dépressionnaire sera analysé en perturbation tropicale et celui où il sera classé au stade de cyclone tropical (contre 48h pour CONNIE).

### ÉVOLUTION

Perturbation tropicale dans la nuit du 16 au 17, dépression tropicale en matinée

du 17, puis tempête tropicale modérée 6h plus tard, DINA est baptisée dès la fin d'après-midi de cette même journée du 17 janvier. Ce taux d'intensification au rythme effréné d'un demi-point toutes les 6h sur l'échelle de Dvorak (limite supérieure autorisée en début de vie par Dvorak), se maintient près de 36h durant, faisant ainsi brûler toutes les étapes à la perturbation, qui, dès le milieu de journée du 18 janvier, devient cyclone tropical, après seulement deux jours d'existence (alors qu'un développement normal requiert en moyenne 5 jours pour arriver à ce stade) !

Le petit œil, clairement défini sur l'imagerie visible du début d'après-midi, disparaît ensuite jusqu'au lendemain sur l'imagerie classique, occulté qu'il est par le voile de cirrus recouvrant le petit CDO central. Mais il demeure bien apparent sur l'imagerie micro-onde, mesurant à peine 20 km de diamètre dans la nuit du 18 au 19. Cette petitesse est à l'image du météore, DINA présentant alors une structure nuageuse extrêmement réduite (le cœur du cyclone faisant moins de 200 km de diamètre, avec un CDO central concentré sur à peine 70 km d'extension horizontale).

Après s'être déplacé très rapidement durant cette phase initiale de creusement (temporairement à plus de 40 km/h le 17), DINA ralentit ensuite sensiblement, tout en gardant un cap au sud-ouest, en bordure nord-ouest d'une cellule anticyclonique de moyenne et haute troposphère. La perturbation est attirée en direction d'une faiblesse dans le champ de

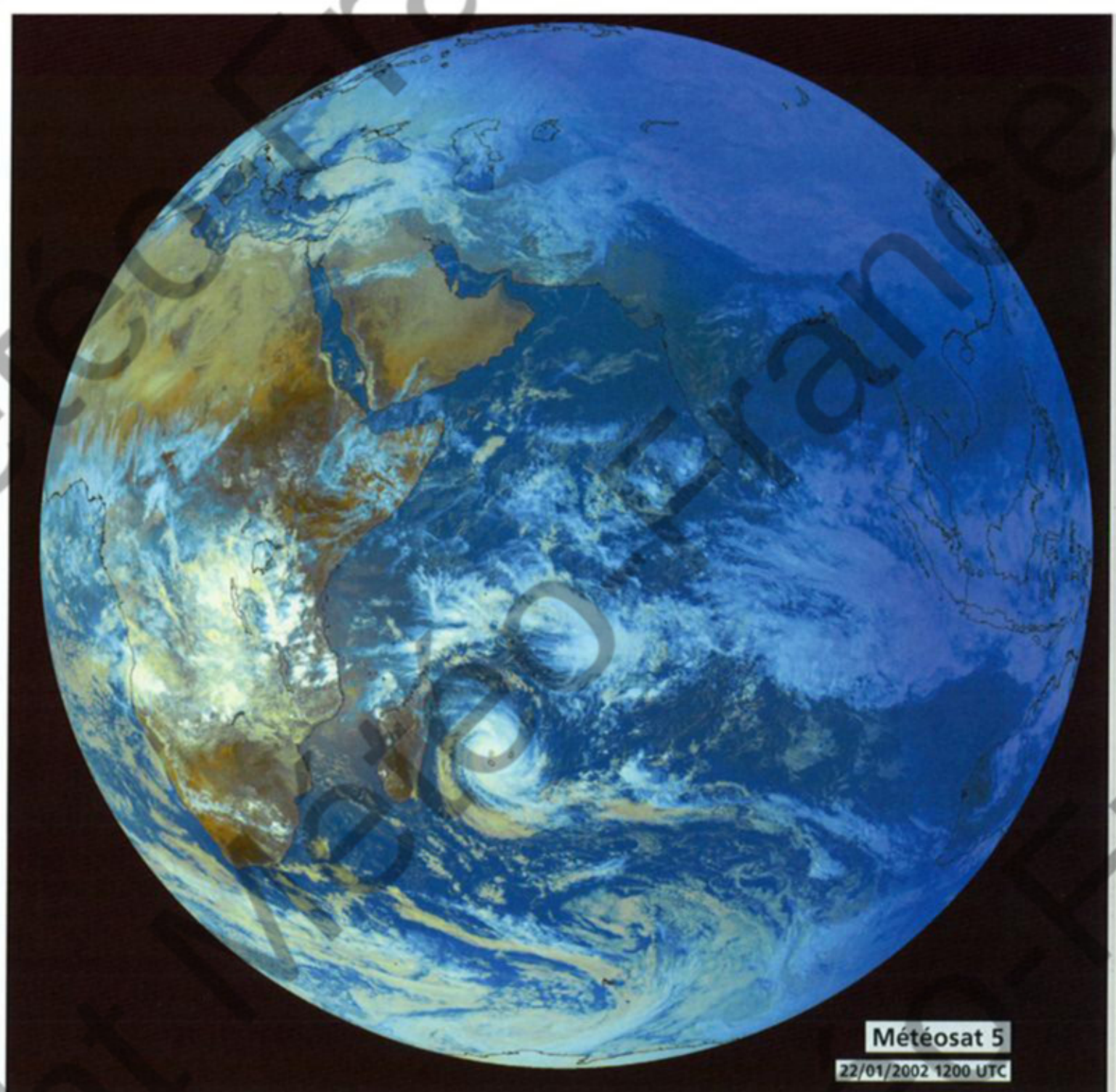
pression liée à la présence d'un talweg des moyennes latitudes, remontant jusqu'au 20° parallèle sud en altitude et axé initialement vers les MASCAREIGNES, mais se décalant désormais lentement vers l'est. Cette trajectoire dirige alors le cyclone droit en direction de l'île RODRIGUES.

Dans le même temps son intensité se stabilise en cours de journée du 19, comme si le météore avait besoin de reprendre son souffle après ce début de vie totalement débridé, marqué par cette cyclogénèse explosive et cette course anormalement rapide pour un système dépressionnaire du bassin évoluant à ces latitudes (la perturbation ayant parcouru près de 1500 km en l'espace de 48h, entre le 16 et le 18 janvier).

Mais la nuit suivante voyait le système repartir brutalement en intensification et se creuser alors fortement, jusqu'à atteindre son maximum d'intensité au matin du 20 janvier. Les bandes nuageuses périphériques ont quasiment disparu, pour laisser place à une structure presque symétrique, avec un petit œil central d'une vingtaine de km de diamètre, au sein d'une masse nuageuse large d'environ 300 km, et qui s'est donc quelque peu étoffée. DINA est alors un cyclone tropical intense de niveau supérieur, au sein duquel les vents maximaux sont estimés approcher les 210 km/h en vents moyens sur 10 minutes, avec des rafales maximales de l'ordre de 300 km/h.

Depuis quelques heures, la trajectoire du météore s'est infléchi, redressant progressivement en direction de l'ouest-sud-ouest. Parallèlement, la vitesse de déplacement, qui était descendue jusqu'à 10 km/h, remonte au-dessus des 15 km/h. Cette modification du déplacement fait suite à l'atténuation et à l'évacuation vers le sud-est du talweg des moyennes latitudes précité et à la reconsolidation consécutive du champ de pression au sud des MASCAREIGNES.

À la faveur de ce changement de cap, l'île RODRIGUES va échapper à l'impact direct du cyclone, et à une catastrophe majeure compte tenu de l'intensité du phénomène. Simple effleurée finalement par la masse active du météore, le centre de DINA passant à 150 km au nord en fin d'après-midi du 20 janvier, la possession



Météosat 5

22/01/2002 1200 UTC

**DINA, un cyclone mémorable pour les MASCAREIGNES.** Sur cette vue du globe prise depuis le satellite géostationnaire Météosat 5, la nuit tombée sur l'Est de l'Océan Indien, ainsi que la nuit polaire de l'hiver sibérien, mettent en lumière le cyclone tropical DINA, qui, après avoir sévi à MAURICE, affecte alors LA RÉUNION, celle-ci subissant à cette occasion son épisode cyclonique le plus virulent depuis le cyclone FIRINGA, 13 ans auparavant (janvier 1989).

**DINA, a memorable cyclone for the MASCARENES.** On this earth vision of geostationary satellite Meteosat 5 the fallen night over the eastern Indian Ocean (and the polar night-time of the Siberian winter) highlighted tropical cyclone DINA which, after having raged in MAURITIUS, was at that time afflicting LA REUNION, which was in this occasion suffering its worse cyclonic event since cyclone FIRINGA 13 years earlier (January 1989).

#### FORMATION

The beginnings of future storm DINA appeared as early as 15th January over the central Indian Ocean in the eastern sector of the CHAGOS Archipelago as an incipient undulation within the intertropical convergence zone. The next day, this initial pre-genesis configuration was confirmed with cloud features displaying increasing curvature within the important cloud and convective activity linked to the monsoon flow, while a minimum of low pressure, estimated at 1004 hPa in the afternoon, became visible some 750 km east of Diego-Garcia Island and 3000 km northeast of LA REUNION.

The low centre evolved in an environment where easterlies to northeasterlies were present at all levels, flowing on the northern side of a powerful high pressure cell centred south of latitude 20°South and interesting the whole tropospheric layer. In the upper troposphere, this flow was very diffuent making the upper divergence rather favorable. However, it seemed associated to a moderate easterly vertical wind shear which should a priori hamper any rapid development, at least according to the data emanating from

the CIMSS of the University of Madison which estimated the wind shear to be around 20 knots. One might question the accuracy of this diagnosis since no obvious sign of a sheared constraint showed on the satellite imagery, and namely as the minimum low remained in phase with the still fluctuating convective activity although the latter was indeed developing mainly in its western sector. The rapid shift of the disturbance to the west then southwest (at about 40 km/h average speed for most of the day on the 17th), also supported the feeling that the existing easterly to northeasterly flow was rather vertically homogeneous, therefore calling for a weaker wind shear than the asserted one.

Although the wind shear configurations related to a generalised easterly tropospheric flow are recognized not so unfavorable in terms of cyclogenesis, one cannot refrain from emphasising another element adding credit to a lower magnitude of the actual strength of this vertical wind shear, i.e. the disturbance's behaviour properly so called. Indeed, it would go through an obviously unconstrained explosive cyclogenesis, so fast and efficient that it

overshadowed the last memorable cyclogenesis of this type, i.e. that of cyclone CONNIE in January 2000. This time only 36 hours would elapse between the time when the depression was analysed as a tropical disturbance and the time it would be graded as a tropical cyclone (against 48 hours for CONNIE).

## EVOLUTION

A tropical disturbance in the night of the 16th, turning into a tropical depression in the morning of the 17th and then into a moderate tropical storm 6 hours later, DINA was named so in the late afternoon of the 17th. The intensification of the disturbance at a frantic rate of half a point every 6 hours on the Dvorak scale (the highest rate allowed by Dvorak in the early life cycle of a system) kept sustained for nearly 36 hours, the storm thus shooting ahead and becoming a tropical cyclone in the middle of the day of 18 January after only two days of existence (whereas a normal system requires about 5 days to reach that stage!).

The small eye clearly depicted on the visible imagery of the early afternoon disappeared afterwards on the classic imagery till the following

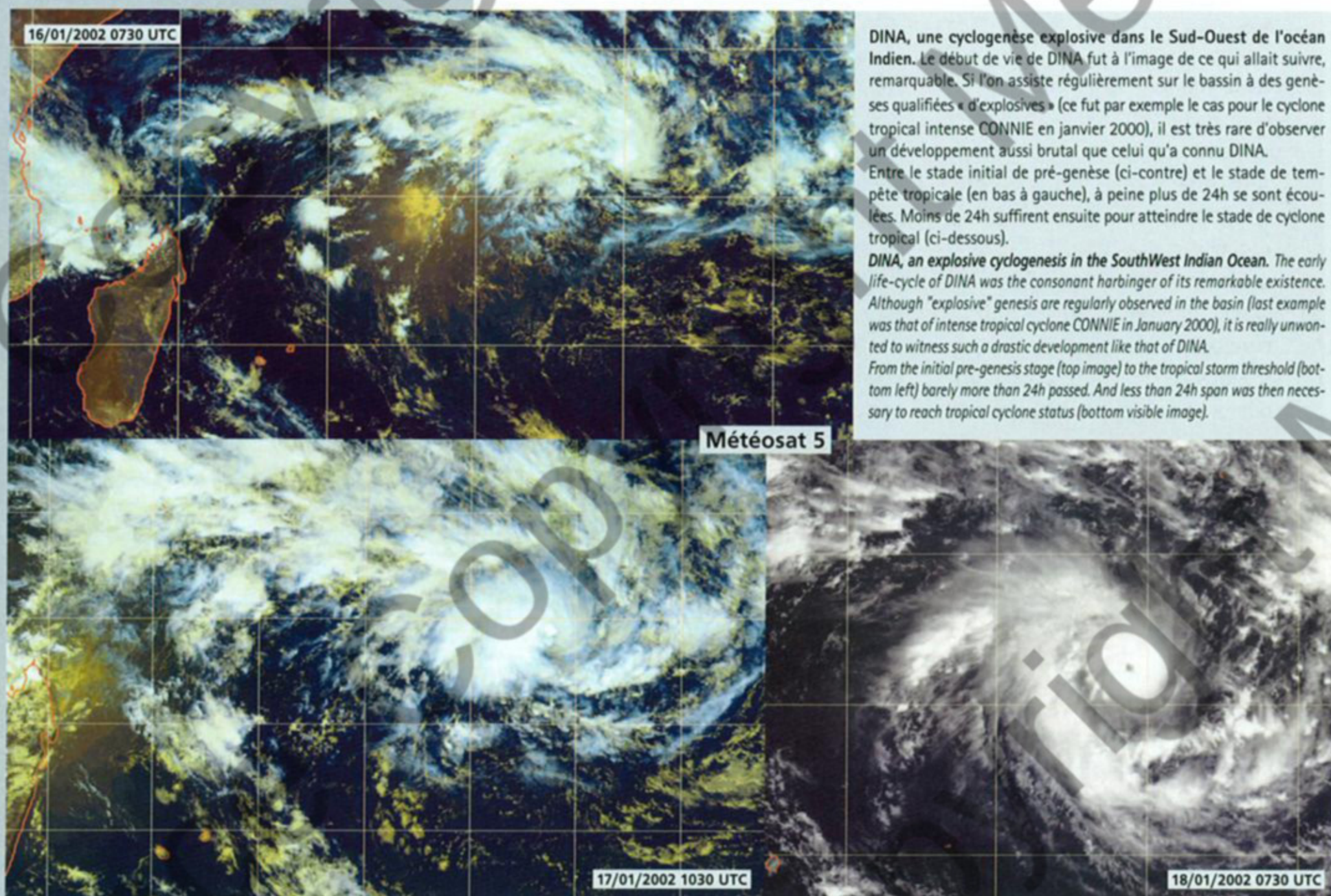
mauricienne subit une influence modérée, plus particulièrement au niveau de la pluviométrie, qui restera d'ampleur très limitée (21 mm seulement à Plaine Corail sur l'épisode entier – du 19 au 21 janvier, pour un maximum de 94 mm recueilli au lieu-dit Roche Bon Dieu – source Service Météorologique de Maurice). Concernée par la zone des vents de la force du coup de vent, les conditions de vent y demeurent également raisonnables (la station de Plaine Corail (aéroport) enregistre une rafale maximale de 122 km/h). Bien qu'ayant échappé à une influence directe de DINA (la pression minimale relevée a été de 993,6 hPa), l'île RODRIGUES n'a toutefois pas été totalement épargnée par le passage du cyclone, puisque endeuillée par la disparition de 5 pêcheurs partis en mer au large et s'étant retrouvés confrontés aux conditions de mer démontées générées par DINA.

Si les Rodriguais avaient pu pousser un ouf de soulagement en apprenant que DINA obliquait vers l'ouest, pour les habitants des autres îles de l'archipel des MASCAREIGNES, cette modification de

trajectoire était une nettement moins bonne nouvelle. Pour MAURICE et LA RÉUNION, la menace DINA devient en effet tangible et les prévisions de trajectoire sont inquiétantes.

La seule petite bonne nouvelle provient de l'intensité du météore, qui est à la baisse. Cet affaiblissement est la conséquence d'un cycle de l'œil amorcé à compter de la fin de nuit du 20 au 21. Parfaitement suivi grâce à l'imagerie micro-onde, ce cycle de remplacement de l'œil prend fin en première partie de nuit suivante, aboutissant *in fine* à la constitution d'un œil aux dimensions sensiblement élargies comparativement à la situation antérieure (œil elliptique d'environ 75 km de largeur moyenne).

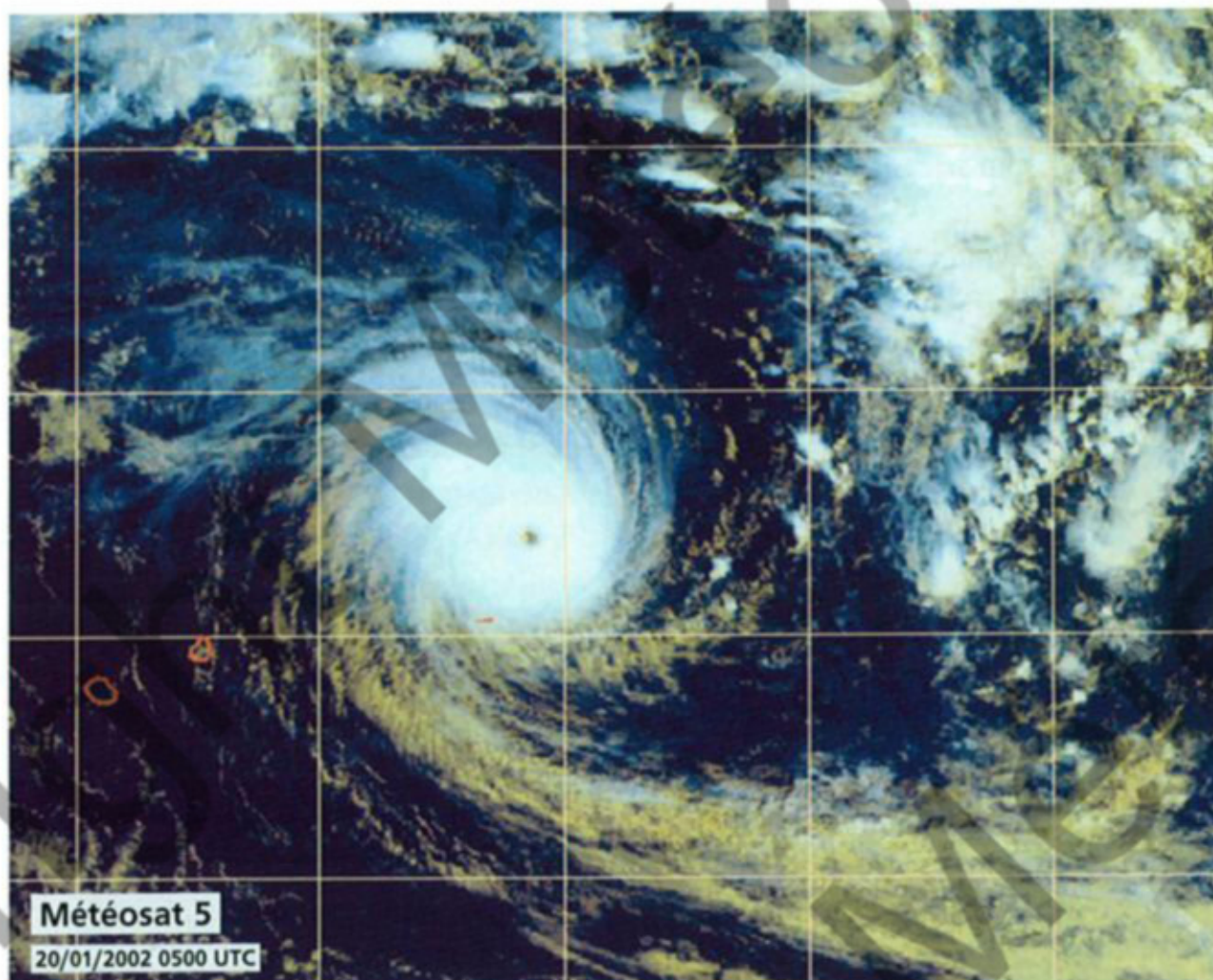
Cet œil demeurera ensuite stable jusqu'après le passage au plus près de LA RÉUNION. L'affaiblissement résultant de DINA n'est donc que modeste et sa nouvelle intensité, qui va rester peu ou prou stationnaire jusqu'au matin du 23 janvier, le maintient classé au stade de cyclone tropical intense. La menace potentielle représentée par ce cyclone demeure donc très importante.



DINA, une cyclogenèse explosive dans le Sud-Ouest de l'océan Indien. Le début de vie de DINA fut à l'image de ce qui allait suivre, remarquable. Si l'on assiste régulièrement sur le bassin à des génèses qualifiées « d'explosives » (ce fut par exemple le cas pour le cyclone tropical intense CONNIE en janvier 2000), il est très rare d'observer un développement aussi brutal que celui qu'a connu DINA. Entre le stade initial de pré-génèse (ci-contre) et le stade de tempête tropicale (en bas à gauche), à peine plus de 24h se sont écoulées. Moins de 24h suffirent ensuite pour atteindre le stade de cyclone tropical (ci-dessous).

*DINA, an explosive cyclogenesis in the SouthWest Indian Ocean. The early life-cycle of DINA was the consonant harbinger of its remarkable existence. Although "explosive" genesis are regularly observed in the basin (last example was that of intense tropical cyclone CONNIE in January 2000), it is really unwanted to witness such a drastic development like that of DINA. From the initial pre-genesis stage (top image) to the tropical storm threshold (bottom left) barely more than 24h passed. And less than 24h span was then necessary to reach tropical cyclone status (bottom visible image).*





Météosat 5

20/01/2002 0500 UTC

DINA au summum de sa puissance. À son apogée, le système présente une structure quasi parfaite, presque symétrique : au sein de la masse nuageuse centrale dense, d'environ 300 km de diamètre, trône un petit œil central (d'environ 25 km de diamètre) au contour très pur, parfaitement circulaire et autour duquel les vents sont alors estimés atteindre les 210 km/h en vents moyens sur 10 min, avec des rafales maximales sur mer de l'ordre de 300 km/h...

Au moment de cette image, DINA fait encore route droit en direction de l'île RODRIGUES. Si DINA devait maintenir sa course inchangée durant encore 24h, le cyclone frapperait directement la petite possession mauricienne, avec les conséquences catastrophiques que l'on imagine. Heureusement, il n'en sera rien.

*Mighty DINA at intensity peak, displayed a nearly symmetric structure with a small central and perfectly round clear-cut eye of about 25 km in diameter embedded within a cloud mass about 300 km wide. DINA was then at the upper level of the intense tropical cyclone stage. The maximum winds were estimated to reach 210 km/h in 10-min average with maximum gusts of about 300 km/h over sea...*

*At this time the meteor was still bearing right towards RODRIGUES Island. Had this motion kept unchanged for another 24h, the small island (belonging to MAURITIUS) would have borne the brunt of a direct hit. Hopefully this did not happen and the island was saved from a major havoc.*

Cela va se vérifier assez vite, car la trajectoire du météore reste établie en direction de l'ouest-sud-ouest. On ne peut plus régulière, à la fois en direction et en vitesse, elle amène le centre de DINA à passer au plus près au nord de l'île MAURICE en fin de nuit du 21 au 22 janvier, à un peu moins de 65 km au large du Cap Malheureux.

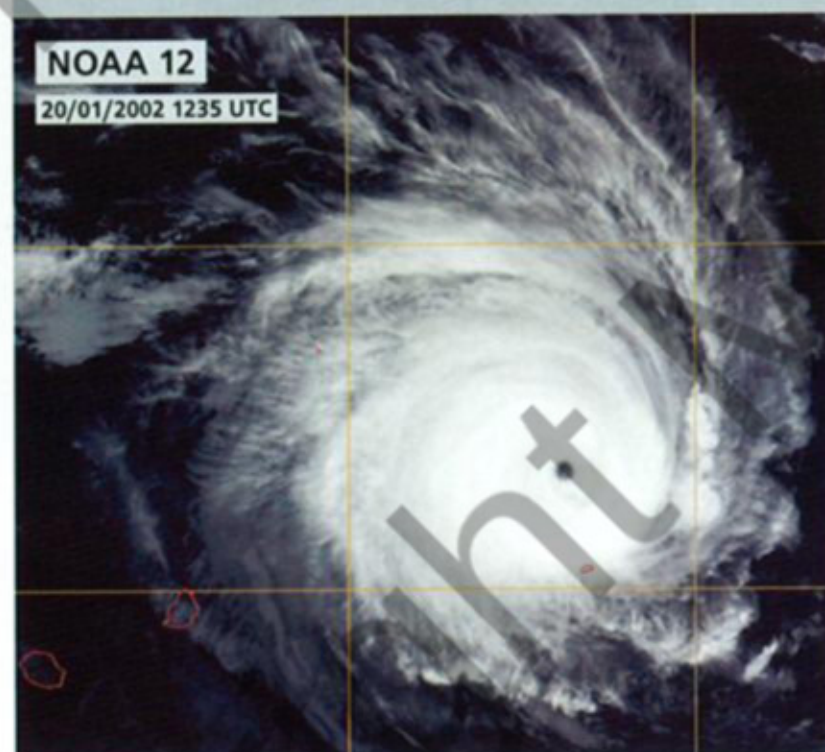
Fortes pluies (en moyenne 350 mm sur l'épisode pluvieux complet, soit davantage que la pluviométrie moyenne mensuelle, pour un maximum relevé de 745 mm en 48h à Pierrefonds, dans l'ouest de l'île - dont 655 mm en 24h) et vents violents (rafales maximales excédant ponctuellement les 200 km/h, avec 206 km/h mesurés à Fort William, non loin au nord de la capitale Port Louis, pour un maximum de 228 km/h au Morne Brabant, à la pointe sud-ouest de l'île) accompagnent le passage du cyclone. La pression mer minimale mesurée (à Fort William) sera de 967,3 hPa (à une distance du centre de DINA estimée à 83 km).

L'influence du météore a été fortement ressentie par la population. Le décès de 4 personnes a été relié au passage de DINA (trois accidentées de la route et une personne tombée d'un toit en démontant une parabole), tandis que coupures d'électricité (jusqu'à 90 % de la population dans le noir), de téléphone (40 000 lignes hors service), d'eau et dégâts matériels ont sérieusement perturbé la vie socio-économique des mauriciens. Le pire a cependant été évité, les conditions les plus extrêmes associées au mur de l'œil du cyclone, passant à une vingtaine de km au large.

Après avoir redressé durant quelques heures vers l'ouest, la trajectoire de DINA change ensuite d'orientation au matin du 22. Un début d'incurvation s'opère alors, avec une trajectoire devenant potentiellement extrêmement dangereuse pour La RÉUNION. Il aurait en effet pu signifier, s'il s'était avéré se réaliser complètement dès ce moment-là, un impact direct sur l'île Bourbon. Fort heureusement, le cap

day, hidden as it was by the cirrus veil covering the small Central Dense Overcast. However it remained clearly discernible on the microwave imagery being only 20 km in diameter on the night of the 18th. The small-sized eye matched that of meteor DINA which displayed a rather tiny cloud structure (the core of the cyclone measuring less than 200 km in diameter with the inner CDO barely extending horizontally on 70 km large). After sweeping past during this initial deepening phase (temporarily at more than 40 km/h on the 17th), DINA then slowed down noticeably while keeping a southwestward course on the northwestern boundary of a middle and upper tropospheric high. The storm was attracted towards a weakness in the pressure field related to the presence of a mid-latitude trough extending up to latitude 20°South and initially orientated towards the MASCARENES but from then on shifting slowly eastward. This track was bearing the cyclone straight towards Rodrigues Island. At the same time, its intensity stabilised in the course of the day of 19 January as if the meteor needed to have a rest after its frantic beginnings marked by an explosive cyclogenesis and an abnormally speedy race for a storm trekking at these still low latitudes (the disturbance had actually travelled nearly 1500 km in just 48h between 16 and 18 January).

However, on the following night, the system intensified again all of a sudden and deepened drastically until it reached its peak of intensity in the morning of 20 January. The outer cloud bands had nearly totally disappeared to leave room to a nearly symmetric structure with a small central

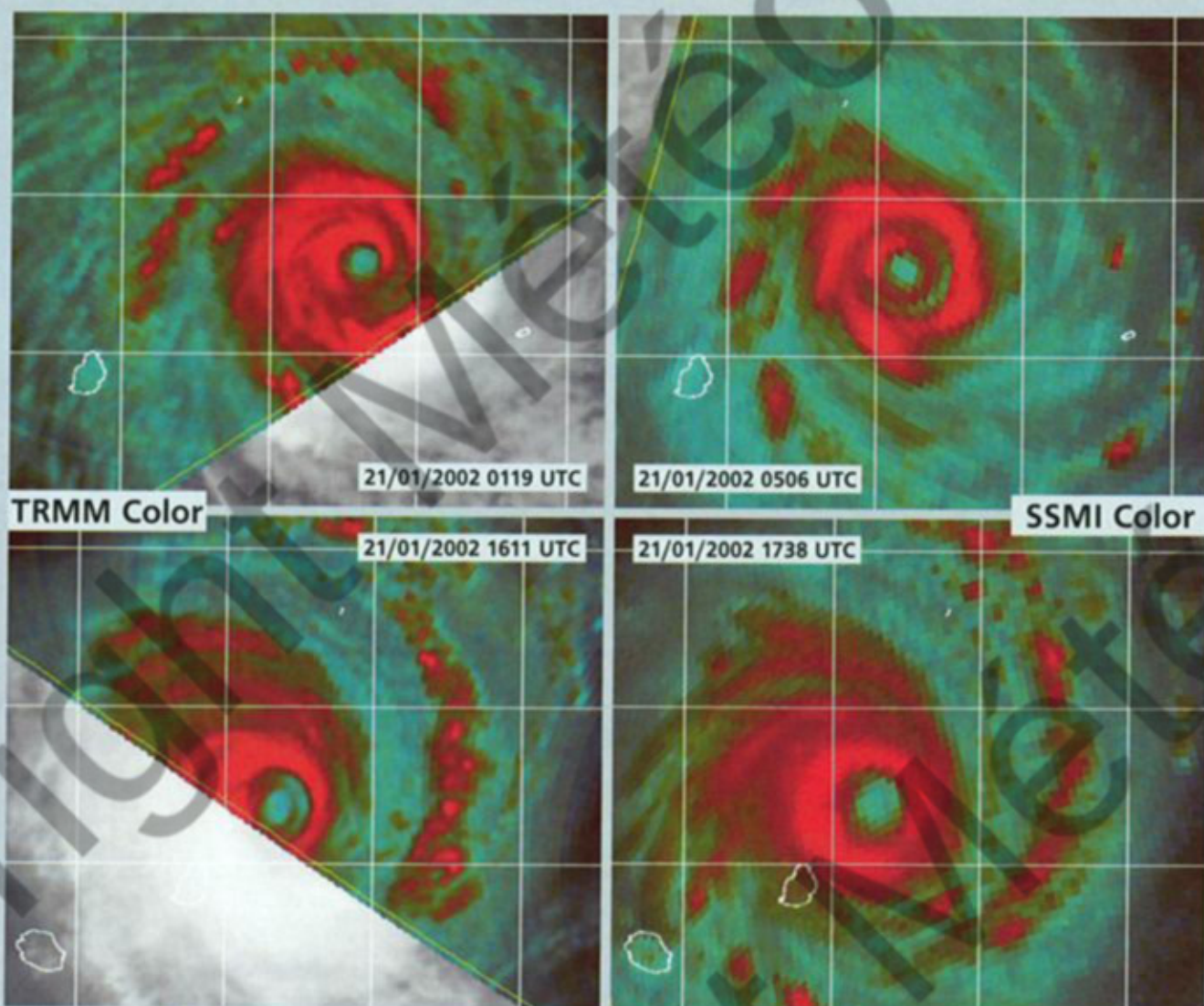


NOAA 12

20/01/2002 1235 UTC

DINA effleure l'île RODRIGUES. A la faveur d'une inflexion de trajectoire salvatrice, l'île a échappé à l'impact du cyclone et évite même la masse nuageuse active associée au météore (dont le centre passe à 150 km au large).

*RODRIGUES Island brushed by DINA. For goodness' sake the meteor had shifted heading thus sparing the island the impact of the cyclone whose centre eventually passed 150 km offshore. The island even avoided the system's active cloud mass as shown on this picture.*



**Cycle de l'œil de DINA.** À l'image de ce que l'on observe souvent pour les cyclones de forte intensité, DINA va connaître, après son passage au plus près de RODRIGUES, un cycle de l'œil. Bien appréhendées par l'imagerie micro-onde, les étapes successives de ce cycle et les évolutions correspondantes de la structure interne de DINA, apparaissent sur la séquence ci-dessus (d'une durée d'environ 16h).

Un anneau externe se constitue et se referme autour du mur de l'œil interne, constituant un nouveau mur de l'œil externe (en haut). Puis il se contracte, tandis que l'anneau du mur de l'œil interne disparaît progressivement pour laisser place à un nouveau mur de l'œil unique (en bas). *In fine*, ce cycle de l'œil aboutit ici à un affaiblissement relatif de DINA, via la formation d'un nouvel œil plus large que l'œil initial.

**DINA's eye cycle.** As frequently observed for intense tropical cyclones, DINA went through an eye cycle after its nearest passage to RODRIGUES Island. Well captured by the microwave imagery, the successive stages of this cycle and corresponding changes of the inner structure of DINA were nicely portrayed on the above 16h duration sequence.

An outer ring of convection built up and closed up round the inner eyewall, thus forming a new outer eyewall (top images) which later on shrunk, while the inner eyewall gradually vanished to make room for a new single eyewall (bottom images). This replacement cycle resulted here in some weakening of DINA through the final set-up of an eye of pretty larger dimensions compared to the previous one.



**DINA en approche finale de l'île MAURICE.** Les masses nuageuses actives commencent à affecter l'île. Dans le même temps, les premières bandes de nuages bas circulant en périphérie du météore abordent la façade sud de l'île sœur de LA RÉUNION. Beaucoup plus à l'ouest, le ciel de MADAGASCAR est lui remarquablement dégagé pour cette période de l'année, la Grande Ile bénéficiant, comme c'est souvent le cas à l'avant d'un cyclone, d'un environnement subsident fortement asséché. À noter que le cycle de l'œil en cours n'est pas décelable sur l'imagerie classique.

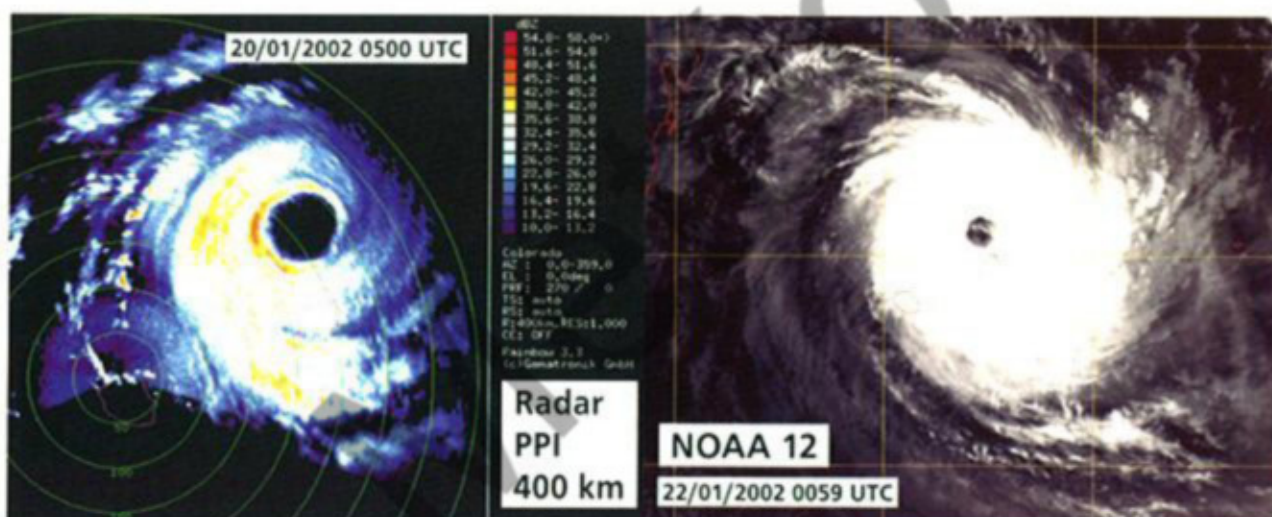
**DINA on final approach of MAURITIUS,** already affected by the active cloud mass. At the same time the first low-level outer cloud bands linked to the meteor had started to grapple the southern side of LA REUNION. Much farther west, MADAGASCAR's sky was on the contrary remarkably clear for this time of the year, benefiting from a very dry environment (a typical feature of strong subsidence ahead of a cyclone). Worth of notice is the fact that the ongoing eye cycle was not discernible on this classical imagery.

se stabilise au 240° lors de cette phase d'approche finale du département, où l'alerte rouge avait été décrétée en début de matinée de ce 22 janvier, alors que les conditions commençaient effectivement de se dégrader sensiblement, le Sud-Est de l'île étant le premier concerné.

Les choses allaient bien sûr empirer au fil des heures. Le plus dur, encore à venir, était annoncé pour la soirée et le début de nuit, au moment du passage au plus près de DINA. Celui-ci allait finalement intervenir un peu plus tôt, non pas en raison d'une accélération du déplacement, mais en raison d'un écart de trajectoire lors de l'approche terminale des côtes réunionnaises.

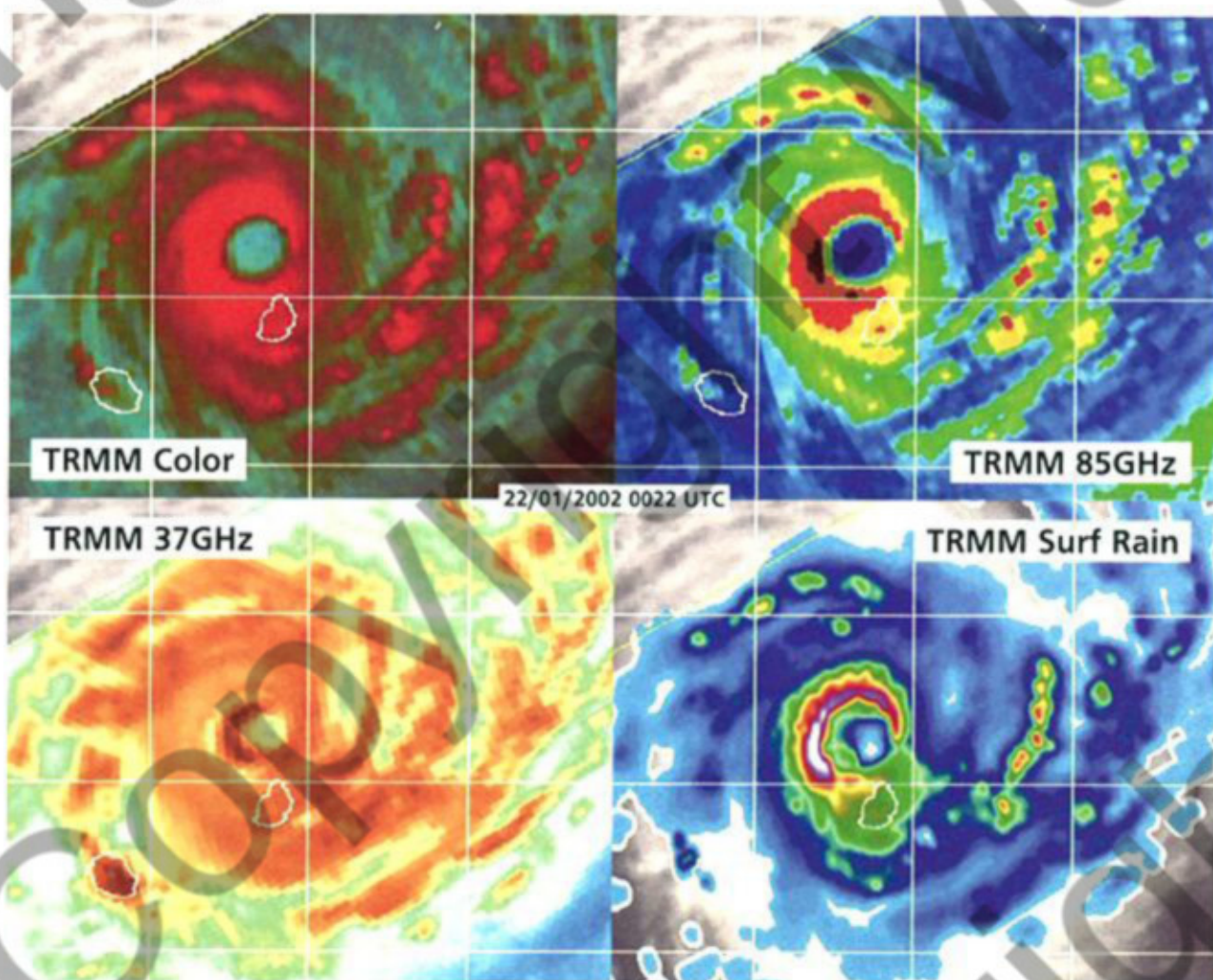
Tout comme lors du passage au plus près de MAURICE, la trajectoire redressait durant quelques heures vers l'ouest, cette déviation salutaire (probablement provoquée par l'influence sur le système de la présence de l'île), faisant qu'en l'occurrence le centre allait à l'arrivée passer au plus près quelques heures plus tôt (vers 18h locales) et, plus important, à une quinzaine de km plus au large qu'il n'aurait fait sinon, soit finalement, à quelques km près, quasiment à la même distance de passage de MAURICE (i.e. à quelque 65 km au large de la côte nord).

De ce fait, la façade nord-ouest de l'île allait échapper aux conditions paroxysmiques associées au mur de l'œil, qui transitait finalement à un peu plus de 25 km au large de la route littorale, soit à une distance légèrement supérieure à la distance de passage au plus près de la pointe nord de MAURICE (l'œil s'étant légèrement contracté entre-temps). Les conditions extrêmes observées à LA RÉUNION allaient cependant être encore plus dégradées que celles ressenties dans l'île sœur, du fait de la différence notable d'orographie entre les deux îles, le relief réunionnais, nettement plus accentué, impliquant un renforcement des rafales de vent et surtout des précipitations. Les rafales maximales ont atteint ou dépassé les 180 km/h sur les zones littorales nord à nord-ouest ainsi que sud-ouest, et localement les 200 km/h dans les Hauts de l'île, avec des pointes à plus de 250 km/h dans les Hauts les plus exposés de la région Nord-Ouest, en particulier dans le secteur de La Montagne/St-



DINA passe au plus près de l'île MAURICE. L'œil d'environ 85 km de diamètre transite à une vingtaine de km au large du Cap Malheureux. MAURICE échappe ainsi aux vents les plus violents associés au mur de l'œil. Bien matérialisé par l'anneau orangé d'intenses précipitations, celui-ci n'est pas homogène et présente une faiblesse dans son secteur sud-est (celui qui effleure l'île MAURICE). Alors que sur l'imagerie radar, cette faiblesse n'aurait pu être qu'un artefact causé par l'atténuation du signal par les précipitations situées à une distance inférieure, l'imagerie TRMM acquise à la même heure confirme son existence bien réelle.

*DINA when passing to the nearest of MAURITIUS. The eye of about 85 km width transited some 20 km off the northern tip of the island. MAURITIUS thence avoided the strongest winds of the eyewall area which was not homogeneous as shown by the orange ring of heavy rainfall which displayed a weakness in its southeastern sector (the one that was grazing MAURITIUS). While on the radar imagery this weakness might have been a normal feature caused by backscatter signal attenuation from rain at lower distance, the TRMM imagery indeed confirmed its real presence.*



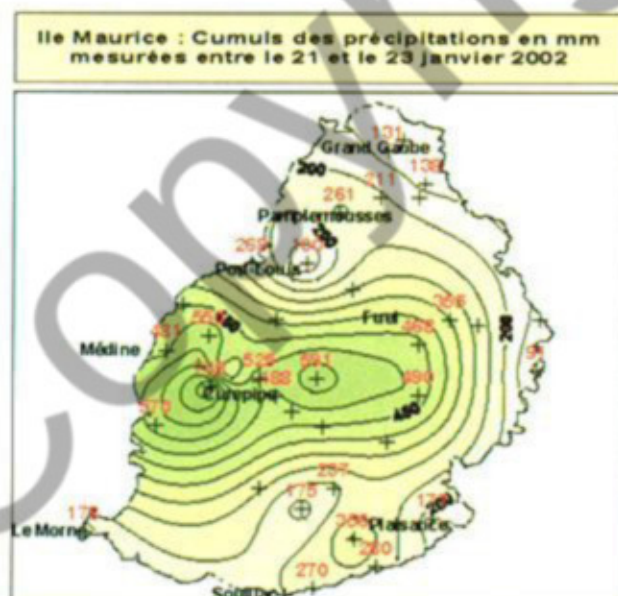
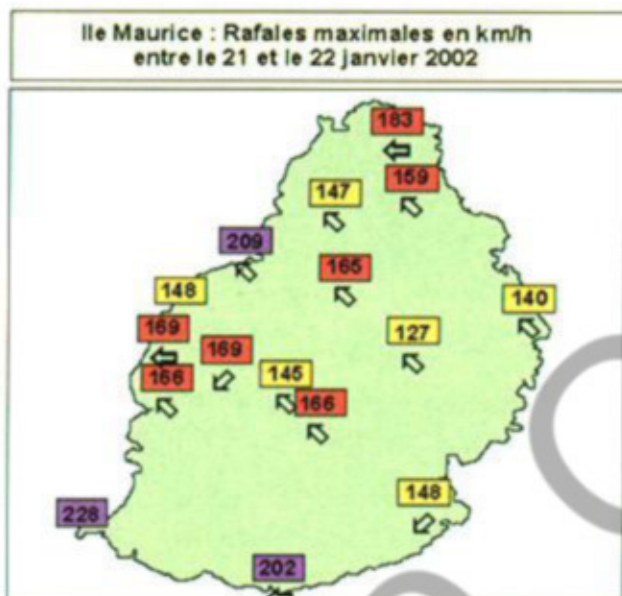
eye of about 25 km in diameter embedded within a cloud mass about 300 km wide (hence having expanded somewhat). DINA was then at the upper stage of an intense tropical cyclone with maximum winds estimated to reach 210 km/h in 10-min average winds and maximum gusts of about 300 km/h.

In the last few hours, the course of the meteor had shifted gradually toward the west-southwest. Simultaneously, the travelling speed which had dropped to 10 km/h climbed again above 15 km/h. These motion changes resulted from the strengthening of the pressure field south of the MASCARENES that followed the evacuation to the southeast of the aforementioned weakening mid-latitudes trough.

Thanks to the change of heading, Rodrigues Island was saved from a direct impact of the cyclone and from a major havoc considering the intensity of the phenomenon. While DINA's centre passed 150 km north of the island in the late afternoon of 20 January, the small island (belonging to MAURITIUS) was only brushed by the active mass of the meteor and eventually underwent moderate influence, especially so for rainfall which remained relatively light (21 mm only at Plaine Corail during the whole episode from 19 to 21 January with a maximum of 94 mm recorded at Roche Bon Dieu – source: Mauritius Meteorological Services). Within the gale force winds area, wind conditions remained bearable (Plaine Corail station at airport recorded a maximum gust of 122 km/h). Although Rodrigues Island avoided DINA's direct influence (recorded minimal pressure was 993.6 hPa), it was not totally spared by the passage of the cyclone which took the lives of five fishermen who had gone to the open sea and probably faced the fierce sea conditions caused by DINA.

While Rodrigues Island's inhabitants were able to sigh from relief when they learned that DINA was turning to the west, the inhabitants of the other island of the MASCARENES Archipelago did not receive this piece of news heartily. Indeed, for MAURITIUS and LA REUNION, DINA was becoming a real threat and the track predictions were alarming.

The only good piece of news was that the cyclone was losing intensity. This weakening stemmed from an eye cycle which started in the late night of 20 January. Monitored closely thanks to microwave imagery, this eyewall replacement cycle ended in the first part of the following night leading to the final formation of



Rafales maximales de vent (à gauche) et cumuls de précipitations sur 72h (à droite) observés à MAURICE lors de l'épisode DINA (vents en km/h et carte d'isohyètes en mm) : les précipitations ont localement excédé 500 mm sur le plateau central et l'ouest.

*Maximum wind gusts (left) and 72h rainfall amounts (right) recorded at MAURITIUS during DINA's event (gusts in km/h and isohyets map in mm for the period 21 to 23 March 2002): rainfall in excess of 500 mm was locally observed in the central plateau and western area.*

an eye with pretty larger dimensions compared with the former one. The new elliptical eye of about 75 km average width remained stable afterwards, until after the closest passage of the cyclone to LA REUNION in fact. The resulting weakening of DINA was thus limited and the new slightly reduced intensity would remain more or less stationary until the morning of 23 January, keeping DINA classified as an intense tropical cyclone. The potential threat of the cyclone thus remained quite a major one.

This was soon to be verified as the meteor's trajectory kept west-southwestward. Very steady both in terms of direction and speed, it led DINA's centre closest to the north of MAURITIUS in the late night of 21 January, less than 65 km off Cap Malheureux. Heavy rains (350 mm in average over the whole rainy episode, i.e. more than the monthly average rainfall, with the highest amount recorded at Pierrefonds in the island's west – with 655 mm in 24h and 745 mm in 48h) and violent winds (maximum gusts exceeding 200 km/h in some places, with 206 km/h measured at Fort William, not far north from the capital city of Saint-Louis, and a maximum of 228 km/h recorded at Morne Brabant at the southeast headland of the island) occurred during the passage of the cyclone. The minimum sea level pressure recorded at Fort William was 967.3 hpa (at an estimated distance of 83 km from DINA's centre).

The meteor's influence was strongly felt by the population. DINA was blamed for 4 fatalities: three were road casualties and one man fell off his roof while taking down his satellite dish. 40 000 phone lines were out of order and there were power outages (up to 90% of the population was in the dark), water cuts and material damage which seriously disturbed the socio-economic life in MAURITIUS. Nonetheless, the worst was avoided since the most extreme conditions associated to the eyewall of the cyclone stayed 20 km offshore.

After swerving westward for a few hours, DINA changed course in the morning of the 22nd. As an incipient recurvature started off, DINA's trajectory became a serious potential threat to LA REUNION. Were it to materialise altogether, it would have meant a direct impact on Bourbon Island. Fortunately DINA's heading stabilised at 240° during its final approach to the French department where the red state of alert had come into force since the early morning of 22 January when weather conditions were starting to get really bad, the island's southeastern part being the first concerned. But things would worsen in the following hours (the worst to come had been

Denis, où les plus gros dommages liés au vent ont été observés. Outre les valeurs mesurées, c'est la durée sur laquelle les vents violents ont sévi qui a été remarquable : à La Plaine des Cafres (1 450 m d'altitude), les rafales ont ainsi excédé les 150 km/h durant 15h.

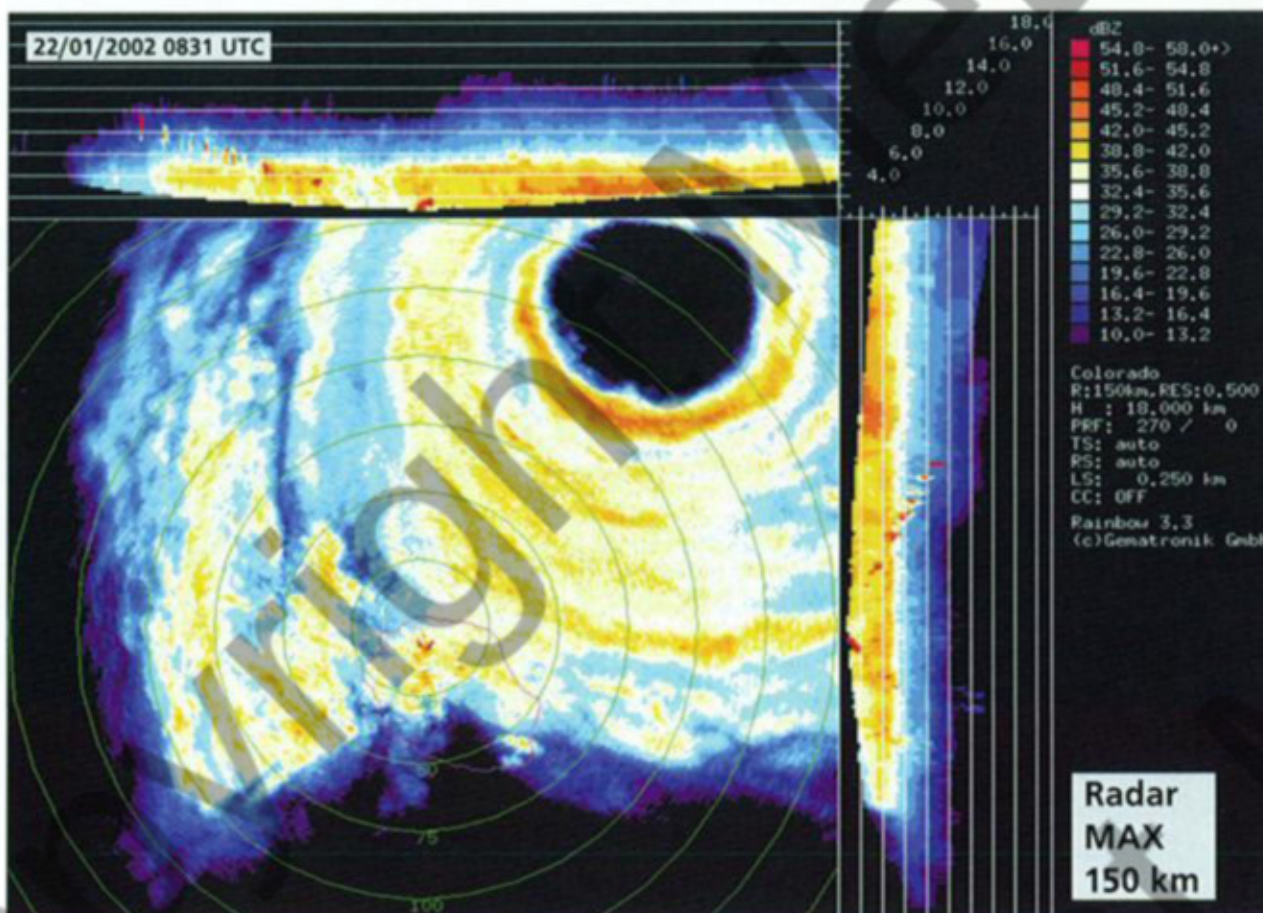
Ces conditions cycloniques durables trouvent leur origine dans la trajectoire suivie par DINA. Après la déflexion temporaire vers l'ouest observée à l'occasion du passage au plus près, le cyclone a en effet retrouvé son cap initial au sud-ouest en cours de nuit du 22 au 23. Contournant ainsi LA RÉUNION par le nord-ouest, puis par l'ouest, et ne s'éloignant de ce fait que très lentement, le centre du météore demeurait situé à moins de 100 km des côtes durant près de 10h (et à moins de 150 km durant plus de 19h).

Les fortes pluies vont elles perdurer beaucoup plus longtemps, puisque l'épisode pluvieux ne prendra fin qu'au matin du 24 janvier, après environ trois jours de pluies cycloniques. Sans avoir atteint des pics d'intensité extrême, ces pluies se

sont maintenues durant plus de 24h à un niveau d'intensité très soutenu, d'où par accumulation des lames d'eau très conséquentes.

Conformes sur une bonne partie de l'île à ce que l'on observe habituellement lors d'un épisode cyclonique à LA RÉUNION, elles ont été supérieures aux normes habituelles sur un bon tiers ouest du département, où des valeurs records pour cette région ont été enregistrées, notamment sur les zones côtières. Au total, il est tombé en 72h de 300 à 600 mm sur le littoral (495 mm à St-Denis, dont 395 mm en 24h), tandis que dans les Hauts on atteint les 900 à plus de 1 500 mm (maximum observé de 2 018 mm à La Plaine des Chicots, dans les Hauts de St-Denis, dont 1 367 mm en 24h).

Les pluies temporairement diluviennes qui ont affecté la façade ouest, ont provoqué des crues exceptionnelles des ravines de ce secteur habituellement le plus sec de l'île et des inondations dommageables. Qu'ils aient été générés par les pluies, le vent ou la houle cyclonique, les dégâts

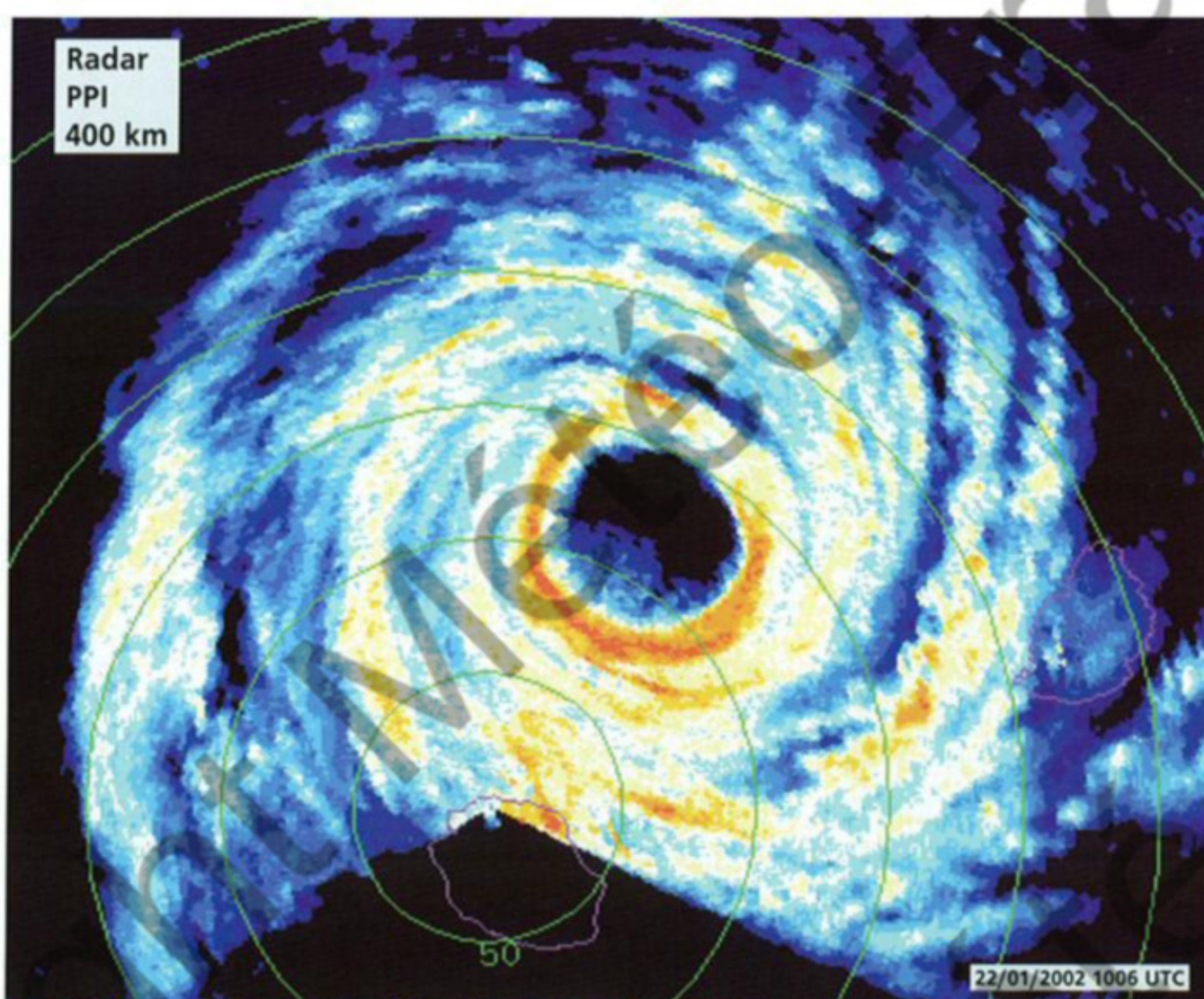


**LA RÉUNION sous la menace de plus en plus pressante de DINA.** En ce début d'après-midi du 22 janvier 2002, l'œil du cyclone se situe à moins de 100 km au large de la pointe de Champ Borne et se rapproche inexorablement, tel un trou noir prêt à « engloutir » l'île.

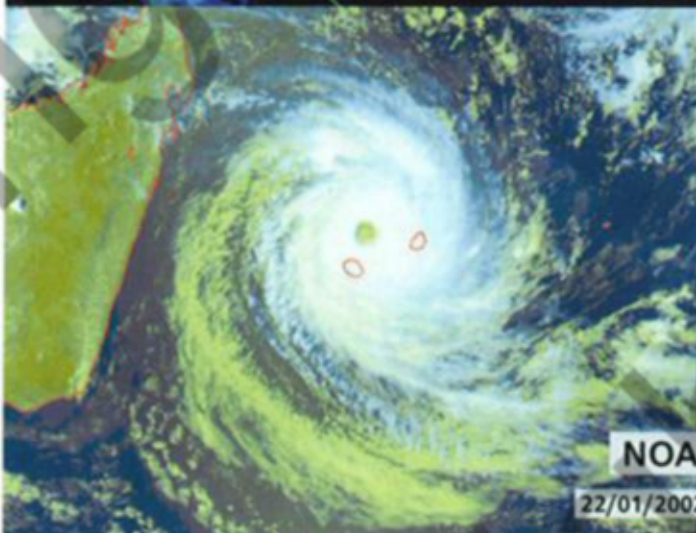
Après une montée en puissance des vents et des précipitations régulière, mais lente jusque là sur l'île, l'arrivée de la dégradation réellement importante des conditions est désormais imminente. Cette dégradation va correspondre avec l'entrée dans la zone d'influence de la masse nuageuse centrale dense associée au météore, zone où l'essentiel de l'activité pluvieuse et venteuse se trouve concentré. Sur l'image radar ci-dessus, cette masse pluvieuse la plus active ne se trouve plus qu'à quelques km au large (les projections suivant la verticale des précipitations les plus intenses figurent sur les bandeaux en haut et à droite de l'image – s'élevant jusqu'à 14 km d'altitude).

**LA RÉUNION under the increasing threat of DINA.** In this early afternoon of 22 January, the cyclone's eye had just crossed the 100 km threshold of minimal distance from the island's northeastern shoreline. Approaching inexorably, it looked like a black hole on the way to "engulf" the island, where, after a steady but slow rise of wind speeds and rain intensities, the real worse conditions were now impending. This worsening would correspond to the arrival of the central dense overcast of the cyclone related to the meteor's most intense rain and wind activity. On the above radar image, this most active rainy area was well depicted standing only a few km offshore with maximum vertical extension of 14 km height (the vertical projections of the max rain reflectivity are displayed on the banners up and right of the image).

Radar  
PPI  
400 km



22/01/2002 1006 UTC



NOAA 16

22/01/2002 1012 UTC



NOAA 16

22/01/2002 1012 UTC

Dina

Les îles sœurs sous l'emprise de DINA. Si pour MAURICE, le plus dur est passé, pour LA RÉUNION au contraire, le plus dur est à venir.

Noter la bonne correspondance entre la partie active du cyclone telle qu'on la visualise clairement sur l'image visible et la zone de fortes précipitations sur l'image radar (faisant quelque 250 km de diamètre).

*Sister islands under DINA's grip. If for MAURITIUS the worse was now behind, for LA REUNION it was still to come.*

*Notice the fair correlation between the active part of the cyclone as assessed from the visible picture and the heavy rainfall area displayed on the radar image (about 250 km in diameter).*

associés au passage du cyclone ont été très importants, se chiffrant en plusieurs centaines de millions d'euros (plus de 120 millions d'euros rien que pour l'indemnisation des particuliers et des entreprises, 43 millions d'euros pour le coût de remise en état du réseau routier, par exemple). Si le réseau routier a été mis à rude épreuve, le réseau électrique a également beaucoup souffert (plus de 70 % des abonnés privés d'électricité au plus fort du cyclone, certains d'entre eux ne retrouvant la fée électricité qu'au bout de 9 jours d'effort). Les réseaux téléphonique et de distribution d'eau ont été moins affectés, mais sérieusement perturbés tout de même (un quart de la population temporairement privée d'eau potable). L'information audiovisuelle, qu'elle soit radio ou télédiffusée, a été quasiment entièrement interrompue durant près de 12h.

Si les désordres ont été multiples et le bilan des dégâts matériels très lourd, le bilan humain a fort heureusement été sans comparaison, puisque aucune victime n'a été à déplorer lors de cet épisode DINA, le système d'alerte ayant une fois de plus démontré son efficacité dans la sauvegarde des personnes.

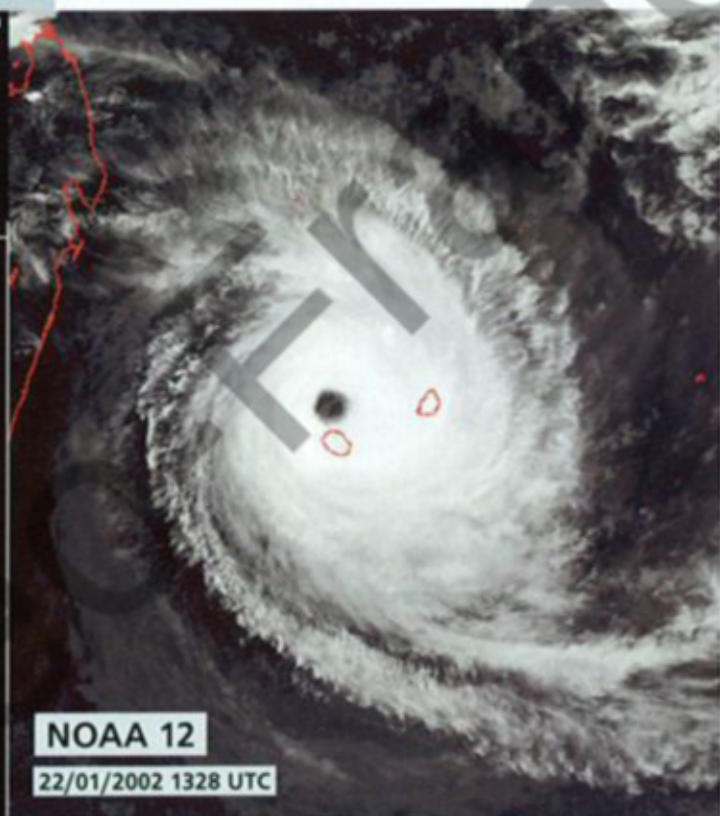
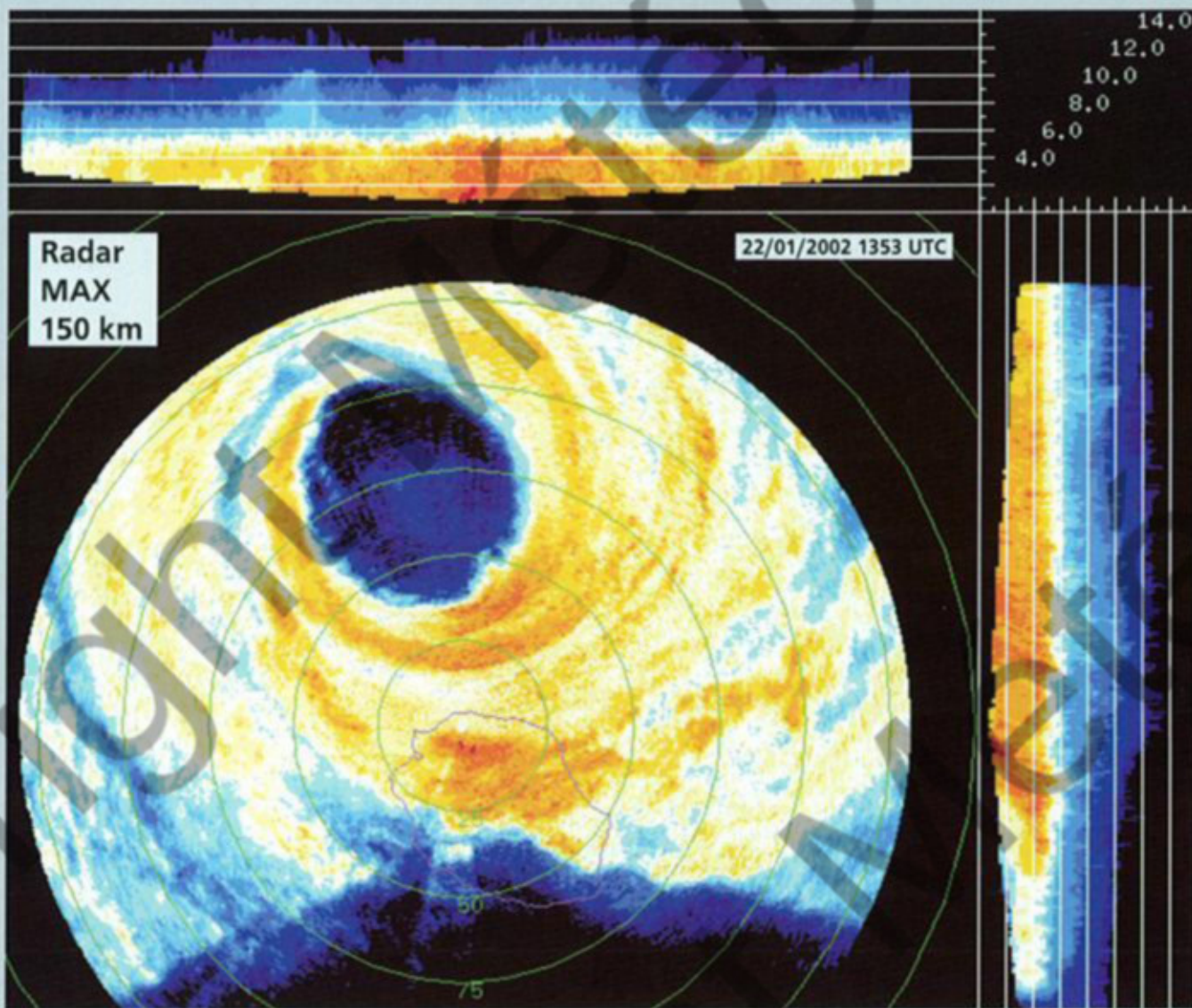
Six personnes trouveront toutefois la mort à LA RÉUNION lors des semaines et mois suivants, suite aux conséquences géologiques de la pluviométrie abondante de cette saison cyclonique 2001-2002 (pluviométrie essentiellement due aux épisodes DINA et HARY), avec trois éboulements rocheux directement ou indirectement à l'origine d'accidents mortels.

Au matin du 23 janvier, le début d'incurvation de la trajectoire de DINA en direction du sud-sud-ouest observé en fin de nuit précédente se confirme. Avec le décalage au sud-est de la cellule anticyclonique subtropicale de basse et moyenne troposphère qui gouvernait le flux directeur de la perturbation, le champ de pression commence à s'affaiblir au sud.

Avec l'approche, depuis le Sud du Canal de MOZAMBIQUE, d'un col barométrique lié au transit plus au sud d'un talweg frontal des moyennes latitudes, la faiblesse dans le champ de pression va aller en s'amplifiant, entraînant une attraction croissante du météore. Le 24, DINA plonge plus franchement vers le sud, tout en accélérant à plus de 20 km/h.

*announced for the evening and early night at the time of DINA's forecast closest passage to LA REUNION). However, DINA struck slightly earlier. This was not due to a faster motion but rather to another swerving occurring during the final approach to the Reunionese coast. Just as it had happened during the cyclone's closest passage to MAURITIUS, the track shifted up west for several hours. Apart from putting the time of closest approach several hours forward (around 6pm local time), this temporary deflection – probably caused by the influence of the presence of the island – was most welcome since it led the centre of the system to pass about 15 km further offshore that it would have done otherwise (thus nearly at the same distance offshore as for MAURITIUS – i.e. about 65 km off the north shore).*

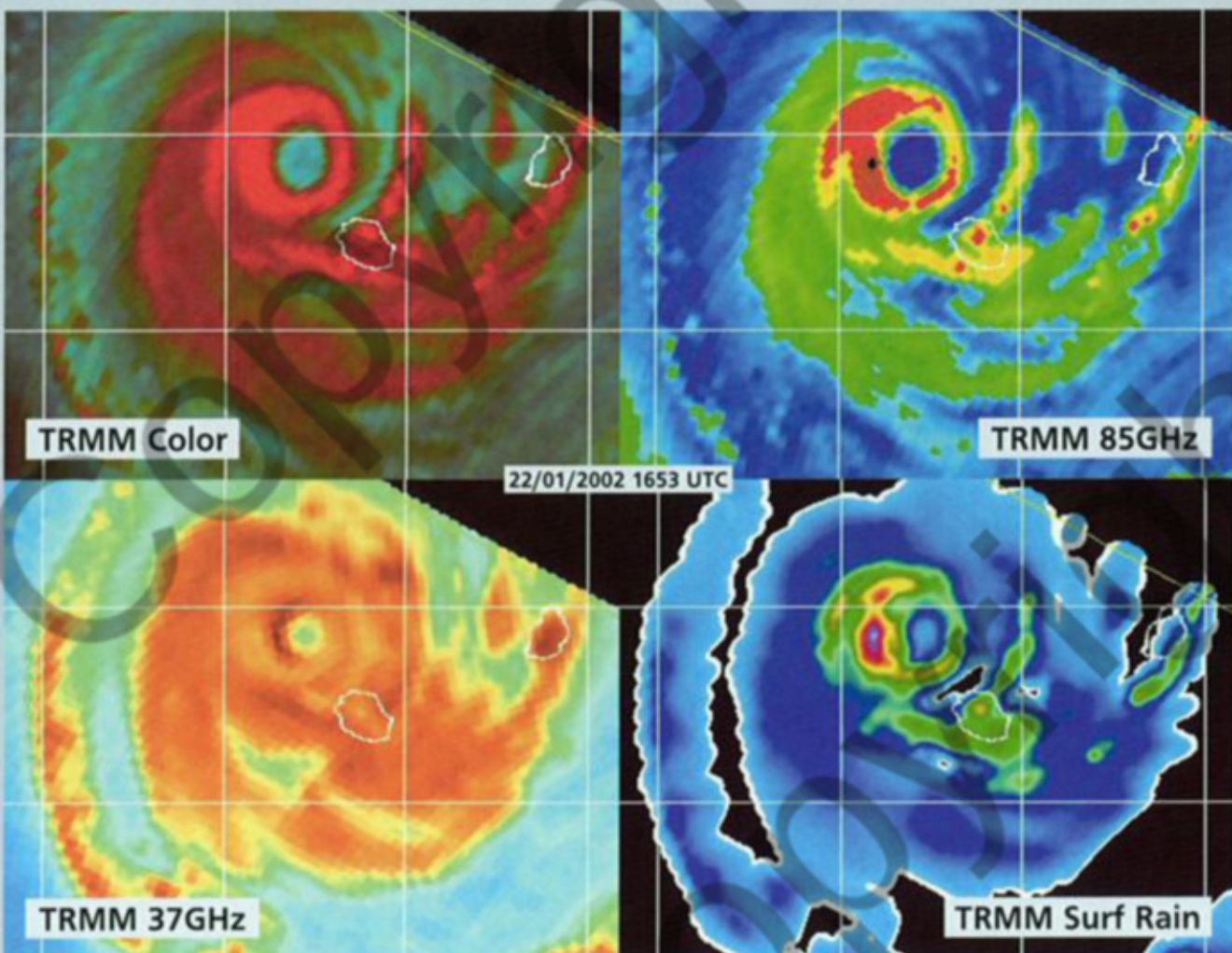
*As a result, the northwest front of the island was spared the drastic conditions connected to the eyewall which finally transited more than 25 km off the coastal road, i.e. at a slightly greater distance than that of the cyclone's closest passage to MAURITIUS northern tip (the eye having slightly shrunk meanwhile). The extreme conditions observed at LA REUNION would nevertheless be even worse than in the sister-island due to the great orographic difference between the two islands, with a steeper relief in LA REUNION*



NOAA 12  
22/01/2002 1328 UTC

DINA passe au plus près de LA RÉUNION. Bien que l'œil, légèrement elliptique, se soit contracté (ne faisant plus que 65 km de diamètre moyen), LA RÉUNION pourrait tenir entièrement à l'intérieur. L'anneau d'intenses précipitations correspondant au mur de l'œil et associé aux vents les plus violents, passe à environ 25 km au large et épargne l'île. L'effet de renforcement des précipitations par le relief de l'île apparaît clairement sur l'image.

DINA when passing to the nearest of LA REUNION. Despite the shrinkage of the slightly elliptical eye (of now 65 km average width) LA REUNION could hold entirely inside of it. The ring of intense rainfall corresponding to the eyewall and to the strongest winds passed some 25 km offshore therefore sparing the island. The rainfall orographic enhancing effect of the island is clearly visible on the image.



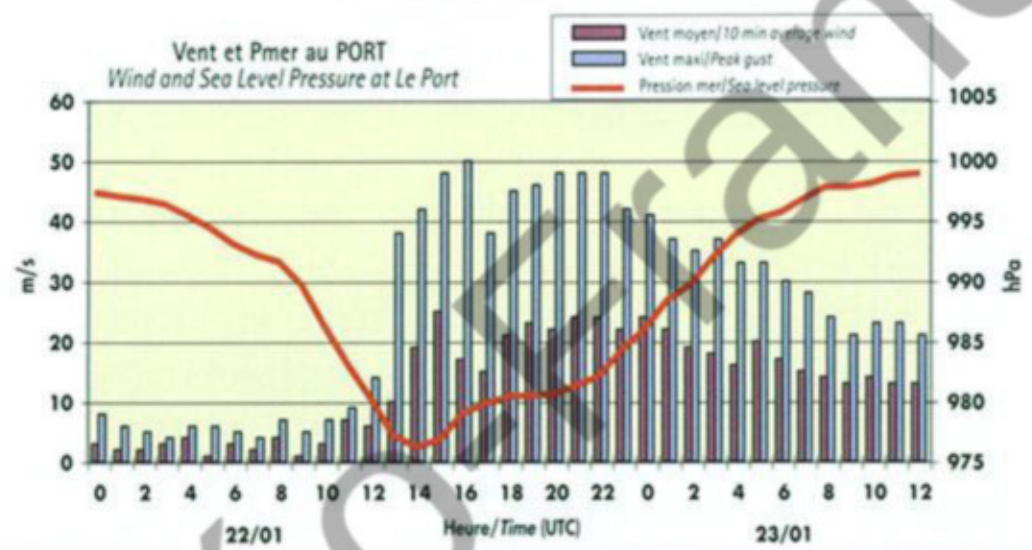
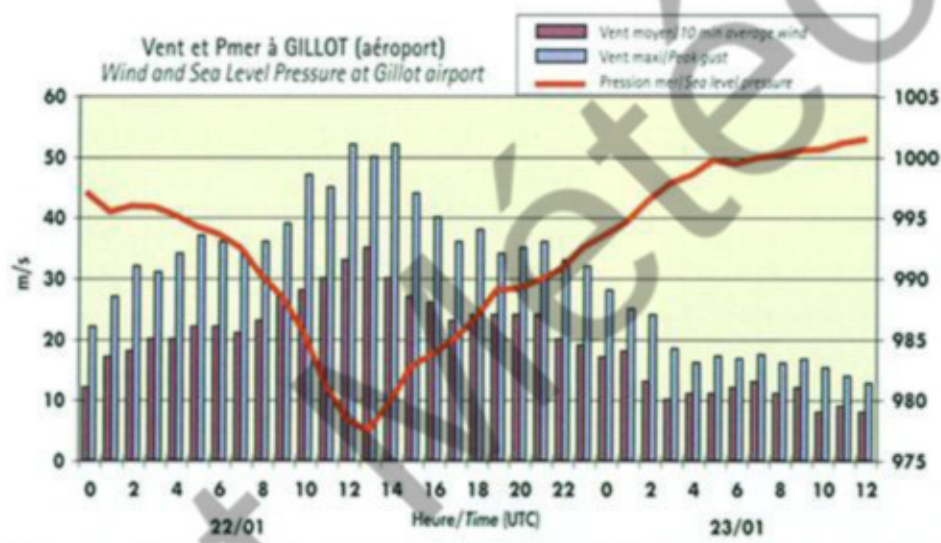
LA RÉUNION à l'arrière de DINA. L'île est encore dans la tourmente à cette heure, mais peut envisager l'avenir plus sereinement. Car il est désormais acquis qu'elle ne pourra plus être frappée par les vents maximaux circulant autour de l'œil. Sur ces images micro-ondes, on saisit mieux le fait que l'île a été ainsi en partie épargnée par le cyclone, le cœur du météore (le mur de l'œil et ses environs immédiats) demeurant en mer.

LA RÉUNION subit à ce moment les très fortes pluies générées par une bande pluvieuse dans le quadrant sud-est du système (noter la séparation franche entre cette bande et le mur de l'œil, avec une zone presque dénuée de précipitations qui effleure le littoral nord-ouest), tandis qu'une autre bande pluvieuse périphérique affecte encore la façade est de l'île MAURICE.

LA REUNION in DINA's wake. The island was still enduring the cyclone's rack but could already consider the coming hours more serenely since it was now taken for granted that it would not be hit by the maximum winds encircling the eye. On these microwave images one can better see the fact that the island was partly spared by the cyclone, whose central core (eyewall and immediate surroundings) remained at sea. LA REUNION was at that time drenched by the heavy rainfall generated by a rainband situated in the southeastern quadrant of the storm (notice how clear-cut from the eyewall that band was with the presence of a protruding separating area almost devoid of rain which was encroaching on the northwestern shoreline). An other outer rainband was at the same moment affecting the eastern side of MAURITIUS.

Il subit dans le même temps un renforcement du cisaillement vertical de vent. Alors qu'il était demeuré plusieurs jours durant au voisinage de l'axe de la dorsale d'altitude, lui assurant à la fois un cisaillement de vent faible et d'excellentes conditions divergentes d'altitude, le météore s'en éloigne et rencontre des vents de nord-nord-ouest allant crescendo à mesure de son enfoncement vers les latitudes sud et du rapprochement par l'ouest du talweg d'altitude lié au système frontal des moyennes latitudes précité.

Dès le début de journée du 23, la structure nuageuse du cyclone avait commencé de répondre à cette modification défavorable de son environnement. Les sommets nuageux s'étaient réchauffés sensiblement, l'œil était devenu irrégulier et moins bien défini sur l'imagerie classique, tandis que l'imagerie micro-onde SSM/I indiquait un début d'érosion de la partie nord du mur de l'œil. Cette amorce de déstructuration se confirmait au fil des heures. L'œil disparaissait dans la nuit du 23 au 24, puis la convection se disloquait rapidement en journée du 24 sous l'impact du cisaille-



Vents et pression observés à l'aéroport de Gillot (côte nord) et au Port (côte nord-ouest) lors de l'épisode DINA. On notera la différence de comportement du vent : classique à Gillot, avec une durée de vents forts toutefois remarquable (près de 24h de rafales supérieures à 100 km/h), nettement moins au Port, qui, pour les cyclones arrivant par le nord-est de LA RÉUNION, trajectoire la plus habituelle, se situe dans la zone sous le vent du relief de l'île durant toute la phase d'approche du cyclone. Protégée des vents de sud-est à est régnant alors, cette zone subit ensuite la pénétration brutale du vent quand celui-ci vire au nord-est, après le passage à l'aplomb de la côte nord.

Une deuxième « anomalie » est à noter sur les profils de vent du Port, i.e. l'affaiblissement temporaire du vent observé après le pic de vent initial et qui tient très probablement au fait que la station se trouvait à ce moment-là dans la zone dénuée de précipitations située entre le mur de l'œil et la première bande pluvieuse externe (voir images page opposée). Cette zone correspondait non seulement à une zone d'accalmie en termes de précipitations, mais également à un minimum relatif de vent.

Les vents se sont ensuite maintenus pendant de nombreuses heures à un niveau élevé, du fait d'un éloignement extrêmement lent de DINA durant cette période au cours de laquelle le météore contournait l'île par l'ouest.

**Winds and pressure observed at Gillot Airport (north coast) and at Le Port (harbour) (northwest coast) during DINA's event.** Notice the different wind behaviour: classical at Gillot, with a remarkable duration of the strong winds however (the gusts exceeding 100 km/h for almost 24h), but unusual at Le Port. For cyclones coming from the northeast of LA REUNION (usual situation), the harbour remains lee of the mountains during the approaching phase of the storm, being protected from the southeasterly to easterly winds flowing then, but undergo a brutal penetration of northeasterly winds when the meteor's centre passes beyond the northern tip of the island.

The wind profile at Le Port presented another "anomaly", i.e. a temporary slackening of the winds after the initial peak. This was observed when the station was situated within the protruding area almost rain devoid that had appeared between the eyewall and the first outer rain band (see images opposite page). This area not only corresponded to a lull in terms of rain but also to some relaxation of the wind, which soon levelled up to maintain high windspeeds for quite a long time afterwards (due to the slow withdrawal of DINA while skirting round the west of the island).

ment, laissant apparaître le vortex nuageux de nuages bas et moyens, au centre duquel une tache sombre presque dénuée de nuages, matérialisait clairement le résidu de l'œil de DINA.

L'affaiblissement se poursuivant, DINA perdait son statut de cyclone tropical en soirée du 24, à l'approche du 27° parallèle, et incurvait dans la foulée en direction du sud-est, à l'avant du talweg frontal. Désormais en phase de transition extratropicale avancée, mais toujours associé

à des vents de la force tempête, le minimum dépressionnaire de l'ex-DINA franchissait le 30° parallèle dans l'après-midi du 25.

En comblement lent, la dépression extratropicale ne fusionnait finalement pas avec le front froid, mais poursuivait tout de même son évacuation en direction du sud-est. Franchissant le 40° parallèle dans l'après-midi du 28 janvier, il était finalement phagocyté par un nouveau talweg polaire le lendemain.

leading to stronger gusts and heavier rains. The maximum gusts reached or exceeded 180 km/h over the north to northwest coasts and also on the southwest coast, and locally 200 km/h in the island's heights with peaks of 250 km/h or above in the more exposed northwest heights, namely in the La Montagne/Saint-Denis area where major wind-related damage occurred. Even more remarkable beside the measured values was how long the violent winds lasted. Indeed, at Plaine des Cafres (at 1450m elevation) the gusts exceeded 150 km/h over 15 hours.

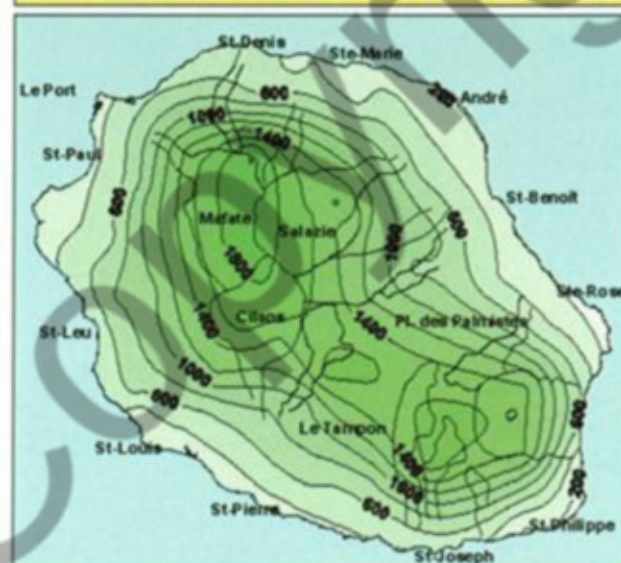
These long-lasting cyclonic conditions stemmed from the track followed by DINA. After its temporary westward deviation observed during its closest passage, the cyclone went back on its initial southwestward track in the course of the night of the 22nd. This way it skirted round LA REUNION by the northwest then by the west and thereby moved away very slowly. The meteor's centre thence remained at less than 100 km offshore for about 10 hours (and at less than 150 km for over 19h).

Heavy rains lasted much longer and only stopped in the morning of 24 January after three days of cyclonic rain. While rains did not reach extreme intensity peaks, they remained quite heavy for more than 24 hours though, and produced very significant rainfall amounts by accumulation as a result. These amounts were consistent with the ones usually observed in most parts of the island during a cyclone event. They were however higher to usual norms in a good third of the western part

Rafales maximales en km/h entre le 22 et le 23 janvier 2002. Heures à droite de la valeur. Les valeurs en italique ont été estimées d'après des mesures de vent à 2 mètres (stations CIRAD) ou d'après les dégâts constatés.



Cumul des précipitations en 3 jours (millimètres) du 21 au 23 janvier 2002 (de 7h le 21 à 7h le 24)



Rafales maximales de vent (à gauche) et cumuls de précipitations sur 72h (à droite) observés à LA RÉUNION lors de l'épisode DINA (vents en km/h et carte d'isohyètes en mm) : les précipitations ont excédé les 1500 mm sur la majeure partie des Hauts compris entre le volcan de La Fournaise (à l'est) et le cirque de Mafate (à l'ouest).

**Maximum wind gusts (left) and 72h rainfall amounts (right) recorded at LA REUNION during DINA's event** (gusts in km/h and isohyets map in mm for the period 21 to 23 March 2002): rain in excess of 1500 mm fell over most of the central inland ridge stretching from the volcano area (east) to the western cirque of Mafate.

of the department where record values were registered in that region, namely on the coastal areas. All in all, there was 300 to 600 mm rainfall in 72h on the coast (495 mm in Saint-Denis, of which 395 mm in 24h) while rain in the heights reached 900 to more than 1500 mm (recorded maximum of 2018 mm at Plaine Chicots in Saint-Denis' upper reaches, of which 1367 mm fell in 24h).

The temporary deluge that affected the western side caused exceptional water rise in ravine levels in that area which is usually the driest in the island, and caused severe floods. Whether induced by rain, wind or swell, damage related to the passage of the cyclone was very important and amounted to several hundred million euros (over 120 million euros just to pay compensation for damage caused to private individuals and firms, 43 million euros in road repairs, etc.). Both the road and electric networks were hardly hit (with over 70% of private subscribers with no electricity during the cyclone peak, some of them only recovering electricity back 9 days later). The phone lines and water distribution networks were less affected but still very much perturbed (quarter of the population was left without drinking water for a while). TV and radio broadcast was nearly totally interrupted for close to 12 hours. While material destruction was heavy, human-wise there was fortunately no death casualties during the whole of DINA's episode, the warning and state of alert system proving once more to be very efficient in saving people.

However, six people died in LA REUNION, in the course of the following weeks and months as a result of the geological impact of heavy rainfall during that cyclone season of 2001-2002 (rain essentially due to DINA and HARY's episodes) causing three rock slides directly or indirectly involved in the death casualties.

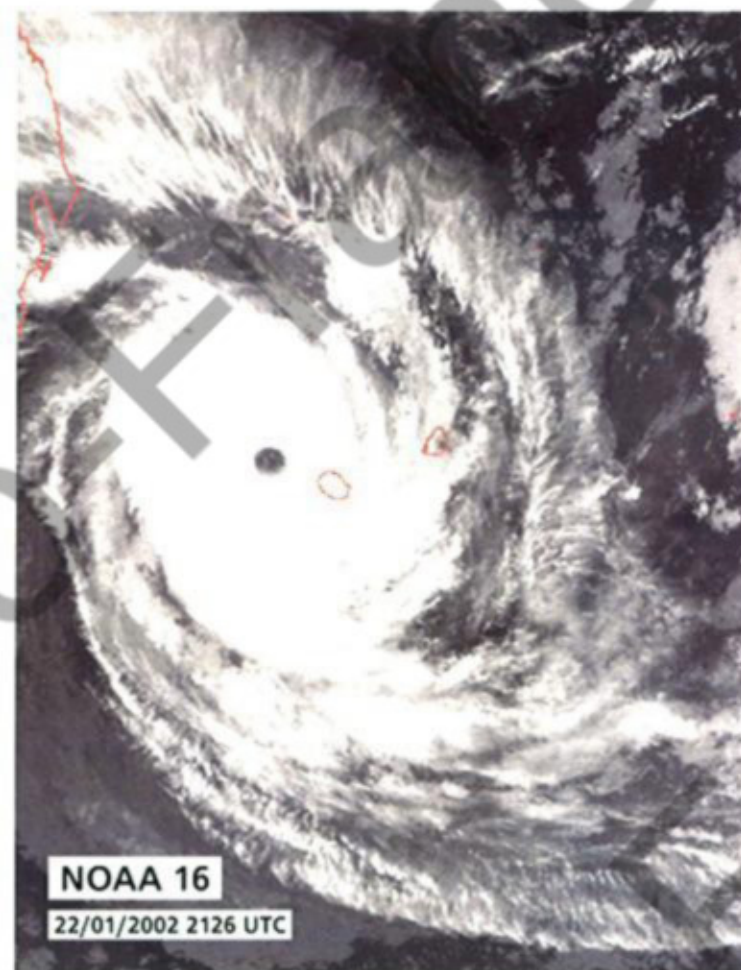
In the morning of 23rd January, the incipient recurvature of DINA's track towards the south-southwest observed at the end of the previous night was confirmed. With the southeast shift of the low and mid-levels subtropical high that was governing the steering flow of the disturbance, the pressure field started to weaken in the south. With the approach from the south of the MOZAMBIQUE Channel of a barometric col linked to the transiting further south of a frontal trough of mid latitudes, the weakness in the pressure field deepened causing an increased attraction of the meteor. On the 24th, DINA dipped definitely down toward the south while speeding up to 20 km/h.

Simultaneously it underwent a strengthening of the vertical wind shear. While the meteor had remained several days long close to the axis of the upper ridge, thereby ensuring both a weak wind shear and excellent upper divergence conditions, it was now shoving off and coming across north-northwesterly winds that increased as it moved forward towards the south latitudes and as the approaching upper trough connected to the above-mentioned mid latitudes frontal system was getting closer from the west.

In the early morning of the 23rd, the cloud structure of the cyclone had started reacting to the unfavorable environmental change. The cloud tops had warmed up significantly, the eye had become irregular and less well-defined on classic imagery, while the SSM/I microwave imagery was indicating the beginning of an erosion of the northern portion of the eyewall. The weakening trend was confirmed in course of time. The eye disappeared in the night of the 23rd and the convection was quickly dismantled thereafter in the day of the 24th under the impact of the wind shear, thereupon uncovering the vortex of low and mid levels clouds in the middle of which a cloudless dark spot clearly materialised as the residual eye of DINA.

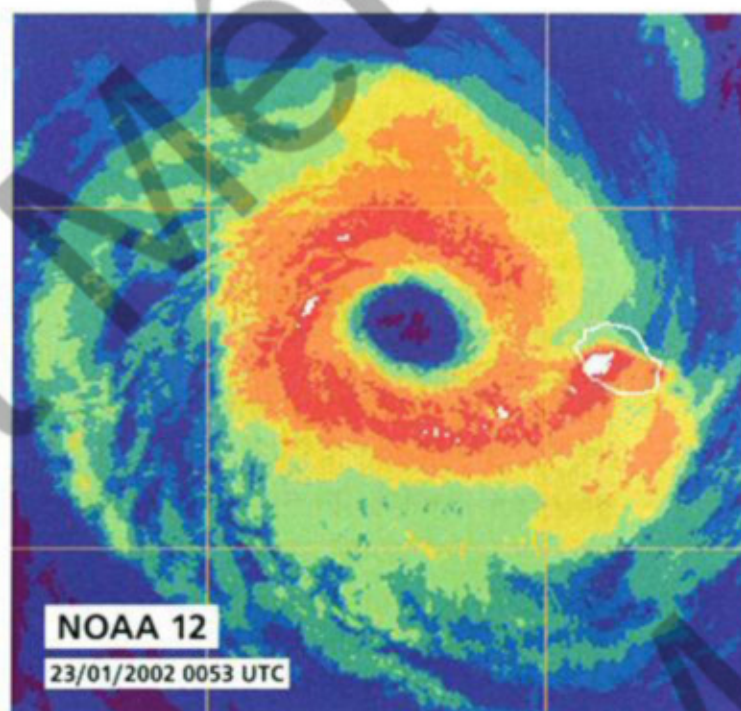
As DINA kept on weakening further, it lost its tropical cyclone status by the evening of the 24th as it approached latitude 27°S and recurved soon after towards the southeast ahead of the frontal trough. Now undergoing an advanced extratropical transition phase but still generating storm force winds, the minimum low of ex-DINA crossed latitude 30°S in the afternoon of the 25th. Filling very slowly, the extratropical depression did not end up merging with the cold front but kept evacuating southeastwards though. As it crossed latitude 40°S in the afternoon of the 28th, it was finally absorbed by a new polar trough the next day.

First intense tropical cyclone of the 2001-2002 season, DINA lasted four days long at this intensity, the longest time at such an intensity sustained by any storm of that season. While DINA was not graded as the most intense system -HARY was- it will remain as the most memorable cyclone of that season given the impact it had on the MARSCARENES Archipelago and one of the major cyclone events in MAURITIUS and LA REUNION in the last decades.



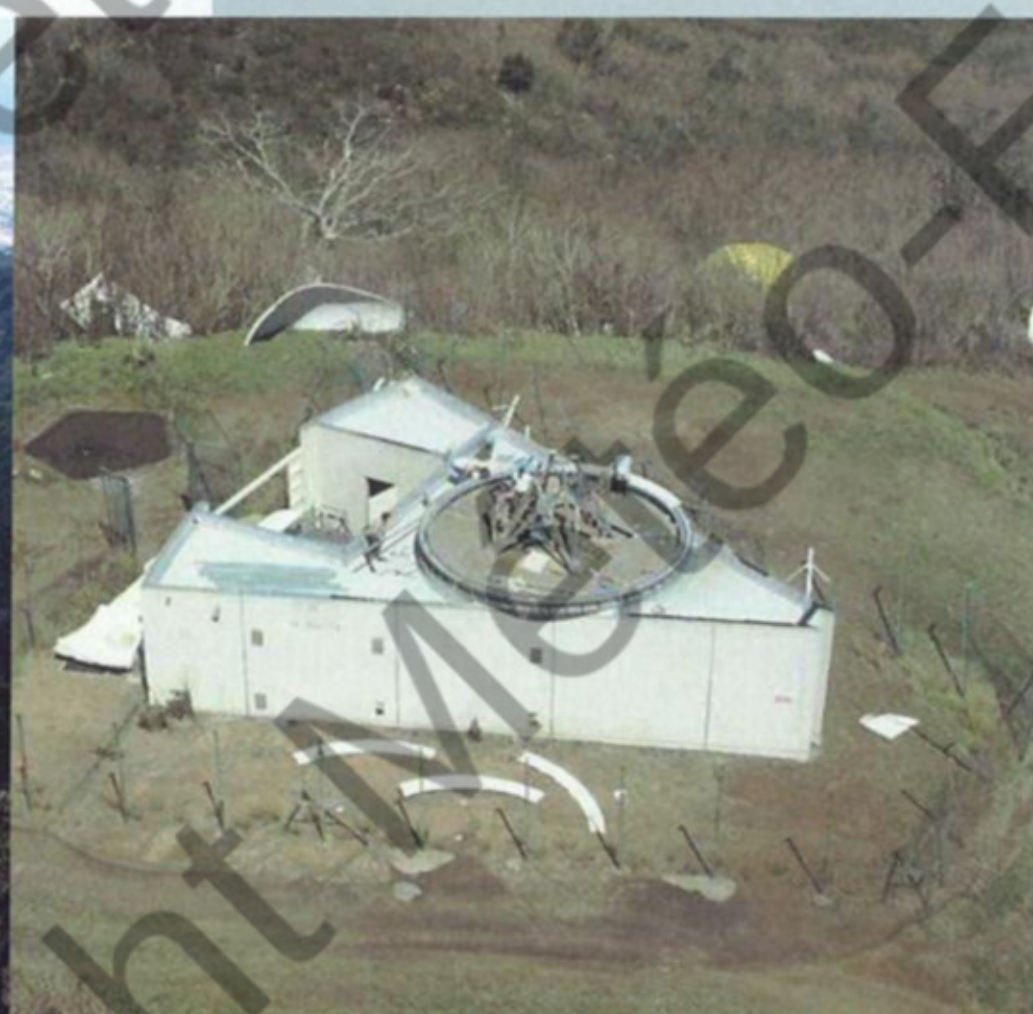
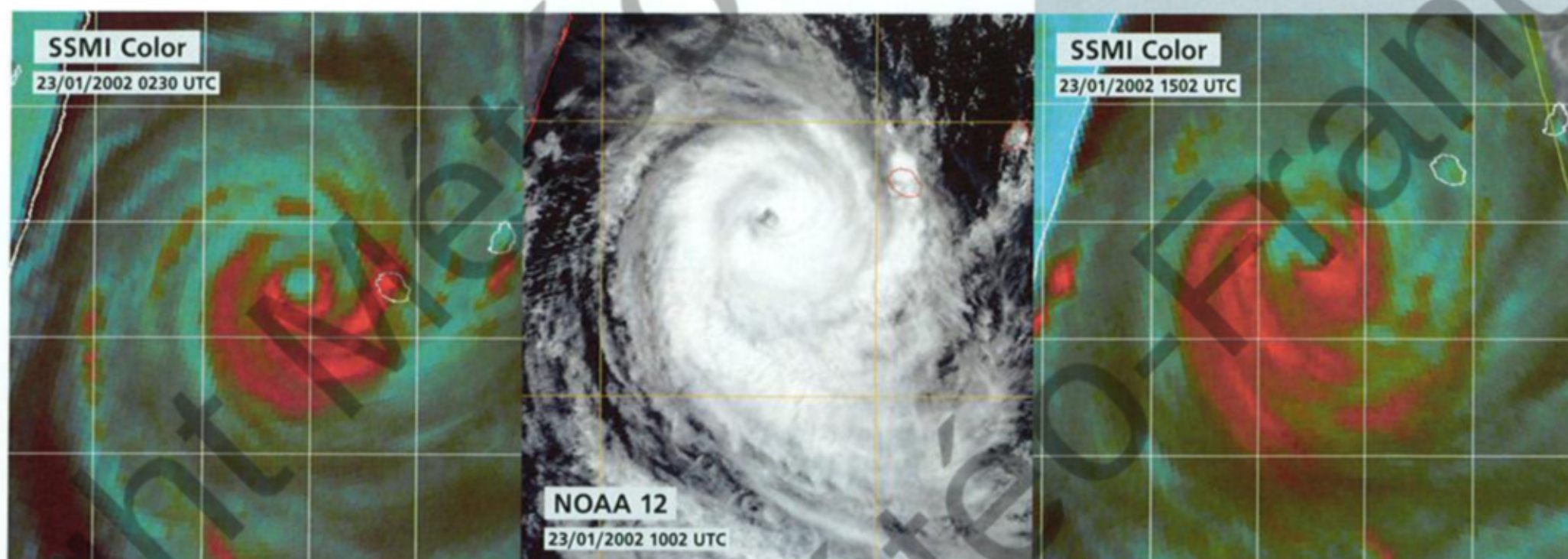
DINA contourne et s'éloigne lentement de LA RÉUNION, tout en commençant de s'affaiblir par début de cisaillement de vent. L'île sort finalement de la zone d'influence pluvieuse du météore dans l'après-midi du 23 (voir page opposée).

DINA when skirting round and slowly moving away from LA REUNION while starting to weaken through incipient wind shear. The rainy influence of the meteor eventually left the island in the afternoon of 23rd (see opposite page).



Premier cyclone tropical intense de la saison 2001-2002, DINA se sera maintenu quatre jours durant à cette intensité, la plus grande longévité à ce stade de tous les systèmes dépressionnaires de la saison. Même s'il n'a pas été classé comme le phénomène le plus intense, cette distinction revenant à HARY, DINA demeurera comme le cyclone marquant de cette saison de part son impact sur les îles de l'archipel des MASCAREIGNES, figurant parmi les épisodes cycloniques majeurs ayant affecté l'île MAURICE et LA RÉUNION au cours de ces dernières décennies.





**Le radar Döppler de LA RÉUNION et DINA : « Autant en emporte le vent ».** Depuis 1993, Météo-France dispose d'un radar Döppler 10 cm implanté sur le site du Colorado, à 750 m d'altitude au-dessus de la ville de St-Denis, dans un site très exposé, en bordure de falaise. Son radôme de protection avait été changé en novembre 2000, le nouveau étant censé résister à des vents de 300 km/h...

Mais suite à la déchirure provoquée par l'impact d'un projectile volant, il n'a pas résisté aux bourrasques de DINA et a été démantibulé en l'espace d'une heure. Cela a entraîné *ipso facto* l'arrachage de l'antenne, emportée par le vent (au moment où ceux-ci étaient à leur paroxysme), pour finir sa course dans un petit bois à plus de 50 m de sa position d'origine (en jaune sur l'imagerie)! Dès le mois de décembre 2002, un nouveau radar l'a remplacé.

**The Döppler radar of LA REUNION and DINA: "Gone with the wind".** Since 1993 Météo-France benefited from a 10 cm Döppler radar settled at 750 m elevation above the capital city of Saint-Denis on a very exposed site located on top of a steep cliff. Its protecting radome had been changed in November 2000, the new one being supposed to resist to gusts up to 300 km/h...

But following the rent caused by a flying debris, it could not bear the fiercest winds of DINA and flew asunder in one hour time. This resulted in the antenna being torn down and blown away into a small wood where it was stopped at 50 m distance from its initial location (in yellow on the image)! As soon as December 2002, a new radar replaced it.



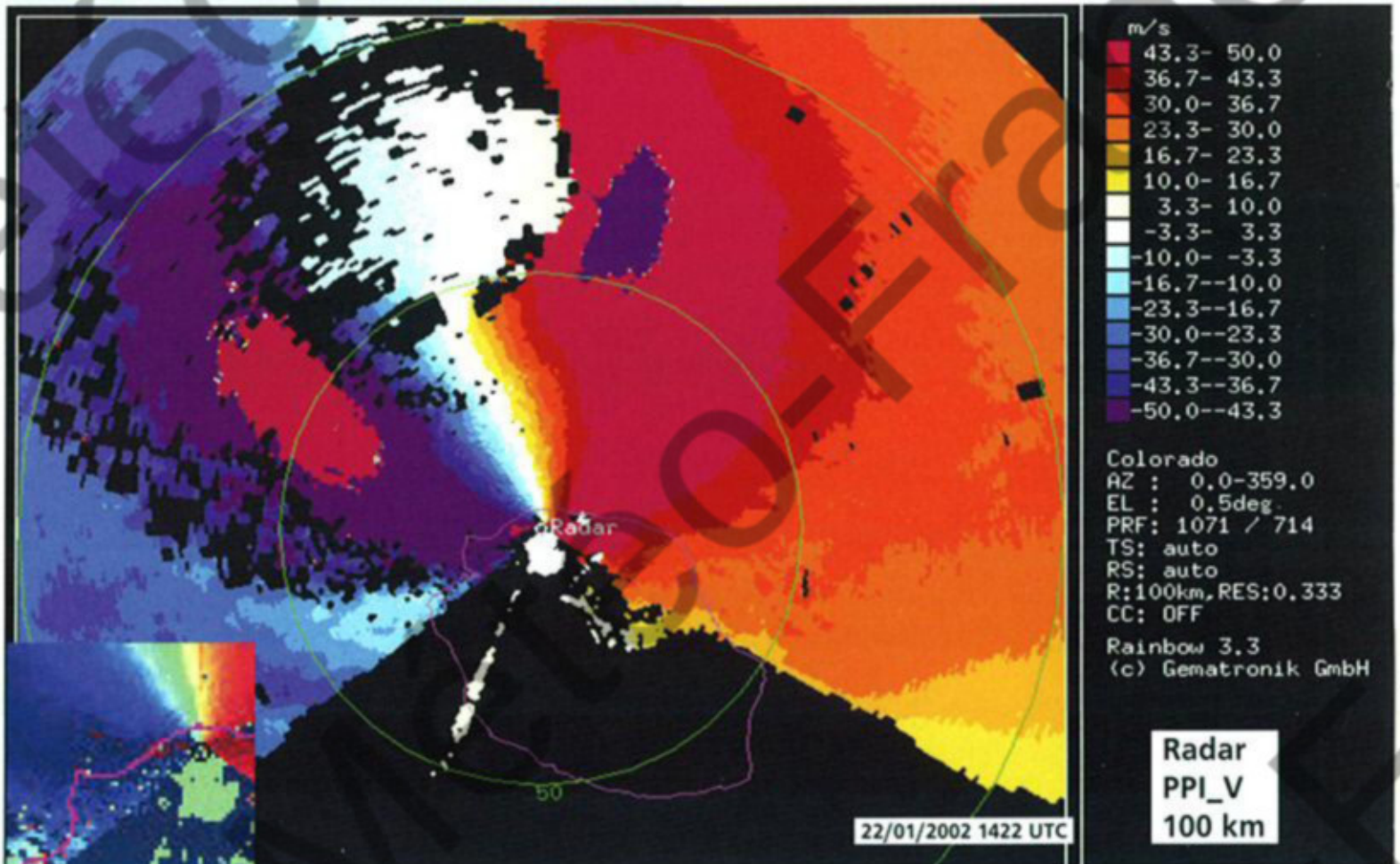
**L'exploitation des données Döppler du radar.** La perte du radar (un peu après le passage au plus près de DINA) n'a pas permis d'acquies toutes les données possibles. Mais celles recueillies avant sa destruction, ont tout de même permis de se faire une bonne idée des vents qui ont pu souffler sur cette portion nord-ouest de l'île de LA RÉUNION, ainsi qu'au cœur de DINA.

L'image ci-contre montre le champ de vitesses radiales dérivé des données Döppler du radar. Ces données sont complexes et difficiles à interpréter. Le calcul se fait à partir de la valeur moyenne du déplacement des échos de précipitations sur un pavé d'environ 500 m de côté. Les valeurs ainsi obtenues peuvent être assimilées à l'équivalent de vents moyennés sur un peu moins d'une minute.

Les deux plages de couleur discriminent les vitesses radiales orientées vers le radar (en rapprochement, en rouge) et celles en éloignement (en bleu). Noter la présence des deux petites zones saturées : celle en bleu correspond à des vents de nord-nord-est, dont la composante radiale vers le radar est très peu différente de la valeur vraie du vent, et qui excèdent les 50 m/s (limite de calibration du radar). Cette zone, au sein de laquelle se trouve le rayon des vents maximaux, se situe à quelques km à l'extérieur de la bordure interne du mur de l'œil (zone noire et multicolore en haut). L'autre zone saturée (tache de couleur brique), correspondant à des vents de sud-est à sud-sud-est, est plus importante (se situant entre 1050 et 1400 m d'altitude).

L'utilisation d'un algorithme complexe de repliement du spectre des données (telle que la méthode dite GB-EVTD (Ground Based Extended Vortex Track Display) peut permettre d'accéder avec une précision satisfaisante aux composantes radiales et tangentielle du vent. Ce travail a été fait (se référer à Roux, F., F. Chané-Ming, A. Lasserre-Bigorry et O. Nuissier, 2004 : Structure and evolution of intense tropical cyclone Dina on 22 January 2002 : GB-EVTD analysis of single Doppler radar observations. J. Atmos. Oceanic Technol., \*21\*, 1501-1518). Parmi les résultats obtenus, on peut retenir que : des vents supérieurs à 60 m/s étaient présents en dessous de 3000 m d'altitude au voisinage du rayon des vents maximaux (celui-ci se situant à environ 50 km du centre de l'œil à 500 m d'altitude), que la zone de vents supérieurs à 55 m/s avait eu tendance à se dilater à l'approche de LA RÉUNION, atteignant la côte nord de l'île au moment du passage au plus près, le maximum de vent à ce moment là étant estimé à 62 m/s.

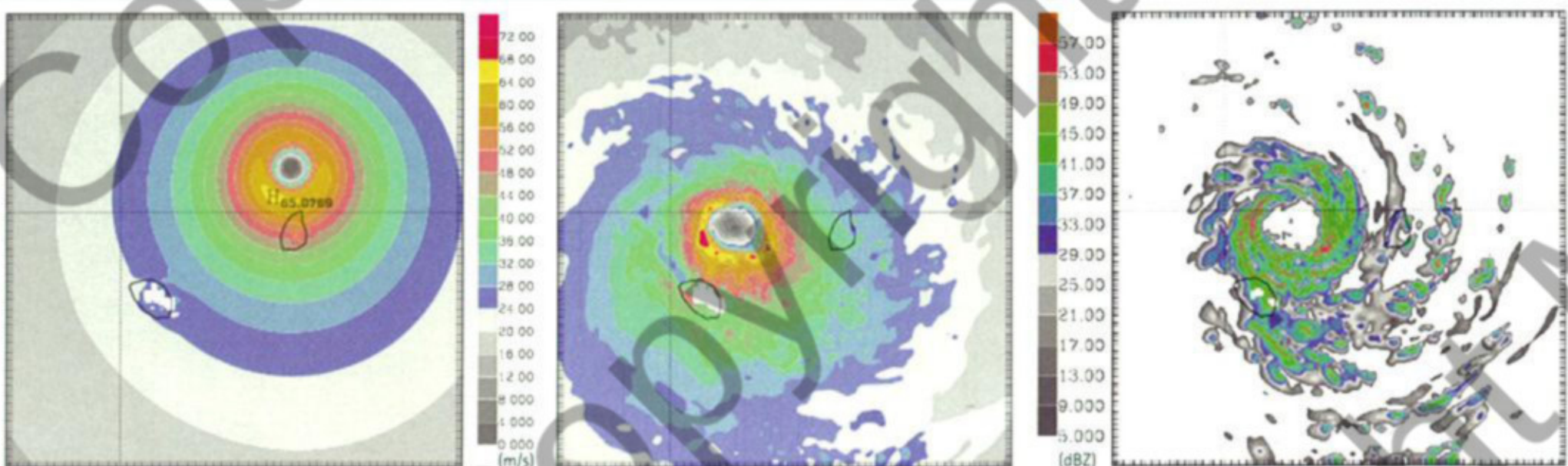
Des vents de force équivalente ont dû souffler au voisinage du radar, comme le montre l'existence de zones de saturation à proximité (voir zoom ci-dessus), ce qui signifie des rafales de l'ordre de 280 km/h, voire plus compte tenu de la turbulence importante générée par le relief...



**Making the most of the Döppler radar data.** The loss of the radar (a little while after DINA's nearest passage) did not allow to acquire all the possible data. However those gathered prior to its destruction enabled to get a good perception of the winds that blew on the northwestern sector of LA REUNION and inside the inner core of DINA. The above image shows the radial winds derived from the Döppler radar data. Those data are complex and difficult to interpret. The winds are given by the average motion of rain echoes within a 500 m cube. The thereby calculated values can be considered to be tantamount to winds averaged over slightly less than one minute (close to sustained winds hence).

The two main coloured areas discriminate between inbound (in red) and outbound (in blue) radial winds - the reference being the radar location. Notice the presence of two small saturated patches: the blue one corresponded to north-northeasterly winds (whose radial components closely matched the true winds) that exceeded 50 m/s (upper limit allowed by the radar calibration). Standing a few km outward from the inner edge of the eyewall (upper black and polychrome area) it included the radius of maximum winds. The reddish brown patch, corresponding to southeasterly or south-southeasterly winds, was more important (being situated within the 1050-1400 m height layer).

Through the application of a sophisticated algorithm called Ground Based Extended Vortex Track Display (GB-EVTD) to the Döppler data, it is possible to infer correct basic estimates of the tangential and radial winds within a tropical cyclone. This work has been done with DINA by Roux and al. (refer to Roux, F., F. Chané-Ming, A. Lasserre-Bigorry and O. Nuissier, 2004: Structure and evolution of intense tropical cyclone Dina near La Réunion on 22 January 2002: GB-EVTD analysis of single Doppler radar observations. J. Atmos. Oceanic Technol., \*21\*, 1501-1518). Among the main results, we can quote the following: winds stronger than 60 m/s were present below 3000 m height near the radius of maximum winds (which was situated at about 50 km from the eye centre at 500 m height), the area of winds stronger than 55 m/s had undergone a spreading tendency during DINA's final approach to LA REUNION thereby scraping the northern shoreline at the time of nearest passage, the maximum wind being at that time 62 m/s. Winds of equivalent strength might have blown close to the radar, as shown by the existence of small patches of wind saturation nearby (see the zoom on the picture), which means gusts around 280 km/h, or possibly higher because of the orographically enhanced turbulence and gustiness...



**Quelques résultats de simulations du cyclone DINA à l'aide du modèle non-hydrostatique de Météo-France** sont présentés ci-dessus. Ils montrent que ce type de modèle à haute résolution (modèle de recherche non utilisé en opérationnel) a la capacité d'appréhender correctement la structure et l'évolution d'un cyclone tropical.

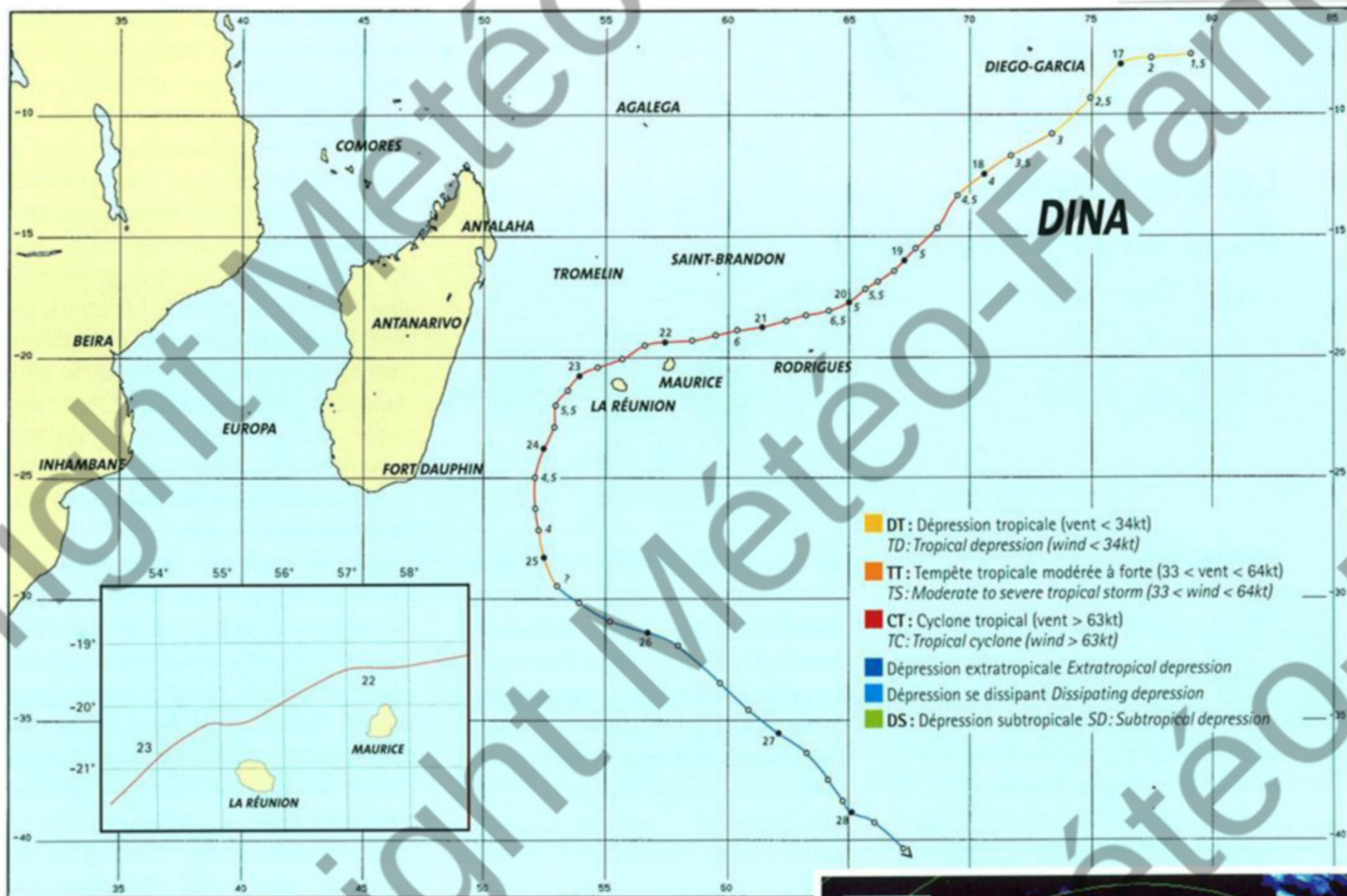
À gauche figure le champ de vent à 850 hPa obtenu après initialisation du modèle méso-NH à la résolution 4 km (inclusion du vortex initial à partir des données radar suivant l'algorithme GB-EVTD) : le vortex ainsi obtenu est réaliste et cohérent avec l'intensité analysée du cyclone, présentant un vent tangentiel maximal de 65 m/s situé à environ 50 km du centre.

Au centre, figure le même champ de vent à 850 hPa, 15h plus tard, tel que simulé par le modèle, et à droite la vision correspondante du champ de réflectivité radar à 2 km (à comparer avec l'observation de la page 35) : la structure de l'œil, du champ de vent et de précipitations alentours apparaissent tout à fait réalistes (données extraites du rapport de stage de DEA effectué à la Cellule Recherche Cyclones du CMRS de LA RÉUNION par F. Ferry).

*Some results from numerical simulations of cyclone DINA with the non-hydrostatic model of Météo-France are presented above. They demonstrate that such a high resolution model (research model not used operationally) has the skill to correctly feature the main characteristics of a tropical cyclone structure and evolution.*

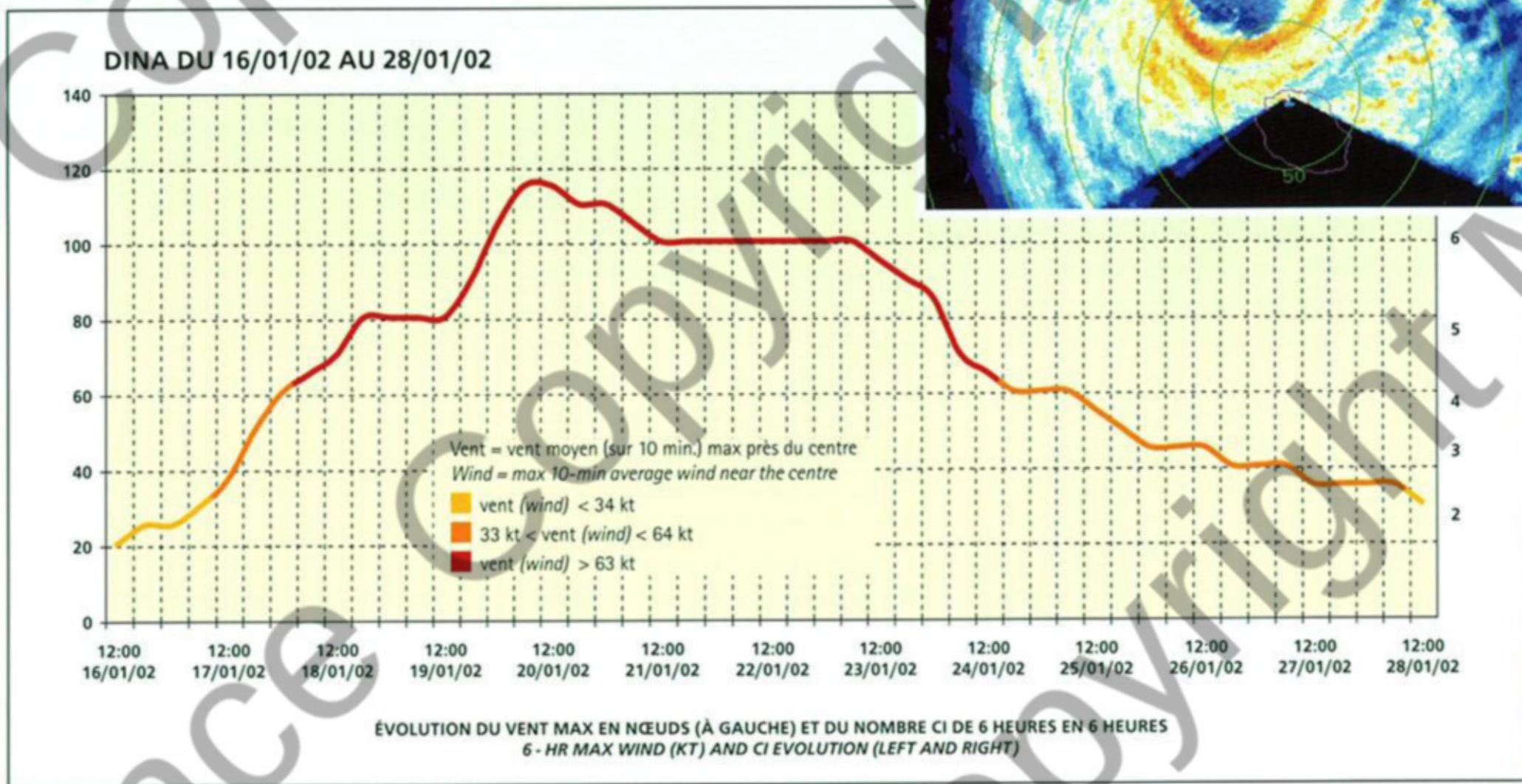
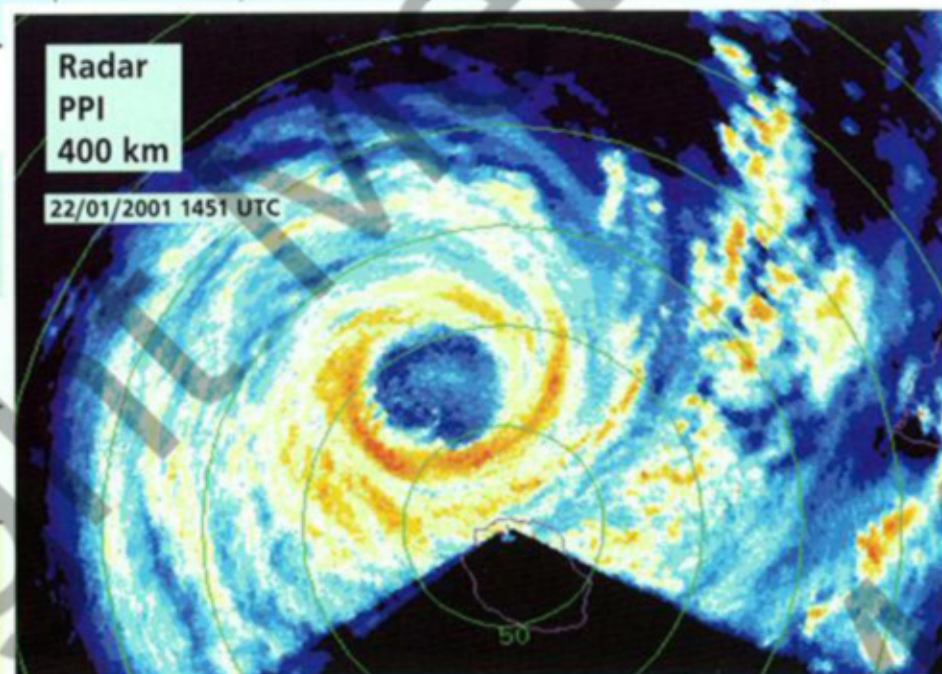
*Left is displayed the 850 hPa wind field after initialising the 4 km resolution meso-NH model (the initial vortex being bogusged through the GB-EVTD method): the yielded vortex appears realistic and consistent with the analysed intensity of the cyclone, presenting a 65 m/s maximum tangential winds at about 50 km from the centre.*

*In the middle, the same 850 hPa wind field is shown 15h later, as simulated by the model, with the corresponding radar reflectivity at 2 km height (right, to compare with the image page 35): the eye structure, the wind and rain fields look really coherent with the observations (results courtesy F. Ferry, probationer at the Cyclone Research Unit, RSMC LA REUNION).*



Météo France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

Dernière image acquise par le radar Météo-France du Colorado (La Montagne/Saint-Denis), avant destruction par DINA.  
Last image acquired by the Meteo-France radar (La Montagne/Saint-Denis), before destruction by DINA.



# Eddy

## Cyclone Tropical du 22 au 30 janvier 2002

Tropical Cyclone "Eddy" (22-30 January 2002)

### FORMATION

**L**e 20 janvier, alors que DINA, alors au maximum de sa puissance, transite au nord de l'île RODRIGUES, une nouvelle zone suspecte de convection est repérée au sein de la Zone de Convergence Intertropicale, sur l'extrême nord-est de la zone de responsabilité du CMRS de LA RÉUNION. Empiétant partiellement sur la zone Sud-Est de l'océan Indien sous responsabilité australienne, cette zone de convection persistante développe rapidement une circulation dépressionnaire fermée associée, comme le révèlent les données diffusométriques de l'orbite matinale QuikScat du 21.

Le lendemain, 22 janvier, la cyclogenèse commence à prendre tournure au niveau du 10° parallèle Sud. Plus que jamais accaparés par DINA, qui affecte désormais directement LA RÉUNION, les prévisionnistes cyclone du CMRS n'en négligent pas pour autant le suivi de cette nouvelle zone perturbée et ne tardent pas à émettre les premiers bulletins sur ce septième système dépressionnaire de la saison. Évoluant en bordure nord-ouest d'une dorsale de haute troposphère, dans un environnement légèrement cisaillé d'est à nord-est, son développement demeure encore lent à ce stade initial, mais le creusement progressif du minimum dépressionnaire associé est toutefois suffisant pour l'amener à franchir le seuil minimal de dépression tropicale en fin de journée du 23.

Se décalant depuis son origine en direction du sud-sud-est, il se rapproche du

90° méridien est, frontière de séparation immatérielle d'avec la zone de responsabilité de Perth. Mais il ne la franchira finalement pas, revenant plus à l'ouest la nuit suivante. L'intensification se poursuit, à un rythme toujours inférieur à la norme climatologique. Le petit supplément d'intensité crédité dans l'après-midi du 24, entraîne cependant le classement en tempête tropicale modérée de la perturbation, qui prend alors le nom d'EDDY.

### ÉVOLUTION

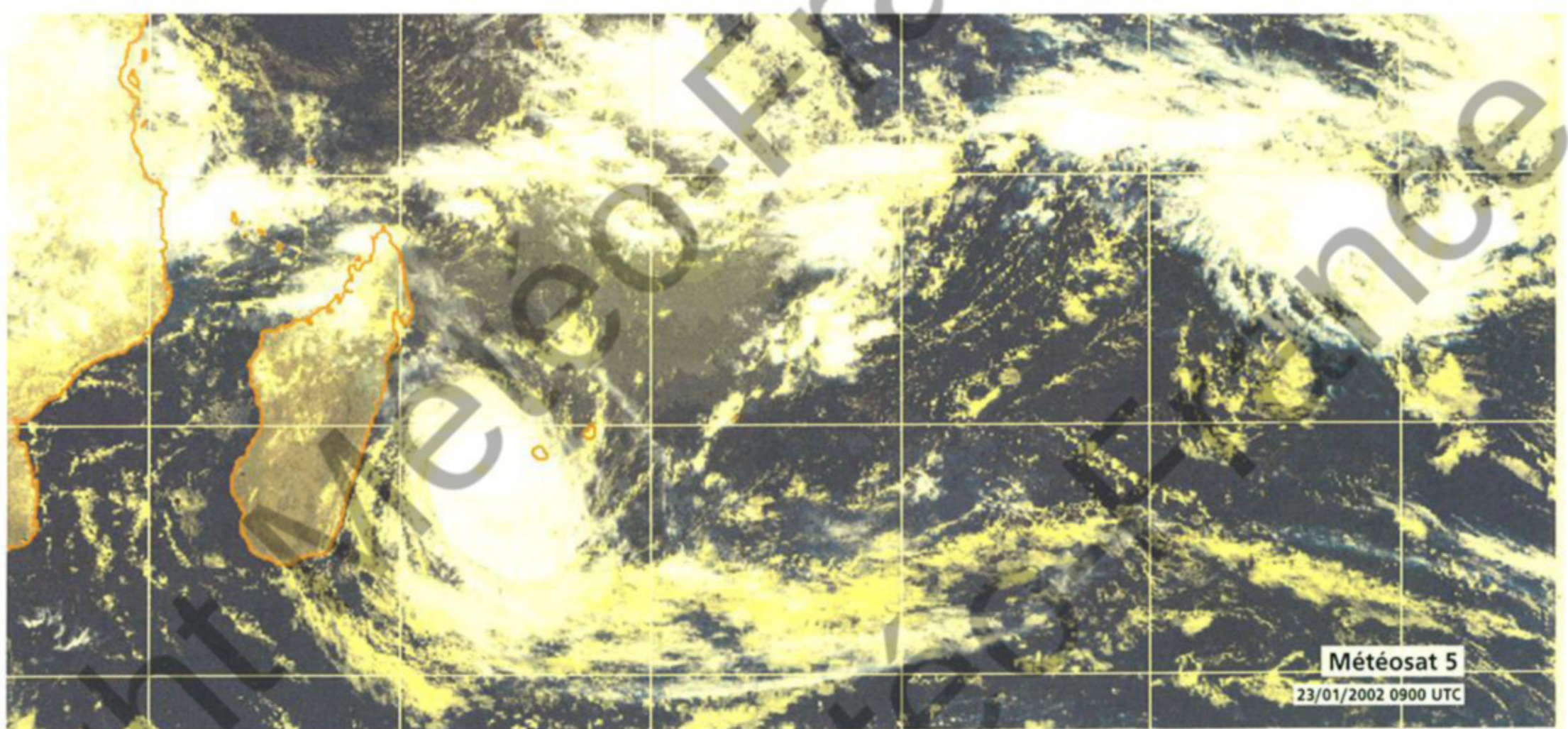
Le centre de ce système de taille relativement restreinte, désormais occulté sous un amas nuageux central dense de convection (CDO), demeure difficile à positionner précisément, mais continue de suivre une trajectoire très méridienne, louvoyant le long du 89° méridien Est. Cette trajectoire est gouvernée par une cellule de hauts géopotentiels présente en moyenne et haute troposphère dans l'est du système dépressionnaire, la cellule anticyclonique subtropicale présente en basse troposphère au sud, pourtant relativement puissante, n'ayant finalement elle quasiment aucune influence sur le flux directeur de la perturbation. Et alors que la plupart des modèles numériques (à l'exception notable de celui du Centre européen) s'obstinent à vouloir faire adopter à EDDY une trajectoire sud-ouest, sur la face nord de cette cellule de hautes pressions subtropicales, la tempête tropicale poursuit imperturbablement sa course vers le sud, sa vitesse de déplacement devenant même plus soutenue désormais (10 à 15 km/h).

Ce faisant, EDDY se rapproche *de facto* de l'axe de la dorsale d'altitude, dans une zone où le cisaillement vertical de vent devient de plus en plus faible, tandis que la divergence d'altitude devient dans le même temps de plus en plus favorable, avec un canal d'évacuation du flux sortant d'altitude dopé dans le secteur sud-ouest de la perturbation par la présence d'un profond talweg d'altitude. Scénario logique, la perturbation va réagir positivement à cet environnement propice, s'intensifiant enfin plus franchement, son intensité maintenant au cours des 36h suivantes un taux d'accroissement climatologique d'un demi point toutes les 12h sur l'échelle de Dvorak.

L'imagerie satellitaire reflète cette évolution attendue : à compter de la nuit du 24 au 25, la convection gagne en ampleur, puis affiche une organisation tourbillonnaire croissante, sous la forme d'une bande incurvée affirmée en journée du 25. Classé en forte tempête tropicale dans l'après-midi, EDDY ne tarde pas à développer un œil déchiqueté. Visualisé sur l'imagerie infrarouge dans la nuit du 25 au 26, il était déjà apparent sur l'imagerie micro-onde dès la fin de journée du 25. Les images suivantes confirment la définition croissante de l'œil et donc la poursuite du creusement d'EDDY, qui est classé cyclone tropical au matin du 26.

Mais cette phase d'intensification prend fin presque aussitôt et, après avoir culminé en intensité en milieu de journée, EDDY montre ses premiers signes d'affaiblissement dès le début d'après-midi. L'œil, encore temporairement esquissé sur l'imagerie visible, disparaît complètement sur l'imagerie satellitaire classique, tandis que l'imagerie micro-onde révèle un œil érodé par le nord, puis évanescent, avec la signature typique d'une destruction de l'œil sous l'impact d'un cisaillement vertical de vent croissant, induisant une ventilation excessive, de secteur nord en l'occurrence, dans la zone située entre la cellule de hauts géopotentiels d'altitude (au nord-est) et le talweg d'altitude évoluant maintenant en « cut-off » d'altitude (à l'ouest).

Dans le même temps, après avoir pris une orientation sud-sud-est en journée du 25, une fois l'axe de la dorsale d'altitude franchi (au niveau du 15° parallèle Sud), la trajectoire va insensiblement commen-

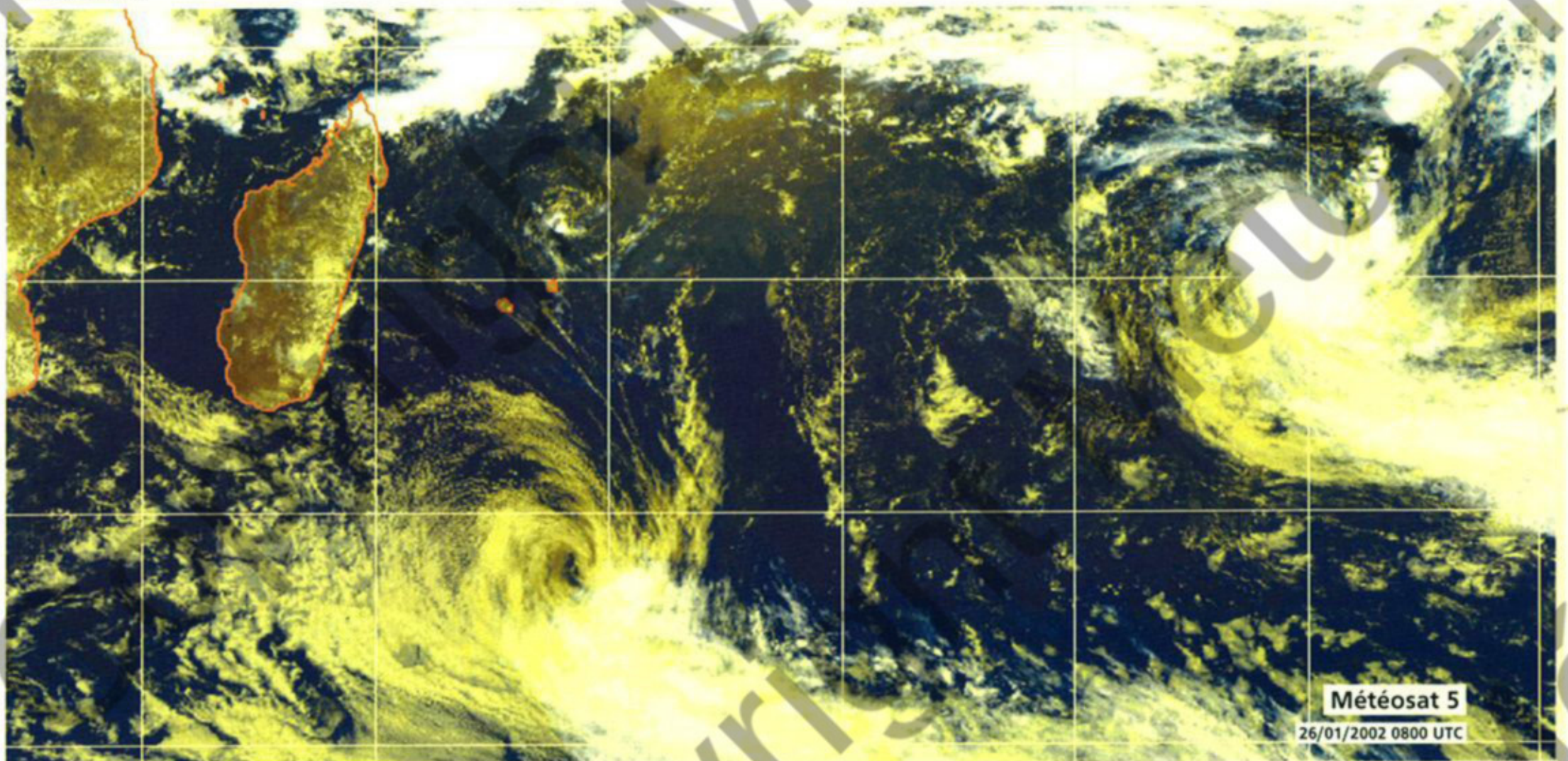


**En haut: cyclogenèse d'EDDY.** Alors que DINA s'éloigne de LA RÉUNION par le sud-ouest, 2 500 km plus à l'est, la perturbation naissante qui deviendra ensuite EDDY, est sur le point d'atteindre le stade de dépression tropicale.

**En bas: trois jours plus tard, le cyclone EDDY vient d'atteindre son maximum d'intensité.** DINA a pour sa part changé de structure. Devenue dépression extratropicale, son vortex résiduel est sur le point de fusionner avec un front froid au sud du 30<sup>e</sup> parallèle.

**Above: EDDY's cyclogenesis.** While DINA edged away southwest of REUNION Island, 2500 km to the east the nascent disturbance of to-become EDDY was about to reach tropical depression stage.

**Below: three days later, tropical cyclone EDDY has just reached its maximum of intensity.** Meanwhile, DINA had changed structure becoming an extratropical depression, whose vortex was about to merge with a cold front south of 30° South.



cer d'incurver progressivement en direction du sud-ouest, à compter du début de nuit du 26 au 27. Ce changement de trajectoire constitue la réponse logique à un abaissement progressif du niveau moyen du flux directeur de la perturbation. Le poids des couches inférieures de la troposphère augmentant, au fur et à mesure du découplage croissant entre la circulation dépressionnaire de basses couches et l'altitude sous l'impact du cisaillement de vent, l'influence de la présence de la cellule anticyclonique subtropicale toujours présente au sud devient dès lors dominante.

#### FORMATION

On 20 January, while DINA, at its peak of intensity, was transiting north of Rodrigues Island, a new suspect area of convection was detected within the Intertropical Convergence Zone on the far northeastern part of RSMC LA REUNION's area of responsibility. Spreading partially over the SouthEast Indian Ocean under Australian supervision, this persistent area of convection developed rapidly a closed clockwise circulation as revealed by the scatterometer data of the QuikScat pass acquired in the early morning of 21st January.

The next day, 22nd January, the cyclogenesis started to shape well, around latitude 10°S. Even though the RSMC tropical cyclone forecasters were now more than ever kept busy by DINA which was directly affecting LA REUNION Island, they kept an eye on this new disturbed area which soon elicited the issuance of the first advisories. Sitting on the northwest verge of an upper tropospheric ridge in an east-to-northeasterly slightly sheared environment, this seventh system of the season was still slowly developing at this initial stage. The progressive deepening of the related low was already sufficient to make it reach the minimal stage of

tropical depression in the late afternoon of 23rd. Drifting from its starting point towards the south-southeast, it came closer to longitude 90°E, which stood as the boundary of Perth's area of responsibility. However, it did not cross it, eventually coming back further to the west on the following night. It kept intensifying at a slower rate than climatological norms. The extra spurt of intensity occurring in the afternoon of the 24th led the disturbance to be upgraded as a moderate tropical storm and to be named EDDY.

## EVOLUTION

The centre of this relatively small-sized system was now obscured by a central dense overcast and therefore difficult to pinpoint. Nonetheless, it kept following a meridian-like path, sticking along longitude 89°E. This track was governed by a cell of high geopotentials present in the mid and upper troposphere and situated east of the system; although the subtropical high pressure cell present in the lower troposphere was relatively powerful in the south, it never managed to have any significant impact on the steering flow of the disturbance. And while most numerical models (except for the European Centre's one) stubbornly insisted upon allocating EDDY a southwesterward track, on the northern edge of this subtropical high, the tropical storm kept a definite southward trajectory at an even faster pace thenceforward (10 to 15 km/h). Thus EDDY got closer to the upper ridge axis in an area where the vertical wind shear was waning while the upper divergence was getting more favorable, with an outflow channel developing southwest of the disturbance thanks to the presence of a deep upper trough. As expected, the disturbance reacted positively to this propitious environment by further intensifying at a now climatological rate, since maintaining in the following 36h a gain of half a point every 12h on the Dvorak scale.

The satellite picture reflected this evolution accordingly. Indeed, from the night of the 24th, the convection's extent grew displaying then an increasing swirling organisation that took the shape of a strong curved band on day 25. Upgraded as a severe tropical storm in the afternoon, EDDY soon developed a ragged eye. Spotted on the infrared imagery in the course of the night of the 25th, it was already portrayed on the microwave imagery by the late afternoon of the 24th. The following pictures confirmed the improving definition of the eye and so also EDDY's further deepening which was upgraded

as a tropical cyclone in the morning of the 26th. However, the intensification phase ended almost immediately and after reaching peak intensity in the middle of the day, EDDY started to show its first weakening signs in the early afternoon. After remaining for a while sketched on the visible imagery, the eye disappeared altogether on the classic satellite imagery whereas the microwave imagery revealed it was eroding from the north, and then vanishing, with the typical signature of an eye's destruction under the impact of an increasing vertical wind shear inducing excessive ventilation, namely from the north, in the area situated between the upper high geo-potentials cell (to the north-east) and the aforementioned upper trough now evolving into a cut-off low (to the west). Simultaneously, after assuming a south-southeastward trajectory on day 25 after having crossed the upper ridge axis (at latitude 15°S), EDDY progressively recurved southwestwardly from early night 26. This course change was the logical reaction to a gradual lowering of the average steering flow level of the disturbance. As further cleavage occurred between the low-level circulation and the altitude under the impact of the wind shear, the weight of the lower layers of the troposphere kept increasing. As a result, the influence of the subtropical anticyclonic cell still present to the south became dominant.

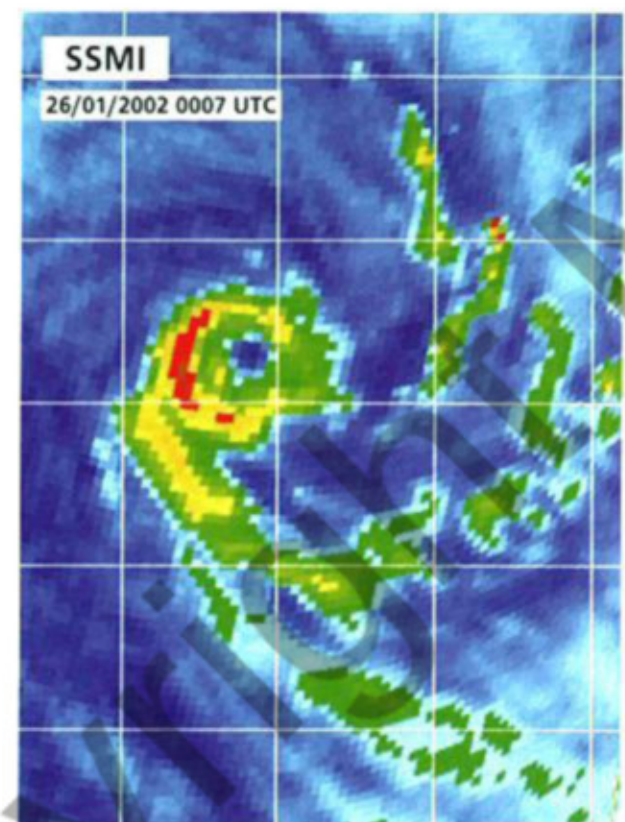
EDDY continued travelling along the northern edge of the subtropical high on a trajectory heading progressively more west-southwestward while weakening even further. Downgraded to severe tropical storm by the end of the night of the 26th, and then to moderate tropical storm in the middle of the following night, its cloud mass was void of any convection by dawn of day 28. On the cooler ocean, only a wide residual vortex of low and middle clouds perdured connected to a very asymmetrical clockwise circulation with the strongest winds situated in the southern semi-circle and abating further as EDDY filled and became depression ex-EDDY by the late afternoon of the 28th. Recurring towards a polar trough on the 29th, ex-EDDY was monitored until the 30th, and filled altogether south of latitude 30°South on 31st January.

A first grade tropical cyclone that lasted less than 24h at this intensity, EDDY left only mere traces, all the more so since it occurred far away from any inhabited land, in the far east edge of the cyclone basin, and was mostly eclipsed by DINA and its aftermath on the MASCARENES.

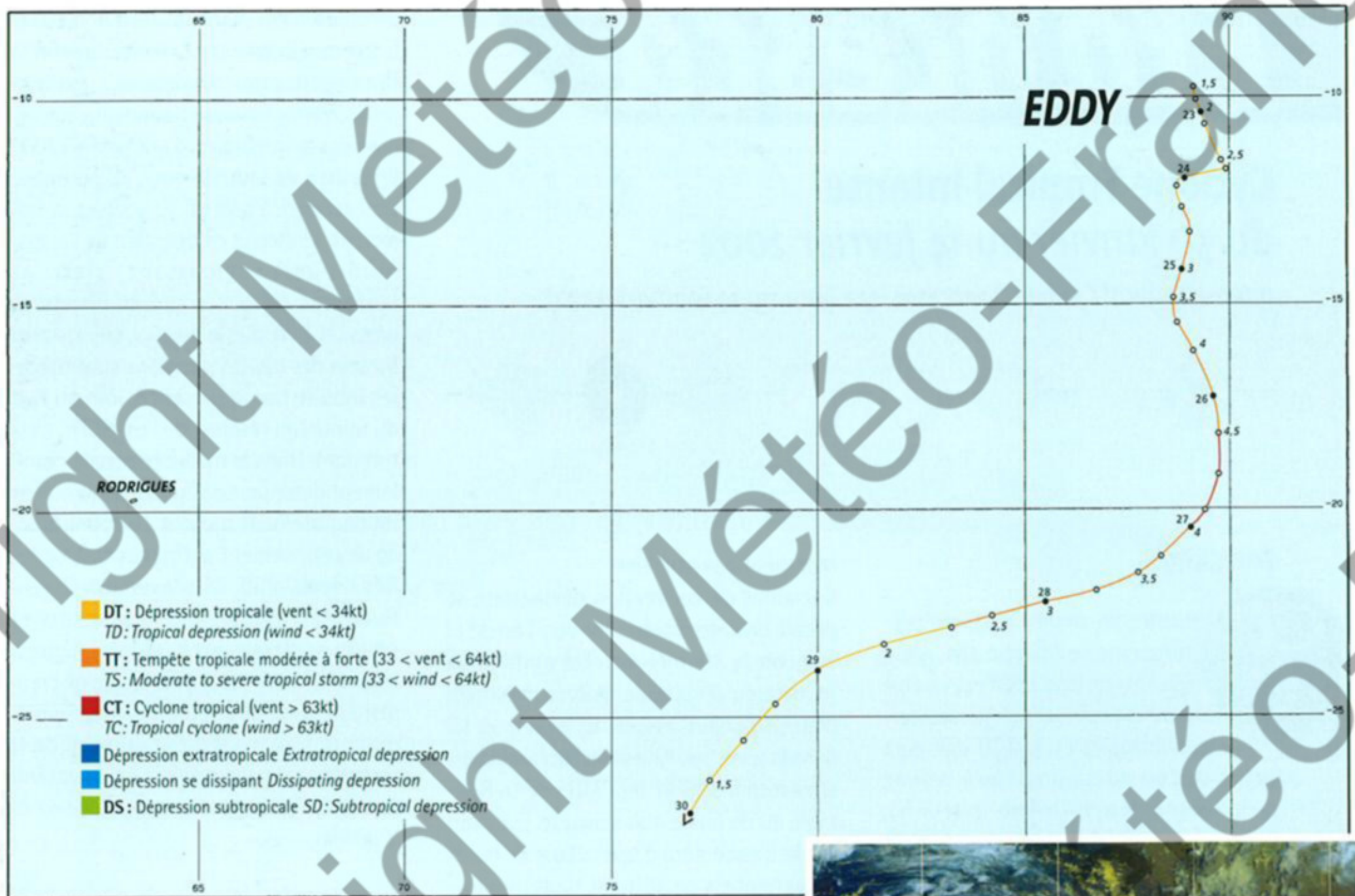
EDDY va ainsi poursuivre son déplacement sur la façade nord des hautes pressions subtropicales, sur une trajectoire se redressant progressivement plus ouest-sud-ouest, tout en continuant de graduellement s'affaiblir. Déclassé en forte tempête tropicale en fin de nuit du 26 au 27 janvier, puis en tempête tropicale modérée en milieu de nuit suivante, sa masse nuageuse devient dénuée de toute convection à l'aube du 28.

Sur des eaux océaniques plus fraîches, ne perdure plus qu'un large vortex résiduel de nuages bas et moyens, associé à une circulation dépressionnaire très dissymétrique, dont les vents les plus forts, situés dans le demi-cercle sud de la circulation, ralentissent lentement à mesure du comblement de ce qui devient la dépression ex-EDDY en fin de journée du 28. Incurvant en direction d'un talweg polaire le 29, elle sera suivie jusqu'au 30, achevant ensuite de se combler au sud du 30e parallèle le 31 janvier.

Cyclone tropical de premier niveau, ayant d'ailleurs perduré moins de 24h à cette intensité, EDDY aura laissé une trace d'autant plus discrète que son existence, passée loin de toutes terres habitées, sur l'extrême Est du bassin cyclonique, aura été pour bonne part éclipsée par DINA et les suites de son passage sur les MASCAREIGNES.

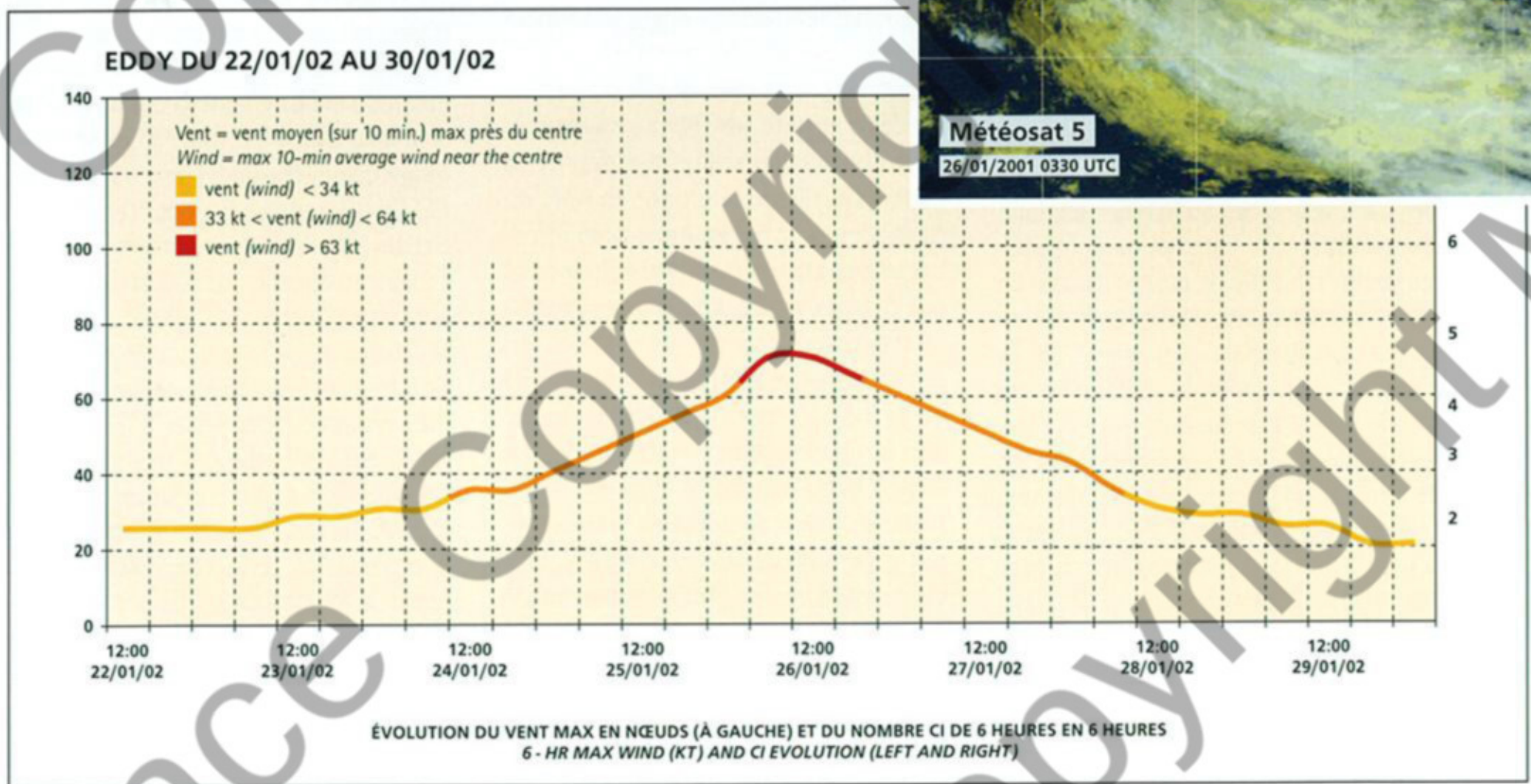
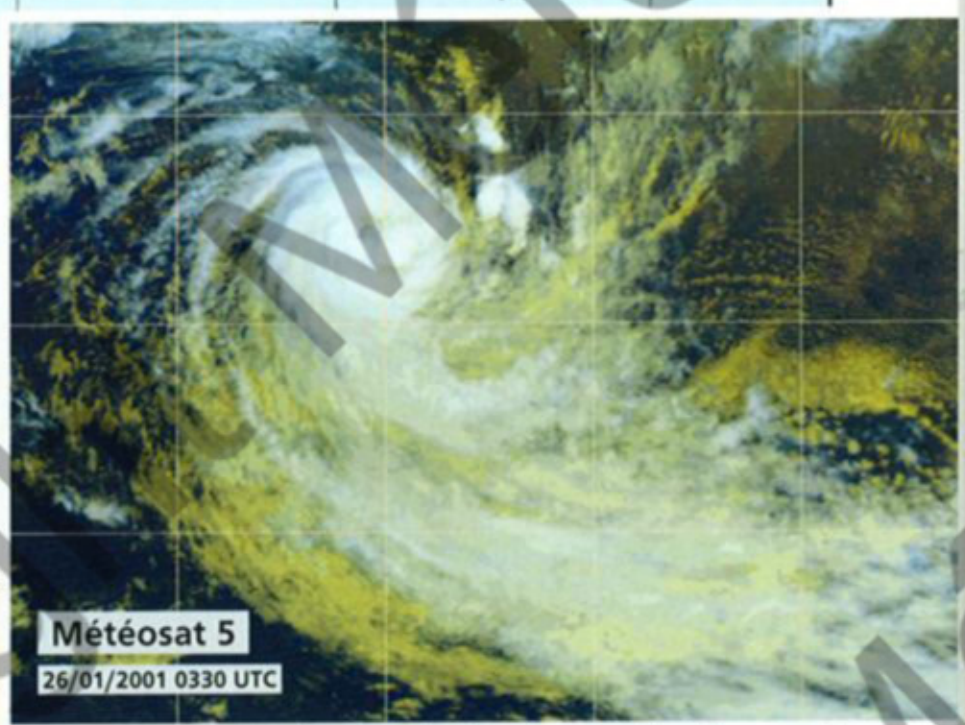


L'œil d'EDDY vu par l'imagerie micro-onde (à comparer avec image page suivante).  
EDDY's eye as seen by microwave imagery (to compare with the picture opposite page).



Météo France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

EDDY, peu avant son maximum d'intensité, atteint le stade de cyclone tropical.  
 EDDY while attaining tropical cyclone stage, a short while before reaching its intensity peak.



# Francesca

## Cyclone Tropical Intense du 30 janvier au 14 février 2002

Intense Tropical Cyclone "Francesca" (30 January-14 February 2002)

### FORMATION

En cette fin janvier, l'activité perturbée ne se relâche pas. Alors que l'ex-cyclone EDDY est en voie de comblement en marge des latitudes subtropicales, la ZCIT demeure active de l'est du bassin jusqu'à la zone australienne, dans ce même secteur où, à peine une semaine auparavant, était survenue la genèse d'EDDY. Et c'est sur ces mêmes eaux situées à cheval entre les zones de responsabilité du Sud-Est et du Sud-Ouest de l'océan Indien, qu'un nouveau système dépressionnaire va se développer, à partir d'une perturbation initiale trouvant toutefois son origine nettement plus à l'est.

À l'est du 90° méridien Est l'axe de cisaillement de vents délimitant le flux de mousson du flux d'alizé semble avoir été coupé au couteau, tant il est particulièrement bien défini, et rendu ostensible de manière très inhabituelle en ce 29 janvier, par une accumulation peu commune d'observations de bateaux dans ce secteur maritime situé de part et d'autre de l'île Cocos. Ondulant entre 12 et 14° de latitude sud, il apparaît également clairement sur les données de vents issues de l'orbite QuikScat acquise la nuit suivante. À ce stade, malgré l'apparente absence de circulation dépressionnaire fermée, l'observation synoptique de la mi-journée du 29 de la station de Cocos a permis de positionner sans la moindre ambiguïté un minimum de pression inférieur à 1 004 hPa dans les parages sud-ouest de l'île, soit au sein d'un petit amas de convection profonde justement présent à cet endroit, ces deux faits n'étant évi-

demment pas sans lien.

Cet amas de convection persistante se décale ensuite rapidement vers l'ouest et franchit le 90° méridien Est au fil de la journée du 30 janvier. Mais le minimum dépressionnaire associé ne pénétrera lui dans la zone Sud-Ouest de l'océan Indien, sous responsabilité du CMRS de La Réunion, qu'en fin de nuit suivante. Évoluant sur la façade nord d'une cellule de hauts géopotentiels en altitude, dans un environnement où règne un cisaillement vertical de vent d'est-nord-est modéré (estimé à 15-20 nœuds), le vortex convectif de méso-échelle se trouve en effet assez nettement décalé à l'est de la convection, comme le révèle encore plus clairement l'imagerie satellitaire du 31 janvier, dévoilant un vortex totalement exposé.

Le décalage entre celui-ci et la convection se réduit ensuite, amenant à analyser la perturbation au stade minimal de la dépression tropicale dans la nuit du 31 janvier au 1<sup>er</sup> février. Après avoir effectué une petite boucle à l'ouest immédiat du 90° méridien Est, le minimum dépressionnaire vient d'adopter un déplacement en direction de l'ouest-sud-ouest, cap qu'il va conserver ensuite durant plus de 36h, la vitesse de déplacement étant pour sa part beaucoup moins établie.

Jusqu'au matin du 2 février, la structure nuageuse du système n'évolue guère, affichant toujours une configuration modérément cisailée, le seul changement résidant dans l'orientation désormais est-sud-est du cisaillement. Durant tout ce laps de temps, l'intensité du système demeure quasiment inchangée, même si

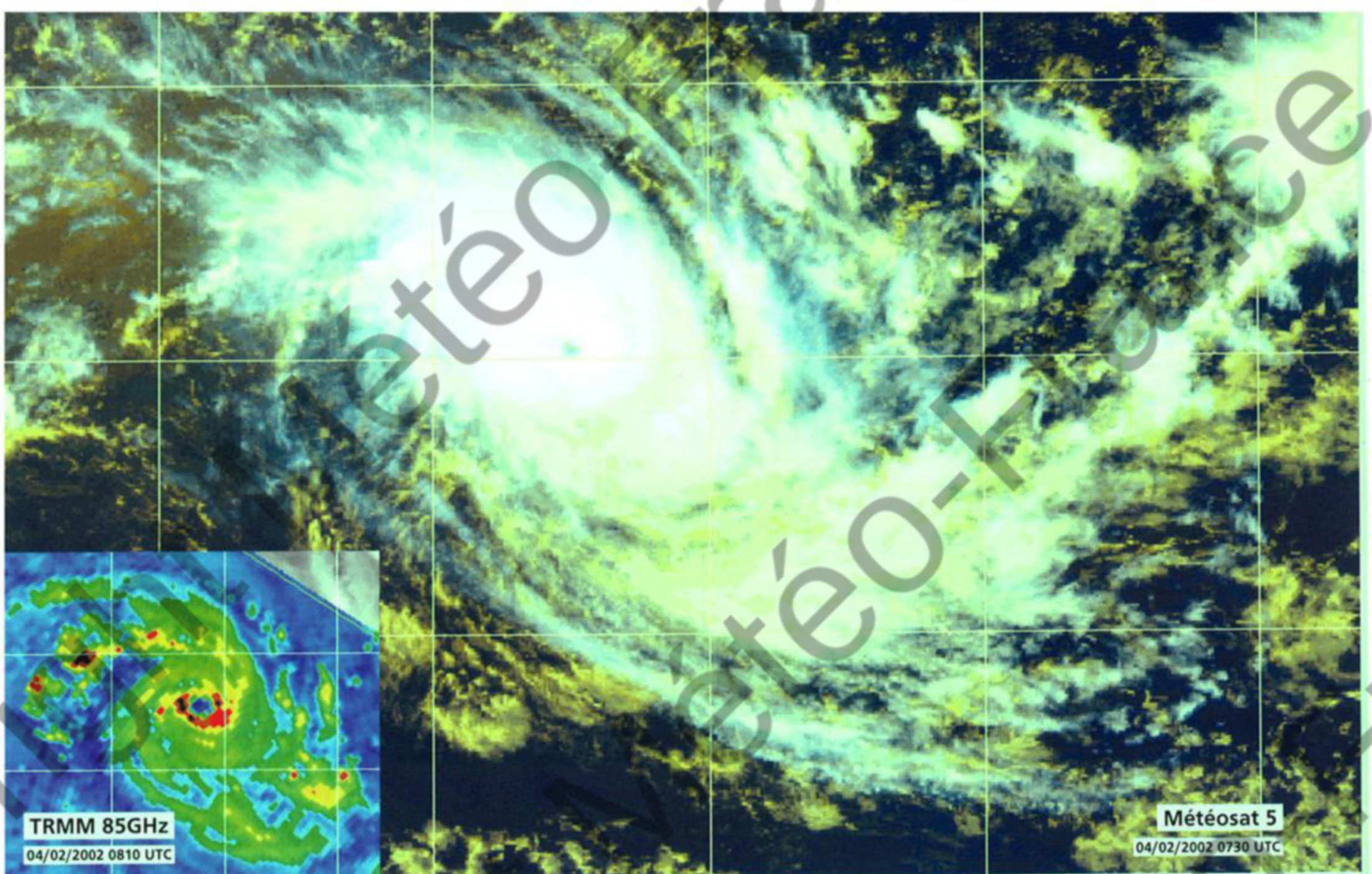
un creusement marginal de la dépression a amené à la classer à la limite du seuil de la tempête tropicale depuis la matinée du 1<sup>er</sup> février (analyse s'appuyant sur des données altimétriques d'une orbite ERS2). En milieu de journée du 2, la perturbation accélère à près de 30 km/h et sa trajectoire s'infléchit en direction de l'ouest-nord-ouest, réagissant ainsi au renforcement par le sud du champ de pression, la faiblesse relative préexistante au sein des hautes pressions subtropicales induite par la présence, loin au sud, du minimum résiduel de l'ex-EDDY, s'estompant. Dans le même temps, le cisaillement diminue. La dépression va mettre immédiatement à profit ces conditions de développement enfin plus favorables. Dès l'après-midi, la convection se renforce brutalement et vient se mettre en phase au-dessus du minimum dépressionnaire, initiant sa vraie phase de creusement, avec pour conséquence immédiate le franchissement du seuil de la tempête tropicale modérée et le baptême de FRANCESCA, en fin de journée de ce 2 janvier.

### ÉVOLUTION

En fin de nuit suivante, FRANCESCA est devenue une forte tempête tropicale et la convection continue d'afficher des signes d'organisation croissante, avec l'apparition d'un œil en bande. Bien visible sur l'imagerie satellitaire du 3 février au matin, cet œil se « bouche » temporairement dans la journée, avant de redevenir net et de mieux en mieux défini au fil de la nuit du 3 au 4 (tant sur l'imagerie infrarouge que micro-onde), amenant FRANCESCA au stade de cyclone tropical. Depuis 24h, le météore a repris un déplacement en direction de l'ouest-sud-ouest, à vitesse modérée. Fait qui sera la caractéristique récurrente de cette perturbation tout au long de sa vie, les modèles numériques disponibles le 3 février envisageaient des évolutions très discordantes quant à la trajectoire future de FRANCESCA. Tandis que certains prévoient la poursuite du déplacement ouest à sud-ouest, la majorité annonçait un changement brutal de trajectoire en direction du sud-sud-est. C'est ce dernier scénario qui va s'avérer le bon.

Un examen approfondi des champs analysés et prévus par les modèles se révéla





FRANCESCA proche du stade de cyclone tropical intense et en route vers son maximum d'intensité, qu'il atteindra moins de 12h plus tard (composition colorée de canaux visible et infrarouge à comparer avec l'image visible colorisée correspondante page 51).

FRANCESCA on the verge of acquiring the intense tropical cyclone status and on the way towards the intensity peak it would reach less than 12h later (coloured composite of visible and infrared channels to compare with the corresponding coloured visible page 51).

extrêmement intéressant d'un point de vue didactique. La comparaison de deux modèles de référence au comportement divergent, montra qu'ils conduisaient à des scénarii complètement différents pour la prévision de trajectoire de FRANCESCA, à partir d'une vision finalement très peu différente de la situation environnementale autour de la perturbation. Pour résumer, FRANCESCA se retrouvait pris en sandwich entre deux cellules anticycloniques de moyenne et haute troposphère, l'une située au nord-est et l'autre au sud-ouest, avec transit d'un talweg mobile des moyennes latitudes au sud. Mais une légère différence dans l'agencement respectif de ces différents centres d'action aboutissait, en termes de flux directeur, à donner, suivant les modèles, soit un poids dominant à la cellule située au sud-ouest, soit à celle située au nord-est. Et c'est en fait cette dernière qui allait l'emporter et dicter le déplacement de FRANCESCA, imposant un flux directeur de nord-ouest à la perturbation...

À l'approche du 15° parallèle sud, le météore a ralenti, ce ralentissement annonçant le changement de trajectoire à venir. Celui-ci intervient en milieu de journée du 4 février, avec un changement

#### FORMATION

*In late January, the disturbed activity went on non stop. While ex-cyclone EDDY was on the way to fill up near the subtropical latitudes, the ITCZ remained active spanning from the eastern part of the basin up to the Australian zone, in the same area where only one week before EDDY had emerged. And so, on the same waters encompassing the marine sections situated on both sides of the boundary between the areas of responsibility of the SouthEast and SouthWest Indian Ocean, a new system would develop from an initial disturbance which however originated more duly east.*

*East of longitude 90°East the shear line separating the monsoon flow from the trade winds was so well defined that it looked as if it had been cut with a knife. It became very unusually ostensible on 29th January with a rare accumulation of ship observations in the maritime sector situated around Cocos Island. Waving between latitude 12° and 14°South it was also clearly depicted on the wind data from the QuikScat swath acquired on the following night. At that stage, despite the seemingly absence of any clockwise circulation, the synoptic observation in the middle of the day on 29 January from the Cocos Station enabled to outline without any doubt a low below 1004 hPa*

*in the southwestern surroundings of the island, i.e. within a small cluster of deep convection present on that very spot at the time, these two elements being obviously connected.*

*This persistent cloud cluster then shifted rapidly westwards and crossed longitude 90°East in the course of the day of 30 January. However, the related low centre would only penetrate the SouthWest Indian Ocean area under the responsibility of LA REUNION's RSMC at the end of the following night. Sailing on the northern side of an upper high geo-potential cell within a moderate east-northeasterly vertical windshear environment (estimated to be 15 to 20 knots), the meso-scale convective vortex was indeed significantly displaced east of the convection, as was more clearly revealed by the satellite imagery of 31 January which unveiled a totally exposed vortex.*

*The shift between the vortex and the convection reduced afterwards, which led the disturbance to be analysed in the night of 31 January at the minimal stage of tropical depression. After completing a small loop slightly west of longitude 90°East, the low centre initiated a west-southwestward motion and kept on that course for over 36h onwards but with a much less steady speed of movement.*

*Until the morning of 2nd February, the cloud*

structure of the system did not change much and still displayed a moderately sheared configuration. The only change that occurred concerned the new east-southeastward orientation of the wind shear. Throughout that while, the intensity of the system remained nearly the same except for a marginal deepening of the depression which had led it to be classified just below the threshold of a tropical storm since the morning of 1st February (analysis partly based on the altimetric data of an ERS2 pass). See ERS superimposed on 1st February at 0430 UTC.

In the middle of the day of 2nd February, the disturbance sped up to nearly 30 km/h and its track turned west-northwestward thus reacting to the strengthening of the pressure field from the south subsequent to the vanishing of the pre-existing relative weakness within the subtropical high induced by the presence far south of ex-EDDY's residual low. At the same time, the windshear diminished. Immediately, the depression took advantage of these at last more favorable developing conditions. In the

afternoon, the convection suddenly escalated and came in phase above the low centre, thus causing the deepening of the depression, which promptly crossed the threshold of moderate tropical storm stage, therefrom bringing on to the naming of FRANCESCA by the end of the day on 2nd February.

## EVOLUTION

By the end of the following night, FRANCESCA turned into a severe tropical storm and the convection kept showing signs of increasing organisation with the appearance of a banding eye. Well depicted on the visible imagery of 3rd February in the morning, the eye became cloud filled for a while during the day before reappearing and then gaining increasing definition throughout the night of 3rd February (on both the infrared and microwave imageries), which brought FRANCESCA to the status of tropical cyclone.

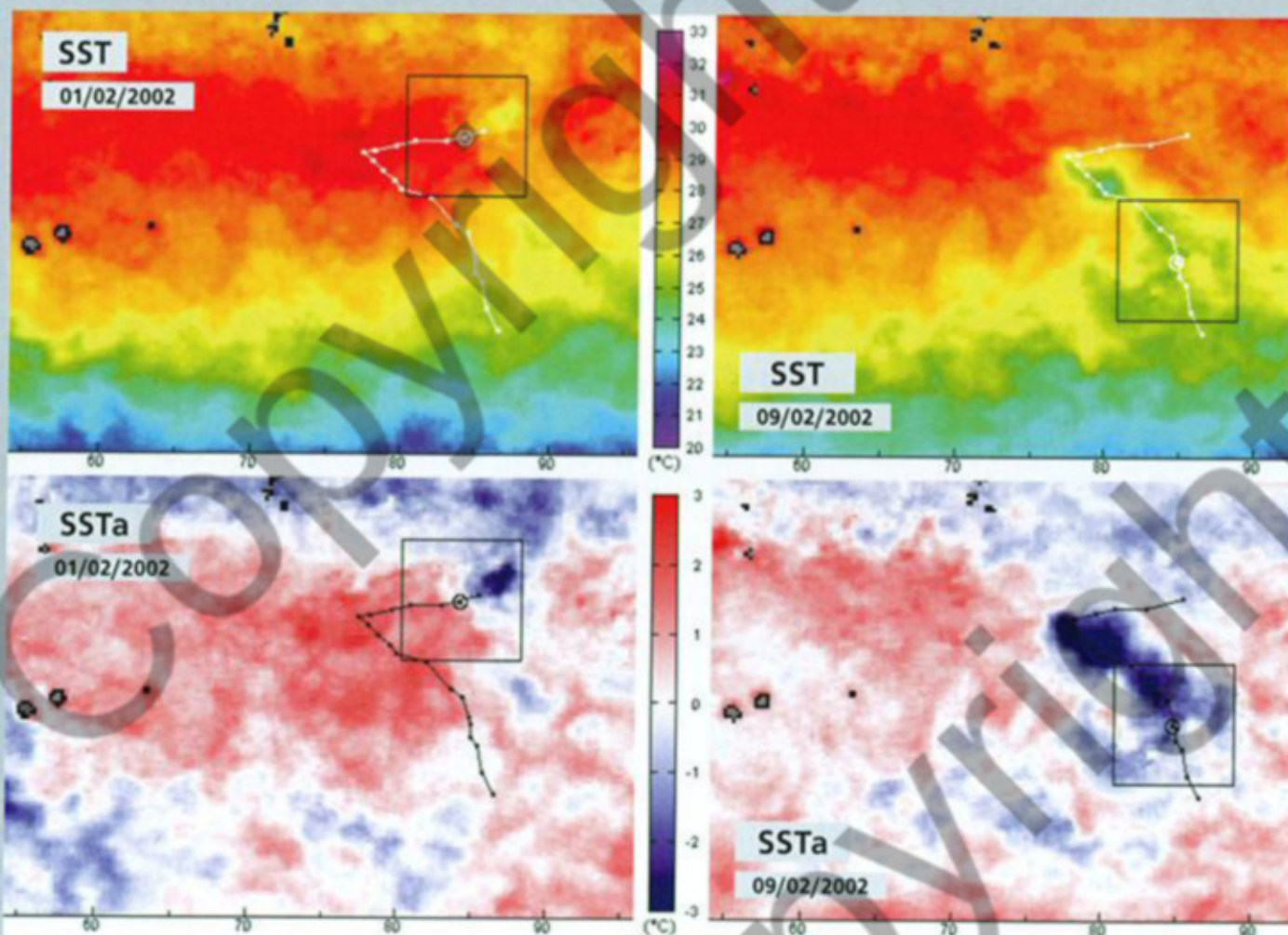
24 hours earlier the meteor had resumed west-

de cap à 120°, qui voit la trajectoire obliquer abruptement en direction du sud-est. FRANCESCA poursuit ensuite sur ce cap sud-est, à vitesse relativement lente (moins de 10 km/h).

Désormais cyclone tropical mature, avec un œil de 35 à 40 km de diamètre, le phénomène ne va pas en rester là en termes d'intensité, connaissant, durant cette même journée du 4, une phase de creusement rapide. Cette phase d'intensification marquée se produit durant la période au cours de laquelle le météore se situe à proximité du 15° parallèle Sud, soit au moment où il évolue au voisinage de l'axe de la dorsale d'altitude, en marge orientale d'un col barométrique présent au sein de la ceinture de hauts géopotentiels. Cette configuration classique, favorisant l'évacuation du flux sortant d'altitude sous la forme de deux canaux privilégiés, un vers le nord-ouest du côté équatorial et un vers le sud-est du côté polaire, est généralement associée à des taux d'intensification élevés. Cela se vérifie une nouvelle fois, avec un gain d'intensité de plus de deux points sur l'échelle de Dvorak en l'espace de 24h (correspondant à une chute de pression centrale estimée approcher les 50 hPa, soit au rythme moyen de 2 hPa/h).

Finalement, FRANCESCA atteint ce qui se révélera être son maximum d'intensité en début de nuit du 4 février. C'est alors un cyclone tropical intense, avec des vents maximaux estimés approcher les 200 km/h en vents moyens sur 10 min (105 nœuds), pour des rafales maximales associées dépassant les 270 km/h, le tout correspondant à un minimum de pression estimé de l'ordre de 925 hPa au sein de l'œil de 45 km de diamètre.

Puis, le cyclone s'affaiblit au fil de la journée du 5, sans que la raison en soit clairement établie. L'œil disparaît progressivement, tant sur l'imagerie classique que sur l'imagerie micro-onde. Complètement disloqué sur l'imagerie AMSU-B de la soirée, il se reconstitue pourtant en cours de nuit suivante, pour un sursaut apparemment sans lendemain, puisqu'il devient à nouveau évanescant au petit matin du 6. La configuration nuageuse, bien qu'encore fluctuante, retrouve ensuite un certain état d'équilibre, avec un œil mal défini qui réapparaît de manière intermittente, le plus souvent à peine

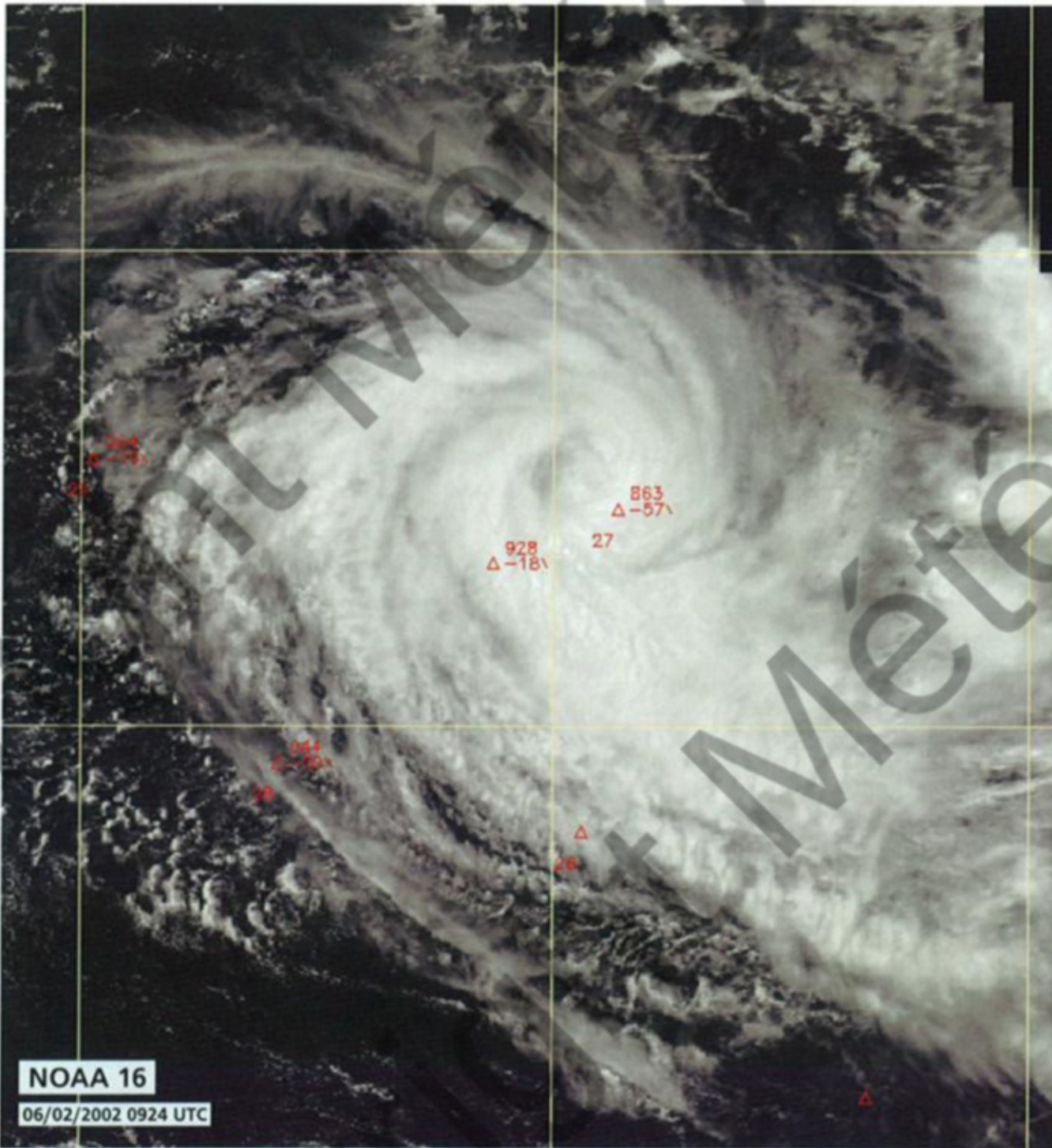


Cartes de températures de surface de la mer (SST), et anomalies correspondantes (SSTa), observées (par satellite) avant et après la phase mature du cyclone FRANCESCA. On remarquera tout d'abord l'impact, classique mais toujours spectaculaire, du passage d'un cyclone tropical sur une zone océanique, se traduisant, le long de la trajectoire du phénomène, par un refroidissement de plusieurs degrés (ici jusqu'à 3-4°C localement), on le rappelle induit par l'important brassage turbulent généré par le cyclone, s'accompagnant généralement d'une destruction de la couche de mélange océanique et de remontées d'eaux froides.

On notera par ailleurs que la phase d'intensification marquée de FRANCESCA du 4 février a correspondu avec l'arrivée sur des eaux particulièrement chaudes (les plus chaudes présentes sur le bassin au 1<sup>er</sup> février, avec une anomalie de l'ordre de +2°C par rapport à la normale), une coïncidence certainement pas fortuite...

**Sea surface temperature maps (SST) and corresponding anomalies (SSTa) observed prior and after FRANCESCA's mature life-cycle.** One can notice the typical yet always spectacular impact of a tropical cyclone on the underlying ocean. As a consequence of the strong turbulent mixing generated by the cyclone (resulting in upwelling and potential destruction of the oceanic mixed layer) causes significant cooling of the ocean with a sea surface temperature fall of several degrees (reaching 3 to 4°C locally here) along the track of the storm.

Worth of notice also is the small pool of very warm waters (close to the cuspidal section of the track) which existed on 1st February (with the warmest SST present at that time over the basin - with positive SST anomalies up to 2°C) and that would be associated to the rapid intensification of FRANCESCA that occurred when tracking in this area, not a simple coincidence for sure... (Data courtesy RSS).



NOAA 16  
06/02/2002 0924 UTC

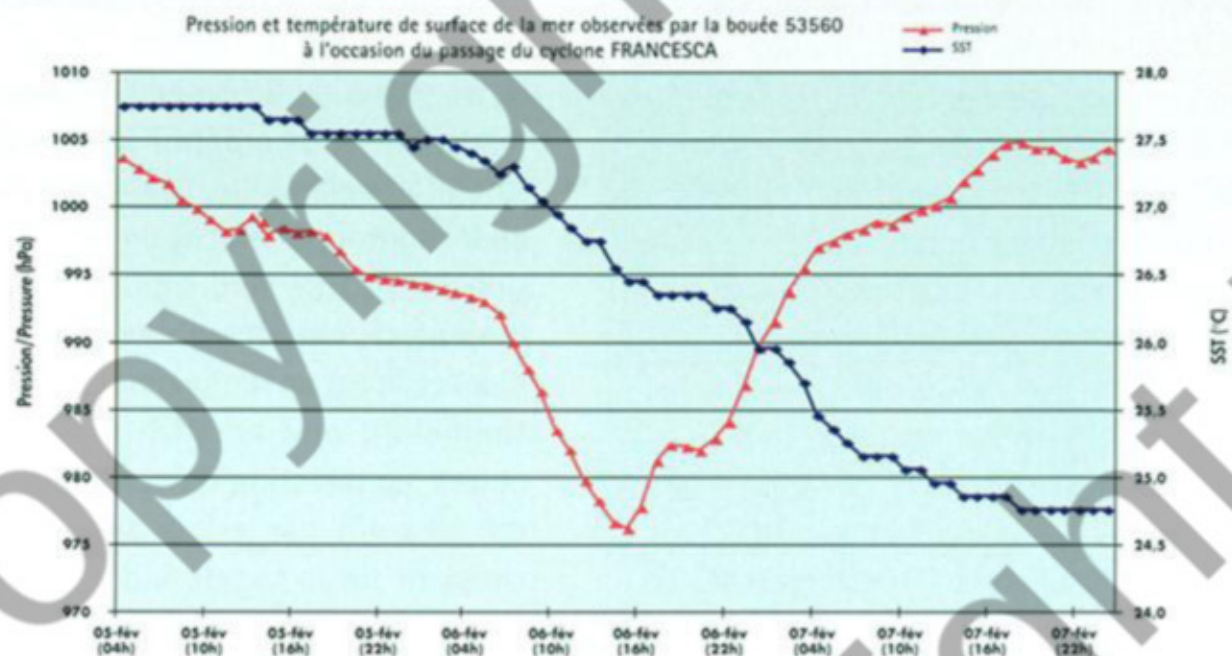
FRANCESCA au milieu d'un réseau de bouées dérivantes. L'œil n'est plus apparent sur l'imagerie visible et le météore, affaibli, est alors classé au premier niveau du stade de cyclone tropical. Sa trajectoire vers le sud-est va le faire passer au nord de deux bouées dérivantes, assez près de celle qui affiche à cet instant une pression de 986,3 hPa, mais va voir sa pression chuter de 10 hPa au cours des 5h suivantes (voir graphe ci-dessous).

*FRANCESCA within a network of drifting buoys. The eye had disappeared on the visible imagery and the weakened storm was now classified at first level of tropical cyclone stage. Heading southeastward the meteor's centre tracked north of two drifting buoys and was about to pass nearby the one displaying a sea-level pressure of 986.3 hPa and which would undergo a 10 hPa fall in the following 5h (see graphic below).*

southwestward motion with a moderate speed of movement. A fact which would be the recurring feature of that system throughout its life cycle, numerical models available on 3rd February envisioned quite discordant evolutions regarding the future track of FRANCESCA. While some predicted the continuation of the west-southwestward motion, most foresaw a sudden change of course towards the south-southeast. The latter scenario ended up being the right one. Thorough examination of the fields analysed and predicted by the models turned to be extremely interesting on a didactic point of view. The comparison of two reference models with divergent behaviour showed that their completely different track scenarios proceeded from a really slightly different vision of the environmental situation around the disturbance. To put it short, FRANCESCA was caught in-between two high cells of middle and upper troposphere, one in the northeast and the other in the southwest, while a mid-latitude trough was transiting in the south. However, a slight difference in the respective arrangement of these various centres of action resulted -upon the models- in giving, in terms of steering flow, either emphasis on the cell situated to the southwest, or on the one situated to the northeast. Actually, it was the latter cell which prevailed and eventually dictated FRANCESCA's motion yielding a northwesterly steering flow. As it approached latitude 15°South, the meteor slowed down announcing the change of trajectory to come that finally occurred in the middle of the day on 4th February, with a sharp 120° change of heading towards the southeast. Afterwards,

esquissé au sein de la masse nuageuse. FRANCESCA demeure classé en cyclone tropical de premier niveau, avec une intensité maintenue stable à 965 hPa de pression centrale. En soirée du 6, une bouée dérivante située à une cinquantaine de km au sud de la trajectoire du centre du cyclone, a transmis un minimum de pression de 976 hPa. Elle enregistrera une baisse de 3°C de la température de la mer dans le sillage de la perturbation.

La journée du 7 février voit un nouveau regain de vigueur de la perturbation. Un œil en bande révélé en début de journée, se referme pour constituer un œil quasiment complet en fin de journée. La belle « chevelure » de cirrus qui entoure alors la masse nuageuse semble attester d'un meilleur écoulement de l'air en altitude autour du système. À la faveur de cette



Pression mer et température de surface de la mer (SST) enregistrées par la bouée 53560 (bouée dérivante du Programme international de bouées pour l'océan Indien) à l'occasion du passage du cyclone FRANCESCA (centre à une cinquantaine de km au nord au plus près). On notera, outre le minimum de pression de 976,1 hPa, la baisse de 3°C observée de la température de surface de la mer (se produisant pour l'essentiel après le passage au plus près du centre du cyclone), baisse cohérente avec les estimations satellitaires (voir cartes de SST page opposée).

*Sea level pressure and sea surface temperature (SST) recorded by the buoy 53560 (a drifting buoy from the International Buoy Programme for the Indian Ocean) during FRANCESCA's event. Besides the lowest recorded pressure of 976.1 hPa notice the 3°C SST drop observed by the buoy (mostly recorded after the closest passage of the cyclone's centre -some 50 km to the north). The magnitude of this cooling was consistent with the satellite estimates (see SST maps opposite page).*

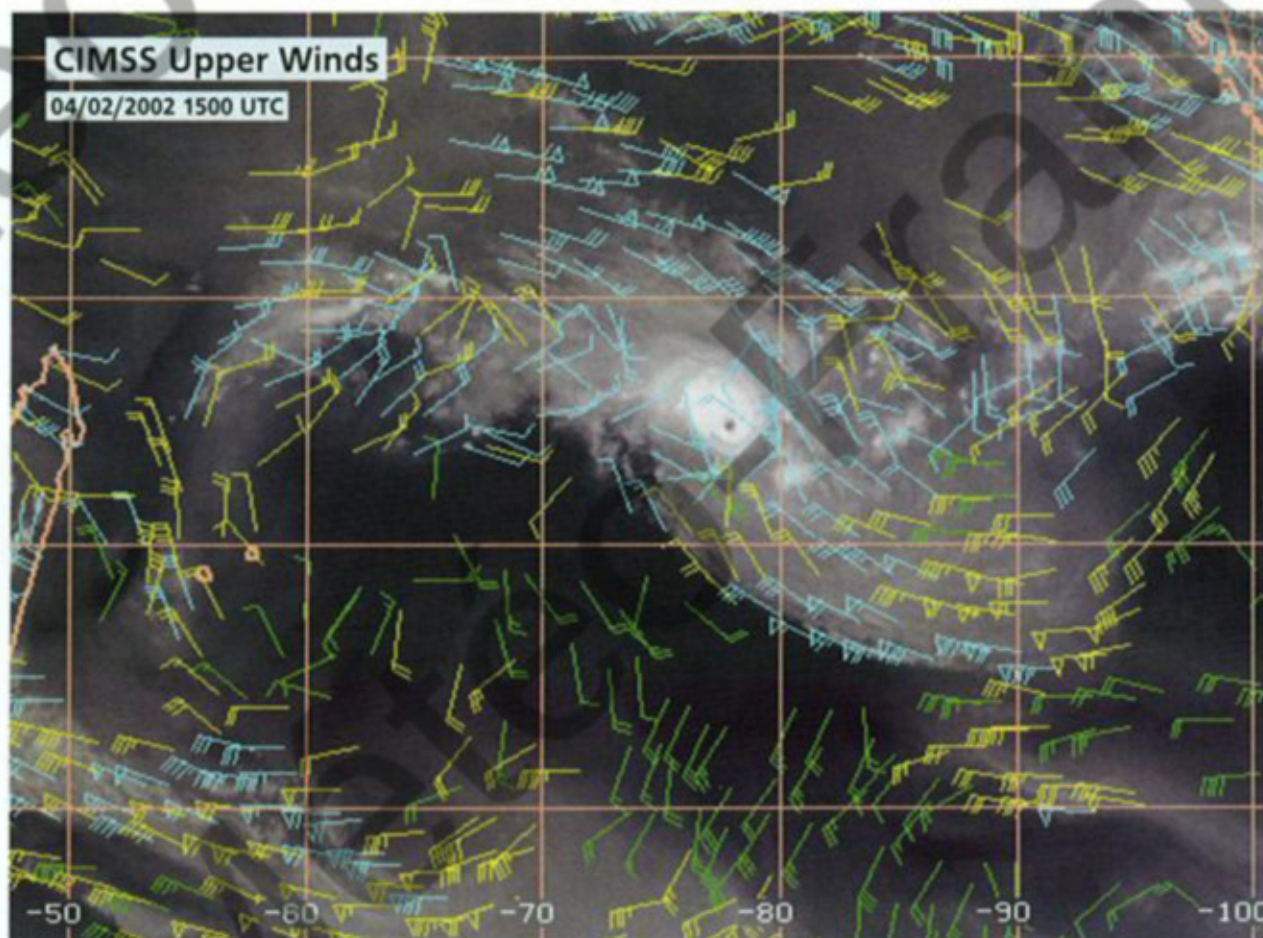
FRANCESCA kept moving southeast at a relatively slow speed (under 10 km/h).

Now a mature tropical cyclone, with an eye of 35 to 40 km in diameter, the phenomenon's intensity didn't keep still and went through a rapid deepening stage throughout that day. This intensification phase took place at the time the meteor was near latitude 15°South, i.e. at the time it was moving near the upper ridge axis on the eastern side of a barometric col present within the high potential belt. This classic configuration favouring the evacuation of the upper outflow through a dual channel pattern, one equatorward towards the northwest and the other one poleward towards the southeast, is generally related to high intensification rates. This was verified once again with a gain in intensity of more than 2 points on the Dvorak scale within 24h (corresponding to a central pressure drop estimated to approach 50 hPa, i. e. an average rate of 2 hPa/h).

Finally, FRANCESCA reached its peak intensity in the early night of 4th February. It was then an intense tropical cyclone with maximum winds close to 200 km/h on 10 min- average (105 knots), with related maximum gusts of above 270 km/h, the all lot corresponding to a pressure low estimated at about 925 hPa within the eye of 45 km in diameter.

Then the cyclone weakened throughout the day of the 5th, without any obvious reason being established. The eye progressively disappeared both on classic and microwave imageries. While completely dislocated on the AMSU-B imagery of the evening, it nevertheless rebuilt in the course of the following night but apparently for a short-lived revival since it vanished again by the early morning of the 6th. The cloud configuration, while still fluctuating, became more stable afterwards with a poorly-defined eye reappearing intermittently, most of the time barely outlined within the cloud mass. FRANCESCA remained classified as a first level tropical cyclone, with a stationary intensity (central pressure set fixed at 965 hPa). In the evening of the 6th, a drifting buoy situated some 50 km south of the track of the cyclone's centre transmitted a lowest pressure of 976 hPa. It would record afterwards a 3°C sea surface temperature fall in the wake of FRANCESCA.

On the 7th the storm regained some strength once more. A banding eye revealed early in the day closed in to rebuild a nearly complete eye in the late afternoon. The nice cirrus blow-off around the cloud mass seemed to witness an alleged better upper outflow of the system. At the favour of this



Le 4 février 2002, FRANCESCA connaît une phase d'intensification rapide, l'amenant à son maximum d'intensité (voir image TRMM page 47). Ce creusement accéléré a trouvé son origine dans un contexte environnemental particulièrement favorable. Outre une alimentation énergétique dopée par son arrivée sur une zone océanique particulièrement chaude (voir page 48), le météore bénéficiait alors de conditions divergentes en altitude extrêmement favorables, avec une situation à deux canaux d'évacuation (bien matérialisés par les vents satellites dérivés de l'imagerie vapeur d'eau), généralement associée aux taux d'intensification les plus élevés.

On 4th February 2002 FRANCESCA went through a phase of rapid intensification before reaching its maximum of intensity (see TRMM image page 47). This accelerated deepening originated from almost ideal environmental conditions. In addition of an energetic supply boosted by its arrival over an extremely warm oceanic area (see page 48), the meteor benefited from a situation providing excellent upper divergence with a dual outflow pattern (well depicted by the drift winds derived from the water vapour imagery), a situation generally related to the highest intensification rates.

régénérescence, un deuxième maximum relatif d'intensité est atteint en fin de nuit du 7 au 8 février, avec des vents moyens sur 10 min estimés à 80 nœuds près du centre. La circulation dépressionnaire est de bonne taille pour le bassin, au vu des données QuikScat, qui indiquent une extension des vents forts relativement étendue.

Si, au matin du 8 février, l'œil demeure relativement bien défini sur l'imagerie satellitaire classique, l'imagerie micro-onde montre clairement un début d'érosion de sa partie nord, signature généralement révélatrice d'une contrainte cisailée liée à un renforcement unidirectionnel du vent en altitude. Toujours poussé en direction du sud-est, à environ 10 km/h, par le flux de nord-ouest circulant sur la façade sud de la cellule de hauts géopotentiels désormais positionnée au nord, FRANCESCA se rapproche alors du 20° parallèle Sud et se retrouve effectivement confronté à un renforcement du cisaillement vertical de vent. Estimé à environ 20 nœuds (d'après les données du CIMSS), ce cisaillement demeure à ce niveau modéré jusqu'au 9, n'induisant qu'une lente érosion des res-

tes de l'œil partiel et un lent affaiblissement du cyclone. Ce n'est qu'en fin de journée du 9 février que FRANCESCA se voit déclasser en forte tempête tropicale. Depuis le franchissement du 20° parallèle Sud, la trajectoire a pris une orientation sud-sud-est. Continuant de s'enfoncer lentement (à 7-8 km/h) vers les latitudes sud, le météore pénètre dans un environnement de plus en plus hostile. Outre le fait d'aborder des eaux moins chaudes, c'est surtout le renforcement du cisaillement de vent de nord-ouest qui, à l'approche d'un talweg d'altitude, va commencer de le déstructurer plus franchement, à compter de la fin de nuit du 9 au 10. Au fil de la journée du 10, la structure nuageuse cisailée évolue vers un découplage croissant entre le vortex de basses couches et la convection résiduelle. Déclassé la nuit suivante en tempête tropicale modérée, FRANCESCA est désormais entré en phase de transition extratropicale.

Malgré l'arrivée par le sud-ouest d'une cellule anticyclonique subtropicale assez puissante en basses couches, non seulement la tempête ne modifie pas sa trajectoire, mais se met qui plus est à accé-

lérer au lieu de freiner. Une fois coupé le 25° parallèle Sud, en milieu de journée du 11, le gradient de pression va dès lors en se renforçant sensiblement entre la circulation dépressionnaire de l'ex-FRANCESCA et les hautes pressions subtropicales, générant de nouveau des vents de la force tempête dans le demi-cercle sud de la dépression extratropicale. Ces vents atteignent leur paroxysme en fin de journée du 12, soufflant à la limite de la force ouragan dans la zone de gradient maximal du quadrant sud-ouest de la circulation dépressionnaire, dont le centre vient de franchir le 30° parallèle Sud. Le minimum dépressionnaire va ensuite en se comblant et le gradient de pression peut commencer de se relâcher. Le 13 février, l'ex-FRANCESCA finit par buter sur le cœur de la cellule anticyclonique qui gagne désormais au sud, et doit obliquer vers le sud-ouest, entrant en phase finale de dissipation le lendemain.

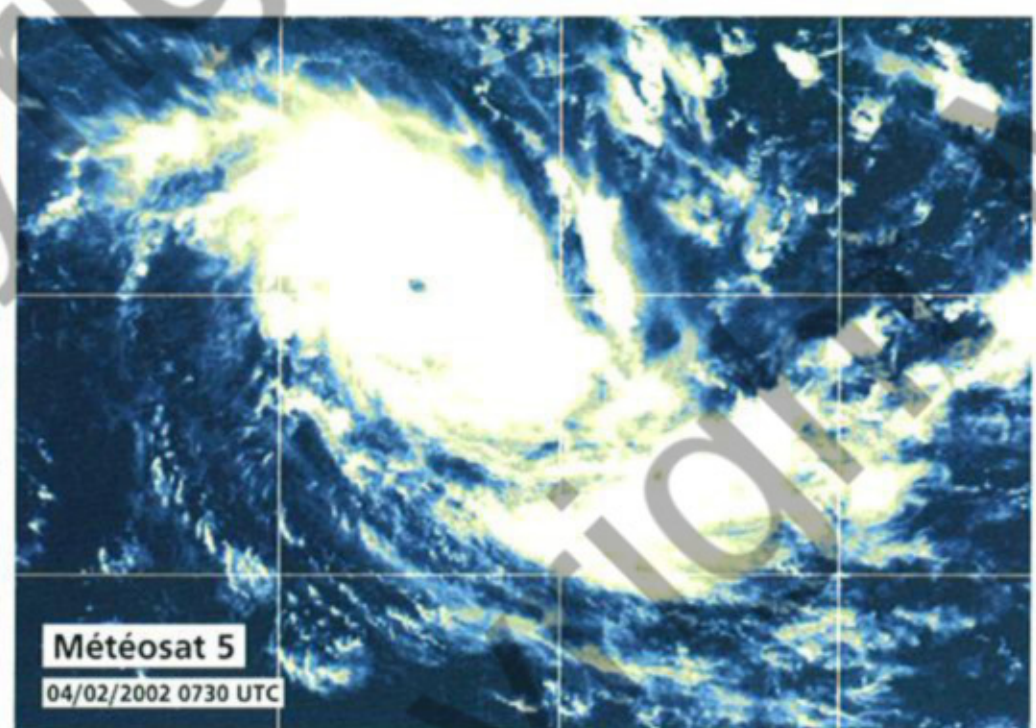
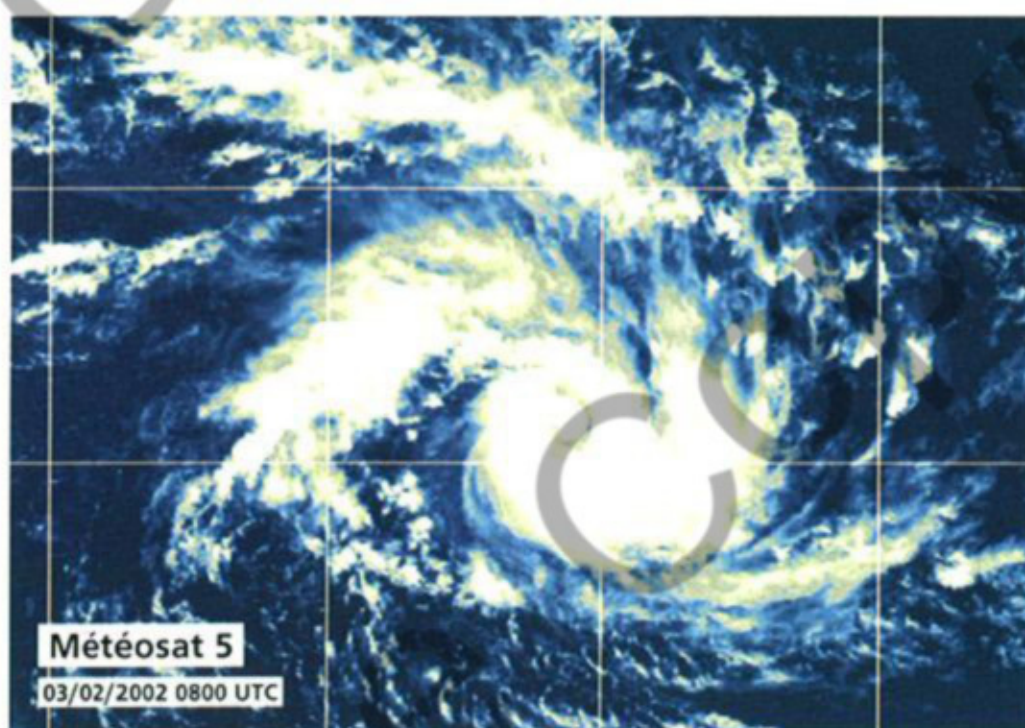
Deuxième cyclone tropical intense de la saison, FRANCESCA ne gardera pas la même notoriété que son prédécesseur DINA, du fait d'avoir évolué loin de toute terre habitée. Il n'en aura pas moins constitué un système très intéressant. Outre sa longévité – la plus longue durée de vie de tous les systèmes de la saison – on le gardera en mémoire pour son caractère pédagogique, comme un bel exemple de problématique de prévision de trajectoire en présence de scénarios divergents.

*regeneration a second peak of intensity was reached in the late night of 7th February with 10-min average winds estimated to reach 80 knots near the core of the system. The clockwise circulation was quite large for the basin according to QuikScat data which indicated a wide spread of strong winds. While on the morning of 8th February the eye was still well-defined on the classic satellite pictures, the microwave imagery clearly showed an incipient erosion in its northern part, a signature that generally reveals a sheared constraint related to a unidirectional strengthening of the upper winds. Still being drawn southeastwards at around 10 km/h by the northwesterlies flowing on the southern side of the high geo-potential cell now settled to the north, FRANCESCA was getting close to latitude 20°South and had to face increasing vertical windshear. Estimated to be around 20 knots (according to CIMSS data), the windshear remained moderate though until 9 February inducing only a slight erosion of the residual partial eye and hence a slow weakening of the cyclone. It was only by the late afternoon of the 9th that FRANCESCA was downgraded to severe tropical storm stage.*

*After crossing latitude 20°South, the system had been heading south-southeast. While it kept jogging at 7 to 8 km/h towards the southern latitudes, the meteor entered an increasingly hostile environment. Not only was it arriving on cooler waters but it was also encroaching on a northwesterly windshear which was enhancing ahead of an approaching upper trough and which started to destructure it more definitely from the late night of the 9th. Throughout the day of the 10th, the sheared cloud structure endured an increasing decoupling between the*

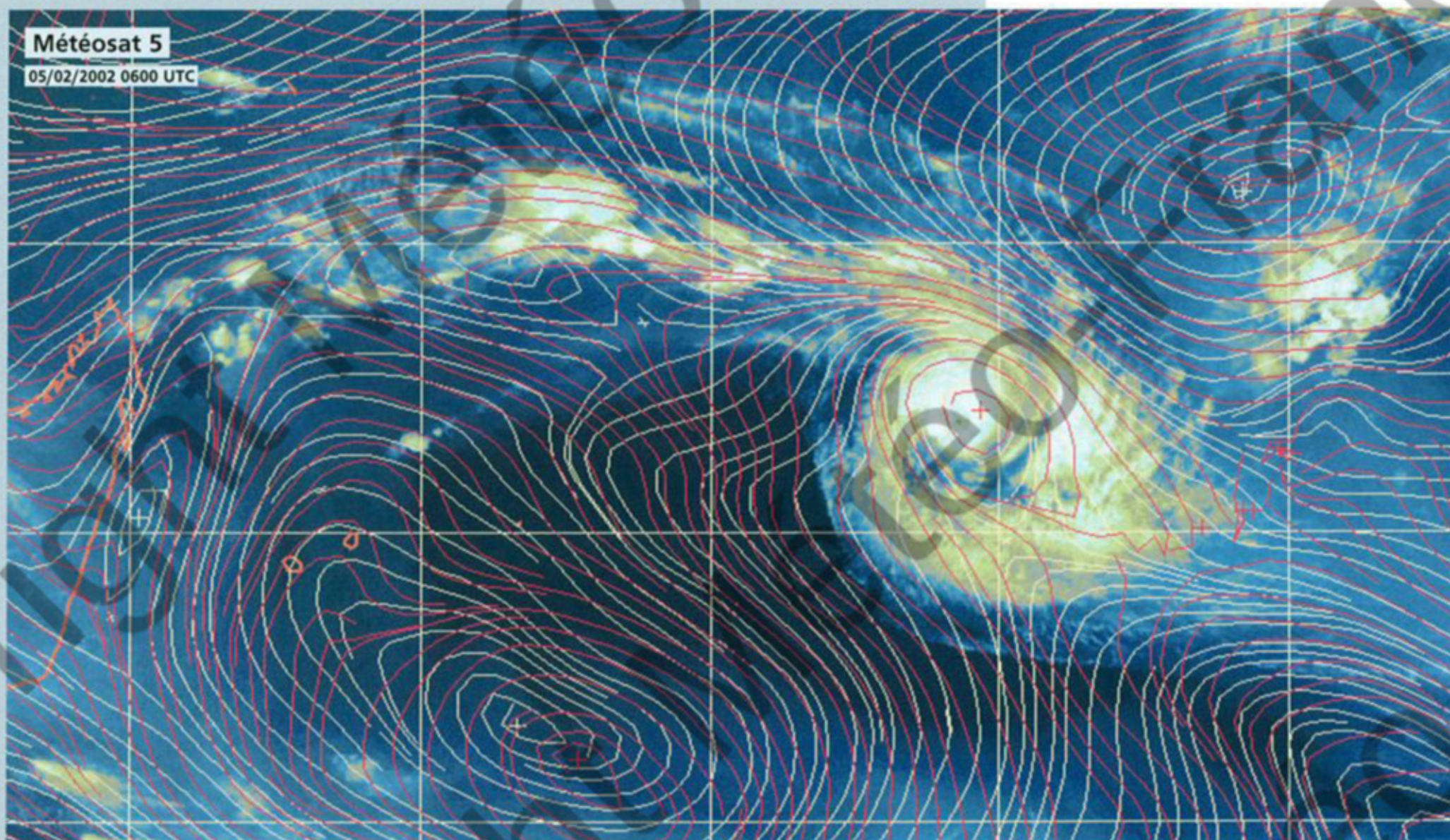
*low level vortex and the residual convection. Downgraded by the following night to moderate tropical storm status, FRANCESCA had entered in its extratropical transition phase. Despite the arrival from the southwest of a rather powerful low-level subtropical high, the storm did not change its course but rather went on picking up speed instead of slowing down. Once latitude 25°South was crossed in the middle of the day of the 11th, the pressure gradient went on tightening noticeably between the clockwise circulation of ex-FRANCESCA and the subtropical high, thus re-generating storm force winds in the southern semi-circle of the extratropical depression. Those winds reached their peak in the late afternoon of the 12th, nearly blowing at hurricane force in the maximum gradient zone of the southwestern quadrant of the clockwise circulation, whose centre had just crossed latitude 30°South. The low centre then filled and the pressure gradient started to slacken. On 13th February, ex-FRANCESCA finally hit against the core of the anticyclonic cell which was now spreading to the south and had to turn off southwestward before entering its final phase of dissipation on the following day.*

*The second intense tropical cyclone of the season, FRANCESCA will not be remembered like its predecessor DINA was, since it happened faraway from any inhabited land. Nonetheless, it will remain a very interesting system. Beside its long-standing life cycle –the longest of all the systems of the season–, it will be remembered pedagogically wise as a nice case of problematic track prediction in the presence of diverging scenarios.*



Changement de structure pour FRANCESCA en phase d'intensification, avec passage d'une configuration en bande incurvée le 3 (au stade de forte tempête tropicale) à une structure à œil le lendemain (à un stade proche du seuil de cyclone tropical intense).

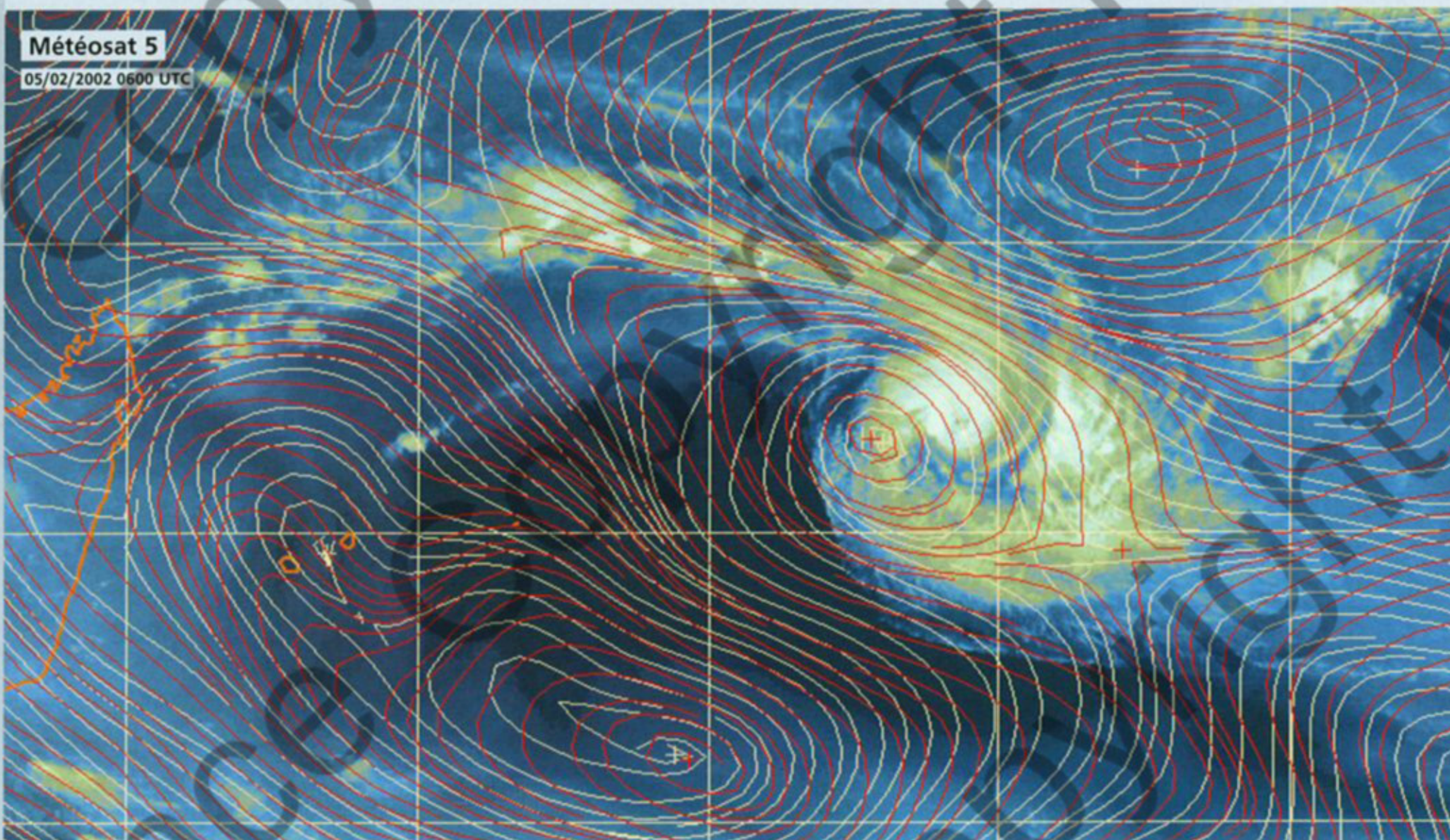
*Structure change for FRANCESCA while intensifying: the curved band pattern exhibited on 3rd by the meteor when being at the severe tropical storm stage made room for the eye pattern, as seen here when the storm was on the verge of reaching the intense tropical cyclone threshold on the following day.*

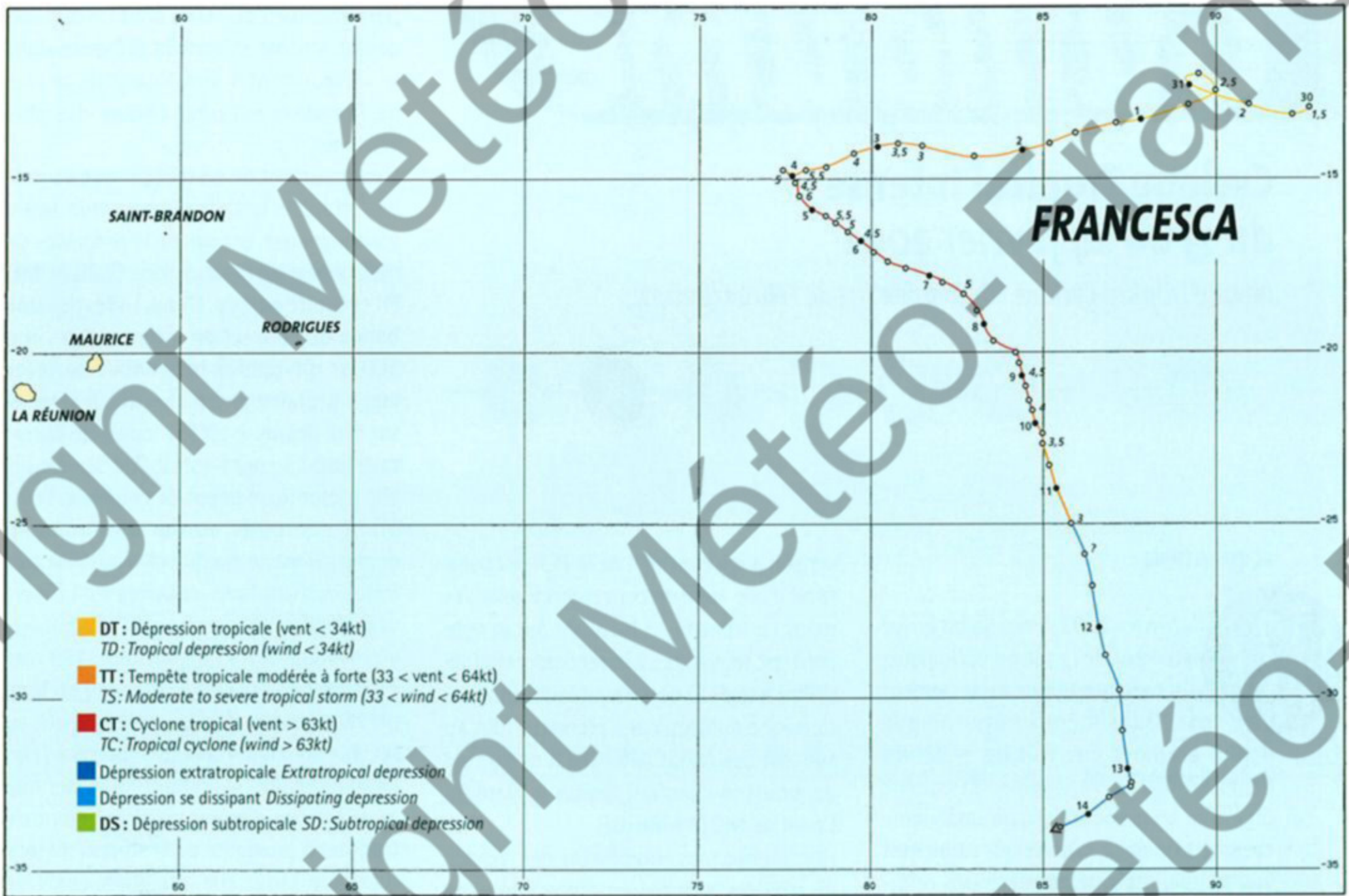


Sur l'image vapeur d'eau du 05/02 à 06 UTC ont été superposées les lignes de flux (à 500 hPa en rouge et à 400 hPa en beige) des champs de vents prévus 42h plus tôt (le 3 à 12 UTC) par les modèles anglais (en bas) et du Centre européen (en haut). Ce dernier avait bien prévu le changement de trajectoire en direction du sud-est, ce qui n'était pas le cas du premier, qui avait maintenu une trajectoire vers le sud-ouest (d'où le décalage de la circulation dépressionnaire de FRANCESCA trop à l'ouest).

La comparaison de ces deux modèles de référence au comportement divergent, montre qu'ils conduisaient à des scénarii complètement différents pour la prévision de trajectoire de FRANCESCA, à partir d'une vision finalement très peu différente de la situation environnementale autour de la perturbation, se résumant *in fine* à donner un poids dominant ou non à la cellule anticyclonique de moyenne (et haute troposphère) située au nord-est de FRANCESCA (celle qui allait dicter le flux directeur), par rapport à celle située au sud-ouest.

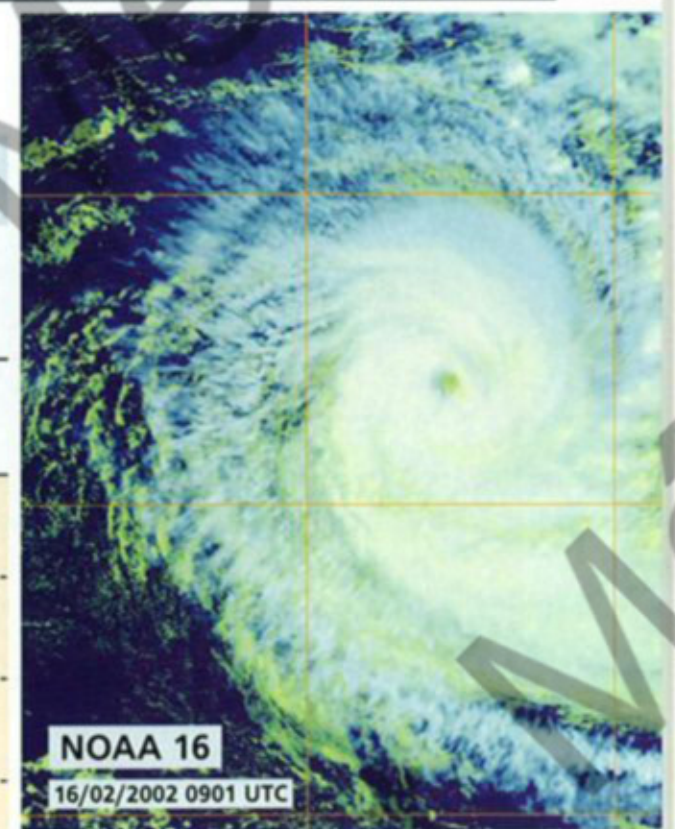
*On the water vapour image acquired 5 February at 06 UTC, the streamlines (at 500 hPa in red and at 400 hPa in beige) forecasted 42h earlier (03/02 at 12 UTC runs) by the UK Met office (below) and European Centre (above) have been superimposed. While the latter had foreseen the southeastward change of track change, the UKMO model had kept FRANCESCA on a southwestward heading (thereof the westward shift of the storm's low circulation displayed). The comparison of these two reference models with divergent behaviour showed that their completely different track scenarios proceeded from a really slightly different vision of the environmental situation around the disturbance. To put it short, FRANCESCA was caught in-between two high cells of middle (and upper) troposphere. However, a slight difference in the respective arrangement of these various centres of action resulted -upon the models- in giving, in terms of steering flow, either emphasis on the cell situated to the southwest, or on the one situated to the northeast. Actually, it was this latter one which prevailed and eventually dictated FRANCESCA's motion.*



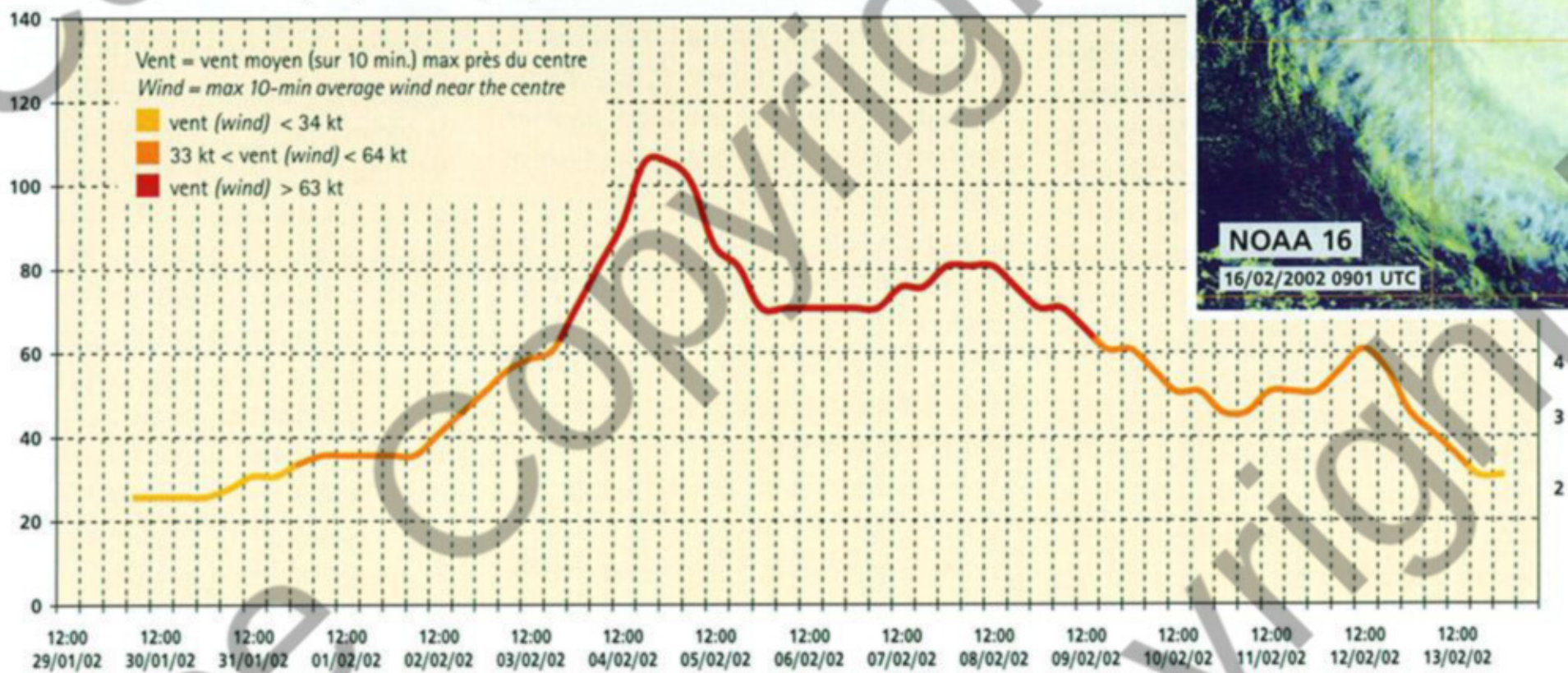


Météo France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

FRANCESCO avant son second pic d'intensité.  
FRANCESCO before its second intensity peak.



FRANCESCO DU 30/01/02 AU 14/02/02



ÉVOLUTION DU VENT MAX EN NŒUDS (À GAUCHE) ET DU NOMBRE CI DE 6 HEURES EN 6 HEURES  
6 - HR MAX WIND (KT) AND CI EVOLUTION (LEFT AND RIGHT)

# Guillaume

## Cyclone Tropical Intense du 13 au 24 février 2002

*Intense Tropical Cyclone "Guillaume" (13-24 February 2002)*

### FORMATION

M

i-février 2002, alors qu'on arrive au cœur de la saison cyclonique, l'activité perturbée ne se dément pas. Quasiment ininterrompue depuis un mois, elle voit les systèmes dépressionnaires s'enchaîner. Et comme on enfile les perles, c'est un quatrième cyclone tropical à la suite qui va bientôt voir le jour, mais de manière très originale celui-là.

Le 13 février, alors que FRANCESCA est en fin de vie dans le domaine subtropical, tout semblerait pourtant laisser croire que l'on s'achemine enfin vers une pause, après un mois d'activité trépidante. L'activité convective est, en effet, extrêmement réduite sur le bassin, et tout particulièrement sur le domaine océanique océan Indien, où aucune zone suspecte n'est présente. La convection la plus significative que l'on observe est cantonnée sur le Nord du Canal de MOZAMBIQUE, au voisinage de l'archipel des COMORES, sur MADAGASCAR, ainsi qu'au large des côtes est de la Grande Ile. Mais il n'y a là rien que de très ordinaire en cette saison, l'activité pluvio-orageuse étant même des plus modérées, avec des cumulonimbus isolés et relativement peu nombreux. Rien d'inquiétant donc, si l'on se contente de la situation observée. Mais les prévisions des modèles numériques incitent, elles, à la prudence, puisque certaines envisagent, déjà depuis la veille, le développement, à échéance de 2-3 jours, d'un système dépressionnaire à proximité des côtes nord-est de MADAGASCAR. Cette cyclogenèse annoncée est supposée trou-

ver son origine au sein de la ZCIT, au point focal d'une zone de convergence relativement concentrée et localisée sur la côte nord-est malgache, à la rencontre du flux d'alizé issu de la dorsale prolongeant l'anticyclone subtropical s'étendant loin au sud-est des MASCAREIGNES et du flux de mousson circulant depuis le Nord du Canal de MOZAMBIQUE.

Une analyse plus approfondie des champs de modèles, montre, en outre, que cette zone de convergence a beau être très concentrée horizontalement, son extension verticale n'en est pas moins profonde, puisque s'étendant jusqu'en moyenne troposphère, avec un flux de mousson très épais du côté équatorial et la présence, du côté subtropical, d'une cellule anticyclonique, centrée au sud de MADAGASCAR à 500 hPa, générant un courant d'alizé de sud-est bien établi sur tout le Sud-Est de la Grande Ile. Comme cette zone de convergence se situe, en outre, dans un environnement présentant un cisaillement vertical de vent faible et une divergence d'altitude tout à fait favorable, tous les indicateurs dynamiques sont effectivement au vert pour une cyclogenèse.

Mais encore faudrait-il qu'une perturbation initiale soit présente, et non pas sur terre, bien entendu, mais sur mer. Or, en cette journée du 13 février, rien de tel : aucune zone de convection digne de ce nom n'est présente. Les observations de surface, quant à elles, témoignent bien de l'existence, au sein de la zone de basses pressions complexe quienser MADAGASCAR, de plusieurs minima relatifs de pression, mais peu marqués et qui

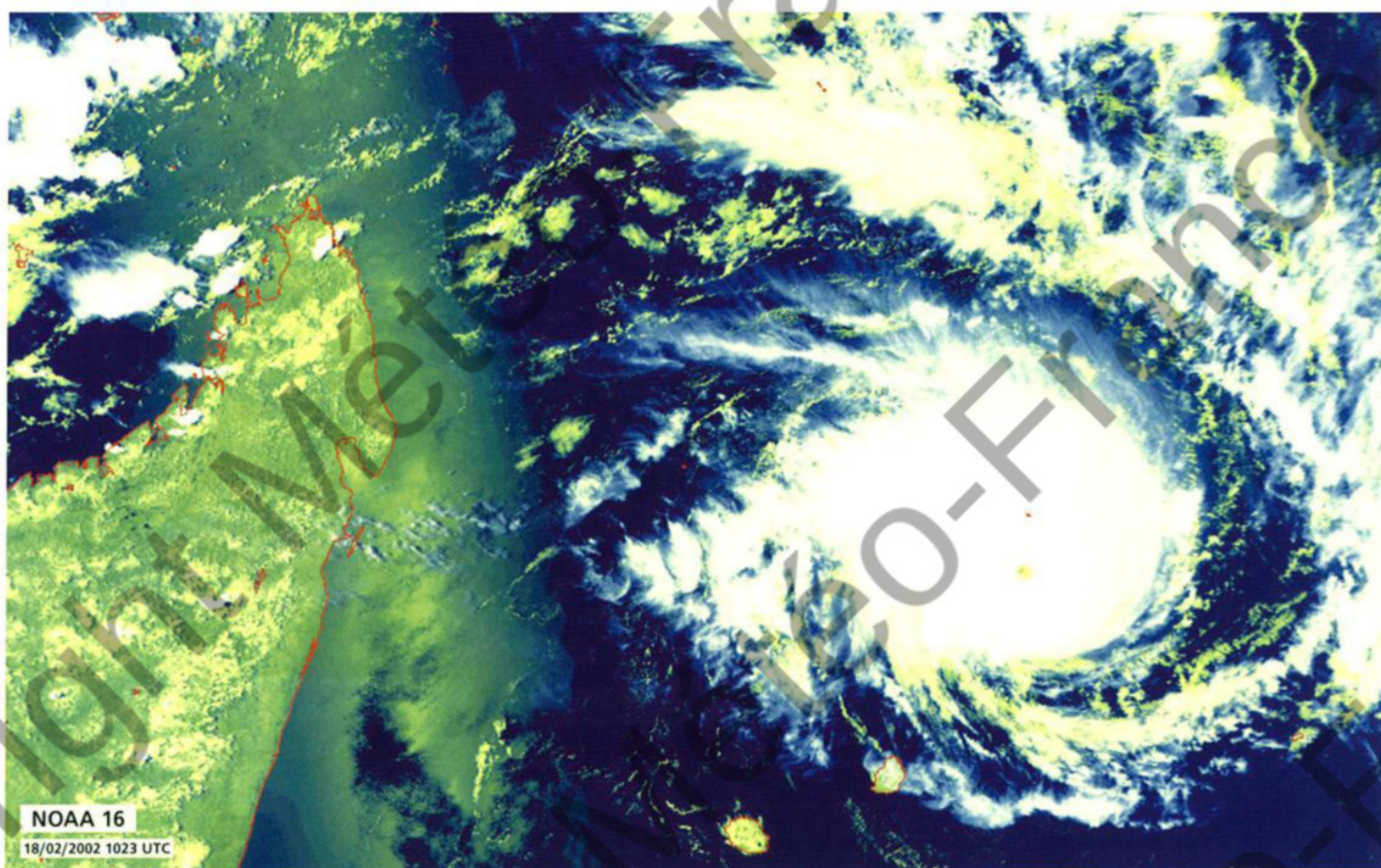
plus est situés sur terre, dont un que l'on devine à peine et dont la présence dans le secteur nord à nord-ouest de la ville de Tamatave est pour l'heure des plus anodines.

C'est pourtant de ce secteur que va jaillir l'étincelle initiale ayant, selon toute vraisemblance, enclenché le processus de cyclogenèse du futur cyclone GUILLAUME. En cours de nuit du 13 au 14 février, une bande de convection intense, d'environ 300 km d'extension horizontale, se développe brutalement, à cheval sur terre et sur mer, depuis le secteur ouest de Tamatave jusqu'au nord-est de l'île Ste-Marie. Elle présente un début de courbure, semblant s'enrouler autour du minimum dépressionnaire évoqué ci-avant. De très fortes précipitations associées sont observées dans la ville portuaire de Tamatave, y provoquant des inondations : 173 mm s'abattent en l'espace de 3h, pour un total de 250 mm en 12h. Le vent, orienté au secteur nord dans la nuit, y tourne au sud en journée du 14, laissant supposer que le minimum dépressionnaire vient de transiter à proximité de la station météorologique. L'imagerie satellitaire confirme cette impression, le centre de la circulation de basses couches se dévoilant clairement en fin de matinée, non loin au large de Tamatave, sous la forme d'une petite trouée de ciel dégagé au milieu de ce qui s'apparente à un petit vortex de nuages bas.

Désormais en mer, le minimum dépressionnaire, estimé pour l'heure à 1 005 hPa, entame alors une remontée vers le nord-nord-est. Repoussé par la hausse du champ de pression se propageant depuis le sud malgache, il longe ainsi à distance les côtes nord-est de la Grande Ile, passant dans la nuit à une cinquantaine de km au large de l'île Ste-Marie. L'activité convective associée s'est renforcée et est désormais importante dans tout son secteur nord-est, s'étendant jusque dans les parages de l'îlot de Tromelin.

Pendant ce début de vie à proximité des côtes nord-est de MADAGASCAR, l'analyse d'intensité du météore est délicate. Au vu de l'imagerie satellitaire classique, il apparaît ainsi difficile de classer le système autrement qu'au stade de perturbation tropicale en journée du 15. Mais les images micro-ondes successives montrent elles, outre une organisation tourbillon-





GUILLAUME, en phase d'intensification rapide au sud de St-Brandon (point rouge), est sur le point d'atteindre son maximum d'intensité.

Noter la texture particulièrement lisse du CDO (amas nuageux central dense) entourant l'œil.

GUILLAUME, while intensifying rapidly south of St-Brandon Islet (red spot), was on the verge of attaining its intensity peak. Worth of note is the extremely smooth texture of the central dense overcast surrounding the eye.

naire croissante, une circulation de basses couches déjà très affirmée, autour d'un centre dont la définition s'apparente plutôt à ce que l'on observe pour des phénomènes au stade de la tempête tropicale. Ce qui est en tout cas très clair, c'est que la cyclogenèse est bien sur les rails. Car si les observations de surface indiquent la présence d'un autre minimum dépressionnaire faible au nord-est de Tromelin, c'est bien autour de celui issu de MADAGASCAR, et qui transite désormais au large de la presqu'île de Masoala, que vient se concentrer le maximum de convergence, notamment du côté équatorial, via l'alimentation de mousson issue du nord du Canal de MOZAMBIQUE, qui maintient par ailleurs une activité pluvio-orageuse significative sur les COMORES (en fin de nuit du 14 au 15, 100 mm se sont abattus en l'espace de 3h à MAYOTTE, occasionnant quelques dégâts – un pont emporté notamment –, après déjà de fortes pluies la veille – 195 mm en 24h à Mamoudzou – voir image page suivante).

Le petit CDO formé en cours de journée du 15 février gagne en ampleur la nuit suivante, amenant au classement du système en dépression tropicale, puis en tempête tropicale modérée. Mais ces analyses d'intensité basées sur l'imagerie

#### FORMATION

*In mid-February, nearly at the height of the cyclone season, the disturbed activity kept on almost uninterrupted for a whole month with no lull in view. Instead, a fourth cyclone in a row was to break out, but in a very unusual way this time.*

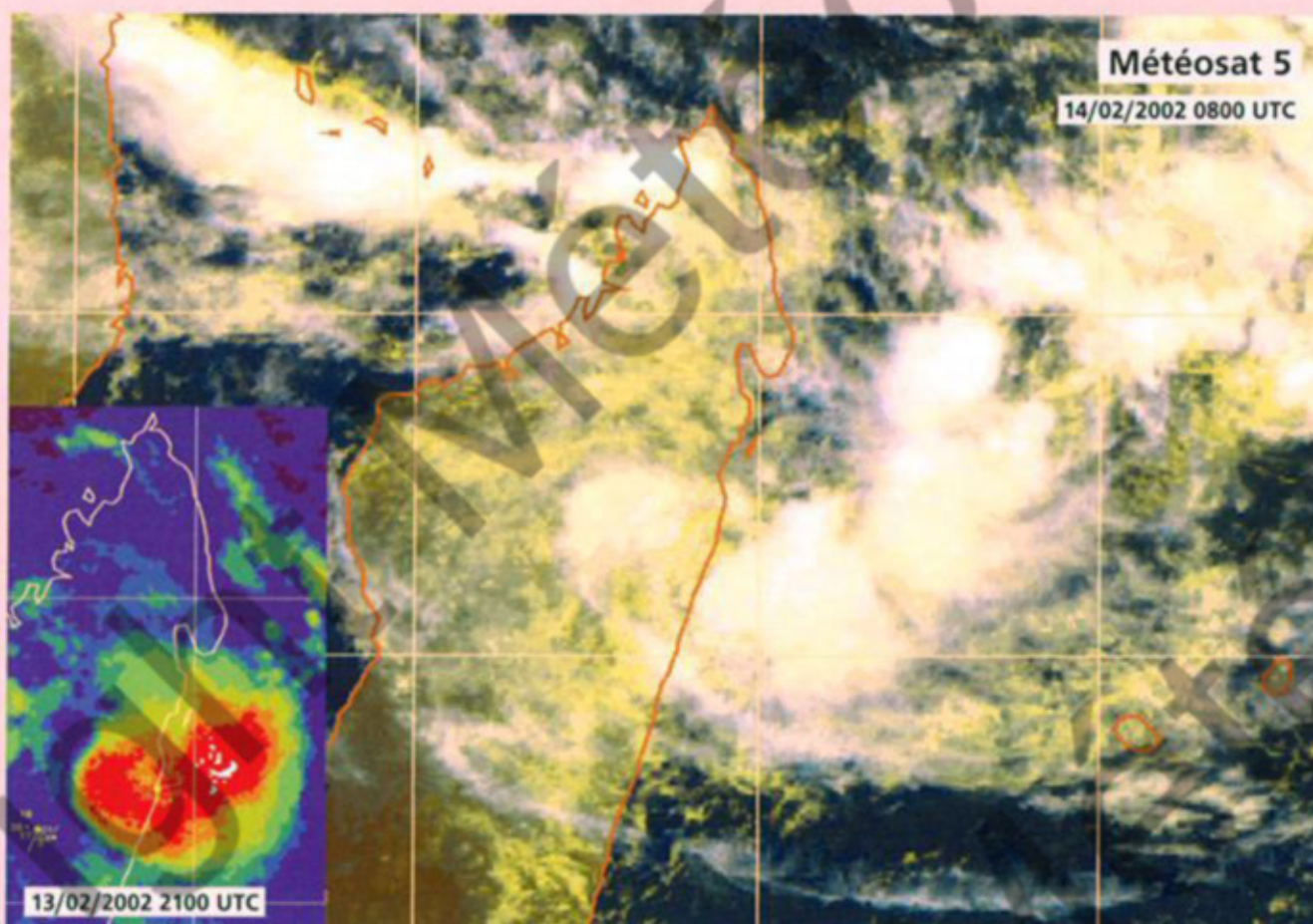
*On 13 February, while FRANCESCA was at the end of its life cycle in the subtropical domain, it seemed as if disturbed activity was going in for a quiescent period at last after a very hectic month. Indeed, the convective activity had reduced a lot over the basin, and more so over the Indian Ocean oceanic field where no suspect area could be seen. The most significant convection observed was confined to the north of the MOZAMBIQUE Channel near the COMOROS Archipelago, over MADAGASCAR and also off the east coast of the Great Island. But this was quite a usual thing to occur in the season, with a very moderate related rain storm activity and rather scarce isolated cumulonimbus.*

*So there was nothing much to worry about given the current observed situation. However, numerical model predictions urged to be prudent as, since the previous day, some were predicting a depression to develop within 2 to 3 days near the northeast coast of MADAGASCAR. The forecasted cyclogenesis was supposed to originate within the ITCZ, at the focal point of a*

*relatively compact convergence zone located on the northeastern Malagasy coast, where the trade wind flow, issued from the ridge that extended the subtropical anticyclone spreading far off to the southeast of the MASCARENES, and the monsoon flow coming from the northern MOZAMBIQUE Channel met.*

*A thorough analysis of the model outputs showed that even though the convergence zone had a very limited horizontal extent, its vertical expansion was just as deep since it spread as far as the mid-troposphere with a very thick monsoon flow on the equatorial side and the presence on the subtropical side, of an anticyclonic cell centred south of MADAGASCAR at 500 hPa, thus generating a well-established southeasterly trade wind flow across the whole southeastern part of the Great Island. As this convergence zone was also lying in an environment presenting a weak vertical windshear and a favourable upper divergence, all dynamic parameters were conducive to a cyclogenesis.*

*But for this to happen, the presence of an initial disturbance was required, and of course not inland but over the sea. But there was no such thing on 13 February: there was no convection zone worthy of that name. On the other hand, surface observations proved that there were several minima within the complex low pressure area that encompassed MADAGASCAR. However, these were quite weak and moreover located*



**Genèse de GUILLAUME :** en liaison avec la présence d'un petit minimum dépressionnaire (initialement sur terre, au nord-ouest de la ville de Tamatave), une bande d'intense convection se développe dans la nuit du 13 au 14 février 2002, dans le secteur est de MADAGASCAR, y générant localement des pluies diluviennes (image infrarouge renforcée).

Constituant le point de départ de ce qui deviendra trois jours plus tard le cyclone tropical intense GUILLAUME, ce minimum dépressionnaire sort ensuite en mer en fin de matinée du 14, avant d'entamer une remontée vers le nord-est. Il apparaît matérialisé, sur l'image en composition colorée ci-dessus, par la petite trouée de ciel dégagé visible à proximité de la côte.

**GUILLAUME's genesis:** related to the presence of a weak surface low that was initially located overland (northwest of the city of Toamasina), a cloudband of intense convection developed in the night of 13 February 2002 in the eastern sector of MADAGASCAR, generating torrential rainfall there (enhanced infrared picture).

Constituting the starting point of to-become intense tropical cyclone GUILLAUME three days later, this low then moved to sea before initiating a northeastward trajectory. It is depicted on the above picture by the small hole almost cloud void that is hugging the shoreline.

*inland, including one that was hardly visible north to northwest of the harbour city of Tamatave and whose presence looked quite insignificant at the time.*

*That was however the area from which lit up the initial sparkle which probably started off the cyclogenesis process of to-be cyclone GUILLAUME. In the course of the night of 13 February, a band of intense convection of about 300 km horizontal extent developed all of a sudden, straddling on both the sea and land from the west area of Tamatave up to the northeast sector of Sainte Marie Island. It showed an incipient curvature that seemed to be winding around the low centre mentioned above. Very heavy related rainfall was observed in the port city of Tamatave, causing floods: 173 mm poured down in just 3h for a total rainfall of 250 mm in 12h. The wind recorded there, northerly set during the night, veered southerly in the day of the 14th, giving the impression that the low centre had just been transiting near the meteorological station. The satellite imagery confirmed this feeling as the low-level circulation centre unveiled clearly in the late morning, not far off Tamatave as a small hole of clear sky embedded in the middle of what looked like a small low-level vortex.*

*The low centre, which was now over sea and was*

*estimated to be 1005 hPa, started to head north-northeastwards. Shoved away by the pressure rise that spread from the southern Malagasy coast, it sailed along the northeast coast of the Great Island at some distance thus passing some 50 km off the Sainte Marie Island during the night. The related convective activity had reinforced and had become important all over the northeastern quadrant of the low, spreading as far as the Tromelin Islet's surroundings.*

*It was a tough job to assess the intensity of the meteor during this incipient life cycle phase near the northeast coast of MADAGASCAR. According to the classic satellite imagery of the 15th, it was thus difficult to classify the system other than at the stage of a tropical disturbance. However, successive microwave imageries displayed not only an increasing swirling organisation, but also a yet impressive low-level circulation coiling around a well-defined centre, a pattern looking very much like what can be observed for such similar phenomenon at the stage of tropical storm.*

*What was very clear though, was that the cyclogenesis was right on its tracks. While surface observation indicated the presence of another weak low centre northeast of Tromelin, it was around the one coming from MADAGASCAR and now transiting off the*

satellitaire classique, semblent continuer de sous-estimer l'intensité réelle du phénomène. L'imagerie AMSU-B de la fin de nuit du 15 au 16 affiche ainsi une configuration nuageuse associée à la présence d'un simili œil. Même si l'imagerie TRMM du début de journée du 16 est nettement moins impressionnante, l'orbite QuikScat acquise juste avant a enfoncé le clou, indiquant la présence de vents violents, de la force du coup de vent à tout le moins, au cœur de la circulation dépressionnaire de taille extrêmement réduite (environ 200 km de diamètre). Ces vents estimés à partir des données radar du difusomètre QuikScat, donc potentiellement sujets à caution du fait d'une contamination éventuelle par les précipitations, voient leur crédit sérieusement renforcé par une observation de bateau reçue en temps différé et qui fait état, à proximité immédiate du centre dépressionnaire, de vents violents (rafales annoncées de 60 nœuds) pour une pression de 985 hPa.

La conjonction de tous ces éléments tendrait donc à prouver, avec un degré de confiance important, que la perturbation se situait quasiment au seuil de la forte tempête tropicale dès le début de journée du 16, après un creusement extrêmement rapide au cours des 36h précédentes. Mais le baptême de GUILLAUME, par le Service Météorologique de MADAGASCAR, n'intervient toutefois que dans l'après-midi de ce 16 février.

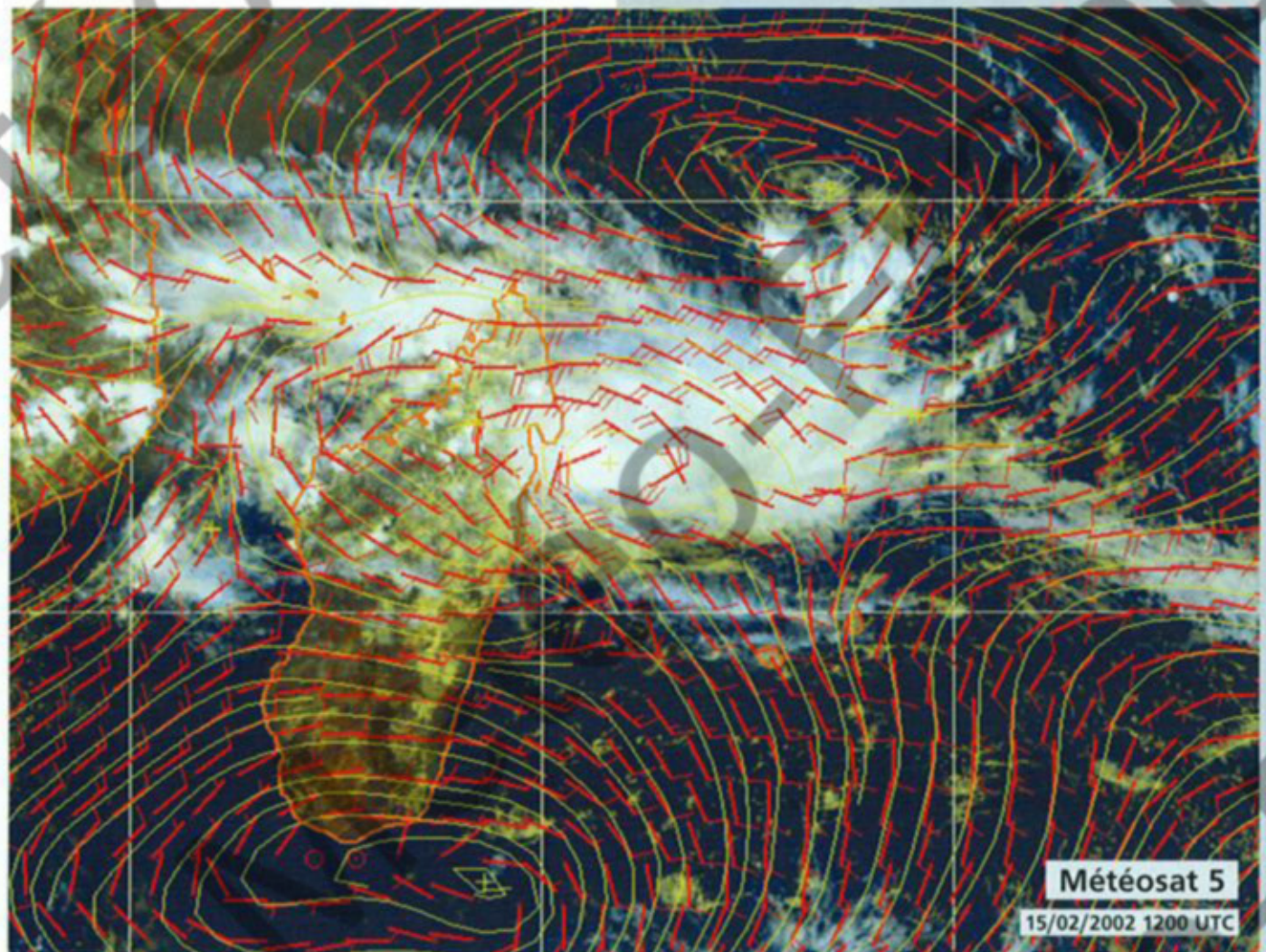
## ÉVOLUTION

À cette heure, la structure nuageuse présentée par le météore demeure d'ailleurs toujours aussi peu impressionnante sur l'imagerie satellitaire classique, mais cette impression est trompeuse, comme les heures suivantes vont le confirmer spectaculairement.

Dès le début de nuit du 16, la configuration nuageuse se modifie radicalement. La convection s'organise rapidement et un début de point chaud apparaît sur l'imagerie infrarouge, débouchant ensuite sur la constitution, au sein du petit CDO (amas nuageux central dense) d'environ 150 km de diamètre, d'un petit œil de 20 à 25 km de diamètre. La perturbation tire alors plein profit de conditions environnementales toujours très favorables, notamment en haute troposphère, avec

une configuration à deux canaux d'évacuation pour le flux sortant d'altitude, situation idéale en termes de divergence d'altitude, conditionnée pour bonne part à la présence d'un talweg d'altitude au sud-est des MASCAREIGNES. Le seuil du stade de cyclone tropical est considéré franchi à l'aube du 17 février.

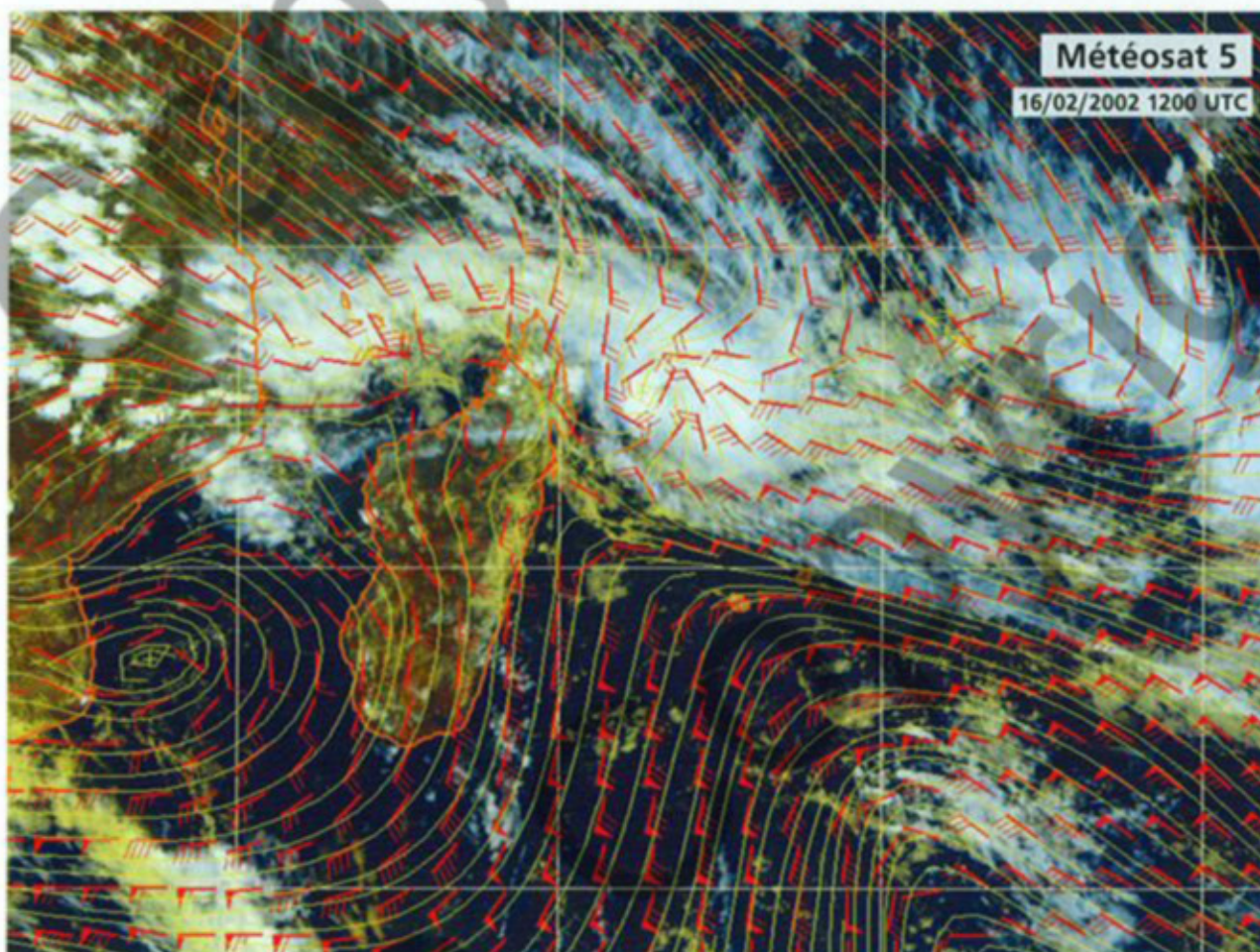
Quelques heures auparavant, GUILLAUME avait atteint son point le plus septentrional, son centre passant à quelque 190 km au nord de l'îlot de Tromelin (influencé de manière très marginale), avec un déplacement en direction de l'est quelque peu hors norme à cette latitude. Pour inhabituel que soit ce déplacement, il s'explique en l'occurrence assez aisément et a d'ailleurs été bien appréhendé par les modèles numériques. La trajectoire initiale nord-nord-est du météore, l'avait amené au contact d'une cellule anticyclonique de moyenne troposphère recouvrant toute la zone proche équatoriale s'étendant des côtes africaines jusque loin à l'est des SEYCHELLES. Passant dès lors sous l'influence du flux directeur de secteur ouest gouverné le long de sa façade sud par cette cellule anticyclonique, la perturbation avait dû redresser en direction de l'est-nord-est une fois franchi le 15° parallèle Sud. Puis, avec un position-



Au stade de dépression tropicale, le futur GUILLAUME remonte pour l'heure en direction du nord-est, au large des côtes malgaches. 12h plus tard, il se heurtera à la puissante cellule anticyclonique de moyenne troposphère située au nord (ici à 500 hPa) et passera sous son contrôle en termes de flux directeur, d'où une trajectoire atypique en direction de l'est, puis du sud-est.

*At the tropical depression stage, to-become GUILLAUME was bearing northeastward off the Malagasy coast. 12 hours later it would impinge on the powerful mid-level high cell situated to the north (at 500 hPa here) and would fall under its overruling steering influence, therefore assuming an atypical eastward then southeastward track.*

nement de la cellule de hauts géopotentiels à 500 hPa plus dans le nord-est du cyclone, le flux directeur prend une composante progressivement plus nord-ouest entre le 17 et le 18 février, faisant ainsi



Situation à deux canaux d'évacuation pour le flux sortant d'altitude (ici à 200 hPa), la plus favorable qui soit en termes de divergence d'altitude et généralement associée à des développements rapides des systèmes dépressionnaires tropicaux, comme cela va être le cas pour le fraîchement baptisé GUILLAUME.

*On this 200 hPa streamlines chart, a dual outflow channels pattern is exhibited for the recently named GUILLAUME. Such an upper divergence pattern is the most favourable situation and is generally associated to high intensification rates for tropical disturbances. This was to be verified one more time.*

Masoala Peninsula that the convergence was the strongest, namely equatorward via the monsoon flow issued from the northern MOZAMBIQUE Channel which, in other respects, fostered significant thunderstorm activity on COMOROS and related heavy rainfall (in the late night of 14 February, 100 mm fell in 3h in MAYOTTE Island, causing some damage – namely a bridge which collapsed – following the heavy rain already observed the previous day – 195 mm in 24h at Mamoudzou –, see picture page 58).

The small CDO formed in the course of the day of 15 February widened the next night, which led the system to be classified as a tropical depression and then as a moderate tropical storm. However, these analyses based on classic satellite imagery still seemed to be underestimating the real intensity of the phenomenon. The AMSU-B imagery of the late night of the 15th displayed a cloud pattern depicting an eye-like feature. Even if the TRMM imagery of the early morning of the 16th was much less impressive, the QuikScat swath acquired earlier confirmed the above, indicating the presence of violent winds, of gale force at least, within the core of the small-sized clockwise circulation (less than 200 km in diameter). These winds, derived from the QuikScat scatterometer data and thus potentially doubtful due to rain-contamination, later on received the strong crediting support of a ship observation (not available in real-time) which reported, in close

vicinity of the low centre, violent gusts of 60 knots and a pressure of 985 hPa.

When considering all these elements together, one might infer rather confidently that the disturbance was nearly at the threshold of a severe tropical storm as early as the morning of the 16th, after a swift deepening during the previous 36 hours.

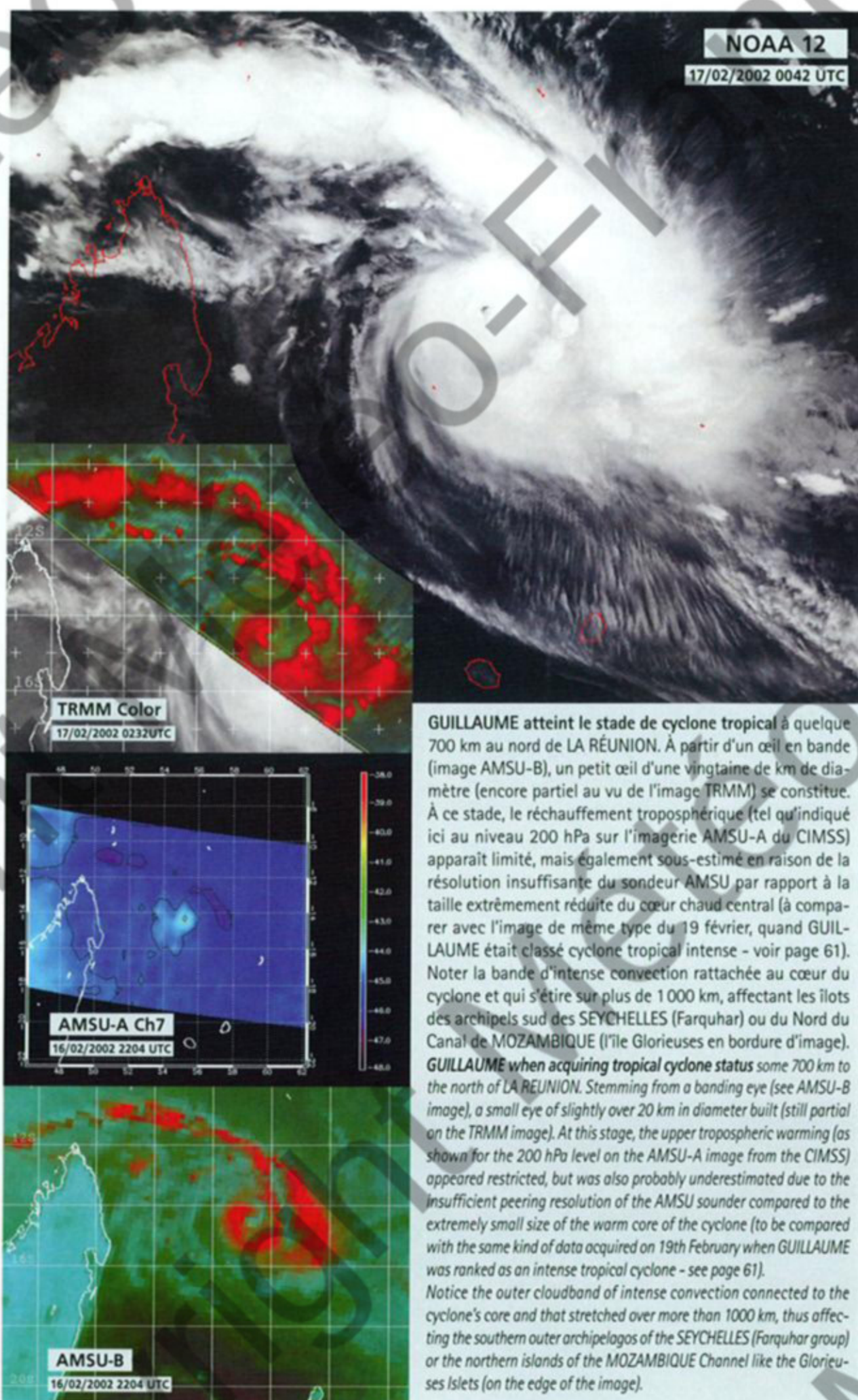
However, it was only in the afternoon of 16 February that the system was named GUILLAUME by the Meteorological Services of MADAGASCAR.

## EVOLUTION

At that time, the meteor still displayed an unimpressive cloud structure on the classic satellite imagery, but this was misleading as was to be confirmed by the subsequent spectacular events.

In the early night of the 16th, the cloud configuration radically changed. The convection organised itself rapidly and a hint of a warm spot appeared on the infrared picture leading thereafter to the formation within the 150 km-diameter CDO (central dense overcast) of a small eye of 20 to 25 km in diameter. Then the disturbance took advantage of the still favourable environmental conditions, namely in the upper troposphere, where an existing trough southeast of the MASCARENES was the main contributor to the establishment of a dual outflow channels pattern – an ideal situation in terms of upper divergence. The threshold of the tropical cyclone stage was considered to be crossed at dawn on 17 February.

A few hours before, GUILLAUME had reached its most septentrional point with its centre passing some 190 km north of the islet of Tromelin (influenced in a very marginal way), while moving eastward, which was a somewhat unusual motion at such latitude. However unusual this type of trajectory may be, it could easily be explained and indeed had been well anticipated by the numerical models. The initial north-northeastward course of the storm had made it impinge on a mid-level high cell covering all the near equatorial ribbon that spread from the African coasts to far east of the SEYCHELLES. As the disturbance then fell under the influence of the westerly steering flow ruled along its southern flank by this anticyclonic cell, it was forced to shift heading east-northeastwardly once it crossed latitude 15°South. Afterwards, as the 500 hPa high geo-potential cell moved to the northeast of the cyclone, the steering flow progressively assumed a more northwesterly orientation between 17 and 18 February, which resulted in GUILLAUME's track taking a sweep along an almost perfect circular arc during that time.



GUILLAUME atteint le stade de cyclone tropical à quelque 700 km au nord de LA RÉUNION. À partir d'un œil en bande (image AMSU-B), un petit œil d'une vingtaine de km de diamètre (encore partiel au vu de l'image TRMM) se constitue. À ce stade, le réchauffement troposphérique (tel qu'indiqué ici au niveau 200 hPa sur l'imagerie AMSU-A du CIMSS) apparaît limité, mais également sous-estimé en raison de la résolution insuffisante du sondeur AMSU par rapport à la taille extrêmement réduite du cœur chaud central (à comparer avec l'image de même type du 19 février, quand GUILLAUME était classé cyclone tropical intense - voir page 61). Noter la bande d'intense convection rattachée au cœur du cyclone et qui s'étire sur plus de 1 000 km, affectant les îlots des archipels sud des SEYCHELLES (Farquhar) ou du Nord du Canal de MOZAMBIQUE (l'île Glorieuses en bordure d'image). GUILLAUME when acquiring tropical cyclone status some 700 km to the north of LA REUNION. Stemming from a banding eye (see AMSU-B image), a small eye of slightly over 20 km in diameter built (still partial on the TRMM image). At this stage, the upper tropospheric warming (as shown for the 200 hPa level on the AMSU-A image from the CIMSS) appeared restricted, but was also probably underestimated due to the insufficient peering resolution of the AMSU sounder compared to the extremely small size of the warm core (to be compared with the same kind of data acquired on 19th February when GUILLAUME was ranked as an intense tropical cyclone - see page 61). Notice the outer cloudband of intense convection connected to the cyclone's core and that stretched over more than 1000 km, thus affecting the southern outer archipelagos of the SEYCHELLES (Farquhar group) or the northern islands of the MOZAMBIQUE Channel like the Glorieuses Islets (on the edge of the image).

suivre à la trajectoire de GUILLAUME un arc de cercle presque parfait durant cet intervalle.

Parcourue à une vitesse régulière (proche de 15 km/h), cette course circulaire décrite dans le sens des aiguilles d'une montre, commence à devenir menaçante pour les îles MASCAREIGNES, et plus particulièrement pour l'île MAURICE, que les modèles numériques s'accordent à privilégier comme cible potentielle du météore. Pour l'heure, ce sont d'autres possessions mauriciennes, les îlots de l'archipel des Cargados, mieux connu sous le nom de St-

Brandon, qui sont sous la menace directe de GUILLAUME. D'autant plus que celui-ci a continué de s'intensifier et est désormais un cyclone tropical mature, mais, dans la continuité de sa genèse, toujours de petite taille.

Après deux jours d'une intensification entretenue à un rythme plus que soutenu, une pause intervient à compter de l'après-midi du 17. L'intensité est considérée stabilisée durant 18h, même si la structure nuageuse n'apparaît pas pour autant figée. Le petit œil tend ainsi à être occulté au fil de la nuit du 17 au 18 sur

l'imagerie infrarouge, mais demeure visible sur l'imagerie micro-onde AMSU-B, tandis que les données SSMI font temporairement apparaître une structure à double œil (anneau concentrique de convection entourant le mur de l'œil interne), laissant supposer qu'un rapide cycle de l'œil a pu intervenir en cours de nuit.

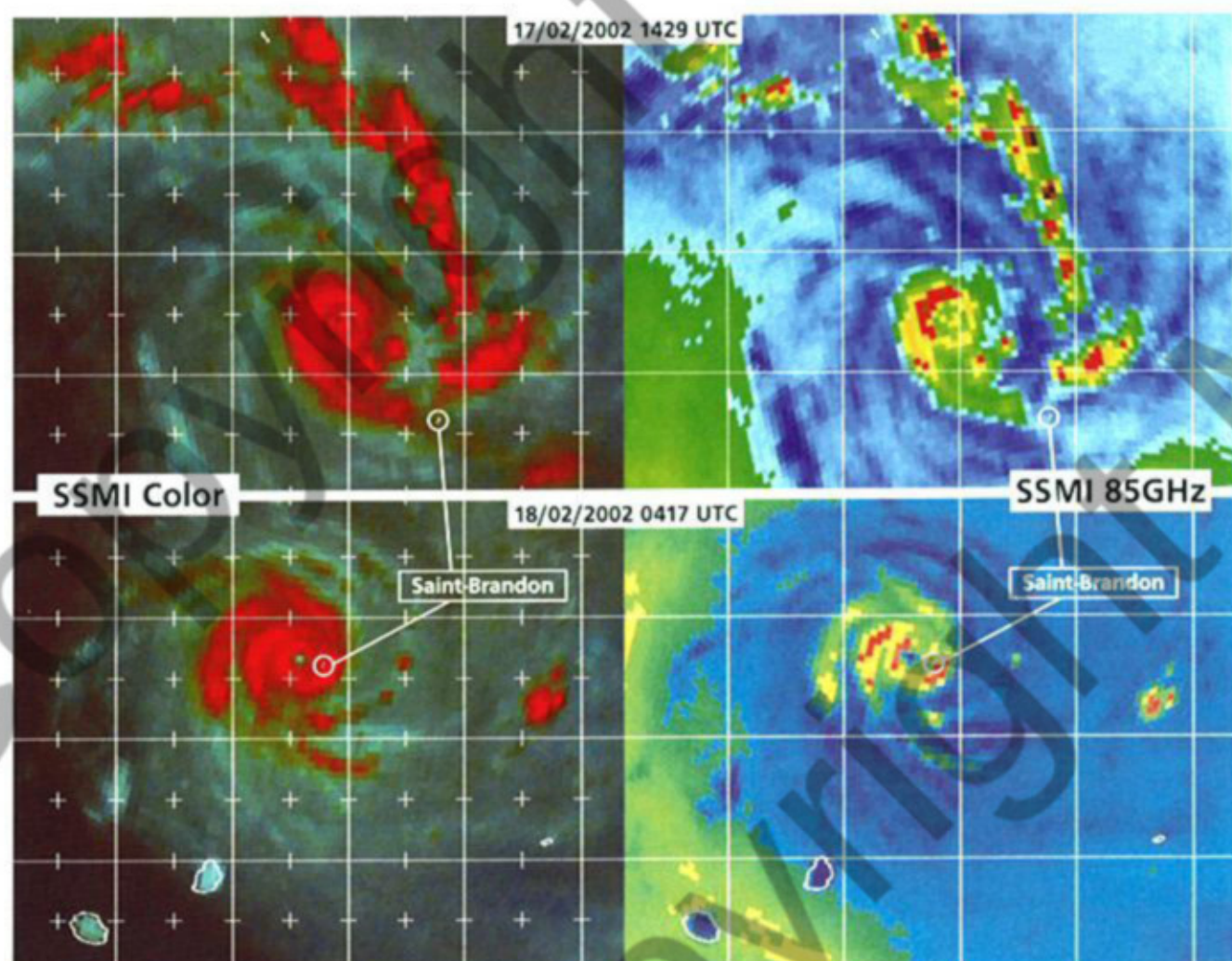
La journée du 18 va, quant à elle, voir une évolution beaucoup plus limpide, avec une intensification qui repart de plus belle en début de matinée, ce brutal regain de vigueur coïncidant avec le moment du passage au plus près de St-Brandon. Les paramètres mesurés à la station météorologique basée sur place confirment la grande compacité du système : la douzaine d'heures de vents forts observés correspondent à une extension du coup de vent à peine supérieure à 1° (dans le demi-cercle dangereux pourtant). Cette petite taille du système se retrouve également au niveau de la pression, qui demeure relativement élevée même à proximité du cœur du cyclone, avec une pression minimale relevée de 995 hPa, pour une distance de passage au plus près tout juste supérieure à 60 km (au sud-ouest), situant la station dans la zone des vents de la force tempête (vents moyens sur 10 min atteignant 56 nœuds pour une rafale maximale de 78 nœuds, soit 145 km/h).

Après ce passage au plus près de St-Brandon, GUILLAUME montre de nombreux signes de creusement accéléré : la convection devient de plus en plus froide et lisse, l'œil de plus en plus chaud et de mieux en mieux défini. Classé en cyclone tropical intense dès la fin de matinée, le météore continue de s'intensifier jusque dans l'après-midi de ce 18 février. Affichant dès lors les caractéristiques habituelles d'un cyclone tropical au maximum de son intensité : structure nuageuse presque symétrique et dénuée de toute bande nuageuse périphérique, GUILLAUME est devenu un cyclone de forte intensité, au cœur duquel les vents maximaux sur 10 min sont estimés excéder les 200 km/h, pour des rafales maximales supérieures à 280 km/h.

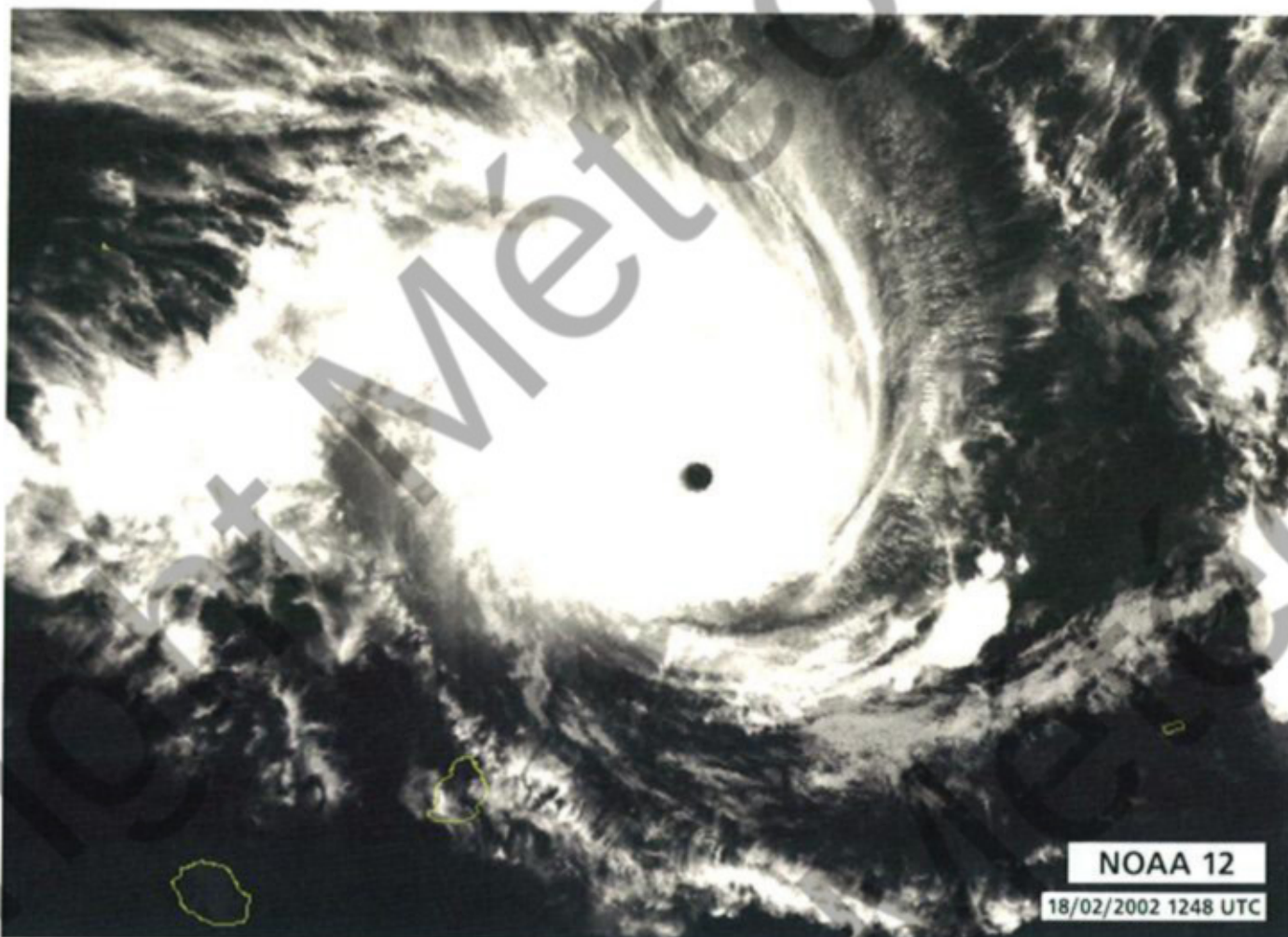
Un changement de cap intervient dans la foulée : s'infléchissant du sud-est au sud, puis au sud-sud-ouest, il continue de conférer à la trajectoire de GUILLAUME

*This clockwise circular trajectory was also smooth pace-wise (with a steady speed of movement close to 15 km/h) and started to threaten the MASCARENES Islands, especially MAURITIUS, which numerical models agreed to forecast as being the potential target of the meteor. For the time being, other Mauritius territories were under the direct threat of GUILLAUME, i.e. the islets of the Cargados Archipelago, better known as Saint Brandon. The threat was all the more to be feared that GUILLAUME had kept on intensifying to become a mature –yet still small– cyclone. However, after two days of sustained intensification, there was finally a break in the afternoon of the 17th. The intensification trend was considered to be halted for 18h even though the cloud structure didn't look fixed. The small eye tended to disappear in the course of the night of the 17th on the infrared imagery, but still remained visible on the AMSU-B microwave imagery, whereas the SSMI data temporarily displayed a double-eye feature (concentric ring of convection encircling the inner eyewall), giving the impression that a quick eye cycle might have occurred during the night. Intensification resumed with renewed ardour in the early morning of the 18th, this sudden bout of revival coinciding with the closest passage to Saint-Brandon. Observations gleaned from the local meteorological station confirmed the highly restricted size of the system: the twelve hours or so of strong winds recorded there*

*corresponded to a gale extension hardly above 1° (yet in the dangerous semi-circle). The small size of the system was confirmed by the sea level pressure which remained relatively high even near the core of the cyclone, with a recorded min pressure of 995 hPa for a nearest passage of the low centre slightly over 60 km (to the southwest), putting the station within the storm force winds area (10-min average winds attained 56 knots with a peak gust of 78 knots, i.e. 145 km/h). After passing by St-Brandon, GUILLAUME showed many signs of accelerated deepening: the cloud tops became increasingly colder and smooth, the eye warmer and warmer and better defined. Ranked as an intense tropical cyclone in the late morning, the meteor continued to intensify until the afternoon of 18 February. From then on, it displayed the usual features of a tropical cyclone at its peak of intensity –nearly symmetric cloud structure void of any peripheral cloud band– and had become a tropical cyclone of strong category, with core winds exceeding 200 km/h in 10-min average for maximum gusts of over 280 km/h. Soon after, the cyclone changed heading: bending gradually from southeast to south, then to south-southwest, the track kept on following a roughly circular path that was becoming increasingly menacing for MAURITIUS. However, from the night of the 18th, the heading settled south-southwestward under the attracting influence of a slowly eastward moving long-wave trough that had opened southwest of the*



GUILLAUME en approche finale de St-Brandon. Noter la structure à double œil sur l'imagerie du 17.  
GUILLAUME on final approach of St-Brandon Islets. Notice the double eyewall structure on the image of 17th February.



GUILLAUME au maximum de son intensité, menaçant les MASCAREIGNES.  
GUILLAUME at peak intensity, threatening the MASCARENES.

MASCARENES, thereby sparing MAURITIUS the impact of the cyclone. The accruing almost rectilinear path would indeed last for 24h, until the closest passage to MAURITIUS. Still intense despite a slight weakening compared to the previous day (with a somewhat warmer convection), the cyclone was still cruising at a moderate pace (speed of movement under 15 km/h) and drawing nearer latitude 20° South which was crossed in the afternoon of the 19th. But the moving speed then dropped down under 10 km/h, slowing down temporarily at 5 km/h. This loitering motion lasted till the morning of 20 February when the meteor ended transiting in the eastern sector of MAURITIUS. The island was lucky, since it could have been affected for a long time given the slow travelling speed of the cyclone. Situated in the safest semi-circle of the disturbance, it underwent little influence mainly benefiting from the extreme compactness of the cyclone, dramatically highlighted on microwave imagery where the storm appeared as a mere deep convective ring of only 200 km in diameter. Despite the cyclone's passage at a relatively close distance from the island (centre's closest point of approach was 115 km in the night, meaning only 90 km for the radius of maximum winds, the eye having enlarged to slightly more than 40 km in diameter in the late afternoon of the 19th), the weather conditions remained quite reasonable as regards winds and rainfall. Brushed by the active part of the meteor, MAURITIUS escaped from the cyclonic conditions: winds measured at the

Plaisance Airport (maximum gust of 78 km/h) showed that the island had even remained out of the near gale force winds envelope (mean winds under 28 knots threshold). Nonetheless, GUILLAUME was still a powerful tropical cyclone at the time. Its intensity had even slightly heightened in the evening of the 19th, given the intense convection displayed on SSMI imagery. However, considering the lowest pressure recorded at the Plaisance Airport (1005.7 hPa), it was hard to believe that an intense tropical cyclone was roaming only 100 km offshore... It is true that beside the tiny size of the cyclone, there was a very high environmental pressure for the season pervading at the time. The rain influence of the meteor was also very limited (71 mm in 24h at Plaisance). As for sister island LA REUNION, GUILLAUME stopped approaching it before dawn on the 20th when it started to slant as heading for the southeast and thus stood at a fair distance (centre at the closest in morning of the 20th, some 300 km offshore). The consequences of its passage remained marginal and limited to an easterly swell generated by the phenomenon and to rainfall brought on the windward coast in the half southern part of the island by peripheral bands of low clouds, resulting in local heavy rain in the south and southwest heights due to orographic upheaval (224 mm maximum rainfall in 24h at Grand Coude on the southern slope of La Fournaise Volcano). Gusts didn't exceed 90 km/h (maximum gust recorded on the far eastern edge of the island, at Piton Sainte Rose).

une allure pseudo-circulaire de plus en plus menaçante pour l'île MAURICE. Mais à compter de la fin de nuit du 18 au 19, le cap se stabilise, ce qui va permettre à l'île MAURICE d'échapper à l'impact du cyclone. Un large talweg polaire s'est ouvert au sud-ouest des MASCAREIGNES. Se décalant lentement vers l'est, il contribue à attirer GUILLAUME en direction du sud-sud-ouest, ce cap demeurant établi durant 24h, jusqu'au passage au plus près de l'île MAURICE.

Toujours intense, malgré un léger affaiblissement observé par rapport à la veille (avec une convection qui s'est quelque peu réchauffée), le cyclone progresse toujours à une allure modérée (vitesse de déplacement inférieure à 15 km/h), se rapprochant du 20° parallèle Sud, qu'il franchit dans l'après-midi du 19. Mais la vitesse de déplacement fléchit ensuite, s'abaissant sous les 10 km/h, et temporairement jusqu'à 5 km/h. Ce déplacement à vitesse réduite se prolonge jusqu'au matin du 20 février, moment où prend fin le transit du météore dans le secteur est de MAURICE.

L'île, qui aurait pu être durablement affectée, compte tenu de ce déplacement lent, s'en sort bien, ne connaissant finalement qu'une influence restreinte. Située dans le bon demi-cercle de la perturbation, elle bénéficie surtout de l'extrême compacité du cyclone, spectaculairement matérialisée sur l'imagerie micro-onde où le météore se résume à un simple anneau de convection profonde d'à peine 200 km de diamètre. Malgré un passage à relativement faible distance (centre à 115 km au plus près en cours de nuit, soit environ 90 km seulement pour le rayon des vents maximaux, l'œil s'étant élargi à une quarantaine de km de diamètre en fin de journée du 19), les conditions météorologiques restent très raisonnables, tant au niveau des vents que des précipitations. Effleurée par la partie active du météore, MAURICE échappe aux conditions cycloniques : les vents maximaux mesurés à l'aéroport de Plaisance (rafale maximale de 78 km/h) montrent que l'île est même demeurée en marge de la zone de grand frais (vents moyens inférieurs au seuil des 28 nœuds). GUILLAUME demeurait pourtant un phénomène de forte intensité à ce moment-là. Son intensité avait même été relevée légèrement en soirée du 19, consi-

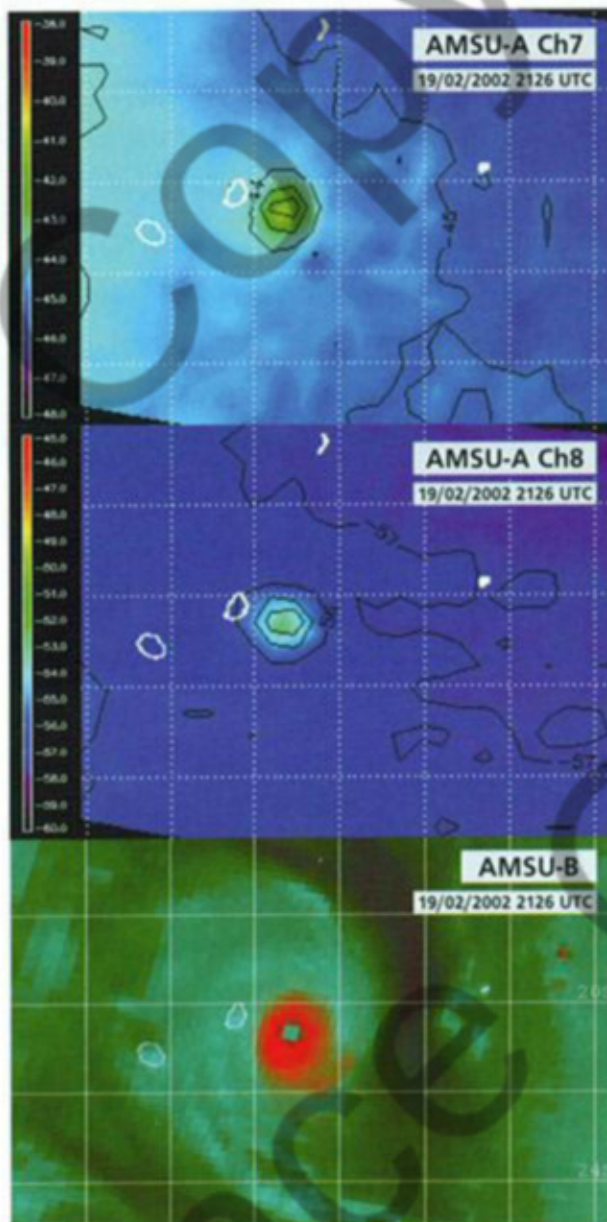
dérant l'intensité de la convection affichée sur l'imagerie SSMI. Mais au vu de la pression minimale relevée à l'aéroport de Plaisance (1 005,7 hPa), difficile de croire qu'un cyclone tropical intense se trouvait seulement à une centaine de km au large... Il est vrai qu'outre la taille extrêmement réduite du cyclone, régnait alors une pression environnementale très élevée pour la saison. L'influence pluvieuse du météore a également été très limitée (71 mm recueillis en 24h à Plaisance).

Pour ce qui est de l'île sœur de LA RÉUNION, GUILLAUME a cessé de s'en rapprocher dès la fin de nuit du 19 au 20. Commencant d'obliquer en direction du sud-est à ce moment-là, le cyclone est demeuré à bonne distance (centre au plus près des côtes en début de journée du 20, à un peu plus de 300 km au large). Les conséquences de son passage ont été marginales, limitées à la houle de secteur est générée par le phénomène et à des pluies amenées sur les zones au vent de la moitié sud de l'île par quelques bandes de nuages bas ultra-périphériques, pluies localement fortes dans les Hauts du Sud et du Sud-Ouest par soulèvement orographique (maximum de 224 mm recueillis en 24h à Grand Coude, sur le

flanc sud du volcan de La Fournaise). Les rafales de vent n'ont, quant à elles, pas excédé les 90 km/h (rafale maximale observée sur la façade extrême est de l'île, à Piton Sainte-Rose).

Le passage au plus près de LA RÉUNION, marque le début de la phase d'affaiblissement de GUILLAUME. À l'approche du 21<sup>e</sup> parallèle Sud, le cyclone est entré dans la sphère d'influence du talweg d'altitude associé au talweg polaire précité. Empiétant désormais sur le jet de nord-ouest présent à l'avant de ce talweg, il commence d'en subir les effets. Outre le fait d'imposer au flux directeur de la perturbation un changement d'orientation franc (d'où le changement de trajectoire en direction du sud-est), ce jet de nord-ouest génère un accroissement du cisaillement vertical de vent au niveau du cyclone. Très progressif dans un premier temps, il affecte peu GUILLAUME jusque dans l'après-midi du 20. Mais en fin de journée, le cisaillement atteint la barre des 20 nœuds, et comme il continue de se renforcer, le seuil de tolérance pour un petit cyclone comme GUILLAUME est rapidement dépassé. Sur l'imagerie satellitaire, les signes classiques d'amorce de destructuration par cisaillement de vent

*The nearest passage of the system to LA REUNION marked the outset of GUILLAUME's weakening phase. As it approached latitude 21° South, the cyclone had entered the area of influence of the upper trough related to the abovementioned long-wave trough. It was now encroaching upon the northwesterly jet stream flowing ahead of the trough and started to feel its effect. The northwesterly flow, which was also responsible for the modification of the steering flow that had made the disturbance shift path southeastward, indeed generated an increasing vertical windshear across the cyclone. Being very progressive, the shearing hardly affected GUILLAUME until the afternoon of the 20th. However, by the end of the day, the windshear reached 20 knots and as it kept reinforcing, the threshold of tolerance -for such a small cyclone as GUILLAUME- was quickly overstepped. On satellite imagery, the classic signs of incipient wane through windshear appeared: the eye vanished on the classic imagery, while on the microwave imagery, the convection ring encircling the eye started to erode in its northwestern part, i.e. on the windward side of the upper flow that caused the windshear. The resulting weakening of the system had a delayed repercussion on surface circulation due to the classic inertia of the windfield, so much so that GUILLAUME lost its status of intense tropical cyclone only by the end of the night of the 20th. Since its southeastward change of trajectory,*



GUILLAUME s'éloigne de l'île MAURICE. Effleurée par le cyclone, elle a évité le cœur du météore, dont l'extrême compacité (200 km de diamètre environ) apparaît clairement sur l'imagerie micro-onde AMSU.  
 GUILLAUME when edging away from MAURITIUS. Brushed by the cyclone, the island avoided the central core of the meteor whose compactness (about 200 km in diameter) was nicely displayed on the AMSU microwave imagery.

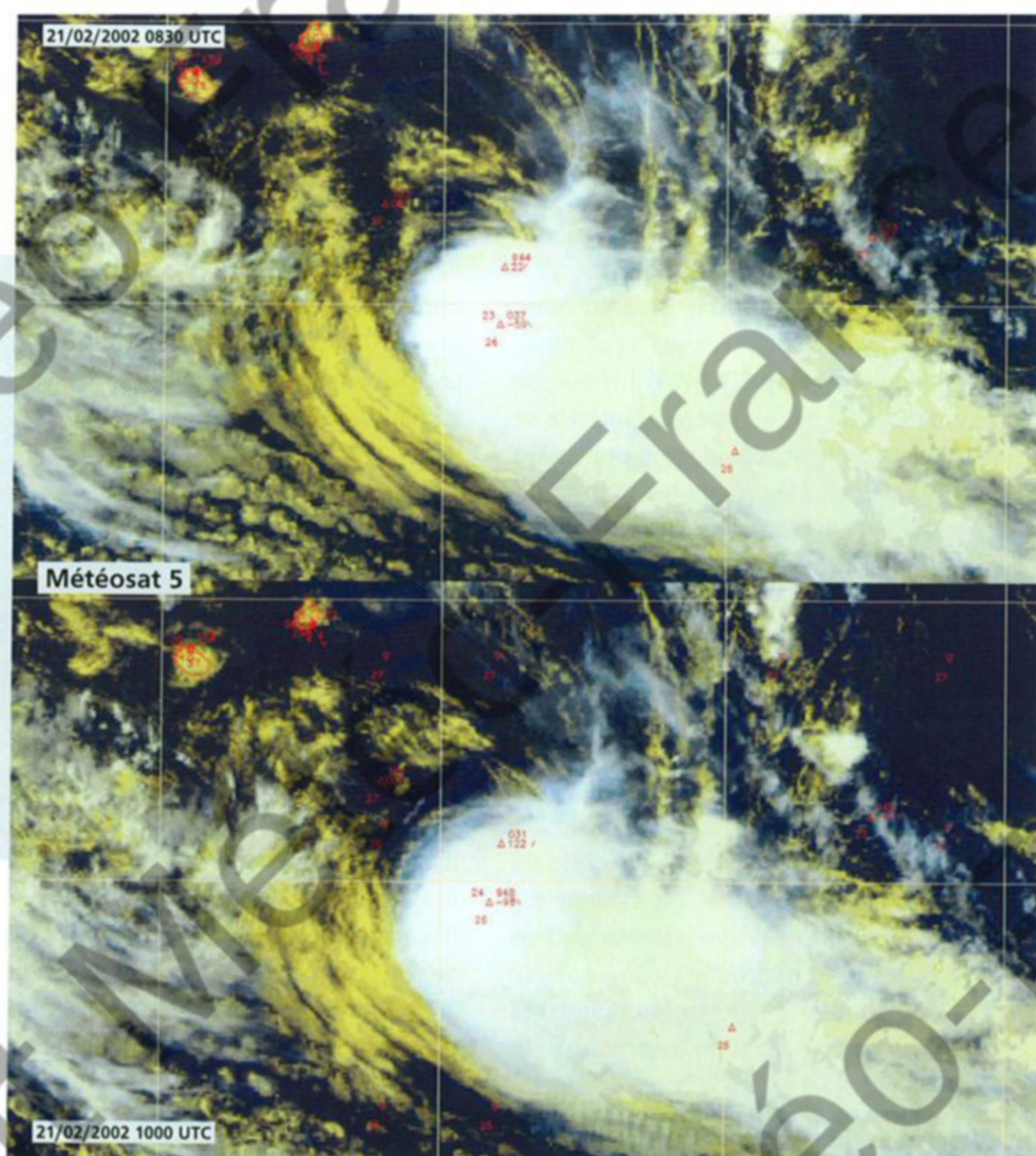
**GUILLAUME en début de phase d'affaiblissement par cisaillement de vent de nord-ouest.** À ce stade initial du cisaillement, le centre de la circulation de basses couches se situe encore sous la convection et est difficile à localiser précisément sur l'imagerie satellitaire classique. La présence d'éléments d'observations annexes, comme ici des observations de pression par des bouées dérivantes, peut constituer une aide précieuse pour affiner, à la fois la position du minimum dépressionnaire et son degré de comblement (chose pas toujours aisée en phase d'affaiblissement).

La trajectoire de GUILLAUME a fait en l'occurrence passer le minimum dépressionnaire quasiment à mi-distance entre deux bouées : noter le différentiel de pression inverse de chacune à 1 h 30 d'intervalle (quasiment identique en valeur absolue).

**Early weakening phase of GUILLAUME through northwesterly windshear.** At this incipient shearing stage, the low-level circulation centre was still located underneath the convection and hence difficult to spot accurately on the classic satellite imagery. The existence of additional observing sources, like surface pressure observations of drifting buoys, can be a precious tool in order to more accurately pinpoint the location of the centre and also to get a better estimate of the amount of filling up of the low (which is otherwise arduous during such weakening phases). In this case the track followed by GUILLAUME made it pass roughly half-way from two drifting buoys: notice how the observed pressures switched almost symmetrically during the 90 min lapse of time.

which had made it give up its initial nearly circular path, the meteor had resumed motion at a fair clip and even accelerated to 25 km/h in the course of the 21st. But in the afternoon, practically at the same time it was downgraded to a severe tropical storm, it suddenly braked and shifted east-southeastward. As the polar trough which had been attracting it had edged sufficiently to the southeast, and with the henceforward non-existent contribution of the upper flow to the steering current of the now well-sheared system, the low centre was stopped in its progression to the southern latitudes by the arrival of a subtropical ridge in the low troposphere. The windshear effects started to be felt in a more radical way from the early night of the 21st: the convection collapsed, unveiling the low-level vortex which became rapidly fully exposed far to the northwest of the residual convection, then ejected to the southeast by the upper flow. Downgraded to a mere moderate tropical storm at the end of the night, GUILLAUME filled rapidly. Pushed back towards the northwest on the 23rd, as a result of the strengthening of the subtropical ridge in the south, it entered its terminal dissipation phase by the end of the following night, within the tropical domain, for an express demise which was even faster than the initial deepening phase at the beginning of its life cycle.

GUILLAUME was certainly the most singular phenomenon of the cyclone season. Its original cyclogenesis and totally atypical track have earned it to be considered as a cyclonic curiosity of the basin. Fortunately, this intense –yet small-sized– cyclone, had only a limited impact on inhabited lands.



apparaissent : l'œil devient évanescant sur l'imagerie classique, tandis que sur l'imagerie micro-onde, l'anneau de convection entourant l'œil commence à s'éroder dans sa partie nord-ouest, c'est-à-dire du côté au vent du flux d'altitude responsable du cisaillement. L'affaiblissement qui en résulte, se répercute avec un effet retard sur la circulation de surface, en raison de l'inertie classique du champ de vent, si bien que GUILLAUME ne perd son statut de cyclone intense qu'en fin de nuit du 20 au 21.

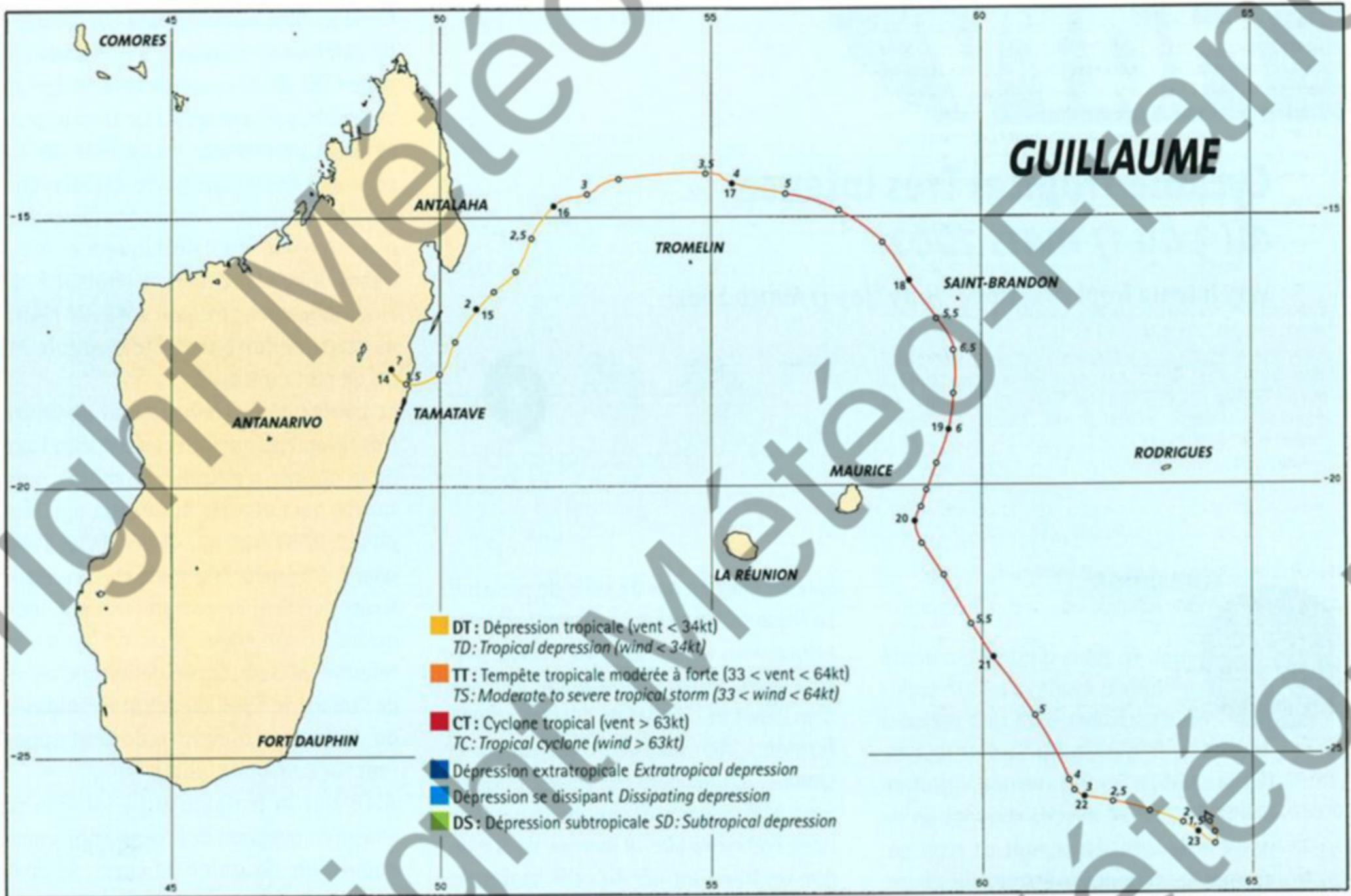
Depuis son changement de trajectoire en direction du sud-est, qui l'avait en quelque sorte fait « décrocher » de sa trajectoire initiale pseudo-circulaire, le météore a repris un rythme de croisière soutenu, accélérant même à 25 km/h en journée du 21. Mais dans l'après-midi de ce même 21, quasiment au moment où il se voit déclasser en forte tempête tropicale, il freine brutalement, puis oblique en direction de l'est-sud-est. Avec l'éloignement vers le sud-est du talweg polaire qui l'attirait jusque là et la contribution désormais caduque du flux d'altitude pour dicter le flux directeur d'un système en phase avancée de cisaillement, le minimum dépressionnaire se retrouve bloqué dans sa progression vers les latitudes sud par

l'arrivée d'une dorsale subtropicale en basse troposphère.

Les effets du cisaillement se font sentir de manière plus radicale à compter du début de nuit du 21 au 22 : la convection s'effondre, laissant apparaître le vortex résiduel de basses couches, rapidement entièrement exposé loin au nord-ouest de la convection résiduelle, expulsée au sud-est par le flux d'altitude. Redevenue simple tempête tropicale modérée en fin de nuit, GUILLAUME se comble rapidement. Refoulé vers le nord-ouest le 23, suite au renforcement de la dorsale subtropicale au sud, il entre en phase de dissipation terminale dès la fin de nuit suivante, au sein du domaine tropical, pour une fin de vie expresse, encore plus rapide que n'avait été la phase de creusement initial en début de vie.

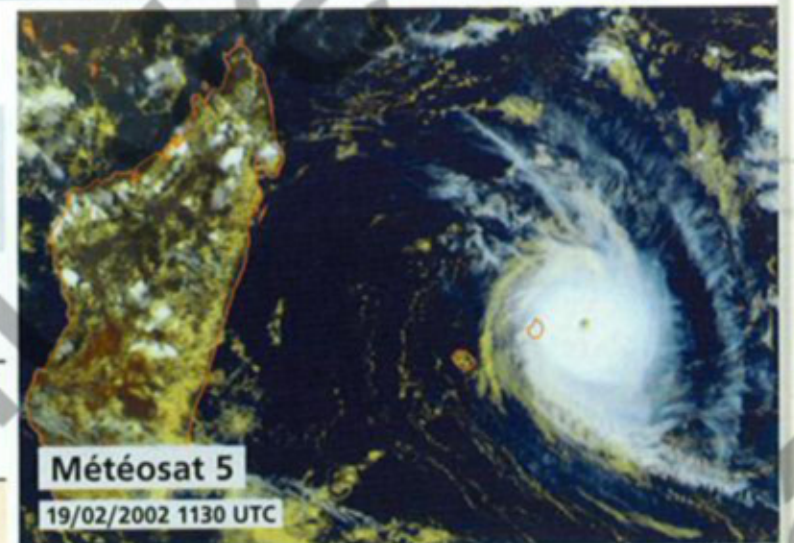
GUILLAUME aura sans conteste constitué le phénomène le plus singulier de cette saison cyclonique. Sa cyclogenèse originale et sa trajectoire complètement atypique le classent dans la catégorie des curiosités cycloniques du bassin. Cyclone intense, mais de petite taille, il aura fort heureusement eu un impact limité sur les terres habitées.



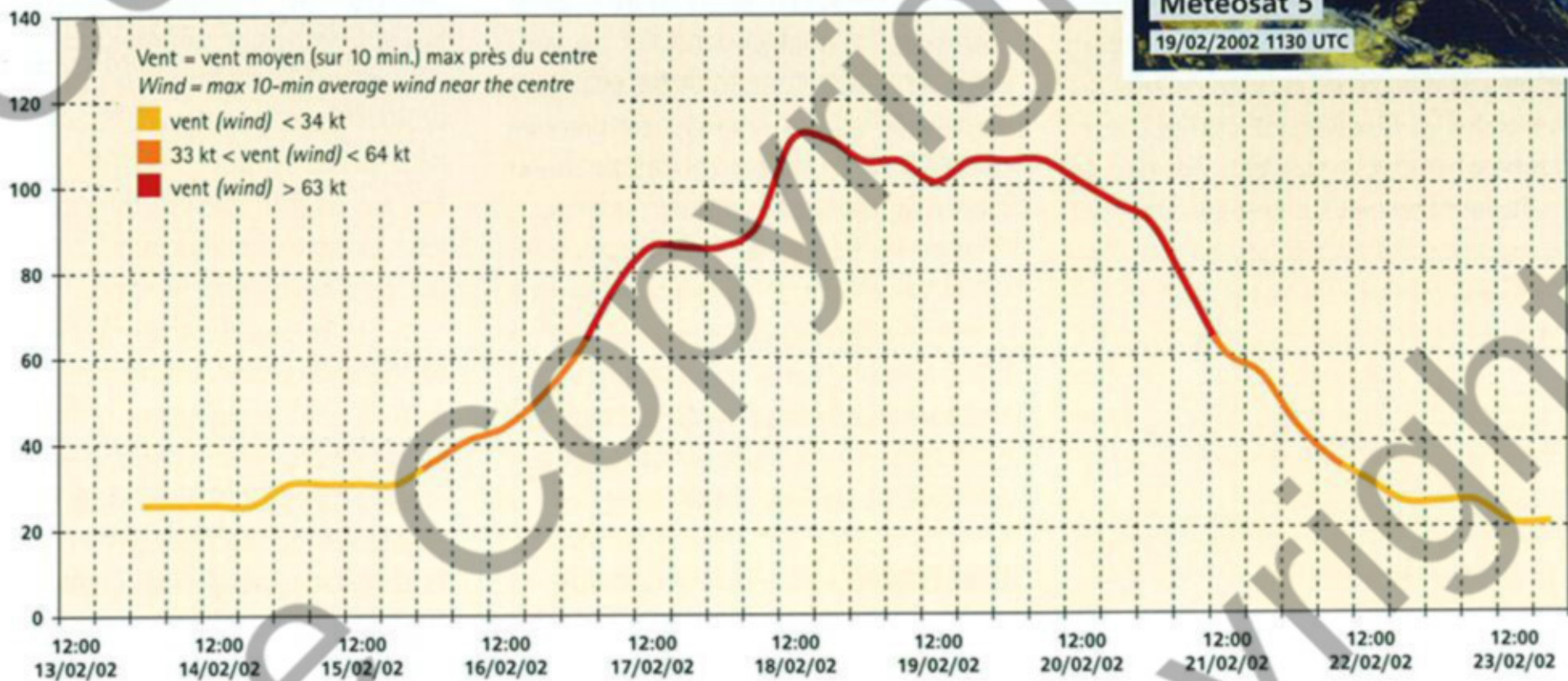


Météo France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

GUILLAUME transite à l'est de MAURICE, qui évite de peu la masse nuageuse active du météore. 170 km plus à l'ouest, l'île sœur de LA RÉUNION se situe elle en marge de la bande nuageuse la plus périphérique. *GUILLAUME while transiting east of MAURITIUS which avoided the active cloud mass of the meteor from a mere nothing. 170 km to the west the sister island of LA REUNION stood on the edge of the farthest outer band.*



## GUILLAUME DU 14/02/02 AU 23/02/02



ÉVOLUTION DU VENT MAX EN NŒUDS (À GAUCHE) ET DU NOMBRE CI DE 6 HEURES EN 6 HEURES  
6 - HR MAX WIND (KT) AND CI EVOLUTION (LEFT AND RIGHT)

# Hary

## Cyclone Tropical Très Intense du 3 au 17 mars 2002

*Very Intense Tropical Cyclone "Hary" (03-17 March 2002)*

### FORMATION

**A**près 40 jours d'intense activité perturbée, ayant vu quatre cyclones s'enchaîner, dont trois cyclones intenses, le bassin du Sud-Ouest de l'océan Indien a retrouvé une situation calme fin février, avec la dissipation de l'ex-GUILLAUME. La période de répit qui s'ensuit ne va toutefois être que de courte durée, à peine plus d'une semaine.

Le 3 mars, la Zone de Convergence Intertropicale apparaît encore relativement inactive, la convection demeurant en particulier assez discrète sur le bassin. Tout juste note-t-on une zone d'activité convective un peu plus significative dans le secteur sud-ouest de DIEGO-GARCIA, organisée sous la forme de deux bandes de convection presque parallèles. Orientées zonalement, elles sont en fait situées de part et d'autre de la ligne de séparation entre les flux de composante ouest-nord-ouest et est-sud-est. Cet axe de cisaillement de mousson est parfaitement bien décrit dans tout ce secteur par l'orbite QuikScat de la fin de journée : relativement linéaire, il s'étire entre 10 et 11° Sud en n'ondulant que très peu. Les flux convergents d'alizé et de mousson environnants apparaissent plutôt faibles, surtout du côté mousson.

Outre les orbites QuikScat successives, la surveillance de cette zone pour l'heure encore peu suspecte, peut s'appuyer sur la présence de quelques bouées dérivantes, dont une excellemment placée juste au nord du 10° parallèle Sud et d'autant plus intéressante qu'elle est dotée d'une me-

sure de vent en sus de celle de pression. La situation demeure quasiment en l'état jusque dans la nuit du 4 au 5 mars, avec cependant la matérialisation progressive d'un début de circulation dépressionnaire fermée – bien qu'encore élongée à ce stade –, sur les données de vents QuikScat. Mais pour ce minimum dépressionnaire embryonnaire, la journée du 5 marque un tournant décisif et le vrai point de départ de la cyclogenèse. L'évolution est patente sur l'imagerie satellitaire : autour d'un centre de circulation dépressionnaire désormais clairement défini, convergent des bandes de convection dont la courbure dénote un accroissement sensible de la vorticité. Le minimum dépressionnaire, dont le creusement est désormais lancé, amorce dans le même temps un virage en direction de l'ouest-sud-ouest, à quelque 750 km au sud-ouest de DIEGO-GARCIA. Alors qu'il dérivait jusque là très lentement, en direction du sud-est, sa vitesse de déplacement monte rapidement à plus de 20 km/h. Dans la nuit du 5 au 6, la convection vient se concentrer et se développer près du centre, accélérant le processus de creusement. La perturbation devient dépression tropicale, puis tempête tropicale modérée en matinée du 6 mars, entraînant son baptême du nom de HARY.

### ÉVOLUTION

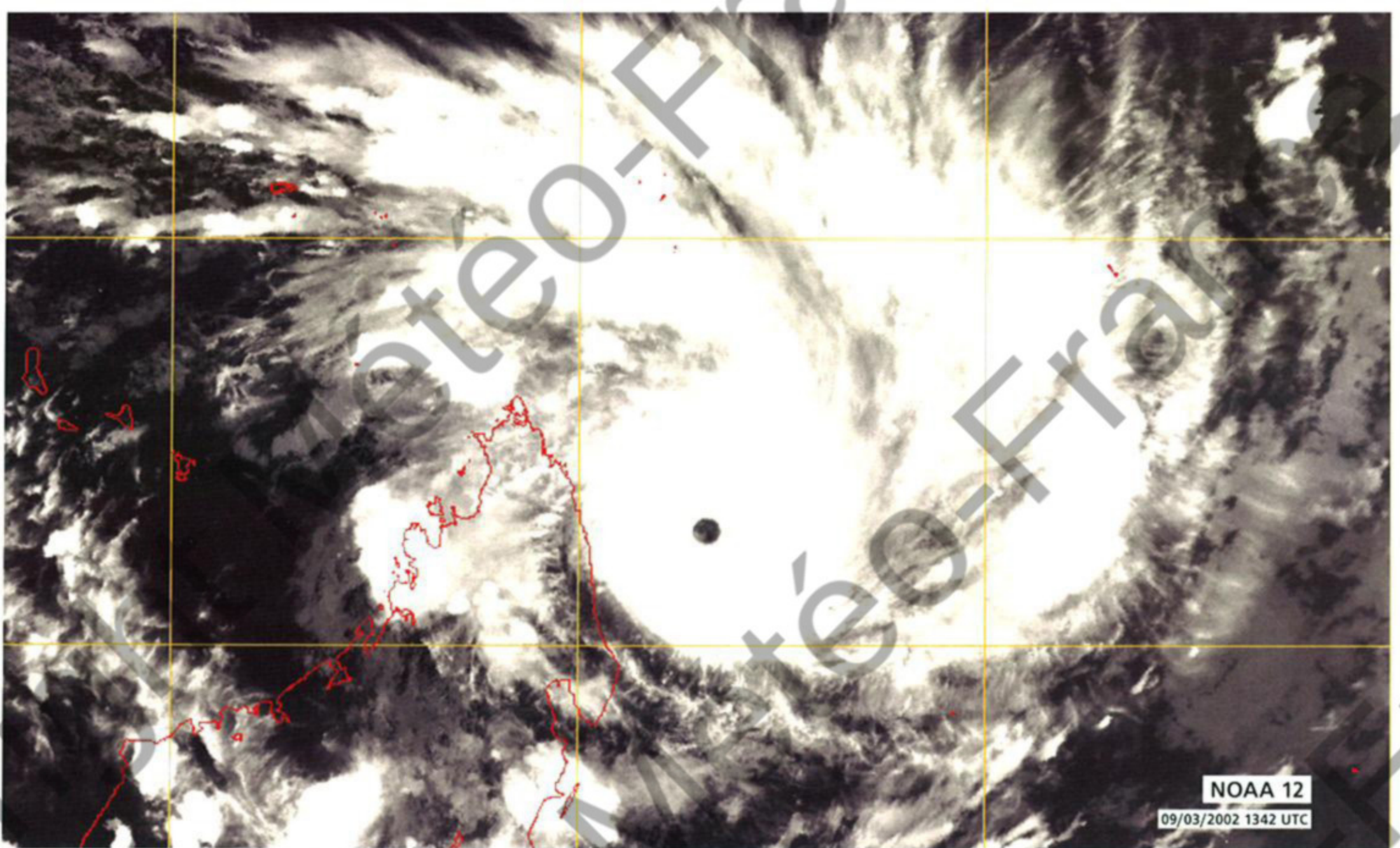
La configuration nuageuse affichée à ce moment-là est celle d'une bande incurvée classique, qui évolue ensuite vers une structure d'apparence plus difforme en

fin de journée, s'apparentant, sur l'imagerie satellitaire classique, à une sorte de large CDO (amas nuageux central dense) bicéphale, pouvant laisser nettement plus perplexe un analyste inexpérimenté. La puissance des images micro-ondes prend alors tout son sens, révélant la formation d'un embryon d'œil déchiqueté et indiquant donc clairement la poursuite de l'intensification, amenant à classer HARY au stade de forte tempête tropicale en fin de nuit du 6 au 7.

Le contexte environnemental demeure très favorable : quasiment situé sous l'axe de la dorsale d'altitude, en marge d'un talweg qui s'apprête à transiter non loin au sud, HARY continue de bénéficier d'une bonne divergence d'altitude et d'un cisaillement vertical de vent faible. L'œil, bien qu'encore partiellement ouvert, tend à se refermer et à gagner en définition, au vu de l'imagerie SSMI du début de matinée du 7. Il est désormais également apparent sur l'imagerie visible.

Alors que la tempête avait infléchi sa course en direction de l'ouest-nord-ouest depuis une douzaine d'heures, se dirigeant tout droit en direction des îlots de l'archipel mauricien d'Agalega, elle reprend un déplacement ouest-sud-ouest à ouest à compter de cette même matinée du 7. Cette oscillation de trajectoire, de trop grande longueur d'onde pour pouvoir la mettre sur le compte d'une simple oscillation trochoïdale, est plutôt à relier au passage d'HARY à l'aplomb du maximum de hautes pressions de la cellule anticyclonique subtropicale (en décalage lent vers l'est au sud des MASCAREIGNES) qui gouverne le flux directeur de la perturbation.

Elle est en tout cas salutaire pour Agalega, qui échappe du coup à l'impact du météore toujours en phase d'intensification. Situés dans le demi-cercle maniable, les îlots connaissent même une dégradation extrêmement limitée des conditions, avec des vents qui demeurent en particulier étonnamment faibles (15-20 nœuds tout au plus), si l'on considère la distance de passage du centre d'HARY (à peine 100 km au sud au plus près, en début de nuit du 7). HARY était pourtant classé au stade supérieur de la forte tempête tropicale au moment de ce passage au plus près et sur le point de franchir le



**HARY, en phase d'intensification à l'approche de MADAGASCAR.** Pas encore classé cyclone tropical très intense, le météore affiche déjà une allure impressionnante sur cette image infrarouge et les traits caractéristiques d'un système proche de son maximum d'intensité : structure symétrique, avec, au centre du CDO (amas nuageux central dense) d'environ 250 km de diamètre dénué de bandes périphériques, un œil circulaire d'environ 35 km de diamètre.

**HARY during intensification phase while approaching MADAGASCAR.** Not yet classified as a very intense tropical cyclone, the meteor was already looking very impressive on this infrared picture with all the characteristic features of a storm close to its maximum of intensity: symmetrical cloud structure with a circular eye of about 35 km in diameter embedded in the middle of a CDO (Central dense Overcast) of about 250 km in diameter devoid of connected outer bands.

seuil de cyclone tropical. Mais le météore se caractérise alors par une extrême compacité, comparable, voire même supérieure, à celle de GUILLAUME quand il avait atteint le stade de cyclone tropical, quasiment à la même longitude (mais plus au sud). Les données QuikScat, partiellement contaminées par les précipitations au regard des observations d'Agalega, suggèrent un diamètre moyen du coup de vent de l'ordre de 150 km tout au plus. La pression très élevée observée à la station météorologique (1003 hPa au plus bas), témoigne également de la petitesse de la circulation dépressionnaire.

Poursuivant en direction de l'ouest à une vitesse établie autour des 20 km/h, le désormais cyclone tropical HARY entame alors une phase de forte intensification, qui va lui voir gagner deux points en l'espace de 24h sur l'échelle d'intensité de Dvorak. Classé en cyclone tropical intense dès le début de journée du 8 mars, il atteint ce qui s'avèrera constituer un premier pic d'intensité en début de nuit suivante.

Progressant toujours vers l'ouest, le météore a commencé de ralentir depuis quelques heures. En milieu de nuit du 8 au 9, la vitesse de déplacement s'abaisse temporairement sous les 10 km/h. Ce

#### FORMATION

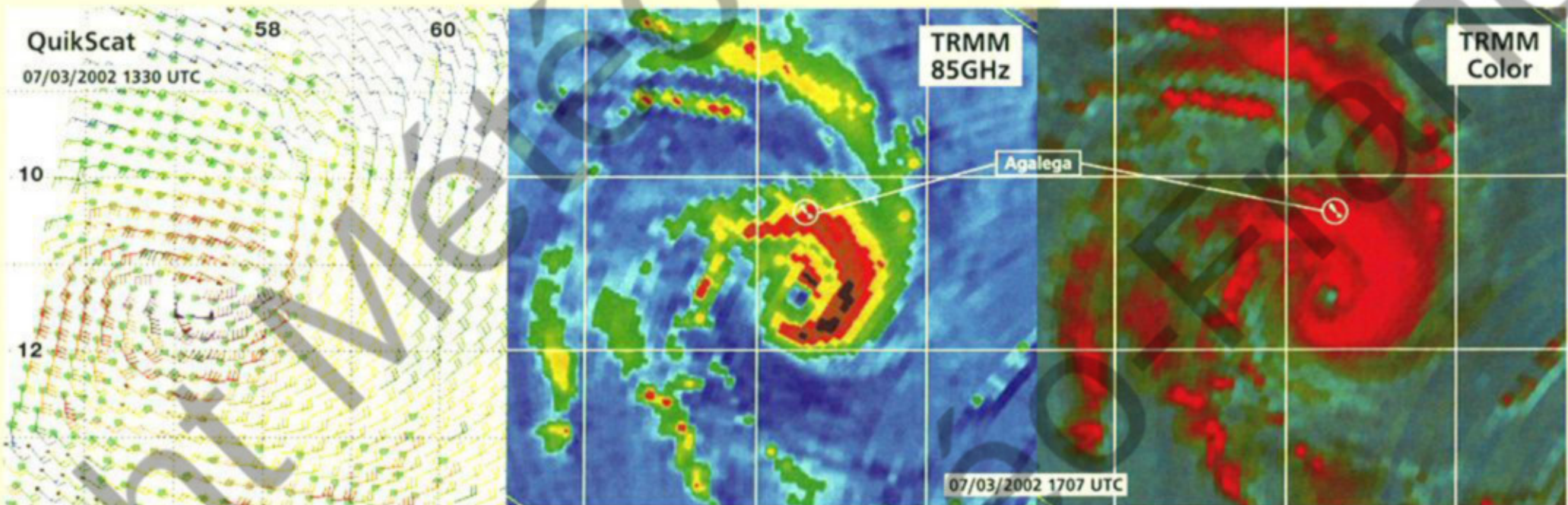
*After 40 days of intense disturbed activity, with four successive tropical cyclones, among which three intense ones, the SouthWest Indian Ocean returned to a peaceful state at the end of February with the demise of ex-GUILLAUME. But the ensuing quiescent period proved to be short-lived since it barely lasted more than a week. On 3 March, the Intertropical Convergence Zone appeared still relatively inactive, with the convection remaining quite discreet on the basin. The only noticeable area to consider was a slightly more significant convective activity in the southwestern sector of Diego-Garcia, featuring as two nearly parallel bands of convection zonally orientated. They were in fact situated on either side of the dividing line between the west-northwesterlies and east-southeasterlies. This monsoon shear line was well depicted in the whole area by the QuikScat data of the late afternoon swath. It stretched relatively linearly between latitudes 10° and 11°South, being very slightly wavy though. The neighbouring converging trade winds and monsoon flows looked quite weak especially on the monsoon side. Beside successive QuikScat swaths, the close monitoring of this area, still harmless at the time, relied on the presence of a few drifting buoys including one that was ideally positioned right north of latitude 10°South and*

*all the more interesting since it was equipped with a wind and pressure gauge.*

*The situation remained more or less fixed throughout the night of 4 March with however an incipient closed low circulation – still broad and elongated at that stage though– showing on the QuikScat wind data. Day 5 was a major turn for the embryonic low and the real starting point for the cyclogenesis. The evolution was obvious on the satellite imagery: around a now clearly-defined low-level circulation centre, convective bands were converging with a curvature that denoted increasing spinning-up. The low centre, which had now started to deepen, initiated simultaneously a west-southwestward turn, some 750 km southwest of Diego-Garcia. While previously it had been drifting very slowly to the southeast it suddenly sped up to over 20 km/h. In the night of the 5th, the convection focused and developed near the centre thus accelerating the deepening process. The disturbance turned into a tropical depression then into a moderate tropical storm in the morning of the 6th, which led to its being named HARY.*

#### EVOLUTION

*The cloud configuration displayed a classic curved band at the time (see picture) which then developed into a more misshapen-looking structure by the end of the day, looking on the*



Structure d'œil en bande sur cette image micro-onde TRMM d'HARY, qui atteint le stade de cyclone tropical, peu après être passé au plus près d'Agalega. Les îlots apparaissent en limite nord de la bande de convection profonde associée au météore, qui se caractérise par son extrême compacité (moins de 200 km de diamètre). Cette taille réduite se reflète sur le champ de vents issu des données du radar diffusomètre QuikScat, malgré une surestimation de l'extension des vents forts, partiellement contaminés par les précipitations (notamment dans le secteur nord, où les vents observés à Agalega étaient inférieurs à ceux affichés).

Eye band pattern for HARY when crossing the threshold of tropical cyclone stage just after having passed to the closest of Agalega, whose islets appear under the farther northern portion of the curved band of deep convection associated to the phenomenon. The very small size (less than 200 km large) of the system is reflected on the windfield derived from the QuikScat scatterometer data although most of the outer strong winds are rain contaminated, as confirmed in the northern sector of the circulation when comparing with the winds observed at Agalega.

classic imagery like a large two-headed CDO (central dense overcast) that might have puzzled a less-experienced analyst. This is when the power of microwave imagery become meaningful revealing the formation of an embryonic ragged eye and thereby confirming the ongoing intensification process which led HARY to be classified at the stage of severe tropical storm before dawn on the 7th. The environment remained very favourable: situated nearly right beneath the upper ridge axis not far from a trough which was about to transit to the south, HARY was still benefiting from a good upper divergence and a weak vertical wind shear. The eye, albeit still partially open, tended to close in and gained definition according to the SSM/I imagery of the morning of 7th. It also became apparent on the visible imagery.

While the storm had curved round towards the west-northwest for about 12h, heading straight on for the islets of the Mauritius Archipelago Agalega, slightly south of due west motion resumed from the morning of the 7th. This track wave with too large a wave length to be considered as a mere trochoidal oscillation, rather had to be connected with the passage of HARY at the vertical of the maximum high pressure of the steering subtropical high (drifting slowly eastward south of the MASCARENES). Anyway, the new shift of heading was beneficial to Agalega which was spared the impact of the intensifying meteor. Situated in the navigable semi-circle, the islets experienced extremely limited influence with winds remaining astonishingly weak (15-20 knots at the most) considering the close distance of HARY's centre

during its passage (only 100 km south for the closest point of approach in the early night of 7th). HARY however was classified at the higher stage of severe tropical storm at the time of its nearest passage and about to cross the threshold of the tropical cyclone stage. But the meteor's characteristic was its extreme compactness like or even higher to GUILLAUME's when it had reached the stage of tropical cyclone almost at the same longitude (but more southward). The QuikScat data, partially rain-contaminated as confirmed by Agalega's observations, suggested an average diameter of gale force winds barely reaching 150 km. The very high pressure observed at the meteorological station (1003 hPa) witnessed further how small the low circulation was.

Continuing its course westward at about 20 km/h, from then on tropical cyclone HARY started going through a marked intensification phase which made it gain 2 points in just 24h on the Dvorak intensity scale. Classified as an intense tropical cyclone from the early morning of 8 March, it reached its first peak of intensity in the early hours of the following night. While still moving westward, the meteor had started to slow down a few hours earlier. In the middle of the night of the 8th, the speed of movement dropped under 10 km/h. This deceleration was the harbinger of a change of heading which occurred at once with an abrupt and sharp change of direction -almost at a right angle- which made HARY turn off towards the south-southwest. The cyclone's pace simultaneously picked up a bit with a speed of movement coming back to over 15 km/h. This change of track was not surprising since it

ralentissement annonce en fait un changement de trajectoire, qui intervient dans la foulée, de manière assez abrupte, avec un changement de cap quasiment à angle droit, qui fait obliquer franchement HARY, en direction du sud-sud-ouest, avec une vitesse de déplacement qui remonte dans le même temps au-dessus des 15 km/h. Ce changement de trajectoire ne constitue pas une surprise, car il avait été bien anticipé grâce aux modèles numériques, qui s'accordaient depuis un bon moment à prévoir à terme un changement de trajectoire en direction du sud-ouest, puis du sud, et ce, dans les parages de la côte Est de MADAGASCAR. Arrivé en limite occidentale de la dorsale qui le soutenait jusque là dans sa progression vers l'ouest, HARY se retrouve en fait soumis à l'influence désormais dominante d'une faiblesse dans le champ de pression existante au niveau du sud et du sud-est de la Grande Ile, en liaison avec la présence d'un talweg, qui, en altitude, s'enfonce beaucoup plus profondément vers le nord-ouest, jusqu'au MOZAMBIQUE. La réorganisation à l'est des MASCAREIGNES d'une cellule anticyclonique de moyenne troposphère assez puissante, est ensuite prévue réorienter le flux directeur de manière encore plus méridienne, en direction du sud, puis du sud-est. Ce scénario va se vérifier en tous points.

Pour l'heure, l'incertitude majeure concerne un impact éventuel d'HARY sur MADAGASCAR. Car s'il apparaît désormais clair que le Nord de la Grande Ile,

ainsi que le Nord-Est du Canal de MOZAMBIQUE, jusque là dans la ligne de mire de la trajectoire du cyclone, vont être épargnés, ne connaissant que l'influence pluvieuse des bandes nuageuses périphériques présentes dans le quadrant nord-ouest de la perturbation, rien n'est gagné pour la zone nord-est de MADAGASCAR, et plus particulièrement pour l'excroissance géographique que constitue la presqu'île de Masoala, en direction de laquelle le météore a mis le cap...

L'intensité au moment de l'arrivée sur terre éventuelle, constitue également un point d'importance. La phase de creusement rapide observée le 8, est suivie d'un début d'affaiblissement, amorcé dès le courant de nuit du 8 au 9. La convection entourant l'œil se réchauffe sensiblement (alors qu'elle était devenue très froide en début de nuit), tandis que l'œil lui-même se refroidit, tout en perdant grandement en définition. L'imagerie micro-onde apporte un éclairage sur la raison probable de cet accès de faiblesse, dont la suite révélera qu'il n'est que temporaire, à savoir un cycle de l'œil. Ce que pouvait laisser suspecter la structure nuageuse affichée sur l'imagerie infrarouge de la nuit, est en effet conforté par une orbite SSMI montrant un anneau de convection externe quasiment fermé, entourant une portion résiduelle du mur de l'œil interne, suivie d'une image TRMM, acquise en début de journée du 9, où HARY présente tous les traits d'un système en fin de cycle de l'œil, avec un nouvel œil en voie de finalisation, sensiblement élargi (diamètre supérieur à 50 km), comparativement à l'œil présent la veille au soir (d'un diamètre voisin de 30 km).

Ce cycle de l'œil achevé, le nouvel œil se contracte au fil de la journée de ce 9 mars, pour retrouver un diamètre inférieur à 30 km en soirée. Dans le même temps, d'autres signes de franche ré-intensification sont observés, avec, comme la veille, un refroidissement marqué de l'anneau de convection entourant l'œil, accompagné d'un réchauffement accéléré de ce dernier. La configuration nuageuse est, à l'arrivée, encore plus impressionnante que la veille, amenant à classer HARY un cran au-dessus, c'est-à-dire au stade de cyclone tropical très intense. HARY entre ainsi dans le club très fermé des rares cyclones du bassin ayant acquis

ce statut, comme GERALDA ou HUDAH, dernier phénomène en date à avoir connu ce privilège (en avril 2000).

Au maximum de son intensité, considéré atteint un peu avant le milieu de nuit, HARY a de quoi faire peur, alors que son centre se situe à ce moment-là à quelque 70 km de la côte malgache. Les vents maximaux sont en effet estimés excéder les 220 km/h en vents moyens sur 10 min (120 nœuds), avec des rafales maximales sur mer de l'ordre de 310 km/h !

On peut donc légitimement nourrir de sérieuses inquiétudes pour les habitants de la zone côtière qui s'appêtent à affronter un cyclone d'une telle intensité.

*had been well anticipated thanks to the numerical models which had agreed a while ago about predicting a southwestward, then southward, change of trajectory, to occur around the east coast of MADAGASCAR. As it reached the western edge of the ridge which had been steering it westward, HARY now fell under the prevailing influence of a weakness in the pressure field that existed south and southeast of the Great Island (weakness linked to the presence of a trough which spread much deeper to the north-west in altitude - as far as MOZAMBIQUE). The reorganising in the east of the MASCARENES of a rather powerful mid-level high cell was expected to give the steering flow an even more meridian-like orientation later on, southwards then*



**HARY en phase d'intensification rapide entre Agalega et MADAGASCAR.** Si l'enveloppe nuageuse globale du météore s'est sensiblement étoffée par rapport à la veille, sa sphère d'influence s'étendant jusqu'aux SEYCHELLES au nord, le cœur du cyclone, désormais intense, demeure de taille réduite.

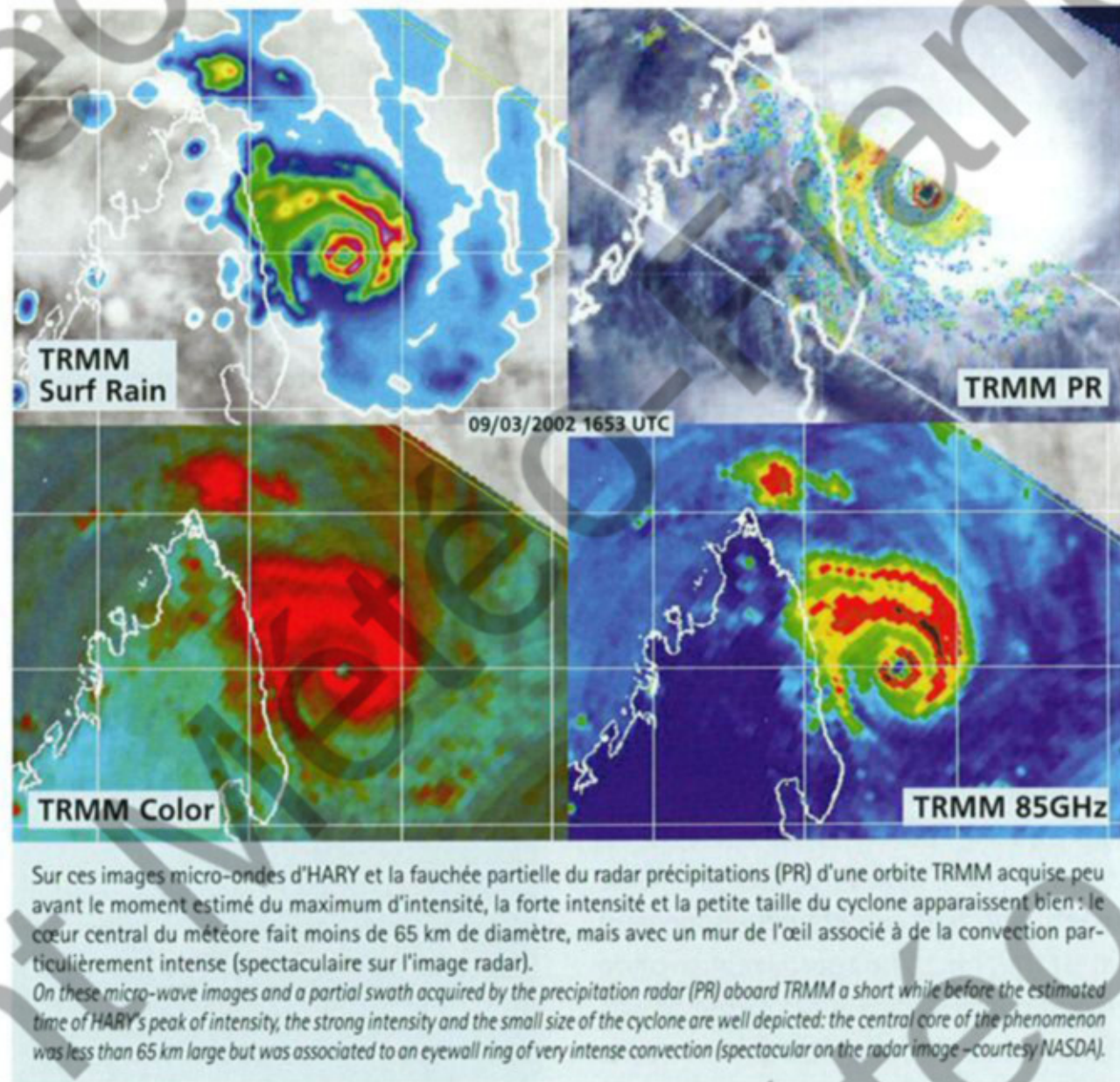
**HARY rapidly intensifying between Agalega and MADAGASCAR.** If the areal extent of the cloud system associated to the now intense cyclone had significantly expanded compared to the previous day, now extending equatorward to the SEYCHELLES, its central core remained rather tiny.

southeastwards. This was to be confirmed all the way through.

For the time being, the major concern was the potential threat of HARY to MADAGASCAR. While it was now clear that the north of the Great Island as well as the northeast of the MOZAMBIQUE Channel the cyclone was aiming at prior to the track change would be spared and only affected by the rain poured by the cloud bands situated in the northwestern quadrant of the system, nothing was sure yet concerning the northeastern region of MADAGASCAR and even less so for the Masoala Peninsula towards which the meteor was now bearing.

The intensity of the system at the time of potential landfall was also a major issue. The rapid deepening phase observed on the 8th was followed by an incipient weakening that intervened in the night of the 8th. The convection surrounding the eye warmed up noticeably (whereas it had become very cold in the early night), while the eye cooled down and became less well-defined. The microwave imagery brought some insight to the likely reason for this bout of weakening which turned to be only temporary, i.e. an eye cycle. What the cloud structure displayed on the infrared imagery acquired in the night might let one suspect, was emphasized by the data of a SSM/I swath showing a nearly closed outer ring of convection encircling the remnants of the inner eye wall, followed by a TRMM picture acquired in the early day of the 9th on which HARY displayed all the features of a system at the end of an eye cycle, with a new eye in a phase of completion and of much larger size (diameter above 50 km) compared with the eye of the previous evening (of a diameter of about 30 km). Once the eye cycle was completed, the new eye shrunk throughout the day on 9 March and dropped back to a diameter of under 30 km. At the same time, other signs of downright re-intensification were observed, with -as was the case on the previous day-, a marked cooling of the eye's surrounding ring of convection together with an accelerated warming of the eye itself. The final cloud configuration was even more impressive than the previous evening, which led HARY to be over-graded to the status of very intense tropical cyclone.

And so HARY joined the very selective club of the rare cyclones in the basin of such a category, just as GERALDA and HUDAH did, the latter being the last phenomenon to get this privilege in April 2000. Mighty HARY's peak of intensity was considered to be attained a little before the middle of the night at a thrilling distance of only



Sur ces images micro-ondes d'HARY et la fauchée partielle du radar précipitations (PR) d'une orbite TRMM acquise peu avant le moment estimé du maximum d'intensité, la forte intensité et la petite taille du cyclone apparaissent bien : le cœur central du météore fait moins de 65 km de diamètre, mais avec un mur de l'œil associé à de la convection particulièrement intense (spectaculaire sur l'image radar).  
On these micro-wave images and a partial swath acquired by the precipitation radar (PR) aboard TRMM a short while before the estimated time of HARY's peak of intensity, the strong intensity and the small size of the cyclone are well depicted: the central core of the phenomenon was less than 65 km large but was associated to an eyewall ring of very intense convection (spectacular on the radar image -courtesy NASDA).

On craint en particulier pour la ville d'Antalaha. Déjà frappée deux ans plus tôt, par HUDAH justement, la « capitale mondiale de la vanille » se situe pour l'heure quasiment dans l'axe de la trajectoire d'HARY. Mais l'approche finale de la côte malgache voit l'incurvation escomptée de la trajectoire en direction du sud se produire. Si bien que le centre du météore passe finalement à une trentaine de km au sud-est d'Antalaha, où les conséquences sont du coup nettement moins dramatiques qu'on aurait pu le craindre, sans commune mesure en tout cas avec l'impact catastrophique d'HUDAH. Les informations disponibles feront tout de même état de trois morts attribuées au passage d'HARY et de dégâts significatifs : un hôpital détruit, plusieurs ponts endommagés ou détruits, 80 % des cultures vivrières sinistrées (source : Conseil national de Secours malgache).

Malgré le fait qu'HARY était comparative-ment plus intense, la distance de passage supérieure (laissant le rayon des vents maximaux à une quinzaine de km au large au plus près), la trajectoire très différente de celle d'HUDAH, maintenant Antalaha dans le secteur le moins défavorable de la circulation cyclonique, et surtout la

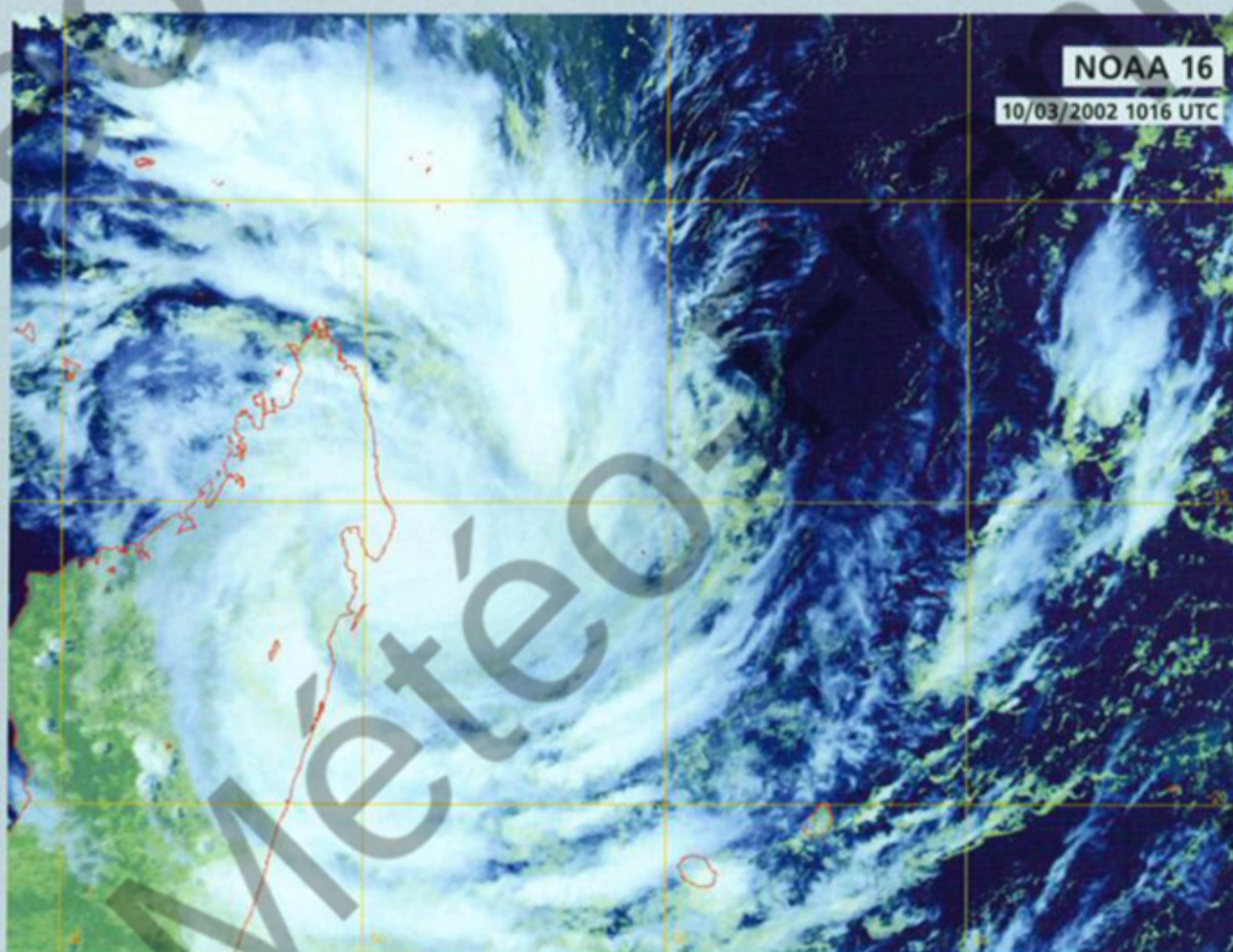
taille réduite du phénomène, ont été autant d'éléments déterminants permettant d'éviter le pire.

Il n'est, en outre, pas impossible qu'un nouveau cycle de l'œil ait été amorcé à l'approche de MADAGASCAR (au vu de la bande externe de convection s'étant constituée autour du cœur central du météore, en début de nuit du 9 mars - voir image TRMM ci-dessus) et ait occasionné un début d'affaiblissement d'HARY, l'interaction croissante avec les terres ayant également pu contribuer à affecter négativement le cyclone. Ce qui est sûr en tout cas, c'est que, à l'approche finale des côtes malgaches, le météore souffre ostensiblement, au vu de la destruction évidente et brutale affichée sur l'imagerie satellitaire par sa structure nuageuse, l'œil disparaissant notamment en l'espace de quelques heures seulement. Bien que d'allure nettement moins impressionnante que celle affichée ne serait-ce que six heures auparavant, c'est à n'en pas douter un cyclone encore de forte intensité qui touche malgré tout terre à l'aube du 10 mars, son centre franchissant la côte à environ 10 km au nord du Cap Est (extrémité est de MADAGASCAR). Incurvant en direction du sud à ce

moment-là, celui-ci ne pénètre guère plus avant à l'intérieur des terres et se met à longer la bordure littorale de la partie la plus orientale de la presqu'île de Masoala, avant de ressortir en mer à la mi-journée. Cette petite intrusion terrestre a contribué à accélérer le processus d'affaiblissement du système amorcé avant l'atterrissage. Bien qu'il soit encore plus difficile que de coutume de juger, dans ce genre de situation, du taux de comblement du minimum dépressionnaire, HARY est déclassé au stade de cyclone tropical en soirée de ce 10 mars, alors que son centre transite à quelque 50 km à l'est de la pointe nord de l'île Ste-Marie. Progressant toujours en direction du sud, mais sur un cap tendant à s'infléchir insensiblement plus sud-sud-est, le météore longe les côtes malgaches tout en s'en écartant graduellement. Le passage au plus près de la station météorologique aéroportuaire de Ste-Marie (située au sud de l'île) s'effectue ainsi à environ 75 km à l'est. Le Service météorologique malgache y fera état d'une pression minimale de 990,3 hPa et de rafales de vents de 83 km/h, sans que l'on sache s'il s'agit là des paramètres réellement les plus extrêmes ressentis. Le passage d'HARY s'accompagne également de fortes pluies sur toute la façade est de la Grande Ile, une bande de convection rattachée à la perturbation étendant son influence pluvieuse loin au sud (maximum relevé de 243 mm en 24h à Tamatave).

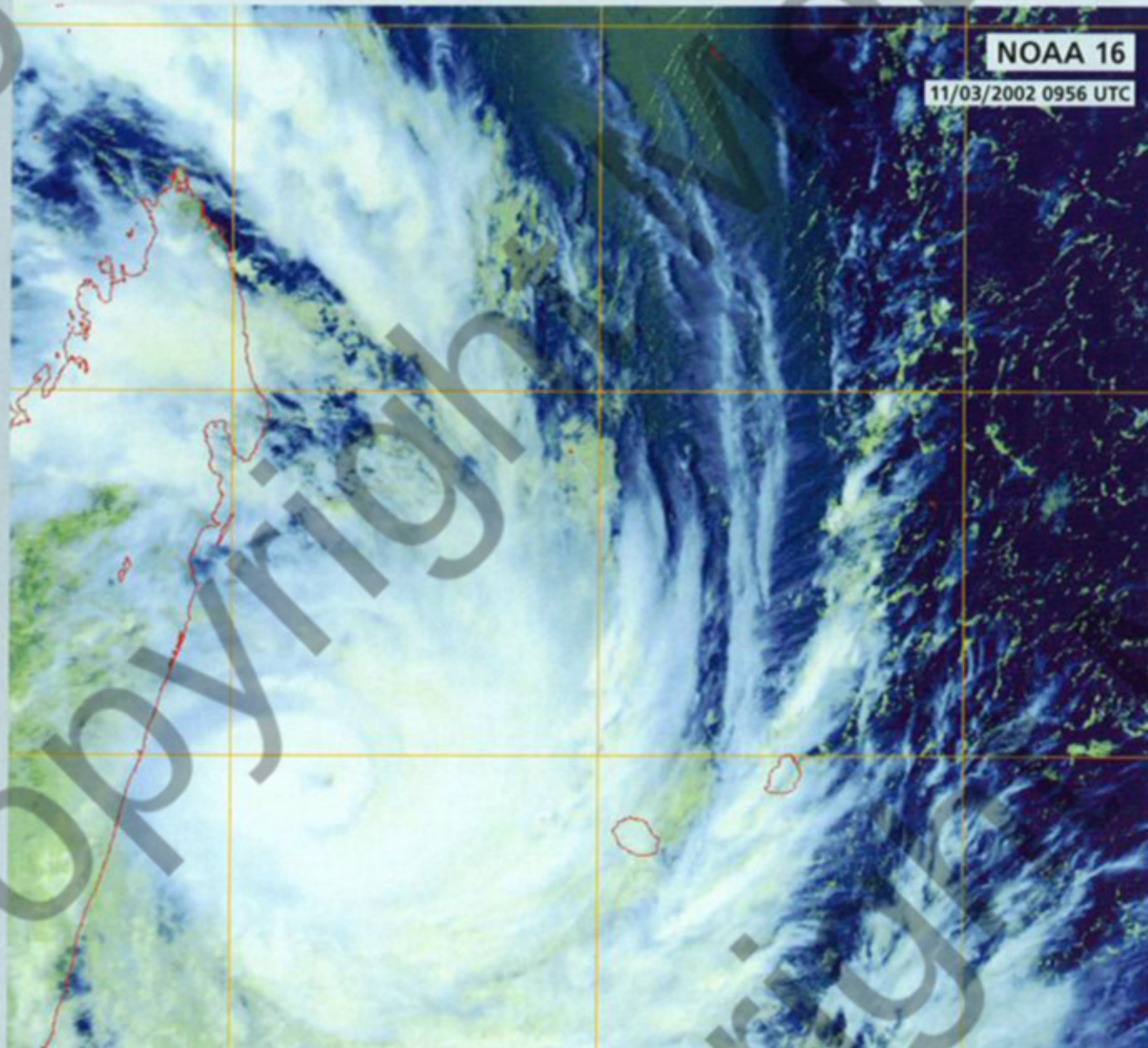
L'influence pluvieuse d'HARY s'est de fait déjà étendue loin à l'avant du météore, atteignant LA RÉUNION (pourtant distante de quelque 800 km), et à un degré moindre MAURICE, dès le début de journée de ce même 10 mars. Circulant en périphérie du système nuageux associé au cyclone, des bandes nuageuses et lignes de grains discontinues ont commencé de balayer les îles sœurs et ramené beaucoup d'humidité. Le forçage induit par le soulèvement orographique « au vent » du relief de LA RÉUNION, s'avère suffisant pour générer un temps fortement pluvieux dans les Hauts du Nord et surtout de l'Est de l'île (avec de 200 à plus de 300 mm de précipitations recueillies en 24h).

Cette extension conséquente des masses nuageuses et pluvieuses liées à HARY dénote un changement de structure



**HARY longe la côte est de MADAGASCAR.** Après avoir pénétré sur terre durant quelques heures au sud du Cap Est, le minimum dépressionnaire est ressorti en mer, au large de la pointe sud de la presqu'île de Masoala. Par rapport à la veille (voir image page 65), le météore a singulièrement changé de structure : affaibli, il a perdu son œil, mais a par contre gagné en extension, tout particulièrement du côté sud, ses masses nuageuses actives s'étendant sur plus de 1 300 km, du nord d'Aldabra jusqu'au sud de LA RÉUNION, qui subit déjà de fortes pluies sous l'influence de lignes de grains périphériques.

**HARY skirting the eastern Malagasy coast.** After making landfall a few hours earlier south of Cape East, HARY's centre had just come back to sea off the tip of the Masoala Peninsula. Compared to the previous day (see page 65) the storm has undergone a drastic structure change, loosing its eye while weakening but gaining in areal extent spectacularly (especially southward) with the associated active cloud masses now spreading over more than 1300 km, from north of Aldabra to south of LA REUNION (now under the influence of outer squall lines and related heavy rain).



**HARY entre MADAGASCAR et LA RÉUNION.** Hormis la reconstitution d'un œil au sein du petit amas nuageux central dense, on notera la structure très dissymétrique du cyclone, avec une extension des masses nuageuses beaucoup plus importante dans le secteur est du système. Ceci étant également vrai en termes de vents, le demi-cercle dangereux englobe ainsi LA RÉUNION.

**HARY between MADAGASCAR and LA REUNION.** Besides the regeneration of an eye within the prominent central dense overcast, notice the highly asymmetrical structure of the cyclone, with a much larger extension of the cloud masses in the eastern sector, also valid in terms of strong winds extent (the dangerous semi-circle thence including LA REUNION).

70 km off the Malagasy coast for its centre. The maximum winds were indeed estimated to exceed 220 km/h in 10-min average (120 knots) with maximum gusts of about 310 km/h over the sea!

It was therefore quite legitimate to seriously worry about the people living on the coast who were about to face such an intense cyclone. People especially worried about the town of Antalaha which looked on target. The "international capital of vanilla", which had already been struck by HUDAH two years before, was at that moment indeed situated almost right ahead of HARY's track. Hopefully, as HARY made its final approach to the Malagasy coast it recurved, as expected, southward. And so the centre of the meteor eventually passed some 30 km to the southeast of Antalaha where the impact was finally much less dramatic than could be feared, at least far less than that of HUDAH's. Three deaths were nonetheless reportedly attributed to HARY's passage as well as significant damage: a hospital was totally destroyed, several bridges were either damaged or destroyed, 80% of the food crops were adversely affected (source: Madagascar National Rescue Council).

Even though HARY was comparatively more intense than HUDAH, the less close passage (removing the radius of maximum winds 15 km away), its very different track which maintained Antalaha in the more favorable quadrant of the clockwise circulation and especially the reduced size of the phenomenon were that many factors that prevented the city from going through a major disaster.

It is moreover quite likely that another eye cycle may have begun as the system approached MADAGASCAR (given the outer band of convection that had formed around the core of the meteor in the early night of 9 March – see TRMM picture page 72) thus causing an incipient weakening of HARY, while the increasing interaction with the land may have also contributed in affecting the cyclone negatively.

What is certain is that during its final approach to the Malagasy coast, the meteor obviously suffered displaying some brutal cloud disorganisation with the eye disappearing in just a few hours.

Although looking much less impressive than 6h earlier, it was nonetheless still a very potent cyclone which landed on 10 March at dawn, with its centre crossing the coast at about 10 km to the north of Cape East (east edge of MADAGASCAR). As it was recurving towards the south at the time, the centre didn't penetrate much further hinterland and started to hug the shoreline just inland of the eastern edge of the Masoala

Peninsula before coming back to sea in the middle of the day.

This small land inroad contributed in accelerating the weakening process of the system that had initiated before the landfall. While it was even more difficult than usual to assess the actual filling rate of the low centre in such a case, HARY was downgraded to the status of tropical cyclone by the evening of 10 March, while its centre was transiting some 50 km east of the northern tip of Sainte Marie Island. While still advancing to the south, but on a path tending to recurve gradually more south-southeastward, the meteor travelled along the Malagasy coast while turning progressively aside. The nearest passage to the airport meteorological station of Ste-Marie (situated in the island's south) thus occurred about 75 km to the east. The Malagasy Meteorological Services reported a min pressure of 990.3 hPa and a gust of 83 km/h, but we don't know if those figures actually reflect the most extreme values of these parameters. HARY's passage also brought heavy showers over the whole eastern front of the Great Island with a broad band of convection linked to the disturbance extending its rainy influence far to the south (maximum rainfall recorded was 243 mm in 24h in Tamatave). HARY's rainy influence had actually already extended far beyond the meteor and reached LA REUNION (at 800 km away) and – at a lesser degree – MAURITIUS as soon as the early morning of 10 March. Circulating on the outskirts of the cloud system related to the cyclone, outer cloud bands and discontinuous squall lines had started to sweep over the sister islands bringing a lot of humidity. The forcing induced by the orographic uplift windward of LA REUNION's relief was enough to generate very

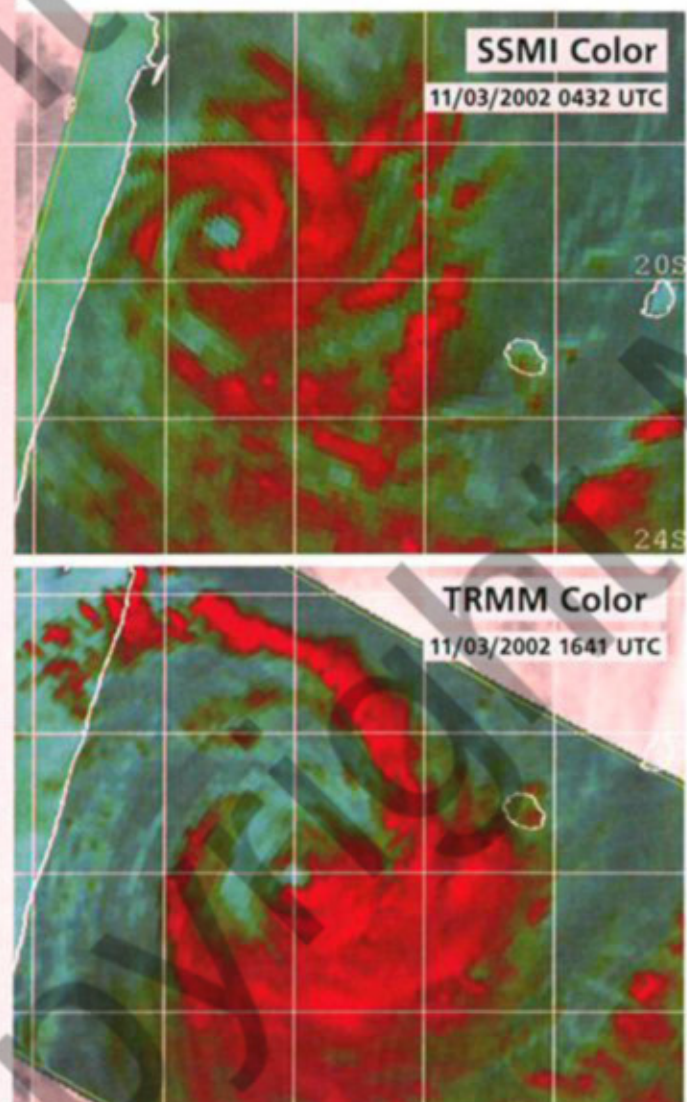
**Transit d'HARY dans l'ouest de LA RÉUNION vu par l'imagerie micro-onde.** Ces deux images acquises à 12h d'intervalle aident à comprendre pourquoi LA RÉUNION a ressenti aussi sensiblement le passage d'HARY, malgré une trajectoire faisant passer le centre du cyclone à bonne distance (335 km au sud-ouest). La taille imposante du système, avec en particulier des masses pluvieuses s'étendant loin à l'est (jusqu'à quelque 400 km du centre), en est la raison essentielle. La durée des précipitations s'explique elle par le fait qu'une bande d'intense convection s'est brutalement développée dans le secteur arrière du phénomène : prenant l'île en « enfilade », elle s'y attardera ensuite jusque dans l'après-midi du lendemain (voir image page 73).

**HARY as seen on microwave imagery while transiting west of LA REUNION.** These two pictures acquired at 12h interval help to understand why REUNION Island felt HARY's passage so significantly, despite a track which made its centre pass at quite a reasonable distance (335 km to the southwest). The large size of the system was the main reason, with rainy cloud masses extending widely eastward (some 400 km off the centre). As for the long rain duration, the causative agent was a band of intense convection that popped up abruptly in the rear part of the storm and then "enfiladed" the island, loitering till the afternoon of the following day (see image page 73).

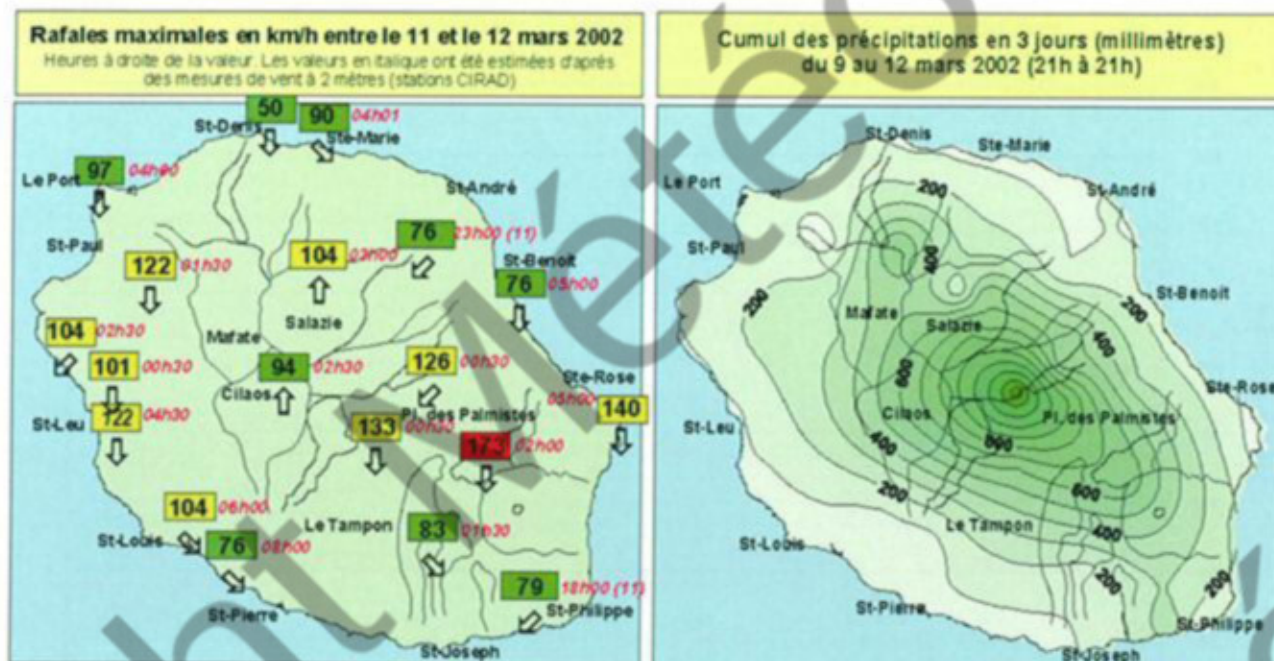
important par rapport à la veille. Cet élargissement très perceptible de la circulation nuageuse liée à HARY, va se répercuter également sur le champ de vent en surface. Entre le 10 et le 11 mars, l'extension du coup de vent va en particulier connaître une expansion spectaculaire dans le demi-cercle est, passant en l'espace de la nuit d'environ 230 à 350 km. Le cyclone tropical très intense, mais de petite taille et plutôt symétrique, que constituait HARY 36h auparavant, s'est transformé en un cyclone tropical d'intensité modérée, mais avec une circulation large et très asymétrique.

Cette structure asymétrique transparait clairement sur l'imagerie satellitaire, notamment sur l'imagerie micro-onde SSMI, qui montre, par ailleurs, une tendance à la réorganisation du cœur central du météore. L'œil, qui avait quasiment complètement disparu après l'atterrissage sur la côte malgache, se reconstitue progressivement. Très érodé dans sa partie ouest dans un premier temps, il se reforme presque complètement au matin du 11.

Tenant compte de cette tendance au re-développement, l'intensité du météore est considérée stabilisée, au stade de cyclone tropical mature (avec des vents maximaux estimés proches des 160 km/h en vents moyens sur 10 min – 85 nœuds –,







Rafales maximales de vent (à gauche) et cumuls de précipitations sur 72h (à droite) observés à LA RÉUNION lors de l'épisode HARY (vents en km/h et carte d'isohyètes en mm) : les précipitations ont localement excédé le mètre dans les Hauts de l'Est.

Maximum wind gusts (left) and 72h rainfall amounts (right) recorded at LA REUNION during HARY's event (gusts in km/h and isohyets map in mm for the period 9 to 12 March 2002): rainfall in excess of one meter was locally observed in the eastern heights.

correspondant à des rafales maximales sur mer de l'ordre de 220 km/h).

Canalisé sur la façade ouest d'une cellule anticyclonique de moyenne troposphère, HARY, conformément aux prévisions de trajectoire initiales, infléchit sa course en direction du sud-sud-est, tout en accélérant à plus de 20 km/h. La vitesse de déplacement excède même temporairement les 30 km/h en première partie de nuit du 11 au 12 mars, peu avant que le cyclone ne passe au plus près de LA RÉUNION. Malgré cette trajectoire faisant passer le centre d'HARY à une distance respectable (à 335 km au sud-ouest de l'île), le passage du météore ne passe pas inaperçu. Vents tempétueux et fortes pluies, localement orageuses, sévissent dans la nuit.

LA RÉUNION étant prévue se situer au niveau du rayon du coup de vent, des rafales « pouvant excéder les 100 km/h sur le littoral et les 120 à 130 km/h dans les Hauts » avaient été annoncées. Les vents mesurés sur le réseau de stations automatiques s'avèrent conformes à cette prévision, avec des rafales maximales de l'ordre de 100 km/h sur les zones côtières (104 km/h à La Saline/Trois Bassins et à Pont Mathurin) et dans la gamme des 120-130 km/h dans les Hauts (133 km/h à La Plaine des Cafres - 1560 m d'altitude -, 126 km/h à La Plaine des Palmistes - 1025 m d'altitude -, 122 km/h à La Petite France - 1200 m d'altitude -). Des valeurs supérieures ont été ponctuelle-

ment enregistrées, en haute altitude (une rafale à 173 km/h au Gîte du volcan - 2250 m d'altitude -), ou sur un site de mesure côtier à l'exposition très particulière (une rafale à 140 km/h au Gros Piton Ste-Rose). Ces vents ont été de force tout à fait comparable à ceux générés en 2001 par le cyclone ANDO, passé également dans l'ouest de l'île, mais à seulement 205 km au large pour son centre. La différence de taille entre HARY et ANDO est ainsi bien mise en évidence : bien que moins intense au moment du passage au plus près et malgré un éloignement nettement supérieur, HARY a eu le même impact venteux.

Les Hauts de l'île ont été copieusement arrosés, mais les lames d'eau recueillies, pour importantes qu'elles soient, se situent un cran en dessous des valeurs observées lors d'un épisode cyclonique classique. Les valeurs maximales sur 24h ont été de : 502 mm à Cilaos, 390 mm à La Plaine des Palmistes, 301 mm à Salazie Village (citons également en valeurs quotidiennes : 335 mm à Bras/Sec Plaine des Cafres et 650 mm à Bébourg).

Après une nuit très agitée, le temps demeure perturbé une bonne partie de la journée du 12. HARY s'éloigne certes, mais une bande nuageuse active, rattachée à la partie nord du météore, affecte l'île jusqu'en début d'après-midi, avant de se décaler vers l'est. Les dernières pluies orageuses associées, concernent surtout la partie ouest de l'île, directement

rainy weather in the northern and especially eastern heights of the island (200 to over 300 mm rainfall recorded in 24h).

This wide extension of cloud and rain masses connected to HARY denoted an important structure change compared to the previous day. The very obvious enlarging of the cloud circulation linked to HARY would also echo on the surface wind field. Between 10 and 11 March, the gales expanded in a spectacular way in the semi-circle of the system, their horizontal extension increasing from 230 to 350 km during the night. In the time span of 36h, HARY had turned from a very intense but small and rather symmetric tropical cyclone into a tropical cyclone of moderate intensity but with a wide and very dissymmetric circulation.

This dissymmetric structure was clearly depicted on the satellite picture and namely the SSMI microwave imagery which also showed that the core of the meteor was reorganising. The eye, which had practically disappeared after the landfall on the Malagasy coast, was rebuilding gradually. While first very eroded on its western part, it managed to almost fully reform by the morning of the 11th. Considering this redeveloping tendency, the meteor's intensity was assumed to have stabilised at the stage of mature tropical cyclone (with maximum 10-min average winds close to 160 km/h (85 knots), corresponding to peak gusts of about 220 km/h over the sea). Canalised round the western periphery of a mid-level high, HARY, in accordance with initial track predictions, bent towards the south-southeast at a speed increasing to over 20 km/h. The moving speed even exceeded 30 km/h for a while in the early hours of the night of 11 March, shortly before the cyclone closest passage to LA REUNION. Despite this trajectory which made HARY's centre pass at quite a reasonable distance from the island (at 335 km to the southeast), the passage of the cyclone did not remain unnoticed. Stormy winds, heavy rain and local thunderstorms plagued the island throughout the night.

As the gale force winds radius was forecasted to brush past LA REUNION, gusts "likely stronger than 100 km/h on the coast and exceeding 120 to 130 km/h in the inland heights" had been announced. The winds measured by the automatic stations network ended up verifying the forecast with maximum gusts of about 100 km/h on the coastal areas (104 km/h at La Saline/Trois Bassins and Pont Mathurin) and in the 120 to 130 km/h range in the inhabited heights (133 km/h at Plaine des Cafres -at 1560m elevation-, 126 km/h at Plaine des Palmistes -at 1025m elevation-, 122 km/h at Petite France -at 1200m elevation).

Higher values were recorded very locally at high elevation (a 173 km/h gust at the volcano lodge at 2250m elevation) and on a particularly exposed coastal spot (a 140 km/h peak gust at Gros Piton Ste Rose). Those winds were comparatively as strong as those generated during the ANDO's event, a cyclone which similarly passed in the island's west in 2001, but only 205 km offshore for its centre. The difference in size between HARY and ANDO was quite obvious thus: while less intense at the time of its nearest passage and despite its much greater distance from the coast, HARY had the same windy impact.

Albeit the island's heights were drenched with rain, the recorded rainfall amounts were under the values observed during a classic cyclone episode.

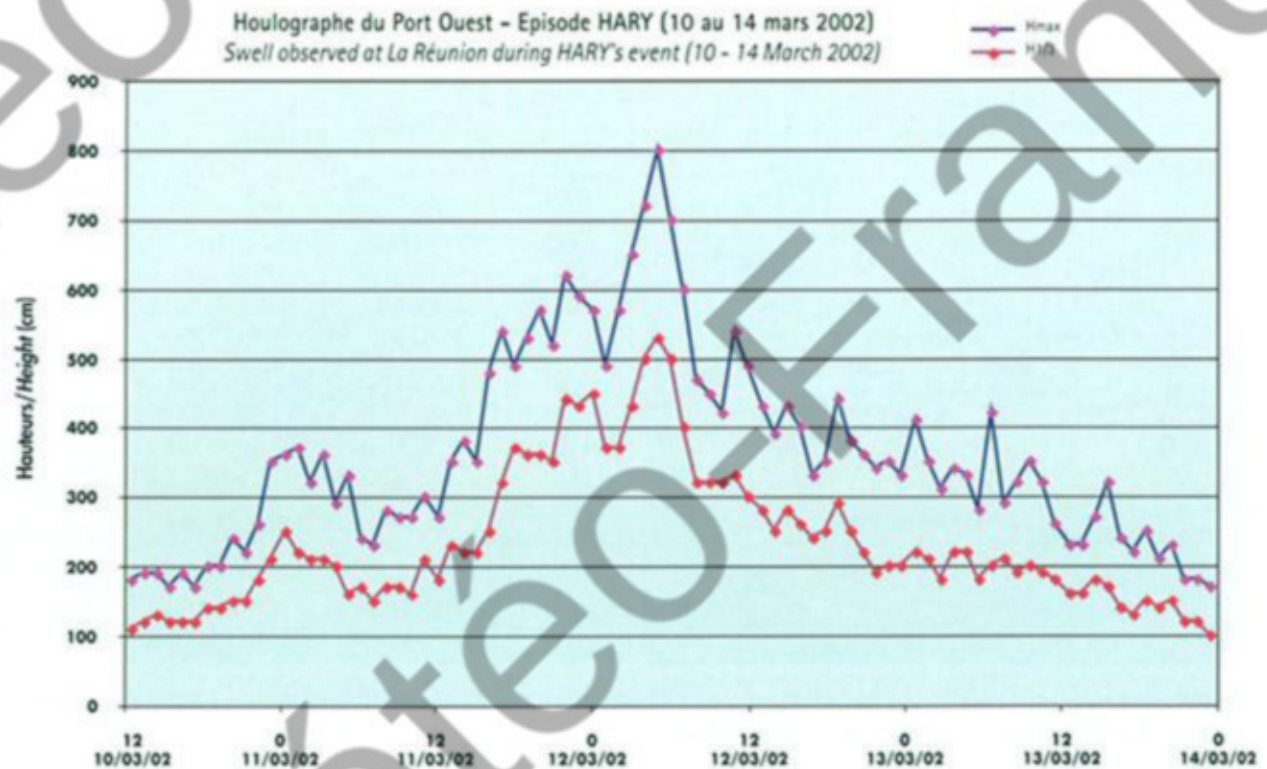
The maximum values in 24h were: 502 mm in Cilaos, 390 mm at Plaine des Palmistes, 301 mm in Salazie Village (and in daily values: 335 mm at Bras Sec/Plaine des Cafres and 650 mm in Bébourg).

After an uneasy night, disturbed weather lasted for most of the day on 12 March. HARY was surely moving away but an active cloud band connected to the northern portion of the meteor affected the island until the early afternoon before shifting eastwards. The last related thunderstorms concerned mainly the western part of the island which was directly exposed to the northwesterly flow.

On the whole rainy episode that lasted for about 72h, cumulated precipitation reached 200 to more than 900 mm in the heights. Among the most remarkable values: 1344 mm in Bébourg, 973 mm at Plaine des Palmistes, 777mm in Hell Bourg (Salazie Cirque), 740 mm at the volcano lodge, 704 mm in Cilaos, 621mm at Plaine des Cafres. These amounts were close to those observed during recent "moderate" cyclone episodes but, just as was the case for the 24h rainfall amounts, they were one level under (namely when compared again with cyclone ANDO). This rainfall was also less important than the one recorded in just 24h during a major cyclone episode such as DINA's.

As for the coastal areas, rainfall was much less significant: 372 mm at Baril/St Philippe, 164 mm in Saint-Paul, 175 mm in St-Benoit, 148 mm in St-Denis/Providence.

Finally, let's mention the cyclone swell generated by HARY which reached 4 to 5 m significant height (5.3 m of maximum H1/3 swell recorded in Le Port), with the highest wave measured being 8.7m high. The minimum pressure observed was 1003 hPa in Le Port (the same value as in Agalega,



Houle observée à LA RÉUNION (houlographe du Port Ouest) à l'occasion de l'épisode HARY (H1/3 = houle significative ; Hmax = hauteur maximale).  
Time evolution of the swell observed by a waverider buoy in close vicinity of the northwestern shoreline of LA REUNION during HARY's event (H1/3 = significant swell ; Hmax = maximum height).

exposée au flux de nord-ouest.

Sur l'épisode pluvieux complet, qui a duré environ 72h, les cumuls de précipitations atteignent de 200 à plus de 900 mm dans les Hauts. Pour les valeurs les plus remarquables on peut citer : 1 344 mm à Bébourg, 973 mm à La Plaine des Palmistes, 777 mm à Hell Bourg, 740 mm au Gîte du volcan, 704 mm à Cilaos, 621 mm à La Plaine des Cafres. Ces cumuls approchent les valeurs observées lors d'épisodes cycloniques « modérés » récents, mais se situent, comme pour les maxi sur 24h, un cran en dessous (notamment si l'on compare de nouveau avec le cyclone ANDO). Ces précipitations représentent par ailleurs des quantités moindres que celles recueillies en seulement 24h lors d'un épisode cyclonique majeur comme celui de DINA.

En ce qui concerne les zones côtières, les précipitations ont été nettement moins remarquables : 372 mm au Baril/St-Philippe, 164 mm à St-Paul, 175 mm à St-Benoit, 148 mm à St-Denis/Providence. Enfin, signalons la houle cyclonique générée par HARY, qui a atteint 4 à 5 m en hauteur significative (5,3 m de H1/3 maximale au Port), avec la vague la plus haute mesurée à 8,7 m. La pression minimale observée a été de 1003 hPa au Port (la même valeur qu'à Agalega ; une autre indication du changement de taille d'HARY...).

Le passage du cyclone HARY n'a pas provoqué de victimes, ni de dégâts significatifs à LA RÉUNION. L'agriculture, et plus particulièrement les maraîchages, ont bien sûr souffert localement, mais probablement de manière nettement atténuée par le fait que ces cultures maraîchères ne s'étaient pas encore remises du quasi anéantissement subi à l'occasion du passage de DINA.

Depuis la fin d'après-midi du 11 mars, HARY a commencé de montrer les premiers signes d'un début d'affaiblissement. L'œil a disparu sur l'imagerie classique, mais réapparaîtra par intermittences jusqu'au lendemain. Encore bien visible sur l'imagerie micro-onde, il apparaît de nouveau plus érodé dans sa partie ouest à nord-ouest. Cette érosion traduit la présence d'une contrainte cisailée, pour l'heure encore modérée, mais qui tend à lentement se renforcer à mesure que le météore s'enfonce vers les latitudes sud. Désormais situé sur la façade sud-ouest de la dorsale d'altitude qu'il contourne, HARY est, en effet, soumis à un courant d'altitude de plus en plus vigoureux. À l'approche du 25° parallèle Sud, cette ventilation croissante commence à produire son effet : la structure nuageuse d'HARY commence à se modifier, affichant, tant sur l'imagerie classique que micro-onde, la configuration classique

d'un système en début de phase de cisaillement. Se conjuguant avec l'arrivée sur des eaux océaniques plus fraîches, le processus de cisaillement aboutit logiquement à la transition extratropicale d'HARY. Amorcée en fin de journée du 12, on peut considérer qu'elle est en voie d'achèvement 24h plus tard, alors que le minimum dépressionnaire est sur le point de franchir le 30° parallèle Sud.

Bien que s'étant partiellement comblé, il demeure encore relativement creux à ce stade et les vents les plus forts soufflent encore à la limite de la force ouragan en soirée du 13. Ces vents ne faiblissent que lentement ensuite, plus particulièrement dans le secteur sud de la circulation dépressionnaire, où le gradient de pression est maintenu à un niveau élevé en raison de l'advection par l'ouest d'une cellule anticyclonique assez puissante, dont l'arrivée a pour conséquence annexe de freiner quelque peu la progression de l'ex-HARY vers le sud-est. Ce n'est qu'en fin de journée du 15 que le déplacement retrouvera sa vitesse antérieure.

La circulation dépressionnaire s'étale sur plus de 2000 km de diamètre. Bien appréhendé par un réseau de bouées dérivantes assez dense, le minimum dépressionnaire est estimé tendre à se recreuser à compter du 17, journée au cours de laquelle il passe à moins de 250 km au sud-ouest de l'île d'Amsterdam, y générant temporairement des vents à la limite du coup de vent (rafale maximale de 94 km/h, pression minimale de 987 hPa). Il franchit dans la foulée le 40° parallèle Sud, avec une vitesse de déplacement ayant gagné en célérité et approchant désormais les 50 km/h. L'ex-HARY poursuivra ensuite en direction du sud-est, connaissant une deuxième vie en tant que dépression des moyennes latitudes.

Phénomène le plus intense de cette saison cyclonique 2001-2002, et un des plus intenses de la dernière décennie sur le bassin, HARY n'a, grâce à une trajectoire favorable, pas eu l'impact désastreux qu'il aurait pu avoir, bien qu'ayant touché MADAGASCAR quasiment au maximum de son intensité.

Outre l'intensité remarquable atteinte par ce cyclone très intense, on se souviendra

*which was another evidence for HARY's size change...). The passage of tropical cyclone HARY did not cause any death casualties nor major damage in LA REUNION. Farming, namely market gardening, certainly did suffer locally but probably on a mitigated way since it still had not totally recovered from the nearly total destruction undergone during DINA's passage.*

*Since the late afternoon of 11 March, HARY had started showing some weakening signs. The eye had vanished from the classic imagery but would reappear intermittently until the following day. Still clearly visible on the microwave imagery, it looked again more eroded in its west to northwestern part. This erosion signalled the presence of a sheared constraint –still moderate for the time being– but which crept up as the meteor dipped down into the southern latitudes. HARY was now skirting around the southwestern flank of the upper ridge and was indeed undergoing the influence of an ever increasing upper flow.*

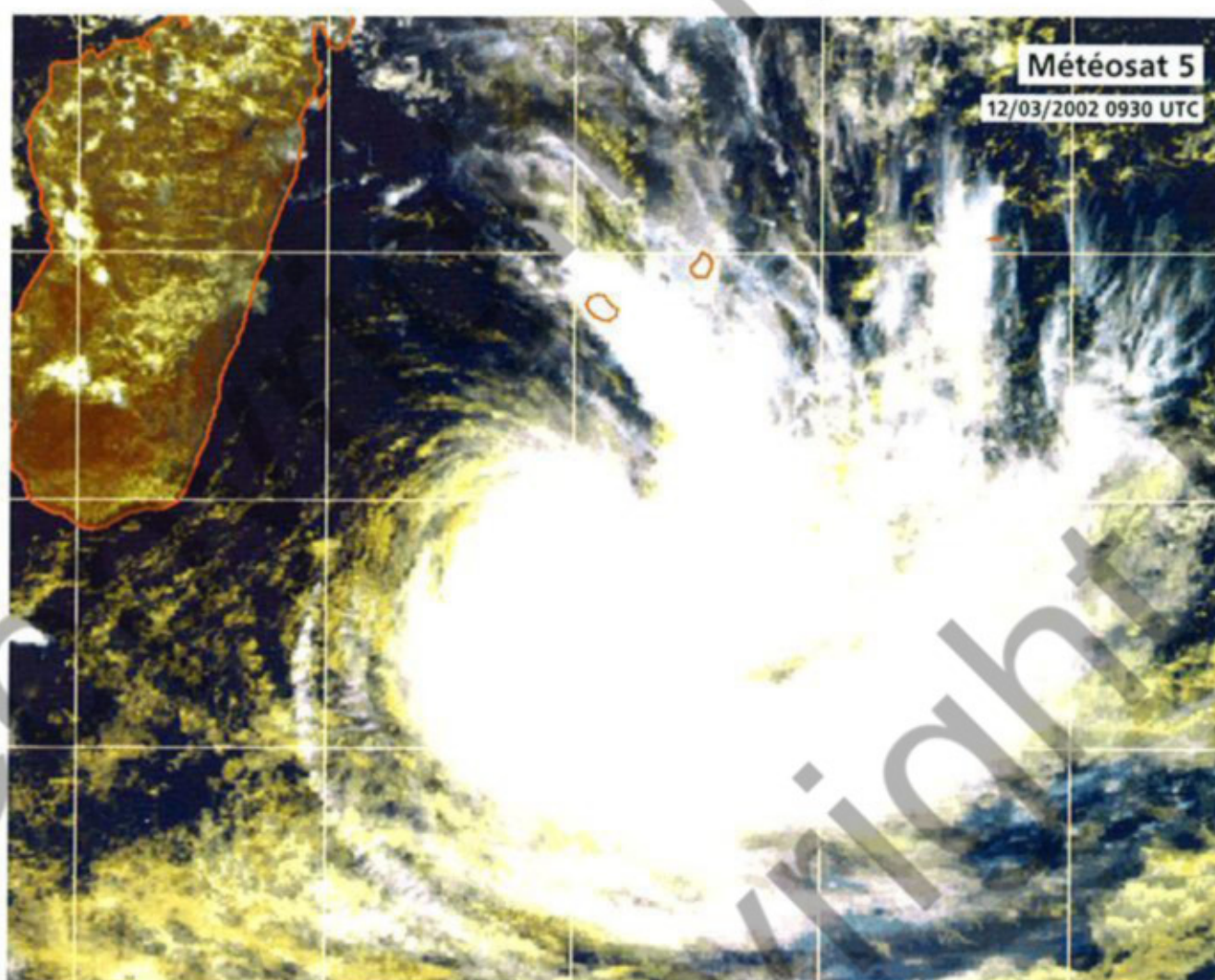
*As it approached latitude 25°S, the enhancing ventilation started having an impact. Indeed, HARY's cloud structure started to change and displayed on both classic and microwave imageries a typical configuration of a system going through incipient shearing. Combined with the arrival on cooler ocean waters, the shearing*

*process logically led HARY to begin extratropical transition (in the late afternoon of the 12th), which could be assumed to be in its completion phase 24h later when the low centre was about to cross latitude 30°South.*

*While it had partly filled, it was still relatively deep at that stage and storm force to hurricane force winds were still blowing in the evening of the 13th. They abated very slowly especially in the southern sector of the clockwise circulation where the pressure gradient was set very high due to the advection via the west of quite a powerful anticyclonic cell which also resulted in slowing down ex-HARY's course to the southeast. It was only at the end of the day that the system recovered its previous pace.*

*The clockwise circulation spread over 2000 km in diameter. Well captured by an important network of drifting buoys, the low centre was believed to initiate a renewed deepening trend from March 17 when it would pass at less than 250 km southwest of Amsterdam Island causing temporary near-gale force winds (peak gust of 94 km/h, minimum pressure of 987 hPa). Then it crossed latitude 40°South at an increased speed close to 50 km/h. Ex-HARY then went on withdrawing southeastward and experienced a second life cycle as a mid latitude depression.*

*The most intense phenomenon of the 2001-2002 cyclone season, and one of the most intense*



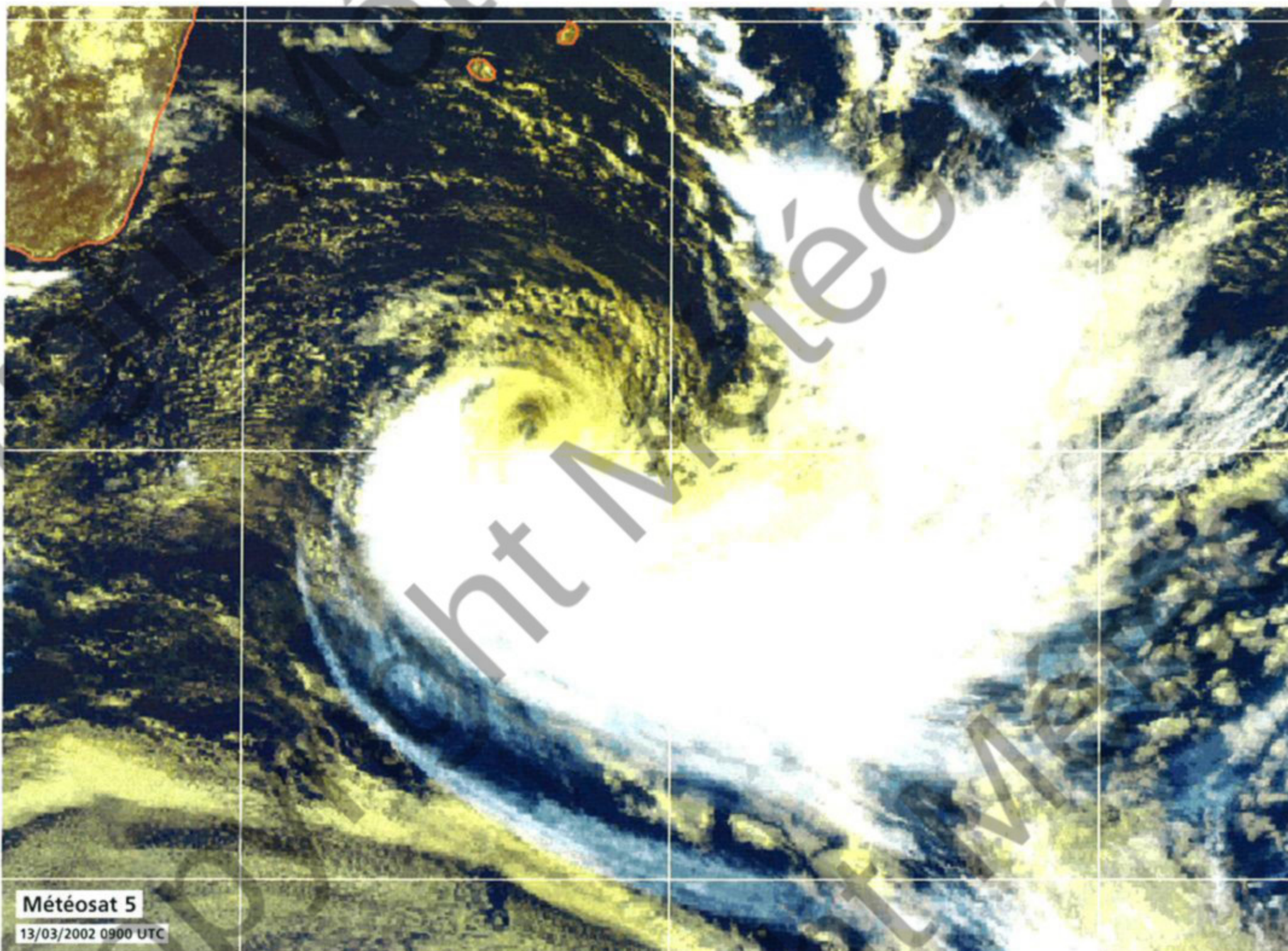
**HARY s'évacue au sud des MASCAREIGNES et s'apprête à débiter sa phase de transition extratropicale. Une bande nuageuse active rattachée au météore s'attarde sur LA REUNION, y occasionnant les dernières pluies orageuses.**

*While HARY was withdrawing south of the MASCARENES and was about to begin extratropical transition, an active cloud band linked to the meteor lingered behind generating the last thunderstorms and heavy rain at LA REUNION.*

ones over the basin in the last decade, HARY, - thanks to its favourable track- did not have such a disastrous impact as could be feared, even though it hit MADAGASCAR nearly at its peak of

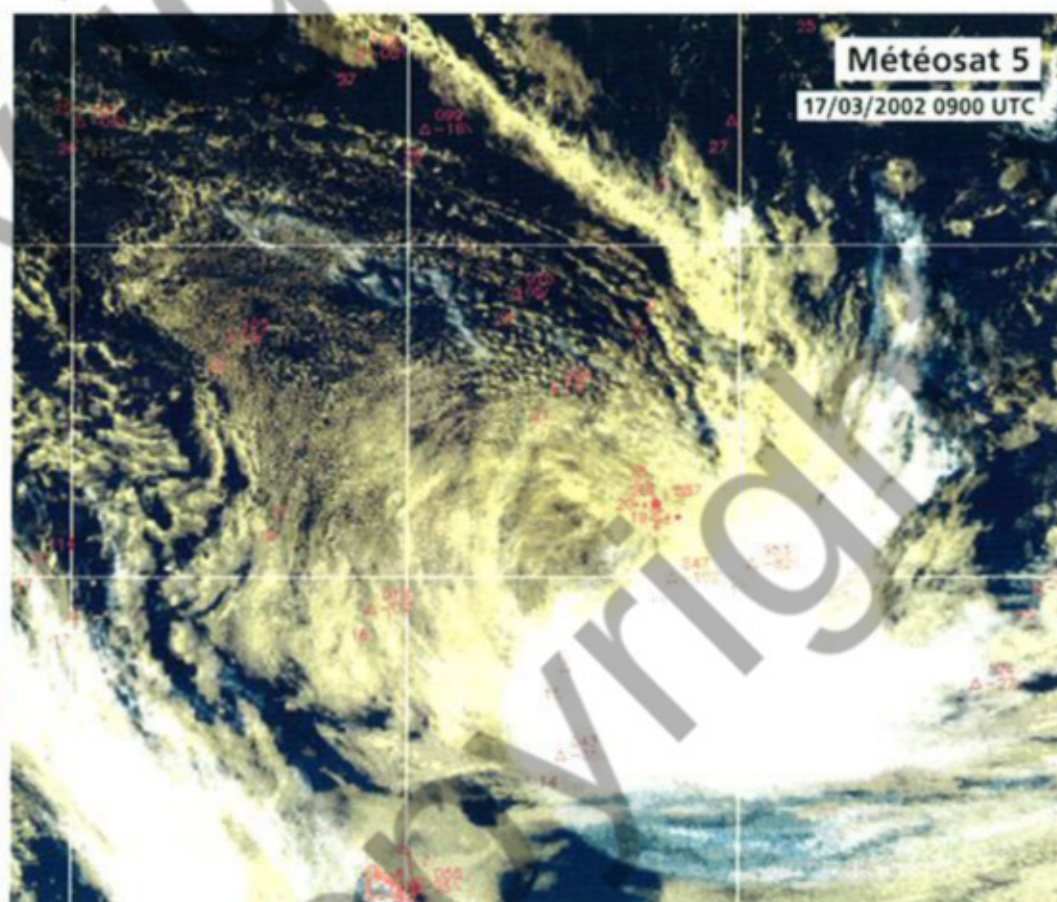
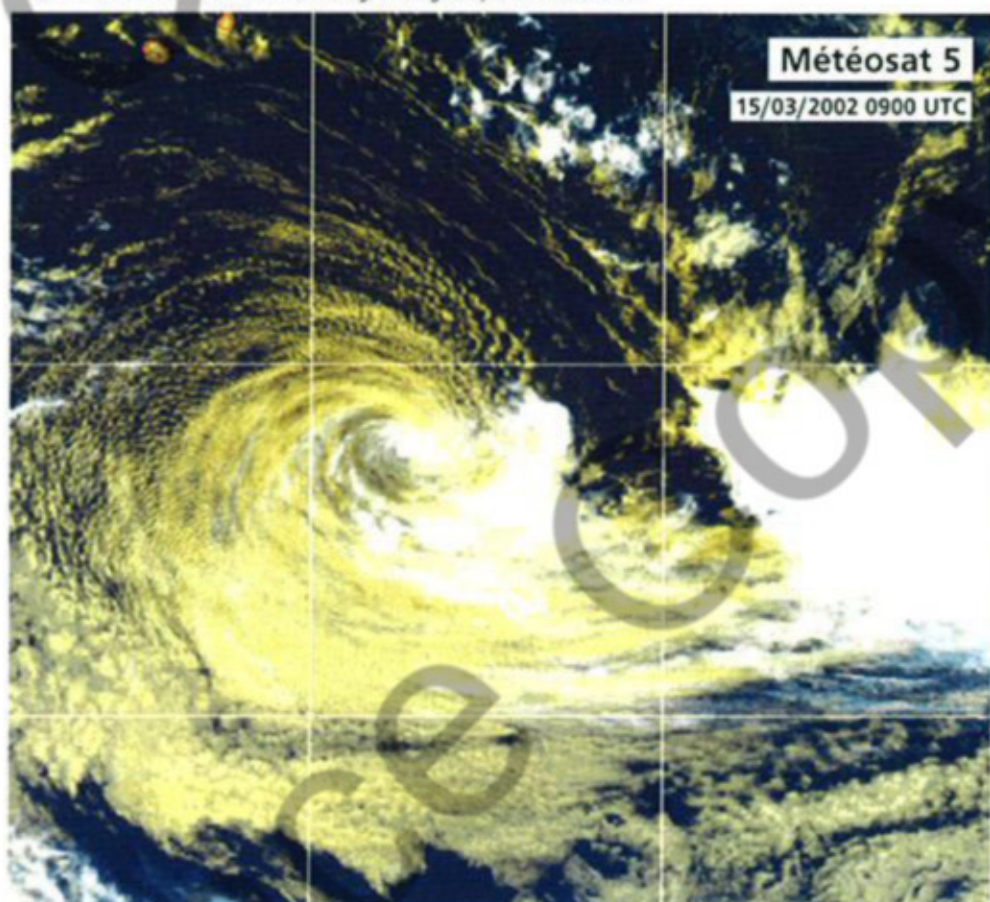
intensity. Beside the outstanding intensity reached by this very intense cyclone, HARY shall also be remembered as a nice case of structure and size change for a tropical cyclone.

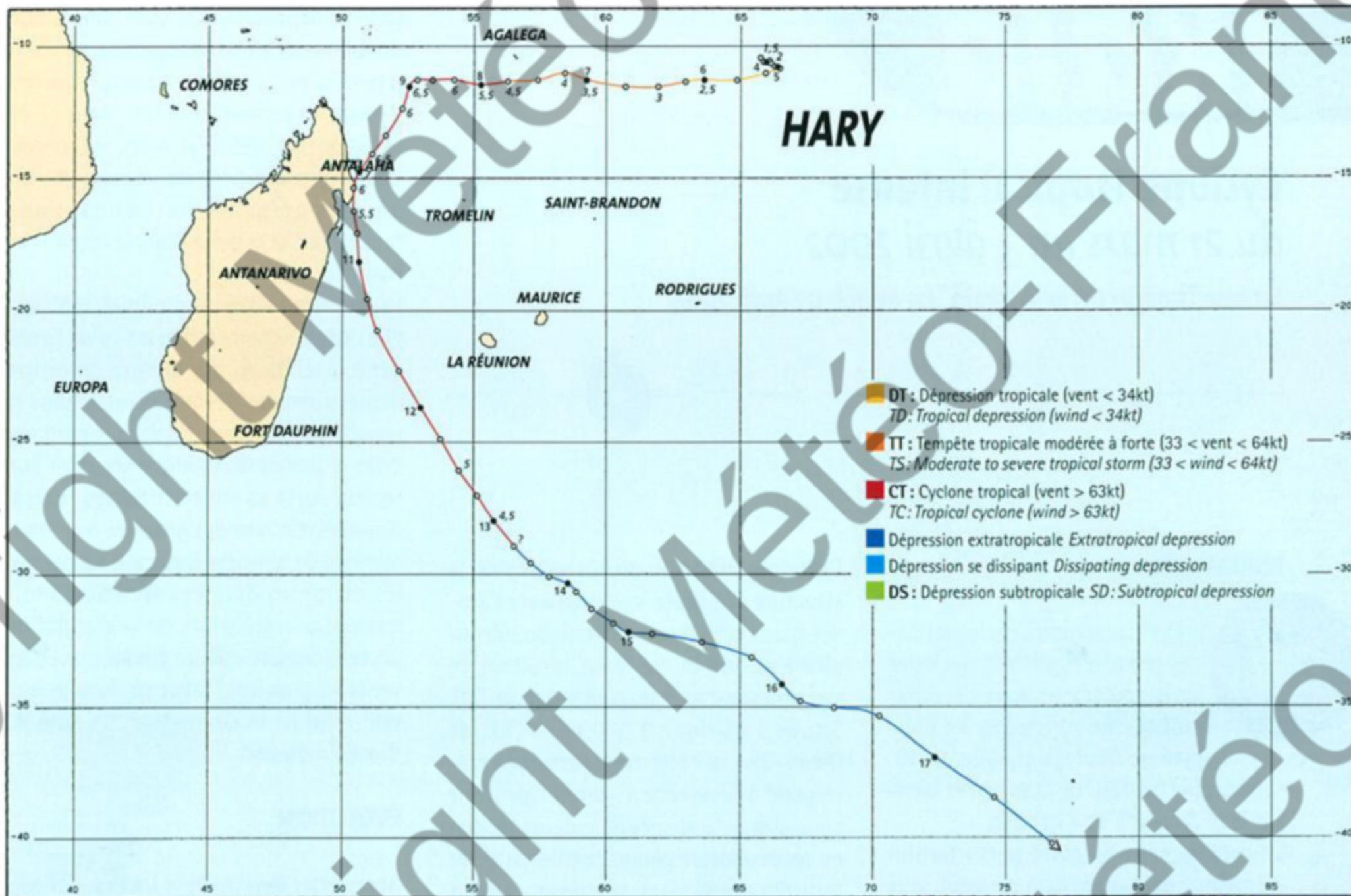
également d'HARY comme d'un bel exemple de changement de structure et de taille d'un système dépressionnaire tropical.



HARY après transition extratropicale. Le vortex associé demeurera très affirmé durant plusieurs jours, témoignant une circulation dépressionnaire encore bien creuse, comme le confirmeront de manière plus objective les observations de l'île d'Amsterdam et de bouées dérivantes alentour, le 17 mars.

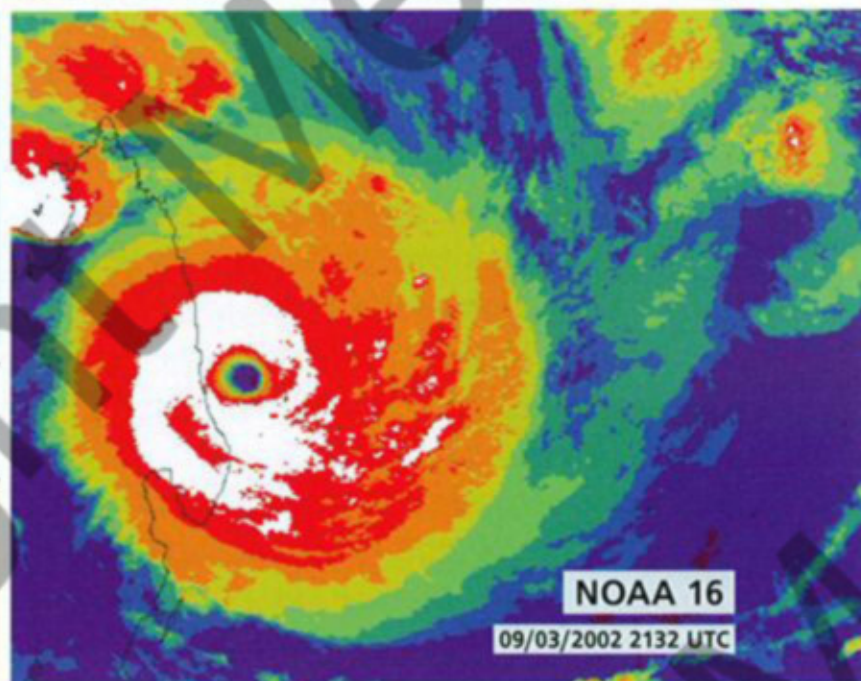
HARY after completing extratropical transition. The associated vortex stayed impressive for several days, thus witnessing how deep the residual low had remained. This was to be confirmed more objectively by the observations of Amsterdam Island and surrounding drifting buoys on 17th March.



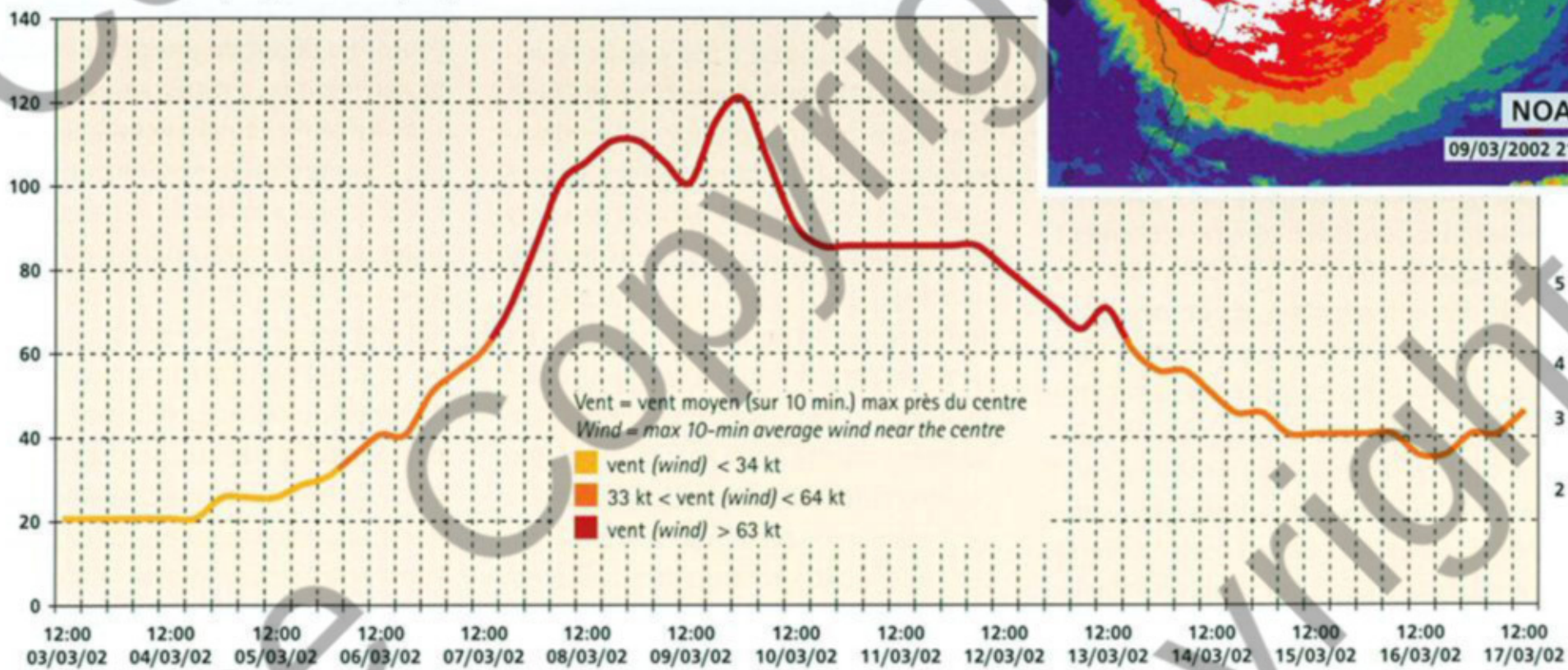


HARY est au maximum de son intensité au moment de cette image en infrarouge renforcé (colorisée par gamme de températures), connaissant le privilège rare d'être classé au stade de cyclone tropical très intense. Autour de l'œil légèrement incliné vers l'ouest, les vents maximaux sont estimés culminer à plus de 300 km/h en rafale. Effleurée dans les heures suivantes par cette zone des vents les plus violents associée au mur de l'œil, la ville côtière d'Antalaha échappera de justesse au pire.

*HARY at peak intensity as seen on enhanced infrared imagery (colour set of temperatures). Knowing the rare privilege to take rank as a very intense tropical cyclone, the meteor displays a slightly westward tilted eye around which the maximum winds were estimated to blow with peak gusts exceeding 300 km/h. Grazed a few hours later by the eyewall area of mightiest winds, the coastal city of Antalaha was only just spared the worse.*



**HARY DU 03/03/02 AU 17/03/02**



ÉVOLUTION DU VENT MAX EN NŒUDS (À GAUCHE) ET DU NOMBRE CI DE 6 HEURES EN 6 HEURES  
6 - HR MAX WIND (KT) AND CI EVOLUTION (LEFT AND RIGHT)

# Ikala

## Cyclone Tropical Intense du 21 mars au 3 avril 2002

*Intense Tropical Cyclone "Ikala" (21 March-03 April 2002)*

### FORMATION

Après l'évacuation vers les latitudes tempérées d'HARY, quelques jours seulement vont s'écouler avant que ne voie le jour un nouveau système dépressionnaire, le 12<sup>e</sup> suivi depuis le début de la saison et bientôt le 9<sup>e</sup> amené à être baptisé.

La cyclogenèse de cette perturbation intervient de manière on ne peut plus classique, au sein du talweg de mousson, sur la partie centrale de l'océan Indien, correspondant au nord-est de la zone de responsabilité du CMRS de LA RÉUNION. Le 21 mars, une vaste zone de basses pressions inférieures à 1008 hPa est identifiable grâce aux observations de surface disponibles sur cette partie nord-est du bassin, à l'est de l'archipel des CHAGOS. De part et d'autre de la ZCIT, qui ondule entre 6 et 8°Sud si l'on en croit le champ de vents issu des données diffusométriques QuikScat, de la convection est présente, mais de façon morcelée et sans qu'aucun amas nuageux particulier ne puisse être considéré comme réellement suspect à ce stade.

Mais dès le lendemain, on ne peut plus en dire autant : en l'espace de 24h, l'activité nuageuse s'est développée rapidement et largement, s'organisant qui plus est déjà clairement autour d'une zone centrale pour sa part relativement restreinte, où se concentre l'essentiel de la convection. L'épanchement des nombreux nuages d'altitude présents, matérialise par ailleurs bien les bonnes conditions de divergence d'altitude qui règnent au-dessus du système, tout spécialement du côté polaire.

Cette organisation plutôt rapide de la structure nuageuse, coïncide avec l'arrivée d'une cellule anticyclonique subtropicale au sud du système, résultant en une poussée d'alizé du côté sud de la ZCIT. Située à quelque 1 000 km à l'est de Diego-Garcia, cette zone perturbée correspond à l'évidence au profil type d'une zone suspecte susceptible de dégénérer en système dépressionnaire tropical. Cette forte présomption de cyclogenèse à venir, est renforcée par le fait qu'elle a déjà été anticipée par les modèles numériques, dont les simulations de la veille en particulier, prévoient le creusement à moyenne échéance d'un minimum dépressionnaire dans ce secteur. La suite va prouver qu'il ne s'agissait pas d'une fausse alerte, même si le creusement va s'avérer un peu laborieux.

Car le système évolue, pour l'heure, sur la façade nord-ouest d'une puissante cellule de hauts géopotentiels en altitude, donc dans un environnement modérément cisailé d'est à nord-est (10 à 15 nœuds de cisaillement vertical de vent). Cette situation d'altitude perdure les jours suivants, tant que la perturbation demeure positionnée au nord du 10<sup>e</sup> parallèle Sud, ce qui est le cas jusqu'au 24 mars, du fait d'un déplacement globalement orienté ouest-sud-ouest durant cet intervalle. Si cette contrainte cisailée d'est n'a rien de réhibitoire, elle contribue cependant à retarder le creusement du minimum dépressionnaire, qui ne s'opère que lentement.

D'un jour à l'autre, malgré tout, l'amas nuageux de convection gagne peu à peu en consistance, obtenant finalement le

label de dépression tropicale dans la nuit du 24 au 25, puis quelques heures plus tard celui de tempête tropicale modérée. L'intensité estimée d'IKALA, nommé en début de matinée du 25 mars, est confortée par les données de vents déduites des données altimétriques d'une fauchée ERS2 acquise dans le courant de matinée.

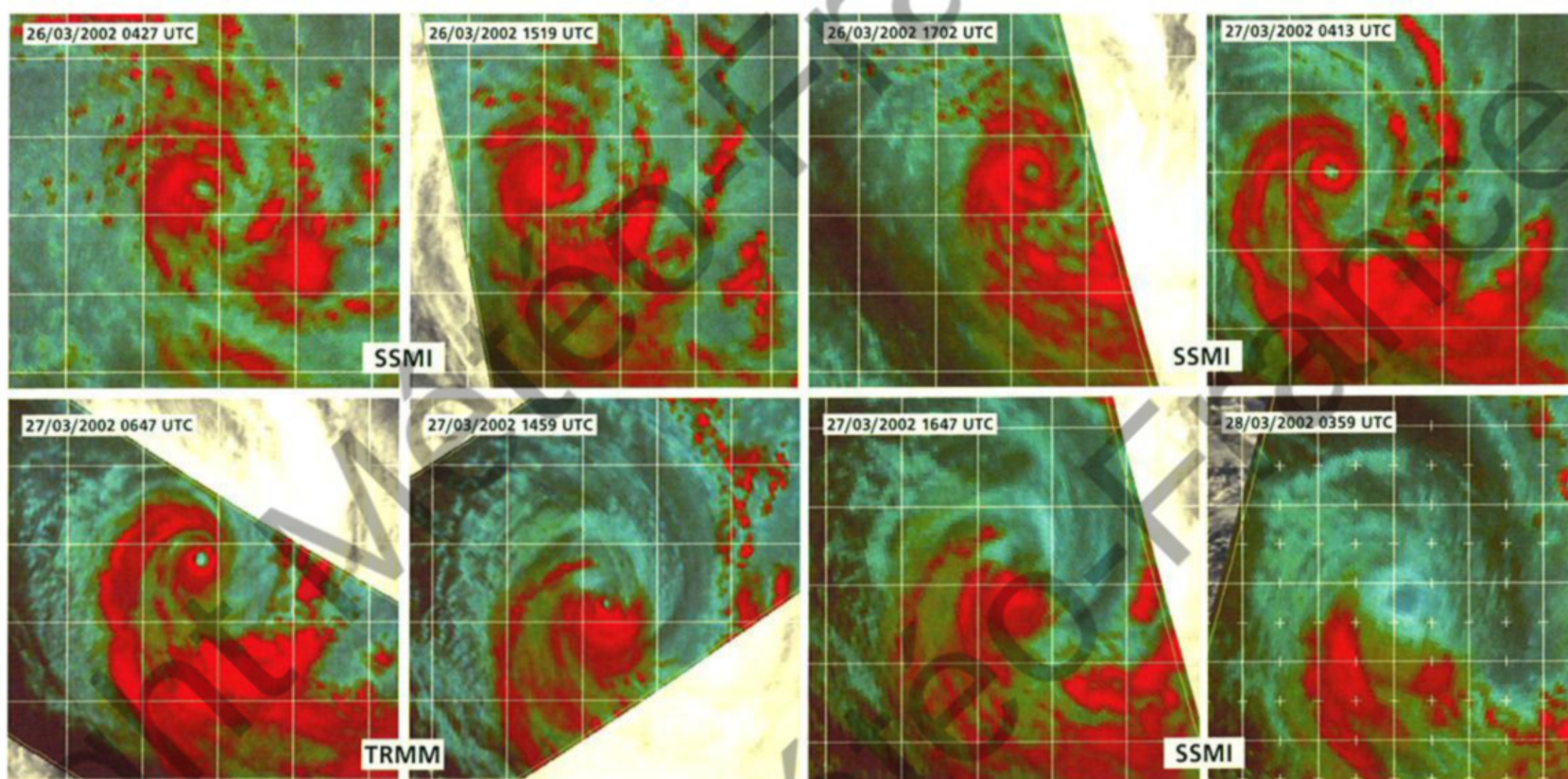
La contrainte d'est a diminué, même si elle demeure perceptible au vu de l'imagerie satellitaire, qui montre un centre dépressionnaire désormais situé sous la convection, mais avec la majeure partie de celle-ci demeurant cantonnée dans son secteur ouest. La structure nuageuse reste d'ailleurs relativement grossière à ce stade minimal de tempête tropicale, tandis que les dernières données QuikScat indiquaient une structure de la circulation dépressionnaire encore élongée, avec les vents les plus forts présents dans le secteur nord de la circulation, du côté du flux de mousson.

### ÉVOLUTION

Après cette cyclogenèse un peu difficile, les choses vont aller beaucoup plus vite ensuite. À la faveur d'un changement de trajectoire, IKALA va, en effet, rapidement trouver des conditions de développement beaucoup plus favorables.

Ce changement de trajectoire intervient peu après le baptême, en fin de matinée du 25, de manière tout à fait abrupte. Alors que la perturbation progressait encore à près de 20 km/h en direction de l'ouest en début de journée, elle oblique brutalement en direction du sud-sud-est, sans avoir réellement ralenti au préalable, comme c'est généralement le cas. Ce « décrochage » brutal de la trajectoire initiale, pourrait surprendre d'autant plus qu'il n'avait, cette fois, pas été du tout anticipé par les modèles numériques, qui prévoient un déplacement en direction générale du sud-ouest, avant un infléchissement ultérieur progressif vers le sud, en direction d'une faiblesse dans les hautes pressions subtropicales créée par l'arrivée d'un talweg polaire mobile.

Ceci dit, un simple coup d'œil à la carte du champ de pression analysé en surface, suffit à se convaincre que ce changement de trajectoire n'a finalement rien de très surprenant. La configuration isobarique



Les 48h de la phase mature d'IKALA, telles que vues par l'imagerie micro-onde (Color 85 GHz): à la phase d'intensification rapide (en haut) précédant le pic d'intensité observé au matin du 27 mars, a succédé une phase d'affaiblissement (en bas) encore plus brutale (sur les conditions de cette dégénérescence, voir explications pages suivantes).  
 IKALA's 48-hour mature phase, as displayed by microwave imagery (Color 85 GHz): to the rapid intensification phase (above) preceding the intensity peak observed on 27 March succeeded an even faster decaying phase (below) (on the weakening triggering conditions see explanations on next pages).

est l'archétype même de ce type de situation classique qui voit une modification radicale de trajectoire à l'avant d'un talweg frontal. Les modèles numériques ont, à l'évidence, mal appréhendé cette situation pourtant relativement simple, sous-estimant à la fois la vitesse de déplacement de ce talweg polaire et surtout son amplitude. À mesure de son rapprochement, celui-ci va en effet tendre à se renforcer et à s'enfoncer plus profondément au cœur des tropiques. Cela se traduit visuellement de manière on ne peut plus claire sur l'imagerie satellitaire : au front froid très délité dans sa partie la plus septentrionale présent assez loin au sud des MASCAREIGNES le 25, succède un front froid nettement mieux constitué le lendemain et s'étant, en outre, décalé très rapidement vers le nord-est, jusqu'au 20<sup>e</sup> parallèle Sud, entre MAURICE et RODRIGUES. Le front se consolidera de manière encore plus affirmée le surlendemain (le 27), à la faveur du creusement d'une ondulation de ce front froid.

La conséquence première du changement de trajectoire d'IKALA, va être l'intensification de la tempête. En se dirigeant vers le sud-sud-est, puis le sud-est à compter du 27, le météore se rapproche dorénavant de l'axe de la dorsale d'altitude et bénéficie en conséquence de conditions en altitude de plus en plus favorables, que ce soit en termes de cisaillement vertical de vent, qui tend vers zéro, ou en termes de divergence d'altitude,

#### FORMATION

Only a few days had elapsed after HARY's withdrawal to temperate latitudes, when a new disturbance sprang to life, the 12th since the beginning of the cyclone season, and soon to be the 9th named system.

The cyclogenesis of this disturbance occurred in a very classic way: within the monsoon trough, on the central part of the Indian Ocean, corresponding to the northeast of the area of responsibility of LA REUNION's RSMC. On 21st March, a broad area of low pressure below 1008 hPa was identified via surface observations available in this part of the basin, east of the CHAGOS Archipelago. On either side of the ITCZ, which was undulating between 6 and 8°South according to the windfield derived from the QuikScat scatterometer data, there was some convection, yet scattered and with no specific suspicious cloud cluster at that stage. However, things turned differently the next day: within 24 hours, the cloud activity had developed rapidly and widely, and clearly organised itself around a limited central area where most of the convection had gathered. The blow-off of numerous upper clouds visually materialised the favourable upper divergence conditions pervading aloft, especially on the polar side.

This rather fast organisation of the cloud structure coincided with the approach of a subtropical anticyclonic cell south of the system, which resulted in a trade winds surge poleward of the ITCZ. Situated at some 1000 km east of Diego-Garcia, it seemed obvious that the disturbed area looked like a typical suspect area

likely to turn into a tropical depression. The ascribed cyclogenesis potential looked particularly good since it was supported by the numerical models forecasts; yet the day before their respective runs expected a deepening of a low centre in that sector at medium range. The subsequent events showed that this was no false alert, even if the deepening turned to be a little laborious.

For the time being, the system was embedded in a moderate easterly to northeasterly sheared environment (10 to 15 knots vertical windshear) on the northwest side of a powerful cell of high geopotentials in altitude. This upper pattern lasted for a few days throughout the time the disturbance remained positioned north of latitude 10°South, i.e. until 24 March, due to its motion globally west-southwestward orientated during that time. Although this easterly sheared constraint was no real obstacle, it did delay the deepening of the low centre which was very slow.

Despite all that, the cloud mass of convection gained consistency day after day and finally earned the grade of a tropical depression in the course of the night of the 24th, and just few hours later, that of a moderate tropical storm. The estimated intensity of IKALA, which was named so in the early morning of 25 March, was supported by the wind data derived from the altimeter data of an ERS2 swath acquired during the morning.

The easterly sheared constraint had subsided, although it was still perceptible on the satellite imagery which showed that the low centre had now slipped underneath the convection but with the majority of the convection remaining

confined to its western sector. The cloud structure was actually rather roughly defined at that minimal stage of tropical storm, and the last QuikScat data indicated a still elongated structure of the clockwise circulation, with the strongest winds observed within its northern part, on the monsoon flow side.

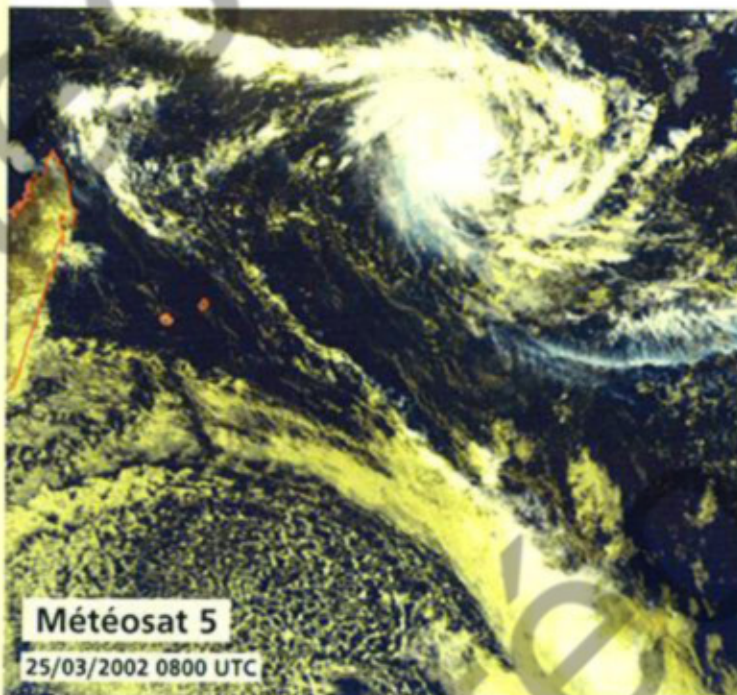
## EVOLUTION

After this somewhat struggling cyclogenesis, things would spurt afterward. Taking advantage of a change of trajectory, IKALA rapidly found much more favourable conditions to develop.

The change of path occurred very abruptly a little while after the system was named, in the late morning of 25 March. While in the early day, the disturbance was still sailing at a speed of 20 km/h towards the west, it suddenly deviated slantwise towards the south-southeast without slowing down beforehand as is usually the case. This brutal "stall" from the initial course might seem surprising, all the more so since it had not been anticipated this time by the numerical models which expected a southwestward motion followed by a gradual bend southward, towards a weakness within the subtropical high induced by an approaching polar trough.

However, a quick look at the surface pressure analysed field chart was convincing enough to consider that this change of track was not at all surprising. The isobaric configuration was a classic occurrence of this type of situation, in which a radical change of path happens ahead of a frontal trough. So, numerical models did not do a very good job in this case, since underestimating both the moving speed of the polar trough and especially its amplitude. In fact, as the polar trough got closer, it deepened further while encroaching increasingly on the heart of the tropics. This was obvious on the satellite imagery: to the cold front which was disintegrating in its most septentrional part quite far off the south of the MASCARENES on the 25th, succeeded a much better shaped cold front the following day, which moreover had quickly drifted to the northeast as far as latitude 20°South, between MAURITIUS and Rodrigues Islands. A wave of the cold front developed on the subsequent day (on the 27th) and the front consolidated further as a result.

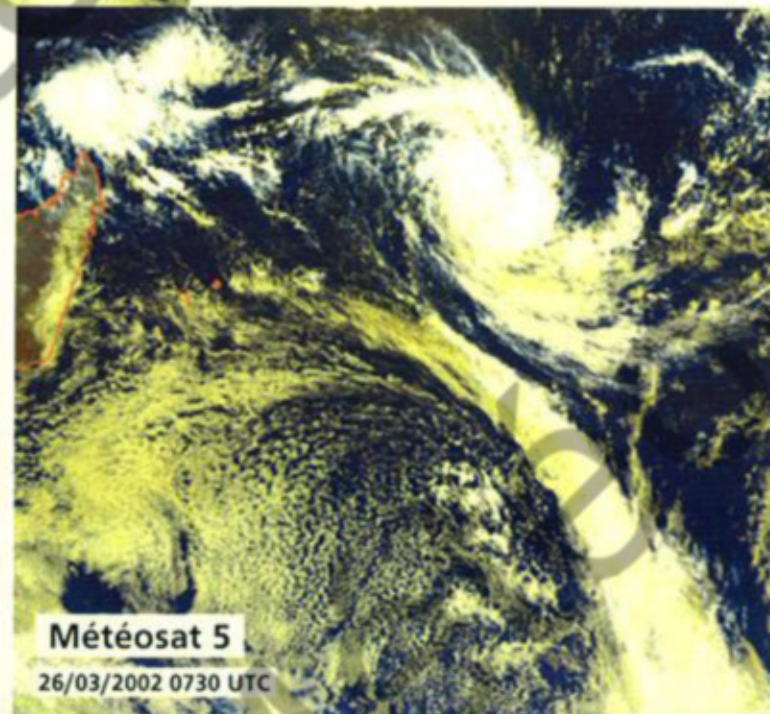
The first consequence of IKALA's change of track was an intensification of the storm. As the meteor headed south-southeastward, and then southeastward from the 27th, it was getting closer to the upper ridge axis and therefore benefited from increasingly favourable upper conditions in



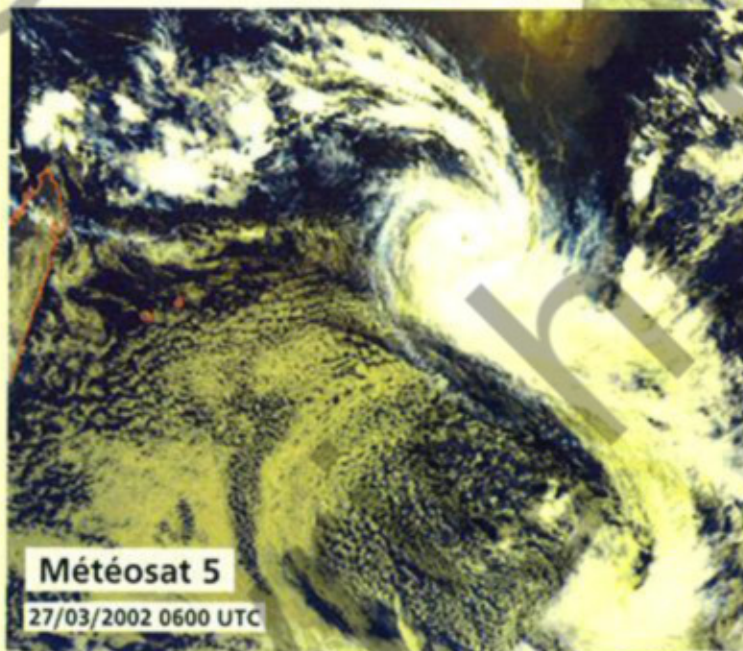
Météosat 5  
25/03/2002 0800 UTC

IKALA, au stade de forte tempête tropicale. Le point chaud présent au cœur de la masse nuageuse matérialise l'œil en formation. La phase d'intensification rapide amorcée à cet instant, est favorisée par les très bonnes conditions divergentes d'altitude alors présentes, notamment du côté polaire à l'avant du front froid qui s'est considérablement rapproché depuis la veille et dont l'extrémité septentrionale se situe désormais au niveau du 20° parallèle Sud.

IKALA at the stage of severe tropical storm. The warm spot in the middle of the cloud mass is turning into an eye. The rapid intensification phase starts off, favoured by very good upper divergence conditions present namely on the polar side, ahead of the cold front which has considerably come closer since the previous day and whose septentrional edge is now situated near latitude 20°South.



Météosat 5  
26/03/2002 0730 UTC



Météosat 5  
27/03/2002 0600 UTC

Présentant une double ondulation, un cordon nuageux quasiment continu s'étire sur plus de 10000 km de long du nord-est de MADAGASCAR jusque loin à l'est des îles Kerguelen. Mais seule une de ces deux ondulations mérite réellement cette appellation. Il s'agit de celle située la plus au sud, liée au creusement de la dépression des moyennes latitudes associée à l'ondulation de front froid apparue la veille). L'autre ondulation n'est qu'un effet visuel, provoqué par la jonction de l'ex-cyclone tropical IKALA avec la queue du front froid précité.

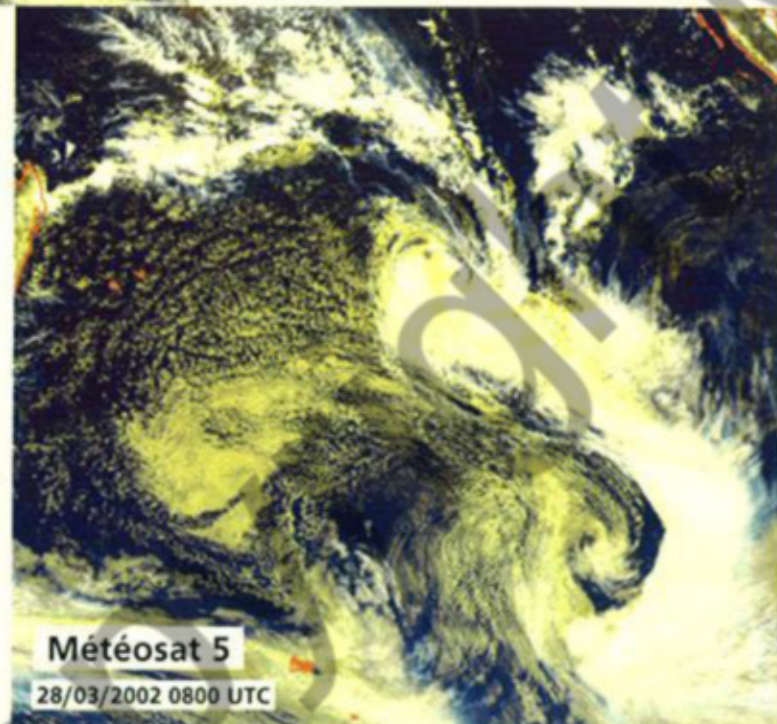
A nearly continuous cloudband stretches over 10 000 km from the northeast of MADAGASCAR to the far east of Kerguelen Islands and is associated to two waves. However, only one of those is worthy of that name and that is the one situated further south, linked to the deepening of the mid-latitudes depression connected to the cold front wave that appeared the previous day. The other undulation is only a visual effect caused by the junction of ex-tropical cyclone IKALA with the above-mentioned cold front tail.

IKALA, au stade de tempête tropicale modérée, vient de changer brutalement de trajectoire, obliquant en direction du sud-sud-est en bout de dorsale d'altitude, à l'avant du talweg d'altitude associé au front froid visible au sud des MASCAREIGNES et qui va ensuite se rapprocher très rapidement (voir images des jours suivants).

IKALA at the stage of moderate tropical storm, has just abruptly changed path, heading for the south-southeast at the end of the upper ridge ahead of an upper trough connected to an oncoming cold front visible south of the MASCARENES. (see pictures of following days).

Belle image d'un duo de perturbations, l'une d'origine tropicale, l'autre d'origine polaire. Le cyclone tropical intense IKALA est alors à son apogée. La partie sud de sa masse nuageuse a déjà rejoint la queue de front froid avec lequel il s'apprête à entrer en « collision ». À noter l'ondulation du front froid au sud et la bande de convection discontinue rattachée à IKALA et s'étirant sur plus de 2000 km d'extension horizontale dans son secteur nord.

Nice picture of a duet of disturbances, one of tropical origin and the other of polar origin. Intense tropical cyclone IKALA is at its peak of intensity. The southern part of its cloud mass has already caught up with the cold front tail end into which it will collide. Worth of notice is the cold front wave in the south and the discontinued convection band linked to IKALA, with a 2000 km horizontal stretch in its northern part.



Météosat 5  
28/03/2002 0800 UTC



qui va rapidement devenir optimale, avec une configuration à deux canaux d'évacuation pour le flux sortant d'altitude. L'intensification s'opère dans un premier temps à un rythme climatologique, avant de s'emballer à partir de la fin de journée du 26 mars, moment où IKALA n'est encore classé qu'en forte tempête tropicale. L'imagerie micro-onde permet de suivre au mieux cette évolution : l'embryon d'œil « ouvert » apparu en matinée du 26, ne se referme que la nuit suivante, atteignant ensuite sa définition optimale en matinée du 27 mars. Avec un gain estimé d'un point sur l'échelle de Dvorak au cours des 12h précédentes, IKALA est alors analysé au seuil minimal du cyclone tropical intense. Autour de l'œil, d'un diamètre moyen de 35 km, les vents maximaux sont estimés excéder les 165 km/h en vents moyens sur 10 min (90 nœuds), avec des rafales maximales de l'ordre de 235 km/h.

Au moment de ce pic d'intensité, les conditions environnementales sont déjà sur le point de se dégrader rapidement. Une fois franchi le 16° parallèle Sud, correspondant peu ou prou à l'axe de la dorsale d'altitude, le cisaillement vertical de vent se renforce très vite. Les vents forts de nord-ouest circulant à l'avant du talweg d'altitude se sont en effet grandement rapprochés, de même que le front froid associé, qui n'est plus distant que de quelques centaines de km. Les nuages de la partie sud d'IKALA ont d'ailleurs déjà fusionné avec ceux du front.

La petite taille du cyclone ne va pas lui permettre de résister bien longtemps à ce cisaillement vertical de vent accru, d'autant que ce premier élément néfaste va vite se conjuguer d'un deuxième tout aussi défavorable, à savoir une puissante injection d'air frais, et surtout très sec, au cœur du cyclone, via le secteur sud-ouest de sa circulation dépressionnaire. Cet air froid et sec est issu de la vaste poche d'air subsident, d'origine non tropicale, drainée à l'arrière du front froid. La conjonction de cette alimentation en air sec post-frontal et du cisaillement de vent, produit un effet dévastateur sur la structure nuageuse d'IKALA, qui, en l'espace d'une douzaine d'heures, « implose » littéralement. À la mi-journée du 28 mars, l'affaiblissement est spectaculaire : la convection s'est pour bonne part volati-

lisée, laissant apparaître le vortex résiduel de basses couches, et en particulier son centre clairement exposé. Ayant perdu son statut de cyclone tropical depuis peu, le météore n'en demeure pas moins associé à des vents violents, soufflant encore en tempête.

Malgré le découplage avec la haute troposphère, IKALA demeure pour l'heure toujours sous l'influence, en termes de flux directeur, de la présence dans son lointain secteur sud-est du talweg frontal, qui va continuer de l'attirer dans cette direction pendant encore 24h, jusqu'en milieu de journée du 29. Poursuivant donc à plus de 20 km/h sur cette trajectoire, le minimum dépressionnaire franchit le 20° parallèle Sud en fin de nuit du 28 au 29 mars. En partie comblé, il est alors classé en tempête tropicale modérée. Bien qu'encore situé au cœur du domaine tropical, IKALA apparaît pourtant être déjà entré en phase de transition extratropicale. Car, malgré la latitude relativement basse, l'environnement météorologique présente des caractéristiques baroclines à l'évidence très marquées. IKALA est ainsi déclaré extratropical en fin de journée du 29 mars, à une latitude exceptionnellement basse pour le bassin donc.

Après avoir ralenti à une dizaine de km/h en matinée, le météore a changé de trajectoire au cours des heures précédentes, incurvant en direction du sud-ouest cette fois. Ce nouveau « zag », après le « zig » du 25 mars, est la conséquence de l'éloignement définitif du talweg polaire, qui n'aura donc pas réussi à l'aspirer complètement. Après ce changement de cap, la dépression reprend rapidement de la vitesse (jusqu'à plus de 30 km/h dans la nuit du 30 au 31). Se dirigeant désormais droit en direction de la puissante cellule anticyclonique subtropicale qui a succédé au talweg frontal, et dont le maximum de hautes pressions se décale vers l'est en direction des parages de l'île d'Amsterdam, elle s'en rapproche rapidement. Il en résulte un renforcement du gradient de pression dans un large secteur sud-ouest de la circulation dépressionnaire, avec des vents qui se renforcent localement jusqu'à la limite de la tempête, malgré le comblement du minimum dépressionnaire. Le gradient commence ensuite à se relâcher le 31, avec le décalage de la cellule anticyclonique au sud-est et

terms of vertical windshear and upper divergence which soon became optimal with a dual outflow channel pattern.

First, the intensification operated at a climatological rate and then, from the late afternoon of 26 March, put on a sudden spurt, at the time IKALA was still graded as only a severe tropical storm. The microwave imagery enabled to better follow this evolution: the "open" embryonic eye that appeared in the morning of the 26th did not close up until the following night, and then reached its utmost definition in the morning of the 27th. Having gained one point on the Dvorak Scale within the previous 12 hours, IKALA was analysed as being at the minimal threshold of an intense tropical cyclone. Around the eye of an average diameter of 35 km, maximum winds were estimated to exceed 165 km/h in 10-min average (90 knots), with peak gusts at about 235 km/h. At the time of the intensity peak, the environmental conditions were already about to deteriorate rapidly. Once latitude 16°South was crossed (latitude corresponding to where the upper ridge axis was roughly positioned), the vertical windshear quickly reinforced. The strongest northwesterly winds blowing ahead of the upper trough had indeed drawn nearer as well as the related cold front which was only a few hundred km away. And the clouds in the southern part of IKALA had already merged with those of the cold front.

The cyclone being so small, it was unable to withstand this enhanced vertical windshear for long, especially since this first detrimental factor would soon be joined by another one, i.e. a powerful intrusion of cool and very dry air into the core of the cyclone via the southwestern part of the clockwise circulation. The cool dry air came from the large subsiding air pocket of non tropical origin drained behind the cold front.

This combination of post-frontal dry air injection and windshear had a devastating effect on IKALA's cloud structure which literally imploded within 12 hours. Midday of 28 March, the weakening of the system was spectacular: the convection had mostly vanished and so the low-level residual vortex became exposed. Although the meteor had just lost its status of tropical cyclone, it still generated violent winds of storm force.

Despite its decoupling from the high troposphere, IKALA was still – in terms of steering flow –, under the influence of the frontal trough now situated in its farthest southeastern sector, which kept attracting it southeastward for another 24h until the middle of the day of the 29th. Continuing to sail on that track at a speed of over 20 km/h, the low centre crossed latitude 20°South at the end of

the night of 28 March. Partly filled, it was now graded as a moderate tropical storm. While still located in the middle of the tropical field, IKALA seemed nonetheless to have already entered its extratropical transition phase. Indeed, despite the relatively low latitude, the meteorological environment was clearly baroclinic. IKALA was declared an extratropical system in the late afternoon of 29 March, at an exceptionally low latitude for the basin.

After slowing down to about 10 km/h in the morning, the meteor had changed its track during the preceding hours, having recurved towards the southwest this time. This new radical change of heading, was caused by the definite removal of the polar trough which after all, did not manage to suck it completely. After this change of course, the depression rapidly recovered a smart pace (speeding up to 30 km/h for a while in the night of 30 March). It was now heading headlong towards the powerful subtropical anticyclonic cell that spread behind the frontal trough, and whose maximum high pressure was drifting eastward about Amsterdam Island. As it was rapidly coming closer to it, the induced enhancing pressure gradient resulted in a strengthening of the winds, as far as the storm force threshold, in a large southwestern portion of the clockwise circulation, and this, despite the filling of the low.

Then the gradient started to loosen up on the 31st, as a consequence of the southeastward drifting of the anticyclonic cell and the approach of a new frontal trough from the west. Ahead of the mid-latitudes trough, a new tacking occurred in the course of the day on 31 March, and –as expected–, ex-IKALA turned off towards the southeast, as it approached latitude 30° South. This time, the depression was definitely snatched up towards the southern latitudes and kept filling ahead the new front. It finally merged with it on 3rd April and evolved into a wave of this cold front.

Even though IKALA's life-cycle occurred far off inhabited lands, it was a very interesting system. More than for its zigzagging track it will be remembered as a nice example of intensity interaction with a frontal system which precociously moved up far into the tropics.

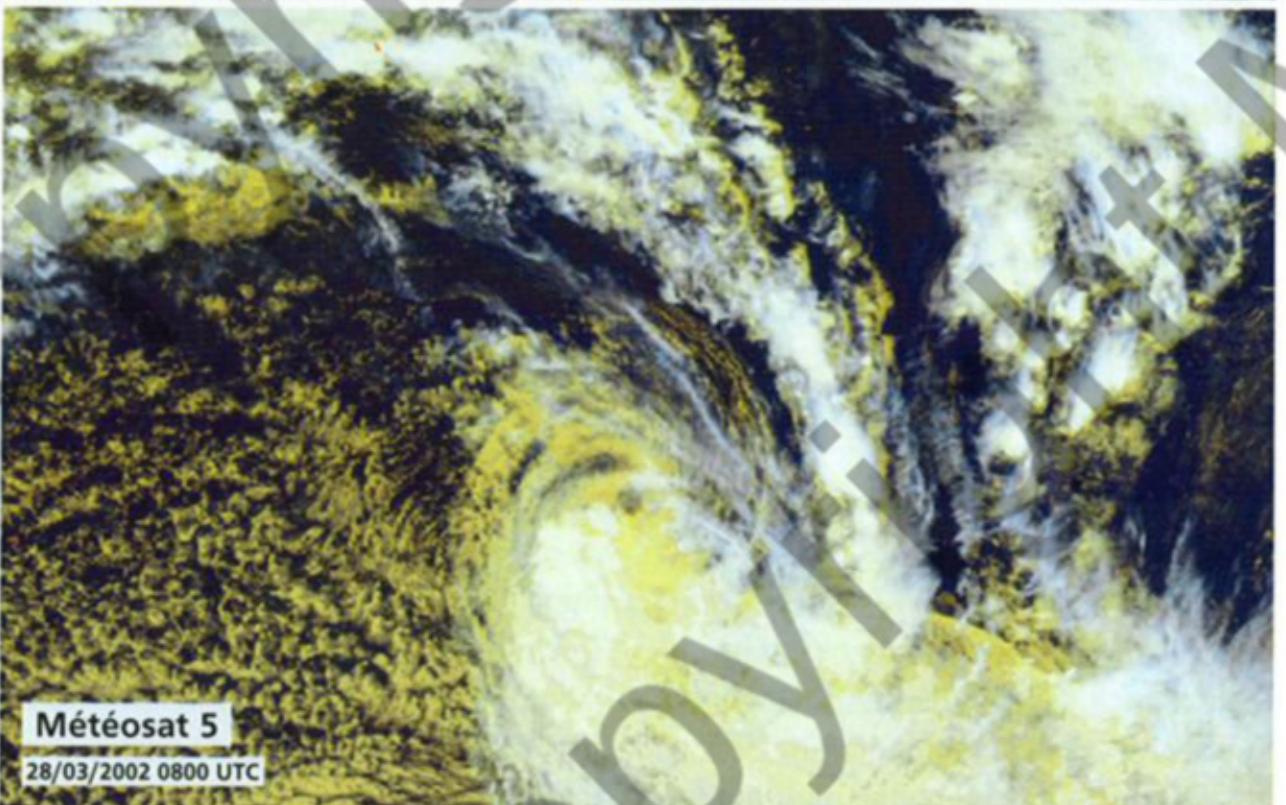
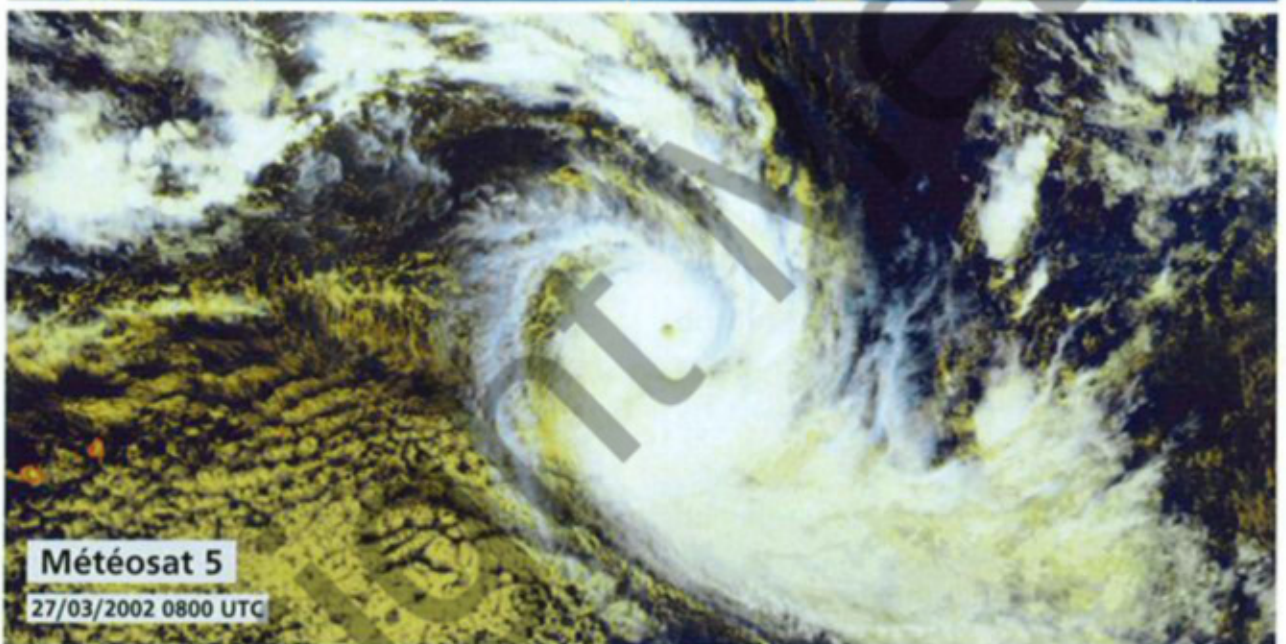
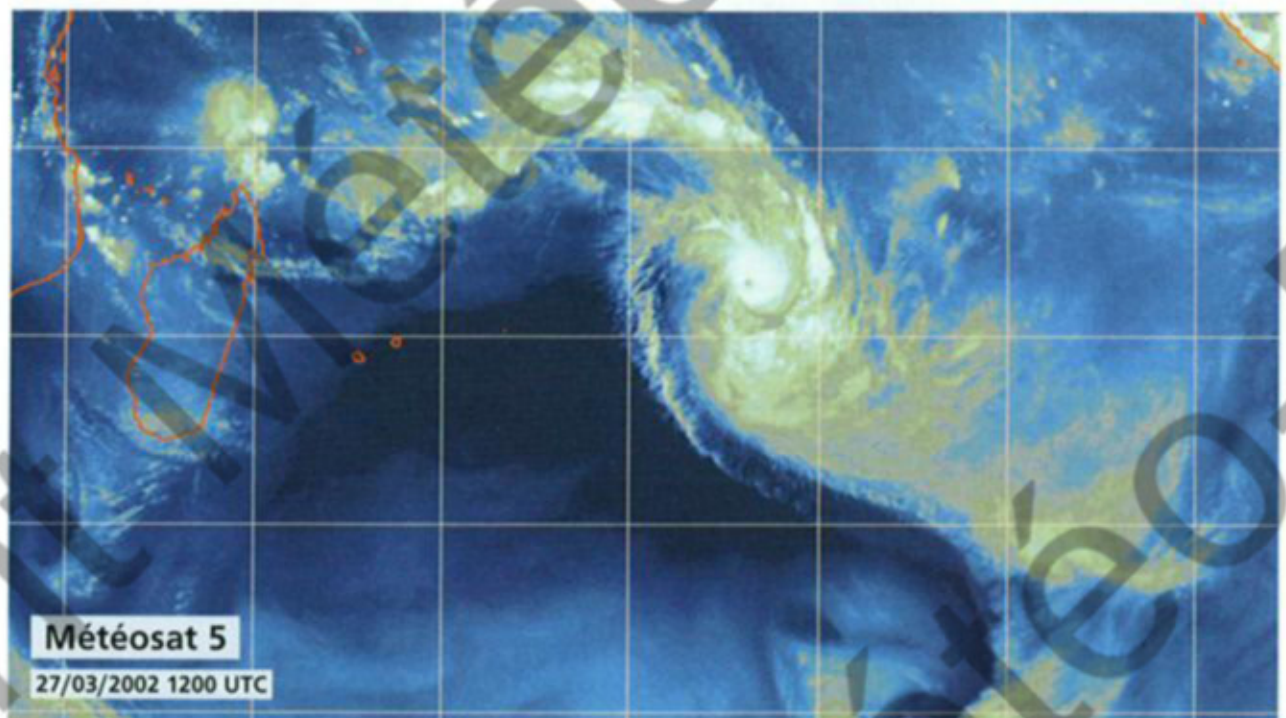
**Affaiblissement rapide du cyclone IKALA.** Sur l'image vapeur d'eau colorisée, on visualise clairement l'injection d'air sec au sein d'IKALA par l'ouest, depuis la poche d'air très sec advectée à l'arrière du front froid. Se conjuguant avec un renforcement du cisaillement vertical de vent de nord-ouest, l'entraînement de cet air sec va aboutir à la destruction rapide du cyclone (en moins de 24h).

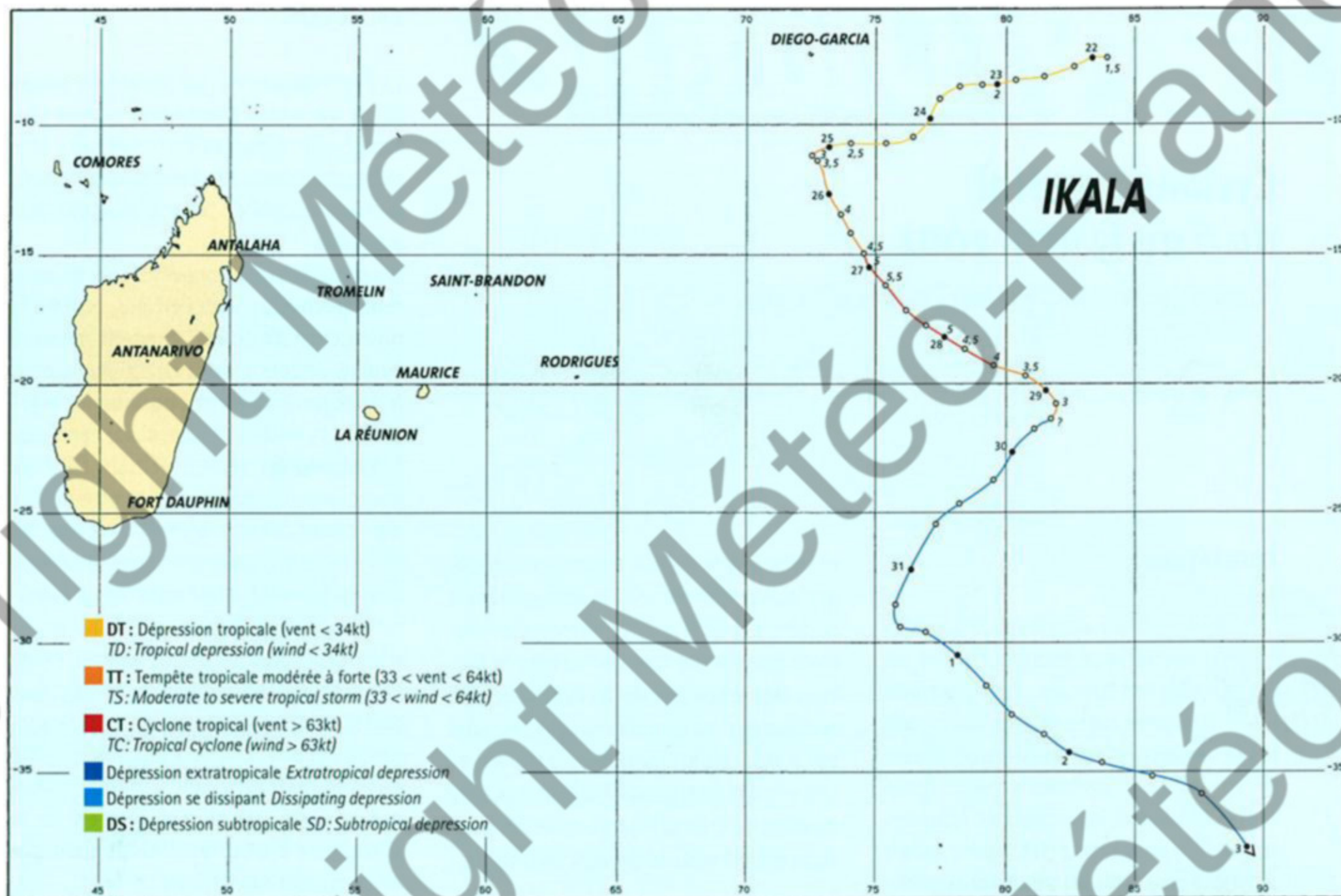
**Rapid weakening of IKALA.** The coloured water vapour picture clearly highlights the injection of dry air via the west into IKALA, this dry air coming from the large pocket advected behind the cold front. Combined with a reinforced northwesterly windshear, the entrainment of the dry air will cause the rapid decaying of the cyclone (in less than 24h).

l'approche d'un nouveau talweg frontal par l'ouest. À l'avant de ce talweg des moyennes latitudes, un nouveau changement de trajectoire intervient en cours de journée du 31 mars, l'ex-IKALA obliquant logiquement en direction du sud-est, à l'approche du 30° parallèle Sud. La dépression est cette fois « happée » irrémédiablement vers les latitudes sud et va en se comblant à l'avant de ce nouveau front. Elle fusionnera finalement

avec lui, pour évoluer en ondulation de front froid le 3 avril.

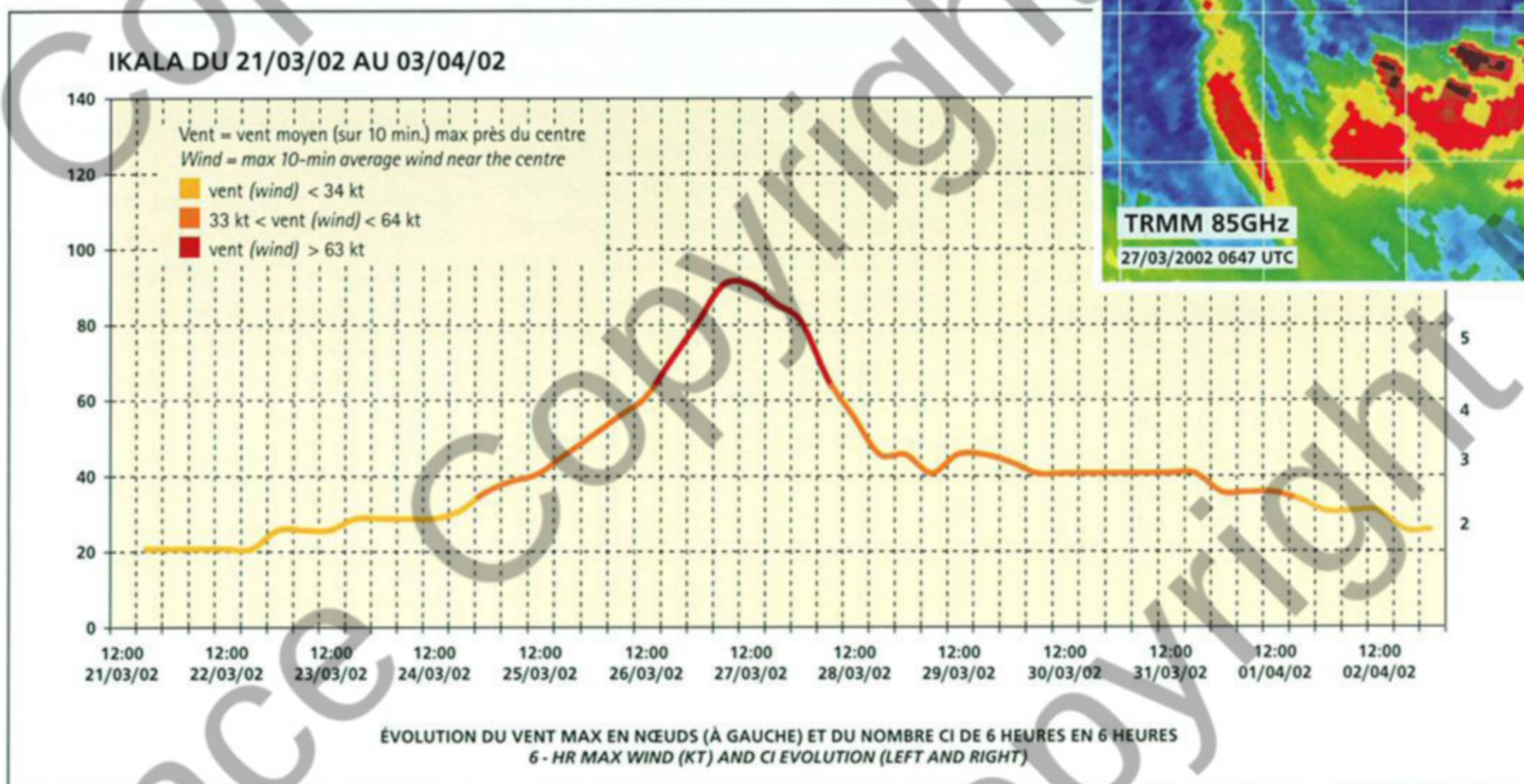
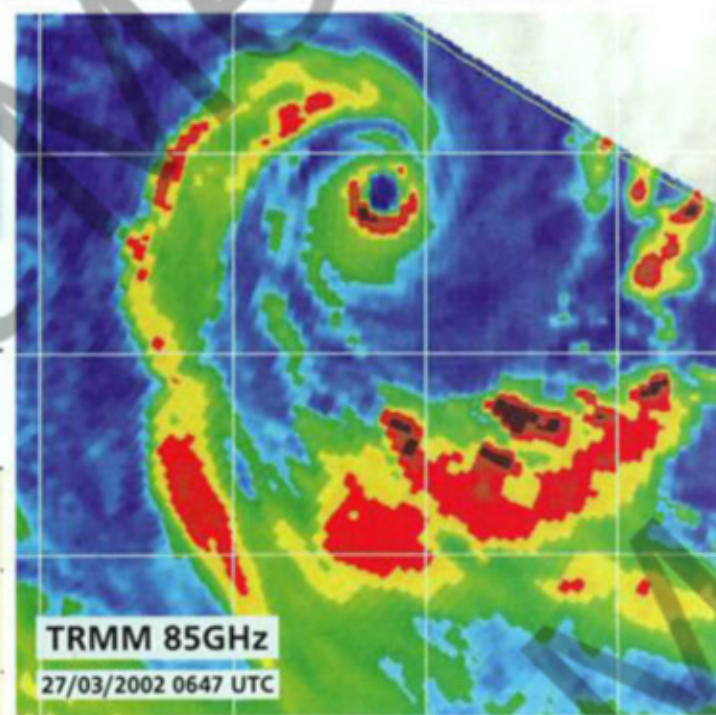
Bien qu'ayant évolué loin des terres habitées, IKALA aura constitué un système très intéressant. Plus que pour sa trajectoire zigzagante, on s'en souviendra, en effet, comme d'un bel exemple d'intensification-désintensification par interaction avec un système frontal remonté précocement jusqu'aux latitudes tropicales.





Météo France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

**IKALA au maximum de son intensité** (stade minimal de cyclone tropical intense).  
 C'est un système de petite taille : le cœur central du météore fait moins de 200 km de diamètre.  
**IKALA at peak intensity** (minimal threshold of intense tropical cyclone stage) is a small system with a central core of less than 200 km in diameter.



# Jery/Dianne

## Cyclone Tropical du 6 au 13 avril 2002

Tropical Cyclone "Dianne/Jery" (06-13 Avril 2002)

### FORMATION

En ce début avril, la fin de la saison cyclonique semble encore un objectif lointain, tant l'activité perturbée ne se relâche pas et voit les systèmes dépressionnaires continuer de s'enchaîner imperturbablement. Après l'évacuation vers les moyennes latitudes d'IKALA, il ne va, en effet, guère falloir attendre pour voir un nouveau système prendre le relais.

Dès le 4 avril, un nouveau foyer d'activité convective se développe, cette fois sur le Sud-Est de l'océan Indien, dans le sud-ouest des îles de Java et de Sumatra. Cette zone de convection est rapidement jugée suspecte, d'autant que les conditions environnementales apparaissent, en termes de cyclogenèse, très favorables.

Si l'on étudie la situation synoptique, on constate, en particulier, que la circulation de basses couches présente un maximum de convergence dans cette portion de la ZCIT, entre un flux de mousson bien établi du côté équatorial, avec une alimentation trans-équatoriale se divisant en deux branches, dont une, issue du flux d'alizé généré sur le golfe du Bengale par une cellule anticyclonique centrée, à 850 hPa, à proximité de la côte de l'État d'Orissa, vient plus spécialement converger vers notre zone d'intérêt, et un flux de secteur est très soutenu présent au sud-est et issu de la zone océanique comprise entre les côtes nord-ouest de l'Australie et l'archipel indonésien. Ce flux d'alizé, gouverné par une puissante cellule anticyclonique subtropicale centrée au sud de la Grande Baie australienne, va,

entre le 6 et le 7 avril, tendre à se propager puissamment vers l'ouest, générant du côté sud de la zone perturbée une virulente poussée de flux, qui va être le facteur déclenchant de la cyclogenèse, sachant que les conditions d'altitude sont par ailleurs plutôt favorables, avec la présence en haute troposphère d'un flux d'est modéré et très diffluent, associé à un cisaillement vertical de vent très faible.

Dès le début de journée du 6 avril, les observations de surface de pression et de vent des stations australiennes basées sur les îles Cocos et Christmas, confirment la présence d'une circulation dépressionnaire fermée autour d'un minimum de pression, alors estimé à 1 005 hPa, quasiment situé à mi-distance des deux îles. Sous l'impulsion de la forte poussée d'alizé qui vient de débiter du côté polaire, le processus de cyclogenèse est amorcé et va s'opérer très efficacement, avec un taux de creusement approchant, dès le courant de journée de ce 6 avril, 2 hPa de baisse toutes les 6h. Parallèlement, ce creusement de la circulation dépressionnaire s'accompagne d'une organisation tourbillonnaire croissante des masses nuageuses convectives.

Le stade de tempête tropicale est atteint en fin de matinée du 7 et le Centre australien d'Avertissements de Cyclones Tropicaux de Perth baptise en conséquence le météore du nom de DIANNE, en fin de matinée. Le minimum dépressionnaire, qui se décale alors à une vingtaine de km/h en direction de l'ouest-sud-ouest, transite dans la foulée non loin au sud-est de l'île Cocos.

### ÉVOLUTION

La perturbation va, sur sa lancée, poursuivre son intensification à un rythme plus rapide que la normale et connaître une phase de développement l'amenant ainsi au stade de cyclone tropical moins de 30h plus tard.

Les paramètres environnementaux demeurent, en effet, au vert. Certains, comme la divergence d'altitude, tendent même à évoluer encore plus favorablement pour le météore. Initialement positionnée légèrement au nord du centre d'une cellule de hauts géopotentiels en altitude, DIANNE contourne progressivement cette cellule par le nord-ouest et tend à se rapprocher de l'axe de la dorsale d'altitude, de même que du puissant jet de nord-ouest circulant sur sa façade sud-ouest (à l'avant d'une dépression d'altitude isolée en « cut-off »). Ce jet agit à distance en tant que puissant canal d'évacuation du flux sortant d'altitude de la perturbation (du côté polaire). Avec cette configuration classique et dopée par ce renforcement de la divergence d'altitude, DIANNE continue de se creuser rapidement.

Au sein de l'amas nuageux central dense de petite taille (moins de 200 km de diamètre moyen) entourant le centre, on commence à deviner, à compter de la fin de nuit du 7 au 8 avril, la formation d'un œil de très petite dimension (moins de 20 km de diamètre), à peine esquissé, que ce soit sur l'imagerie micro-onde ou classique. Avec une telle configuration nuageuse, DIANNE est analysée au stade supérieur de la forte tempête tropicale à la mi-journée du 8.

Canalisée sur la façade nord de la dorsale de moyenne troposphère issue du continent australien, la tempête poursuit dans le même temps son déplacement à vitesse très soutenue (près de 30 km/h de vitesse moyenne dans la nuit du 7 au 8), sur une trajectoire en direction de l'ouest-sud-ouest. Bien qu'ayant ralenti à environ 20 km/h en journée du 8, DIANNE se rapproche inexorablement du 90° méridien Est, qui constitue la frontière de séparation virtuelle entre les bassins du Sud-Est et du Sud-Ouest de l'océan Indien. Le changement de zone de responsabilité intervient en milieu de nuit du 8 au 9 avril. Le météore a entre-temps atteint le stade de cyclone tropical, en fin de journée du 8.

Météosat 5

08/04/2002 0430 UTC

Météosat 5

09/04/2002 0730 UTC

La forte tempête tropicale **DIANNE** (image visible de gauche : noter la présence de l'œil de dimension très réduite qui vient de se former au cœur du météore) devient le cyclone tropical **JERY** le lendemain après avoir franchi le 90° méridien Est (œil occulté).

Severe tropical storm **DIANNE** (visible image left: notice the presence of the recently formed very small and partly cloud filled eye) becomes tropical cyclone **JERY** once having crossed longitude 90° East (eye now completely filled).

L'ex-DIANNE, désormais renommé JERY, est associé à une circulation dépressionnaire très dissymétrique. Comme conséquence de la présence au sud d'une cellule anticyclonique subtropicale assez puissante, le gradient de vent est accentué dans le demi-cercle sud du système, d'où une extension des vents forts nettement supérieure (plus de 300 km d'extension horizontale pour le coup de vent).

Le franchissement du 90° méridien Est a marqué peu ou prou la fin de la phase d'intensification de la perturbation. Bien que se situant encore au nord de l'axe de la dorsale d'altitude, le météore a cessé de bénéficier de conditions environnementales optimales. Si la divergence d'altitude demeure très bonne, le cisaillement vertical de vent a commencé lui de se renforcer. Bien qu'encore très modérée, la contrainte associée est suffisante pour contraindre l'intensité du météore à marquer un pallier. Cette intensité stabilisée va se maintenir durant plus de 24h. Un léger regain d'organisation dans l'après-midi du 9, permet même de créditer JERY d'un léger supplément d'intensité. À ce stade, considéré comme son maximum d'intensité, JERY est un cyclone tropical mature associé à des vents maximaux estimés approcher les 150 km/h en vents moyens sur 10 min et les 210 km/h en rafale.

Après avoir adopté un cap sud-ouest au franchissement du 90° méridien Est, JERY a désormais ralenti et commencé d'incurver progressivement vers le sud. Contournant la dorsale présente dans son secteur est en moyenne et haute troposphère, le

#### FORMATION

*At the beginning of April, the end of the cyclone season still looked far ahead with an ongoing disturbed activity and an uninterrupted succession of depression systems. After IKALA's evacuation to the mid-latitudes, the lull turned out to be very brief before activity resumed leading to the emergence of a new system.*

*As early as 4 April, a new area of brewing convective activity developed, over the SouthEast Indian Ocean this time, in an area considered to be a convective hot spot climatology-wise, i.e. the area situated southwest of Java and Sumatra Islands. This area was soon deemed suspect given the environmental conditions very conducive to cyclogenesis.*

*When studying the synoptic situation, one could especially observe that the low-level circulation was associated to a maximum of convergence in this ITCZ's portion, between a well-established monsoon flow on the equatorial side, with a trans-equatorial flow split into two branches with one coming from the trade wind flow generated over the Bay of Bengal by an anticyclonic cell centred, at 850 hPa, near the coast of Orissa, and converging more definitely into our area of interest, and a strong easterly flow present to the southeast and stemming from the ocean zone between northwest AUSTRALIA and the Malay Archipelago. This latter trade wind flow, which was governed by a powerful subtropical anticyclone centred in the south of the Great Australian Bight, tended between 6 and 7 April to spread extensively towards the west, generating on the southern side of the disturbed area a very potent surge*

*which was the triggering factor of the cyclogenesis, as upper conditions were incidentally rather favourable with a moderate and diffluent easterly flow in the upper troposphere related to a very weak vertical windshear.*

*In the early morning of 6 April, pressure and wind surface observations from the Australian stations of Cocos and Christmas Islands confirmed the presence of a clockwise circulation around a low centre, estimated then at 1005 hPa and roughly situated halfway between the islands. Under the impulse of the strong trade winds that had just started to surge on the polar side, the cyclogenesis process began and proceeded very efficiently, with a deepening rate close to minus 2 hPa every 6 hours in the course of the day on 6 April. Simultaneously the satellite imagery displayed an increasing swirling organisation of convective cloud clumps. As a result, by the morning of the 7<sup>th</sup>, a well-shaped curved band had already formed, leading the system to be classified as a tropical depression. The moderate tropical storm stage followed soon afterwards and so Perth's Tropical Cyclones Warning Centre named the meteor DIANNE in the late morning. The low centre, which at the time was moving at 20 km/h towards the west-southwest, transited straight afterwards not far from the southeast of Cocos Islands.*

#### EVOLUTION

*As the same conditions continued to cause the same effects, the disturbance kept on intensifying more quickly than normal and went*

through a developing phase that brought it to the stage of tropical cyclone less than 30 hours later. Environmental parameters remained very favourable indeed. Some of them, namely the upper divergence, even improved. Initially positioned slightly north of the centre of a high geopotentials cell in altitude, DIANNE skirted around this cell progressively via the northwest and was thereby getting closer to the upper ridge axis and also to the powerful northwesterly jet flowing on its southwestern flank (ahead of a cut-off low). The jet acted from a distance as a strong poleward evacuation channel for the upper outflow of the storm. With this classic configuration and boosted by the enhanced upper divergence, DIANNE continued to deepen rapidly.

A tiny formative eye became barely discernible, by the end of the night of 7 April, within the small central dense overcast (under 200 km in diameter) surrounding the centre, on both the microwave and classical satellite pictures. Given the cloud configuration, DIANNE was ranked at the upper level of severe tropical storm stage by mid-day of the 8<sup>th</sup>.

Steered along the northern side of the mid-tropospheric ridge spanning from Australia, the storm went on moving at a sustained pace (close to 30 km/h average speed in the night of 7<sup>th</sup>) on a west-southwestward track. Although it had slowed down to about 20 km/h during the day on 8 April, DIANNE was inexorably getting closer to longitude 90°East, the virtual border-line between the SouthEast and SouthWest Indian Ocean basins. The responsibility was handed halfway through the night on 8 April.

Meanwhile, the meteor had reached the tropical cyclone stage by the late afternoon of the 8<sup>th</sup>. Ex-DIANNE now renamed JERY, was associated with a very dissymmetric clockwise circulation. As a result to the presence in the south of quite a powerful anticyclonic subtropical cell, the wind gradient was pronounced in the southern semi-circle of the system, hence a much greater extension of strong winds (over 300 km of horizontal extension of gale force winds). The crossing of longitude 90°East roughly corresponded to the ending of the intensification phase of the disturbance. While still positioned north of the upper ridge axis, the meteor no longer benefited from optimal environmental conditions. The upper divergence was still very good but the vertical windshear started to reinforce. While still moderate, the related constraint was strong enough to restrict the

intensity of the meteor. The intensity ceiling stabilised for more than 24 hours. A slight gain of organisation in the afternoon of the 9<sup>th</sup> earned JERY the credit for a slight intensity increase though. At that stage, considered to be the peak of intensity, JERY was a mature tropical cyclone associated to maximum winds close to 150 km/h in 10-min average and to 210 km/h in gusts.

After assuming a southwest track when crossing longitude 90°East, JERY slowed down and started bending progressively southwards. Skirting round the ridge located in its eastern sector in the mid and high troposphere, the cyclone reached the furthest western point of its path in the early day of 10 April, near latitude 19°South.

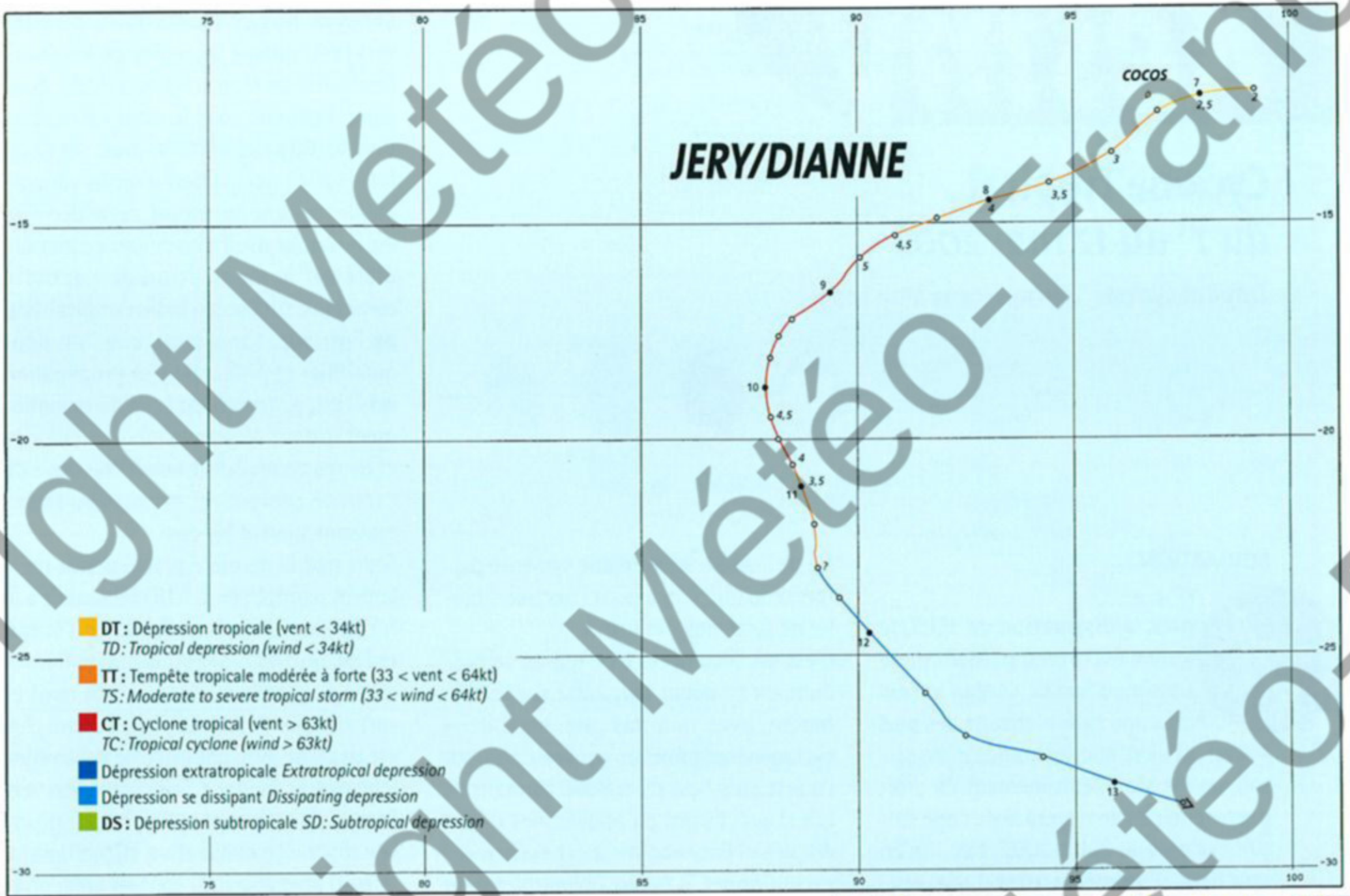
Since the previous night, an incipient weakening through increasing northwesterly vertical windshear started to be felt and became more obvious over the next few hours, especially on the microwave imagery. JERY was steadily losing shape as the convection lost structure and disconnected little by little from the low-level circulation. By the evening of 10 April, JERY had lost its tropical cyclone status, which only lasted 48 hours, and was downgraded to moderate tropical storm stage in the morning on 11 April. The convection had been mostly shattered and the residual low-level vortex appeared completely exposed on the satellite imagery. JERY lost its tropical identity from then on and was declared an extratropical system in the late afternoon, while its low centre was still moving in the middle of the tropical domain.

While it had been travelling for over 24 hours on a south-southeastward track, the meteor at the time assumed a more straightforward southeast heading as a reaction to the adjustment of the steering flow under the main influence of an approaching mid-latitudes trough from the southwest. It was on that track that ex-JERY crossed longitude 90°East again at the end of the night of 11 April. Even though there were still gales, essentially by gradient effect, in the southeastern quadrant of the circulation, it was a filling low that had returned into Perth's area of responsibility and which would start to dissipate on 13 April, near latitude 30°South. Third and last system of the season that initially developed over the SouthEast Indian Ocean, JERY shall be remembered as a classic -except for its rapid cyclogenesis- system both in terms of intensity and track (nearly parabolic).

cyclone atteint le point le plus occidental de sa trajectoire en début de journée du 10 avril, au niveau du 19° parallèle Sud. Depuis la veille au soir, les prémices d'un début d'affaiblissement, par cisaillement vertical de vent de nord-ouest croissant, ont commencé de se faire sentir, devenant de plus en plus patents au fil des heures, plus particulièrement sur l'imagerie micro-onde. Lentement, mais sûrement, JERY commence à perdre de l'allure, à mesure que la convection se déstructure et se découple très progressivement de la circulation de basses couches. Il perd son statut de cyclone tropical en soirée du 10 avril, statut qu'il n'aura donc conservé que 48h durant, puis est déclassé en tempête tropicale modérée en fin de matinée du 11. La convection s'est désormais désintégrée pour l'essentiel et le vortex résiduel de basses couches apparaît entièrement visible sur l'imagerie satellitaire. JERY abandonne dès lors très vite son caractère tropical et est finalement déclaré extratropical, en fin de journée, alors que son centre dépressionnaire évolue pourtant toujours au cœur du domaine tropical.

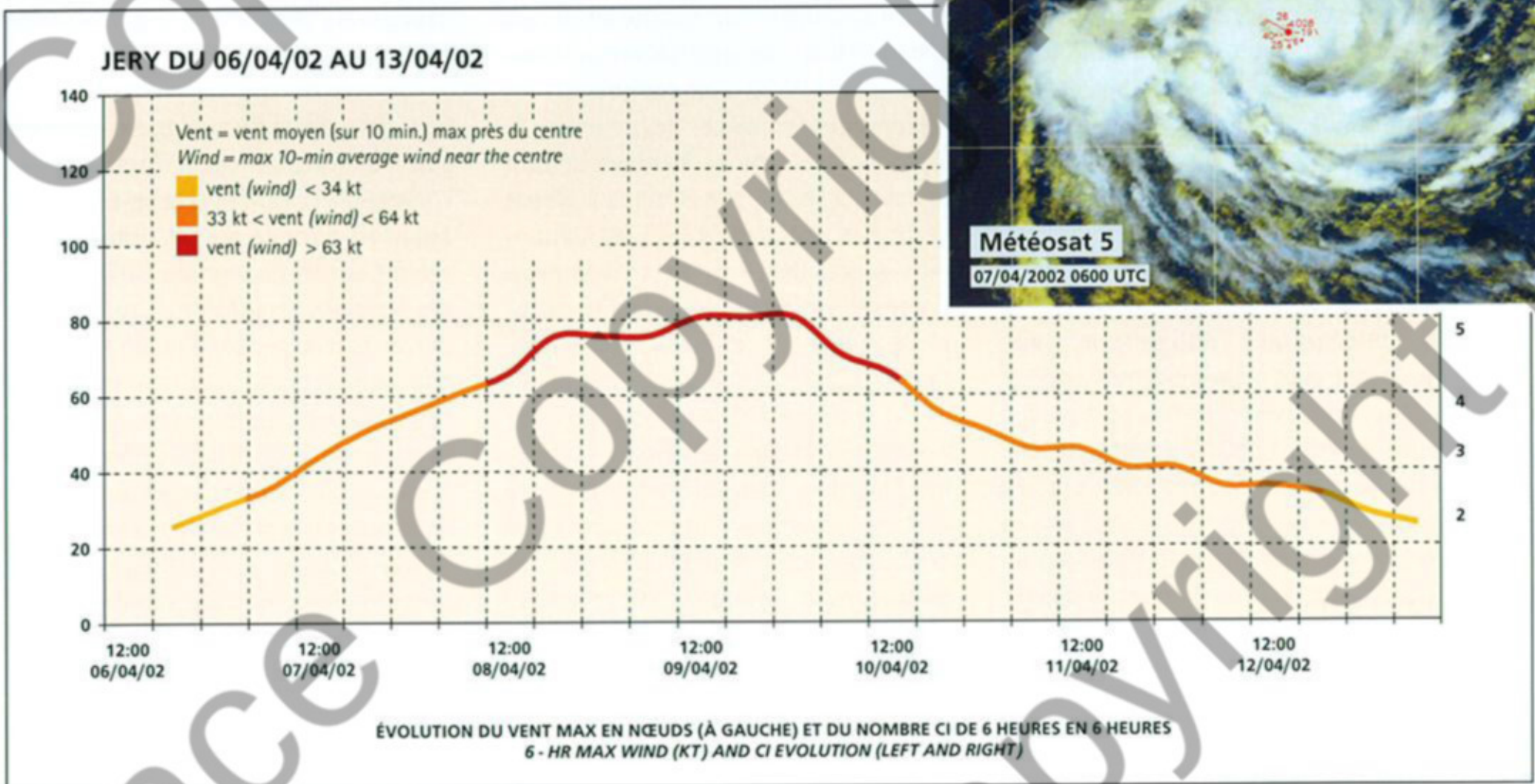
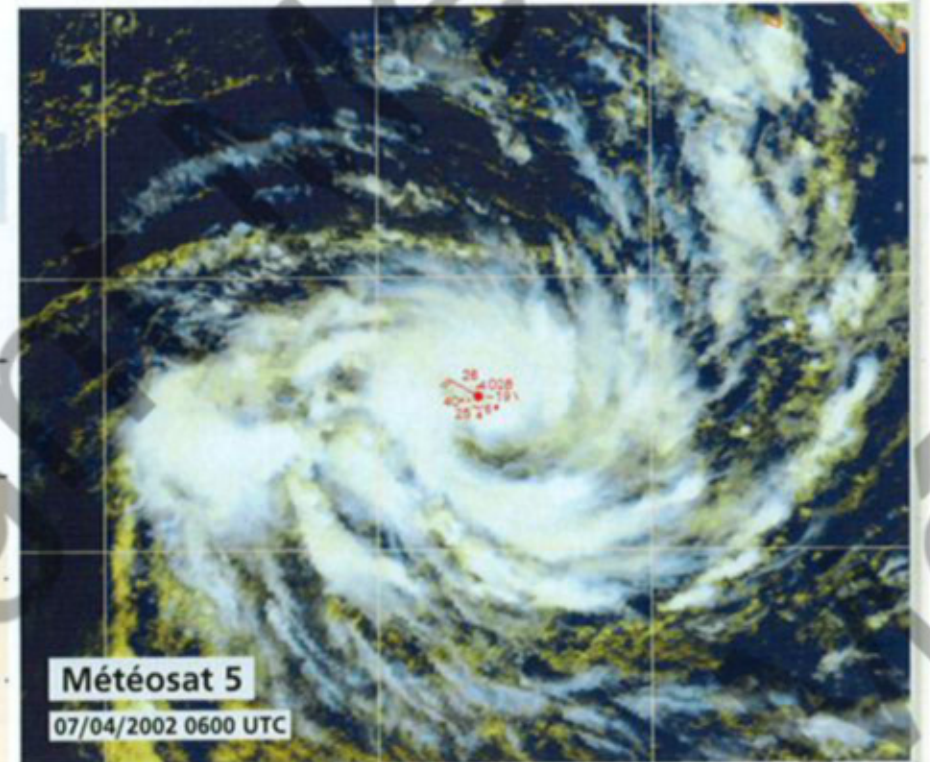
Alors qu'il progressait depuis plus de 24h à une allure modérée sur un cap établi au sud-sud-est, le météore adopte au même moment un cap plus franchement sud-est. Il répond ainsi à un ajustement du flux directeur, pour bonne part dicté par l'influence de l'approche d'un talweg des moyennes latitudes se présentant au sud-ouest. C'est sur ce cap que l'ex-JERY retransverse le 90° méridien Est en fin de nuit du 11 au 12. Même si du coup de vent est encore présent, essentiellement par effet de gradient dans le quadrant sud-est de sa circulation, c'est un minimum dépressionnaire en voie de comblement qui est de retour dans le domaine de responsabilité de Perth, puis en voie de dissipation le 13 avril aux abords du 30° parallèle Sud.

Troisième et dernier système dépressionnaire de la saison s'étant initialement développé sur le Sud-Est de l'océan Indien, on retiendra JERY comme ayant connu, hormis sa cyclogenèse rapide, une évolution des plus classiques, que ce soit en intensité ou en termes de trajectoire (pseudo-parabolique).



Météo France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

DIANNE, qui vient juste d'être nommée, passe à proximité de l'île Cocos au stade minimal de tempête tropicale.  
The recently named DIANNE at the time it passed in close vicinity of Cocos Island at minimal tropical storm stage.



# Kesiny

## Cyclone Tropical du 1<sup>er</sup> au 12 mai 2002

*Tropical Cyclone "Kesiny" (01-12 May 2002)*

### FORMATION

**A**près la dissipation de JERY, le calme est revenu mi-avril sur le bassin du Sud de l'océan Indien.

Après une saison chaude des plus actives, et alors que se profile l'inter-saison, on est alors légitimement en droit d'espérer qu'on en restera là de cette saison cyclonique 2001-2002. Las, il n'en sera rien... Pire même, c'est à une véritable « flambée » de l'activité perturbée à laquelle on va avoir droit début mai, « embrasant » l'océan Indien tout entier, avec l'éclosion en cascade de pas moins de quatre systèmes dépressionnaires de part et d'autre de l'équateur. Considérées dans leur globalité, les conditions et modalités de ces cyclogenèses, ainsi que leurs conséquences, ont pris une tournure que l'on peut qualifier de réellement extra-ordinaire.

Les mois d'inter-saison, tels que le mois de mai, constituent traditionnellement les périodes maximales d'activité cyclonique dans l'océan Indien Nord, faisant la spécificité de ce bassin. Mais que ce soit au printemps ou à l'automne, le risque cyclonique peut alors concerner les deux hémisphères, avec généralement la présence d'une ZCIT dédoublée, les deux talwegs de surface associés étant séparés par une zone de vents d'ouest soufflant au voisinage de l'équateur. Cette situation, que l'on peut également observer dans le Pacifique Ouest, débouche de temps à autre sur le déclenchement de cyclogenèses jumelles, deux systèmes dépressionnaires se formant alors, de manière plus ou moins concomitante, de part et d'au-

tre de l'équateur, avec une symétrie parfois telle que l'on a pu à l'occasion parler de systèmes « miroirs ».

C'est en l'occurrence ce qui va se produire en ce début mai 2002 sur l'océan Indien, avec non pas une, mais deux cyclogenèses jumelles consécutives, sur l'ouest puis l'est du bassin, formant ce que d'aucuns ont pu appeler des « quadruplés » ! Pour aboutir à cet événement exceptionnel, il fallait obligatoirement des circonstances qui sortent de l'ordinaire. L'élément moteur ayant été capable de générer un tel enchaînement de cyclogenèses en cascades, si tant est qu'il existât, devait forcément être quelque chose de très puissant. Il y a quelques années, on se serait perdu en conjectures sur son origine. On dispose désormais d'éléments de réponse, même si beaucoup reste à faire pour comprendre les mécanismes complexes mis en jeu.

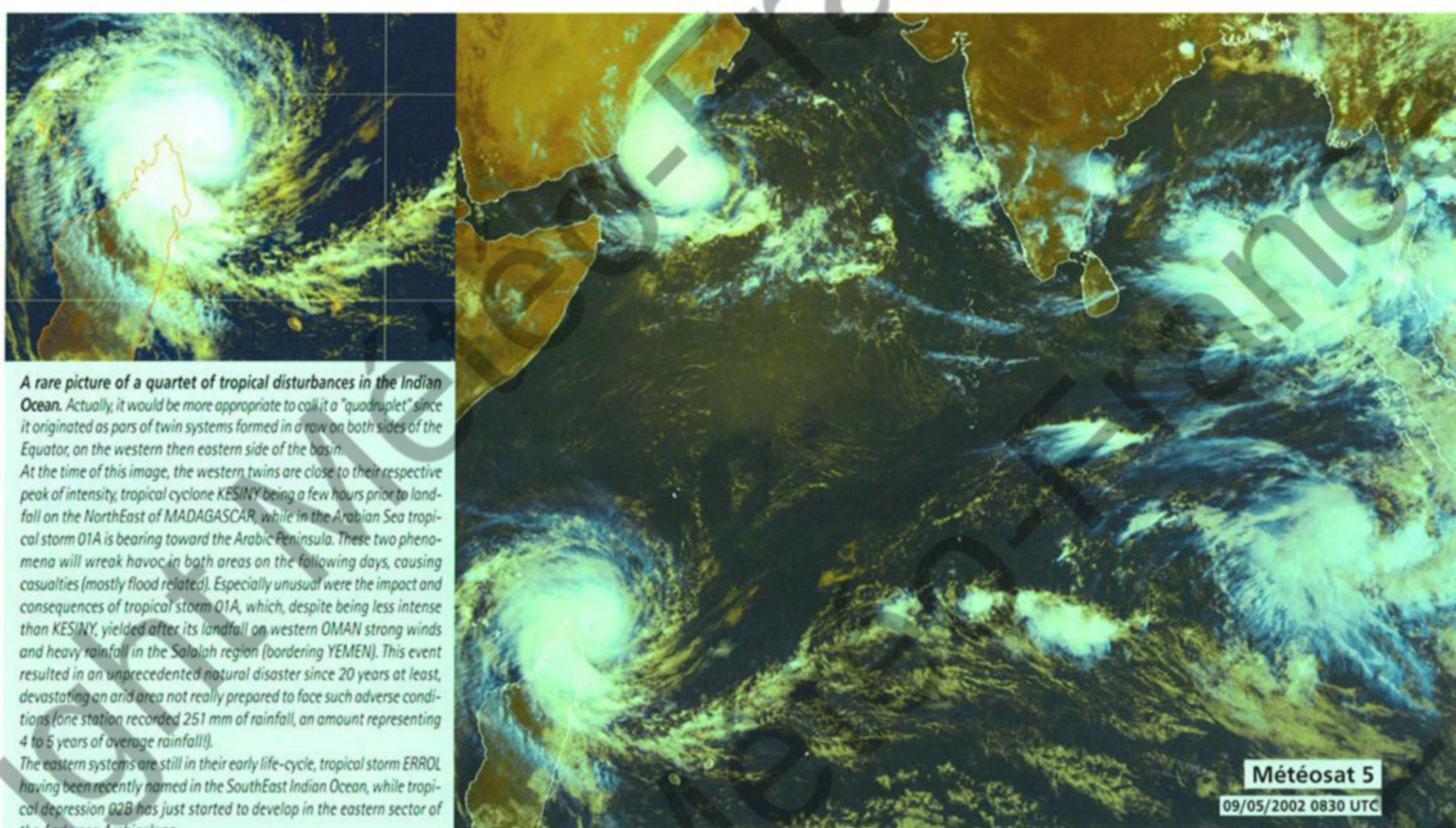
Ces débuts de réponse viennent de tout le travail de recherche effectué à propos de ce que l'on appelle les « oscillations intra-saisonnières ». On s'était longtemps interrogé sur le fait que l'activité cyclonique connaissait des fluctuations importantes au cours d'une saison, des périodes d'intense activité pouvant par exemple succéder à des périodes totalement inactives. Il apparaît désormais avéré que ces fluctuations sont pour bonne part la conséquence de la modulation de l'activité convective par un jeu complexe d'ondes tropicales circulant dans l'atmosphère au voisinage de l'équateur, ondes de gravité (comme les ondes mixtes de Rossby) ou autres. Parmi ces ondes, certaines circulent vers l'ouest, comme les

ondes de Rossby équatoriales, d'autres vers l'est, comme les ondes de Kelvin ou l'oscillation de Madden-Julian (MJO). Également connue sous le nom « d'oscillation 40-60 jours » (30-70 jours serait en fait plus en adéquation avec la variabilité de sa durée de retour), cette dernière est reconnue avoir une influence primordiale sur la modulation de l'activité convective sur l'océan Indien tropical. Issu de l'Afrique, son signal, que l'on peut quantifier et pister, dans sa propagation vers l'est, au travers du suivi du rayonnement sortant de grande longueur d'onde et de ses anomalies (traceur classique de l'activité convective), est plus ou moins puissant suivant les cas.

Alors que la dernière phase active réellement marquée de la MJO remontait à la fin janvier sur le Sud-Ouest de l'océan Indien, une nouvelle pulsation extrêmement puissante va survenir fin avril et surtout début mai. Se propageant qui plus est en phase avec une onde de Kelvin également très affirmée, sa progression vers l'est va s'accompagner d'une forte poussée d'activité convective sur le bassin, terreau favorable d'où vont émerger quatre systèmes dépressionnaires à la file, sur l'ouest puis l'est du bassin, et ce de manière quasiment symétrique dans chaque hémisphère. La première de ces cyclogenèses produites dans le sillage de cette onde de Madden-Julian, va intervenir dans le Sud-Ouest de l'océan Indien. Elle aboutira au phénomène le plus durable et le plus puissant.

C'est donc dès la fin avril que commence à se manifester le regain d'activité de la convection. Le talweg proche-équatorial apparaît dans le même temps assez affirmé sur les champs de surface, avec des pressions assez basses. Une observation de bateau permet ainsi de valider un minimum de pression de l'ordre de 1004 hPa le 30 avril, dans le secteur ouest de l'archipel des CHAGOS. Le lendemain 1<sup>er</sup> mai, la convection gagne de l'ampleur. De la vaste zone perturbée qui s'étire alors de 60 à 80°Est entre l'équateur et 12°Sud, un point focal émerge rapidement, à moins de 300 km à l'ouest de l'île de Diego-Garcia. Associé au principal foyer d'activité convective présent dans la nuit du 1<sup>er</sup> au 2 mai, c'est autour de lui que commencent à s'organiser des débuts de





A rare picture of a quartet of tropical disturbances in the Indian Ocean. Actually, it would be more appropriate to call it a "quadruplet" since it originated as pairs of twin systems formed in a row on both sides of the Equator, on the western then eastern side of the basin.

At the time of this image, the western twins are close to their respective peak of intensity, tropical cyclone KESINY being a few hours prior to landfall on the NorthEast of MADAGASCAR, while in the Arabian Sea tropical storm O1A is bearing toward the Arabic Peninsula. These two phenomena will wreak havoc in both areas on the following days, causing casualties (mostly flood related). Especially unusual were the impact and consequences of tropical storm O1A, which, despite being less intense than KESINY, yielded after its landfall on western OMAN strong winds and heavy rainfall in the Salalah region (bordering YEMEN). This event resulted in an unprecedented natural disaster since 20 years at least, devastating an arid area not really prepared to face such adverse conditions (one station recorded 251 mm of rainfall, an amount representing 4 to 5 years of average rainfall!).

The eastern systems are still in their early life-cycle, tropical storm ERROL having been recently named in the SouthEast Indian Ocean, while tropical depression 02B has just started to develop in the eastern sector of the Andaman Archipelago.

**L'image rare d'un quatuor de perturbations sur l'océan Indien tropical.** Ce que l'on pourrait également appeler des « quadruplés », correspondent en fait à deux paires de perturbations jumelles nées en cascade de part et d'autre de l'équateur, sur l'Ouest, puis l'Est du bassin.

Les jumeaux de l'ouest sont alors proches de leur maximum d'intensité, le cyclone tropical KESINY étant sur le point d'atterrir sur le Nord-Est de MADAGASCAR, tandis qu'en mer d'Arabie la tempête tropicale O1A se rapproche de la péninsule arabe. Ces deux phénomènes feront les jours suivants de gros dégâts et des victimes, essentiellement de part les précipitations occasionnées. Particulièrement inhabituelles auront été celles générées par la tempête O1A, qui, bien que moins intense que KESINY, aura produit, après son atterrissage sur la côte ouest d'OMAN, vents forts et fortes pluies sur le Sud de la péninsule arabe, dans la région de Salalah située non loin de la frontière avec le YEMEN. Cet événement, une catastrophe naturelle inédite depuis au moins 20 ans, aura dévasté cette zone aride peu préparée à subir de telles intempéries (une station a recueilli 251 mm de précipitations, soit l'équivalent de 4 à 5 années de pluviométrie moyenne!).

Les systèmes de l'est sont encore en début de vie, la tempête tropicale ERROL venant tout juste d'être baptisée dans le Sud-Est de l'océan Indien, tandis que dans l'océan Indien Nord la dépression 02B en est encore au stade initial de développement, dans le secteur est des îles Andaman.

courbure au sein des éléments nuageux. En fin d'après-midi du 2, cette zone suspecte devient une perturbation tropicale. La nuit suivante confirme l'organisation croissante du système, avec la convection qui vient se concentrer clairement autour d'un minimum dépressionnaire désormais bien identifié (notamment sur les données QuikScat), tandis que des éléments de courbure significatifs apparaissent dans le même temps sur l'imagerie micro-onde, amenant au classement du système en dépression tropicale à l'aube du 3 mai. Cisaillement vertical de vent faible et bonne divergence d'altitude augurent alors d'une poursuite de l'intensification, qui, masquée en journée du 3 par le cycle diurne de la convection, ne va se concrétiser de manière évidente que la nuit suivante. Prenant la forme d'un amas nuageux central dense de convection (CDO), la configuration nuageuse est analysée en tempête tropicale en fin de nuit du 3 au 4. KESINY est nommé dans la foulée.

Mais l'intensification s'opère pour l'heure à un rythme toujours assez lent. Car, bien que la perturbation évolue désormais quasiment sous l'axe de la dorsale d'altitude,

#### FORMATION

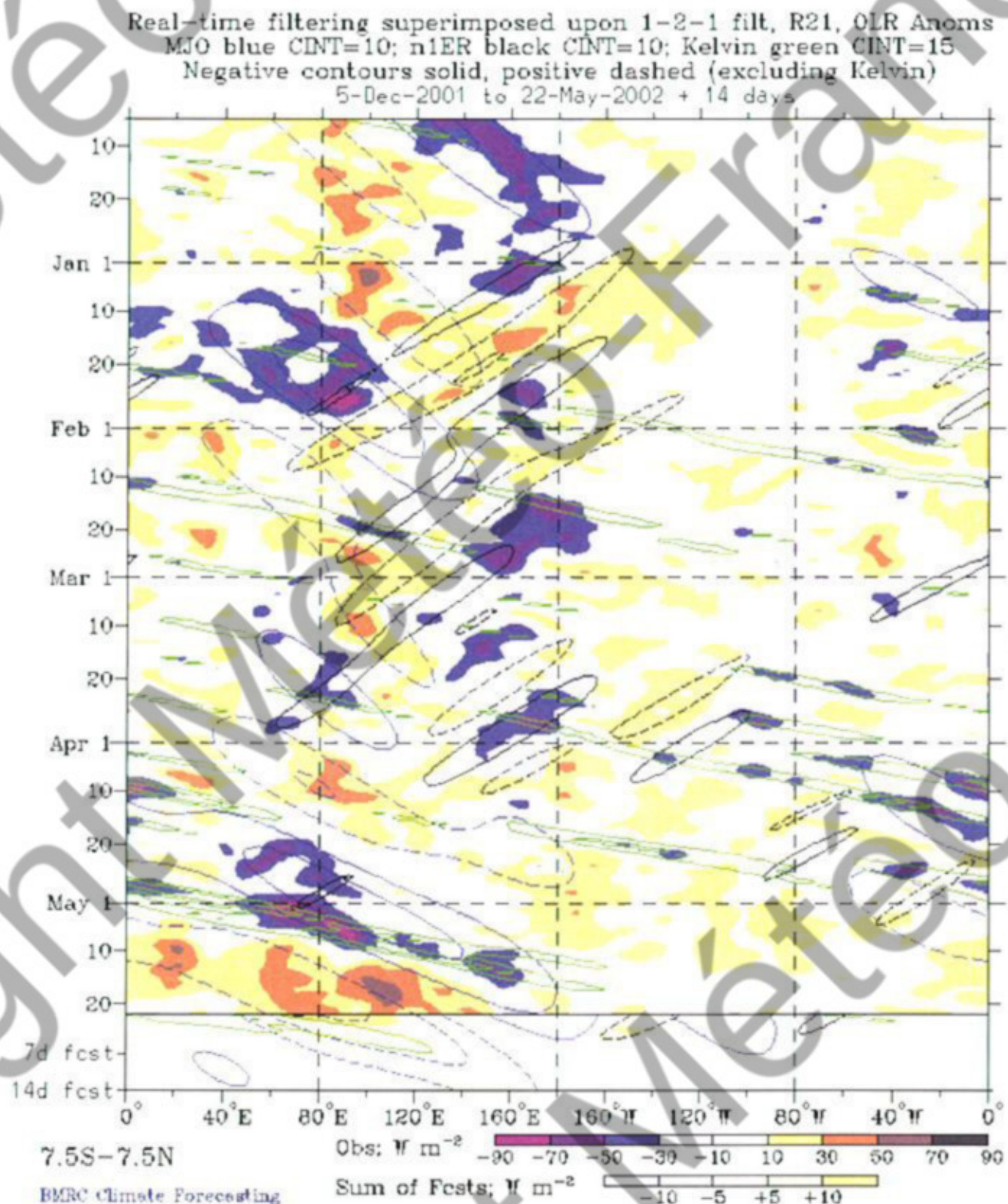
After JERY's dissipation, calm resumed in mid-April over the South Indian Ocean basin. After a very active warm season, and while the inter-season ushered in, it was quite legitimate to believe that the 2001-2002 cyclone season had come to a close with that demise. Far from it, unfortunately... It got even worse with a flare-up of disturbed activity at the beginning of May which set "fire" to the whole Indian Ocean, ablaze with a cascading break up of as many as four depression systems on either side of the equator. Considered as a whole, the modes and consequences of these cyclogenesis took a turn that could be really called extra-ordinary. Transition months of the year like May, traditionally mark the peak cyclone activity periods in the North Indian Ocean (a specific feature of this basin). But whether in spring or autumn, the cyclone risk can concern both hemispheres with usually the presence of a split ITCZ, the two related surface troughs being separated by westerly winds blowing near the equator. This situation, that can also be observed in the West Pacific, may at times activate the genesis of twin cyclones: two depression systems form -more or less simultaneously- on either side of the equator with at times, such symmetry that they look like "mirror systems".

That's what occurred at the beginning of May 2002 over the Indian Ocean, with not only one, but two consecutive geneses of twin cyclones, first over the west then the east of the basin, forming what could be called quadruples! Needless to say that such an exceptional event needed unusual circumstances. If existing, the triggering agent capable of generating such a series of cyclogenesis had to be very powerful. A few years back, one might have been unable to give any explanation. However, nowadays we have some answers even if a lot still needs to be done in order to understand the complex mechanisms involved.

The outline of an answer has been derived from research performed on the so-called "intra-seasonal oscillations". A long-standing interrogation has been to know why cyclone activity might go through important fluctuations during one cyclone season, with intense activity periods succeeding totally inactive periods for instance. There is now strong evidence that these fluctuations are mainly linked to the modulation of convective activity through complex tropical waves circulating in the atmosphere near the equator -gravity waves (such as mixed Rossby gravity waves) or others. Among these waves, some propagate towards the west -like the equatorial Rossby waves-, and others towards the east, like Kelvin waves or the Madden-Julian

oscillation (MJO). Also known as the "40 to 60 day-oscillation" (30 to 70 would be more adequate though, given the actual variability of its periodicity), this oscillation is recognised to have a primordial influence on the modulation of convective activity over the tropical Indian Ocean. Coming from Africa, its signal, which can be traced and quantified in its eastward propagation through OLR anomalies monitoring (Outgoing Longwave Radiation, a classic signature and proxy for convective activity), is more or less potent depending on the case. While the MJO's last marked active phase occurred at the end of January over the SouthWest Indian Ocean, a new extremely powerful pulse happened end of April and especially beginning of May. Spreading in phase with a very strong Kelvin wave, its eastward motion was accompanied by a burst of convective activity over the basin, an ideal breeding ground from which four successive depression systems emerged, developing nearly symmetrically in each hemisphere as two pairs of twin cyclones, first over the west then east of the basin. The first cyclogenesis left in the trail of this Madden-Julian pulse was to occur in the SouthWest Indian Ocean. It led to the strongest and most longstanding phenomenon.

So, at end of April, the convection activity revived. At the same time, the near-equatorial trough looked well defined on surface fields, with a rather low pressure. A ship observation enabled to validate a minimum of pressure of about 1004 hPa on 30 April in the western sector of the CHAGOS Archipelago. The next day, 1st May, the convection spread further. From the vast zone of disturbed weather that extended from 60 to 80° East between the equator and 12° South, a focal point emerged rapidly, less than 300 km west of Diego-Garcia. It was around that point linked to the main clump of convection present in the night of 1st May, that incipient cloud curvature started to figure. In the late afternoon of the 2nd, this suspect area turned into a tropical disturbance. The following night showed further organisation of the system with the convection clearly concentrating around the now well-identified low centre (namely on QuikScat data). At the same time, some significant banding features appeared on the microwave imagery which led the system to be classified as a tropical depression on 3rd May at dawn. A weak vertical windshear and good upper divergence augured further intensification of the system, which, hidden on the 3rd by the diurnal cycle of



Ce diagramme spatio-temporel de type Hovmöller représente les anomalies (positives en orange, négatives en bleu) du rayonnement sortant de grande longueur d'onde (OLR) observées dans la bande équatoriale durant la saison chaude 2001-2002 (décembre à mai). Correspondant respectivement aux périodes où l'activité convective a été plutôt réduite ou au contraire supérieure à la normale, leur ont été superposées les différentes ondes équatoriales filtrées repérées durant cette période : Madden-Julian en bleu, Kelvin en vert, onde équatoriale de Rossby n=1 en noir (les traits pleins - resp. tiretés - indiquant les phases actives - resp. inactives - associées à ces ondes).

On notera, outre la première phase active de Madden-Julian (MJO) observée en janvier (et contrariée dans sa propagation vers l'est au niveau de la zone australo-indonésienne par une onde de Rossby en phase inactive), celle particulièrement puissante ayant sévi début mai. Remarquer la conjonction vers le 1<sup>er</sup> mai de la MJO avec une onde de Kelvin, ainsi qu'avec le signal - nettement plus faible - d'une onde de Rossby, au voisinage de 65° Est. C'est précisément de la forte activité convective induite dans ce secteur, qu'allait naître le futur cyclone KESINY, puis son « jumeau » dans l'hémisphère opposé, la tempête tropicale 01A.

On this time-longitude Hovmöller diagram of OLR (Outgoing Longwave Radiation) anomalies for the December 2001 to May 2002 period are plotted (positive anomalies in orange correspond to rather suppressed convective activity while blue negative anomalies correspond to above normal convective activity). Superimposed are drawn the different filtered convectively coupled equatorial waves observed during this period (solid contours are for active phase while dashed ones are for the inactive): the Madden-Julian Oscillation (MJO) in blue, Kelvin waves in green and n=1 Equatorial Rossby (ER) waves in black.

Apart from the first active phase of the MJO observed in January (and overwhelmed in the Australian and Indonesian region by a negative phase of an ER wave), one can notice the extremely powerful MJO active pulse that took place end of April to early May. The conjunction around 1st May of the MJO with a Kelvin wave and with a much weaker ER wave near 65° East was quite remarkable and was responsible for the drastic flare-up of convection in this area which led to the genesis of to-become tropical cyclone KESINY and later on of tropical storm 01A, its twin counterpart in the opposite hemisphere. (Courtesy BoM, BRMC Climatology)

the convection, only materialised on the following night. Assuming the shape of a central dense overcast (CDO), the cloud configuration was analysed as a tropical storm in the early morning of the 4th. Accordingly KESINY was named straight afterwards. The intensification's pace was still quite slow at

dans un environnement très faiblement cisailé, on doit faire le constat que la mise en phase entre la convection et le centre de la circulation de basses couches n'est pas encore optimale (avec un positionnement du minimum dépressionnaire en marge orientale de la convection).

## ÉVOLUTION

Alors que depuis son origine le système dépressionnaire tendait à se décaler en direction générale du sud-est (le poids du puissant courant d'ouest équatorial régnant en basses couches étant alors prépondérant en termes de flux directeur), un changement de trajectoire est intervenu concomitamment au baptême, la tempête incurvant, à l'approche du 10<sup>e</sup> parallèle Sud, en direction de l'ouest-sud-ouest au contact de la cellule anticyclonique subtropicale présente au sud.

Si le courant d'alizé circulant sur la façade septentrionale de ces hautes pressions subtropicales va dicter dorénavant le déplacement de KESINY, son influence ne se limite pas à la trajectoire du météore. En effet, tandis que la perturbation commence à accélérer, sa vitesse de déplacement culminant à plus de 20 km/h dans l'après-midi du 5 mai, on observe parallèlement le début d'une phase d'intensification plus franche de la tempête, cette nouvelle impulsion pouvant être en partie attribuable à l'apport de vorticités induit par la poussée d'alizé depuis le sud.

Toujours est-il que les 24h suivantes vont voir KESINY se creuser à un rythme nettement plus soutenu, proche de la norme climatologique. Le CDO, désormais en phase avec le minimum dépressionnaire, tend à s'élargir. Puis l'imagerie micro-onde révèle qu'un œil ouvert s'est constitué en son sein, tentant de se refermer en cours de nuit du 5 au 6. L'imagerie satellitaire indique ensuite un pic d'organisation du système nuageux en début d'après-midi du 6, avec présence d'un œil déchiqueté sur l'imagerie visible. KESINY est alors analysé au stade supérieur de la forte tempête tropicale.

L'imagerie montre, par ailleurs, que si la divergence d'altitude est excellente dans le demi-cercle ouest de la tempête (au vu de l'épanchement généreux des cirrus dans ce secteur de la perturbation), elle est par contre très restreinte du côté est. Et au fil des heures, il apparaît que la situation va en se dégradant et que le flux sortant d'altitude se réduit comme une peau de chagrin. C'est du moins ce qui ressort de l'analyse des vents satellite et se constate également visuellement de manière claire sur l'imagerie vapeur d'eau. Cette « panne » au niveau de la divergence

d'altitude, a pour conséquence un affaiblissement progressif de la convection, dégénérescence qui tourne même à l'effondrement quasi complet en journée du 7, dévoilant ainsi le vortex de basses couches associé au météore.

Cet affaiblissement de KESINY conduit à son déclassement en tempête tropicale modérée en fin de journée du 7. Poursuivant sur une trajectoire en direction de l'ouest-sud-ouest, le minimum dépressionnaire continue de lentement se combler jusqu'en fin de nuit suivante, moment où il transite à un peu plus de 100 km au sud des îlots d'Agalega. Situés dans le demi-cercle maniable d'un système dépressionnaire à la structure très dissymétrique et qui plus est bien affaibli, ils ne ressentent qu'une influence marginale. La logique voudrait qu'après avoir atteint ce qui semblait être son maximum d'intensité, puis subi une sévère phase de dégénérescence, KESINY ne se remette pas de ce coup, supposé fatal pour un système de fin de saison. Mais tous les pronostics allant dans le sens d'une poursuite du comblement du système vont être déjoués.

La journée du 8 mai marque, en effet, un revirement de tendance inattendu. La convection affiche un net regain de vigueur, confirmé au fil des heures, et réinvestit le terrain abandonné précédemment, reprenant ainsi place au-dessus du vortex, jusque-là exposé pour bonne part hors de la maigre convection résiduelle. Avec cette reprise de la convection, le système ne tarde pas à se recreuser. La réorganisation nuageuse s'accélère même dans la nuit du 8 au 9 et, au sein du large CDO qui s'est reconstitué, un œil irrégulier apparaît au matin du 9, amenant finalement au classement de KESINY en cyclone tropical avant la mi-journée.

La justification de cette étonnante réintensification d'un phénomène quasiment moribond 36h plus tôt, est sujette à interrogation. De prime abord, on ne constate pas de changement radical intervenu dans l'environnement, le cisaillement vertical de vent demeurant par exemple durablement faible durant toute cette période. L'explication est probablement à rechercher de nouveau au niveau de la divergence d'altitude et de ses fluctuations importantes, car au vu de l'imagerie satellitaire de la journée du 9, il ne fait

the time. Although the disturbance was situated nearly right under the upper ridge axis within a very weakly sheared environment, the phasing between the convection and the low-level circulation centre was not optimal yet (with the low centre positioned beneath the eastern edge of the convection).

## EVOLUTION

Whereas since its initial emergence, the disturbance had been drifting southeastwards (due to the outweighing steering influence of the powerful equatorial westerlies pervading in the low levels), it changed path at the time of the naming and recurved west-southwestward as it encountered the subtropical anticyclonic cell present to the south.

While the trade winds flowing on the septentrional side of the subtropical high were now dictating KESINY's motion, their influence did not only concern the meteor's trajectory. Indeed, as the storm was starting to accelerate with the speed of movement peaking over 20 km/h in the afternoon of 5 May, simultaneously an incipient phase of stronger intensification could be observed and was attributed mostly to the vorticity impulse induced by the trade winds surge from the south.

Within the next 24h, KESINY deepened at an increased rate, close to climatological norms. The CDO now in phase with the low centre tended to expand. Then microwave imagery revealed the formation of an embedded open eye which attempted to close up in the course of the night of the 5th. Then, in the early afternoon of the 6th, the satellite imagery indicated a peak of organisation in the cloud system, portraying a ragged eye on the visible imagery so that KESINY was analysed at the upper level of severe tropical storm stage. The imagery also showed that while the upper divergence was excellent in the western semi-circle of the storm (considering the generous blow-off of the cirrus in this sector), it was restrained on the eastern side. And throughout the next hours, the situation looked progressively worse and the upper outflow reduced drastically. That's what came out of cloud drift winds analysis and could clearly be seen on water vapour imagery. This upper divergence "breakdown" resulted in the progressive subsiding of the convection. This decay even turned into a nearly complete collapse on 7th, unveiling the low-level vortex associated to the meteor.

KESINY's weakening led to its being downgraded to moderate tropical storm status in the late afternoon of the 7th. It kept moving towards the

west-southwest and its low centre continued to fill slowly until the end of the following night, when it transited at more than 100 km south of Agalega Islets. The latter felt very little influence as they were situated in the navigable semi-circle of a very dissymmetric and weakened system. It seemed logical that after reaching what looked like its peak of intensity, and going through a severe decaying phase, KESINY would not recover from that situation supposed to be fatal for an end-of-season storm. However, all predictions in favour of a further filling up of the system were altogether contradicted.

The night of 8 May marked an unexpected change of circumstances. The convection became re-invigorated which was confirmed hours after hours. Thereof resuming occupation of the area it had left, it thus re-established above the vortex which till then had been mostly exposed outside the puny residual convection. The system soon started to deepen again as a result. Cloud re-organisation even accelerated during the night of the 8th and within the broad reconstituted CDO, an irregular eye appeared in the morning of the 9th, eventually leading to the classification of KESINY as a tropical cyclone before midday.

This surprising re-intensification of such a waning phenomenon 36h before was questionable. First of all, there was no radical change in the environment, as, for instance the vertical windshear which remained weak throughout the whole period. The answer was probably to be found once more in the upper divergence situation and its important fluctuations, as according to the satellite imagery acquired during the day of the 9th, the upper outflow had definitely fully recovered its vitality.

Be that as it may, this rejuvenation was very bad news for MADAGASCAR. For KESINY had meanwhile kept travelling towards the west, at an even faster pace than the previous day. Thus, the meteor was racing at a speed of over 20 km/h when it approached the Malagasy coast, on a more straightforward west-southwestward heading than previously, which by contrast meant much better news for MAYOTTE. Thanks to its less zonal track, KESINY would not be able to skirt round the northern tip of the Great Island, which could have afforded it greater intensity over the MOZAMBIQUE Channel thence seriously threatening MAYOTTE.

Instead, KESINY crossed the north of MADAGASCAR. Prior to that it had run ashore in the early evening of 9 May, at about 60 km southeast of the town of Antsiranana (Diego-Suarez, where a min pressure of 995.6 hPa was recorded). The meteor was then at its maximum of

pas de doute que le flux sortant d'altitude a retrouvé toute sa vitalité.

Ce second souffle retrouvé est en tout cas une très mauvaise nouvelle pour MADAGASCAR. Car KESINY a entre-temps poursuivi sa course vers l'ouest, ayant même accéléré depuis la veille. C'est donc avec une vitesse de déplacement supérieure à 20 km/h que le météore se rapproche des côtes malgaches, sur un cap plus ouest-sud-ouest que préalablement, ce qui est par contre une bien meilleure nouvelle pour MAYOTTE. À la faveur de cette trajectoire moins zonale, KESINY ne va en effet pas pouvoir contourner la Grande Ile par sa pointe nord, ce qui aurait pu lui permettre de conserver une intensité conséquente sur le Canal de MOZAMBIQUE, en menaçant alors sérieusement MAYOTTE.

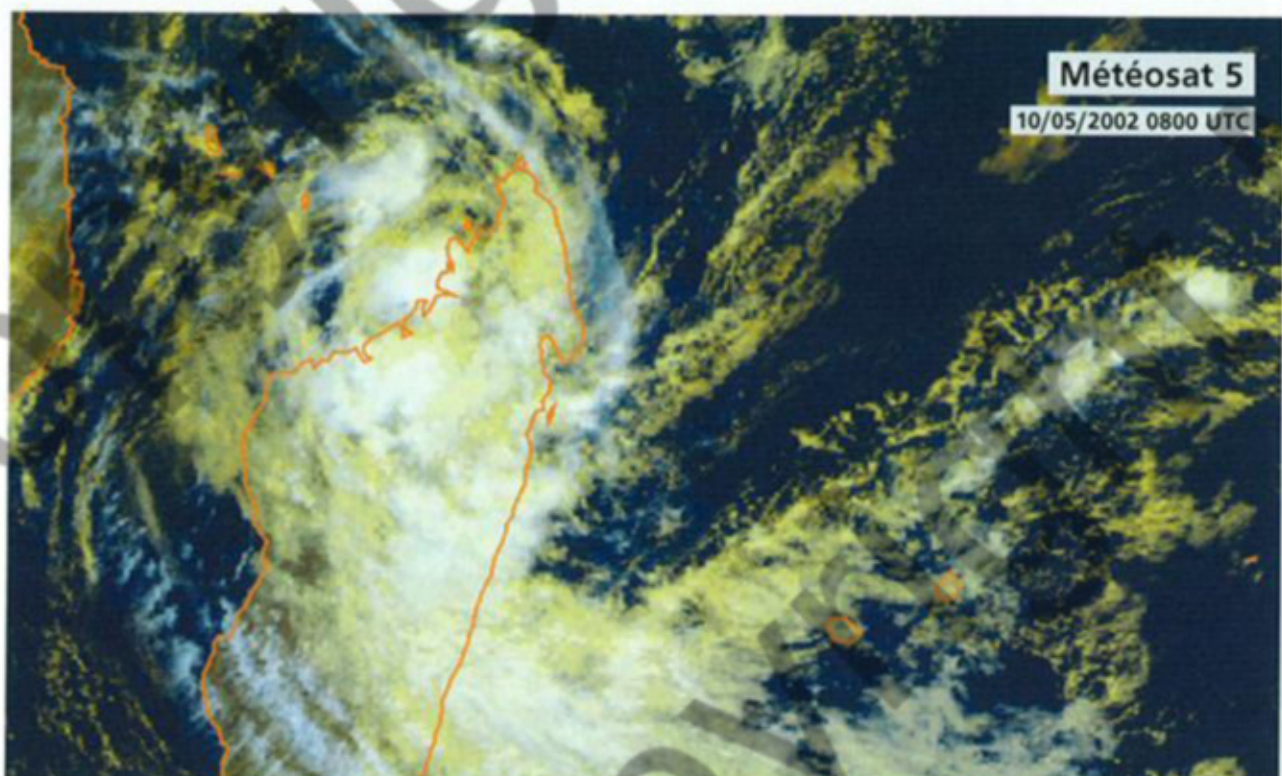
Au lieu de cela, KESINY va traverser le Nord de MADAGASCAR, pénétrant sur terre en fin d'après-midi du 9 mai, à environ 60 km au sud-est de la ville d'Antsiranana (Diego-Suarez, où l'on relève une pression minimale de 995,6 hPa). Le météore est alors au maximum de son intensité, celle d'un cyclone tropical de premier niveau, avec des vents estimés approcher, dans le secteur sud de l'œil, les 130 km/h en vents moyens sur 10 min, pour des rafales maximales de l'ordre de 180 km/h sur mer.

Malgré une traversée du Nord de la Grande Ile des plus courtes, KESINY ne va pas survivre à ce parcours terrestre de quelques heures. Après avoir transité au sud du massif de la Montagne d'Ambre, le

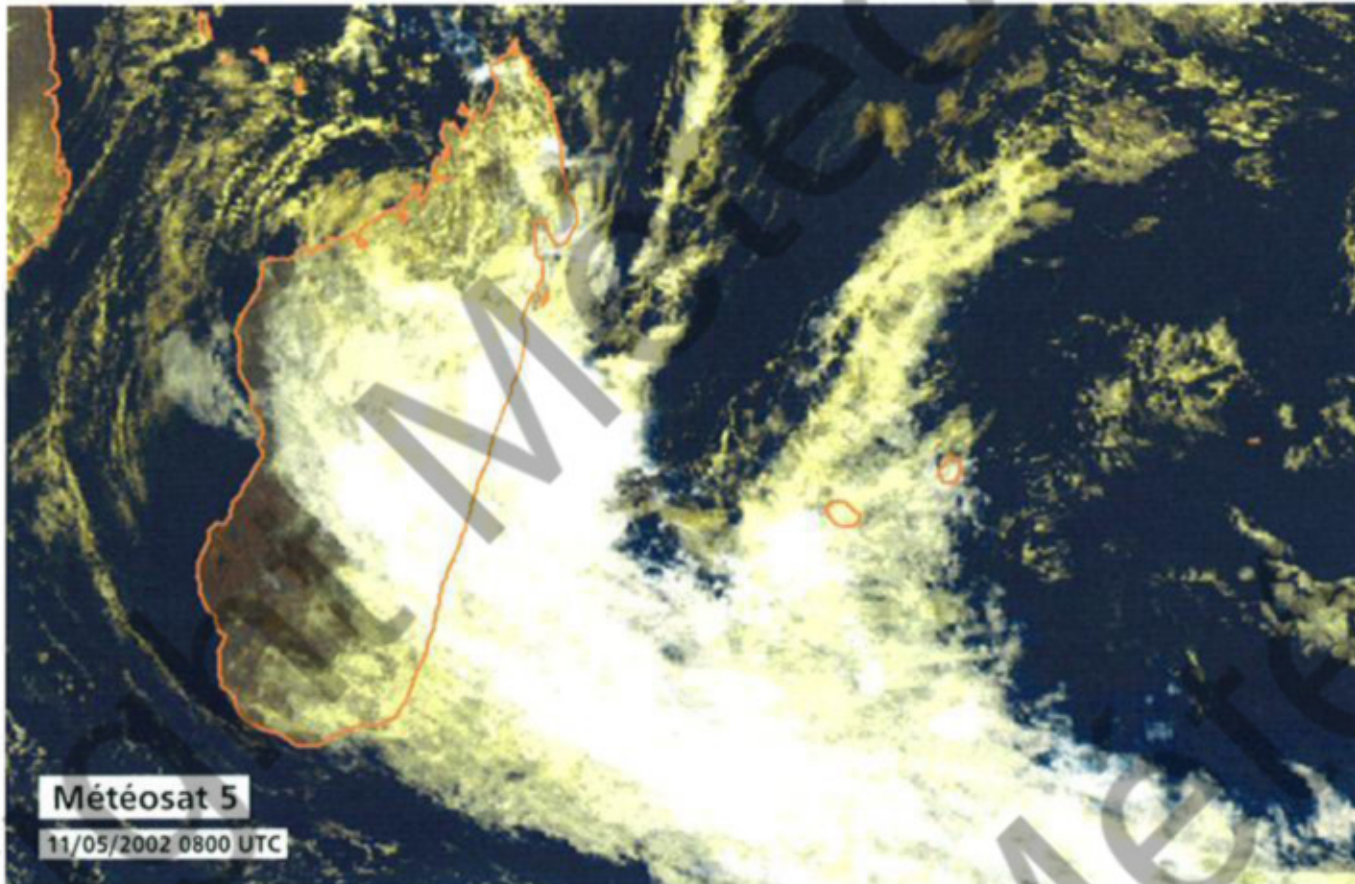
minimum dépressionnaire résiduel ressort en mer en première partie de nuit, à mi-distance entre la ville d'Ambilobe et les îles Mitsio. En bonne partie comblé, il passe ensuite, à l'aube du 10 mai, au voisinage immédiat de l'île de Nosy-Be (où des bateaux ont coulé préalablement, tandis qu'on déplorera le décès de deux personnes, écrasées sous les décombres d'une maison effondrée).

Si à sa ressortie en mer le doute était encore permis sur une éventuelle régénérescence du système sur les eaux du Canal de MOZAMBIQUE, cette éventualité devient de plus en plus improbable à mesure que les heures passent, du fait d'une trajectoire défavorable. Incurvant vers le sud-ouest, le minimum dépressionnaire résiduel, estimé à 1 000 hPa en milieu de journée du 10, longe en effet la côte sans parvenir à s'en éloigner vraiment. Bien au contraire, en fin de nuit suivante il met le cap au sud, revenant droit vers le littoral. Pénétrant de nouveau sur terre au sud-ouest d'Analalava, il se comble sans rémission dans les parages de Port Bergé.

Si l'impact de ce nouvel atterrissage est limité sur le Nord-Ouest de MADAGASCAR, se résumant à des pluies modérées, il n'en va pas de même sur l'ensemble du pays. À quelque 350 km au sud-est, la situation est même en train de virer à la catastrophe dans la région de Tamatave. Après déjà deux jours de pluies torrentielles, ce sont des précipitations diluviennes qui s'abattent dans ce secteur en cette journée du 11 mai (on enregistre 484 mm



KESINY après sa traversée de la pointe nord de MADAGASCAR : la déstructuration du météore est spectaculaire.  
KESINY after its crossing of the northern tip of MADAGASCAR: the dismantling of the meteor is quite spectacular.



Après avoir pénétré de nouveau sur terre (centre esquissé au niveau de la côte nord-ouest de MADAGASCAR), le minimum dépressionnaire résiduel de KESINY entre en phase de dissipation finale, pour une fin de vie pas sans conséquences. Les masses nuageuses associées au météore n'ont, en effet, pas fini de déverser leurs précipitations. Les bandes périphériques situées dans le secteur est se révèlent les plus actives, alimentant un amas pluvio-orageux quasi-stationnaire sur la côte est de la Grande Ile et à l'origine de pluies diluviennes et dévastatrices dans la région de Tamatave. Même La Réunion, pourtant située loin à l'est, ne restera pas indemne de ces pluies de la fin de vie de KESINY, mais là sans dommage particulier. La bande nuageuse déjà présente deux jours plus tôt (voir image page 87) s'est activée et a pris une orientation plus méridienne, provoquant de fortes pluies sur les régions Est et Nord de l'île (251 mm en 24h à La Plaine des Palmistes).

*KESINY's residual low is about to dissipate altogether after second landfall (the low-level circulation centre is barely discernible on the northwestern shoreline of MADAGASCAR). This end of life will not be harmless with rainbands linked to the meteor still pouring down. The outer cloudbands located on the eastern side proved to be the most active as they were feeding a cloud cluster of thunderstorms which remained nearly stationary on the eastern coast of the Big Island, thus producing torrential and devastating rainfall in the Tamatave region. Even LA REUNION, though situated far away, will not be spared these final rains from KESINY, yet with no dramatic consequences. The outer band already seen two days earlier (see image page 87) has reinvigorated while assuming a more meridian-like pattern thus causing heavy rainfall on the eastern and northern parts of the island (251 mm recorded in 24h at La Plaine des Palmistes).*

de pluies en 24h à Tamatave, pour un cumul sur trois jours atteignant 891 mm!). Ces pluies sont générées par une zone pluvio-orageuse entretenue sur place par le forçage induit par un flux d'est très convergent au niveau de la zone côtière avec effet cumulatif du blocage par le relief situé en aval. Alimentées en humidité par des bandes nuageuses externes rattachées à la circulation dépressionnaire résiduelle de l'ex-KESINY, ces précipitations vont provoquer des inondations dévastatrices, ainsi que de nombreux glissements de terrain. La ville portuaire de Tamatave, deuxième ville du pays, et ses environs sont envahis par les eaux. De

*intensity, that of a first grade tropical cyclone, with 10-min average winds estimated to be close to 130 km/h in the southern part of the eye, for maximum gusts of about 180 km/h over sea.*

*Even though its crossing of the northern MADAGASCAR was to be very short, KESINY would not survive to this few hours of land trip. After transiting south of the Amber Mountain range, the residual low went out to sea in the first part of the night, halfway between the town of Ambilobe and Mitsio Islands. Mostly filled, it thereafter brushed past Nosy-Be Island (where boats had sunk earlier, and two persons died crushed under a collapsed house) on 10 May at dawn.*

*While there was still some doubt on whether or not the system would regenerate as it reached the waters of the MOZAMBIQUE Channel, the probability reduced as time elapsed given the system's most unfavourable track. As it recurved southwestward, the residual low (estimated to be 1000 hPa in the middle of the day on 10 May), kept trekking along the coast, struggling to move away. Quite the contrary, on the following end of night, it actually headed southward, coming back straight onto the coast. As it went inland again, southwest of Analalava, it filled irremediably near Port Bergé.*

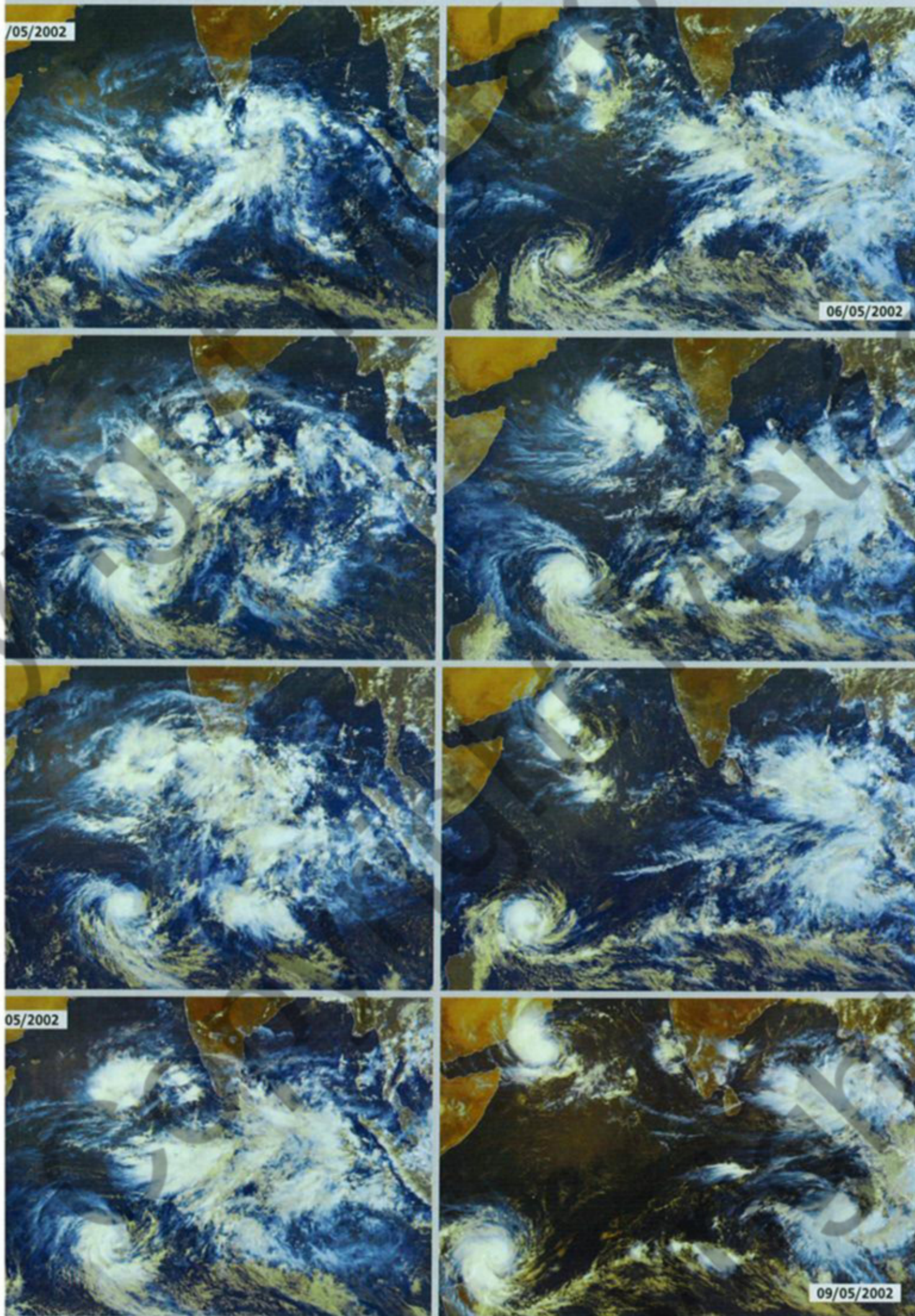
*Although this new landfall had limited impact on the NorthWest of MADAGASCAR, mainly yielding moderate rainfall, this was not the case for the rest of the country. Some 350 km to the southeast, the situation was indeed getting catastrophic in the Toamasina region. After two days of torrential rain already, an absolute deluge hit that sector throughout the day of the 11th (484 mm of rainfall recorded in 24h at*

*Toamasina, for a total 891 mm in three days!). The pouring precipitation was generated by a rainstorm area fostered on the spot by the compelled ascendance induced by a highly convergent easterly flow near the coastal area combined with cumulative blocking effect by the relief downhill. Humidity was fed by outer cloudbands connected to KESINY's residual low circulation.*

*The deluge caused disastrous floods as well as numerous landslides. The port city of Toamasina, second largest town in the country, and its surroundings were water-logged. Many people drowned (33 deaths were reported on 22 May 2002 -AFP source- but this may be an incomplete assessment). Countless bridges were swept away, there was no power for five days nor drinking water (all wells were polluted due to flooding), causing a sanitary crisis.*

*The aftermath of KESINY's passage also included serious problems in food supplies. In the northern provinces of MADAGASCAR, the rainfall amounts had nothing to compare with that of Toamasina with values generally ranging from 60 to 80 mm in 24h for a total of 100 to 200 mm in 3 to 4 days (112 mm at Nosy-Be with 97 mm in 24h, 220 mm at Sambava), but the precipitations however caused extensive damage since they occurred outside the rainy season in the northwestern part of the island (the 136 mm recorded between 8 and 11 May in Diego-Suarez represented eight times the average rainfall in May) and at a critical period since corresponding to the start of the harvest period for rice and maize, the staple food of the country. Reports claimed on 50 to 75% loss on those yields. On the whole, half a million people were affected by KESINY's passage; among those 5000 were left homeless. At a time of serious internal political crisis that threatened to lead to an armed conflict, MADAGASCAR, weaker than usual, certainly did not need such a natural disaster to come and aggravate an already difficult socio-economic situation.*

*Although tardy cyclones can often be observed over the basin -KESINY being the fifth recorded system since the beginning of the satellite era (all of them have been actually monitored since 1982)-, it is extremely rare that they affect inhabited lands in the basin with such intensity. Actually, even when we look 40 years back, there is no such trace of a system striking a land in the basin in May at the tropical cyclone stage. KESINY shall thus be remembered as an exceptional phenomenon.*



**Cyclogenèses jumelles en cascade dans l'océan Indien**, dans le sillage d'une oscillation de Madden-Julian (MJO) particulièrement puissante. Cette évolution temporelle de l'activité nuageuse entre les 2 et 9 mai 2002 telle que vue par le satellite Meteosat 5 (à raison d'une image composite colorée par jour à 0830 UTC), permet d'appréhender visuellement le scénario ayant abouti à la coexistence de quatre systèmes dépressionnaires tropicaux sur le bassin, deux paires de systèmes « jumeaux », pour un « quadruplet » peut-être inédit sous une telle forme dans l'océan Indien. Noter en particulier la progression vers l'est de l'activité nuageuse et convective, matérialisant la propagation correspondante de la phase active de la MJO.

La cyclogenèse de KESINY, est suivie de peu par celle de la tempête tropicale O1A en mer d'Arabie (images des 5 et 6), les deux systèmes « miroir » étant ensuite amenés à évoluer de conserve, quasiment symétriquement de part et d'autre de l'équateur. La présence conjuguée de ces deux perturbations jumelles au voisinage des 10° parallèles, va générer une poussée de flux d'ouest en basse troposphère dans la zone proche équatoriale (que l'on devine bien sur l'image du 7 mai), qui, en se propageant vers l'est, va participer de la genèse des deux autres systèmes jumeaux appelés à se former, quelques jours plus tard, sur l'Est de l'océan Indien.

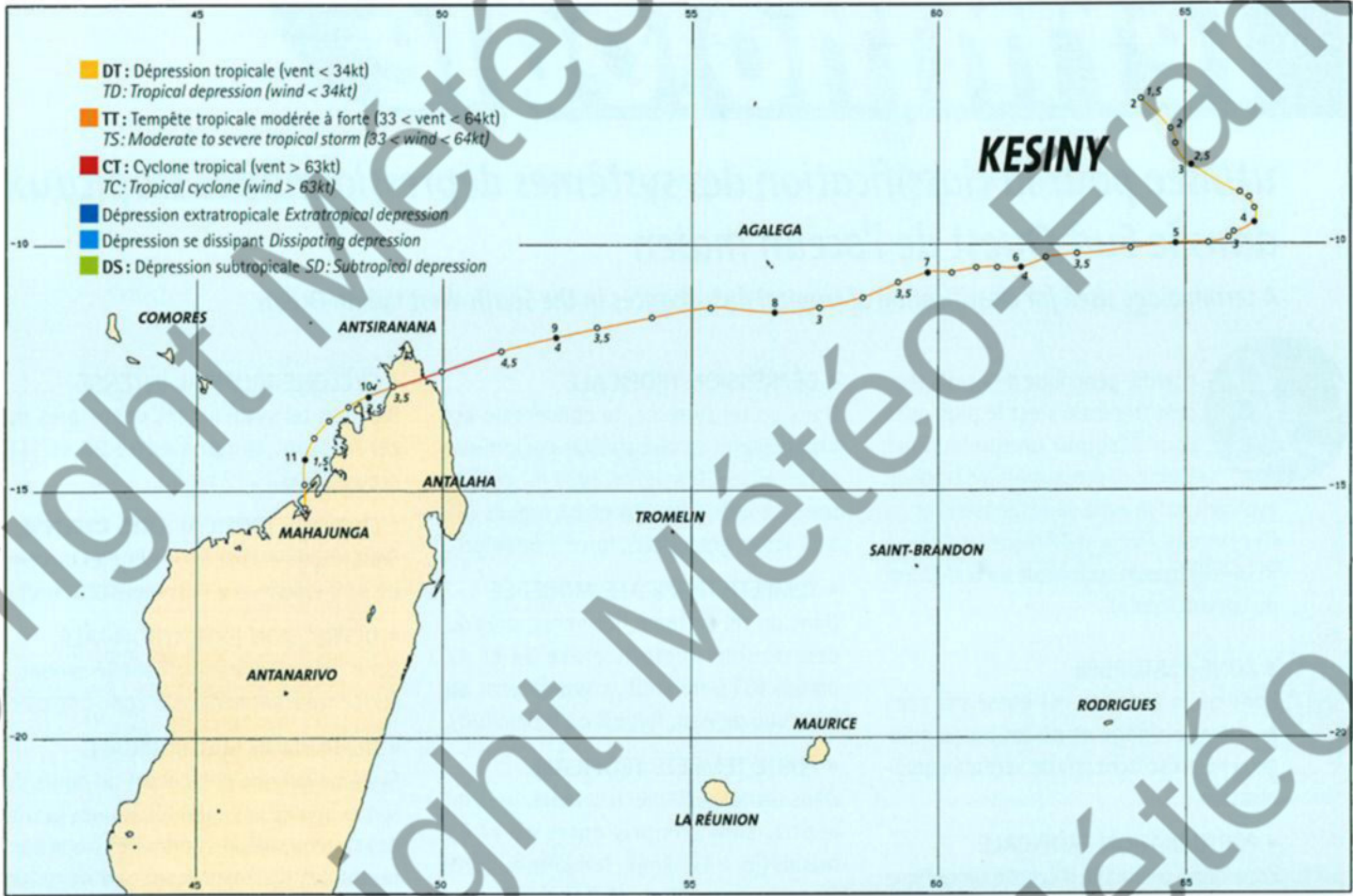
**A cascading outbreak of twin cyclogenesis in the Indian Ocean** in the wake of a powerful active phase of the Madden-Julian Oscillation (MJO). This time evolution of cloud activity between 2 and 9 May 2002, as depicted by the Meteosat 5 imagery (0830 UTC daily coloured composites), acts like a story-board to visualise the scenario which led to the coexistence of four tropical systems in the basin, two pairs of twin systems constituting perhaps a unique "quadruplet" of this kind in the Indian Ocean. Notice the eastward spreading of the cloud and convective activity, the visual signature of the corresponding MJO propagation. KESINY's cyclogenesis was to be followed soon by that of tropical storm O1A in the Arabian Sea, the "mirror" systems then evolving together almost symmetrically on each hemisphere near 10° latitude. Resulting from the twin storms presence an equatorial westerly windburst was generated in the lower troposphere (can be guessed on 7th May image) and then propagated eastward, thereafter contributing to the genesis of the second pair of twin systems that would form a few days later in the eastern Indian Ocean.

nombreuses personnes périssent noyées (un recensement, probablement incomplet, faisait état de 33 morts au 22 mai 2002 - source AFP). Des ponts ont été emportés par dizaines et il n'y a plus ni électricité (elle restera coupée durant 5 jours), ni eau potable (tous les puits ont été pollués suite aux inondations), générant une situation de crise sanitaire.

Mais dans le sillage de KESINY, c'est également à une grave crise alimentaire à laquelle il va falloir faire face. Car si dans les provinces nord de MADAGASCAR, les pluies occasionnées au passage du météore ont été sans commune mesure, avec des valeurs de l'ordre de 60 à 80 mm en 24h en général, pour des cumuls sur 3 ou 4 jours de 100 à 200 mm (112 mm à Nosy-Be dont 97 mm en 24h, 220 mm à Sambava), ces précipitations, survenant hors saison des pluies pour la partie nord-ouest de l'île (les 136 mm recueillis entre le 8 et le 11 mai à Diego-Suarez représentent ainsi huit fois la moyenne mensuelle des précipitations de mai), elles ont cependant été extrêmement dommageables de part le fait qu'elles sont survenues alors qu'allait débiter la période des récoltes pour des cultures aussi vitales que le riz ou le maïs. Des pertes de 50 à 75 % sur ces productions furent ainsi annoncées.

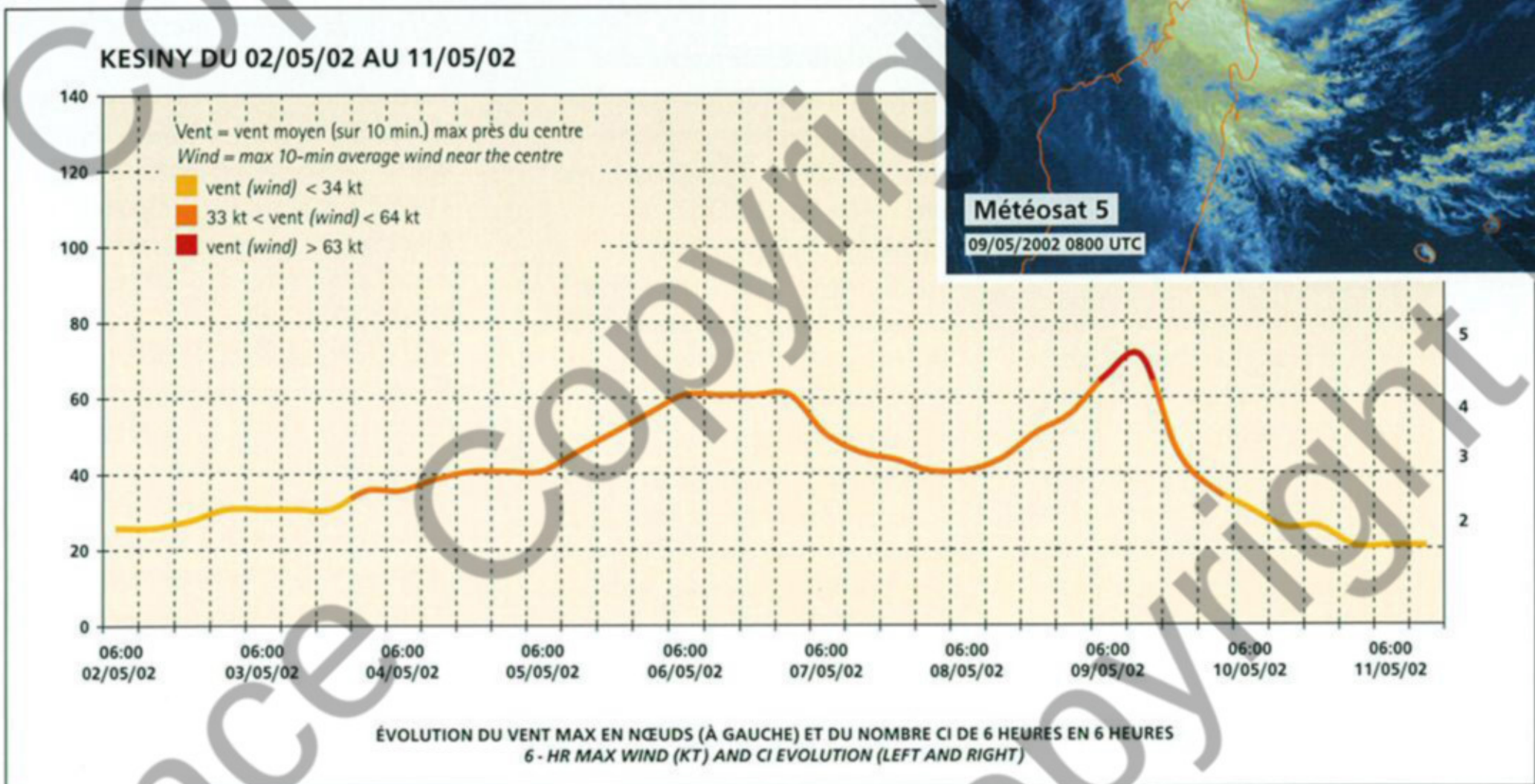
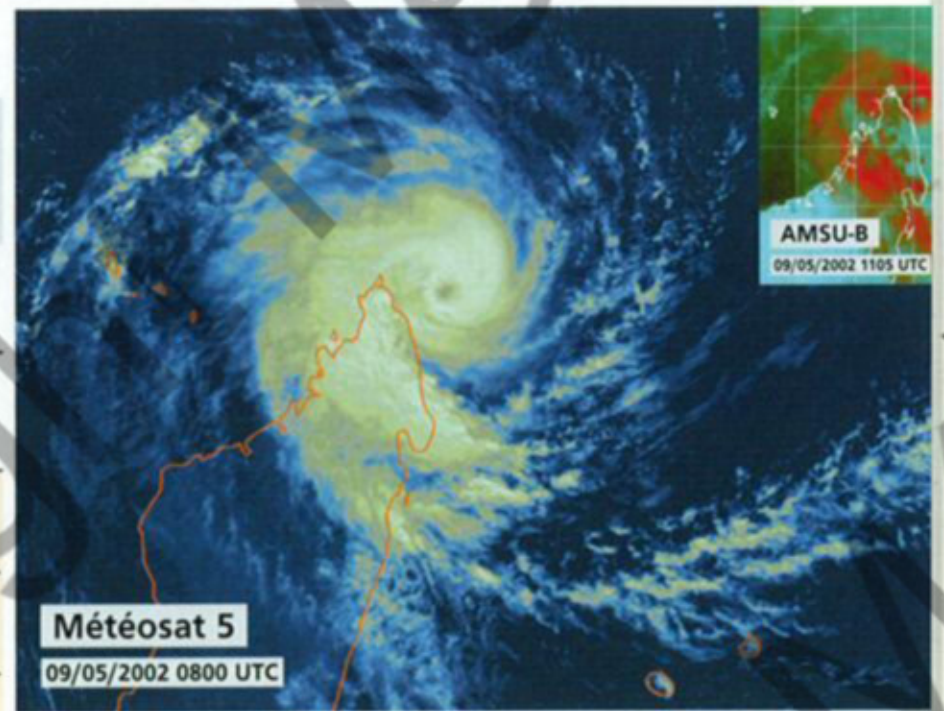
Au total un demi million de personnes aura été affecté par le passage de KESINY, 5000 d'entre elles se retrouvant sans abri. Alors en proie à une grave crise politique interne menaçant de dégénérer en conflit armé, MADAGASCAR, encore plus fragilisé qu'à l'ordinaire, n'avait évidemment pas besoin d'une telle catastrophe naturelle, venant aggraver une situation socio-économique déjà extrêmement difficile.

Bien qu'on observe régulièrement des cyclones tardifs sur le bassin, KESINY étant le cinquième recensé en mai depuis le début de l'ère satellitaire (tous observés depuis 1982 en fait), il est rarissime qu'ils viennent concerner une terre habitée du bassin à cette intensité. Même en remontant à plus de 40 ans en arrière, on ne trouve trace d'aucun autre système dépressionnaire ayant touché une terre du bassin au stade de cyclone tropical en mai. Rien que pour cela, KESINY restera comme un phénomène exceptionnel.



Météo France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

Le cyclone tropical KESINY peu avant de toucher terre sur le Nord de MADAGASCAR et d'affecter ainsi une terre habitée du bassin, un événement rarissime en mai.  
*Tropical cyclone KESINY a few hours before making landfall on the northern MADAGASCAR, thus affecting an inhabited land, an exceptional event for the basin in May.*



# Terminologie

## utilisée pour la classification des systèmes dépressionnaires tropicaux dans le Sud-Ouest de l'océan Indien

*A terminology used for classification of tropical disturbances in the South-West Indian Ocean*



Le terme générique de « perturbation tropicale » est le plus usité pour désigner un quelconque système dépressionnaire tropical évoluant sur la zone de responsabilité du Centre des Cyclones Tropicaux de LA RÉUNION (bassin cyclonique du Sud-Ouest de l'océan Indien).

### • ZONE PERTURBÉE

Zone où la pression est basse par rapport au voisinage et où les amas nuageux ne présentent pas de véritable organisation.

### • PERTURBATION TROPICALE

Zone dépressionnaire d'échelle synoptique non accompagnée d'un système frontal, prenant naissance au-dessus des eaux tropicales et présentant une convection renforcée et une circulation tourbillonnaire dans laquelle les vents n'excèdent pas 27 nœuds (50 km/h, force 6 Beaufort).

### • DÉPRESSION TROPICALE

Dans un tel système, la convection est organisée et la circulation cyclonique caractérisée. Les vents, près du centre, sont compris entre 28 et 33 nœuds (51 à 62 km/h, grand frais, force 7 Beaufort).

### • TEMPÊTE TROPICALE MODÉRÉE

Dans un tel système, les vents, près du centre, sont compris entre 34 et 47 nœuds (63 à 88 km/h, coup de vent ou fort coup de vent, force 8 ou 9 Beaufort).

### • FORTE TEMPÊTE TROPICALE

Dans un tel système, les vents, près du centre, sont compris entre 48 et 63 nœuds (89 à 117 km/h, tempête ou forte tempête, force 10 ou 11 Beaufort).

### • CYCLONE TROPICAL

Dans un tel système, les vents, près du centre, sont compris entre 64 et 89 nœuds (118 à 165 km/h, ouragan, force 12 Beaufort).

### • CYCLONE TROPICAL INTENSE

Dans un tel système, les vents, près du centre, sont compris entre 90 et 115 nœuds (166 à 212 km/h).

### • CYCLONE TROPICAL TRÈS INTENSE

Dans un tel système, les vents, près du centre, sont supérieurs à 115 nœuds (212 km/h).

### • DÉPRESSION EXTRATROPICALE

Zone dépressionnaire d'échelle synoptique se trouvant hors de la zone tropicale.

### • DÉPRESSION SUBTROPICALE

Système hybride présentant au cours de son existence des caractéristiques tantôt des systèmes dépressionnaires tropicaux, tantôt des systèmes dépressionnaires de type polaire. Sur le Sud-Ouest de l'océan Indien, la genèse de ce type de dépression est régulièrement observée sur le Sud du Canal de MOZAMBIQUE.

NB : dans cette classification, les vitesses de vent données sont définies comme étant les vitesses du vent moyennées sur 10 minutes.

*It is worth noting that the generic term of "tropical disturbance" remains the more commonly used for the designation of any tropical system in the South-West Indian Ocean basin.*

### • ZONE OF DISTURBED WEATHER

*A zone in which the pressure is low relative to the surrounding region and there are cloud masses which do not appear to be organized.*

### • TROPICAL DISTURBANCE

*A non-frontal synoptic-scale low pressure area originating over tropical waters with enhanced convection and/or some indications of cyclonic wind circulation (wind estimated to be not exceeding 50 km/h, wind force 6 in the Beaufort scale).*

### • TROPICAL DEPRESSION

*A non-frontal synoptic-scale low pressure area originating over tropical waters with organized*

*convection and definite cyclonic wind circulation in which the maximum of the average wind speed is estimated to be in the range 51 to 62 km/h (28 to 33 knots, wind force 7 in the Beaufort scale).*

### • MODERATE TROPICAL STORM

*A tropical storm in which the maximum of the average wind speed is estimated to be in the range 63 to 88 km/h (34 to 47 knots, wind force 8 or 9 in the Beaufort scale).*

### • SEVERE TROPICAL STORM

*A tropical storm in which the maximum of the average wind speed is estimated to be in the range 89 to 117 km/h (48 to 63 knots, wind force 10 or 11 in the Beaufort scale).*

### • TROPICAL CYCLONE

*A tropical storm in which the maximum of the average wind speed is estimated to be in the range of 118 to 165 km/h (64 to 89 knots, wind force 12 in the Beaufort scale).*

### • INTENSE TROPICAL CYCLONE

*A tropical storm in which the maximum of the average wind speed is estimated to be in the range of 166 to 212 km/h (90 to 115 knots).*

### • VERY INTENSE TROPICAL CYCLONE

*A tropical storm in which the maximum of the average wind speed is estimated to exceed 212 km/h (115 knots).*

### • EXTRATROPICAL DEPRESSION

*A synoptic scale low pressure area outside of the tropics.*

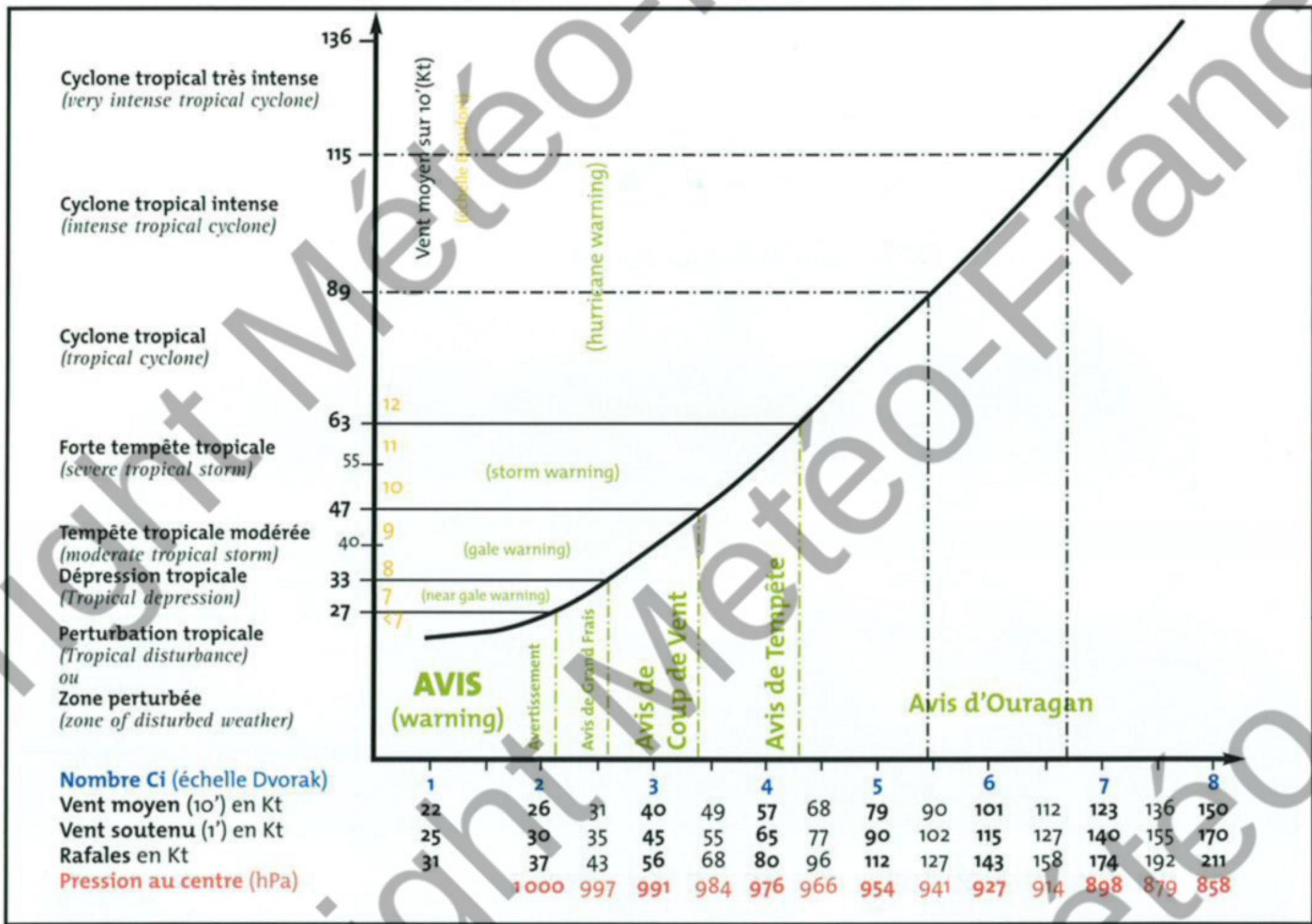
### • SUBTROPICAL DEPRESSION

*An hybrid system having during its life some characteristics which could belong to both tropical and extratropical depressions. In the South-West Indian Ocean, the genesis of such system is regularly observed over the South of the MOZAMBIQUE Channel.*

NB: in this classification mean wind speed is the mean over ten minutes.



**Nouvelle Classification des perturbations tropicales dans le Sud-Ouest de l'océan Indien**  
*Revised classification of tropical disturbances used in the South-West Indian Ocean*



La nouvelle classification présentée ci-dessus est entrée en vigueur depuis la saison cyclonique 1999-2000. Par rapport à la version antérieure, les modifications ont porté sur l'échelle de correspondance entre les intensités de Dvorak et les vents (moyennés sur 10 minutes et rafales), la correspondance avec les pressions demeurant inchangée.

Un nouveau facteur de conversion de 0,88 (au lieu de 0,80 antérieurement) a été appliqué aux vents soutenus (vents moyennés sur une minute, pour lesquels l'échelle de Dvorak a été calibrée à l'origine) pour obtenir les vents sur 10 min (un facteur de conversion de 1,41 étant par ailleurs appliqué aux vents sur 10 min pour obtenir les rafales maximales attendues sur mer, contre 1,50 auparavant).

Le choix de ce nouveau facteur de conversion, outre le fait d'être plus réaliste, présente par ailleurs l'avantage d'uniformiser les pratiques, notamment entre les différents Centres de suivi cyclonique de l'hémisphère sud.

Ce changement d'échelle de correspondance a eu essentiellement pour conséquence un décalage des intensités Dvorak vers des valeurs de vents moyens sur 10 min plus élevées (ainsi un système d'intensité 4.5 sur l'échelle de Dvorak, antérieurement classé en forte tempête tropicale, est désormais classé en cyclone tropical), les rafales maximales sur mer associées étant demeurées quasiment inchangées.

The revised classification displayed above has come into force since cyclone season 1999-2000. Compared to the previous version, the changes made concerned the corresponding scale between the Dvorak intensities and the winds (10-min average and peak gusts). No modification was made for the correspondance with pressures.

A new conversion factor of 0.88 (instead of 0.80 previously) has been applied to the sustained winds (the 1-min average winds the Dvorak scale has been initially designed for) to obtain the 10-min average winds (while a conversion factor of 1.41 – instead of 1.50 – has been applied to the 10-min average winds to get the expected peak gusts over sea).

Besides being more realistic, the new conversion factor chosen presents the great advantage to bring more uniformity amongst the different practices of the various Centres and especially so for those of southern hemisphere.

The main consequences of modifying the scale of correspondance were to shift the Dvorak intensities towards higher 10-min average wind speeds (while the corresponding peak gusts over sea bore with minor adjustments). For instance a system getting a current intensity of 4.5 on the Dvorak scale, which was formerly classified as a severe tropical storm, would now rank as a tropical cyclone.



Des « quadruplés » sur l'océan Indien  
le 9 mai 2002 à 0830 UTC  
Satellite METEOSAT 5 (composition colorée de canaux visible et infrarouge)

Sur cette image rare, on peut distinguer : le cyclone tropical KESINY, dont l'œil est sur le point de toucher terre sur le Nord de MADAGASCAR, la tempête tropicale 01A en route vers la péninsule arabique en mer d'OMAN et, sur l'Est du bassin : la tempête tropicale ERROL qui vient juste d'être baptisée au sud-ouest de SUMATRA, ainsi que la dépression tropicale 02B au stade initial de développement, dans le secteur des îles Andaman. Cette situation exceptionnelle résultait en fait de la cyclogenèse en cascade de deux paires de perturbations jumelles nées de part et d'autre de l'équateur, sur l'Ouest, puis l'Est du bassin.

*A quadruplet of tropical disturbances in the Indian Ocean  
9th May 2002 at 0830 UTC  
Satellite METEOSAT 5 (coloured composite of visible and infrared channels).*

*On this rare picture one can distinguish: the tropical cyclone KESINY, whose eye was about to make landfall on the northern MADAGASCAR, the tropical storm 01A heading for OMAN in the Arabian sea and, in the eastern part of the basin: the tropical storm ERROL, recently named southwest of SUMATRA, and tropical depression 02B in its early life-cycle near the Andaman Archipelago. This exceptional situation originated from the cyclogenesis of pairs of twin systems formed in a row on both sides of the Equator, on the western then eastern side of the basin.*

# Glossaire

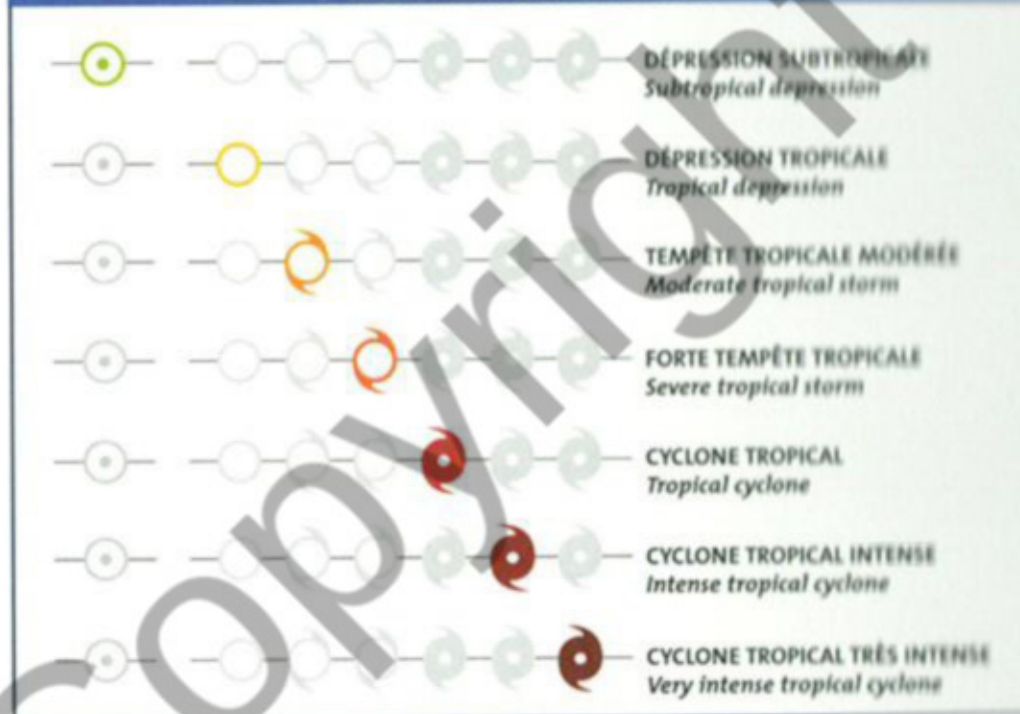
## Glossary

AFP : Agence France Presse. *French Press Agency*.  
AMSU : *Advanced Micro-wave Sounding Unit*. Radiomètre travaillant dans des gammes de fréquences particulières (micro-ondes) et embarqué à bord des satellites météorologiques défilants NOAA 15 et NOAA 16 (fonctionne par détection de l'énergie émise par les molécules d'oxygène).  
BoM : *Australian Bureau of Meteorology*. Agence de météorologie australienne.  
CACT : Centre d'Avertissements de Cyclones Tropicaux (TCWC). Le Centre australien de Perth est le CACT assurant le suivi des cyclones tropicaux pour le Sud-Est de l'océan Indien.  
CDO : *Central Dense Overcast*, désigne sur une image satellite une zone centrale et compacte de convection profonde associée à un système dépressionnaire tropical (amas nuageux central dense).  
CEP : Centre Européen de Prévisions météorologiques à moyen terme.  
CIMSS : *Cooperative Institute for Meteorological Studies (University of Wisconsin - Madison)*. Centre de recherche météorologique de l'université du Wisconsin (USA).  
CMRS : Centre Météorologique Régional Spécialisé. Il en existe de différentes formes. Le Centre Météo-France de LA REUNION est depuis 1993 le CMRS reconnu par l'OMM et officiellement responsable du suivi des cyclones tropicaux dans le Sud-Ouest de l'océan Indien.  
CT : Cyclone Tropical (*Tropical Cyclone*).  
DD10 : Direction du vent moyen sur 10 minutes (*direction of 10-min average wind*).  
DMSP : *Defense Meteorological Satellite Program*. Programme militaire américain de satellites d'observation météorologique.  
DS : Dépression Subtropicale (*Subtropical Depression*).  
DT : Dépression Tropicale (*Tropical Depression*).  
ECMWF : *European Centre for Medium range Weather Forecasting*. Centre européen de prévisions à moyenne échéance.  
EIR : *Enhanced Infra-red: colours set of temperatures associated to infrared satellite pictures (used for tropical cyclone intensity analysis in the Dvorak Technique)*. Infrarouge renforcé: canal infrarouge associé à une palette de couleurs liée à des gammes de températures (très utilisé dans l'analyse d'intensité des cyclones tropicaux par la technique de Dvorak).  
ENSO : *El Niño Southern Oscillation*. Oscillation australe dite El Niño.  
ERS : Satellite de recherche européen disposant notamment d'un radar diffusiomètre (voir QuikScat pour autres détails).  
ff10 : vitesse du vent moyennée sur 10 minutes (*10-min average wind*).  
Fmax : vitesse maximale du vent instantané (correspondant à la rafale maximale). *Maximum gust of wind*.  
FNMOC : *Fleet Numerical Meteorological and Oceanography Center (US Navy)*. Centre de météorologie et d'océanographie de la Marine américaine.  
H1/3 : hauteur de houle significative (correspond à la hauteur moyenne du tiers des vagues les plus hautes). *Significant swell*.  
ICAO : *International Civil Aviation Organization*.  
IR : Infrarouge (*Infra-red*). Gamme de fréquence utilisée en imagerie satellitaire et donnant accès à une image thermique des sommets nuageux (de jour comme de nuit).  
ITCZ : *Intertropical Convergence Zone* (voir ZCIT).  
MAX : Produit radar issu d'une exploration volumique. Les échos pluvieux maximaux sont projetés sur un plan horizontal et sur deux plans verticaux axés Ouest-Est et Nord-Sud.  
MJO : *Madden-Julian Oscillation*. Oscillation intra-saisonnière dite de Madden-Julian.  
MODIS : *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*. Spectroradiomètre embarqué à bord des satellites Terra et Aqua pour l'observation de la Terre.  
NASA : *National Aeronautics and Space Administration (USA)*. Administration américaine en charge de l'aéronautique et de l'Espace.  
NESDIS : *National and Environmental Satellite Data and Information Service*. Département de la NOAA traitant des données satellitaires.  
NOAA : *National Oceanic and Atmospheric Administration (USA)*. Administration américaine chargée des questions d'environnement dans les domaines

de l'Océanographie et de la Météorologie. Également nom de satellites défilants américains de la série TIROS dont les images sont fréquemment utilisées dans cet ouvrage.

OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale.  
OMM : Organisation Météorologique Mondiale. Organisme spécialisé de l'ONU traitant de la coordination mondiale des activités météorologiques.  
ONU : Organisation des Nations Unies.  
PDUS : *Primary Data Unit Station*. Station primaire de réception satellite.  
Pmer : Pression réduite au niveau de la mer (*Sea level pressure*).  
Pstation : Pression mesurée au niveau de la station météorologique de mesure.  
PPI : *Plan Position Indicator*. Type de produit radar correspondant à un balayage azimutal ; les échos pluvieux étant projetés sur un plan horizontal.  
QuikScat : *for Quick Scatterometer (the Seawinds scatterometer aboard the QuikScat satellite is commonly used for deriving wind fields from the superficial sea state)*. Satellite de recherche dont le radar diffusiomètre embarqué SeaWinds permet d'accéder à des champs de vents dérivés de l'état d'agitation superficielle de la mer, ainsi qu'à des données altimétriques de vagues.  
RSMC : *Regional Specialised Meteorological Center (voir CMRS)*. Météo-France Centre based in LA RÉUNION has been designated in 1993 as the WMO official Regional centre responsible for the monitoring warning and tracking of Tropical Cyclones in the South-West Indian Ocean.  
RSS : *Remote Sensing Systems*. Agence de recherche américaine.  
SD : *Subtropical Depression*. Dépression Subtropicale.  
SSMI : *Special Sensor Microwave Imager*. Radiomètre travaillant dans des gammes de fréquences particulières dites micro-ondes et embarqué à bord des satellites météorologiques défilants militaires américains DMSP.  
TC : *Tropical Cyclone*. Cyclone tropical.  
TCWC : *Tropical Cyclone Warning Centre*. Centre d'avertissements de cyclones tropicaux.  
TD : *Tropical Depression*. Dépression tropicale.  
TRMM : *Tropical Rain Measurement Mission*. Satellite de recherche initialement dévolu à l'estimation des précipitations en zone tropicale, mais s'étant révélé un outil précieux dans le suivi des systèmes dépressionnaires tropicaux.  
TS : *Tropical Storm*. Tempête tropicale.  
TT : *Tropical Storm* (*Tropical Storm*).  
TUTT : *Tropical Upper-Tropospheric Trough*. Talweg tropical de haute troposphère.  
UKMO : *United Kingdom Meteorological Office*. Centre de la météorologie britannique.  
UTC : *Universal Co-ordinated Time*. Temps universel.  
WMO : *World Meteorological Organization*. Organisation Météorologique Mondiale (voir OMM).  
ZCIT : Zone de Convergence Intertropicale (see ITCZ).

### NATURE DES DÉPRESSIONS





Les conséquences du passage du cyclone tropical DINA à LA REUNION.  
*The aftermath of tropical cyclone DINA at LA REUNION.*

**PRIX : 22,80€**

ISBN : 2-9511665-6-7

 **METEO FRANCE**