

Centre des
Cyclones Tropicaux
de La Réunion

*La Reunion
Tropical Cyclone
Centre*

SAISON CYCLONIQUE

Sud-Ouest de l'océan Indien

GAFILO 06/03/2004

CYCLONE SEASON
South-West Indian Ocean

 METEO FRANCE

2003

2004

Saison Cyclonique 2003-2004

Sud-Ouest de l'océan Indien

Cyclone Season

South-West Indian Ocean

Sommaire

Contents

Introduction..... Page 2
Introduction

Liste et intensité maximale des perturbations..... Page 4
List of tropical disturbances with their maximum intensities

Cartographie des trajectoires..... Page 5
Map of trajectories

Caractéristiques de la saison cyclonique et données statistiques..... Page 6
Main features of the cyclone season and statistical data

Note explicative sur l'analyse individuelle des perturbations..... Page 9
Explanatory note on the individual analysis of disturbances

Activité du Centre des Cyclones Tropicaux de LA RÉUNION..... Page 10
Activities of the Tropical Cyclones Centre/LA REUNION

Analyse chronologique des perturbations de la saison..... Page 12
Analysis of the disturbances of the season in chronological order

Terminologie..... Page 90
Terminology

Classification des systèmes dépressionnaires
dans le Sud-Ouest de l'océan Indien..... Page 91
Classification of the tropical disturbances used in the South-West Indian Ocean

INFORMATIONS

Techniques d'analyse et de prévision..... Page 92
Analysis and forecasting techniques

Directeur de la publication:
Gérard TERRY

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
Gérard LE BRIS

SAISON CYCLONIQUE

Sud-Ouest de l'océan Indien

CYCLONE SEASON

South-West Indian Ocean

2003 - 2004



METEO FRANCE

Introduction

Saison cyclonique 2003-2004 dans le Sud-Ouest de l'océan Indien

2003-2004 Cyclone season in the South-West Indian Ocean



L'image de la saison 2002-2003 précédente, la saison cyclonique 2003-2004 a de nouveau été très longue sur le Sud-Ouest de l'océan Indien, mais avec une activité moindre, qui a ainsi retrouvé un niveau proche de la normale.

Cette saison se sera sinon caractérisée par quelques trajectoires atypiques et pour certaines particulièrement tortueuses, le summum en la matière ayant été atteint par la trajectoire abra-cadabrante d'ELITA, l'ayant fait traverser Madagascar trois fois consécutivement. Ce météore ne se sera hélas pas limité à cette singularité, ses passages successifs sur la Grande Ile faisant plusieurs dizaines de victimes et des dégâts très importants.

Mais ce lourd bilan humain et économique fut toutefois sans commune mesure avec celui laissé quelques semaines plus tard par le terrible cyclone GAFILO, un des plus violents et des plus dévastateurs qu'ait connu le bassin lors de ces dernières décennies, LE phénomène qui aura marqué de son empreinte cette saison et quasiment éclipsé tout le reste.

Seize systèmes dépressionnaires ont fait l'objet de l'émission de bulletins, soit un nombre identique à celui de l'exercice précédent, un paramètre qui a d'ailleurs fait montre d'une stabilité remarquable depuis plusieurs années. Les cyclogenèses n'ont toutefois pas été aussi efficaces comparativement à la saison précédente, lors de laquelle le taux de conversion en phénomènes matures avait été réellement exceptionnel. Dix tempêtes tropicales ont ainsi été recensées cette saison, un nombre quasiment normal pour le bassin (la normale climatologique étant de neuf tempêtes). La moitié d'entre elles ont ensuite atteint le stade de cyclone tropical, une proportion également conforme à la normale.

L'examen du nombre de jours d'activité cyclonique, paramètre davantage fiable pour décrire l'activité perturbée, permet d'affiner ce diagnostic. Avec 19 jours cumulés où l'on a observé la présence d'un cyclone tropical sur zone (nombre de jours cycloniques), on peut considérer que l'activité cyclonique proprement dite a été quasiment rigoureusement normale (la moyenne se situant à 20 jours). L'activité perturbée à un stade plus modéré, a par contre été légèrement supérieure à la normale, puisque le nombre de jours avec présence d'un système dépressionnaire d'intensité au moins égale à la tempête tropicale modérée a été de 57 (pour une moyenne de 53 et une médiane de 48). Comme lors de la saison 2002-2003, un seul système dépressionnaire a réussi à se maintenir durablement (plus de trois jours) à la force ouragan (le cyclone FRANK).

Cela n'a pas été la seule analogie entre ces deux saisons. Les similarités de comportement les plus évidentes ont concerné les débuts et fins de saison respectifs. Le début de saison a, en particulier, été étonnamment ressemblant de celui de l'exercice précédent, quasiment une copie conforme. Dans les deux cas, quatre systèmes dépressionnaires se sont développés avant la fin d'année, ce qui en soit n'est déjà pas si commun (le baptême du quatrième système dépressionnaire de la saison intervenant en moyenne une année sur six avant le 31 décembre) et, qui plus est, suivant un calendrier quasiment identique ; le premier système dépressionnaire -une tempête tropicale- se formant en septembre (moins précocement toutefois qu'en 2002), suivi du premier cyclone en novembre, avant qu'un second ne se forme en décembre, précédant la formation d'une nouvelle tempête tropicale en toute fin d'année.

Le dernier système baptisé de la saison s'est quant à lui développé en mai, et il s'agit là de la réédition d'un événement qui s'était déjà produit non seulement en 2003, mais également en 2002. Même si cette fois-ci ce dernier système tardif de la saison n'a pas atteint le stade cyclonique, comme cela avait été le cas lors des mois de mai 2002 et 2003, cette succession inédite de trois années consécutives avec un phénomène mature en mai, relance inévitablement les nombreuses interrogations déjà soulevées l'an passé, notamment sur une tendance potentielle, voire déjà effective, à l'allongement des saisons cycloniques, avec les spéculations sous-jacentes d'un éventuel lien avec le réchauffement climatique. Sans beaucoup plus de réponses définitives pour l'heure...

Toujours est-il que les conséquences en terme de longévité de la saison ont été quasiment équivalentes : 2003-2004 a de nouveau été, dans la lignée de sa devancière, une des plus longues de la période contemporaine, s'étalant sur plus de sept mois et demi, de la fin septembre à la mi-mai.

Si les cyclogenèses se sont largement étalées dans le temps, elles ne se sont par contre guère étalées dans l'espace, se concentrant sur la zone autour de Diego-Garcia (archipel des Chagos), aire géographique qui a justifié encore plus que de coutume sa réputation de zone privilégiée de cyclogenèse du bassin. Seuls trois systèmes, sur les dix dénombrés, ont trouvé leur origine hors de cette zone, dont un seul formé sur le Canal de Mozambique et deux issus de la zone Sud-Est de l'océan Indien.

Les trajectoires observées cette saison n'ont pas souvent été du pain béni pour les prévisionnistes : la régularité n'a guère été de mise et points de rebroussement, changements de trajectoires

brusques, dans des directions parfois très inhabituelles, ont même été le lot de quelques spécimens particulièrement difficiles à gérer, comme les cyclones BENI et FRANK. Mais en matière de trajectoire "exotique", il sera difficile de faire mieux qu'ELITA et sa trajectoire-tourniquet autour de Madagascar (même si elle n'est pas sans précédent -confer celle de FELICIE en 1971)...

Si les cyclogenèses se sont focalisées dans la zone Centre-Est du bassin, les dégâts se sont eux concentrés sur Madagascar. Contrairement à l'an passé, où les impacts des différents météores avaient été très disséminés dans l'espace, avec quasiment aucune terre habitée qui n'ait pas été directement ou indirectement affectée, cette année la plupart des territoires s'en sont bien sortis. L'Afrique Australe et le Mozambique en particulier, ont été complètement épargnés, tandis que les Mascareignes n'ont pas eu à souffrir du passage de DARIUS, dont les pluies ont même été bénéfiques pour l'île Maurice, mettant fin à une longue période de sécheresse. Malgré cela, cette saison cyclonique restera comme une saison à marquer d'une pierre noire, une des pires qu'ait connues Madagascar lors de ces vingt dernières années. Habitée à subir les assauts de cyclones dévastateurs, la Grande Ile a cette fois été la cible de deux météores exceptionnels : l'un, ELITA, rendu redoutable par sa trajectoire incroyable, l'ayant fait traverser l'île à trois reprises dans une sarabande infernale ; l'autre, GAFILO, tout simplement monstrueux de puissance, et pour lequel il a fallu dénombrer les victimes non pas par dizaines, mais par centaines, sans parler des centaines de milliers de sinistrés. Deux cyclones mémorables à bien des égards, qui viennent rejoindre une liste déjà longue de phénomènes de sinistre mémoire, tels les ELINE ou GERALDA, pour n'évoquer que ceux de la dernière décennie.

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 2003-2004. 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 !



Ph. Caroff (responsable opérationnel du CMRS/Centre des Cyclones de La Réunion) devant la carte de trajectoire de DARIUS, lors d'un point de presse aux médias, le 1er janvier 2004. En ce jour de l'an, La Réunion était en situation de "vigilance cyclonique" et c'était la première fois en plus de 25 ans que le système d'alerte était ainsi activé au changement d'année...
 Ph. Caroff (Operational Head of RSMC/Tropical Cyclone Warning Centre La Réunion) in front of the tracking map of DARIUS during a briefing to the medias on 1st January 2004. For the first time in more than 25 years the tropical cyclone warning system was activated for New Year's Day at La Réunion which was under a "cyclone watch"...

Like the previous season (2002-2003), the 2003-2004 cyclone season was again a very long-lasting one in the Southwest Indian Ocean, but was less active therefore recovering a level of activity close to average. This season will otherwise be characterized by some atypical tracks, including a few particularly tortuous, the most extreme being the stunning track of ELITA, that crossed Madagascar three times consecutively. Alas, this storm will be remembered not only for this peculiarity since its successive passages across the "Big Island" left a trail of destruction and caused dozens of fatalities. However this high human and economic toll was not on a similar scale to that inflicted a few weeks later by the terrible cyclone GAFILO, one of the most violent and destructive that the basin has seen over the last few decades, THE phenomenon which will have made its mark on this season and practically eclipsed the rest.

16 depression systems elicited the issuance of advisories, that it to say the same number as during the previous season, a parameter which has moreover been remarkably stable for several years. The cyclogenesis were not however as effective in comparison to the previous season, during which the rate of development into mature phenomena had been truly exceptional. Ten tropical storms were recorded this season, a number which is practically normal for the basin (the climatological normal being nine storms). Half of them later reached tropical cyclone stage, a proportion which also conforms to the norm. The review of the number of days of cyclonic activity, a more reliable parameter to describe the disturbed activity, allows us to refine this diagnosis. With a total of 19 cumulated days on which a tropical cyclone was present in the area (number of cyclone days), we can regard mere cyclone activity to have almost perfectly matched the normal (the average being about 20 days). The disturbed activity at a more moderate stage has, in contrast, been slightly above normal, since there were 57 days with the presence of a depression system of an intensity equal to or greater than a moderate tropical storm (to compare with a mean of 53 and a median of 48). As in the 2002-2003 season, only one system managed to maintain durably (more than three days) at hurricane force stage (cyclone FRANK).

This was not the only analogy between the two seasons. The most obvious similarities in patterns concerned the beginning and end of the respective seasons. The beginning of the season in particular was astonishingly similar to that of the previous one, almost a carbon copy. In both cases, four storms developed before the end of the year, which in itself is not very common (the naming of the fourth depression system of the season occurring before 31 December on average once every six years) and furthermore came to life following almost the same chronology; the first system – a tropical storm – emerged in September (not as prematurely however as in 2002), followed by the first cyclone in November, before a second one developed in December, preceding the formation of a new tropical storm right at the end of the year. As for the last named system of the season it developed in May which was a recurrence of an event that had occurred not only in 2003, but also in 2002. Even if that time this last late system of the season did not reach cyclone stage, as had been the case in the months of May 2002 and 2003, this unprecedented succession of three consecutive years with a mature phenomenon in May inevitably brings back numerous questions that were already raised the previous year, in particular on a potential, or even already real, tendency towards a prolongation of cyclone seasons, with underlying speculations of a possible link with global warming...without many more answers for the time being. Whatsoever the fact is that the consequences in terms of the length of the season were almost the same: 2003-2004 followed in the steps of its predecessor, becoming one of the longest of modern times, extending over more than seven and a half months, from the end of September until mid May.

If the cyclogenesis were well spread out in time, they were however hardly spread out in space, concentrating in the area around Diego-Garcia (Chagos Archipelago), a geographic area which has even more than usual lived up to its reputation of being the favoured zone for cyclogenesis in the basin. Only three systems, of the ten counted, originated outside of this area. Out of these three, only a single one formed in the Mozambique Channel while two came from the Southeast area of the Indian Ocean.

The tracks observed this season have not often been a good for forecasters: the regularity has hardly been the rule and

cuspidal points, sudden changes of path, sometimes in very unusual directions, have even been the fate of some specimens that were particularly difficult to manage, such as cyclones BENI and FRANK. But in terms of an "exotic" track, it will be difficult to outrival that of ELITA and its tormented whirling track around Madagascar (even if it was not unprecedented – confer FELICIE in 1971).

If cyclogenesis focused in the central-east part of the basin, damage concentrated in Madagascar. In contrary to last year, when the impacts from different meteors had been very spread out spatially, with almost all inhabited land being directly or indirectly affected, this year the majority of territories escaped trouble. Southern Africa and Mozambique in particular were completely spared, while the Mascarenes did not have to suffer from the DARIUS' passage, whose rain was even beneficial for the island of Mauritius, putting an end to a long period of drought. Despite this, this cyclone season will remain a season marked in black, one of the worst that Madagascar has lived over the past twenty years. Accustomed to suffering assaults from devastating cyclones, this time the "Big Island" was the target of two exceptional storms: one, ELITA, was dreadful because of its incredible track, crossing the island three times in an infernal swirl; the other, GAFILO, simply a behemoth of power whose victims had to be counted not in tens, but in hundreds, not to mention the hundreds of thousands of disaster victims. Two memorable cyclones in many respects which have added their names to an already long list of sinister phenomena such as ELINE or GERALDA to recall but two from the last decade.


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. ABAIMBA:**
Tempête tropicale modérée
(28 septembre au 6 octobre 2003)


 **02. BENI:**
Cyclone tropical intense
(9 au 25 novembre 2003)


 **03. CELA:**
Cyclone tropical
(4 au 22 décembre 2003)

 **04. DARIUS:**
Forte tempête tropicale
(27 décembre 2003 au 4 janvier 2004)


 **05. ELITA:**
Cyclone tropical
(24 janvier au 13 février 2004)

 **06. FRANK:**
Cyclone tropical intense
(26 janvier au 9 février 2004)


 **07. GAFILO:**
Cyclone tropical très intense
(1^{er} au 18 mars 2004)


 **08. HELMA/NICKY:**
Forte tempête tropicale
(7 au 16 mars 2004)


 **09. ITSENG/OSCAR:**
Forte tempête tropicale
(22 au 29 mars 2004)


 **10. JUBA:**
Forte tempête tropicale
(5 au 17 mai 2004)


 **01. ABAIMBA:**
Moderate tropical storm
(28 September - 6 October 2003)

 **02. BENI:**
Intense tropical cyclone
(9 - 25 November 2003)


 **03. CELA:**
Tropical cyclone
(4 - 22 December 2003)


 **04. DARIUS:**
Severe tropical storm
(27 December 2003 - 4 January 2004)


 **05. ELITA:**
Tropical cyclone
(24 January - 13 February 2004)

 **06. FRANK:**
Intense tropical cyclone
(26 January - 9 February 2004)

 **07. GAFILO:**
Very intense tropical cyclone
(1 - 18 March 2004)

 **08. HELMA/NICKY:**
Severe tropical storm
(7 - 16 March 2004)

 **09. ITSENG/OSCAR:**
Severe tropical storm
(22 - 29 March 2004)

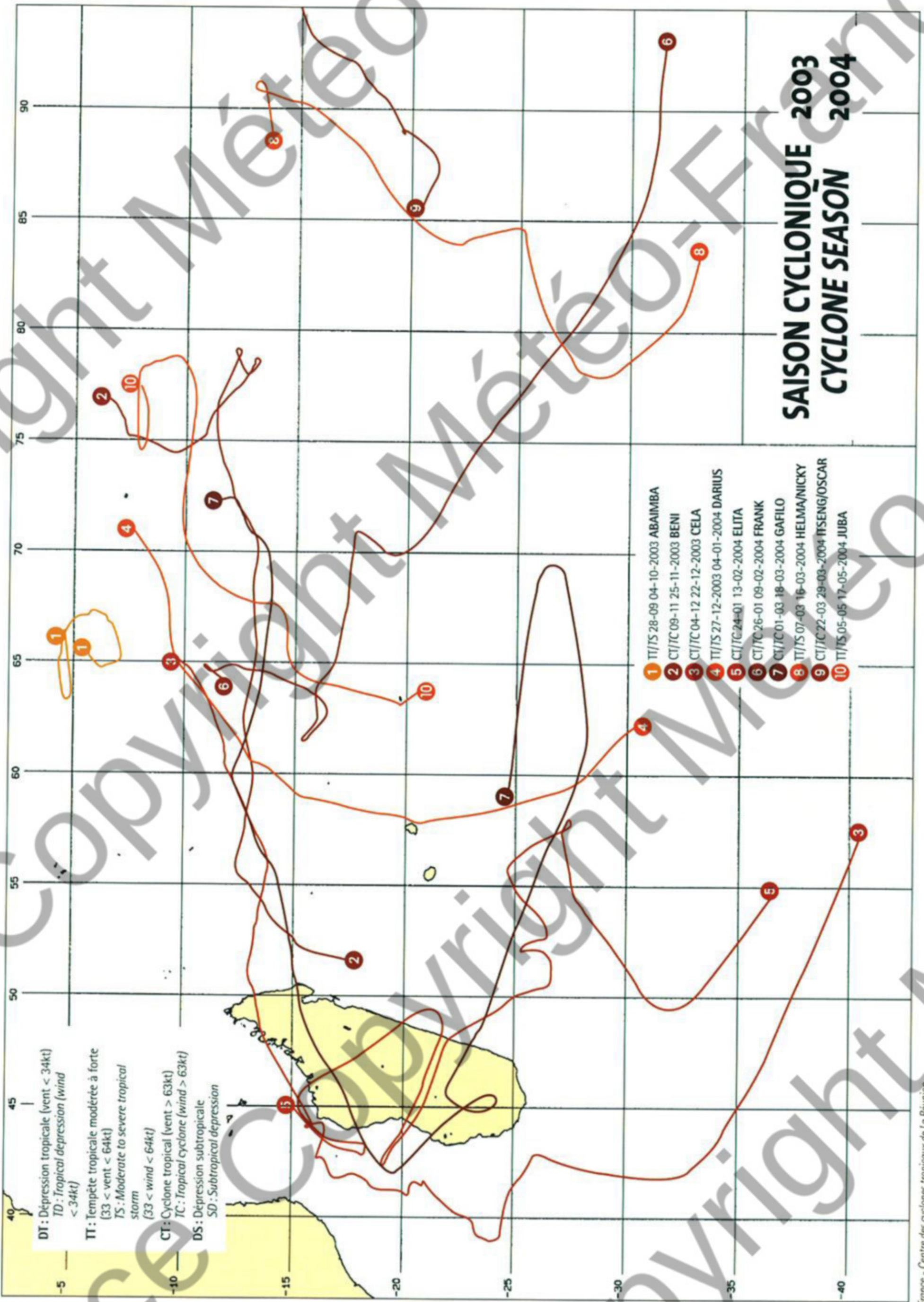
 **10. JUBA:**
Severe tropical storm
(5 - 17 May 2004)

NUMÉRO D'ORDRE <i>Ranking number</i>	SYSTÈME <i>System</i>	TYPE <i>Type</i>	VENT MAXIMAL MOYEN SUR 10 min (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	ABAIMBA	TT/TS	43 (01/10/2003)	995
2	BENI	CT/TC	95 (13/11/2003)	935
3	CELA	CT/TC	65 (16/12/2003)	975
4	DARIUS	TT/TS	55 (31/12/2003)	980
5	ELITA	CT/TC	65 (28/01/2004)	970
6	FRANK	CT/TC	100 (02/02/2004)	930
7	GALIFO	CT/TC	125 (06/03/2004)	895
8	HELMA/NICKY	TT/TS	60 (11/03/2004)	975
9	ITSENG/OSCAR	TT/TS	60 (27/03/2004)	975
10	JUBA	TT/TS	60 (13/05/2004)	975

N.B. Avant d'être renommé ITSENG sur le Sud-Ouest de l'océan Indien, OSCAR avait atteint le stade de cyclone tropical intense à l'est de 90°E (avec un vent maxi de 90 nœuds et une pression centrale minimale de 940 hPa, le 26/03/2004).

Before being renamed ITSENG in the SouthWest Indian Ocean, OSCAR had reached intense tropical cyclone stage east of longitude 90°E (on 26th March with maximum winds of 90 kt and a central pressure of 940 hPa)

SAISON CYCLONIQUE 2003 CYCLONE SEASON 2004



Météo France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

Caractéristiques

de la saison 2003-2004 dans le Sud-Ouest de l'océan Indien

Statistical data relative to the 2003-2004 season in the South-West Indian Ocean

1. DISTRIBUTION DE L'ACTIVITÉ CYCLONIQUE (CI ≥ 2.5) (DISTRIBUTION OF CYCLONE ACTIVITY)

TYPE	NOM NAME	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	DURÉE LIFETIME (CI ≥ 2,5)
TTM	ABAIMBA		■											5
CTI	BENI				■									11
CT	CELA				■	■								12
FTT	DARIUS					■								6
CT	ELITA						■							8
CTI	FRANK						■	■						11
CTTI	GAFILO							■	■					11
FTT	HELMA/NICKY								■					4
FTT	ITSENG/OSCAR								■					2
FTT	JUBA										■			4
MOYENNE (AVERAGE LIFETIME) =														7,4

2. ACTIVITÉ CYCLONIQUE (CYCLONE ACTIVITY)

CI (intensité)/(intensity)	≥ 2.0*	≥ 2.5*	≥ 3.0	≥ 5.0	≥ 6.0	≥ 7.0
NOMBRE DE PERTURBATIONS (Number of disturbances)		10	10 (9)	3 (4)	2	1
NOMBRE DE JOURS D'ACTIVITÉ CYCLONIQUE (calendaires) (Number of days with cyclone activity)	83 (68)	65	49 (42)	12 (13)	4	2
NOMBRE DE JOURS D'ACTIVITÉ CYCLONIQUE (cumulés pour l'ensemble des perturbations) (Cumulated number for all the disturbances)	94 (75)	74	54 (48)	12 (13)	4	2

* Données relatives aux seules perturbations analysées

* Data valid for analysed disturbances only

NOTA : • CI = Intensité sur l'échelle de DVORAK (page 91) (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, figurent les médianes, calculées 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.

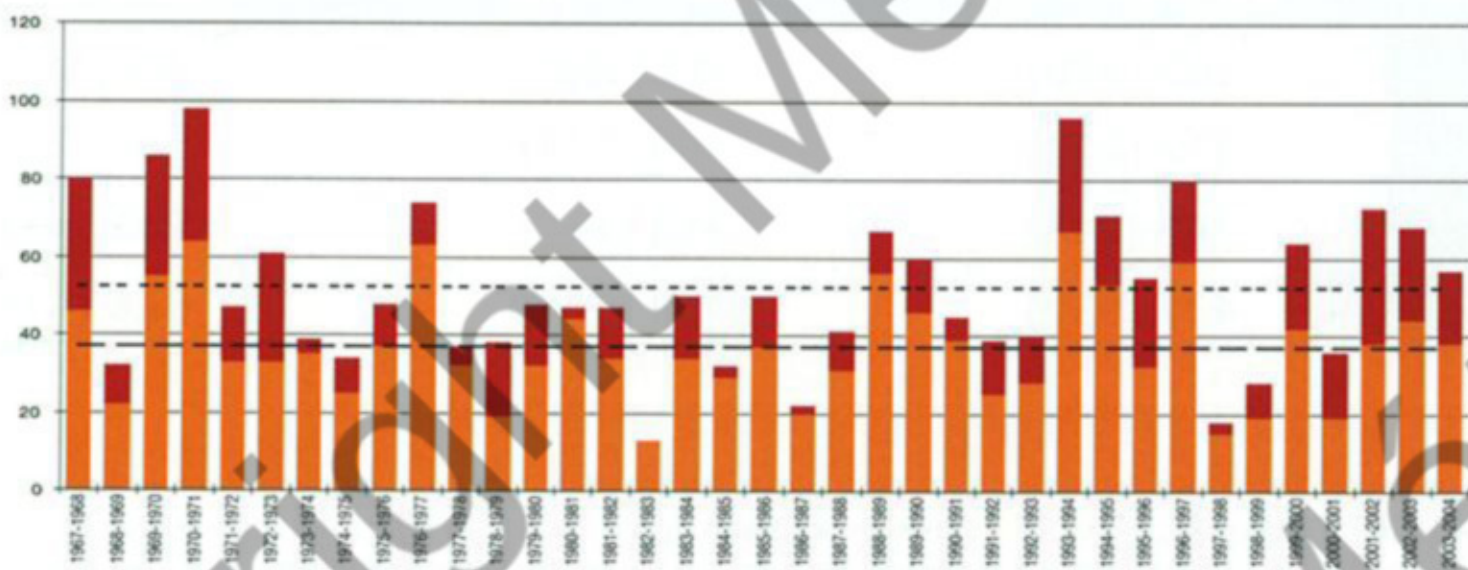
Medians for the period 1967-1968 to 1996-1997 are indicated in brackets within the table. The median can be defined as the value corresponding to a standard season, for there are as many seasons above the median as below.

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 91). Starting from the season 1999-2000, the classification of tropical systems regarding Dvorak intensities has been modified (see explanations page 91).



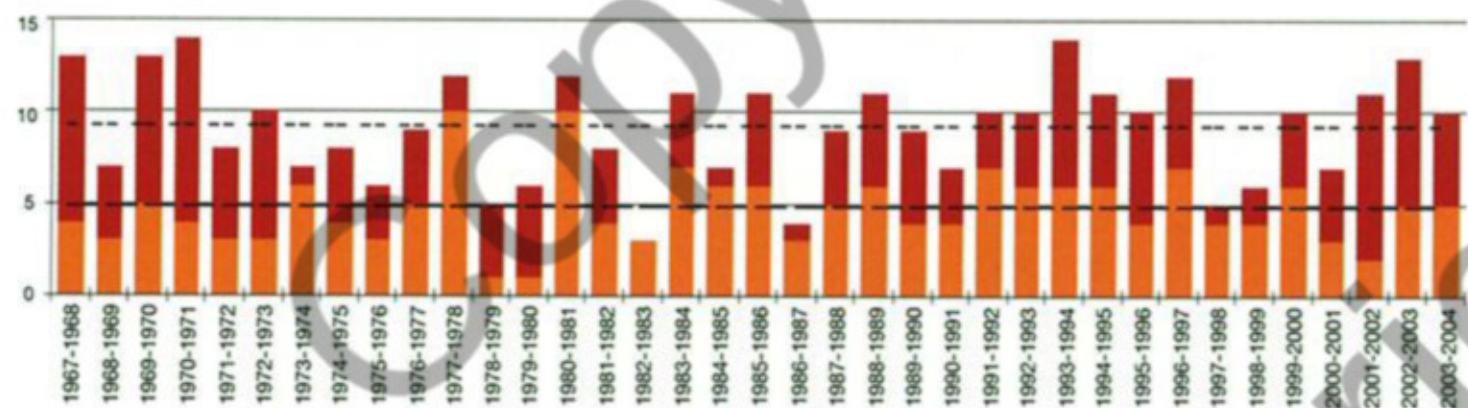
Variation interannuelle du nombre de jours avec activité cyclonique sur le bassin Sud-Ouest de l'océan Indien et moyenne.
 Annual variation in the number of days with cyclonic activity in the South-West Indian Ocean basin and average.

■ 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) = 6
- Centre bassin (Central area) (de 60°E à 70°E) = 3
- Nord-Ouest bassin (Northwestern area) (de 50°E à 60°E) = 0
- Canal de MOZAMBIQUE (MOZAMBIQUE Channel) = 1

Cyclolyse (Cyclolysis)

- Domaine polaire (polar area) = 5
- Domaine tropical (tropical area) = 5
 dont [Sur terre (over land) = 0
 (among which) [Sur mer (over sea) = 5

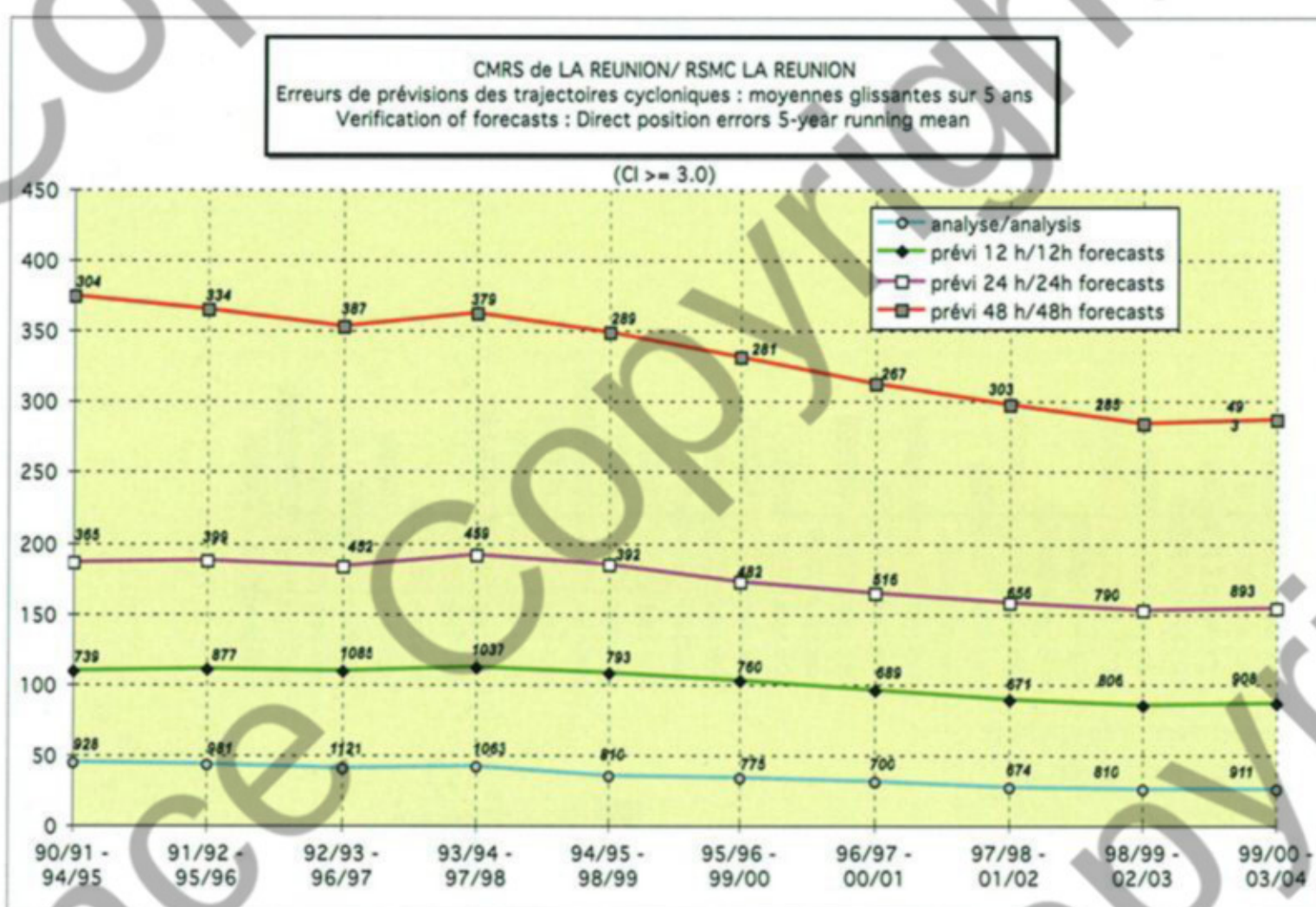
4. QUALITÉ DES PRÉVISIONS (VERIFICATION OF FORECASTS)

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	102 (270)	93 (175)	83 (42)
24	172 (262)	169 (173)	168 (42)
48	306 (218)	312 (161)	362 (42)
72	437 (192)	457 (141)	526 (41)

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-contre 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 here-with 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 2003-2004)
NUMBER OF BULLETINS ISSUED BY RSMC/LA REUNION (CYCLONE SEASON 2003-2004)**

N°	PERTURBATIONS TROPICALES TROPICAL DISTURBANCES	BMS					TOTAL	BULLETINS CMRS RSMC BULLETINS	AVIS CONSULTATIFS ICAO ADVISORIES	BEST TRACKS
		AVERTISSEMENTS WARNINGS	AVIS DE GRAND FRAIS NEAR GALE WARNINGS	AVIS DE COUP DE VENT GALE WARNINGS	AVIS DE TEMPÊTE STORM WARNINGS	AVIS D'OURAGAN HURRICANE WARNINGS				
01	ABAIMBA	6	11	5			22	22	5	1
02	BENI	6	10	11	9	7	43	43	27	1
03	CELA	15	13	13	15	7	63	64	35	1
04	DARIUS	4	2	10	10		26	26	20	1
05	05 2003 2004	6					6			
06	ELITA	4	15	38	6		63	69	44	1
07	FRANK	1	2	6	4	32	45	44	42	1
08	08 2003 2004	2					2			
09	GAFILO	10	3	14	8	12	47	50	34	1
10	HELMA/NICKY	2		3	7		12	12	10	1
11	11 2003 2004	8					8	6		
12	ITSENG/OSCAR	1	2		2		5	4	2	1
13	13 2003 2004	2					2	1		
14	14 2003 2004	1					1			
15	JUBA	12	2	3	5		22	20	8	1
16	16 2003 2004	5					5	5		
	TOTAUX (TOTALS)	85	60	103	66	58	372	366	227	10

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

Voici 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 res-

ponsabilité 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 posi-

tion 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 6h (à 00, 06, 12 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 positions et intensités prévues à 12, 24, 48 et 72h figurent notamment dans ces bulletins.

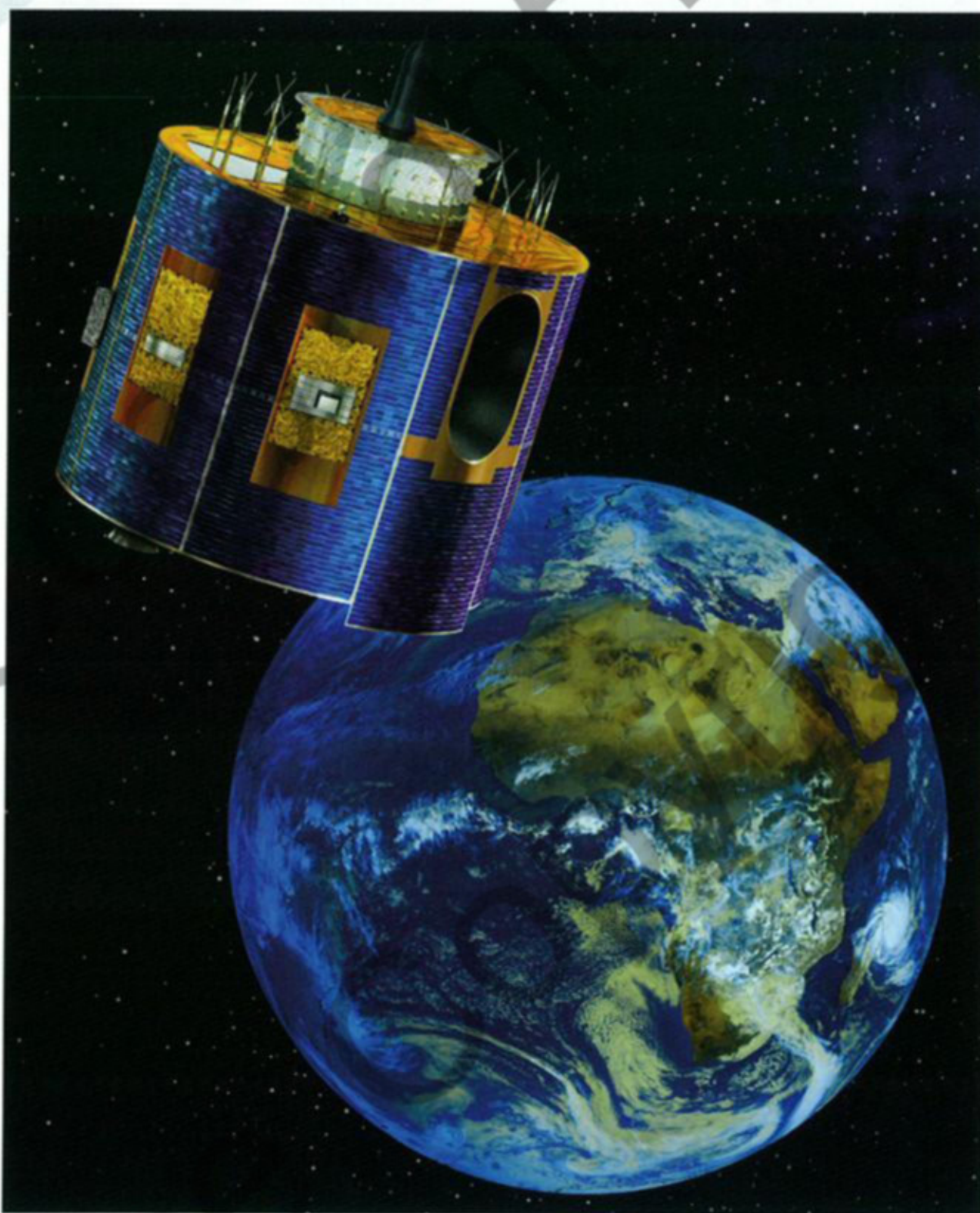
- **BULLETINS SATELLITE D'ANALYSE CYCLONIQUE (SAT) :**

Les images satellitaires (des satellites défilant prioritairement) sur lesquelles sont visibles au moins une perturbation, font occasionnellement 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 SIG-MET/Cyclones Tropicaux.

En effet, à la demande de l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale),



Le cyclone tropical GAFILO en bordure du scope d'acquisition du satellite géostationnaire METEOSAT 8 (MSG1), à 36 000 km au-dessus de l'océan Atlantique le 6 mars 2004.

Tropical cyclone GAFILO close to the edge of the acquisition scope of geostationary satellite METEOSAT 8 (MSG1) 36,000 km above the Atlantic Ocean on the 06 March 2004

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 numérique, 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.

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 six hours (at 00, 06, 12 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, 48-hours and 72-hours positions and intensities forecasts complemented by prognostic reasoning information.

- **SATELLITE BULLETINS:**
Such bulletins are produced occasionally 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 3 or 6 hours- inside the web serveur of Meteo-France.

Abaimba

Tempête Tropicale modérée du 28 septembre au 4 octobre 2003

Moderate Tropical Storm "Abaimba" (28 September - 04 October 2003)

FORMATION

La saison cyclonique 2003-2004 débute à nouveau très précocement, dès la fin septembre, à une date correspondant au 1er quintile, en terme de calendrier de démarrage de la saison. Cette première cyclogenèse va survenir, comme celle du premier système de la saison précédente (qui s'était déclaré encore plus tôt -début septembre- et avait affecté les Seychelles), à une latitude très proche de l'équateur.

C'est, en effet, au nord du 5e parallèle Sud que, le 28 septembre, une circulation dépressionnaire fermée s'isole au sein du talweg proche-équatorial, dans le secteur ouest de l'archipel des Chagos. À ce stade, la convection associée ne présente toutefois aucun signe inquiétant, étant même absente au voisinage du centre de basses pressions. Celui-ci se situe de plus sur la façade nord-ouest de la dorsale d'altitude, dans un environnement modérément cisailé de nord-est. Malgré ces conditions loin d'être idéales, la convection va aller en s'organisant rapidement à compter de la nuit suivante. Se développant et se concentrant tout à la fois, à proximité sud-ouest du centre dépressionnaire dans un premier temps, elle gagne encore de l'ampleur le lendemain, venant ainsi se positionner au-dessus du minimum, qui peut dès lors se creuser de manière significative. Soutenue par un flux d'alizé affirmé au sud et un flux d'ouest bien établi le long de l'Équateur au nord, la vorticité s'accroît spectacu-

lairement en l'espace de 24 heures, amenant la perturbation, encore très embryonnaire la veille, au stade de dépression tropicale dès avant la mi-journée du 29.

ÉVOLUTION

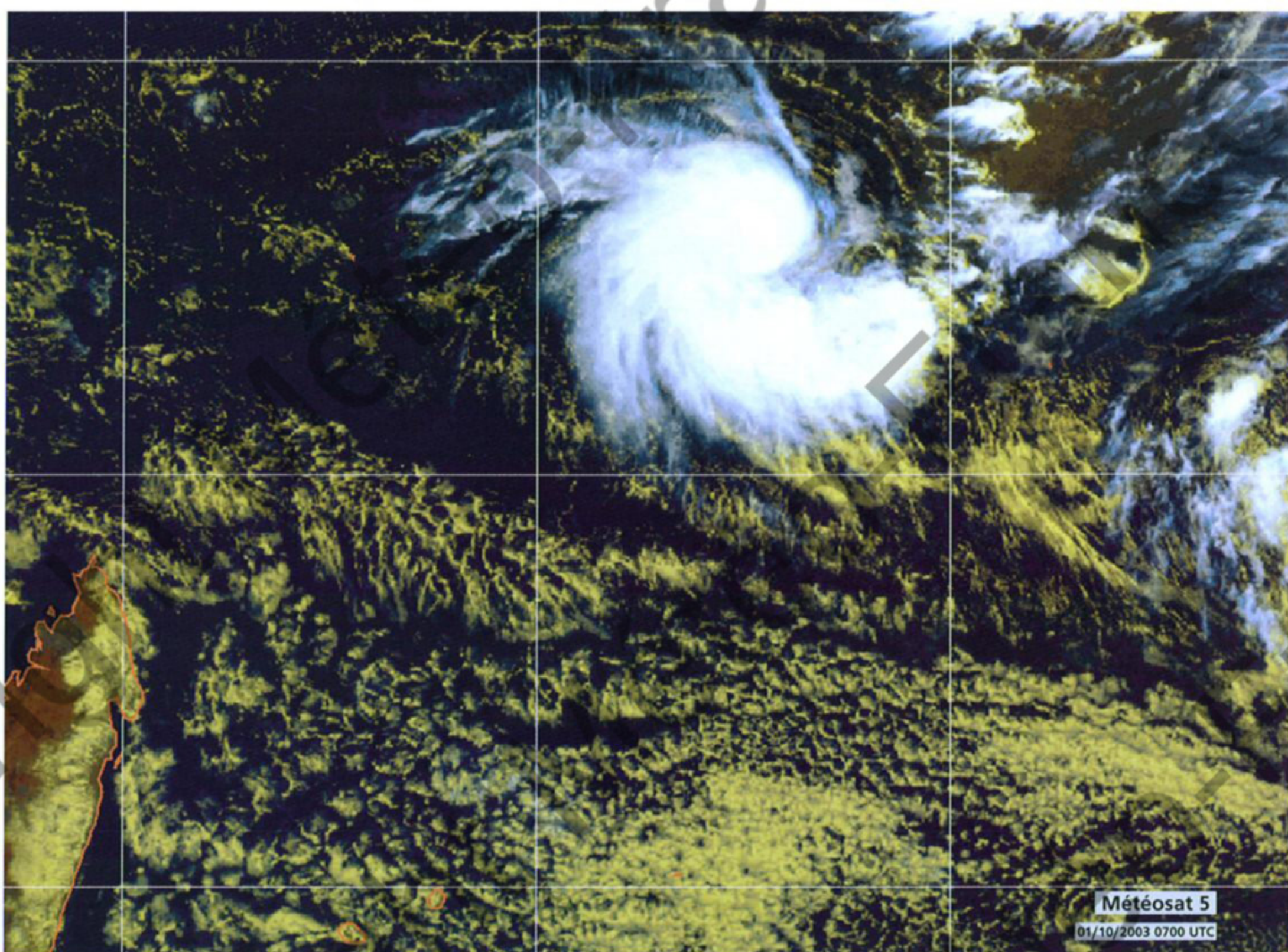
Le minimum dépressionnaire se situe à cet instant à quelque 800 km à l'est des Seychelles et, le voyant se décaler vers l'ouest depuis la veille, tout en se creusant rapidement, les plus pessimistes entrevoient d  j à la répétition de l'  v  nement survenu un an auparavant, à savoir un nouvel impact d'un système dépressionnaire sur cet archipel normalement à l'abri de ce genre de phénomènes.

Il n'en sera rien, car la dépression rebrousse chemin vers l'est sur le champ, le flux directeur semblant donc passer sous le contrôle du flux d'ouest équatorial. Sous la contrainte du cisaillement vertical de vent de nord-est, la phase d'intensification initiale est dans le même temps stoppée, ce fait étant probablement à relier à l'élément précédent. Le changement de trajectoire du système, à contre-courant du flux d'altitude, a, en effet, logiquement dû s'accompagner d'un renforcement du cisaillement vertical de vent. L'emprise de ce cisaillement demeure malgré tout modérée, si l'on en juge par la structure nuageuse présentée en cours de nuit du 29 au 30, avec un vortex de basses couches qui n'apparaît exposé hors de la convection qu'aux deux tiers. Toujours est-il que l'intensité du phénomène, contenue au stade de dépression

tropicale, demeure inchangée jusqu'au 30, avec même une tendance à l'affaiblissement qui s'amorce dans l'après-midi du 30, moment où le vortex de nuages bas devient franchement exposé. Mais en fin de nuit suivante, une forte reprise de la convection intervient et permet à la dépression, probablement à la faveur d'un relâchement temporaire de la contrainte cisailée, de se creuser à nouveau significativement. Cette seconde phase d'intensification ne va durer qu'une dizaine d'heures, mais va suffire à amener le météore jusqu'au stade de tempête tropicale modérée, le pic d'intensité étant atteint en matinée du 1er octobre. ABAIMBA devient ainsi non seulement une des tempêtes tropicales les plus précoces de l'ère satellitaire sur le bassin, mais aussi le deuxième phénomène à être classé à ce stade au nord du 5e parallèle Sud (le premier ayant été celui ayant concerné les Seychelles lors de la saison précédente).

ABAIMBA ne va pas pouvoir jouir bien longtemps de ce privil  ge, non seulement parce que sa trajectoire incurve progressivement vers le sud, entraînant le franchissement du 5e parallèle par son centre dépressionnaire dès la nuit suivante, mais surtout du fait qu'il ne va pouvoir conserver son statut de tempête tropicale qu'à peine plus de 24h. Le cisaillement vertical de vent s'est, en effet, de nouveau renforcé. Bien que demeurant d'intensité modérée, il est suffisant pour affecter la structure nuageuse du météore. Dès la nuit du 1er au 2, le vortex de basses couches apparaît de nouveau exposé hors de la convection, qui, pour sa part, se d  sagr  ge en grande partie. Au matin du 2, c'est un vortex quasiment dénué de convection qui se dévoile, à moins de 600 km dans le nord-ouest de l'  le de Diego-Garcia.

Cette fois, il n'y aura pas de nouvelle r  mission, et déclassé peu après en dépression tropicale, l'ex-ABAIMBA ira en se comblant lentement les jours suivants, malgré des reprises sporadiques de la convection au voisinage du minimum dépressionnaire. Se décalant très lentement vers le sud-sud-ouest jusqu'au 3, puis temporairement plus franchement en direction de l'ouest-sud-ouest, celui-ci amorcera une boucle le 4 octobre,



Une tempête tropicale très précoce sur le Sud-Ouest de l'Océan Indien. Évoluant en ce 1^{er} octobre 2003 à plus de 1000 km à l'est des Seychelles, ABAIMBA, alors au maximum de son intensité, devient la première tempête tropicale du bassin baptisée au nord du 5^e parallèle Sud. Loin au sud du météore, qui inaugure en fanfare la saison chaude 2003-2004, la masse d'air présente encore une allure hivernale évidente, avec le patchwork caractéristique de stratocumulus et cumulus présents sous l'inversion d'alizé.

An unusually early tropical storm in the SouthWest Indian Ocean. Located more than 1000 km east of the Seychelles, ABAIMBA was at peak intensity on this 1st October 2003, becoming the very first tropical storm of the basin to be named north of latitude 5°South. Far south of the meteor which was heralding a glaring onset of the warm season 2003-2004, the air mass still featured a typical winter pattern with the characteristic patchwork of stratocumulus and cumulus laid underneath the trade wind inversion.

avant de décrire une fin de trajectoire très erratique, quasiment sur place, jusqu'au 6, date à laquelle il deviendra complètement évanescant.

Tempête tropicale précoce s'étant développée très proche de l'Équateur, ABAIMBA restera dans la climatologie du bassin comme un système mémorable, puisqu'il est de fait le premier système du bassin à avoir été baptisé au nord du 5^e parallèle Sud, bien que n'étant pas considéré comme la première tempête tropicale répertoriée à une latitude aussi basse (mais la tempête 01-20022003 qui avait touché les Seychelles n'avait pas été nommée, son statut de tempête ne lui ayant été reconnu qu'a posteriori). ABAIMBA n'aura pas suivi une trajectoire zonale classique d'un phénomène de début de saison. Son déplacement erratique ne lui a pas permis de s'extirper de sa zone de genèse, évitant ainsi aux Seychelles de subir à nouveau les mêmes désagréments qu'en septembre 2002...

FORMATION

The 2003-2004 cyclone season got underway very early, as early as the end of September, at a date coinciding with the first quintile in terms of the starting schedule of the season. This first cyclogenesis occurred just like that of the first system of the previous season had, i.e. at a latitude very close to the Equator (in 2002 the first storm had sprung to life even sooner -early September-, affecting Seychelles).

Indeed, on 28 September, north of latitude 5°South a closed low circulation became identifiable embedded within the near-equatorial trough west of the Chagos Archipelago. At that stage, the related convection did not show any threatening sign and was even non-existent near the low pressure center. Moreover, the latter was situated on the northwest side of the upper ridge within a moderate northeasterly sheared environment. Although those conditions were far from ideal, the convection rapidly got organized from the following night. It first went on

developing and focusing in the southwest close vicinity of the low center and then gained in areal coverage on the next day thereby setting above the low that would deepen accordingly. Supported by a solid trade wind flow to the south and a well-established westerly flow along the Equator to the north, the vorticity increased tremendously within 24 hours bringing the disturbance, which was still embryonic the day before, to the tropical depression stage before midday on the 29th.

EVOLUTION

The low center was standing some 800 km east of the Seychelles at that time and as it had been drifting westwards since the previous day while deepening rapidly, those more pessimistic already foretold a repeat of the previous year's event, i.e. another storm impact on this archipelago that is usually spared this sort of phenomena. But nothing nasty would happen this time as the depression turned back to the east at once. The steering flow thus seemed to

switch over under the control of the equatorial westerlies. Under the northeasterly shear constraint, the initial intensification phase came simultaneously to a halt. This was probably linked to the abovementioned factor since the system's change of track, counter-current of the upper flow, had most likely come together with a reinforcing of the vertical windshear. The impact of this shear remained however quite moderate deemed the cloud structure displayed in the course of the night of the 29th with a low-level vortex that was exposed outside the convection only by two-thirds.

Be that as it may, the intensity of the phenomenon remained unchanged until the 30th, held at the tropical depression stage, with a rather weakening tendency commencing in the afternoon, when the vortex of low clouds became definitely exposed. However, late the following night, an outbreak of convection intervened allowing the depression to deepen further again. This second intensification phase, probably triggered by a temporary relaxation of the sheared constraint, only lasted about 10 hours but was efficient enough to bring the meteor to the moderate tropical storm stage, the

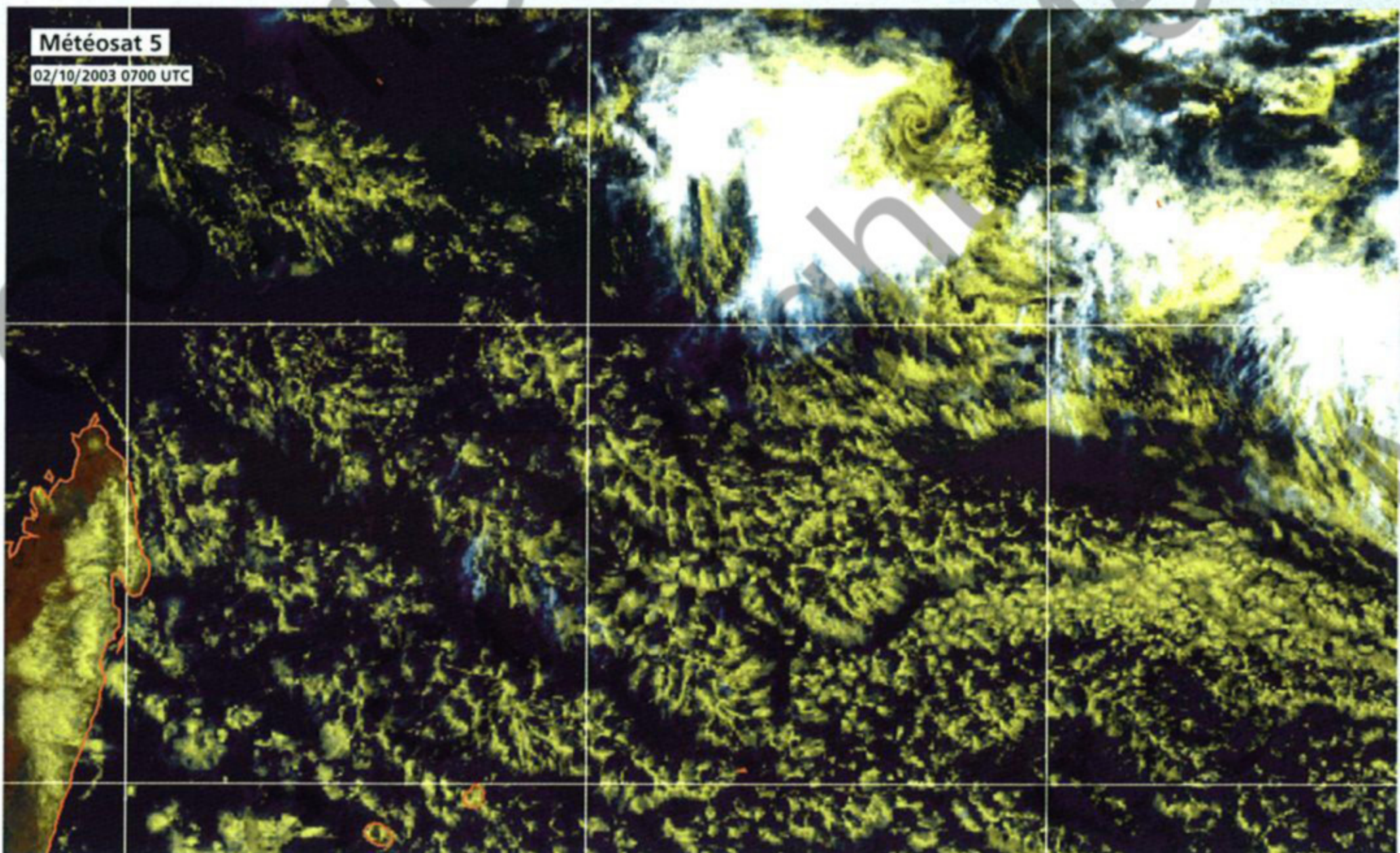
intensity peak being reached by morning of 1st October. ABAIMBA not only became one of the earliest tropical storms in the basin since the satellite era, but also the second phenomenon to be classified at that stage north of latitude 5°South (the first being the one that affected Seychelles during the previous season).

ABAIMBA would not enjoy this privilege for long indeed. Not only because its trajectory gradually bent southwards, which caused the low center to cross latitude 5°S as early as the following night, but mainly since it was able to keep its tropical storm status for just a little more than 24 hours, as the vertical windshear had strengthened yet again. Although remaining rather mild, this shear was sufficient to affect the cloud structure of the meteor. Early in the night of 1st October, the low level vortex slipped outside the convection again, which, for its part, disintegrated for the most part. In the morning of the 2nd, a vortex nearly void of any convection unveiled less than 600 km northwest of Diego-Garcia Island.

This time, there would be no further remission and so shortly afterwards, ABAIMBA was downgraded to a tropical depression and kept

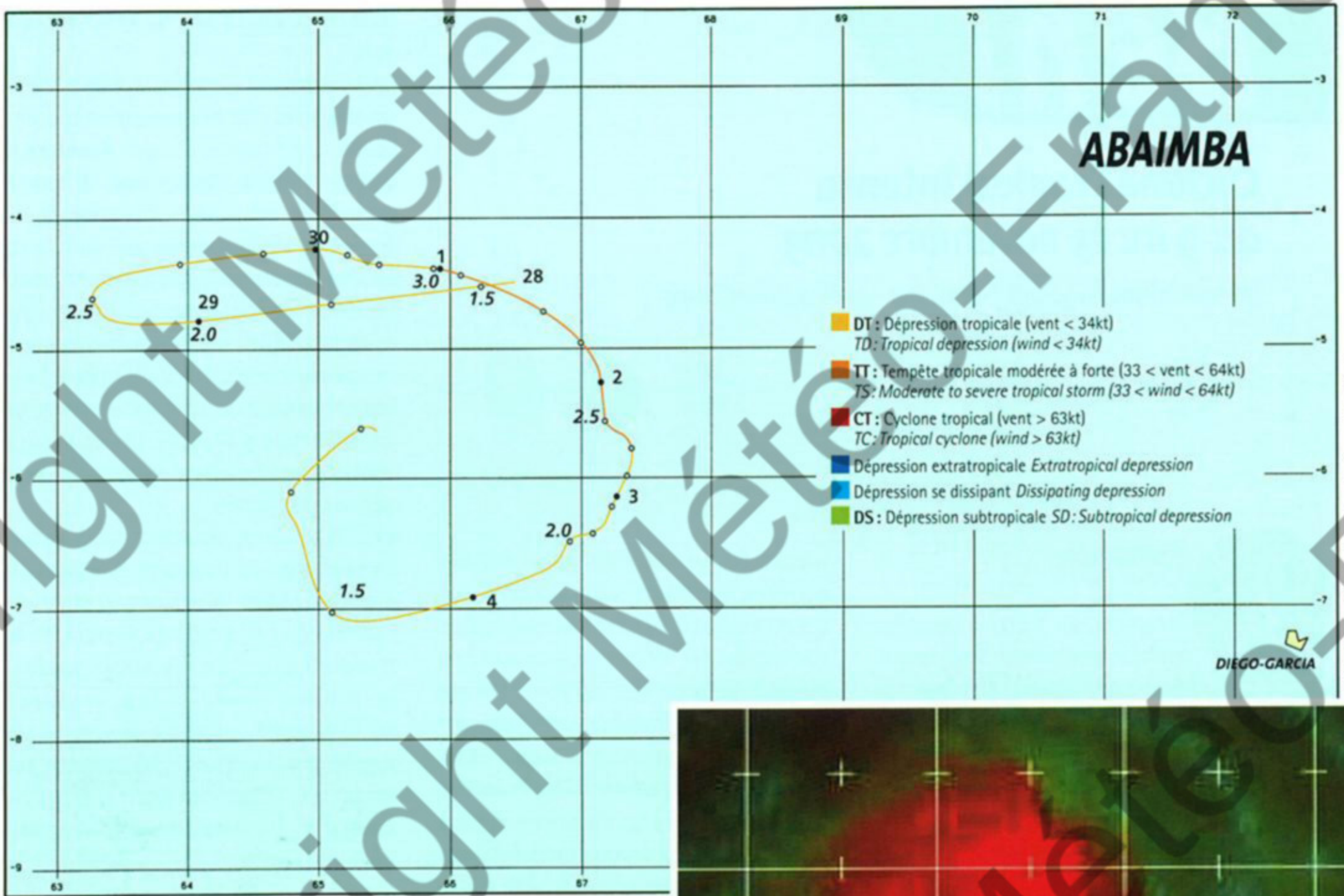
filling slowly in the course of the following days despite the sporadic revivals of the convection near the low center. Drifting very slowly south-southwestwards until 3 October, and then temporarily heading more steadily to the west-southwest, the filling low then started to loop on 4 October before meandering very erratically nearly on the spot until the 6th, when it vanished altogether.

As an early tropical storm that developed very near the Equator, ABAIMBA shall remain a memorable system in the basin's climatology since it was the first system in the basin to be named north of latitude 5°South, even though it was not considered as the first tropical storm recorded at such a low latitude (since the storm 01-20022003 that hit Seychelles had not been named in real-time, its tropical storm status being only recognized in post-analysis). ABAIMBA did not follow a classic zonal track like early phenomena of the season often do. Given its erratic motion, it did not manage to pull out of the area where it originated and thus spared Seychelles the trouble it had gone through in September 2002.

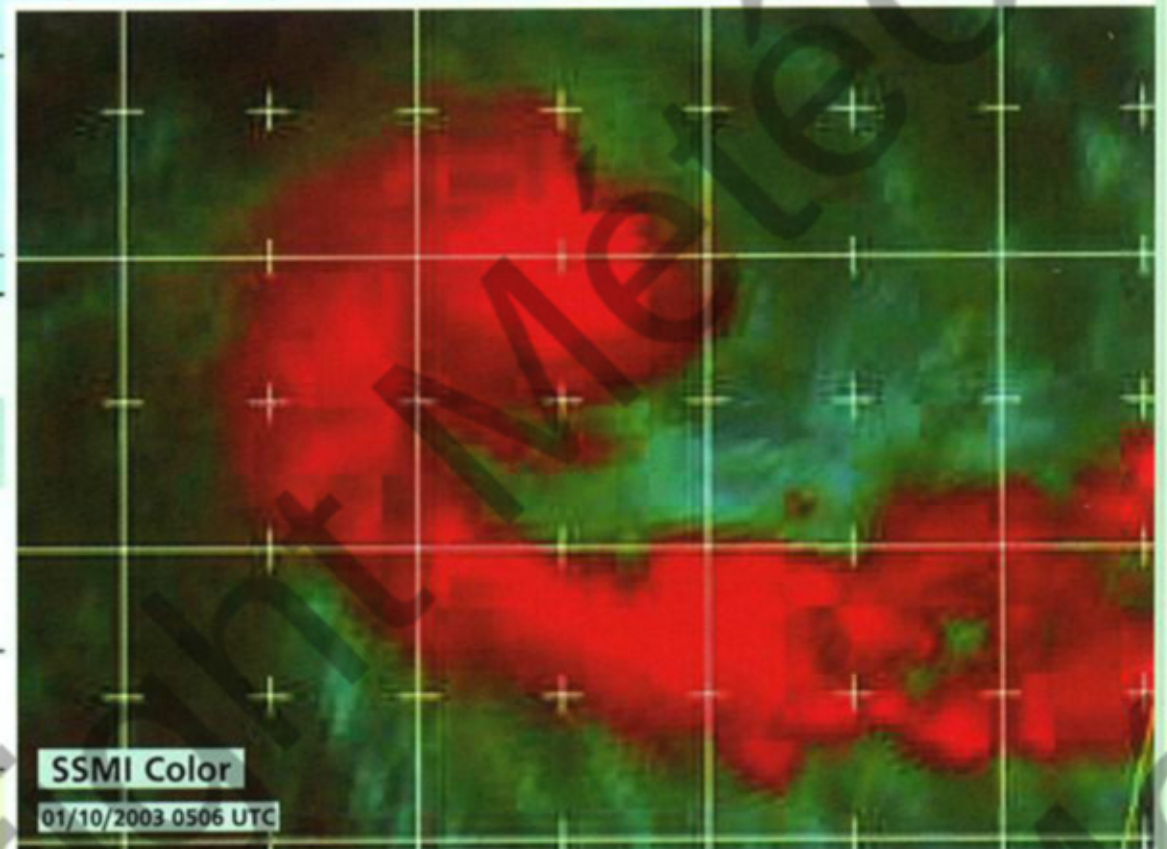


24 heures après son maximum d'intensité, ABAIMBA a subi les effets d'un renforcement du cisaillement vertical de vent. Ne perdure plus qu'un vortex de nuages bas "agrémenté" de quelques résidus de convection dans ses secteurs sud à ouest.

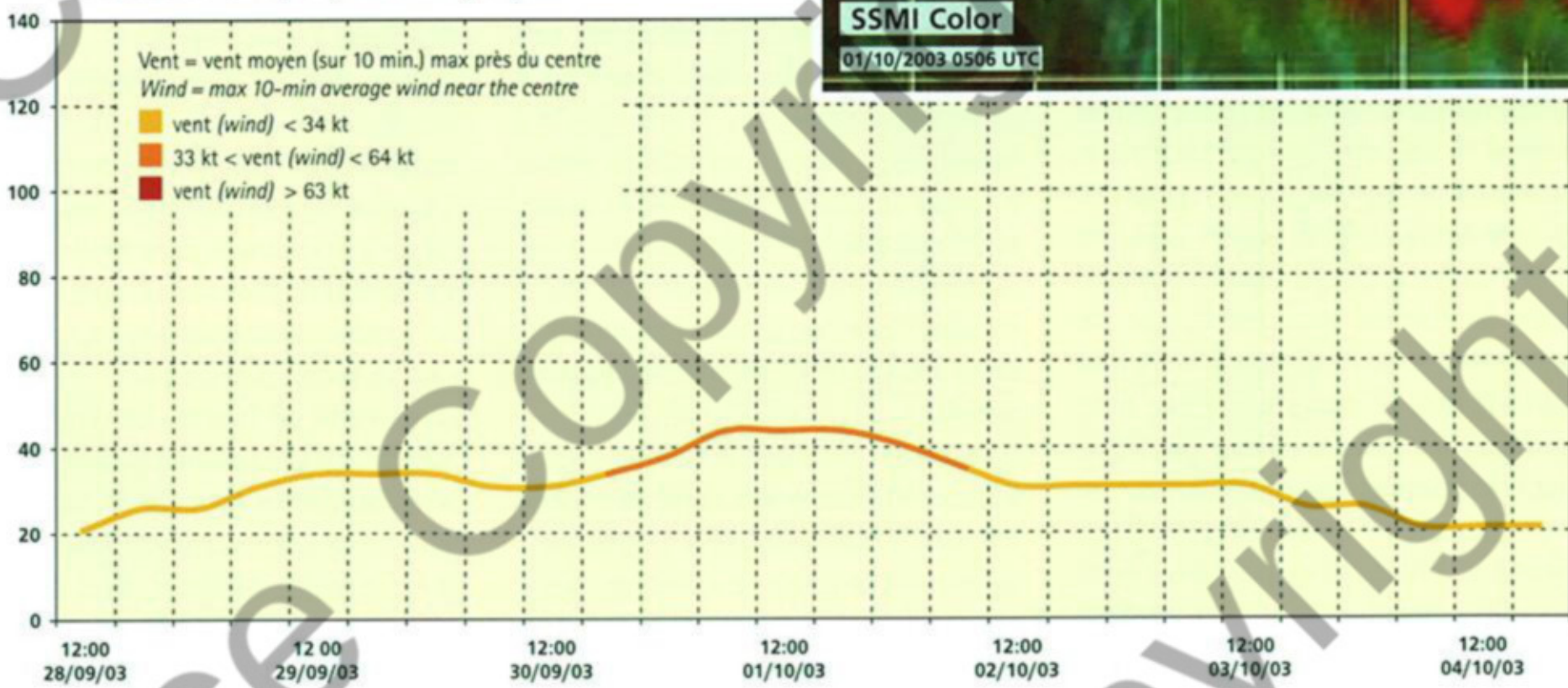
24 hours after its intensity peak, ABAIMBA showed the consequences of the enhanced vertical wind shear it had undergone, displaying a residual low level vortex just "adorned" with patches of remnant convection set in its southern and western sectors



ABAIMBA, peu avant son maximum d'intensité, vu par l'imagerie micro-onde.
ABAIMBA a short while prior reaching its maximum as depicted by the microwave imagery.



ABAIMBA DU 28/09/03 AU 04/10/03



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)

Beni

Cyclone Tropical Intense du 9 au 25 novembre 2003

Intense Tropical Cyclone "Beni" (09 - 25 November 2003)

FORMATION

Une année sur deux, la première tempête tropicale se forme sur le Sud-Ouest de l'océan indien avant la mi-novembre (date correspondant à la médiane, en terme de cyclogenèse du premier système baptisé). En cette saison 2003-2004, c'est déjà le deuxième système dépressionnaire qui va se développer avant cette date, confirmant une entrée en matière précoce, après ABAIMBA fin septembre-début octobre. Cette seconde cyclogenèse conduira, cette fois, à la formation d'un météore nettement plus puissant, atteignant le stade de cyclone tropical intense, un des plus précoces également dans cette catégorie depuis le début de l'ère satellitaire.

En cette fin de première décennie du mois de novembre, la situation synoptique est conforme à la normale sur l'océan Indien tropical. À ceci près que le flux d'ouest équatorial qui règne en basse troposphère sur la majeure partie du bassin, séparant les deux talwegs proche-équatoriaux présents, de manière quasi symétrique, de part et d'autre de l'Équateur, s'avère plus soutenu que de coutume. À une telle configuration d'inter-saison classique, que l'on retrouve également autour du mois de mai, est climatologiquement associé un risque de cyclogenèses dites «jumelles», avec formation, généralement quasi simultanée et à des longitudes équivalentes, de systèmes dépressionnaires dans les deux hémisphères.

Pour que des systèmes puissent se déve-

opper, il faut toutefois qu'un certain nombre d'ingrédients soient présents. L'un d'eux requiert la présence persistante de convection. En l'occurrence c'est le cas, puisque de la convection morcelée est observable sur l'imagerie satellitaire sur toute la zone centrale de l'océan Indien tropical, depuis la zone océanique des îles Laquedives (au large du Kerala indien) jusqu'à l'est de l'archipel des Chagos. Cette activité convective s'avère anormalement importante pour la saison au vu des mesures d'OLR effectuées (rayonnement sortant de grande longueur d'onde), qui identifient un noyau d'anomalie négative très significative vers 70-80°E dans la zone proche-équatoriale, laissant d'ailleurs supposer qu'une phase active de la MJO (oscillation de Madden Julian) est en cours de développement dans cette zone (aucun indice de propagation vers l'est d'un signal antérieur n'ayant été préalablement repéré). Si l'on ajoute à cela qu'une onde équatoriale de Rossby affirmée se rapproche par l'est du bassin, nombre d'éléments favorables -en terme d'oscillation intra-saisonnière- sont réunis pour favoriser l'activité convective et donc une (ou des) cyclogenèse(s) potentielle(s).

Pour ce qui concerne le Sud de l'océan Indien, certains modèles numériques semblent en l'occurrence y croire fermement, même s'ils sont loin de s'accorder sur le potentiel d'intensification d'un hypothétique système dépressionnaire à venir. Le modèle du Centre européen prévoit en tout cas un creusement spectaculaire à échéance de 4 jours dans sa simulation

du 9 novembre. La suite va lui donner raison.

Le 9 novembre l'imagerie satellitaire révèle les prémices d'une organisation tourbillonnaire à l'est des Chagos. Associée à une circulation dépressionnaire fermée en surface, qui la veille déjà avait commencé de s'esquisser au sein du talweg proche-équatorial, cette zone perturbée bénéficie de conditions environnementales favorables, avec en particulier une bonne divergence d'altitude et un cisaillement vertical de vent faible, en marge de la dorsale d'altitude. Les eaux sont chaudes, anormalement même pour cette période de l'année.

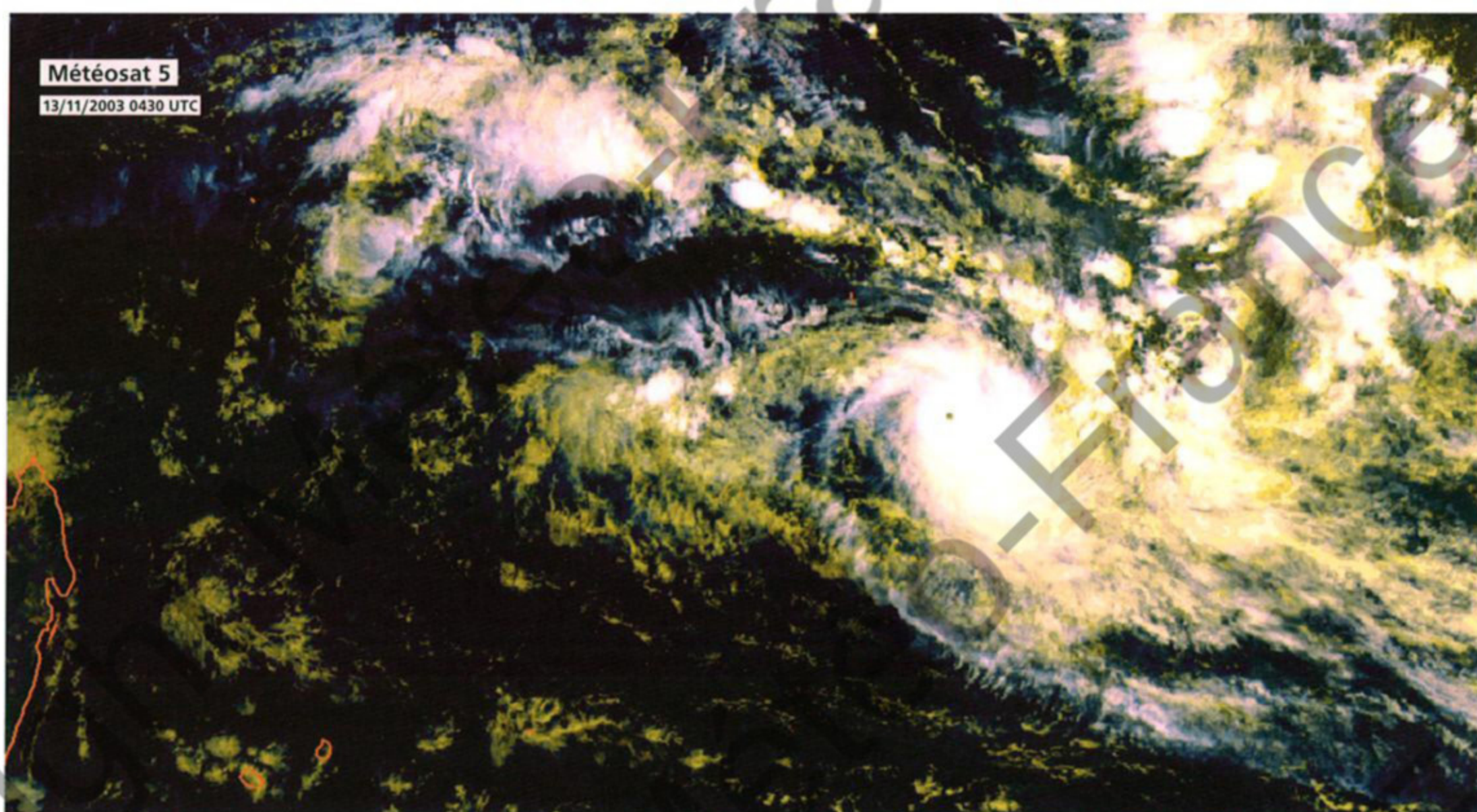
La nuit suivante, un amas de convection se développe au voisinage du minimum dépressionnaire, situé à un peu moins de 500 km de l'île de Diego-Garcia. Et la franche organisation des masses nuageuses affichée ensuite au fil de la journée du 10 novembre, confirme sans ambiguïté que le processus de cyclogenèse est enclenché. Le stade de dépression tropicale est de fait atteint dès avant le milieu de nuit suivante.

ÉVOLUTION

Le système, qui tendait jusque-là à se décaler en direction de l'ouest-sud-ouest, sur une trajectoire le dirigeant assez directement vers Diego-Garcia, ne se déplace pour ainsi dire plus au cours des heures suivantes. Ce ralentissement annonce en fait un changement de trajectoire, qui intervient en matinée du 11. La dépression se remet en mouvement sur un cap s'établissant au sud-sud-ouest, levant toute menace pour Diego-Garcia.

Devenue concomitamment tempête tropicale et désormais dénommée BENI, la perturbation continue de s'intensifier à un rythme climatologique, gagnant environ un point toutes les 24h sur l'échelle d'intensité de Dvorak. La structure en bande incurvée s'affirme progressivement au fil des heures. Au matin du 12, la structure nuageuse est caractéristique d'une forte tempête tropicale, avec constitution d'un petit amas nuageux central dense (CDO) de convection profonde.

BENI se rapproche alors du 10e parallèle Sud. Si la vitesse de déplacement demeure très stable (et toujours assez lente -à



BENI devient un des deux ou trois cyclones tropicaux intenses les plus précoces depuis le début de l'ère satellitaire sur le bassin du Sud-Ouest de l'océan Indien. Sur le point d'atteindre son maximum d'intensité, le météore est au stade de cyclone tropical intense, une intensité remarquable pour un début de saison cyclonique.

BENI while becoming one of the very earliest intense tropical cyclones since satellite era in the South West Indian ocean. Verging upon its maximum of intensity the meteor had now reached intense tropical cyclone stage, quite a remarkable intensity for this early beginning of the cyclone season.

peine 10 km/h en moyenne), un nouveau changement de cap est alors sur le point de s'opérer, avec une trajectoire qui va obliquer en direction du sud-sud-est. Cette modification de trajectoire s'explique assez bien : elle répond à une réorientation du flux directeur, alors dicté par le flux de nord-ouest qui règne en moyenne troposphère, entre une cellule de hauts géopotentiels située au nord-est -et centrée au voisinage de l'équateur- et la vaste zone de basses pressions au sein de laquelle évolue BENI.

Le franchissement du 10^e parallèle intervient en première partie de nuit du 12 au 13, en même temps que celui du seuil de cyclone tropical, même si à ce stade l'œil demeure occulté par la canopée de cirrus dense qui recouvre le CDO central, n'étant décelable que sur l'imagerie micro-onde en canal 37GHz (qui investit plutôt la partie inférieure de la troposphère, puisque sensible aux précipitations liquides). Mais rapidement l'œil apparaît sur l'imagerie infrarouge et gagne rapidement en définition, trahissant une accélération très sensible du processus d'intensification. Bénéficiant d'une divergence d'altitude dopée du côté polaire par le renforcement du puissant canal d'évacuation généré par le transit au sud du 20^e parallèle Sud d'un important talweg des moyennes latitudes, BENI va, l'espace d'une douzaine d'heures, connaître une

FORMATION

Every second year, the first tropical storm forms over the South West Indian Ocean before mid-November (time corresponding to the median in terms of cyclogenesis of the first named system). In the 2003-2004 season, it was already the second system that developed before that time, thus confirming a very early start, after ABAIMBA late September-early October. This second cyclogenesis led to the formation of a much more powerful meteor that reached the intense tropical cyclone stage becoming one of the earliest systems of that category since the beginning of the satellite era.

At the end of the first November decade, the synoptic situation was normal over the tropical Indian Ocean. Nevertheless the equatorial westerlies that were blowing in the lower troposphere across the major part of the basin, within the demarcation area separating the two near-equatorial troughs almost symmetrically present on either side of the Equator, were stronger than usual. Such classic transition-period pattern -that is also found around May-, is climatologically associated to a risk of so-called "twin" cyclogenesis, with a nearly simultaneous formation at similar longitudes of depression systems in both hemispheres. However, in order for systems to develop, a certain number of elements need to be met. One of them requires the presence of persistent convection. Which was the case here since

patches of scattered convection could be observed on satellite imagery over the whole central area of the tropical Indian Ocean, from the oceanic area of the Laquedives Islands (in the open sea off the Indian Kerala) to the east of the Chagos Archipelago. This convective activity was over-abundant for the season according to the OLR (outgoing longwave radiation) data which identified an area of very significant negative anomaly around 70-80°E in the near-equatorial zone, letting suspect that an active phase of the MJO (Madden Julian oscillation) might be developing in that area (since no sign of previous eastward propagation had been registered). Given that there was also a marked Equatorial Rossby wave approaching by the east of the basin, there was a great number of favourable elements -in terms of intra-seasonal oscillation- to foster the convective activity and thus increase the potential for one (or several) cyclogenesis.

As for the South Indian Ocean, some numerical models indeed seemed to strongly support this eventuality, although they did not concur with the intensifying potential of a hypothetical to-be depression system. The 9th November run of the European Centre model definitely forecast the development of a deep low at 4 days range. This was to become true.

On 9 November, the satellite imagery unveiled an incipient swirling cloud organisation east of the Chagos. This disturbed area was related to a surface closed low circulation which had already started to draw within the near-equatorial

through the previous day and benefited from favourable environmental conditions, with namely a good upper divergence and weak vertical windshear on the edge of the upper ridge. The waters were abnormally warm for that time of the year.

On the following night, convection massively blew up near the low centre that was spotted just a little less than 500 km off Diego-Garcia Island. The improving clear-cut cloud organisation displayed in the course of the day of 10 November, definitely confirmed that the cyclogenesis process had kicked off. The stage of tropical depression was actually reached before the middle of the following night.

EVOLUTION

The system – which up to now tended to drift west-southwestwards on a track heading for Diego-Garcia – barely moved at all throughout the following hours. This slow down heralded a change of trajectory which occurred in the morning of the 11th as the depression resumed motion on a heading setting south-southwestward, thus lifting the threat off Diego-Garcia.

The disturbance, concomitantly turned into a tropical storm named BENI, kept intensifying at a climatological pace, gaining about one point every 24h on the Dvorak intensity scale. The curved band structure portrayed increasing wrapping throughout the hours. On the morning of 12 November, the cloud structure displayed the characteristics of a severe tropical storm with a small central dense overcast (CDO) of deep convection.

By then, BENI was getting close to latitude 10°South. While the speed of movement remained stable (and still as slow – barely reaching 10 km/h in average), a new change of course was about to occur with the system shifting to the south-southeast. This change was easy to explain: it responded to a reorientation of the steering flow ruled at that time by the northwesterly flow existing in the mid-troposphere between a high geo-potential cell standing in the northeast – and centred near the Equator – and the broad low pressure zone within which BENI was evolving.

The storm crossed latitude 10°South in the first part of the night on 12 November, and simultaneously went over the threshold of tropical cyclone, even if at that stage, the eye was still obscured by the canopy of thick cirrus that covered the central CDO and was only discernible on the 37GHz microwave imagery



BENI en phase d'intensification au sud-est de Diego-Garcia et au stade de forte tempête tropicale, 24h avant son pic d'intensité.

BENI at severe tropical stage while intensifying southeast of Diego-Garcia and 24h ahead of its intensity peak.

phase de creusement rapide, l'amenant finalement à être classé cyclone tropical intense en matinée du 13 novembre.

À ce stade, qui correspondra au maximum d'intensité du météore, les vents maximaux sont estimés souffler, dans le mur de l'œil, jusqu'à environ 175 km/h en vents moyens sur 10 min (95 nœuds), ce qui signifie des rafales maximales approchant les 250 km/h sur mer. BENI est un cyclone de petite taille, extrêmement compact pour sa partie centrale la plus active, qui fait à peine 150 km de large, avec un petit œil central qui s'est contracté à moins de 25 km de diamètre. Outre les conditions d'altitude favorables, il est à noter que la phase d'intensification brutale de BENI a coïncidé avec l'arrivée sur une poche d'eaux chaudes (températures de surface supérieures à 28°C), associée à une anomalie de température supérieure à 1°C (voir page 22).

Par ailleurs, il faut signaler qu'à cette phase de creusement accéléré de BENI a correspondu la formation d'un système dépressionnaire jumeau sur le bassin nord de l'océan Indien, le risque initialement envisagé de cyclogenèses jumelles sur l'océan Indien se réalisant donc bien (voir image et détails page 20).

Parler de «pic d'intensité» pour BENI était on ne peut plus approprié, tant ce maxi-

mum d'intensité va se révéler des plus éphémères, lui succédant une phase d'affaiblissement encore plus brutale et spectaculaire que la phase d'intensification préalable. Le puissant flux d'altitude de nord-ouest, initialement favorable au développement de la perturbation, via le renforcement du flux sortant d'altitude, s'accompagne désormais d'un accroissement du cisaillement vertical de vent. Les systèmes de petite taille s'avèrent généralement beaucoup plus sensibles au cisaillement de vent et BENI ne va pas échapper à cette règle, réagissant de manière extrême dès que le cisaillement vertical de vent va excéder un seuil somme toute relativement modéré (moins de 20 nœuds d'après les données du CIMSS).

L'impact du cisaillement est en effet impressionnant, avec, en l'espace d'une douzaine d'heures à peine, déstructuration radicale du météore. Au petit matin du 14, la convection s'est quasiment entièrement désintégrée, laissant apparaître le vortex de basses couches. Communément par situation de cisaillement de nord-ouest, de la convection subsistera ensuite dans le secteur sud à sud-est du minimum dépressionnaire. Celui-ci va en se comblant rapidement et un peu plus de 36h après qu'il a atteint son maximum

d'intensité, il faut désormais parler de l'ex-BENI, qui redevient une simple dépression tropicale en milieu de nuit du 14 au 15 novembre.

Le déplacement en direction du sud-est poursuivi depuis deux jours est alors sur le point de prendre fin. Avec le passage du flux directeur sous le contrôle des basses couches de l'atmosphère, le déplacement devient erratique durant environ 36h. Ce n'est que dans l'après-midi du 16 qu'une remise en marche sur un cap plus établi s'opère, suite à la reconstitution des hautes pressions par le sud-ouest. Le minimum dépressionnaire résiduel, repris dans le courant d'alizé, adopte un déplacement en direction de l'ouest-nord-ouest, à environ 10 km/h. Avec une pression au centre estimée à 1 002 hPa, le système dépressionnaire est moribond et l'on peut alors s'attendre à une fin de vie assez classique, telle qu'on en observe fréquemment en début de saison, à savoir un minimum dépressionnaire résiduel qui, porté par le flux d'alizé, traverse une bonne partie du bassin d'est en ouest, en se comblant très lentement. Si, sans surprise, une telle trajectoire zonale en bordure des hautes pressions subtropicales va effectivement se vérifier, un événement inattendu va toutefois être au programme, à savoir une régénérescence de l'ex-BENI.

C'est à compter du 16 novembre, que le système va retrouver des conditions environnementales de nouveau plus favorables, lui offrant l'opportunité de renaître de ses cendres. L'élément principal est le retour à des conditions de cisaillement vertical de vent très faible. Avec l'éloignement du flux perturbé d'ouest des latitudes moyennes, le minimum dépressionnaire se retrouve, en effet, sous l'axe d'une dorsale d'altitude. De la convection peut ainsi se reformer au sein de la circulation dépressionnaire, puis au-dessus du centre de basses couches. Si l'on ajoute à cela que la convergence et la vorticité de basses couches tendent à se renforcer sous l'impulsion d'une poussée du flux d'alizé issu d'un puissant anticyclone subtropical, et que les eaux anormalement chaudes présentes dans le secteur font que l'isotherme 28°C présente son extension méridienne la plus sud dans cette

(which primarily invests the lower part of the troposphere due to its sensitivity to liquid hydrometeors). However, the eye soon appeared on the infrared imagery and rapidly became better defined betraying significant acceleration of the intensification process. Benefiting from a strong poleward outflow channel enhanced by a major mid-latitude trough transiting south of latitude 20°South, BENI went through a rapid deepening phase which lasted about 12 hours and led it to be classified as an intense tropical cyclone by morning 13 November.

At that stage, which corresponded to the meteor's peak of intensity, the maximum winds in the eyewall were estimated to be blowing at about 175 km/h in 10-min average winds (95 knots), which meant that peak gusts neared 250 km/h over sea. BENI was a small cyclone, extremely compact in its most active central part which was barely 150 km wide with a tiny central eye that shrank to less than 25 km in diameter.

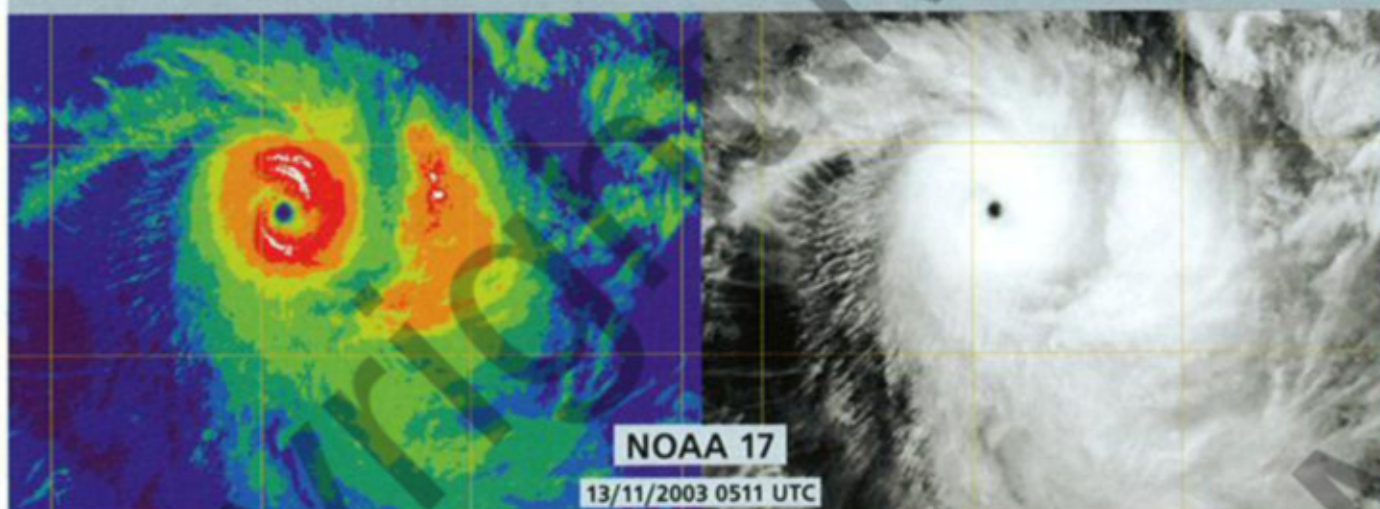
Beside the favourable upper level conditions, it should be noted that BENI's sudden intensification phase coincided with its arrival over a warm water pocket (surface temperature above 28°C) related to warm anomalies in excess of 1°C (see details page 22).

Other than that, it should be noted that BENI's

accelerated deepening phase corresponded to the formation of a twin system on the northern Indian Ocean basin (see image and details page 20). Therefore, the initial forecast for a risk of twin cyclogenesis to occur over the Indian Ocean did realize.

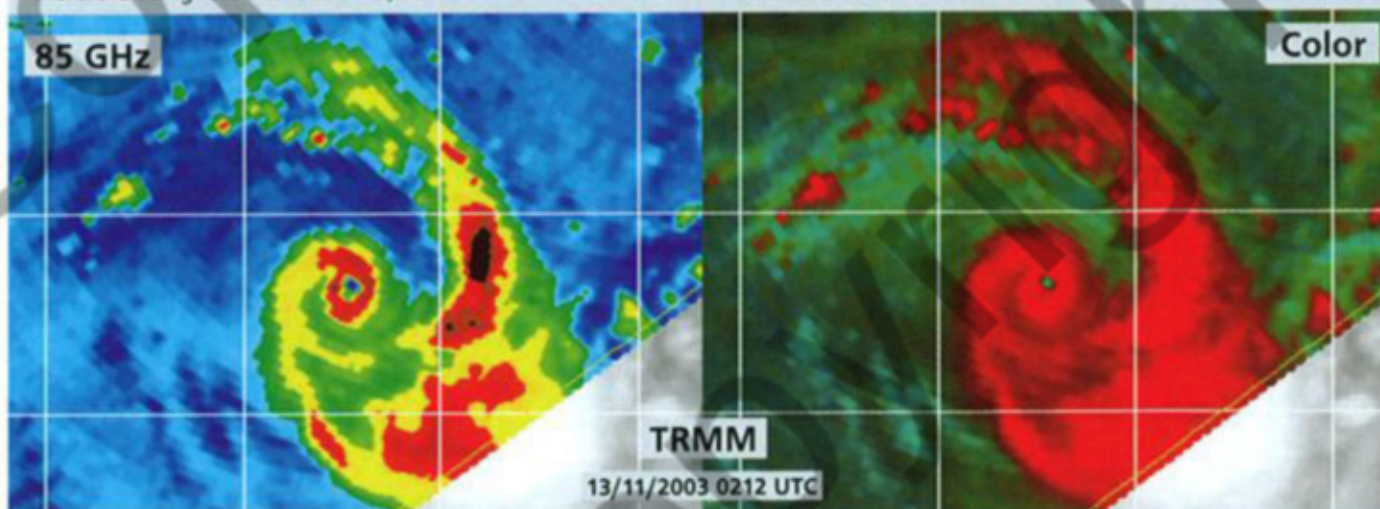
Speaking about a "peak of intensity" concerning BENI was more than appropriate since this maximum of intensity did indeed only last a very short while and was followed by an even more spectacular and sharp weakening phase than the previous intensification phase. The powerful northwesterly upper flow, initially favourable to the development of the disturbance via the enhancement of the upper outflow, was now inducing an increased vertical windshear. Small-sized systems are usually more sensitive to windshear and BENI was no exception to the rule, reacting in an extreme way as soon as the vertical windshear would overshoot a –rather moderate– threshold (under 20 knots according to CIMSS data).

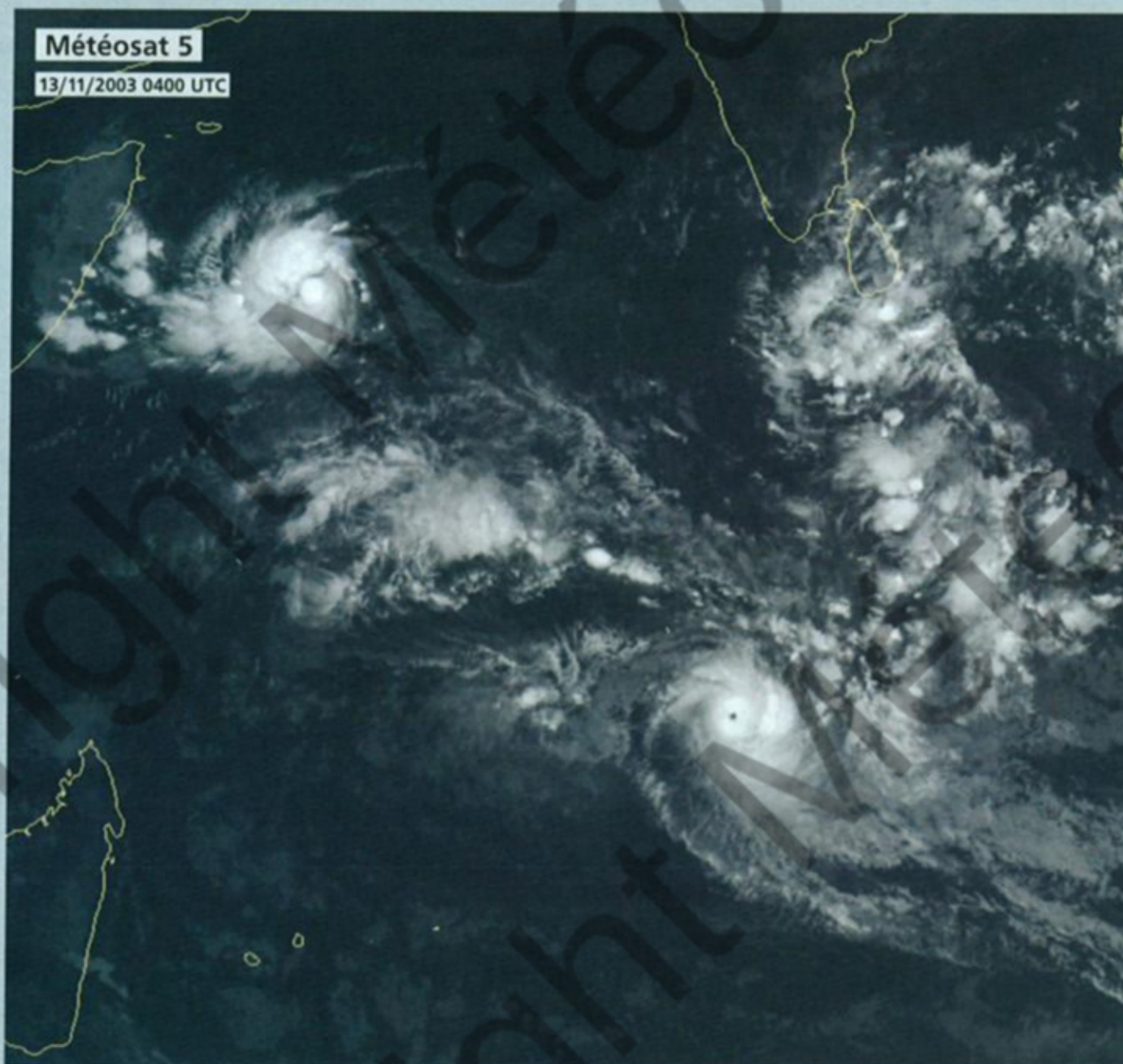
The windshear impact was impressive indeed, with a radical dismantling of the meteor within less than 12h. On 14 November at daybreak, the convection had nearly completely vanished, unveiling the low-level vortex. As is usually the case in a northwesterly shear situation, some convection subsisted afterwards in the south to



BENI à son apogée, est un cyclone de forte intensité mais de petite taille, dont le cœur actif, matérialisé par l'amas nuageux central dense entourant l'œil, mesure un peu plus de 150 km de diamètre (l'œil faisant pour sa part à peine 25 km de diamètre –en altitude et donc moins en surface).

BENI at peak intensity was quite an intense cyclone but of small size with an active core associated to the cloud dense overcast surrounding the eye being slightly over 150 km large (the eye's width by itself barely reaching 25 km in diameter –at upper levels, therefore being less near sea level).





Cyclogenèses jumelles sur l'océan Indien. Alors que BENI est sur le point d'atteindre son maximum d'intensité, de l'autre côté de l'Équateur, la forte tempête tropicale O2A est encore en phase d'intensification au large des côtes somaliennes. Ce système, issu d'une zone de convection observable dès le 10 novembre à quelques centaines de km au sud-ouest de la péninsule indienne, a également bénéficié de la poussée de flux d'ouest équatorial ayant participé du développement de BENI. Sa cyclogenèse, intervenue avec un décalage d'environ 24h, s'est en outre produite une bonne quinzaine de degrés plus à l'ouest, quasiment au centre de la mer d'Arabie. Suivant une évolution presque parallèle à celle de BENI, ce système atteindra son pic d'intensité le lendemain, un peu moins de 24h après son homologue de l'hémisphère sud, au stade de simple cyclone tropical cette fois.

Le décalage méridien important entre les deux phénomènes, fait qu'on ne peut dans ce cas parler de cyclogenèses «miroirs», comme c'est le cas quand les deux systèmes se développent symétriquement par rapport à l'Équateur (toute la différence, en quelque sorte, entre des «vrais» et des «faux» jumeaux...).

Twin cyclogenesis over the Indian Ocean. While BENI was drawing nigh its maximum of intensity, opposite side of the Equator severe tropical storm O2A was still intensifying off the African horn. That system originating from a convection area discernible from 10 November some hundreds km southwest of the Indian peninsula, also benefited from the equatorial westerly windburst that participated in BENI's development. Its cyclogenesis, which occurred with a 24-hour lag, moreover happened a good 15 degrees more westward, roughly in the middle of the Arabian Sea. Undergoing a nearly parallel evolution to BENI's, that storm reached its peak of intensity on the following day, a little less than 24h after its counterpart in the south hemisphere, but at the simple stage of tropical cyclone for its own. In this situation, the significant meridian shift between the two phenomena does not entitle us to talk of "mirror" cyclogenesis as is the case when the two given storms develop symmetrically either side of the Equator (the basic difference -so to speak- between "identical" and "fraternal" twins...).

south-east sector of the low which filled rapidly. So that some 36 hours after having reached its peak of intensity, now ex-BENI became a mere tropical depression in the middle of the night of 14 November.

Its southeastward trek that had lasted two days was about to end. With the steering flow passing under the control of the low-layers of the atmosphere, its motion became erratic for about 36 hours. It was only by the afternoon of 16 November that a more definite course resumed after the high pressure had reconstructed via the southwest. The residual low, caught up in the trade wind flow, adopted a west-northwestward motion at a speed of about 10 km/h. With an estimated minimal pressure at 1002 hPa, it was moribund and so one could expect a classic end of life-cycle as is often observed in the early season, i.e. a residual low which, carried by the trade winds, crosses the major part of the basin from east to west as it slowly fills. If it was no surprise that such a zonal track on the edge of the subtropical high should occur, an unexpected event did however intervene, i.e. BENI's regeneration.

From 16 November, the system found more favourable environmental conditions giving it the opportunity to rise from its ashes. The main

element was the return to very weak windshear conditions. Indeed, with the removal of the disturbed westerly flow of the mid-latitudes, the low centre found itself under the axis of an upper ridge. As a result, some convection could re-form within the clockwise circulation and then above the low-level centre. In addition, considering that the low-levels' convergence and vorticity tended to increase under the impulse of the trade wind surge stemming from a powerful subtropical anticyclone, and that the abnormally warm waters in the area resulted in the 28°C isotherm presenting its southernmost extension in that sector close to 75°E, many factors were met for BENI to revive.

BENI's rejuvenation started to take shape on 17 November. From the afternoon, the convective activity which had been weak-to-moderate and fluctuating, tended to consolidate more ostensibly within the core of the clockwise circulation which soon led the system to be upgraded to tropical depression by the first part of the night, and then to tropical storm by the end of the night. The scatterometer data of two consecutive QuikScat swaths acquired in the late afternoon of 17 November and early morning of 18 November, confirmed that intensification stage.

zone située au voisinage de 75°E, nombre de paramètres se retrouvent au vert pour une renaissance de BENI.

Cette deuxième vie commence à prendre forme le 17. À compter de l'après-midi, l'activité convective, encore faible à modérée et fluctuante jusque-là, tend à se consolider de plus en plus ostensiblement au cœur de la circulation dépressionnaire, ne tardant pas à justifier un reclassement du système en dépression tropicale en première partie de nuit, puis en tempête tropicale en fin de nuit. Les données diffusiométriques des deux orbites consécutives QuikScat acquises en fin de journée du 17 et au petit matin du 18, confirment l'évolution intervenue dans l'intervalle.

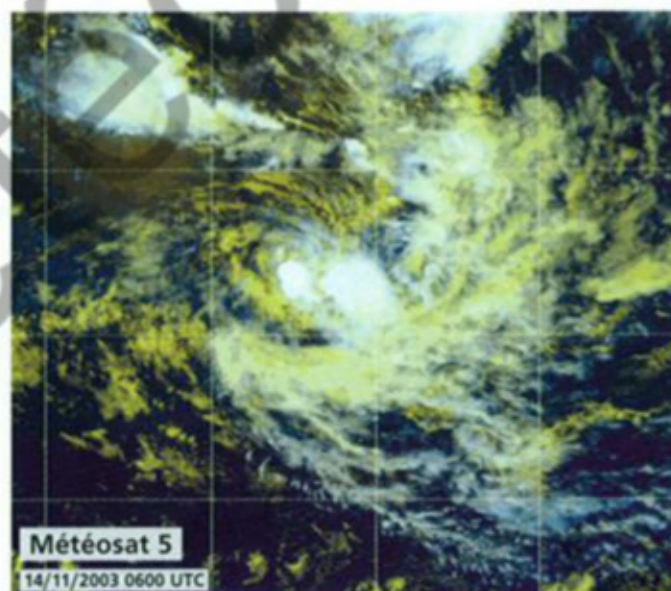
Après avoir recoupé dans la nuit la trajectoire suivie quelques jours plus tôt, BENI a redressé en direction de l'ouest, puis de l'ouest-sud-ouest, juste avant de franchir pour la troisième et dernière fois le 75e méridien Est. Présentant à nouveau une structure en bande incurvée, il s'intensifie à un rythme très soutenu. Gagnant ainsi plus d'un point et demi sur l'échelle de Dvorak en l'espace de 24h,

BENI développe à nouveau un petit œil embryonnaire en milieu de nuit du 18 au 19 et le stade de cyclone tropical est de nouveau atteint quelques heures plus tard, en fin de nuit.

L'intensification se poursuit ensuite jusqu'en milieu de journée du 19 novembre, moment où BENI atteint un second maximum relatif d'intensité, à un peu plus de 500 km au sud de Diego-Garcia. Comparativement à la structure affichée lors du pic absolu d'intensité, le météore présente une taille encore plus réduite : la partie active du cyclone fait moins de 100 km d'extension horizontale, lui conférant une structure de type «midget» (système nain). L'orbite QuikScat acquise en fin de journée confirme l'extension horizontale particulièrement restreinte du coup de vent (moins de 50 km du centre dans le demi-cercle nord).

La nuit du 19 au 20 marque le début de la phase d'affaiblissement, cette fois définitive, de BENI. L'œil s'effondre en cours de nuit, puis la convection se désorganise et s'effondre à son tour. Outre l'arrivée sur des eaux moins chaudes, mais a priori encore suffisantes pour soutenir l'énergétique du système, la cause principale de cet affaiblissement semble être une dégradation importante du flux sortant d'altitude. Déclassé en forte tempête tropicale en début de journée du 20, puis en tempête tropicale modérée dans l'après-midi, BENI a commencé d'accélérer. «Surfant» dès lors sur la bordure septentrionale des hautes pressions subtropicales, le long du 13^e parallèle Sud, le météore va poursuivre sa course en direction de l'ouest à plus de 20 km/h à compter de ce 20 novembre, puis à près de 30 km/h entre le 21 et le 22.

Avec cette trajectoire zonale accélérée, l'amenant vers une zone où le cisaillement de vent va se maintenir durablement à plus de 20 nœuds, BENI ne connaîtra pas de nouvel avatar, malgré quelques reprises de convection temporaires, tout particulièrement en fin de nuit du 20 au 21. Se comblant lentement à compter du 21, le vortex résiduel de basses couches franchit le 60^e méridien Est en matinée du 22. Le panache d'humidité et de nuages résiduels qu'il draine avec lui, s'étire loin au sud-est, jusqu'au sud du 20^e paral-



Affaiblissement drastique de BENI, 24h après son pic d'intensité. Du fait de sa petite taille, BENI n'a pas résisté à un accroissement pourtant relativement modéré du cisaillement vertical de vent. En un rien de temps, la masse nuageuse et convective s'est quasiment entièrement désintégrée, dévoilant le vortex de basses couches.

Drastic weakening of BENI 24h after peak intensity. Because of its small size BENI could not resist to the increase - though moderate - of the vertical wind shear it underwent. In a short while the convective cloud mass disintegrated thus unveiling the low level vortex.

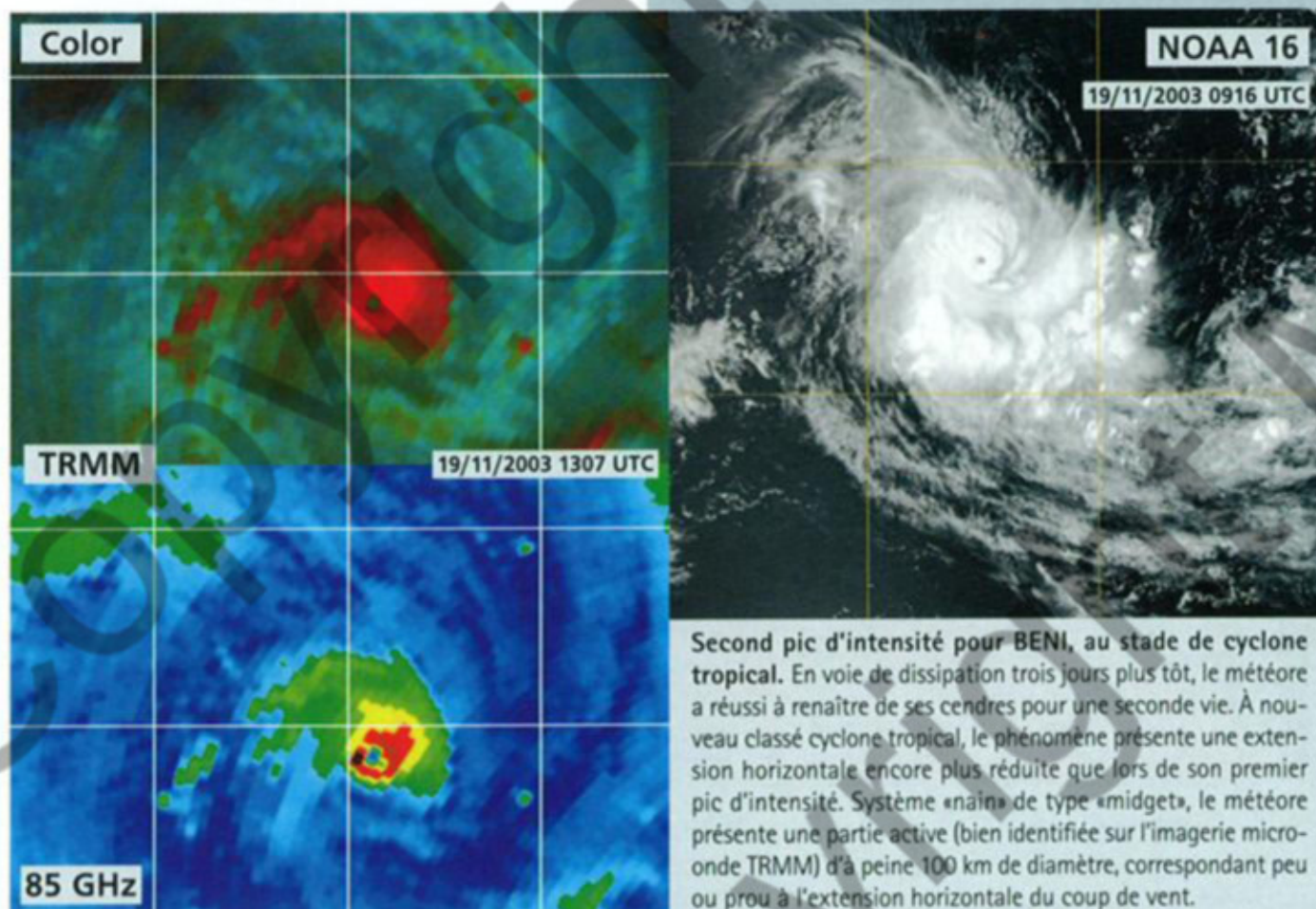
lèle Sud, amenant les premières pluies de saison chaude sur les Mascareignes (voir page suivante). Ces pluies, parfois orageuses, seront localement fortes sur la région Est de La Réunion («au vent» du flux d'alizé humide), quand, en bout de course, le minimum résiduel de BENI incurvera en direction du sud-ouest, puis du sud-sud-ouest, pour venir se dissiper au large des côtes est de Madagascar.

Bien que n'ayant pas eu l'impact d'un GAFILO, ni même d'ELITA, BENI mérite

After recrossing at night the track it had followed a few days earlier, BENI shifted heading westwards, then west-southwestward, just before crossing longitude 75°E for the third, and last, time. Displaying again a curved band pattern, it intensified at a sustained pace. Gaining one and a half point on the Dvorak intensity scale within 24h, it developed another small embryonic eye in the middle of the night on 18 November and thereof reached the tropical cyclone stage again several hours later, at the end of the night.

The intensification continued till the middle of the day of 19 November when BENI reached a second intensity peak less than 500 km south of Diego-Garcia. Compared with the structure it had displayed during its absolute maximum of intensity, the meteor showed an even smaller size: the active part of the cyclone spread on less than 100 km horizontally which gave it the characteristics of a midget system. The QuikScat orbit acquired in the late afternoon confirmed an especially restrained horizontal gale extension (less than 50 km from the centre in the northern semi-circle).

The night of 19 November marked the beginning of the -definitive this time- weakening phase of BENI. The eye fell apart in the course of the night and the convection lost structure and collapsed as well. Beside the system's advection over cooler waters - but still a priori sufficient to sustain the system's energetic supply -, the weakening could be attributed mainly to a significant break down of the upper outflow. Downgraded to severe



Second pic d'intensité pour BENI, au stade de cyclone tropical. En voie de dissipation trois jours plus tôt, le météore a réussi à renaître de ses cendres pour une seconde vie. À nouveau classé cyclone tropical, le phénomène présente une extension horizontale encore plus réduite que lors de son premier pic d'intensité. Système «nain» de type «midget», le météore présente une partie active (bien identifiée sur l'imagerie micro-onde TRMM) d'à peine 100 km de diamètre, correspondant peu ou prou à l'extension horizontale du coup de vent.

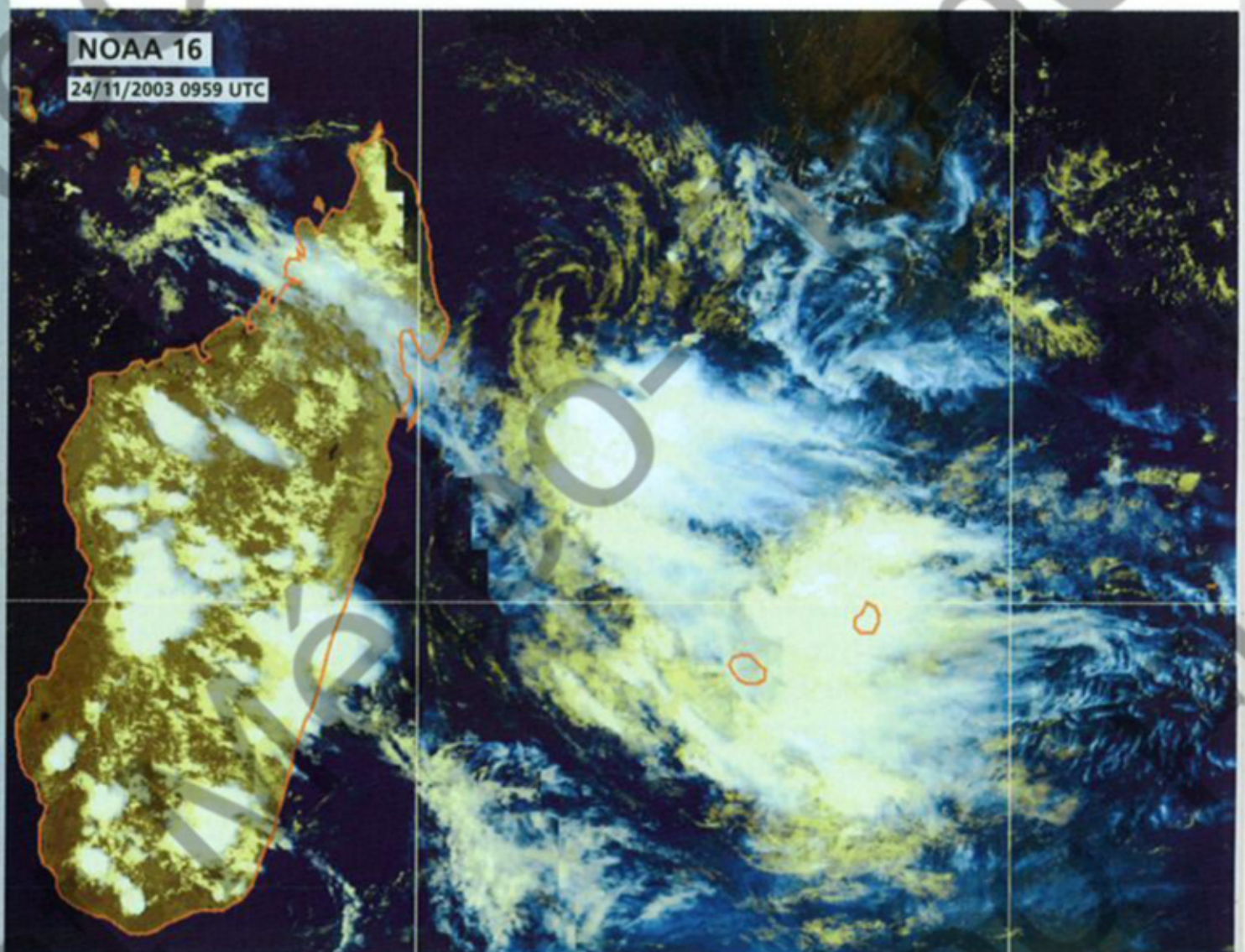
Second intensity peak for BENI, at tropical cyclone stage. Drawing nigh dissipation three days earlier the meteor managed to rise from its ashes for another life-cycle. Once more ranked as a tropical cyclone the phenomenon displayed an even smaller horizontal extension compared to the one shown when at its first intensity peak. As a «midget» system the meteor portrayed a mere 100 km large active part (well depicted on the TRMM microwave imagery), which roughly corresponded to the gale force winds extent.

Beni

tropical storm status by early 20 November and then to moderate tropical storm by the afternoon, BENI started to speed up. Surfing along latitude 13°S on the northern boundary of the subtropical high, the meteor kept travelling westwards at over 20 km/h from 20 November, and then at nearly 30 km/h between 21 and 22 November.

Assuming such an accelerated zonal track taking it to an area where the windshear maintained durably at over 20 knots, BENI would not get another chance to regenerate despite a few temporary flare-ups of convection, especially in the late night of 20 November. From 21 November, the low-level residual vortex filled slowly and crossed longitude 60°East in the morning of 22. The trail of moisture and residual clouds dragged in its wake extended far to the southeast, beyond latitude 20°S, thus bringing the first rainfall of the warm season over the Mascarene Islands. These rains –stormy at times– became locally heavy over the East region of La Reunion Island (windward of the humid trade wind flow) when BENI's residual low, on its last legs, recurved southwestward, then south-southwestward, before eventually dissipating off the eastern coast of Madagascar.

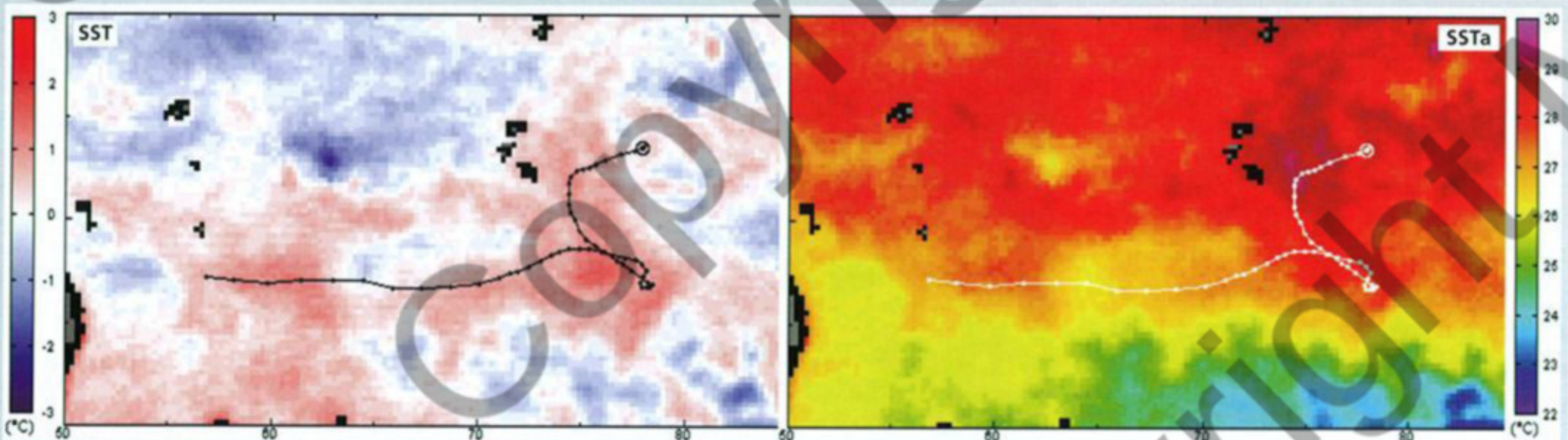
While BENI did not have the impact of GAFILO or even ELITA's, it still deserves a special place in this cyclone season. Indeed, BENI became one of the three earliest intense tropical cyclones in the SouthWest Indian Ocean since the beginning of the satellite era in 1967, behind BELLAMINE (with a 115 knot intensity peak on 7 November 1996) and possibly ALICE/ADELAIDE (of 9/10 November 1980) whose maximal intensity is still uncertain.



Après avoir traversé une bonne partie du bassin d'est en ouest, le minimum résiduel de l'ex-BENI est en fin de vie au large de la pointe est de Madagascar. Situation classique de début de saison, l'advection d'air humide et instable drainée loin au sud-est du minimum dépressionnaire, occasionne les premières pluies orageuses de saison chaude sur les Mascareignes. A La Réunion, des lames d'eau comprises entre 100 et 150 mm en 24h seront recueillies sur la façade est de l'île. Having sailed westward across a great deal of the basin, the residual low of ex-BENI was ending its life-cycle off the eastern tip of Madagascar. A typical early cyclone season situation, the trail of moist and instable air it dragged behind far to the southeast generated the very first thunderstorms and heavy rainfall of the warm season affecting the Mascarenes. At La Reunion 100 to 150 mm of rainfall were recorded in 24h time on the eastern side of the island.

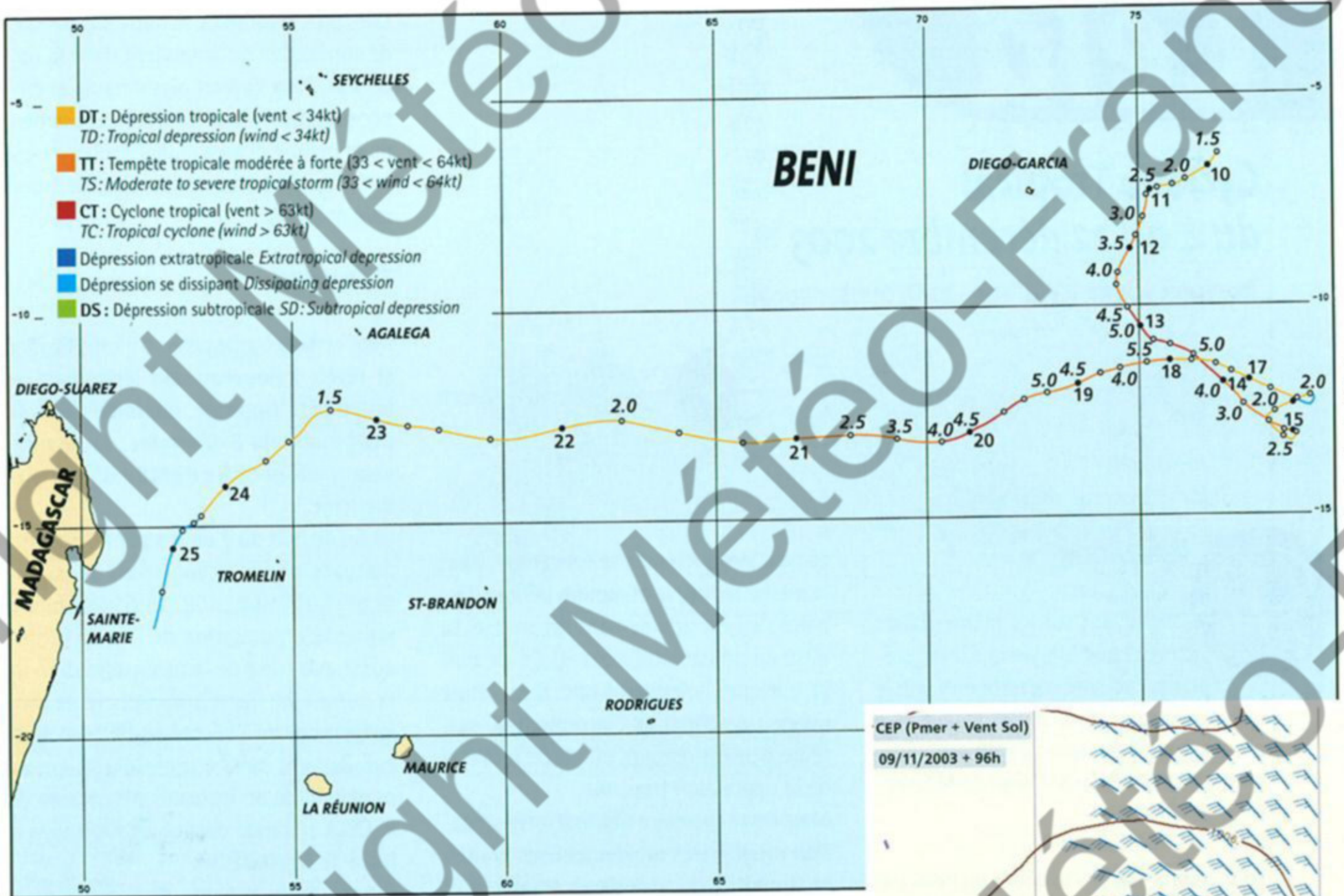
de garder une place à part dans cette saison cyclonique. BENI est en effet devenu l'un des 3 cyclones tropicaux intenses les plus précoces du Sud-Ouest de l'océan Indien depuis le début de l'ère satellitaire (1967), derrière BEL-

LAMINE (associé à une intensité maximale de 115 nœuds, le 7 novembre 1996) et possiblement le cyclone ALICE/ADELAIDE (les 9/10 novembre 1980), dont l'intensité maximale est cependant incertaine.



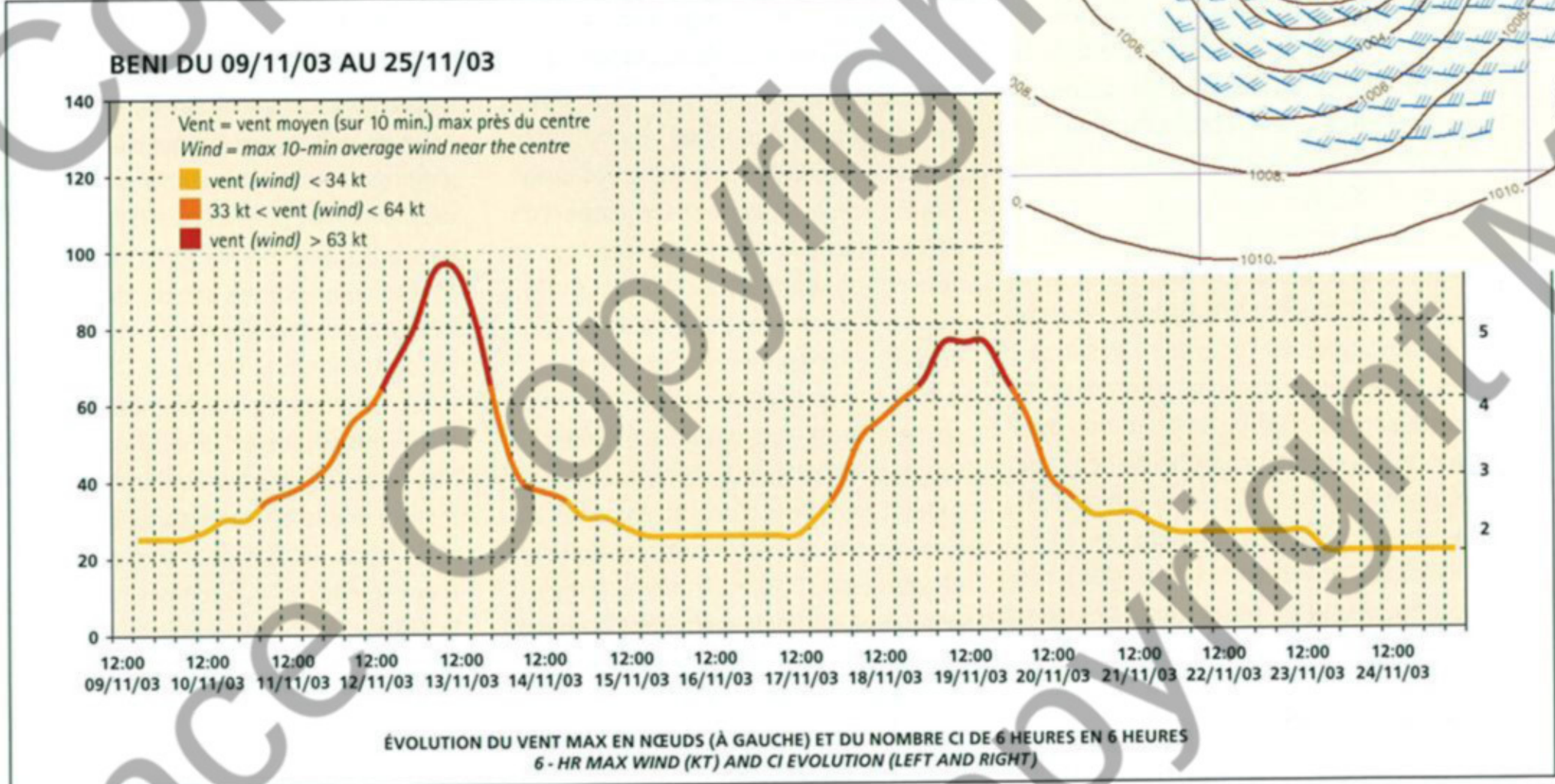
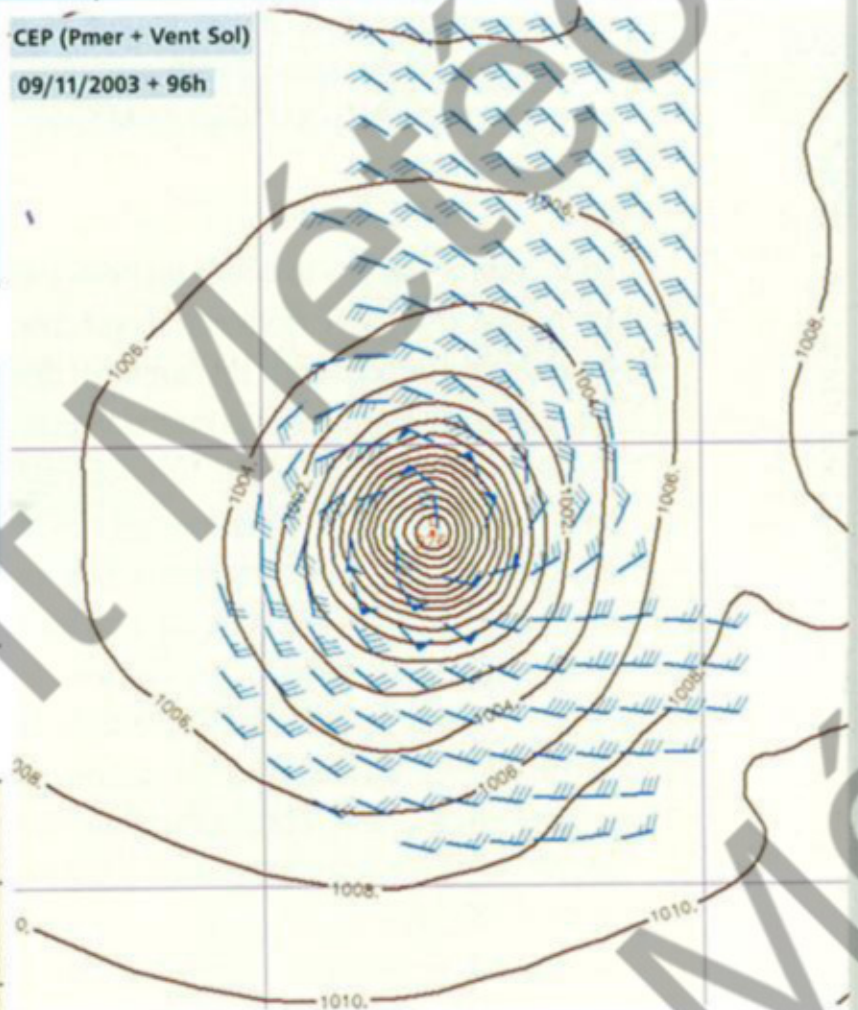
Cartes de températures (SST) et d'anomalies de températures (SSTa) de surface de la mer, telles qu'établies le 9 novembre 2003, date de la naissance de BENI. La trajectoire superposée du météore permet de bien mettre en exergue les conditions énergétiques extrêmement favorables dont il a bénéficié, avec des eaux anormalement chaudes (noter l'excroissance méridienne vers le sud des eaux chaudes entre 75 et 80°E et l'importante anomalie de température correspondante –excédant localement 1°C). Il s'agit là d'un des éléments essentiels ayant contribué à l'intensité –exceptionnelle pour la saison– atteinte par ce phénomène (ainsi qu'à sa renaissance, pour une deuxième vie au stade de cyclone tropical).

Sea surface temperature map (SST) and corresponding anomalies (SSTa) at the date of BENI's cyclogenesis (9 November 2003). The superimposed track of the meteor helps to highlight the favourable energetic conditions it benefited from, namely abnormally warm waters (notice the southernmost excrescence of warm SSTs intruding between 75 and 80°E and the corresponding SST anomaly –locally exceeding 1°C). This feature undoubtedly was one of the main elements contributing to the exceptionally strong intensity –for the season– reached by this phenomenon (and to its rejuvenation for a second life-cycle as a tropical cyclone). (Data Courtesy RSS).



Météo France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

Prévision à 96h du CEP du 9 novembre 2004. Les modèles numériques ont fait de gros progrès ces dernières années en matière de prévision de cyclogenèse, même si de fausses alarmes ou des "loupés" subsistent encore. Quatre jours à l'avance, la formation et le creusement de BENI avaient été bien anticipés par le modèle du centre européen. During the past years, the numerical models have gained quite a significant skill in cyclogenesis forecasting even though false alarms and misses still remain. 4 days in advance, the formation and deepening of BENI had been well anticipated by the European Centre model (96h forecast of 9 November 2004 here).



Cela

Cyclone Tropical du 4 au 22 décembre 2003

Tropical Cyclone "Cela" (04 - 22 December 2003)

FORMATION

Poursuivant sur les mêmes bases élevées que lors de la saison précédente, l'activité perturbée va voir le second cyclone tropical de la saison se développer dès le mois de décembre, le premier à concerner le Canal de Mozambique.

Tout commence dès le début du mois par un regain d'activité convective sur une large zone aux alentours de l'archipel des Chagos. Le plus gros de la convection évolue au niveau ou au sud du 10^e parallèle sud, c'est-à-dire au sein du courant d'alizé qui converge plus au nord vers le talweg proche-équatorial, axé pour sa part vers 7°Sud. Au sein de celui-ci, les données de vents dérivées de l'orbite QuikScat de la fin de journée du 2 décembre, indiquent la présence d'une faible circulation dépressionnaire fermée centrée à proximité de l'île de Diego-Garcia.

Malgré des conditions d'altitude plutôt favorables (cisaillement vertical de vent faible et diffluence d'altitude), on note peu d'évolution au cours des 48h suivantes, en dehors du décalage d'ensemble de cette zone perturbée vers l'ouest, puis vers le sud-ouest à compter du début de journée du 4. La faiblesse du flux d'ouest présent du côté équatorial du talweg, et le manque de vorticité et de convergence qui en résulte en basses couches, font que la cyclogenèse peine à démarrer.

Il faut attendre la nuit du 4 au 5, pour la voir commencer de se concrétiser, avec l'amorce d'un début d'organisation de la

convection, qui tend à se concentrer. Dans le même temps, le minimum dépressionnaire s'en est grandement rapproché. La mise en phase intervient en fin de nuit et, quelques heures plus tard, la structure nuageuse permet un classement du système dépressionnaire au stade minimal de la dépression tropicale.

Mais cette première phase d'intensification montre très rapidement ses limites, et l'intensité du système va stagner à ce stade durant les 48h suivantes. Outre le fait qu'elle ne peut toujours guère compter être soutenue par la piètre alimentation en flux de mousson présente du côté équatorial, la dépression se retrouve de plus confrontée à un léger renforcement du cisaillement vertical de vent de nord-est régnant sur la façade nord-ouest de la cellule de hauts géopotentiels centrée au sud-est (et ax e vers 15°Sud). Outre les conséquences visuelles de cette contrainte d'altitude persistante (voir page 27), l'imagerie satellitaire témoigne d'un impact marqué du cycle diurne sur la convection, dont les puissantes pulsations nocturnes sont suivies de spectaculaires effondrements en journée.

  la faveur de la poursuite de son déplacement ouest-sud-ouest, le météore se rapproche de l'axe de la dorsale d'altitude et bénéficie d'une atténuation du cisaillement de vent à compter de la fin de journée du 7. Dans le même temps, il pénètre plus franchement dans la sphère d'influence d'un talweg d'altitude, dont la présence au sud-ouest favorise l'évacuation du flux sortant d'altitude du côté sud. Avec ces conditions environnemen-

tales plus favorables, la nouvelle poussée de convection qui intervient dans la nuit du 7 au 8, va s'avérer plus durable et efficace, permettant un nouveau creusement du minimum dépressionnaire, qui se hisse ainsi jusqu'au stade de la tempête tropicale modérée.

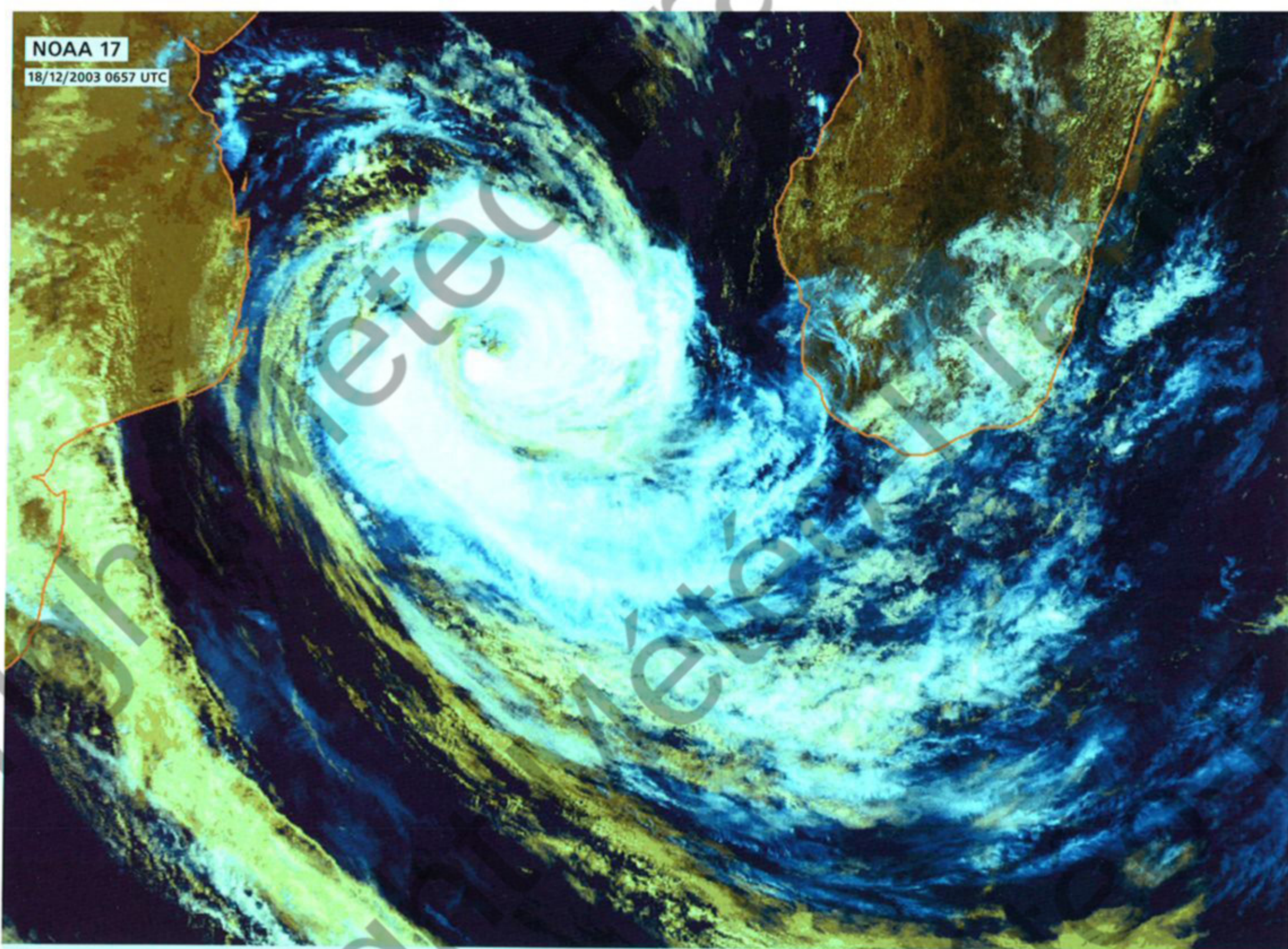
ÉVOLUTION

Mais cette seconde phase d'intensification se révèle à nouveau sans lendemain, et la tempête tropicale, nommée CELA au petit matin du 8 décembre, va de nouveau plafonner à ce stade d'intensité modérée.

La fin de nuit du 7 au 8 a par ailleurs été marquée par un changement de cap de la perturbation, dont la trajectoire a redressé en direction de l'ouest-nord-ouest, par suite de la reconsolidation de la dorsale de basse troposphère se prolongeant jusqu'à la côte est de Madagascar. Passant ainsi à près de 250 km au nord de l'îlot de Tromelin en matinée du 8, CELA se dirige désormais droit vers le Nord de Madagascar.

Durant toute la phase d'approche de la Grande Ile, le météore apparaît en souffrance. Si la convection associée continue de fluctuer cycliquement en exhibant de grandes variations diurnes, la tendance est globalement à une diminution de sa présence et à une lente perte d'organisation. C'est donc un phénomène en partie déstructuré qui aborde les côtes malgaches en fin d'après-midi du 9 décembre. L'imagerie satellitaire, micro-onde en particulier, indique toutefois le maintien d'un noyau central d'une centaine de km de large encore relativement bien constitué, où les vents maximaux sont toujours estimés générer du coup de vent, avec des rafales maximales de l'ordre de 100 km/h. Le centre de CELA pénètre sur terre en fin de journée, à proximité immédiate de la ville côtière de Voh mar (où la station d'observation mesure une rafale maximale de 84 km/h et 117 mm de précipitations en 24h). Il traverse ensuite rapidement le Nord de la Grande Ile et ressort en mer au sud de Nosy-Be avant la fin de nuit suivante.

Comme c'est souvent le cas dans ce genre de situation, la plus grande incertitude règne sur le potentiel de régénération du



CELA au stade supérieur de la forte tempête tropicale dans le canal de Mozambique.

CELA at upper level of severe tropical storm stage in the Mozambique Channel.

phénomène. Bien que de durée limitée, la traversée terrestre sur les contreforts nord du massif de Tsaratanana a, en effet, sévèrement impacté la perturbation, qui rejoint les eaux du Canal de Mozambique dans un état très délabré. À ce stade, tabler sur une renaissance de l'ex-CELA apparaît comme un pari bien aléatoire. Le minimum dépressionnaire résiduel, en bonne partie comblé (puisque désormais estimé à 1 005 hPa) et devenu difficile à suivre, survit malgré tout, longeant à distance la côte nord-ouest malgache, à mesure de sa progression en direction du sud-ouest en journée du 10. Les signes de réorganisation demeurent ténus à ce stade, même si la reprise de la convection à proximité du centre dépressionnaire la nuit suivante, incite à la vigilance. Le système a très sensiblement ralenti et stationne désormais plus ou moins sur place, à quelques encablures au large du cap St-André, qu'un noyau de convection profonde vient recouvrir entre le 11 et le 12 décembre. La proximité des terres semble contrecarrer les velléités de re-développement et ce n'est qu'après avoir

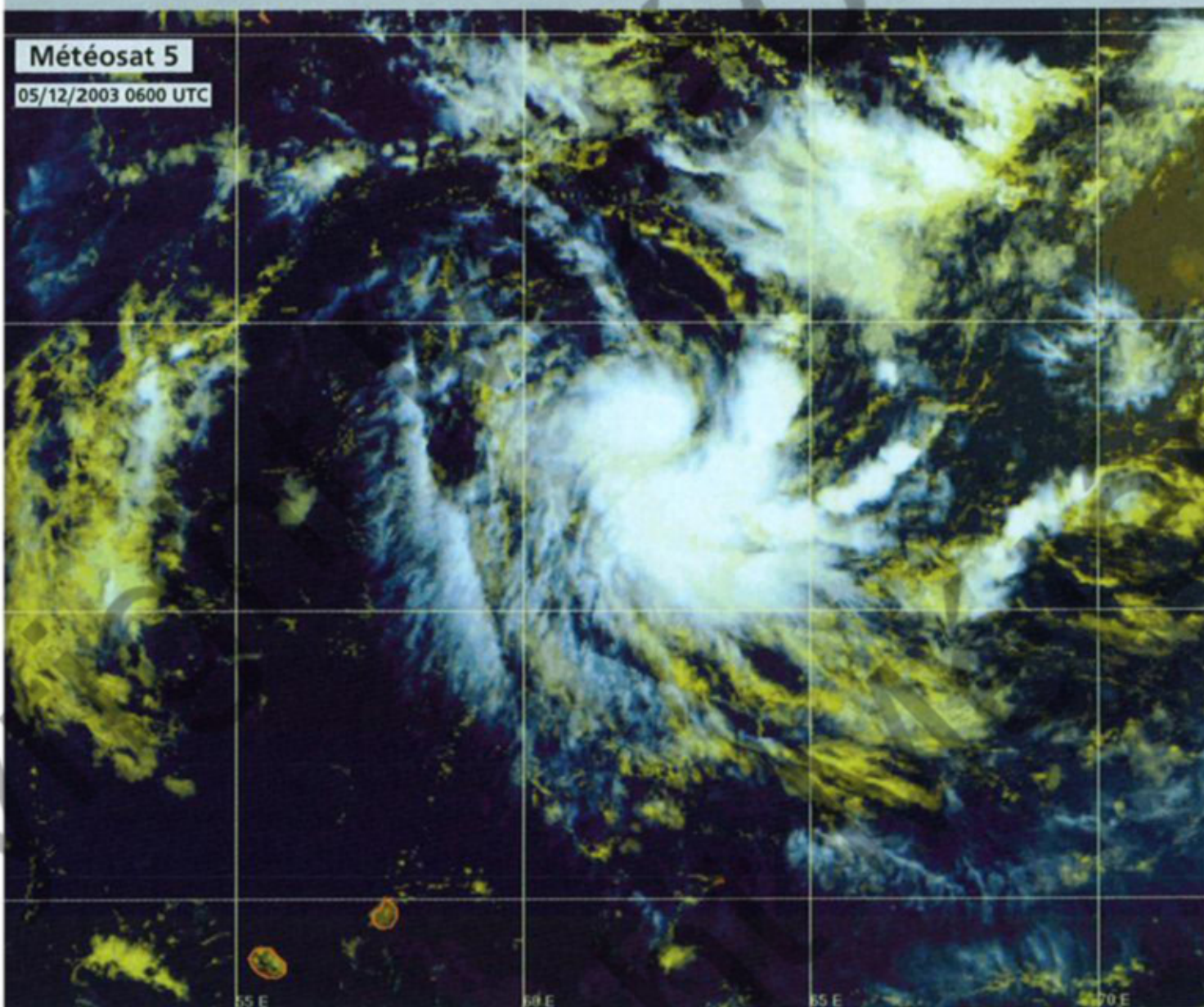
FORMATION

Pursuing as actively as during the previous season the disturbed activity gave rise to a second tropical cyclone that developed as early as December and which was the first to affect the Mozambique Channel.

It all started at the beginning of the month with convective activity reviving on a wide area surrounding the Chagos Archipelago. Most of the convection stood nearby or south of latitude 10°South, i.e. within the trade wind flow converging more northward towards the near-equatorial trough stretching along latitude 7°S. Within the trough, wind data from the QuikScat swath of late afternoon on 2 December revealed the presence of a weak closed low circulation centred near Diego-Garcia Island. Despite rather favourable upper conditions (upper diffluence and weak vertical windshear), there was little development over the next 48 hours, except for an overall westward shift of the disturbed zone, then southwestward from early morning on 4 December. Given the weak westerly flow equatorward of the trough and the accruing lack of vorticity and low level inflow, the cyclogenesis was hindered.

It was only by the night of 4 December that it started to materialise, with an incipient organisation of the gathering convection. At the same time, the low centre had come much closer. The coupling occurred in the last part of the night, and so a few hours later, the cloud structure warranted the system to be graded as a minimal tropical depression.

However, this first phase of intensification soon ended and the system's intensity stagnated for another 48 hours. Beside the fact that the system could still not be sustained by the poor monsoonal flow present on the equatorial side, it was also faced with a slight increase of the northeasterly vertical windshear pervading on the northwest front of the high geo-potentials cell centred in the southeast (near latitude 15°S). In addition to the visual consequences of this persistent upper constraint (see page 27), the satellite imagery showed a marked impact of the diurnal cycle on the convection, whose powerful night flare-ups were followed by spectacular collapses in daytime. As the meteor kept moving west-southwestwards, it drew nearer the upper ridge axis and benefited from an abatement of the shear from late afternoon on 7 December. Simultaneously, it penetrated deeper into the influential zone of a shortwave trough whose



Genèse du futur CELA, au moment où le météore vient d'être classé au stade minimal de dépression tropicale.
Genesis of to-become CELA. The meteor had just been classified as a minimum tropical depression.

presence in the southwest was enhancing the upper outflow on the poleward side. With these more favourable conditions the new outburst of convection that occurred in the course of the night of 7th was more efficient and durable leading to another deepening of the low that reached the stage of moderate tropical storm.

EVOLUTION

But this second phase of intensification was once again short-lived and the tropical storm named CELA at daybreak on 8 December again went through an arrested development phase. In other respects, the late night of 7 Dec had been marked by a change of trajectory of the disturbance which shifted west-northwestward as a result of the reconsolidation of the low-tropospheric ridge that spread as far as the east coast of Madagascar. Travelling some 250 km north of Tromelin Islet in morning of 8 Dec, CELA then headed straight for the North of Madagascar.

The meteor seemed to be struggling throughout the whole time it approached the Great Island. While the related convection continued to fluctuate cyclically showing great diurnal variations, it tended to diminish on the whole, and got slowly disorganised. Thus, it was a partly

shattered system that reached the Malagasy coast by late afternoon on 9 Dec. The satellite imagery –and more specifically the microwave– nevertheless indicated that a relatively well-organised central core of some 100 km width was still maintaining, generating estimated gale force winds with peak gusts of about 100 km/h. CELA's centre made landfall in the early evening, right next to the coastal town of Vohémar. It rapidly crossed the north of the Great Island and went back to sea south of Nosy-Be before the end of the following night.

As it is often the case in this type of situation, the main issue lies with the phenomenon's potential to regenerate. Although short-lasting, the land crossing on the northern foothills of the Tsaratanana mountain range had indeed a great impact on the disturbance that reached the Mozambique Channel in a very poor state. At that time it was rather chancy to bet on ex-CELA's rejuvenation.

The residual low centre –mostly filled (since estimated to be at 1005 hPa by then) and hard to follow–, survived despite all, moving along the Malagasy northwest coast from a distance as it tracked southwestward on the 10th. Signs of reorganisation were slim at the time, even if the revival of convection near the low centre on the next night incited one to remain wary.

retrouvé un peu de vitesse de déplacement, et s'être significativement écartée de la côte malgache, vers l'ouest dans un premier temps, que la dépression va enfin pouvoir commencer de se creuser, à partir de la fin de journée du 13.

La convection, désormais bien alimentée en humidité par un flux de mousson qui va en se renforçant sur le nord du Canal, demeure cantonnée dans les secteurs nord à est du minimum dépressionnaire, mais tend à s'organiser en une bande incurvée à la courbure de plus en plus affirmée au fil de la nuit suivante. La deuxième vie de CELA est désormais sur les rails. Reclassée en dépression tropicale en deuxième partie de nuit, peu après son passage au plus près de l'île de Juan de Nova (à un peu moins de 60 km dans le nord-ouest), la perturbation redevient tempête tropicale modérée en matinée du 14 décembre.

Le centre de CELA transite alors à environ 90 km dans l'ouest de Juan de Nova, où, confirmant le creusement de la perturbation, les vents continuent de se renforcer. Ils souffleront à la limite du coup de vent quelques heures plus tard (33 nœuds en vent moyen maxi), avec de bonnes rafales sous grains (culminant tout de même à 112 km/h, soit 60 nœuds). Depuis la nuit précédente, l'île subit de fortes précipitations orageuses, qui ne cesseront qu'en cours de nuit suivante : 289 mm de précipitations s'abattent en l'espace de 24h, dont 196 mm en 12h. Il aura donc fallu quatre jours pour que CELA renaisse de ses cendres et retrouve son statut de tempête tropicale. L'effondrement de la convection qui intervient en fin de journée et soirée du 14, avec disparition résultante de la structure en bande incurvée, laisse un moment envisager que cette deuxième vie de CELA au stade de tempête tropicale modérée ne connaisse un sort comparable à la première.

Il n'en sera rien. Car la convection reprend en journée du 15 à proximité du centre dépressionnaire et affiche rapidement une allure prometteuse. La configuration nuageuse est révélatrice à la fois de l'existence d'une vorticité accrue en basses couches (l'établissement d'un courant de sud à sud-est par le sud-ouest du Canal,

à l'arrière d'un talweg frontal, n'étant certainement pas étranger à ce regain de vorticité), et d'une bonne divergence d'altitude, avec développement du côté polaire d'un efficace canal d'évacuation du flux sortant d'altitude, en liaison avec le transit, sur le sud du Canal, du talweg d'altitude associé au passage frontal précité. Avec ces conditions de développement désormais plus favorables, CELA amorce une nouvelle phase d'intensification, qui va durer environ 24h.

L'imagerie micro-onde s'avère une nouvelle fois inégalée pour en évaluer les péripéties. «Scannant» la structure du météore dans le détail, elle révèle la formation d'un embryon d'œil dès le début de journée du 15, et montre également une structure interne qui demeure très mouvante et non stabilisée jusqu'au matin du 16, moment où l'œil devient à la fois mieux défini et davantage pérenne, au moins l'espace de quelques heures, tant sur l'imagerie micro-onde que l'imagerie classique. Cette évolution amène à classer CELA au stade minimal de cyclone tropical en milieu de journée du 16 décembre.

Alors que jusqu'au franchissement du 20^e parallèle Sud, intervenu en matinée du 15, le météore avait poursuivi sa route en direction générale du sud-sud-ouest, mais en décrivant une trajectoire assez irrégulière, sa progression a été stoppée depuis la fin de nuit du 15 au 16. En situation de col barométrique en moyenne troposphère et bloqué par l'arrivée au sud du Canal de Mozambique d'une cellule anticyclonique subtropicale en basse troposphère, CELA va demeurer quasi-stationnaire durant environ 24h, jusqu'en milieu de nuit du 16 au 17.

Depuis la fin d'après-midi du 16, la perturbation montre de sérieux signes d'affaiblissement. Si le stationnement sur place y contribue partiellement, en accentuant le refroidissement de la surface océanique sous-jacente, la raison principale de ce début de déstructuration du météore tient au renforcement du cisaillement vertical de vent (de nord-ouest à nord), en marge du talweg d'altitude présent sur le sud du Canal. La configuration nuageuse affichée sur l'imagerie satellitaire, est d'ailleurs sans équivoque sur la réalité de cette

contrainte cisailée, avec exposition progressive du vortex de basses couches hors de la convection.

Ayant repris un déplacement en direction du sud-sud-ouest (suite à l'évacuation vers l'est de la cellule anticyclonique subtropicale mentionnée ci-avant), c'est dans cette configuration que CELA se dirige droit vers Europa. L'île est traversée par l'anneau de nuages bas résiduels de l'œil déstructuré, le centre du vortex transitant à quelques kilomètres à l'est dans l'après-midi du 17 décembre.

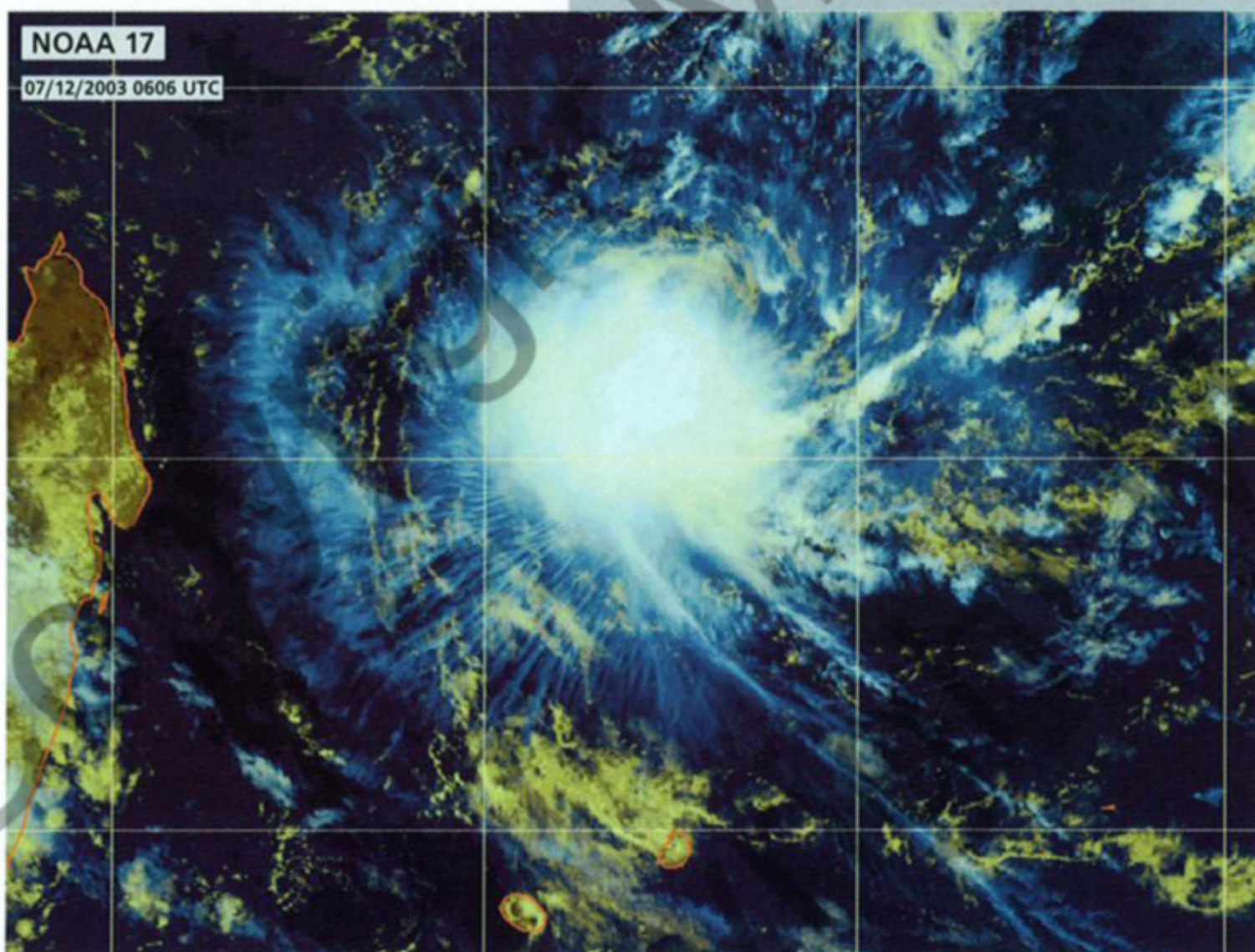
Bien qu'incomplètes, les observations transmises par la station automatique de Météo-France basée sur l'île, s'avèrent extrêmement précieuses pour évaluer la «vérité sol» de l'intensité du météore à ce moment-là. Cela fait déjà de nombreuses heures que le système nuageux cisailé présente un vortex exposé, dans la partie sud duquel de la convection vient juste de se reformer, non loin du centre dépressionnaire. L'intensité courante de Dvorak est alors estimée à 3.5+, ce qui correspond, suivant l'échelle correspondance utilisée dans le bassin, à des vents maximaux moyens sur 10 min de 50-55 nœuds pour un minimum de pression

The system had slowed down a lot and now loitered more or less on the same spot, a few cables' length away from the Cape Saint-André, above which a deep convection cluster mushroomed between 11 and 12 December. Land closeness seemed to prevent ex-CELA from redeveloping and it was only after it had recovered some speed of motion and moved away from the Malagasy coast, towards the west first, that the low was finally able to start deepening from late afternoon on 13 Dec.

The convection, henceforward moisture-fed by a monsoon flow that was reinforcing on the northern Mozambique Channel, was confined to the north-to-eastern sector of the low centre, but tended to get organised in a curved band which depicted increasing curvature as the following night went on.

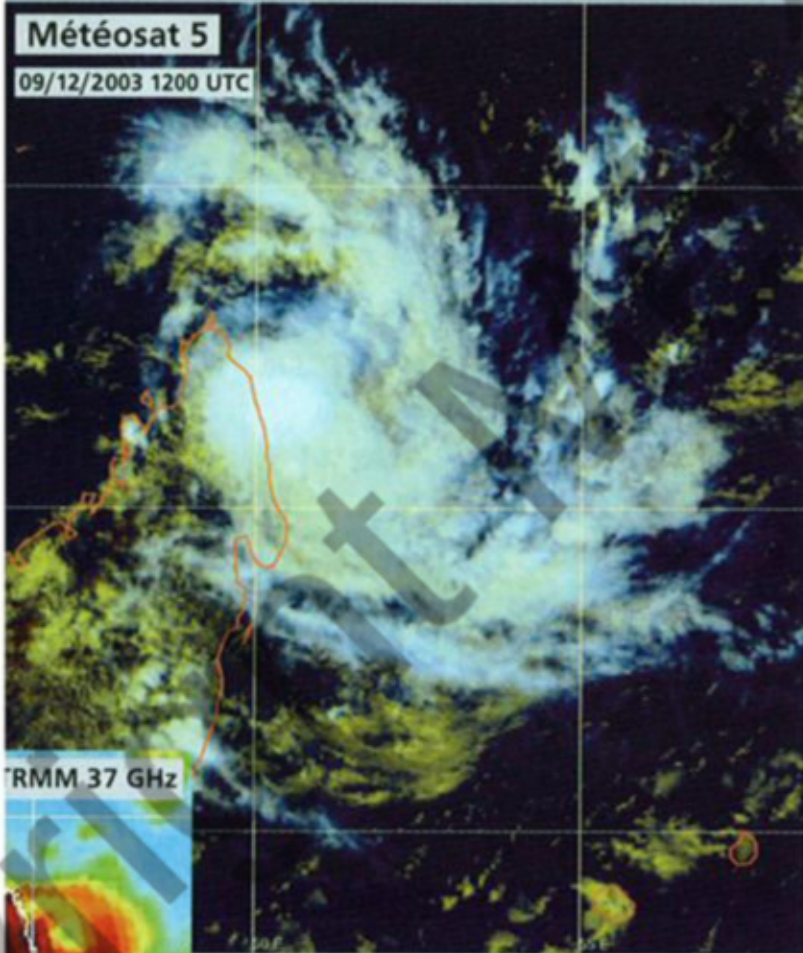
The second life-cycle of CELA was underway. Upgraded to tropical depression status in the second part of the night a little after its closest passage to Juan de Nova Island (a little less under 60 km to the northwest), the disturbance then turned again into a moderate tropical storm by mid-morning on 14 December.

At that moment CELA's centre was transiting some 90 km west of Juan de Nova Island, where, as a confirmation of the deepening of the disturbance, winds kept strengthening. A few hours later, they were nearly blowing at gale force (33 knots



Le futur CELA transite au nord des Mascareignes. Toujours au stade de dépression tropicale, le météore est contrarié dans son développement par une contrainte cisailée de nord-est (centre exposé hors de la convection).

To-become CELA while transiting north of the Mascarenes. Still at tropical depression stage the meteor's development was hindered by the persistence of a northeasterly shear constraint (low centre exposed outside of the convection).

Météosat 5
09/12/2003 1200 UTC

CELA peu avant son atterrissage sur le Nord de Madagascar. Le météore, affaibli, demeure classé au stade de tempête tropicale modérée et conserve un cœur encore bien structuré en basses couches sur l'imagerie micro-onde.

CELA shortly before making landfall on northern Madagascar. Though weakened the meteor remained classified as a moderate tropical storm and did indeed still exhibit a fairly well-structured low-level core as shown on microwave imagery.

09/12/2003
1405 UTC

maximum mean winds) with squalls (peak gust of 112 km/h, i.e. 60 knots). Since the previous night, the island had been under storm showers that would not stop until the course of the following night (289 mm rainfall recorded within 24h, including 196 mm within 12h).

It had therefore taken four days to CELA to rise from its ashes and recover the status of tropical storm. The collapse of the convection that occurred in the evening on 14 Dec, with the resulting disappearance of the curved band structure, let one envision for a while that this second life phase of CELA as a moderate tropical storm might end up as the first one.

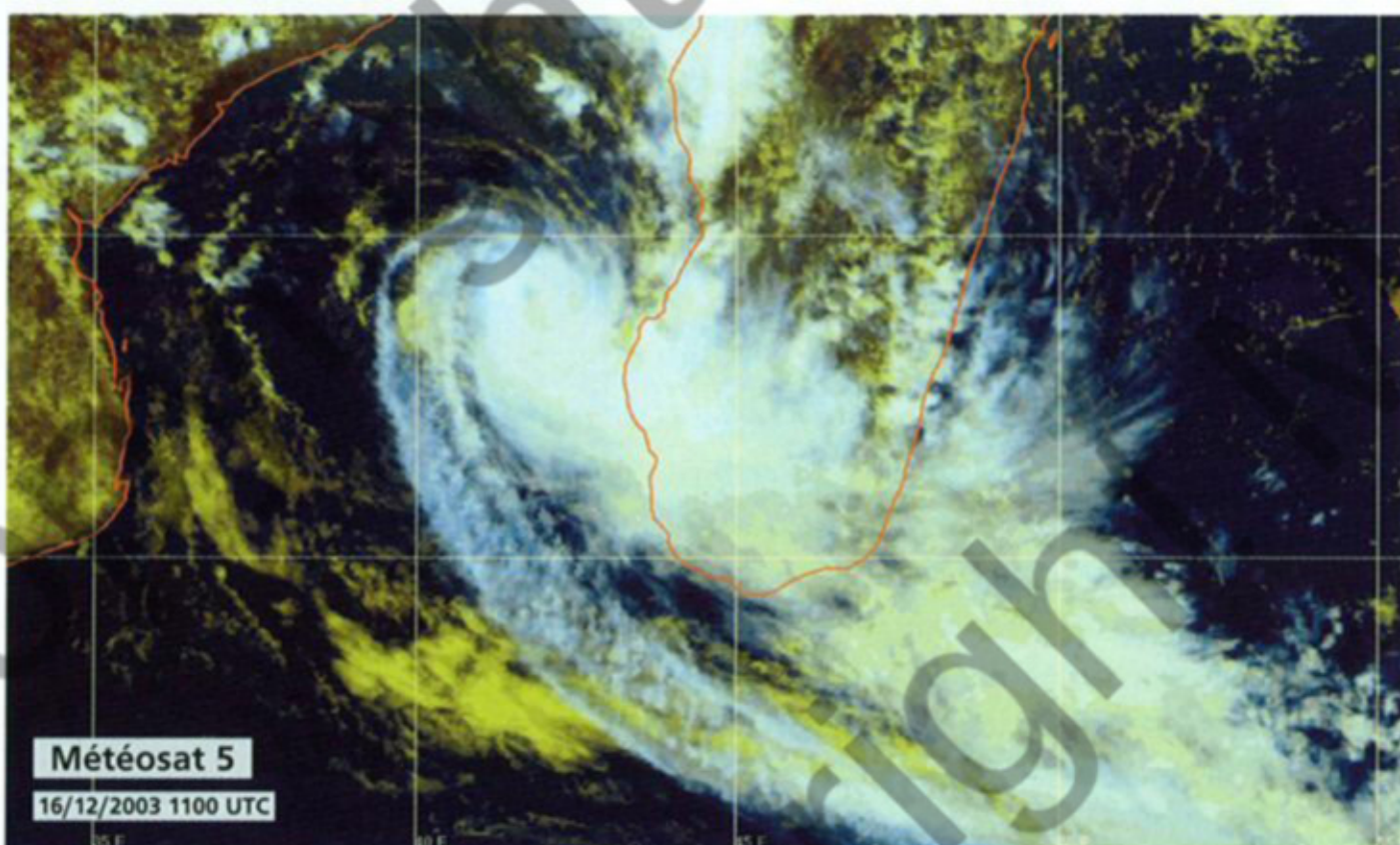
But that was not the case as the convection resumed during the day on 15 Dec near the storm centre and soon looked promising. The cloud configuration was tell-tale of both the existence of increased low-level vorticity (probably accruing from the setting via the southwest Mozambique Channel of a south to southeasterly flow surging behind a frontal trough) and of a good upper divergence, with the development on the polar side of an efficient upper outflow channel related to the transit on the southern Mozambique Channel of an upper trough associated to the aforementioned migratory front. With those more favourable development conditions, CELA initiated another phase of intensification that would last about 24h.

centrale dans la gamme 980 à 985 hPa. Avec une pression mer minimale relevée à Europa de 986.4 hPa (non corrigée de la marée barométrique), le minimum de pression au centre de CELA pouvait en fait être estimé à 986 hPa, ce avec un excellent degré de confiance, soit une valeur légèrement moins creuse que l'estimation Dvorak. Après plusieurs heures de vents faibles observés au sein du cœur central du vortex, un maximum de vent moyen de 33 m/s (soit 64 nœuds), pour une rafale maximale de 42 m/s (82 nœuds, soit 151 km/h) est enregistré dans la partie arrière de la circulation dépressionnaire (les mesures de la station dans la partie avant de l'anneau de vents forts étaient indisponibles). Ces vents, de la force minimale ouragan, ont donc soufflé significativement plus fort que ce à quoi l'on pouvait s'attendre, traduisant une inertie du champ de vents nettement supérieure à la norme.

Quelques heures après le passage au plus près d'Europa, la structure nuageuse de CELA affiche de nets signes de réorganisation sur l'imagerie satellitaire, la convection se régénérant tout autour du centre, pour constituer une velléité d'œil en bande. Cette interruption du cycle d'affaiblissement amorcé la veille, fait suite à un relâchement du cisaillement

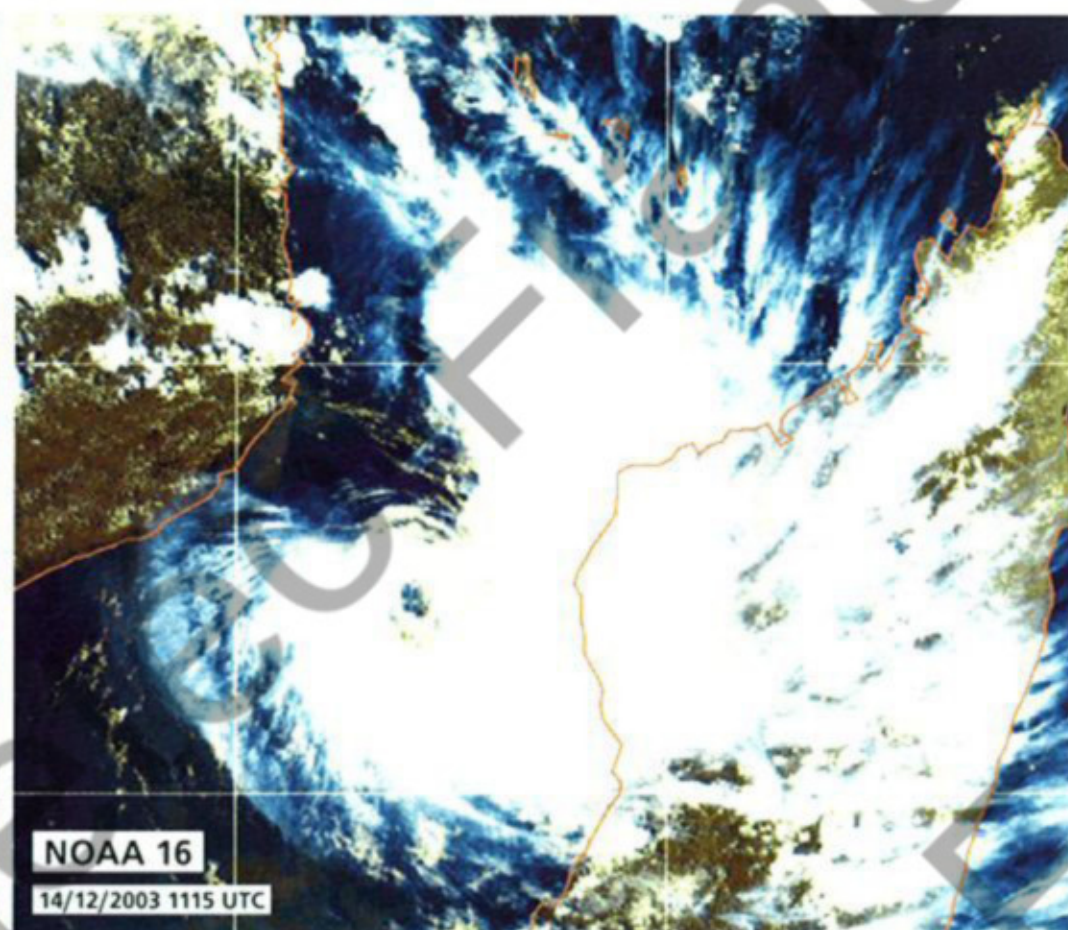
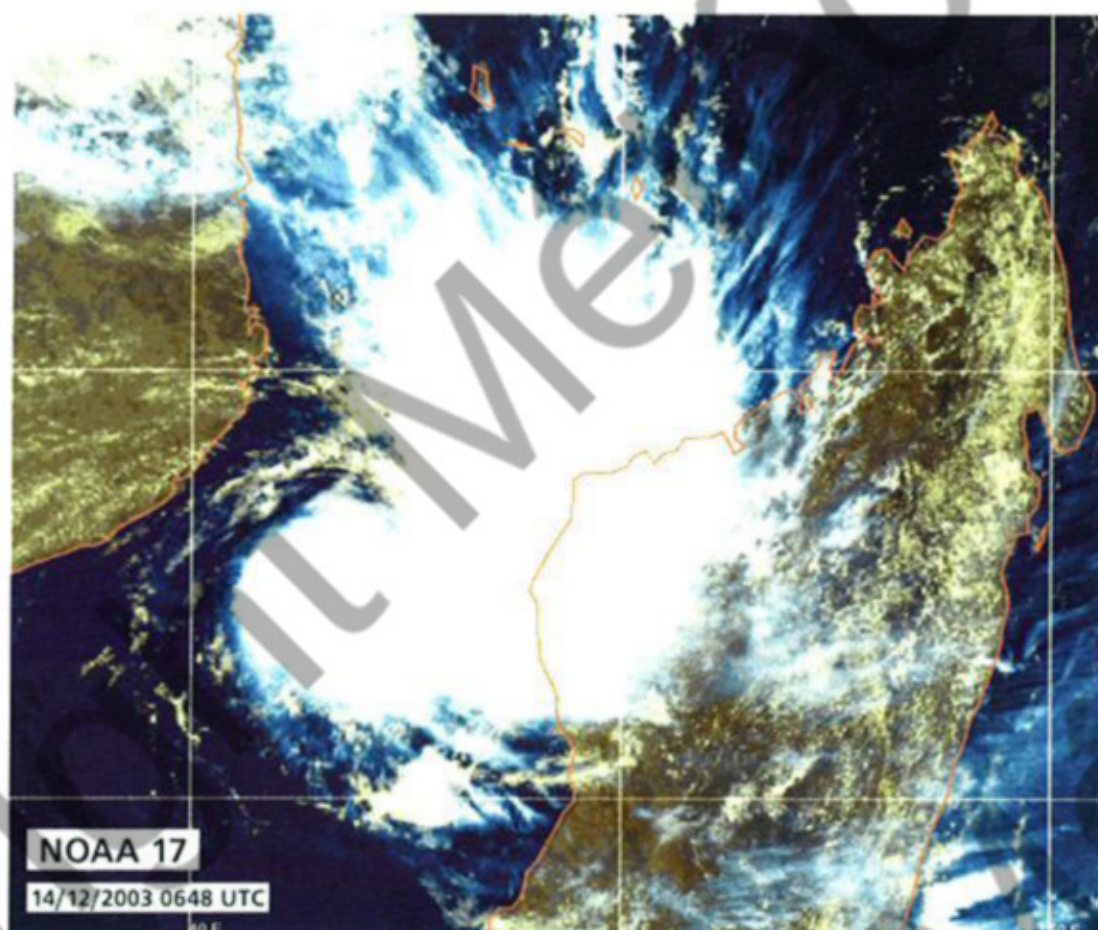
vertical de vent. Au cours des trois jours suivants, ce paramètre va aller en fluctuant d'un jour à l'autre, en demeurant grosso modo dans la fourchette 10-20 nœuds. Durant tout ce laps de temps, la structure nuageuse de CELA va suivre, en les amplifiant, ces fluctuations du cisaillement de vent autour d'un seuil critique pour le maintien de la perturbation.

Au gré des sautes de ventilation qui en résultent, la convection subit de grandes modulations. Un œil déchiqueté plus ou moins bien défini se reconstitue par moments, puis disparaît. L'intensité de la perturbation, probablement moins instable en surface, est considérée varier de manière nettement amortie par rapport aux fluctuations de la configuration nuageuse, et est maintenue osciller autour du seuil délimitant les stades de forte tempête tropicale et de cyclone tropical minimal durant toute cette période, jusqu'à ce que débute la phase de transition extra-tropicale, à l'approche du 30^e parallèle Sud, le 20 en fin de journée. La trajectoire plein sud alors suivie, oblique en direction du sud-est la nuit suivante. Expulsée à vitesse accélérée le 21, la dépression extra-tropicale ex-CELA intègre rapidement le courant perturbé d'ouest des latitudes tempérées, franchissant le 40^e parallèle Sud dès la fin de nuit suivante.

Météosat 5
16/12/2003 1100 UTC

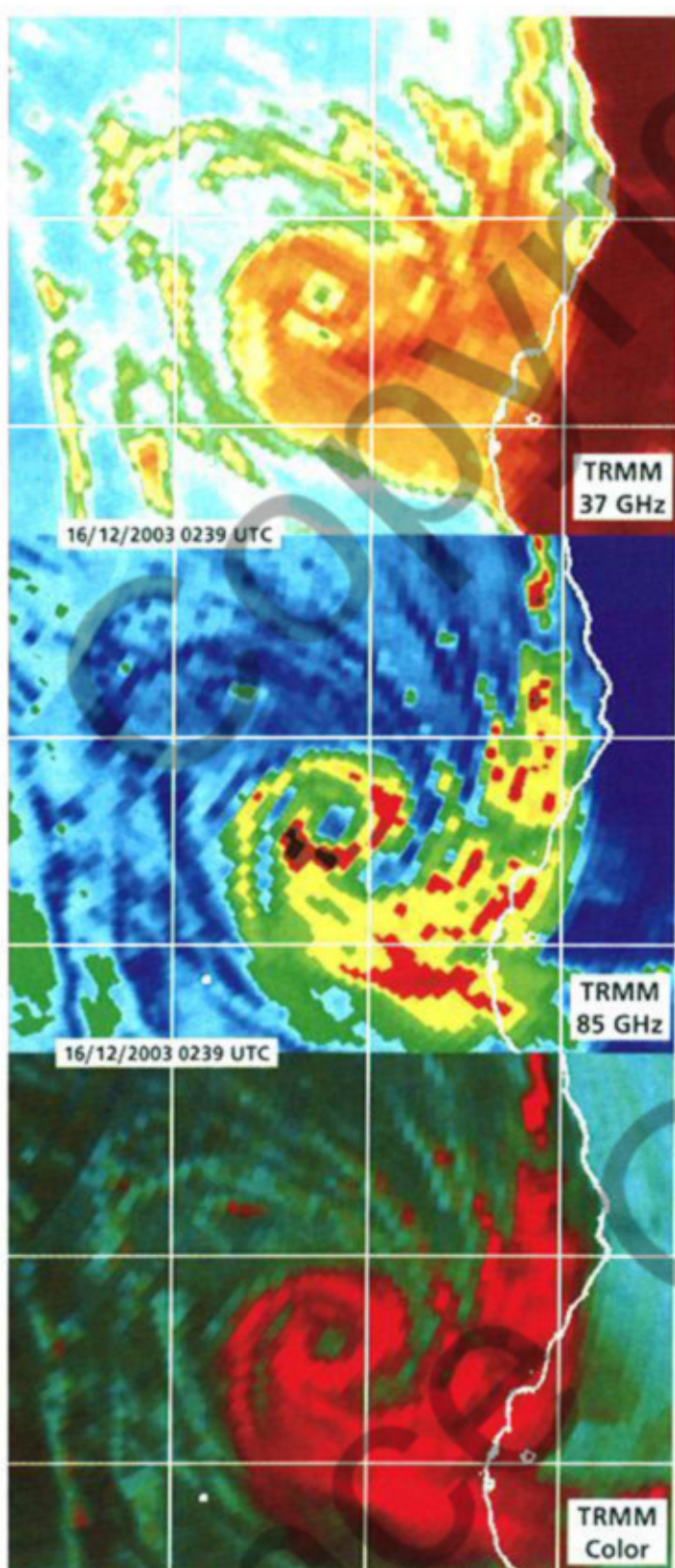
CELA en phase d'intensification au nord-est de l'île d'Europa, vient de développer un œil (imagerie TRMM ci-contre) et va bientôt atteindre son maximum d'intensité, au stade minimal de cyclone tropical (image Météosat 5). Des bandes convectives externes affectent la façade ouest de Madagascar, y produisant localement de fortes pluies (à Morombe on enregistre 317 mm de précipitations en 24h ce 16 décembre).

CELA while intensifying northeast of Europa Island had developed an eye during the previous hours (TRMM microwave imagery opposite page) and would soon reach its maximum of intensity as a tropical cyclone of first level (Meteosat 5 image). Active outer bands of convection affected the western coast of Madagascar that was locally drenched with heavy rain (at Morombe 317 mm were recorded in 24h).



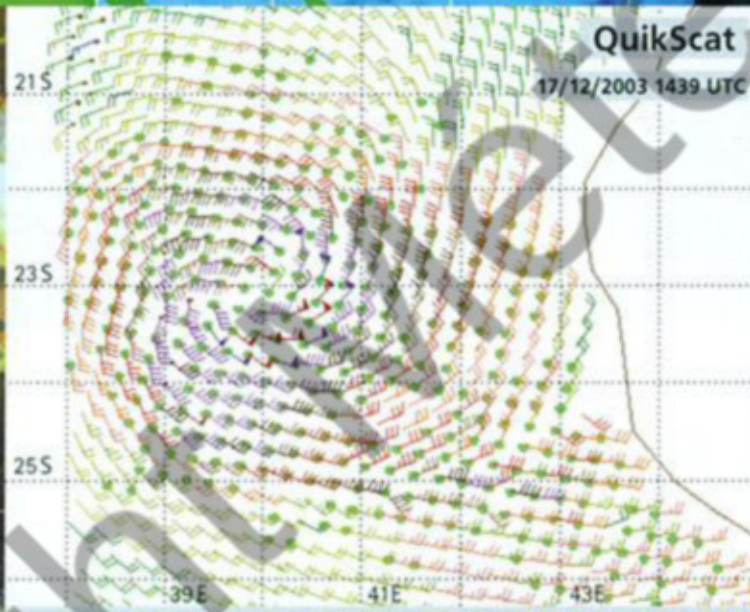
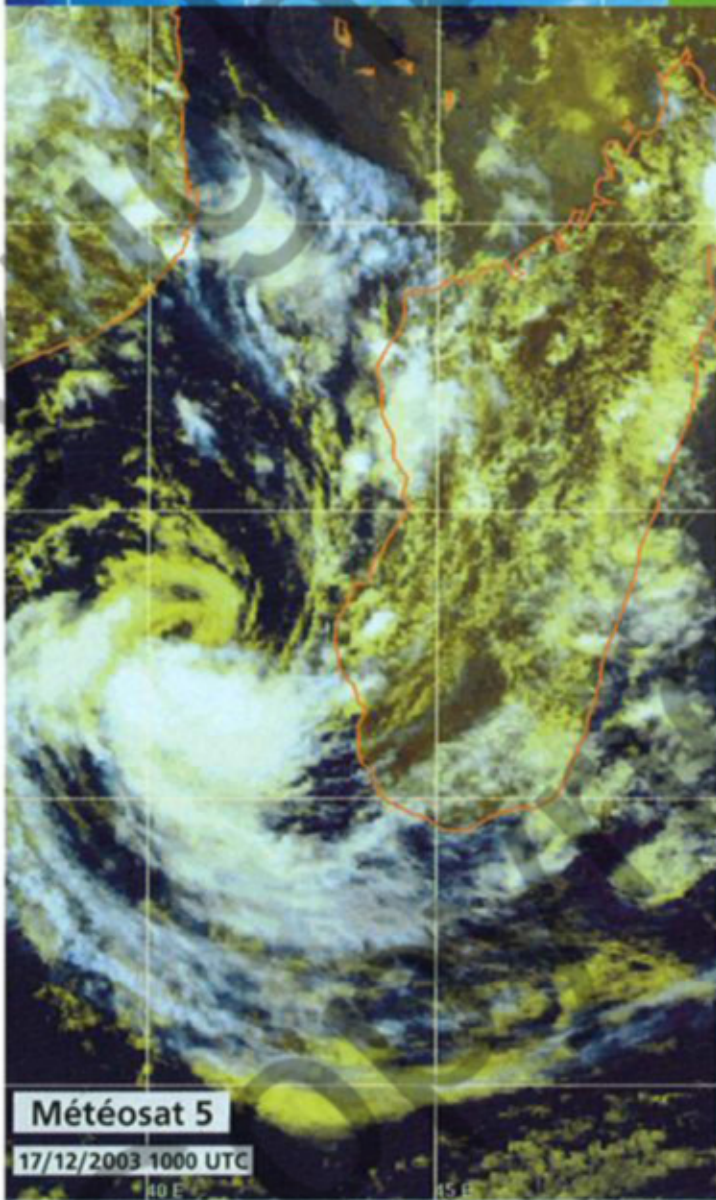
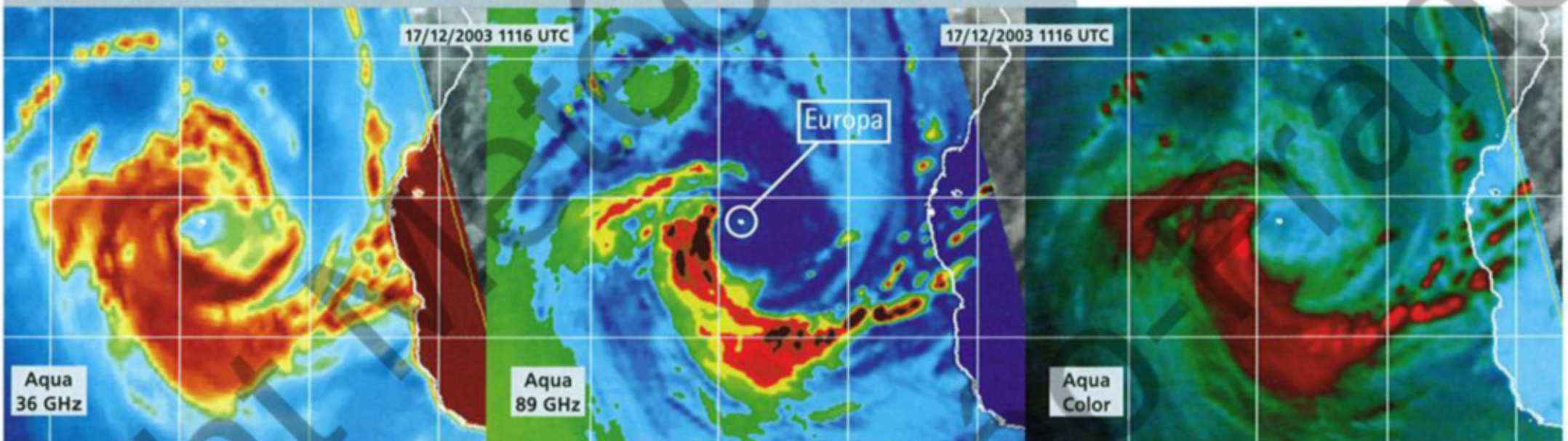
CELA: une deuxième vie dans le Canal de Mozambique. Après une longue et difficile lutte pour survivre suite à sa traversée du Nord de Madagascar, CELA s'est régénéré et retrouve son statut de tempête tropicale modérée dans le secteur de l'île de Juan de Nova, copieusement arrosée sous les bandes convectives présentes dans le secteur est du minimum dépressionnaire (clairement identifiable sur l'image NOAA 16 de l'après-midi).

CELA: a second life-cycle in the Mozambique Channel. After a long and difficult struggle to survive following its crossing of northern Madagascar, CELA had regenerated and just recovered its status of moderate tropical storm near Juan de Nova Island, which was drenched under the convective bands standing east of the low level circulation centre (well depicted on the NOAA 16 afternoon image).



The microwave imagery once again provided unequalled perspective to thoroughly view this new bout of intensification and its correlated vicissitudes. As it scanned the meteor's structure in detail, the formation of an embryonic eye was revealed at daybreak on 15 Dec, as well as an internal structure that remained very changing and unstable until morning of 16th, at the time when the eye became better defined and more established – for a few hours at least – on both microwave and classic imagery. This evolution led CELA to be upgraded at the minimal stage of a tropical cyclone by midday of 16 December. While until the meteor crossed latitude 20°S (in the morning of 15 Dec), it had kept a general south-southwest path following an irregular trajectory, it had come to a stand-still since late night of 15 Dec. Stuck in a barometric col in mid-troposphere and blocked by the arrival south of the Mozambique Channel of a subtropical anticyclone in low troposphere, CELA remained quasi stationary for about 24h until the middle of the night of 16 Dec. Since the late afternoon of 16 Dec, the disturbance was showing serious signs of weakening. While this could be partially attributed to the meteor's stand-still which increased the cooling down of the underlying ocean, the main reason for its incipient destructuring was due to the strengthening of the northwest-to-north vertical wind shear on the fringe of the upper trough that lay on the southern Mozambique Channel. The cloud

structure displayed on the satellite imagery definitely confirmed the presence of this sheared constraint, with a gradual exposition of the low-level vortex outside the convection. Having resumed a south-southwestward course (following the eastward shove off of the aforementioned subtropical anticyclone) CELA headed straight for Europa in that cloud configuration. The island was crossed through by the residual low clouds ring of the destructured eye, with the vortex centre transiting a few kilometres to the east in the afternoon of 17 Dec. Though incomplete, the observations transmitted by the automatic station of Meteo-France based on the island were extremely valuable to assess the ground truth of the meteor's intensity at the time. The sheared cloud system had been displaying an exposed vortex for quite a long time now, in the southern part of which some convection had just rebuilt not far from the low centre. The current intensity was estimated at 3.5+ on the Dvorak scale, which corresponded, according to the scale used in the basin, to 10-min average winds of 50 to 55 knots for a minimum central pressure of a 980 to 985 hPa range. Given the minimal sea pressure of 986.4 hPa read in Europa (not corrected from the barometric tide) the low pressure centre of CELA could highly confidently be estimated at 986 hPa, i.e. a slightly higher value than Dvorak's. After several hours of weak winds felt within the central core of the vortex, a maximum mean



CELA au moment de son passage au plus près de l'île d'Europa (point blanc sur l'imagerie micro-onde du satellite Aqua). Au sein de la large plage centrale du vortex résiduel de basses couches associée au météore, des vents faibles sont alors observés à la station synoptique de Météo-France basée sur l'île. Un vent moyen de 64 nœuds (pour une rafale maximale de 82 nœuds) sera ensuite mesuré dans la partie arrière de l'anneau des vents les plus forts, alors que, compte tenu de la configuration du champ de pression, les vents étaient potentiellement supérieurs dans la partie avant, ce que tendent d'ailleurs à confirmer les données de vents QuikScat acquises peu après. Avec un maximum de 60 nœuds au sud-est, contre 50 nœuds au nord, ce champ de vents apparaît tout à fait réaliste, bien que sous-estimant logiquement la réalité des vents les plus forts (du fait d'une résolution insuffisante pour appréhender les gradients de vents au voisinage du rayon des vents maximaux).

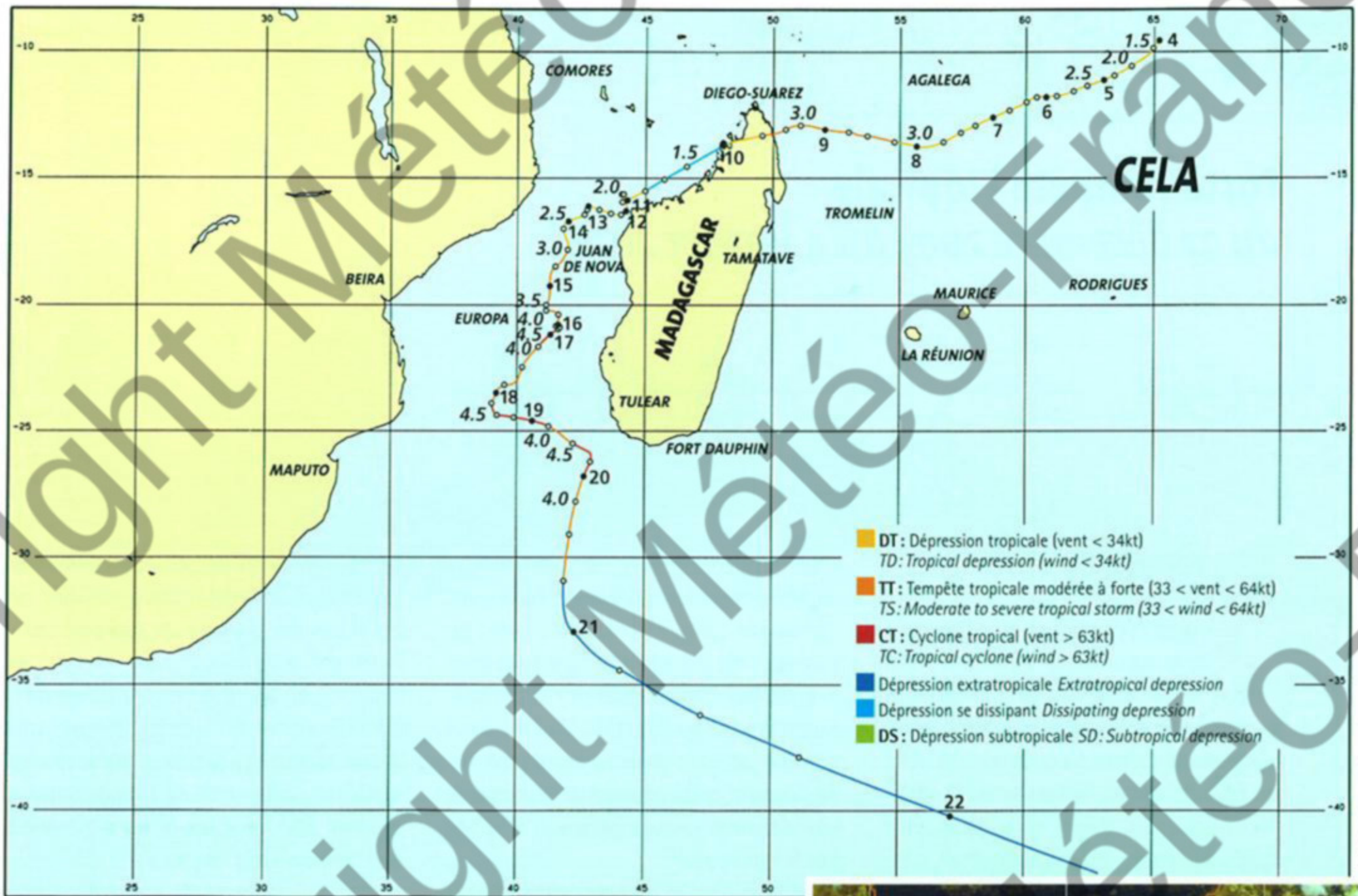
CELA when passing to its closest from Europa Island (the white dot on the microwave imagery from Aqua satellite). Within the large central core of the residual low level vortex weak winds were observed at the time at the Météo-France synoptic station based on the island. Thereafter a 10-min average max winds of 64 knots will be registered (with a peak gust of 82 kt) in the rear part of the ring of maximum winds, while, due to the pressure field pattern, stronger winds might have been present on the other side, as corroborated by the QuikScat winds acquired a little while later. With a 60 kt peak wind assessed southeast of the centre versus a 50 kt maximum to the north, this QuikScat windfield looked fairly realistic, although logically underestimating the real strength of the strongest winds (due to insufficient resolution to capture the wind gradients in vicinity of the RMW - radius of maximum winds).

wind of 33 m/s (i.e. 64 knots) for a peak gust of 42 m/s (82 knots, i.e. 151km/h) were recorded in the rear part of the clockwise circulation (measures from the station were unavailable for the front part of the strong winds ring). Thus, this minimal hurricane force wind record was significantly stronger than expected and witnessed a windfield inertia far greater than is usually the norm. A few hours after CELA's nearest passage to Europa, its cloud structure showed obvious signs of reorganisation on the satellite imagery, with the regeneration of the convection all around the centre turning into an attempt of a banding eye formation. This interruption of the weakening cycle initiated on the previous night came after a lessening of the vertical windshear. During the next three days, this parameter would keep fluctuating from one day to the next,

remaining more or less in the 10 to 20 knots range. During the whole while, CELA's cloud structure followed but in an amplified way those shear fluctuations around a critical level for the storm's maintenance. Subdued to the induced great shifts in ventilation, the convection was compelled to large variations. A more or less well-defined ragged eye rebuilt at times and disappeared again. The intensity of the disturbance - probably more steady at the surface - was considered to be varying much less compared to the fluctuations in cloud configuration, and to be oscillating around the demarcation threshold between the stages of severe tropical storm and minimal tropical cyclone throughout the whole period, until the extratropical transition phase started as the system approached latitude 30°S, end of day on 20 Dec. The due south trajectory assumed till that moment skewed southeastward the following night. Shoved out at an accelerated speed on 21 Dec, the extratropical depression ex-CELA rapidly integrated the disturbed westerlies of the temperate latitudes and crossed latitude 40°S by the end of the following night.

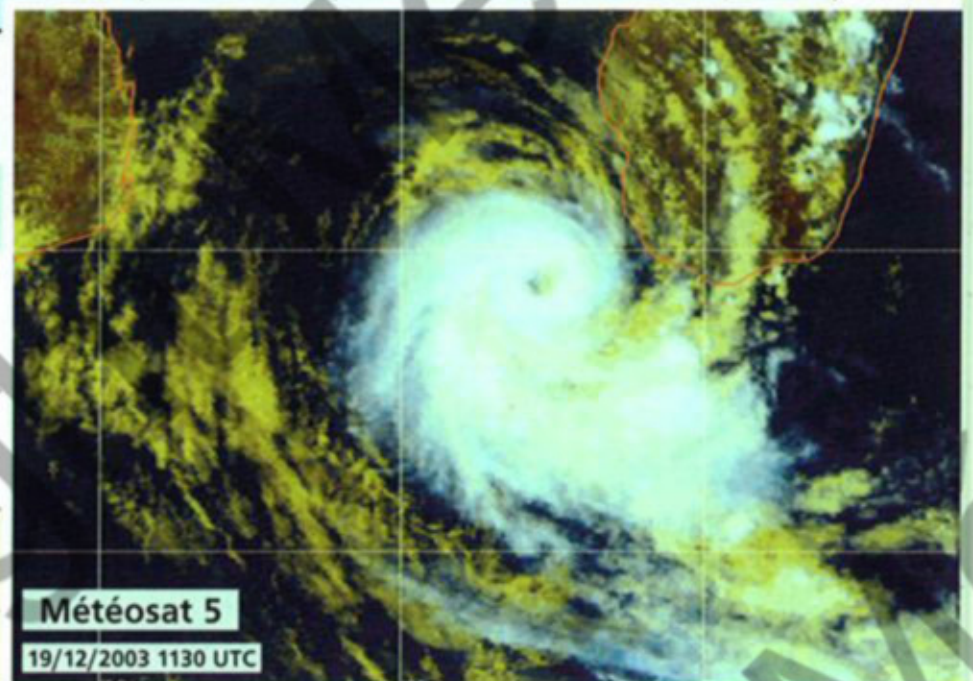


Joli duo de perturbations sur le Sud du Canal de Mozambique, avec CELA à l'avant d'un front froid qui s'étire sur plusieurs milliers de km au sud. Noter la zone claire fortement subsidente entre les deux systèmes nuageux et le changement de courbure du front dans sa partie nord, sous l'influence de la circulation dépressionnaire de CELA. **Nice duet of disturbances on the southern Mozambique Channel**, with CELA ahead of a cold front stretching over thousands of km to the south. Notice the clear sky area (associated to strong subsidence) between the two cloud systems and the shift of curvature of the northern part of the front induced by the clockwise circulation of CELA.

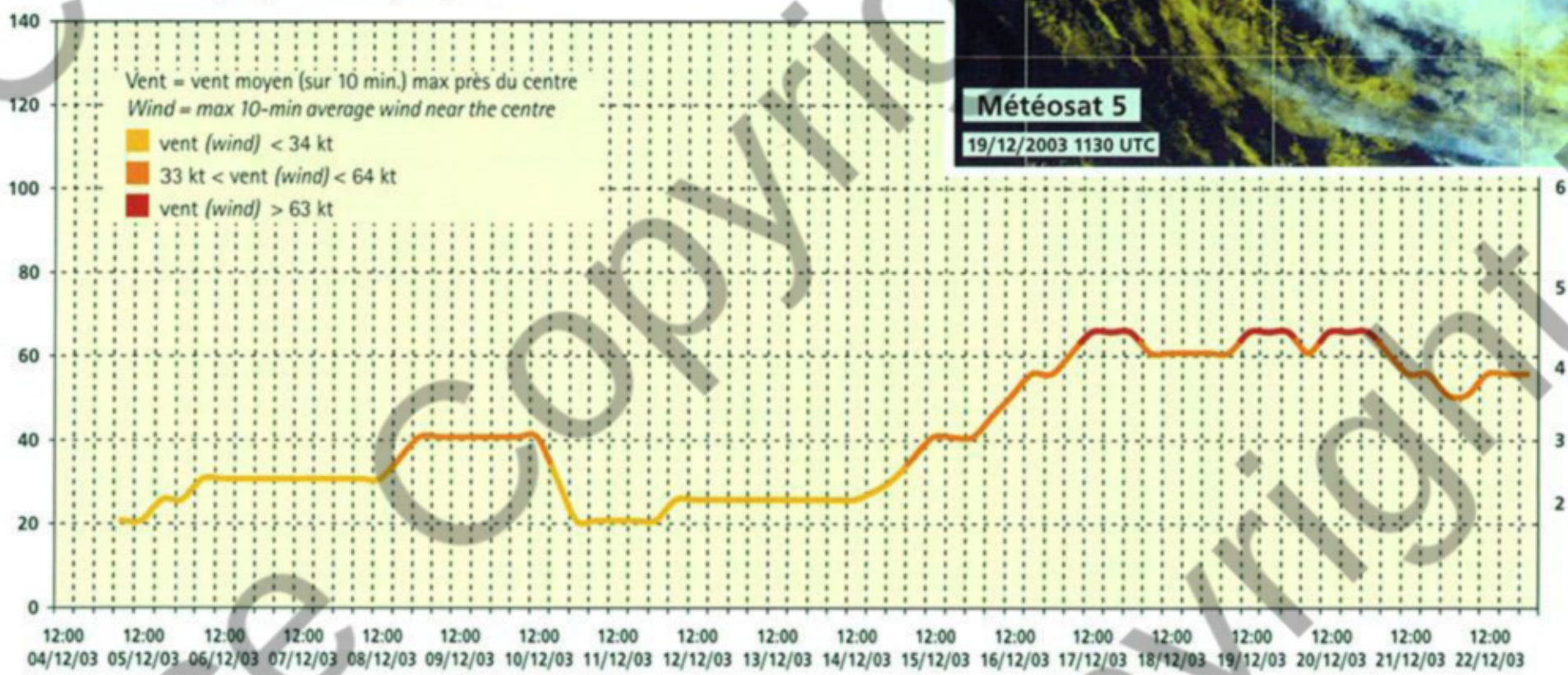


Météo France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

CELA effleure le Sud-Ouest malgache.
CELA when it grazed the SouthWest of Madagascar.



CELA DU 04/12/03 AU 22/12 /03



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)

Darius

Forte Tempête Tropicale du 27 décembre 2003 au 4 janvier 2004

Severe Tropical Storm "Darius" (27 December 2003 - 04 January 2004)

FORMATION

Après l'évacuation de CELA dans le domaine extra-tropical, il ne va pas falloir attendre bien longtemps avant de voir un nouveau système dépressionnaire se former. La quatrième velléité de cyclogenèse de la saison 2003-2004 va connaître la même réussite que les trois précédentes, débouchant sur un nouveau système mature, amené à devenir la première tempête tropicale de l'année 2004.

Contrairement à ce que pourrait laisser croire ce taux d'efficacité de 100 %, ce n'est pas dans la facilité que va naître cette nouvelle perturbation. On peut même dire que c'est au prix d'un accouchement particulièrement laborieux que le futur DARIUS va voir le jour, à l'instar de ce qui s'était déjà passé pour CELA. Avant de véritablement prendre corps, le 30 décembre, ce nouveau système va en effet devoir batailler durant cinq jours. Car c'est au 25 que l'on peut faire remonter ses débuts. L'activité convective qui siège alors sur le centre du bassin, présente, en ce jour de Noël, une ondulation suspecte dans la zone de Diego-Garcia. Les données de vents dérivées des différentes orbites QuikScat de la journée, permettent de bien appréhender la situation qui prévaut en surface sur le bassin et l'origine de ce «V» au niveau de cette zone de convection encore relativement linéaire la veille. Alors qu'en cette fin d'année, le flux de mousson ne s'est pas encore réellement installé au sud de l'Équateur, une

seule branche de flux trans-équatorial digne de ce nom est présente. Traversant l'Équateur dans le secteur à l'ouest de l'archipel des Chagos, elle vient converger avec le flux d'alizé légèrement au sud-ouest de Diego-Garcia. S'enfonçant comme un coin dans la zone proche-équatoriale, cette poussée de flux épouse parfaitement la configuration affichée par la convection.

Mais le minimum dépressionnaire, dont les données QuikScat, ainsi que les quelques observations disponibles dans le secteur, ont confirmé l'isolement au sud-ouest de Diego-Garcia en liaison avec cette zone de convergence, va ensuite avoir toutes les peines du monde à se creuser. L'évolution temporelle de la situation, fait apparaître une cassure du flux trans-équatorial le 27, avant qu'un rétablissement de l'alimentation n'intervienne à compter du 28. Durant tout ce temps, le minimum dépressionnaire végète. Un amas de convection persistante lui reste toutefois attaché.

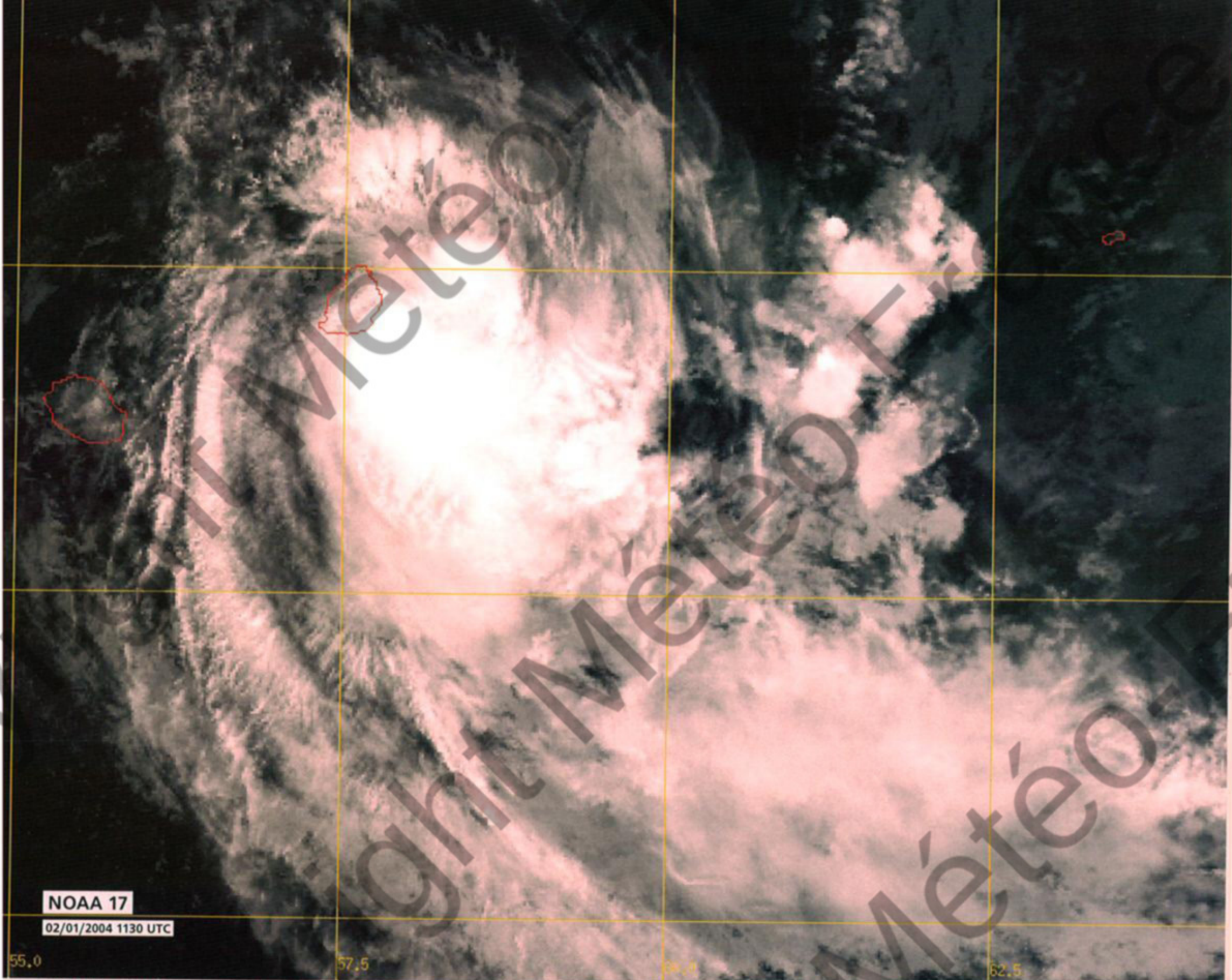
Au matin du 29 décembre enfin, la convection associée à cette perturbation initiale esquisse les premiers signes d'une organisation tourbillonnaire naissante. Il semblerait que la reprise de l'alimentation de mousson par le nord commence à produire ses effets, même si cette nouvelle poussée de flux n'est pas des plus virulentes. De fait, la mise à feu de ce deuxième étage de la cyclogenèse (suivant le modèle préconisé par Zehr) est loin d'être explosive. Malgré des conditions environnementales plutôt favorables en altitude, il faut encore attendre

24 heures avant de pouvoir considérer que le seuil de la dépression tropicale est enfin franchi. Nommé de manière anticipée par le Service Météorologique de Maurice en matinée du 30 décembre, DARIUS atteint le stade de tempête tropicale modérée en première partie de nuit suivante, son centre se situant alors à environ 300 km dans le nord-nord-est des îlots de Saint-Brandon.

ÉVOLUTION

L'intensification se poursuit donc à un rythme assez lent. Un profond talweg d'altitude méridien est présent dans l'ouest de la perturbation. S'enfonçant jusqu'au nord du 10^e parallèle Sud, et axé au niveau de La Réunion au matin du 31, soit à seulement cinq degrés à l'ouest de DARIUS, sa proximité contrecarre un développement franc du météore (voir page 36). Car si la présence du courant de nord circulant sur la façade orientale du talweg est plutôt favorable en terme de divergence d'altitude, avec un flux sortant accentué du côté sud, la contrepartie est l'entretien d'une ventilation modérée au niveau de DARIUS. Cette contrainte cisailée de nord se matérialise d'ailleurs clairement au matin du 31, faisant apparaître le vortex de nuages bas associé à la tempête majoritairement exposé hors de la convection.

Ayant franchi le 60^e méridien Est quelques heures plus tôt, le centre de DARIUS se rapproche alors du 15^e parallèle Sud. L'influence de la présence du talweg d'altitude se fait également sentir au niveau



NOAA 17

02/01/2004 1130 UTC

55,0

57,5

60,0

62,5

DARIUS à proximité de la pointe sud-est de Maurice, qui échappe à la partie la plus active de la tempête tropicale (déjà en voie de déstructuration). Tant les vents les plus forts, situés dans le secteur sud-est de la perturbation, que les précipitations les plus intenses associées à la convection profonde, demeurent en mer.

DARIUS while closing in the southeastern tip of Mauritius. The most active part of the storm (already on a weakening trend) missed the island since the strongest related winds, located within its southeastern sector, and the heaviest rain associated to the deep convection remained at sea.

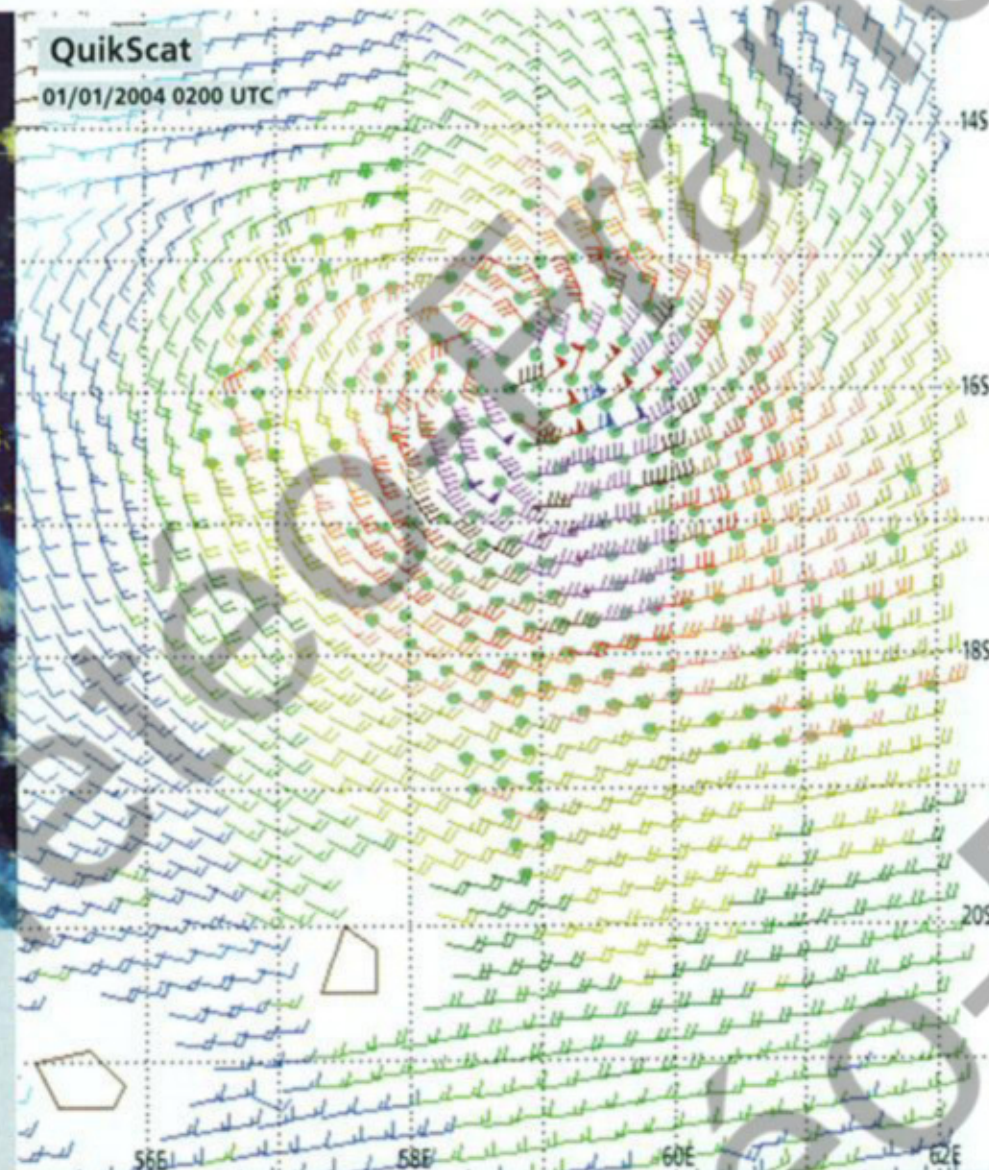
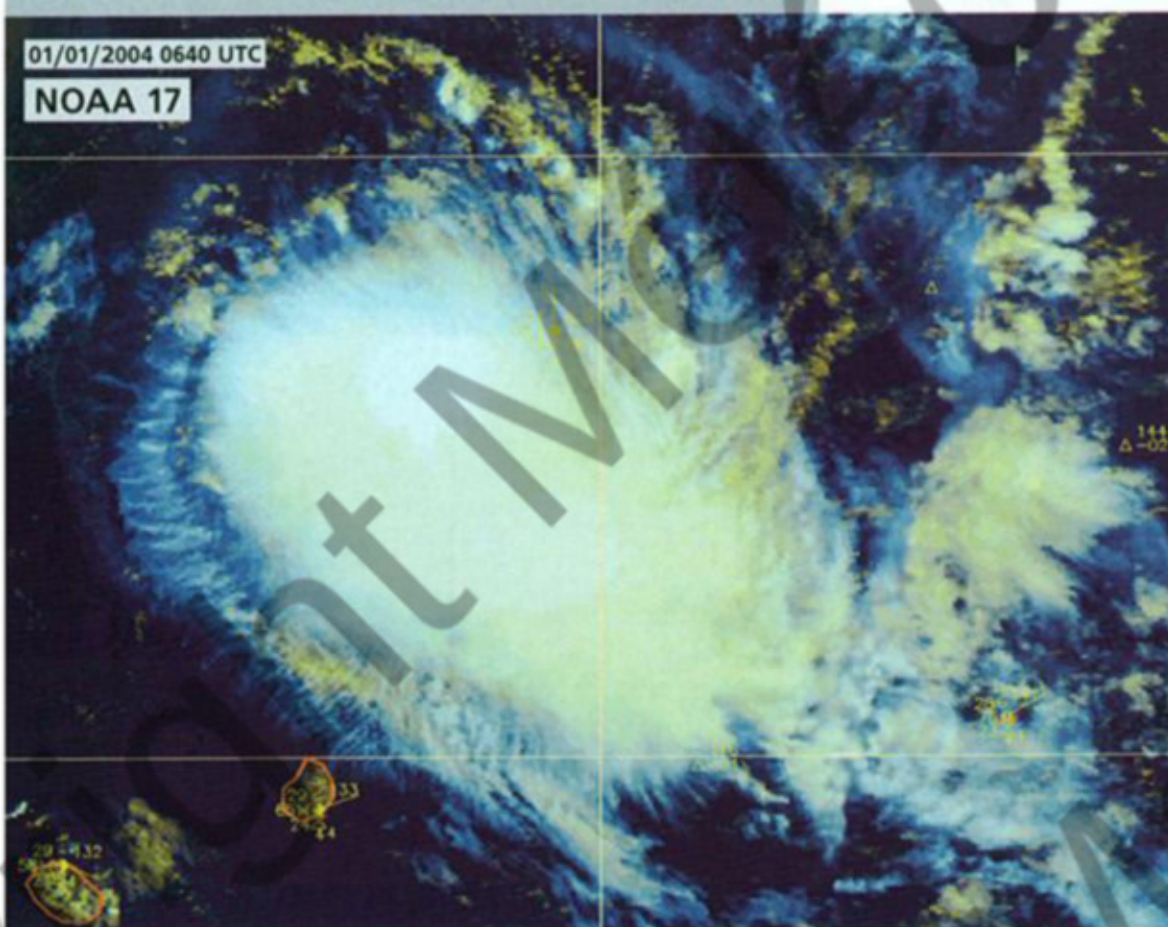
du flux directeur de la perturbation, lui imposant une composante nord croissante. Ayant suivi depuis ses débuts une trajectoire climatologique, avec un déplacement ouest-sud-ouest au nord du 10^e parallèle Sud, puis sud-ouest au sud, DARIUS a de fait infléchi sa course sur un cap plus sud-sud-ouest depuis la veille. Et une fois franchi le 15^e parallèle Sud, en fin de matinée du 31, une nouvelle inflexion de cap encore plus sud intervient. Peu après, de la convection se reforme au-dessus du centre de la perturbation et parvient à s'y maintenir plus durablement, jusqu'en début de nuit. Cela permet à la tempête de se creuser, ce qui se matérialise par l'apparition, en soirée, d'un embryon d'œil, tant sur l'imagerie infra-rouge que micro-onde. DARIUS est en conséquence classé en forte tempête tropicale, pour ce qui va s'avérer constituer son maximum d'intensité.

FORMATION

Not long after CELA's withdrawal into the extra-tropical domain, a new depression system formed. The fourth hint of cyclogenesis of the 2003 to 2004 season succeeded just like the three previous ones had, yielding another mature system which would turn into the first tropical storm of the year 2004.

Despite what one could presume considering this 100% effectiveness, the advent of this new storm did not take place with ease. Indeed, it was rather laborious for to-be DARIUS to emerge, as was already the case for CELA. Before it finally developed on 30 December, the new system had had to struggle for five days. Indeed, its beginnings could be traced back to 25 December. On Christmas Day, the convective activity that pervaded in the central part of the basin exhibited a suspicious undulation in the area of Diego-Garcia. The wind data derived

from the QuikScat orbits of the day enabled to well apprehend the prevailing surface situation in the basin and the source of the V-shape assumed by that convective area which was still relatively linear on the previous day. While at this time of end of year the monsoon flow had not yet settled south of the Equator, a single branch of cross-equatorial flow was present. Crossing the Equator west of the Chagos Archipelago, it converged with the trade winds slightly southwestward of Diego-Garcia. Wedging in into the near-equatorial zone, the wind surge perfectly hugged the wedge-shaped convection. However, the low centre linked to this convergence zone -whose presence southwest of Diego-Garcia had been confirmed by the QuikScat data and various observations available in the area- would endure much difficulty to deepen further. The time-evolution of the situation revealed a break in the cross-



DARIUS s'éloigne de St-Brandon, où les vents soufflent encore fort (passage au plus près intervenu vers 04 utc), et présente une structure nuageuse légèrement cisailée de nord. Plus au sud, l'île Maurice attend les premières bandes pluvieuses associées au météore. Le champ de vent issu de l'orbite QuikScat acquise quelques heures plus tôt, montre clairement la structure dissymétrique du système, avec une extension des vents forts nettement plus importante dans le demi-cercle est, demi-cercle dangereux où se situent les îlots de Saint-Brandon (à noter que le vent moyen maxi de 45 nœuds qui y a été mesuré, est compatible avec les données QuikScat, annonçant des vents de 45-50 nœuds en rapprochement).

Slightly sheared pattern for DARIUS as seen when edging away from St-Brandon where strong winds were still blowing (after nearest passage of the storm around 04 utc). Southward, the first outer rain bands linked to the meteor would soon encroach on Mauritius Island. The wind field derived from the QuikScat swath acquired a few hours earlier had well captured the asymmetric structure of the system with a much larger extent of the strong winds in the eastern semi-circle, the dangerous semi-circle where stood the islets of St-Brandon (notice that the maximum 10 min average winds of 45 kt recorded there was consistent with the QuikScat data that showed 45 to 50 kt winds bearing towards the islets).

equatorial flow on 27 December before it was restored on 28 Dec. This whole period saw no evolution of the low which hardly survived. A persistent cluster of convection remained attached to it though. At last, at daybreak on 29 December, the convection related to the initial disturbance showed the first signs of an incipient swirling organisation. It looked as if the resumption of monsoon supply by the north had started to generate effects even if the new wind surge was not that virulent. In fact, the ignition of the second stage of the cyclogenesis (referring to the model advocated by Zehr) was far from explosive. Despite rather favourable environmental upper conditions, another 24 hours were necessary before the threshold of tropical depression could be considered crossed. Named beforehand by the Mauritius Meteorological Service in the morning of 30 December, DARIUS actually attained the status of moderate tropical storm by the first part of the following night when its centre was situated some 300 km north-northeast of Saint-Brandon Islets.

EVOLUTION

The system kept intensifying slowly. A deep meridian upper trough was present west of the

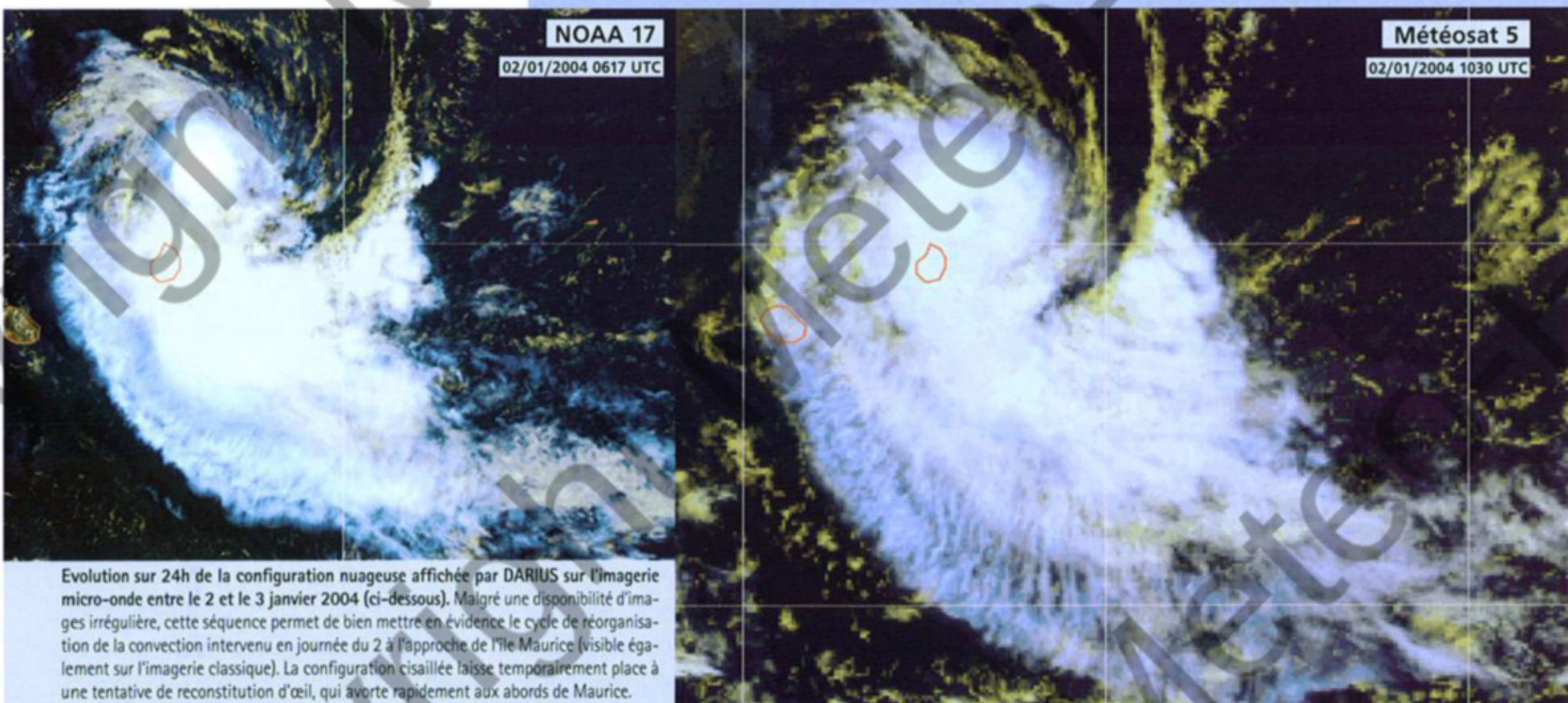
Cette phase d'intensification, probablement autorisée par une atténuation temporaire du cisaillement de vent, n'est en effet que transitoire. Car la situation n'a pas fondamentalement changé et la contrainte de nord persiste en marge du talweg d'altitude. Bien que modérée, elle est suffisante pour empêcher le météore de se développer outre mesure. Un léger supplément de ventilation se traduit d'ailleurs immédiatement par une destruction de l'embryon d'œil, qui n'aura donc pas passé le cap de la nouvelle année, et par un retour à une configuration cisailée, avec un vortex de basses couches à nouveau partiellement exposé. Ces variations rapides de structure, rendent incertain le devenir de DARIUS en terme d'intensité. Et ce paramètre devient d'autant plus critique, que la trajectoire future de la perturbation est entourée de davantage de certitudes, se présentant de manière franchement menaçante pour les Mascareignes, et tout particulièrement pour l'île Maurice, qui semble être la cible désignée de la trajectoire à venir du météore. Pour la première fois depuis bien longtemps, les habitants des îles

sœurs de Maurice et de La Réunion ont d'ailleurs dû passer le réveillon de la Saint-Sylvestre en situation d'alerte cyclonique de premier niveau. En cette matinée du 1er janvier 2004, c'est pour l'heure le petit archipel des Cargados (ou Saint-Brandon) qui est le premier à subir l'influence du souffle de DARIUS, dont le centre transite à quelque 85 km à l'ouest. La pression minimale relativement élevée mesurée à la station synoptique (1 002,1 hPa corrigée de la marée barométrique) confirme la relative petitesse de taille du système dépressionnaire. Située dans le demi-cercle dangereux, la petite île n'échappe cependant pas à des vents violents, atteignant force 9 Beaufort (45 nœuds de vent moyen maxi sur 10 min enregistré, pour une rafale maximale de 65 nœuds, soit 121 km/h). L'île Maurice est désormais en ligne de mire de la trajectoire quasi rectiligne de DARIUS. Demeurant établie sur un cap sud à sud-sud-ouest, elle rapproche lentement (environ 10 km/h de vitesse moyenne de déplacement) mais sûrement le météore, dont l'intensité est considé-

rée comme peu ou prou stabilisée. Toutefois, en matinée du 2, un nouveau cycle de développement de la convection débute au-dessus du minimum dépressionnaire. Suivant un processus analogue à celui observé deux jours plus tôt, il débouche quelque 6 heures plus tard sur la formation d'un œil embryonnaire...

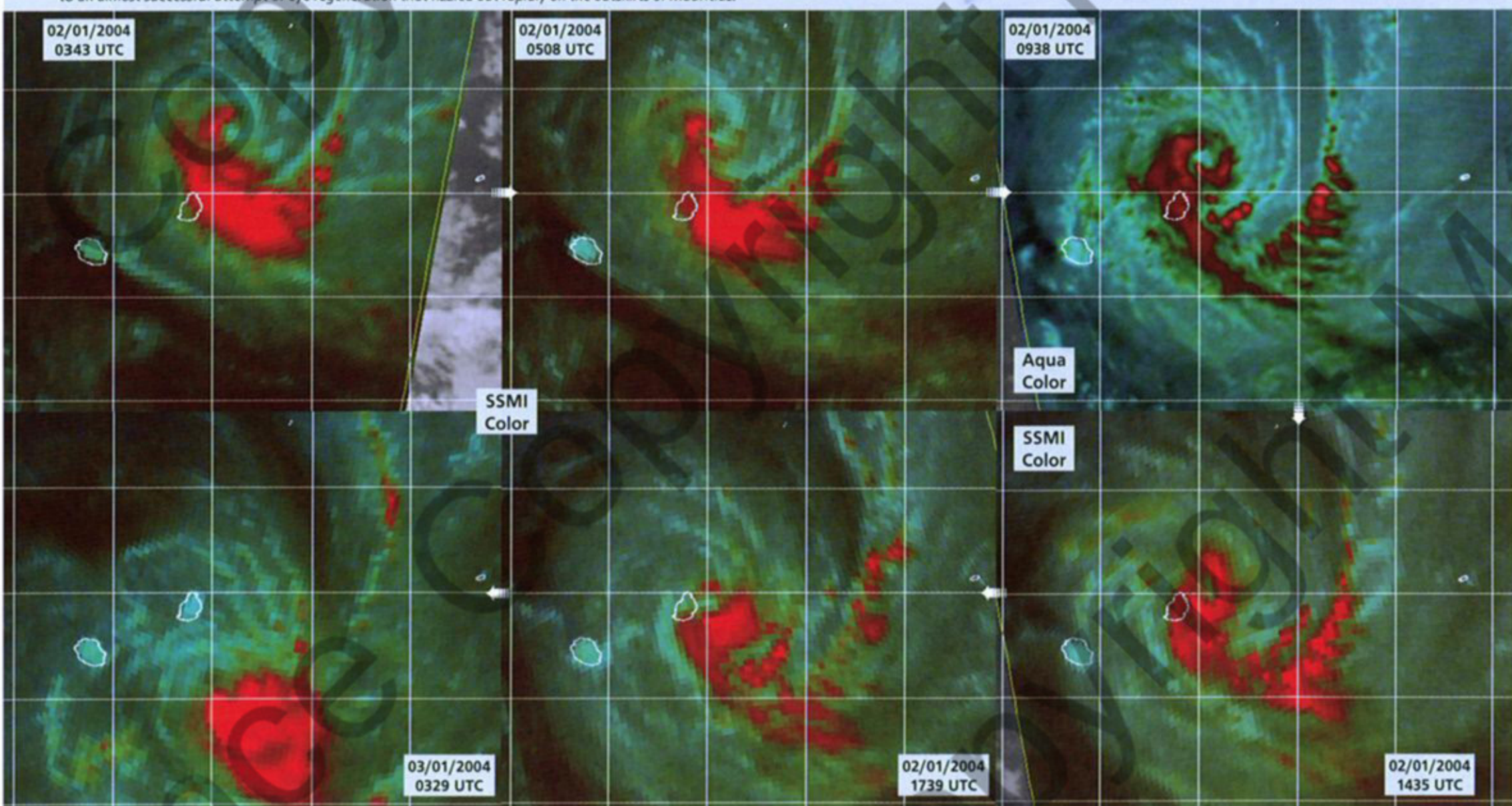
disturbance. Dipping down in the tropics as far as north of latitude 10°South with its axis longitudinally aligned with La Reunion Island by morning of 31 Dec, i.e. just five degrees west of DARIUS, its proximity hindered plain development of the meteor (see next page). While the northerly current flowing on the eastern side of the trough was rather favourable

in terms of upper divergence, since enhancing the poleward outflow, the drawback was a sustained moderate ventilation at the level of DARIUS. The northerly shear constraint indeed materialised clearly by morning of 31 Dec, as unveiling the low-level clouds vortex related to the storm exposed mainly outside the convection. Having crossed longitude 60°East a few hours



Evolution sur 24h de la configuration nuageuse affichée par DARIUS sur l'imagerie micro-onde entre le 2 et le 3 janvier 2004 (ci-dessous). Malgré une disponibilité d'images irrégulière, cette séquence permet de bien mettre en évidence le cycle de réorganisation de la convection intervenu en journée du 2 à l'approche de l'île Maurice (visible également sur l'imagerie classique). La configuration cisaillée laisse temporairement place à une tentative de reconstitution d'œil, qui avorte rapidement aux abords de Maurice.

24h evolution of the cloud pattern exhibited on the microwave imagery by DARIUS between 2nd and 3rd January 2004 (below). Despite an irregular set of images this sequence clearly shows the cycle of reorganisation of the convection that occurred on the 2nd when the storm was still heading for Mauritius (also visible on classical imagery). The pre-existing sheared pattern temporarily gave room to an almost successful attempt of eye regeneration that fizzled out rapidly on the outskirts of Mauritius.

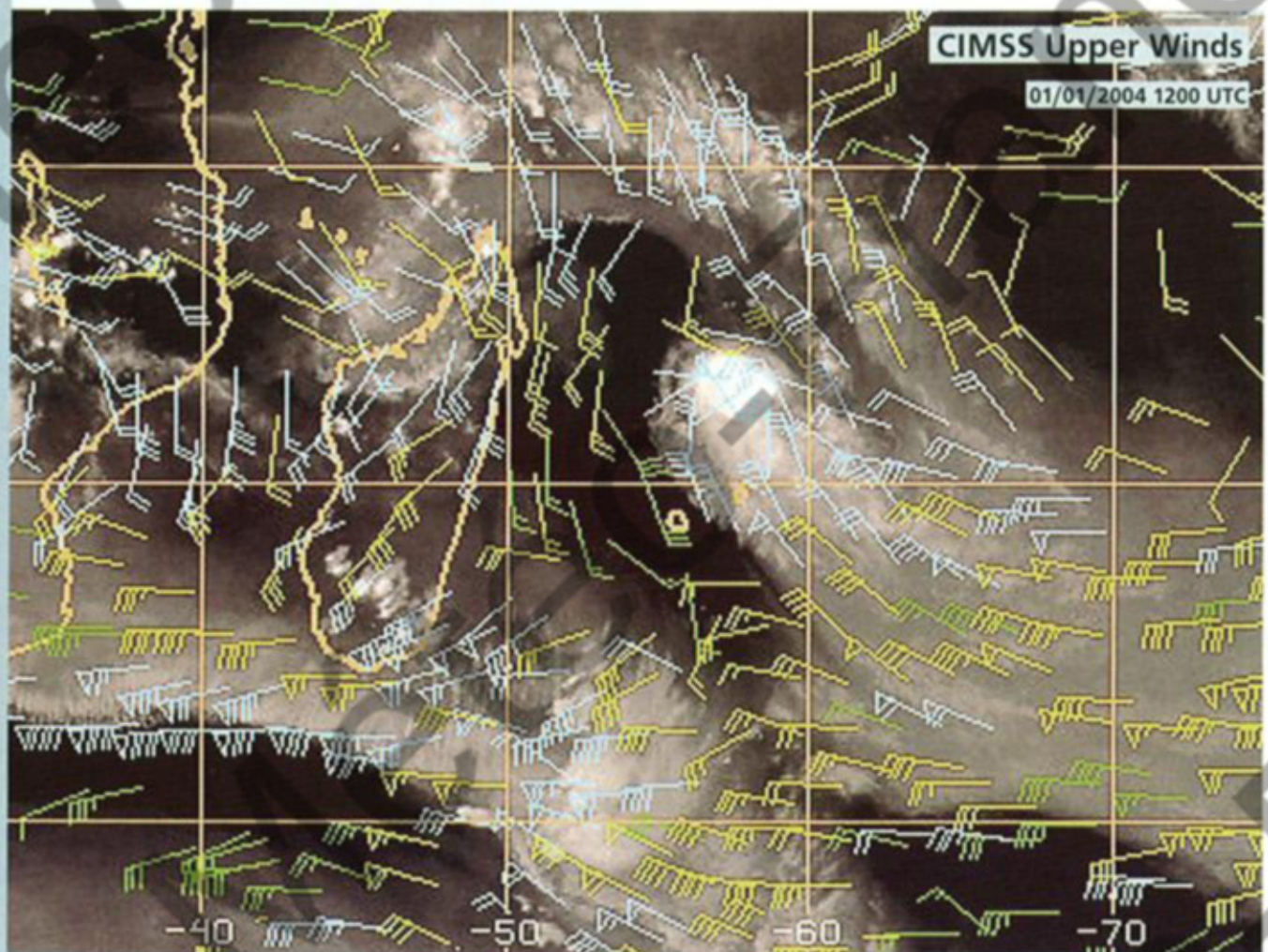


earlier, DARIUS's centre was also getting closer to latitude 15°South. The upper trough's influence could also be felt in terms of steering flow, imposing an increasing northerly component. Having from the beginning followed a climatological path with a west-southwestward track north of latitude 10°South, then southwestward, DARIUS had in fact shifted heading more south-southwestward since the previous day. And once it had crossed latitude 15°South in late morning of 31 Dec, its motion adjusted even more southward. A little while later, some convection rebuilt above the centre of the disturbance and managed to maintain more durably until the beginning of the night. That gave a chance to the storm to deepen, which materialised into the appearance of an embryonic eye by the evening on both infrared and microwave imageries. Hence DARIUS was upgraded as a severe tropical storm, which turned out to be its peak of intensity.

This intensification phase, probably accruing from a temporarily milder windshear, was transient. Indeed, the situation had not changed that much and the northerly shear constraint persisted on the fringe of the upper trough. Though moderate, it was sufficient to prevent the meteor from developing excessively. Additional ventilation thereupon resulted in the immediate destruction of the embryonic eye (which did not manage to get into the new year), and in the return to a sheared configuration with a low-level vortex again partially exposed.

Those structural quick variations made DARIUS's future more and more uncertain in terms of intensity. And this parameter became all the more critical as inversely more certitudes arose regarding the future whereabouts of the storm which looked very threatening to the Mascarene Islands and especially to Mauritius which might have become the next target of the meteor. For the first time since ages, the inhabitants of the sister-islands of La Reunion and Mauritius had to spend New Year's Eve in a situation of first level cyclone alert.

In the morning of 1st January 2004, the Cargados Islets (or St Brandon) were the first to feel DARIUS' blow with the storm centre transiting some 85 km to the west of the small archipelago. The relatively high minimal pressure recorded at the synoptic station (1002.1 hPa corrected from barometric tide) confirmed the rather small size of the system. Situated in the dangerous semi-circle, the small island was not spared the violent winds though which reached force 9 on the Beaufort scale (45



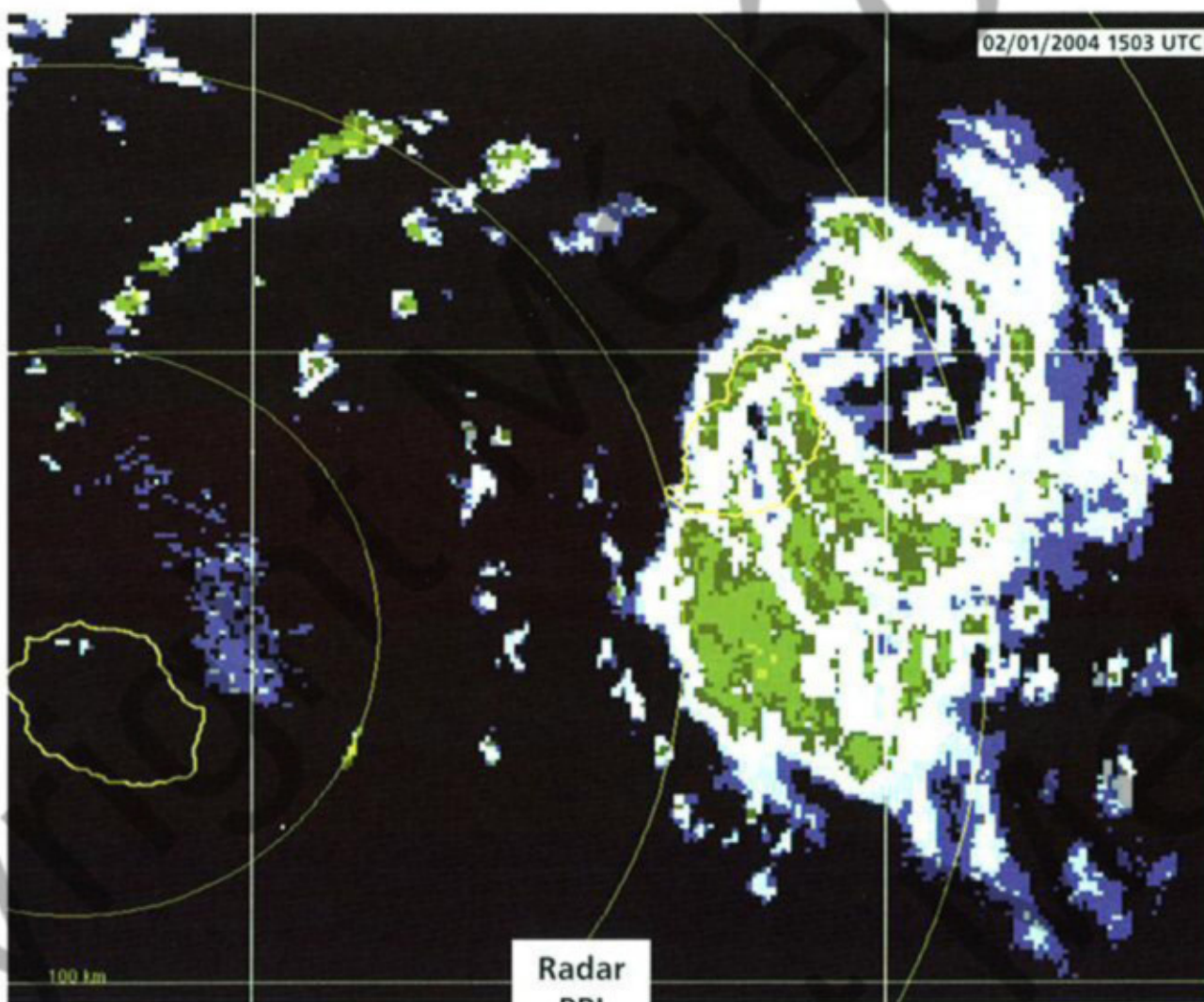
La présence d'un profond talweg d'altitude à proximité ouest immédiate de DARIUS aura limité son potentiel d'intensification tout au long de sa phase mature. Outre l'entretien d'une ventilation modérée sur le système, cette présence s'accompagne, en ce 1^{er} janvier, d'injection d'air sec par l'ouest de la circulation dépressionnaire.
The presence of a deep upper trough in the close western vicinity of DARIUS ceiled its intensification potential throughout its mature lifetime. Besides supporting a moderate but durable ventilation over the system, this presence contributed to dry air injection via the western side of the low circulation, on 1st January (data courtesy Cimss).

tout aussi éphémère que le précédent. Ce nouvel avatar ne permet toutefois pas de créditer DARIUS d'un supplément d'intensité courante, mais a juste pour effet d'enrayer pour un temps toute velléité d'affaiblissement.

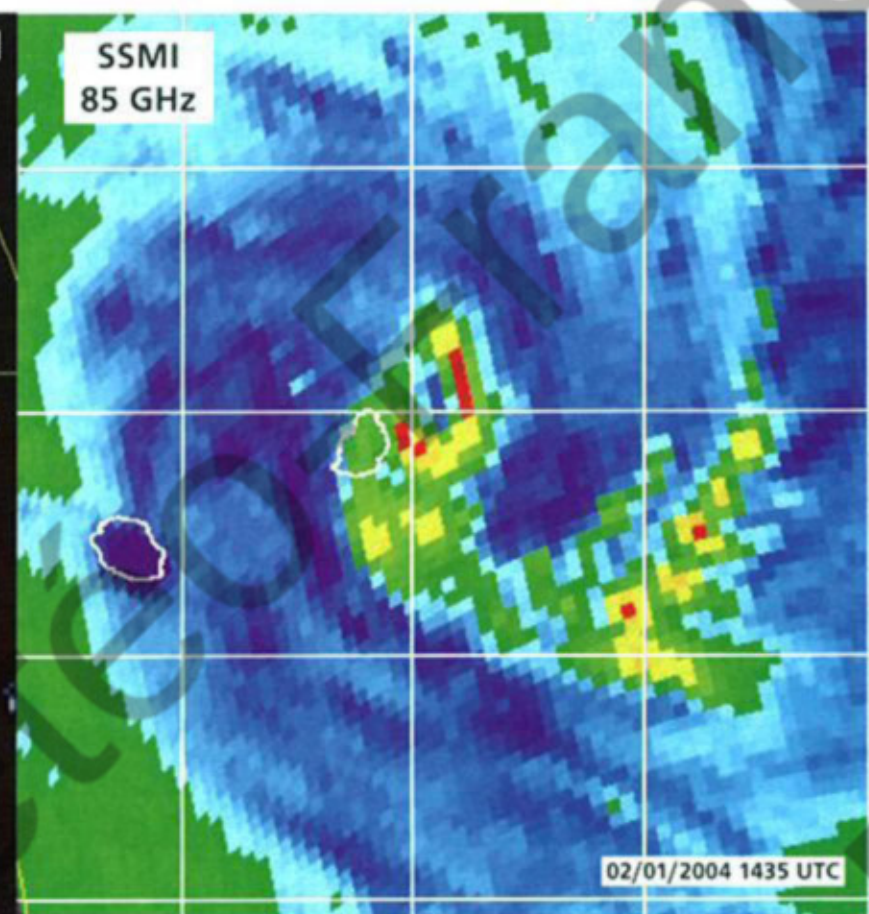
C'est donc classé en forte tempête tropicale de base, que le météore entame son approche finale de Maurice, un passage à proximité est de l'île se confirmant au fil des heures. Le regain de vigueur observé en journée s'étant heureusement révélé sans suite, c'est avec une certaine sérénité que l'on peut suivre l'arrivée d'un phénomène d'intensité finalement raisonnable.

L'œil, évanescant sur l'imagerie micro-onde au fur et à mesure du transit à proximité de Maurice, demeure cependant encore relativement bien constitué sur l'imagerie du radar de La Réunion. C'est ainsi qu'on peut le voir effleurer la côte est mauricienne, puis empiéter temporairement sur la frange littorale, l'accalmie résultante en terme de vents étant clairement ressentie par les habitants, de la ville de Mahébourg en particulier (voir page opposée). Le centre de l'œil proprement dit, passe pour sa part au plus près de la côte vers 22h locales, à une quinzaine de km au large.

Située dans le demi-cercle favorable de la tempête, Maurice subit une influence modérée (aucun dégât sérieux) et même plutôt bénéfique à l'arrivée, les pluies généreusement apportées par le météore mettant un terme à la sécheresse qui sévissait alors. Globalement comprises entre 100 et 250 mm sur l'épisode, les précipitations ont été de 202 mm à Vacoas, 271 mm à Pierrefonds, 234 mm à Bel Étang, pour les valeurs les plus conséquentes. Les vents ont localement excédé les 100 km/h en pointe : 108 km/h relevé sur la côte sud à Souillac, 112 km/h à Fuel. La station aéroportuaire de Plaisance, où la pression minimale observée a été de 993.5 hPa, a été touchée par le rayon des vents maximaux dans le secteur ouest de l'œil, mais n'a enregistré que 37 nœuds en vent moyen maxi sur 10 min (pour une rafale maximale de 58 nœuds, soit 107 km/h). Car, comme en attestent les données des différentes orbites QuikScat acquises sur la période, le secteur ouest à nord-ouest de la perturbation était clairement associé aux vents les moins forts, avec un différentiel significatif par rapport à ceux présents dans le quadrant sud-est, qui devaient être sensiblement supérieurs.



Radar
PPI
400 km

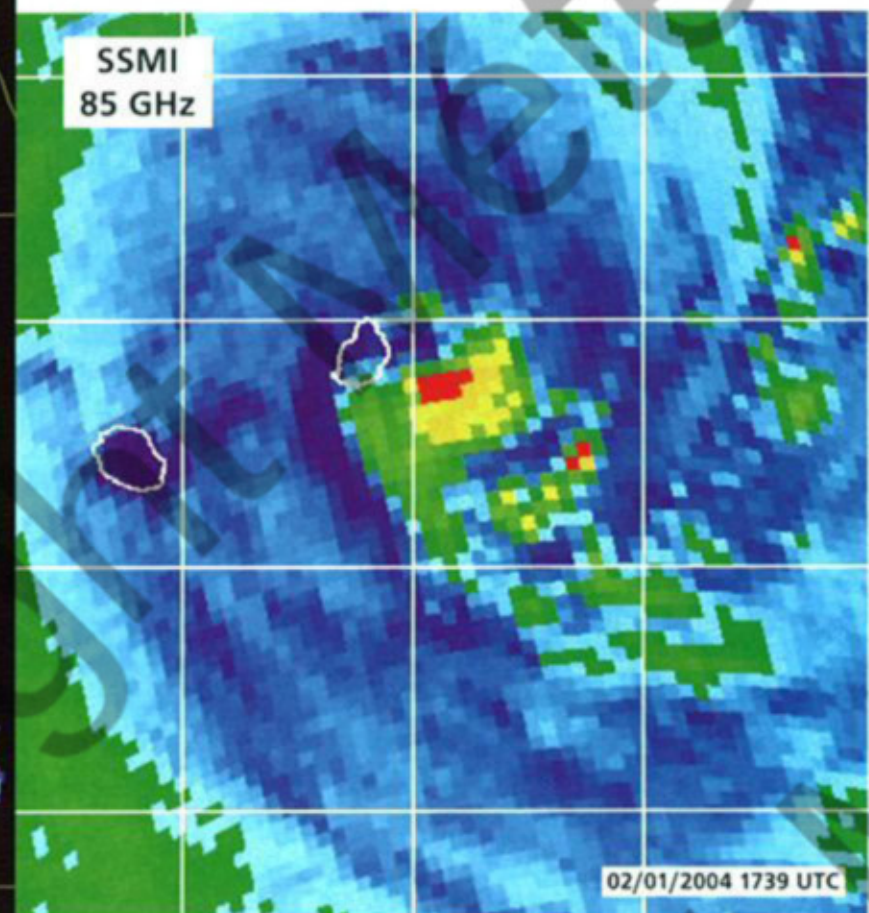
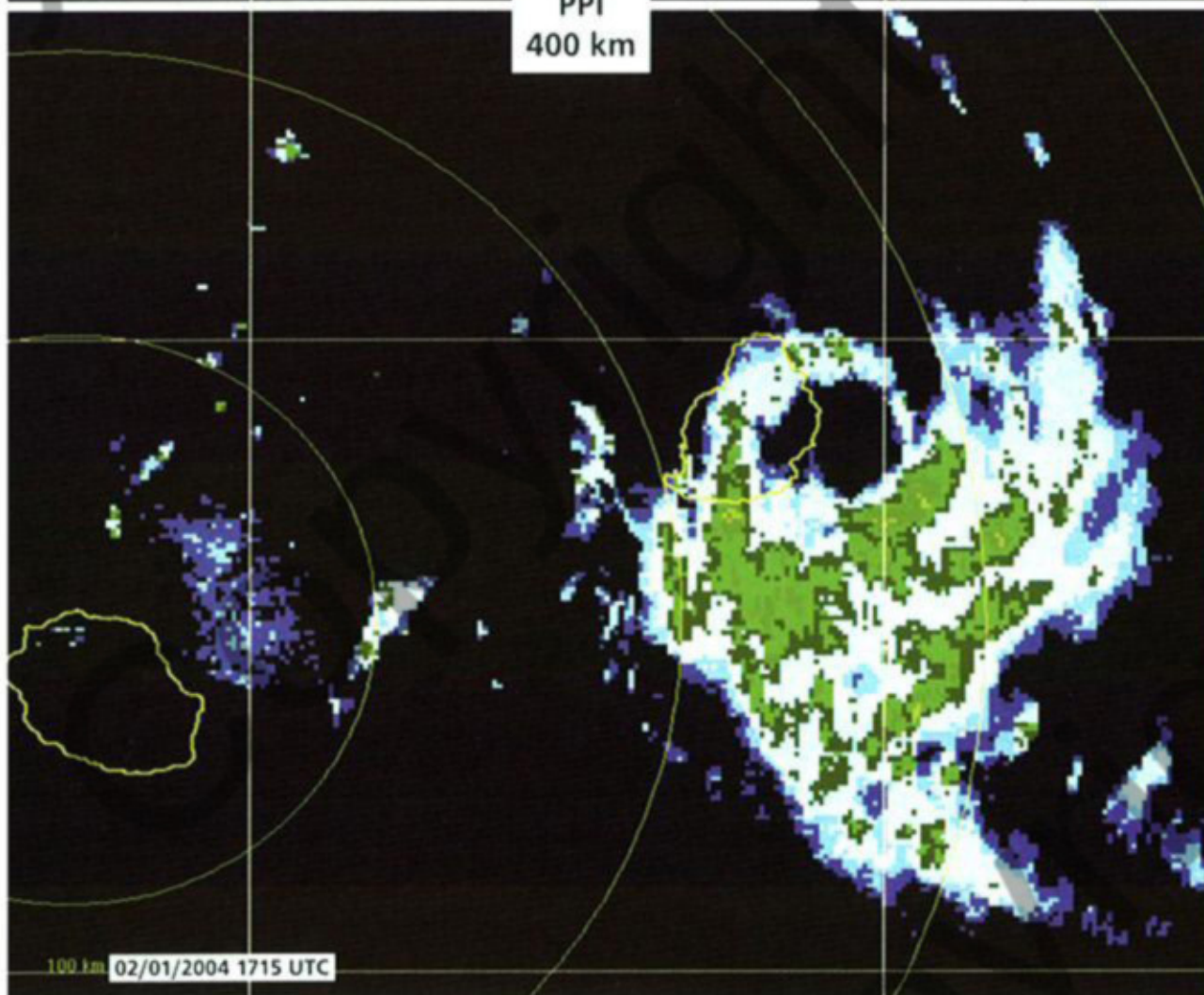


SSMI
85 GHz

02/01/2004 1435 UTC

L'œil de DARIUS «égratigne» la côte est de l'île Maurice. Sur l'imagerie du radar de Météo-France à La Réunion, il apparaît encore relativement bien constitué à l'approche de Maurice (avec un diamètre supérieur à 50 km), mais tend à se déstructurer au contact de l'île (et à se contracter également).

The eye of DARIUS when it «scratched» the eastern shoreline of Mauritius. As seen by the Météo-France Radar located at La Reunion, it looked still rather well shaped while offshore of Mauritius (with an eye diameter exceeding 50 km), but tended to Spoil—and also shrink—when impinging on the island.



Son transit à proximité de Maurice achevé, DARIUS change de cap, avec une course qui s'infléchit sud-sud-est. Cette inflexion de trajectoire induit un passage du centre de DARIUS à un peu plus de 210 km au plus près de La Réunion. La petite taille du météore et son extension minimale dans le secteur ouest, font que le département demeure pour ainsi dire exempt de toute influence significative du phénomène. Dans le même temps, la tempête a com-

knots maximum 10-min average winds for a peak gust of 65 Kt, i.e. 121 km/h). Mauritius was now the aim of DARIUS's nearly rectilinear trajectory. Established on a slightly west than due south heading, it slowly drew the meteor nearer (at about 10 km/h average speed of movement) with a more or less stabilised intensity. However, in the morning of 2nd Jan, a new cycle of developing convection set on above the low centre (see page 35). Following a similar process to that observed two days earlier, it resulted in

the formation of an embryonic eye six hours later which was as short-lived as the previous one. This new bout of revival did not warrant DARIUS to earn any additional gain in current intensity though and only postponed any prospect of weakening for a while. So it was as a basic severe tropical storm that the meteor began its final approach to Mauritius, a nearest passage to the east of the island becoming more and more likely as time went on. Fortunately, the attempt of re-intensification observed earlier on did not endure and so one could expect serenely the arrival of a

Darius

phenomenon of ultimately reasonable intensity. The eye, while vanishing on the microwave imagery as it was hugging along Mauritius, remained still rather well-depicted on the radar imagery of La Reunion (see previous page). That's how it could be seen brushing the east coast of Mauritius and then encroaching for a while upon the shore resulting in a lull strongly felt by the inhabitants, namely those of Mahébourg region. Nearest passage to the coast of the eye centre for itself happened at around 22:00 local time, some 15 km offshore.

Situated in the navigable semi-circle of the storm, Mauritius underwent moderate influence (no serious damage), even beneficial as the meteor brought with it abundant rainfall that put an end to the persistent drought. Rainfall was in an overall range of 100 to 250 mm during the episode, with 202 mm in Vacoas, 271 mm in Pierrefonds, 234 mm at Bel Etang for the highest values. Peak gusts locally exceeded 100 km/h with 108 km/h on the south coast at Souillac and 112 km/h at Fuel. Plaisance airport, where the lowest sea level pressure observed was 993.5 hPa, was touched by the radius of maximum winds in the west part of the eye but only registered 37 knots in 10-min average winds (for a peak gust of 58 kt, i.e. 107 km/h). As corroborated by several QuikScat swaths acquired during that period, the west to northwest sector of the storm was clearly linked to the weakest winds with a significant

difference compared to those blowing in the southeast quadrant which might have been noticeably stronger.

Once DARIUS had finished transiting near Mauritius, it veered south-southeastwards, which induced DARIUS's centre to pass slightly farther than 210 km off La Reunion. The small size of the meteor together with its minimal expansion in the western sector resulted in the French island being virtually exempt from any significant influence of the phenomenon. In the mean time, the storm started accelerating towards a frontal trough approaching via the southwest and underwent increasing vertical windshear as it moved further into the south latitudes. While simultaneously reaching cooler waters, DARIUS went into an extratropical transition phase in the course of the night on 3 Jan. Declared extratropical in the morning of next day, the depression now in the filling phase was speedily ejected (at 35 kt) towards the mid-latitudes and crossed latitude 30°South in the early afternoon of 4 Jan.

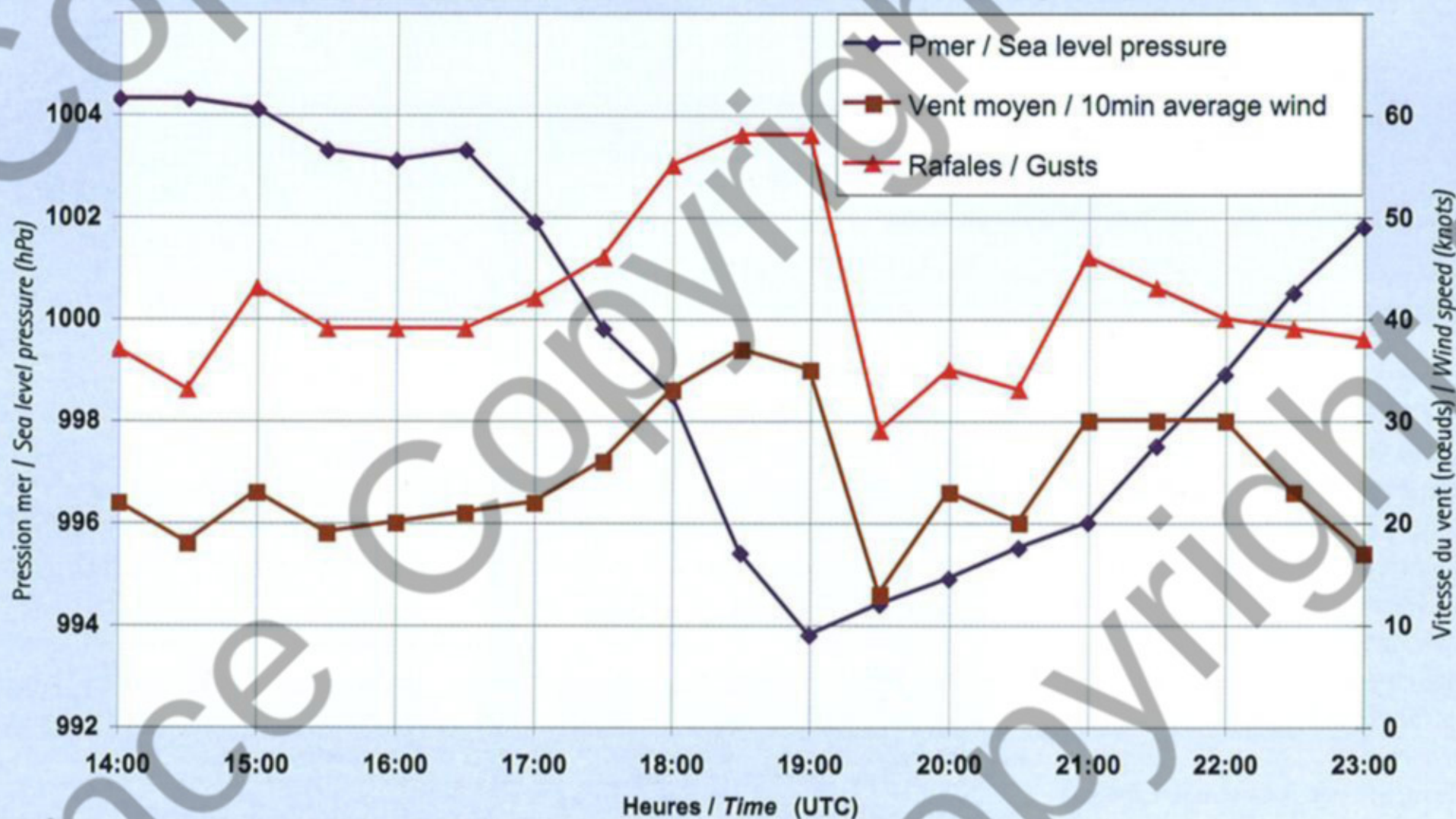
The only system to have had any direct impact on the Mascarene Archipelago, DARIUS was of limited intensity since it never managed to gather the favourable conditions to develop any further. Actually, it was a good example of a "nice disturbance" that gave Mauritius providential rainfall after a long-lasting drought.

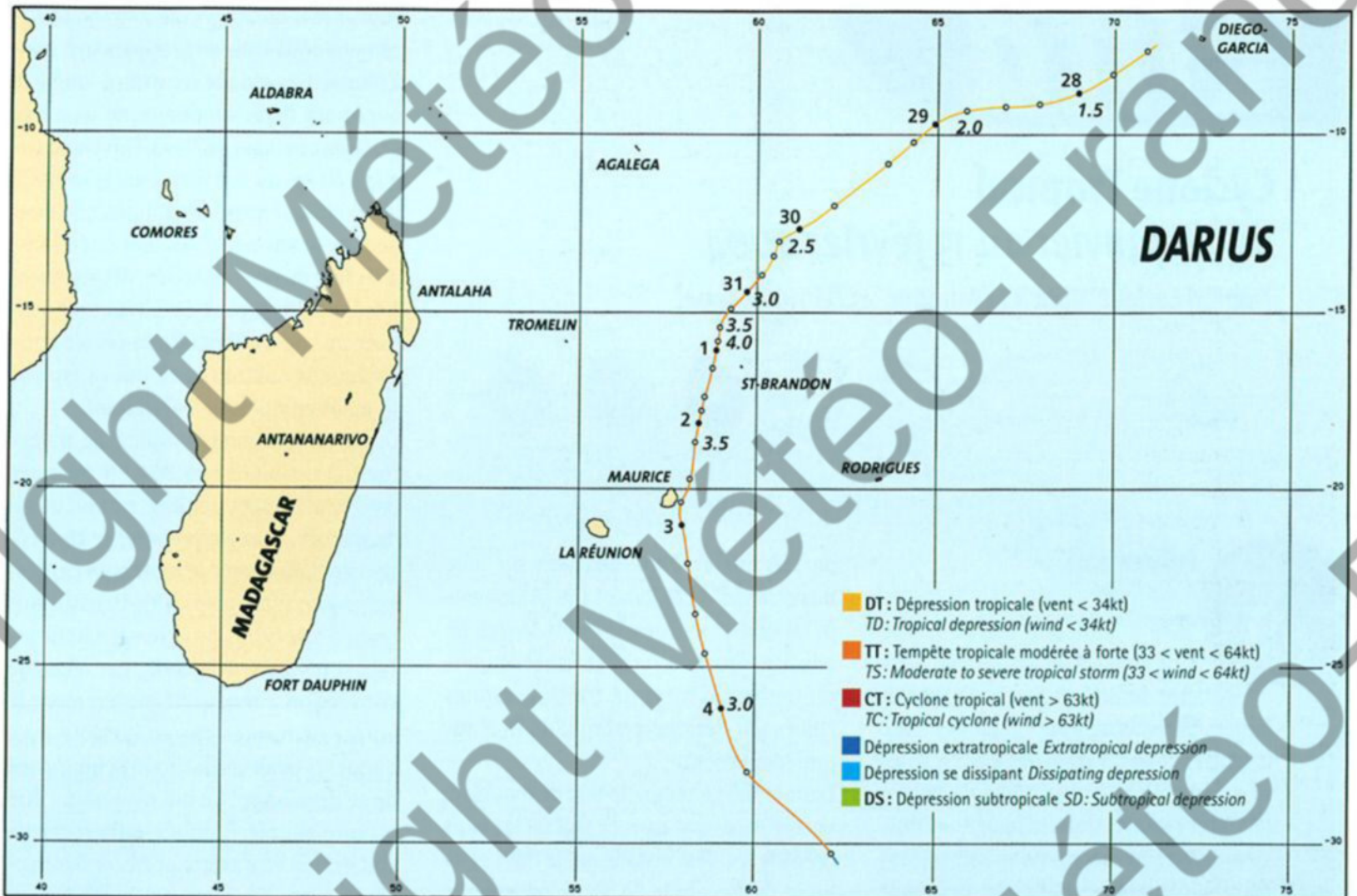
mencé d'accélérer en direction d'un talweg frontal qui se rapproche par le sud-ouest et subit, à mesure de son enfoncement vers les latitudes sud, un cisaillement vertical de vent croissant. Avec parallèlement l'arrivée sur des eaux plus froides, DARIUS entre en phase de transition extratropicale dans la nuit du 3 au 4 janvier. Déclarée extratropicale le lendemain matin, la dépression, désormais en phase de comblement, est expulsée à grande vitesse (35 nœuds) vers les moyennes latitudes, franchissant le 30e parallèle Sud dès le début d'après-midi du 4.

Seul système de la saison à avoir influencé directement l'archipel des Mascareignes, DARIUS a été limité en intensité, faute d'avoir jamais pu trouver des conditions de développement idéales. Il a du coup constitué un bel exemple de «bonne perturbation», venue procurer à l'île Maurice un arrosage providentiel, après une sécheresse prolongée.

Vents et pression enregistrés à l'aéroport de Plaisance (Maurice) au passage de DARIUS. La station, située dans le sud-est de l'île, a été traversée par le rayon des vents maximaux, comme l'indique le creux de vent observé après le passage au plus près. Le minimum de pression correspondant de 993.5 hPa a été mesuré à environ 22 km du centre de l'œil résiduel.

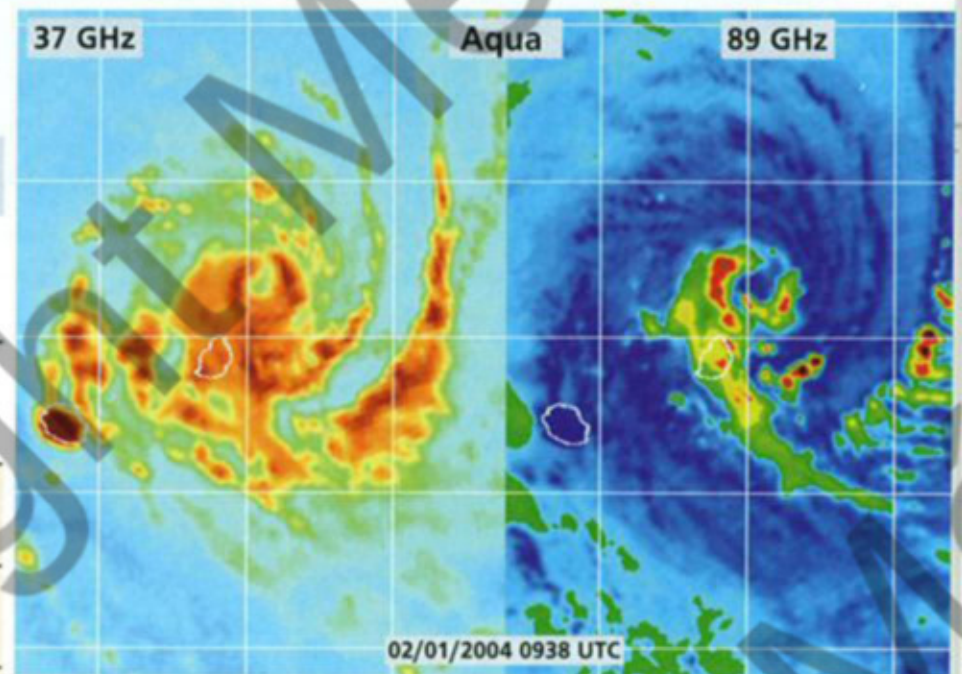
Wind and pressure records at Plaisance Airport (Mauritius) during DARIUS. The station, located on the southeastern side of the island, was crossed by the radius of maximum winds as indicated by the light winds spell experienced after the nearest passage of the storm. The corresponding lowest pressure of 993.5 hPa observed was registered at a distance of about 22 km from the centre of the residual eye (Data courtesy Mauritius Meteorological Services).



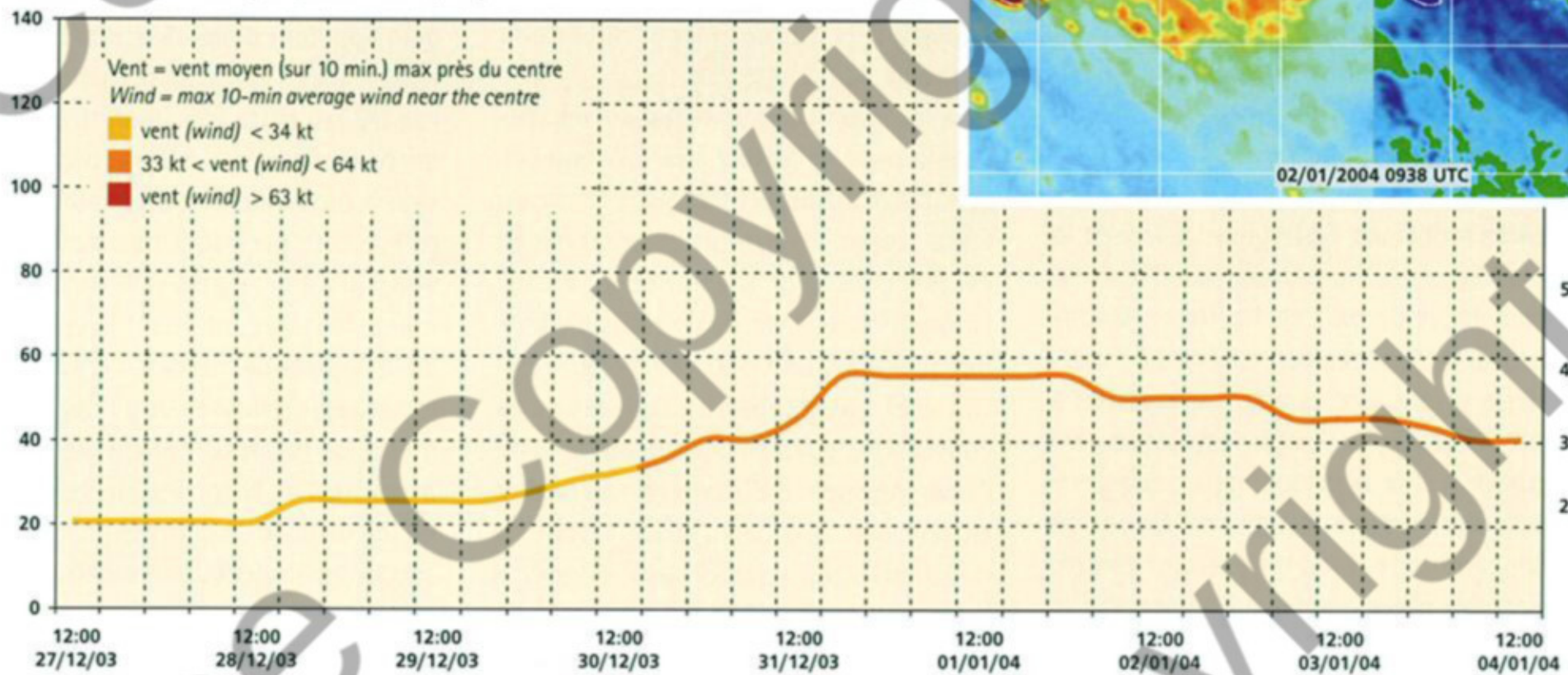


Météo France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

DARIUS en phase finale d'approche de l'île Maurice, vient de développer un embryon d'œil déchiqueté.
DARIUS on final approach of Mauritius Island had just developed an embryonic ragged eye.



DARIUS DU 27/12/03 AU 04/01/04



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)

Elita

Cyclone Tropical du 24 janvier au 13 février 2004

Tropical Cyclone "Elita" (24 January - 13 February 2004)

FORMATION

Suite à l'épisode DARIUS, une période d'accalmie durable s'est installée sur le Sud-Ouest de l'océan Indien. Elle va s'achever fin janvier avec la genèse coup sur coup de deux cyclones tropicaux sur la moitié ouest du bassin (ELITA et FRANK). Dans la foulée, un troisième système dépressionnaire se formera sur l'extrême du bassin, devenant ensuite la tempête tropicale LINDA en zone de responsabilité australienne de Perth (Sud-Est de l'océan Indien). Ces trois cyclogenèses survenues à intervalle très rapproché, sont à mettre en relation avec le développement, en début de troisième décade du mois de janvier, d'une oscillation de Madden-Julian (MJO) assez marquée, qui se révélera in fine la plus puissante à avoir concerné le Sud-Ouest de l'océan Indien au cours de cette saison cyclonique 2003-2004 (voir page 84).

Commençant à se propager depuis les côtes africaines, cette phase active de la MJO se traduit par un regain d'activité convective de part et d'autre de Madagascar, nettement perceptible sur l'imagerie satellitaire et allant crescendo à partir du 20 janvier. La vaste zone perturbée qui se développe ainsi, concerne prioritairement le nord du Canal de Mozambique dans un premier temps. L'activité pluvio-orageuse associée affecte temporairement l'archipel des Comores, avec localement de fortes pluies. C'est notamment le cas à Mayotte, où des lames d'eau comprises entre 100 et plus

de 150 mm en 24h s'abattent sur "l'île hippocampe" le 23 janvier. Ces pluies temporairement diluviennes sont source de glissements de terrain et causent indirectement la mort de trois personnes (tuées par l'effondrement d'un mur sur une habitation).

Dans le même temps, le flux de mousson, encore inexistant dans ce secteur les jours précédents, s'est installé par le nord et va en se renforçant le 24. Cette poussée de flux trans-équatorial continue de pénétrer de plus en plus profondément vers le sud, ce qui entraîne le décalage dans la même direction de la zone perturbée, qui se retrouve ainsi au sud des Comores à compter de la nuit suivante. En altitude, un courant de sud-est assez rapide balaye alors toute la zone nord du Canal, générant un cisaillement vertical de vent important et normalement réhibitoire en terme de cyclogenèse.

Cela n'empêche pas un minimum dépressionnaire de se former à la convergence avec l'alizé (faible) présent sur le centre du Canal. Il apparaît de mieux en mieux mis en évidence au fil de la journée du 25 sur l'imagerie satellitaire, par le biais du vortex nuageux de basse troposphère qui l'entoure et qui, exposé au sud-est de la convection (logiquement compte tenu de l'environnement d'altitude), tend à gagner en définition. Se décalant depuis la veille en direction du sud-ouest, il passe à une cinquantaine de km à l'est de l'île de Juan de Nova dans l'après-midi. L'observation de la station automatique de Météo-France basée sur l'île, permet de valider une valeur de ce minimum de pression à 999 hPa.

Poursuivant durant encore 24h son déplacement désormais orienté plus sud, mais à vitesse très réduite (environ 5 km/h), le minimum dépressionnaire ne va guère s'éloigner de Juan de Nova. Parvenu quelque 120 km au sud dans l'après-midi du 26, il oblique vers l'est durant quelques heures, avant de rebrousser chemin en direction du nord en soirée, déplacement très inhabituel (peut-être induit par l'arrivée au sud du Canal d'une cellule anti-cyclonique subtropicale), qui va ensuite se maintenir plus de 24h durant.

Outre ce changement radical de trajectoire, cette journée du 26 a été marquée par l'éclosion spectaculaire, en tout début de journée, d'un amas d'intense convection en liaison avec le minimum dépressionnaire (voir page 42). Grossissant jusqu'à atteindre une extension horizontale supérieure à 250 km, cet amas de convection a recouvert entièrement le vortex de nuages bas en bordure nord duquel il avait initialement commencé de se développer. Ce qui n'aurait pu être qu'une simple flambée éphémère de convection va s'avérer persister durablement, amenant à creuser la dépression jusqu'au stade minimal de la tempête tropicale modérée en fin de journée, et à baptiser en conséquence le système du nom d'ELITA.

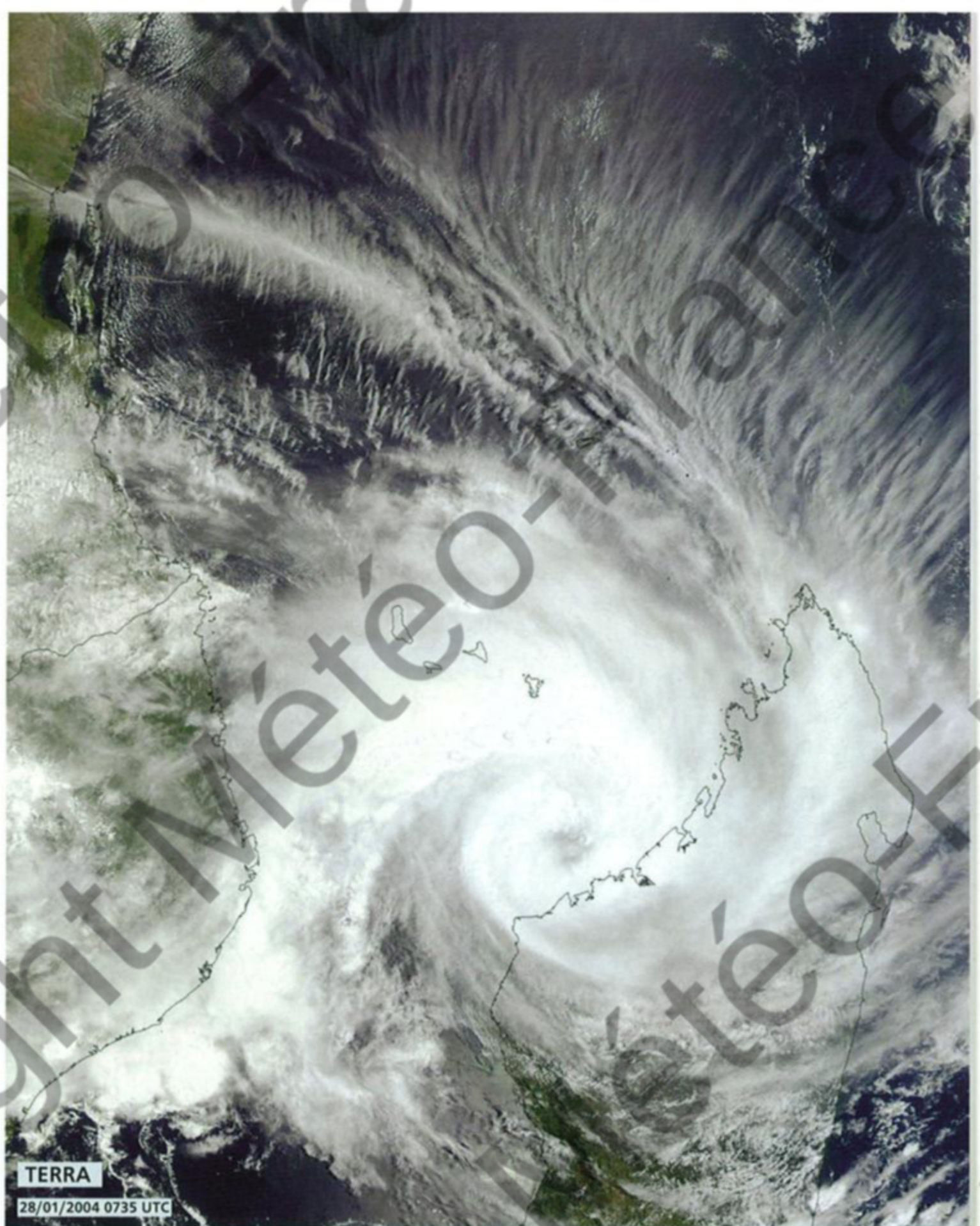
ÉVOLUTION

L'amas nuageux de convection profonde perdure le lendemain 27 janvier, mais sans gain apparent d'organisation. Après être repassé dans l'est de Juan de Nova, à environ 90 km cette fois (malgré cette distance supérieure à celle du premier passage à proximité, la station automatique relève une pression mer minimale de 998,5 hPa, inférieure à celle mesurée deux jours plus tôt, confirmant le creusement de la dépression intervenu entre-temps), le vortex de basses couches apparaît même de nouveau franchement exposé au sud-est de la convection, sur l'imagerie micro-onde de la fin de journée. Cette tendance au découplage entre le minimum dépressionnaire et la convection aurait pu faire accroire à une stagnation de l'intensité du phénomène, voire laisser envisager un affaiblissement à venir. Par chance, une bouée dérivante "égérée" au

large du Cap St-André, et se retrouvant très opportunément quasiment sur la trajectoire du minimum dépressionnaire d'ELITA, va permettre d'éviter de tomber à pieds joints dans le piège de cette illusion d'affaiblissement. Son observation de pression (991,2 hPa le 27 janvier à 23 utc), s'avère en effet décisive pour mieux appréhender l'intensité courante réelle du météore et maintenir ELITA au stade de tempête tropicale modérée. Elle indique, qui plus est, que non seulement le minimum dépressionnaire associé n'a pas eu tendance à se combler au cours des 12h précédentes, mais qu'il a même très vraisemblablement continué de se creuser légèrement, contrairement à ce que l'on pouvait estimer au vu de l'évolution affichée par la configuration nuageuse sur l'imagerie satellitaire. Et ce qui va se passer ensuite en cours de journée du 28, va démontrer à quel point cette impression visuelle était trompeuse...

Loin de s'affaiblir, ELITA va, en effet, se renforcer au contraire de manière brutale. Ce renversement de tendance spectaculaire, rendu encore plus surprenant de par son ampleur, survient en fin de nuit et début de journée du 28. En l'espace de simplement 6h de temps, une bande incurvée se développe promptement, avant de se refermer encore plus prestement sur elle-même, pour venir constituer un œil déchiqueté sur l'imagerie visible. Cette organisation nuageuse fulgurante, répond à une subtile évolution de l'environnement. Les analyses de vents satellite (dérivés des déplacements nuageux sur l'imagerie géostationnaire Météosat 5) indiquent que, sans qu'il y ait eu de modification fondamentale de la circulation d'altitude, une baisse localisée du cisaillement vertical de vent s'est produite au niveau du météore. Au vu des données disponibles, on est autorisé à se demander si cette baisse du cisaillement n'a pas été causée par le flux sortant d'altitude auto-généré par la perturbation, dont la puissance serait parvenue à contrer le courant dominant de sud-est, plutôt qu'à un réarrangement de ce dernier.

Toujours est-il que cette intensification explosive (au-delà des limites autorisées par Dvorak) s'avère des plus malvenues.



TERRA
28/01/2004 0735 UTC

ELITA en phase finale d'approche de la côte nord-ouest malgache, vient de développer un œil déchiqueté. Le flux sortant d'altitude est spectaculairement matérialisé du côté équatorial par une superbe "chevelure" de cirrus.

ELITA on final approach of the northwestern Malagasy coast had just developed a ragged eye. The equatorward upper outflow was spectacularly brought to light by a magnificent "hair" of cirrus.

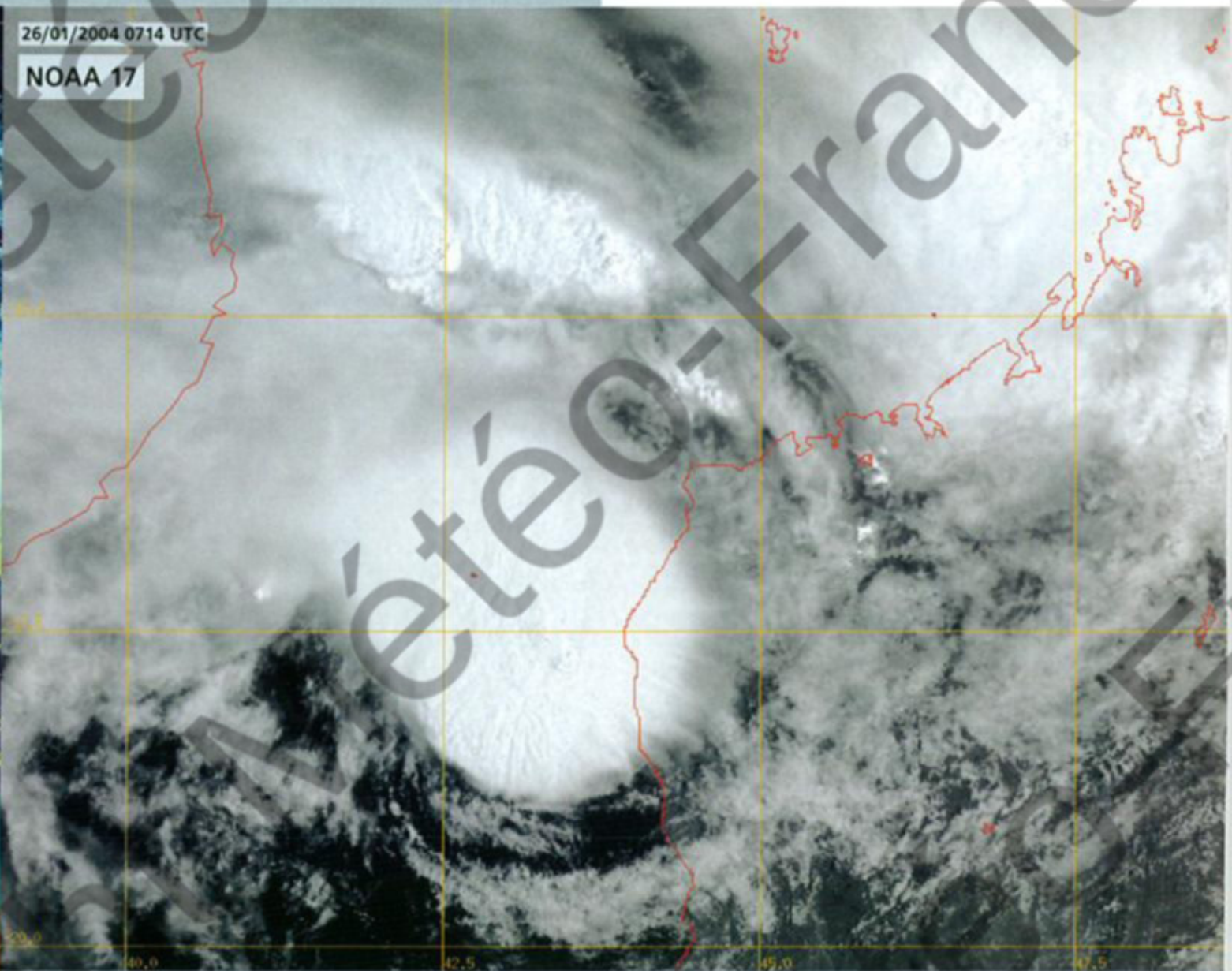
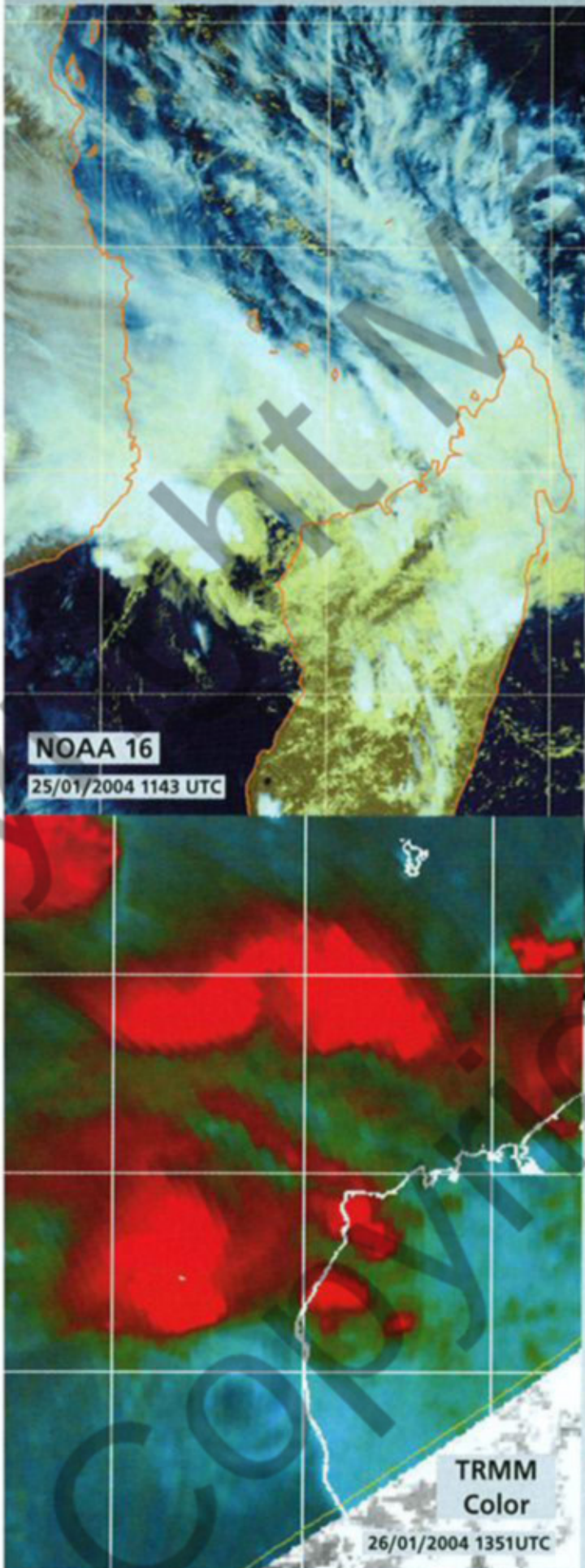
FORMATION

Following DARIUS's episode, a quiescent period settled on the Southwest Indian Ocean until end of January when two tropical cyclones formed almost simultaneously on the western half of the basin (ELITA and FRANK). Shortly afterward, a third depression system would develop at the edge of the basin later on becoming the tropical storm LINDA in the area of responsibility of Perth (SouthEast Indian Ocean). Those three cyclogenesis that occurred within a short spell ought to be connected to the development in the third decade of January of a marked Madden-Julian oscillation (MJO) which ended up being the strongest over the SouthWest Indian Ocean during the 2003-2004 cyclone season (see page 84).

The active phase of the MJO started to spread from the African coastline and translated into an escalation in convective activity on either side of

Madagascar that was very clearly perceptible on the satellite imagery and displayed an increasing trend from 20 January. The large disturbed area that was thereof developing, primarily focused on the northern Mozambique Channel. The related rainstorm activity temporarily affected the Comoros Archipelago with heavy rain locally. It was namely the case for Mayotte Island where rainfall amounts ranging between 100 and 150 mm in 24h poured on the 'Sea horse Island' on 23 January. The temporarily torrential rain caused landslides and also indirectly the death of three people (who were killed as a wall collapsed on a home).

In the meantime, the monsoon flow, still inexistent in that area during the preceding days, settled via the north and strengthened on 24 January. This cross-equatorial monsoon surge continued to penetrate deeper into the south, which led to the shift of the disturbance in the same direction and as a result to its relocation



Cyclogenèse d'ELITA dans les parages de l'île de Juan de Nova. Un amas nuageux d'intense convection - faisant plus de 250 km de diamètre - s'est développé en début de journée du 26 janvier au-dessus du vortex nuageux de méso-échelle initialement présent (et formé la veille en marge de la zone perturbée alors présente entre Madagascar et les côtes africaines - voir image du 25). La persistance de cet amas de convection amènera au classement du système en tempête tropicale modérée et au baptême d'ELITA, même si en fin de journée le vortex de basses couches tendra à nouveau à se découpler de la convection (voir image TRMM ci-contre).
 À noter que sur l'image satellite de la matinée du 26 (ci-dessus), les sommets des cumulonimbus les plus hauts atteignent des températures extrêmes (-100°C relevé au niveau du pixel le plus froid !). Affectant Juan de Nova jusqu'au lendemain, cet amas de convection y occasionnera des pluies diluviennes (403 mm en 12h, dont 284 mm en 3h et 150 mm en 1h). La bordure côtière malgache au sud du cap St-André est également sérieusement touchée : ce 26 janvier, 259 mm de précipitations s'abattent ainsi sur la ville de Maintirano (162 mm plus au sud à Besalampy), occasionnant les premières inondations de l'épisode ELITA.

ELITA's cyclogenesis near Juan de Nova Island. A cloud cluster of intense convection - exceeding 250 km in diameter - developed in the early morning of 26 January above the initial meso-scale convective vortex which had formed on the previous day on the fringe of the zone of disturbed weather that was present between Madagascar and the African shores - see image on the 25). The persistence of this shield of convection would lead the system to be classified into a moderate tropical storm and to be named ELITA even though the vortex of low clouds would tend to decouple again from the convection in the late afternoon (see TRMM image).
 The main feature of the above image acquired on the morning of 26 were the extremely low temperatures reached by the most prominent cumulonimbus tops (the coldest pixel being recorded at -100°C !). Affecting Juan de Nova until the following day this cluster of convection would yield an absolute deluge there (403 mm of rain in 12h, of which 284 mm fell in 3h and 150 mm in 1h). The inshore Malagasy coast south of Cape St-André would also be severely drenched provoking the first ELITA-related floods (on this 26 January, 259 mm of rain poured in the town of Maintirano, 162 mm in Besalampy more to the south).

south of the Comoros from the following night. In altitude, an all-pervading and rapid southeasterly flow was sweeping over the whole northern area of the Mozambique Channel generating an important vertical windshear normally crippling in terms of cyclogenesis. Nevertheless that did not prevent the formation of a low at the convergence with the weak trade winds present on the central Mozambique Channel. It became more and more conspicuous on the satellite imagery as the 25 January went on since the cloud vortex of low troposphere that was encircling it (logically exposed to the southeast of the convection considering the upper environment) gained definition. It had been drifting southwestward since the previous

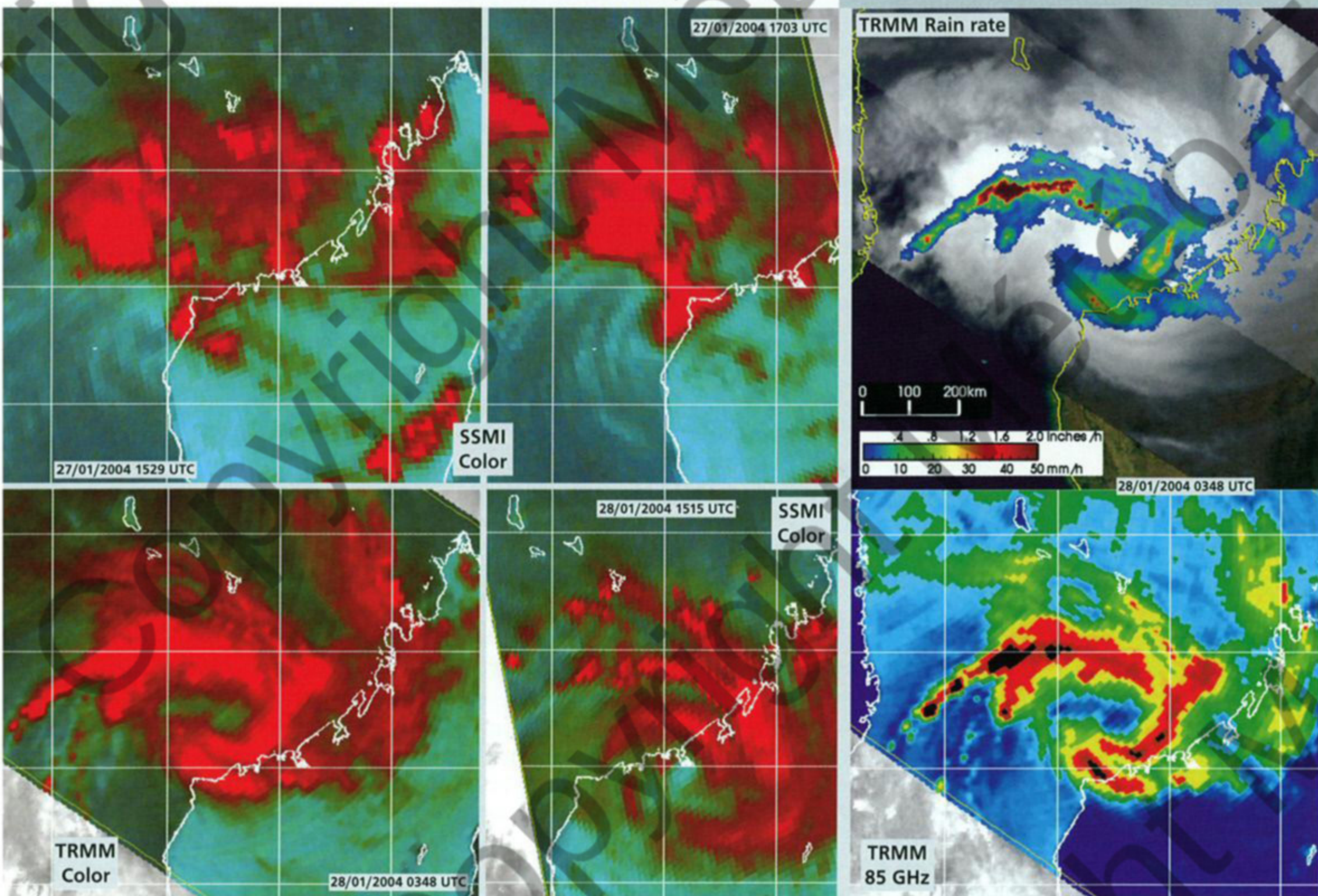
night and passed at about 50 km east of Juan de Nova Island in the afternoon. Observations from the Météo-France automatic weather station based on the island enabled to validate the low pressure as 999 hPa.
 Keeping on tracking on a now more southward path for another 24h, at a reduced speed of about 5 km/h though, the low centre did not move much off Juan de Nova Island. When reaching - in the afternoon of 26 January - a spot located some 120 km south of the island it side-stepped eastward before initiating a northward backtrack in the evening, thereby achieving a U-turn. This very unusual northward motion (maybe induced by the arrival south of the Mozambique Channel of a

Après avoir marché sur ses pas une bonne partie de la nuit précédente, parcourant en sens inverse le chemin suivi trois jours plus tôt, pour revenir ainsi quasiment sur sa position initiale de pré-genèse, à quelque 250 km au sud de Mayotte, ELITA s'apprête en effet à changer de trajectoire. Suite à la prise de contrôle du flux directeur de la perturbation par une cellule anticyclonique de moyenne troposphère positionnée au nord du Canal de Mozambique, le météore se voit contraint d'incurver en direction du sud-est après la mi-journée, ce qui le dirige inéluctablement vers Madagascar. Fort heureusement, les quelques heures

précédant l'arrivée sur terre ne seront pas dans la continuité de l'évolution matinale, semblant marquer un coup d'arrêt à l'organisation effrénée de la structure nuageuse du météore, l'œil ne parvenant en particulier plus trop à gagner en définition. L'intensité du météore est en conséquence maintenue au stade supérieur de la forte tempête tropicale. Mais cette intensité analysée va s'avérer sous-estimer encore d'un cran la réalité, preuve que le creusement s'est vraisemblablement poursuivi jusqu'aux abords de la côte malgache. C'est du moins ce que l'on

est en droit de considérer d'après la vérité sol fournie par les observations de la station de Mahajunga (basée sur l'aéroport). Le centre d'ELITA a franchi le littoral à un peu moins de 30 km au sud-ouest de la station, en fin d'après-midi de ce 28 janvier. Située dans le demi-cercle dangereux de la perturbation, la grande ville portuaire de la côte nord-ouest de Madagascar subit dans la foulée des vents encore plus violents qu'initialement escompté. Les données horaires (Metar) font état d'un vent moyen sur 10 min de 68 nœuds pour une rafale de 97 nœuds

subtropical anticyclone cell) thereafter maintained for over 24h. Beside this radical track change, that day was also marked by the amazing outburst (at dawn) of a cloud cluster of intense convection linked to the low centre. As it expanded horizontally as much as exceeding 250 km wide, this shield of convection totally overspread the vortex of low clouds on the northern edge of which it had initially started to develop. What might have been a mere short-lived flare-up of convection turned to persist a long time causing the depression to deepen to the stage of minimal moderate tropical storm by the late afternoon, and which was named ELITA.

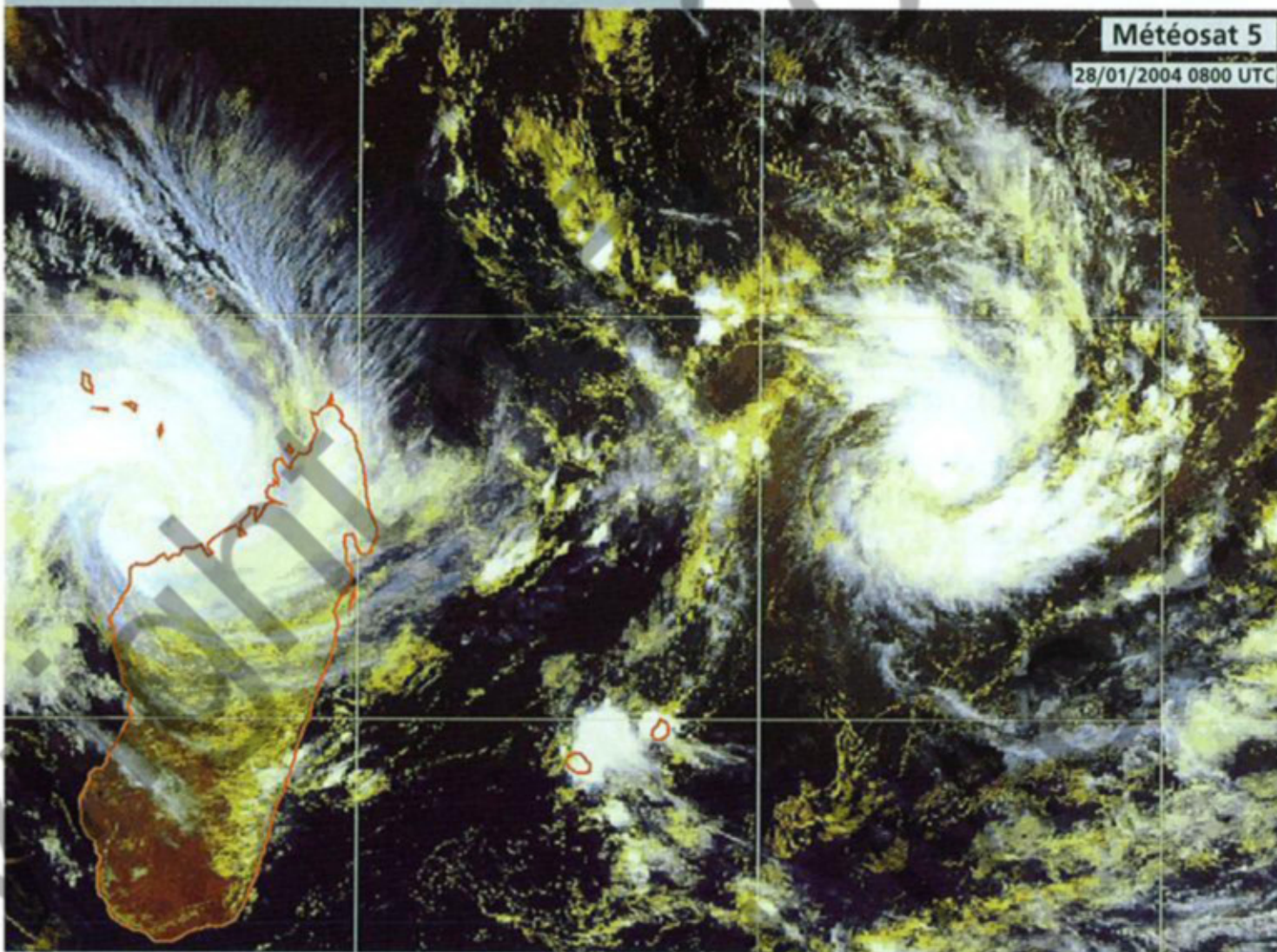


Evolution d'ELITA durant les 24h ayant précédé son premier atterrissage sur Madagascar. Compte tenu des limites de l'état de l'art en matière de prévision d'intensité des perturbations tropicales, une intensification brutale à proximité d'une terre habitée constitue la situation la plus difficile à gérer en matière de prévention du risque cyclonique, l'anticipation étant souvent prise en défaut et les délais de réaction raccourcis. Cela a été le cas avec ELITA, avant son premier impact sur la côte malgache.

Les trois premières images micro-ondes montrent le développement très rapide et drastique intervenu durant la nuit du 27 au 28 janvier 2004 : partant d'un système faible et dépourvu de convection organisée, avec un centre dépressionnaire exposé (entre Juan de Nova et le Cap St-André), on se retrouve au petit matin du 28 avec une bande incurvée déjà affirmée, préluant la formation éclair d'un œil dans la foulée (voir image du satellite Terra page 41). Le creusement résultant fera que la cité portuaire de Mahajunga subira en fin d'après-midi des vents de la force ouragan (voir l'image SSM/I de 1515 UTC pour la structure des bandes nuageuses précipitantes peu après la pénétration sur terre du météore).

ELITA's evolution during the 24h preceding the first landfall on Madagascar. Consequent upon the state-of-the-art in tropical disturbances' intensity prediction, an abrupt intensification in vicinity of an inhabited land is the worse situation in terms of prevention of the tropical cyclone risk as anticipation may be baffled resulting in reduced lead time warning. This was the case for ELITA before its first impact on the Malagasy coast.

The first panel of microwave images depicts the very fast and drastic development that intervened in the course of the night of 27 January 2004 : starting from a weak system devoid of any organised convection, with an exposed low level circulation centre (spotted between Juan de Nova and Cape St-André), it ended with the development of a curved band appearing already tightly wrapped in the early morning of 28 and which would very soon convert into the flash formation of an eye (see image from Terra satellite page 41). The accruing deepening of the cyclone resulted in the harbour city of Mahajunga experiencing hurricane force winds by the end of afternoon (check the 1515 UTC SSM/I image to get an idea of the structure of the rainbands a little while after the meteor coming ashore).



Météosat 5
28/01/2004 0800 UTC

ELITA et FRANK : pour la première fois de la saison deux phénomènes matures coexistent sur le Sud-Ouest de l'océan Indien. Les deux systèmes ont atteint le stade de forte tempête tropicale quasiment simultanément environ 3h plus tôt et un œil est esquissé au cœur de chacun des deux météores. Celui de FRANK est à peine discernable, tandis que celui d'ELITA est plus apparent, mais déformé. ELITA menace alors la côte nord-ouest de Madagascar et touchera terre quelques heures plus tard à proximité de Mahajunga au stade de cyclone tropical.

ELITA and FRANK : on the first occasion since the beginning of the season two mature storms coexisted in the South West Indian Ocean. The two systems had been upgraded to severe tropical storm status almost simultaneously about 3h earlier and an eye was sketched within both meteors. That of FRANK was barely discernible while ELITA's one was more visible but ragged. ELITA was threatening Madagascar at the time and would come ashore a few hours later near Mahajunga as a tropical cyclone.

EVOLUTION

The cloud cluster of deep convection was still there on the next day 27 January but with no obvious better organisation. After passing again east of Juan de Nova Island, at some 90 km this time (despite that greater distance compared to the first closest passage, the automatic station read a minimum sea level pressure of 998.5 hPa – lower than the one measured two days earlier, which confirmed that the depression had deepened meanwhile), the low-level vortex even appeared once again definitely exposed southeast of the convection on the microwave imagery of the late afternoon. The inferred decoupling tendency between the low centre and the convection might have delude one to believe that the intensification trend of the phenomenon had levelled off, or even that the storm was on the verge to weaken. Luckily, a drifting buoy wandering off Cape of Saint-André and standing most seasonably nearly right in the trajectory of ELITA's low centre, prevented to be tricked by this delusion of weakening. Its lowest pressure observation (991.2 hPa on 27 January at 23 UTC) turned out to be decisive to better apprehend the actual current intensity of the meteor at the time

(180 km/h) à 14 utc (ces vents ne constituant peut-être pas les valeurs maximales observées). La pression minimale relevée a été de 981 hPa. Au vu de l'imagerie satellitaire (micro-onde en particulier), il ne fait quasiment aucun doute que la station a été touchée par le rayon des vents maximaux. Les bandes pluvieuses les plus actives sont également localisées dans le demi-cercle nord (voir image SSM/I page 43), occasionnant de fortes pluies dans toute la région au nord de Mahajunga (222 mm en 24h à Atsohihy, contre 156 mm à Mahajunga – dont 90 mm en 6h). Considérant les observations de Mahajunga, ELITA sera reclassé a posteriori en cyclone tropical au moment de son atterrissage sur la côte malgache, avec un minimum de pression centrale estimé à 970 hPa. Contrairement à ce que l'on pourrait croire, qu'un système dépressionnaire touche le littoral ouest de Madagascar (la façade océanique côté Canal de Mozambique) au stade de cyclone tropical, ne constitue pas un fait si fréquent que cela. Avant ELITA, il faut en effet remonter à 1991, pour retrouver le précé-

dent événement du genre (avec le cyclone CYNTHIA).

Une fois à l'intérieur des terres, ELITA se déstructure rapidement. La zone tourbillonnaire centrale demeure toutefois esquissée sur l'imagerie satellitaire jusqu'au lendemain matin, moment où elle transite à proximité nord-est de la capitale Antananarivo. Dans son sillage, le flux de mousson demeure assez virulent sur les Comores (rafales approchant les 100 km/h à Mayotte) et continue d'alimenter une activité pluvio-orageuse persistante sur une large portion nord-ouest de Madagascar. Poursuivant un déplacement en direction du sud-est à un rythme soutenu, le minimum dépressionnaire résiduel de l'ex-ELITA ne tarde pas à rallier la côte est de la Grande Ile. Il ressort en mer en début de nuit du 29 au 30 janvier, au niveau de la localité de Mahanoro, avec une pression associée de 998 hPa (donnée validée par les mesures de la station d'observation locale). C'est dire que malgré un parcours terrestre ayant duré plus de 24h, il est loin de s'être comblé de manière irrémédiable.

Si la dépression résiduelle retrouve donc l'océan dans un état encore relativement préservé, elle ne va toutefois pas avoir matériellement le temps d'exprimer son potentiel de ré-intensification, car son séjour sur l'océan Indien ne va durer que 24h. Se heurtant, à l'approche du 50ème méridien Est, à la dorsale issue de l'anticyclone subtropical positionné loin au sud-est, elle est rapidement contrainte d'effectuer un virage dans le sens horaire, qui la ramène droit vers les terres malgaches. Le délai est dès lors insuffisant pour permettre à l'activité nuageuse et convective de se reconstituer et de se réorganiser suffisamment, même si la comparaison de l'imagerie satellitaire entre les moments de la sortie en mer et du retour sur terre, montre très clairement que le processus de régénération était déjà bien lancé. C'est donc avec une valeur estimée à 994 hPa (traduisant le début de ré-intensification), que le minimum dépressionnaire franchit derechef la côte, un peu au sud de la ville de Mananjary.

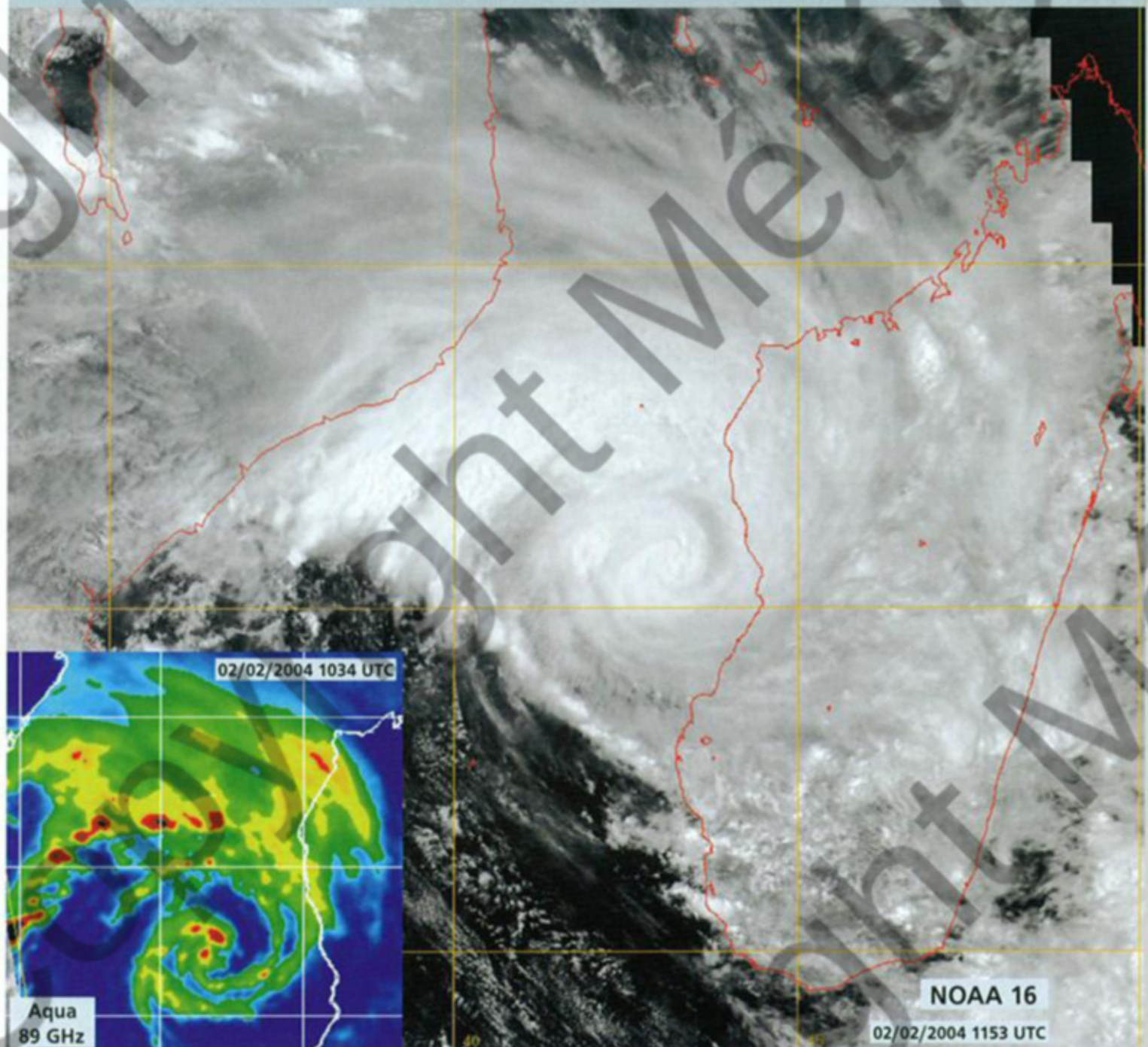
Après cette brève incursion sur l'océan

Indien, l'ex-ELITA est dès lors conduit à retraverser une seconde fois les hautes terres de Madagascar, cette fois en direction de l'ouest-nord-ouest. Cette nouvelle traversée de la Grande Ile, quasiment rectiligne, est moins longue que la première et ne va prendre que 24h. Son impact sur la circulation dépressionnaire est marginal, puisque c'est avec une valeur estimée à 996 hPa que le minimum dépressionnaire regagne les eaux chaudes du Canal de Mozambique, au niveau du 20ème parallèle Sud, en début de nuit du 31 janvier. La promptitude avec laquelle la convection se reforme aussitôt et se focalise autour du minimum, ainsi que les conditions environnementales favorables (assez bonne divergence d'altitude sous la dorsale de haute troposphère et cisaillement vertical de vent devenant faible), ne laissent guère planer d'incertitude sur le potentiel de régénérescence du phénomène.

De fait, la dépression se recrée progressivement, à un rythme régulier mais très modéré dans un premier temps (estimé au taux de 2 hPa toutes les 6h au cours des 24h suivantes). Ayant récupéré son statut de tempête tropicale modérée en début de journée du 1er février, ELITA poursuit encore à cette heure son éloignement des côtes malgaches, en direction du nord-ouest, à environ 15 km/h. Mais peu après, la vitesse de déplacement chute brutalement sous les 5 km/h. Puis, parvenu au point le plus extrême de sa progression vers l'ouest, à un peu plus de 200 km au sud de l'île de Juan de Nova, le météore fait demi-tour en milieu de nuit suivante. Avec ce virage en épingle à cheveu, c'est donc une nouvelle menace qui se profile pour Madagascar. Car, si à cet instant ELITA est encore classé en tempête modérée, son processus d'intensification prend désormais franchement tournure, avec un développement qui va dorénavant se poursuivre à un rythme normal (i.e. avec un gain d'un point par 24h sur l'échelle d'intensité de Dvorak). En dépit d'une vitesse de déplacement qui demeure très lente jusqu'en milieu de journée du 2 février, le temps va cependant lui être une nouvelle fois compté -24 heures- avant ce troisième atterrissage en vue sur les côtes malgaches (moins

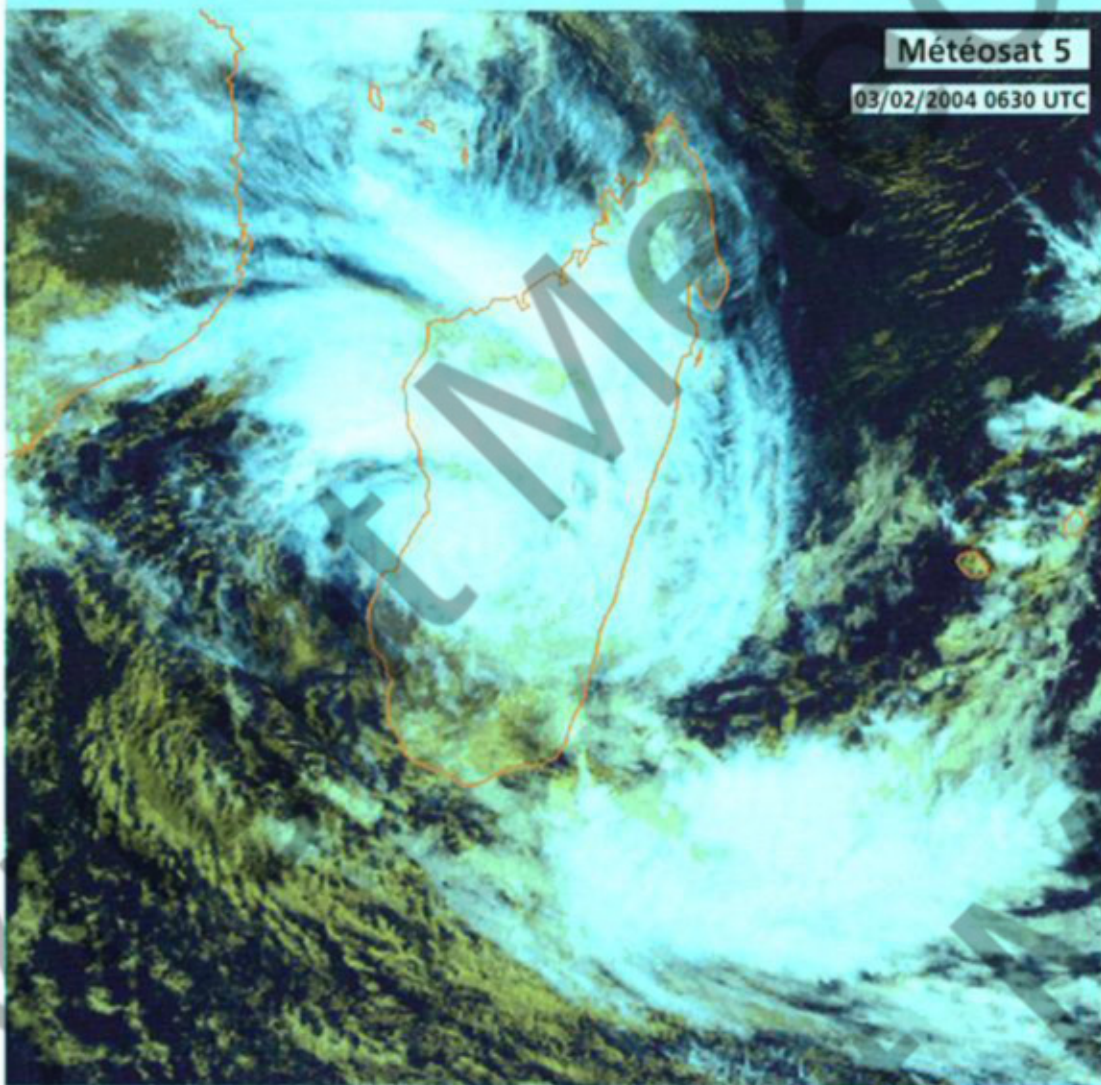
and keep ELITA at the moderate tropical storm stage. Not only did it show that the low had nowise filled up in the previous 12h but also that it had probably kept on deepening slightly, unlike what one could have expected when looking at the evolution displayed by the cloud configuration on the satellite imagery. What occurred afterwards in the course of the day of 28 January would demonstrate to what degree this visual impression had been misleading... ELITA, far from weakening, indeed reinforced even further all of a sudden. This spectacular reversal of trend – even more so given its magnitude –, happened in the early morning of 28 January. Within a mere 6 hours, a curved band developed swiftly before rolling up even faster to ultimately close up into a ragged eye on the visible satellite imagery. This shooting cloud organisation reacted to a subtle environmental evolution. Satellite winds analyses (of the clouddrift winds derived from the geostationary Meteosat 5 imagery) showed that while there

was no great change in upper circulation, a decrease in vertical windshear had happened near the storm location. Given the available data, one wondered whether that decrease might be attributed to the upper outflow self-induced by the disturbance whose strength might have counteracted the dominant synoptic southeasterly flow, rather than to the rearrangement of the latter. Notwithstanding, this explosive intensification (breaking the Dvorak constraints) was unwelcome since after following on its footsteps for most of the previous night, hence travelling back on the track it had assumed three days before and returning nearly to its early pre-genesis location, some 250 km to the south of Mayotte Island, ELITA was about to change course. After a high of mid-troposphere situated north of the Mozambique Channel had taken control of the steering flow of the disturbance, the storm was forced to curve southeastward in the early afternoon therefore unavoidably

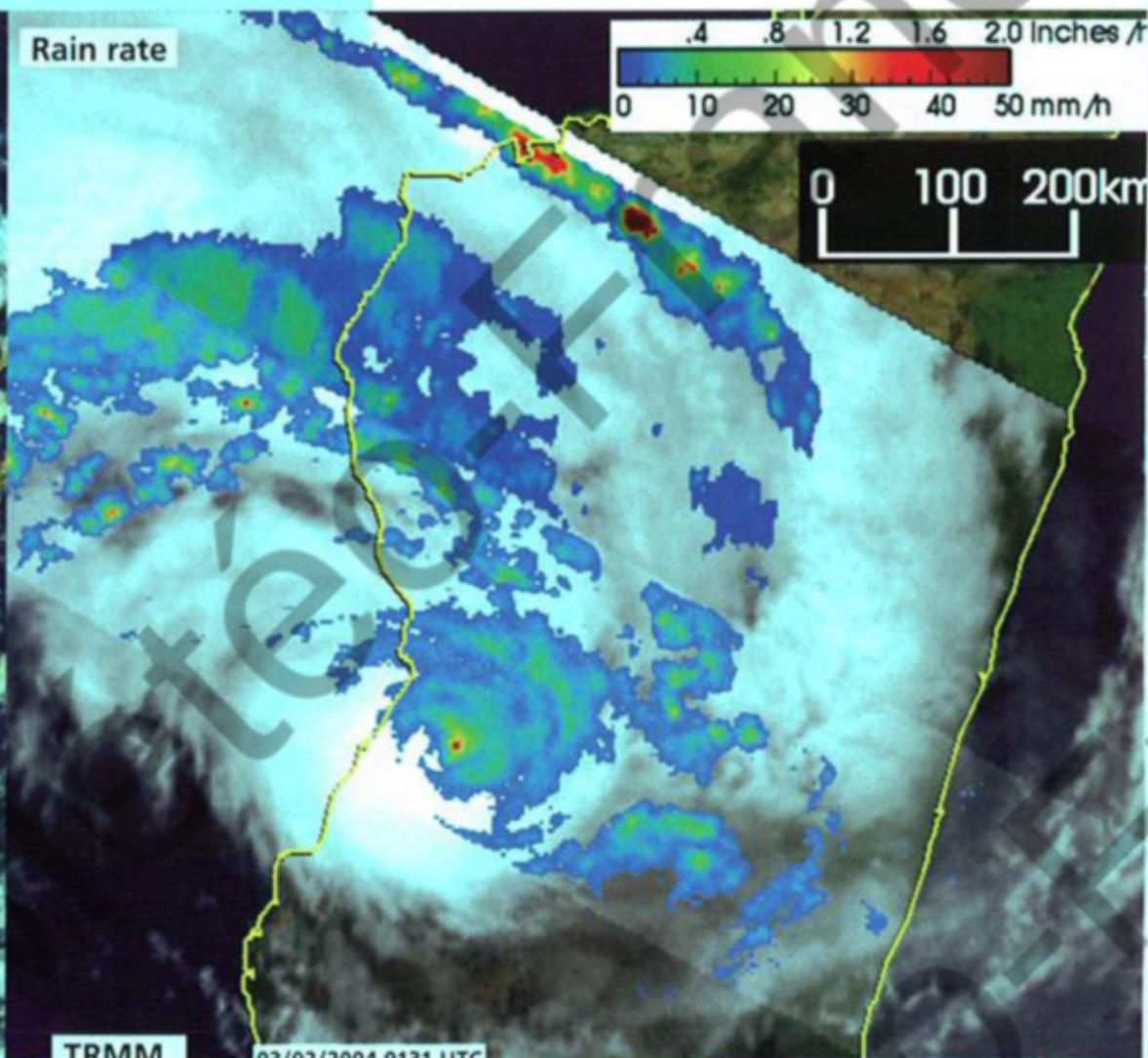


ELITA en cours d'intensification lors de son second séjour sur le Canal de Mozambique. La zone côtière malgache est déjà copieusement arrosée par la bande nuageuse active rattachée au cœur central de la forte tempête tropicale. Une semaine après avoir subi un premier déluge lors de la remontée initiale dans le Canal de la perturbation (alors en phase de genèse), la zone de Maintirano est une nouvelle fois la plus affectée. Enregistrant 343 mm de pluie en 24h ce 2 février, la ville sera endommagée à 90% par les inondations induites.

ELITA while intensifying during its second stay in the Mozambique Channel. The monsoonal active outer band connected to the storm's central core was already causing torrential rains on the western Malagasy coastal area. Drenched by a first heavy rain event one week earlier when the initial pre-genesis disturbance retreated northward, the rain stricken area near Maintirano was once again the most affected. Recording a 24h rainfall amount of 343 mm on this 2nd February the town was 90% damaged by the consequent flooding.



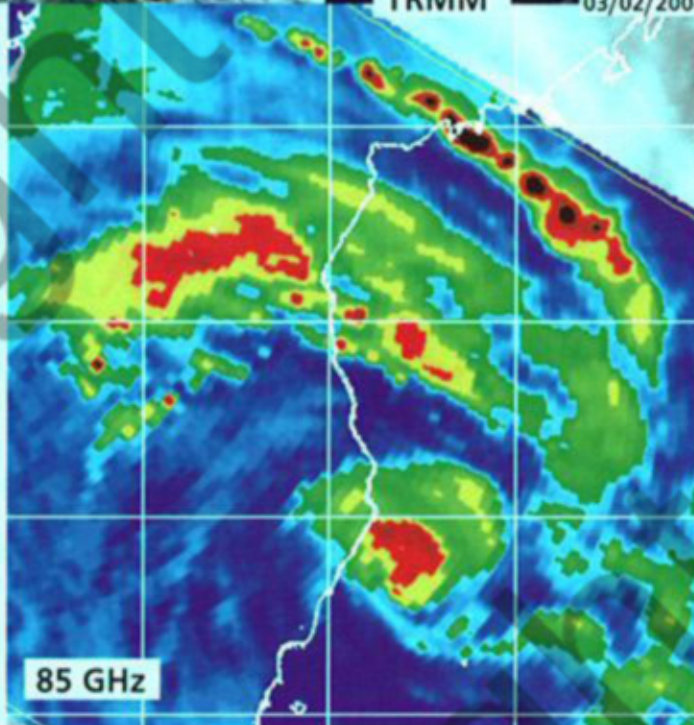
Météosat 5
03/02/2004 0630 UTC



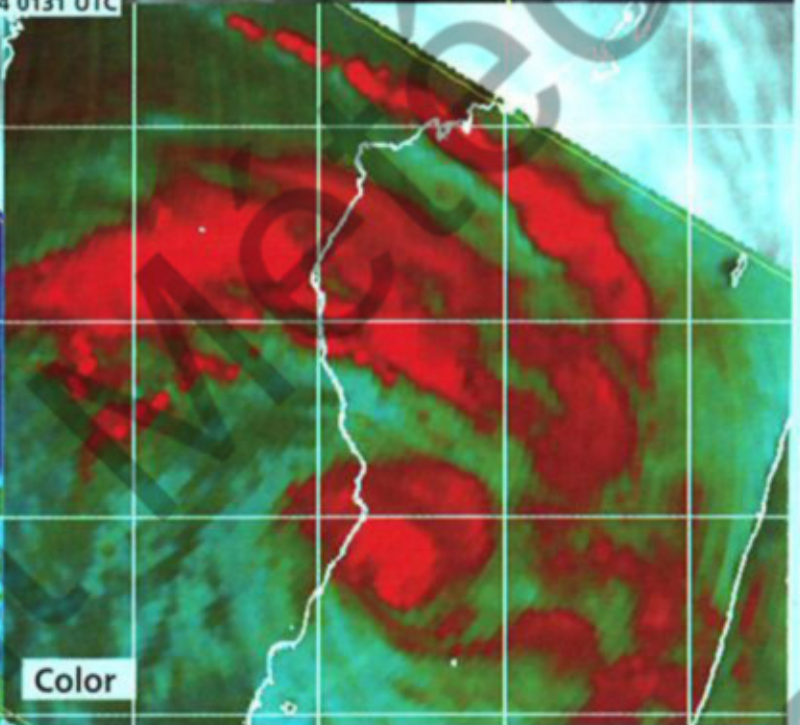
TRMM
03/02/2004 0131 UTC

ELITA lors de sa troisième et dernière traversée de Madagascar. Plus de sept heures après avoir pénétré sur terre au niveau de Morondava, le vortex central associé au météore apparaît encore bien formé. Parmi toutes les différentes bandes nuageuses actives gravitant au sein de la large circulation tourbillonnaire – et bien mises en évidence par les taux de précipitations TRMM, noter plus spécifiquement la puissante ligne de grains présente en marge nord de la circulation dépressionnaire. Déjà éprouvée par le passage d'ELITA moins d'une semaine auparavant, la ville de Mahajunga essuiera une tornade associée à cette ligne de grains (jetant à terre un bâtiment d'une savonnerie, et y faisant deux morts).

ELITA while undertaking its third and final crossing of Madagascar. More than seven hours had elapsed since it had entered inland near Morondava; the meteor's central vortex still looked pretty well shaped though. Among the different active outer bands orbiting within the large swirling circulation – and nicely highlighted by the TRMM rainrates, notice more specifically the powerful squall line stretching north of the clockwise circulation. Already affected by ELITA's passage less than one week earlier Mahajunga was swept over by a tornado linked to this squall line which flattened a building from a soap-manufacture and caused two fatalities.



85 GHz



Color

heading straight for Madagascar.

Fortunately, the few hours preceding the landfall of the meteor did not follow the same trend as the morning one as there seemed to be a stop in the frantic organisation of the storm's cloud structure, with the eye especially struggling to gain definition. Therefore, the intensity of the meteor was maintained at the upper stage of severe tropical storm. However, the analysed intensity turned out to be underestimated, which proved that the meteor had probably kept on deepening until reaching the Malagasy coast, this assumption being asserted according to the ground truth provided by the observations from the Mahajunga station (based at the airport). ELITA's centre crossed the shoreline less than 30 km southwest of the station in the late afternoon of 28 January. Situated in the dangerous semi-circle of the disturbance, the

harbour city on the northwestern Malagasy coast was swept straightaway by much stronger winds than expected, as the hourly observations (Metar) gave evidence with a 10-min average winds of 68 knots gusting to 97 knots (180 km/h) at 14 UTC (those winds might not have been the maximum values experienced). The lowest pressure read was 981 hPa. According to the satellite imagery (especially the microwave), there was no doubt that the station had been touched by the radius of maximum winds. The most active rain bands were also localised in the northern semi-circle (see SSM/I image page 43), causing heavy rain all over the region north of Mahajunga (222 mm recorded in 24h at Atsohihy, against 156 mm in Mahajunga – of which 90 mm fell in 6h). Considering the observations of the Mahajunga station, ELITA was upgraded to tropical cyclone

que lors des deux précédentes arrivées sur terre, toutefois ; il est donc heureux qu'une intensification explosive, du type de celle survenue avant l'arrivée sur Mahajunga, ne se soit pas produite à ce moment-là). Accélérant à l'approche de la Grande Ile, le météore continue de dessiner une trajectoire étonnante, épousant réellement la forme d'une épingle à cheveu. Son déplacement en direction de l'est-sud-est est désormais gouverné par l'impressionnant courant d'ouest à nord-ouest qui balaye alors, en basse et moyenne troposphère, l'essentiel de la zone tropicale du bassin située au nord du 20ème parallèle Sud (avec présence d'une imposante dorsale de moyenne troposphère axée à proximité de l'Equateur). Refaisant, en sens inverse, quasiment le

même trajet que celui effectué la veille, mais légèrement au sud, ELITA poursuit dans le même temps son développement, avec une configuration nuageuse de type CDO (amas nuageux central dense). Après un second (et dernier !) séjour d'un peu plus de deux jours sur les eaux du canal de Mozambique, c'est finalement analysé au stade supérieur de la forte tempête tropicale, qu'ELITA frappe une deuxième ville côtière importante de la côte ouest de Madagascar.

Le centre de la perturbation pénètre en effet sur terre directement au niveau de la ville de Morondava, en deuxième partie de nuit du 2 au 3 février. L'observation de 00 utc de la station synoptique implantée localement, indique une pression mer de 969,6 hPa. Le passage au plus près étant intervenu un peu auparavant (dans l'heure précédente selon toute vraisemblance), il est donc envisageable que la pression centrale au cœur d'ELITA soit descendue en-dessous de 970 hPa (en valeur corrigée de la marée barométrique). Compte tenu de cette valeur de pression, on ne peut exclure que, à l'image de qui s'était passé avant l'arrivée sur Mahajunga, le stade minimal de cyclone tropical ait été atteint avant l'atterrage. Il faut cependant souligner que, à la différence de ce qui s'était passé cinq jours plus tôt, à aucun moment un œil ne s'est formé, tant sur l'imagerie classique que micro-onde. Malheureusement, aucune mesure de vent n'était hélas disponible cette fois pour valider la force réelle des vents (les rafales maximales ont seulement été estimées à 100 km/h –source : Service Météorologique de Madagascar). Quoi qu'il en soit, Morondava a subi fortement l'impact du météore. Excessivement vulnérable aux inondations en particulier, la ville est en bonne partie envahie par les eaux. Les conséquences sont aggravées par la rupture d'un barrage en amont de la rivière se jetant en mer à proximité de la ville. Les habitants comparent la force d'ELITA à celle de CYNTHIA, dernier cyclone en date à avoir touché la côte ouest de Madagascar ...et qui était passé également sur Morondava (en février 1991). Bien que CYNTHIA fût classé cyclone tropical au moment de son arri-

vée sur terre, il est à noter qu'à l'époque, les données météorologiques fournies par la station de Morondava n'avaient fait état que d'un vent maximum de 52 nœuds (vent moyen sur 10 min), pour un minimum de pression de 979 hPa. Des vents nettement plus violents avaient sévi beaucoup plus au nord, loin du centre dépressionnaire, dans les secteurs de Maintirano et Besalampy notamment. Si tel n'a semble-t-il pas été le cas cette fois, ces secteurs ont cependant également beaucoup souffert des conséquences de la présence d'ELITA, subissant en particulier les pluies les plus durables et au total les plus conséquentes.

Les zones côtières ne sont pas les seules affectées. Même les hauts plateaux de l'intérieur ressentent nettement l'influence du météore à l'occasion de ses passages successifs sur terre. C'est tout spécialement le cas lors de cette troisième traversée de la Grande Ile, qui suit l'atterrage sur Morondava. Le vortex résiduel lié au cœur de la perturbation, résiste en l'occurrence beaucoup mieux que lors des deux situations analogues antérieures, restant très bien défini quasiment jusqu'aux abords de la côte est malgache. Il continue de drainer dans son sillage un puissant flux de mousson, aspiré jusque loin à l'intérieur des terres, comme en témoignent les dégâts occasionnés dans la capitale Antananarivo, 300 km au nord de sa trajectoire. Des rafales de vent de 90 km/h y occasionnent de nombreuses coupures électriques et l'effondrement partiel de la façade ouest du Palais de la Reine (le "Rova", ce monument majeur du patrimoine historique de Madagascar, domine la capitale malgache et était toujours en cours de travaux, après un incendie qui l'avait ravagé huit ans plus tôt).

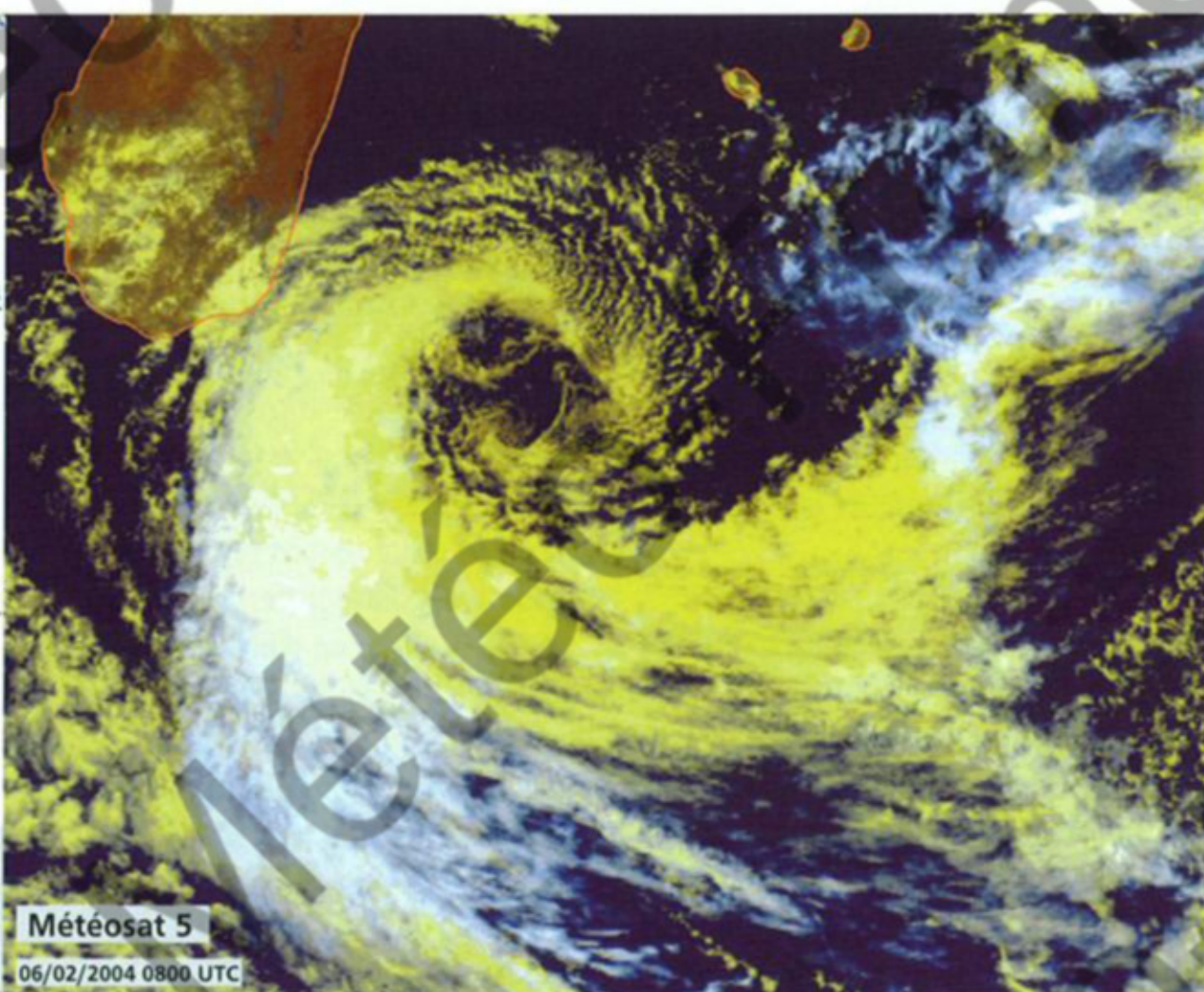
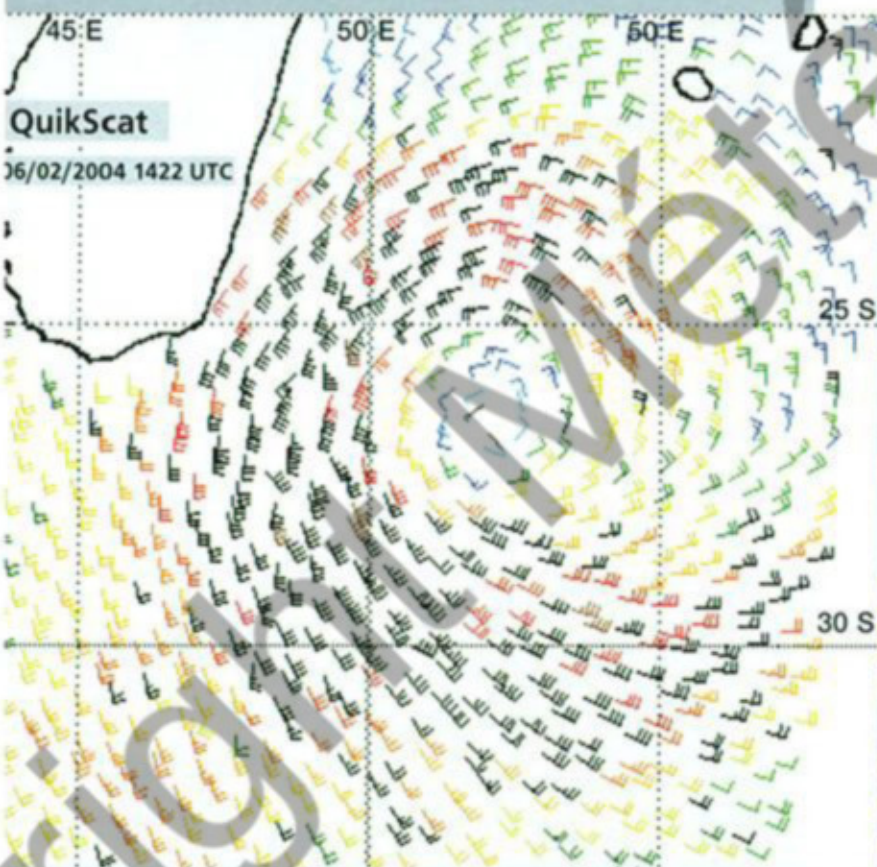
Poursuivant, à plus de 20 km/h de vitesse moyenne, un déplacement en direction de l'est-sud-est quasi-parallèle à celui observé lors de sa précédente traversée de l'Ile Rouge, le minimum résiduel d'ELITA passe à proximité de la ville de Fianarantsoa en fin de journée du 3 février, puis ressort en mer au nord de Manakara quelques heures plus tard. Nouvelle preuve que le minimum dépressionnaire a bien résisté à ce troisième parcours terrestre

status in post-analysis at landfall on the Malagasy coast with a central pressure estimated at 970 hPa. Unlike what one might believe, a depression system hitting the west coast of Madagascar (the ocean front on the Mozambique Channel side) at the tropical cyclone stage is not so frequent. Before ELITA, one needs to go back as far as 1991 to find a similar event (with cyclone CYNTHIA).

ELITA de-structured rapidly inland. However, the central swirling area remained still outlined on the satellite imagery until the next morning when it transited close to the northeast of the capital city of Antananarivo. The monsoon flow in its wake remained quite virulent on the Comoros (gusts approaching 100 km/h in Mayotte) and continued to favour rainstorm activity that persisted over a large northwestern part of Madagascar. As it kept moving southeastward at a rather fast pace, the residual low of ex-ELITA soon reached the east coast of the Great Island. It went out to sea in the early night of 29 January near the town of Mahanoro, with a related pressure of 998 hPa (data validated by the observations of the local meteorological station). That is to say that despite a land trip lasting for over 24h, it was far from having filled up irremediably.

While the residual depression returned to the ocean in relatively good shape it would not have the material time to fully re-intensify as it stayed over the Indian Ocean only for 24h. As it approached longitude 50°East, it impinged on the ridge that extended the subtropical anticyclone positioned far to the southeast, and was soon forced to make a clockwise turn which drove it straight back to the Malagasy land. This did not allow enough time for the clouds and convective activity to reorganise sufficiently, although a comparison of the satellite images acquired respectively after the exit to sea and prior to the return to land clearly showed that the regeneration process had started off. It was thus at an estimated value of 994 hPa (reflecting the beginning of re-intensification) that the low centre came ashore slightly south of the town of Mananjary.

After this short incursion on the Indian Ocean, ex-ELITA was forced to cross for a second time the highlands of Madagascar, this time heading west-northwestward. This second – nearly rectilinear – crossing of the Great Island was shorter than the first one and only took 24h. It had a limited impact on the low circulation since the estimated value of the min pressure was still 996 hPa as the low centre went back to the warm sea of the Mozambique Channel near latitude 20°South in the early night of 31 January. There was no doubt



ELITA : une fin de vie originale. Devenue une dépression subtropicale de type hybride au sud-est de Madagascar, ELITA va conserver plusieurs jours durant une circulation dépressionnaire étendue et associée à une structure nuageuse particulière, caractérisée par un enroulement nuageux autour d'une plage centrale assez large au sein de laquelle des méso-vortex vont se former et orbiter (jusqu'à trois simultanément – sur l'image ci-contre deux sont présents), cette plage centrale correspondant à une zone de vents faibles (voir données de vents QuikScat à gauche). La veille (5 février, voir image page 58), un nouveau record de température avait été établi à la station aéroportuaire de Gillot (côte nord de La Réunion). Les 28,1°C de température minimale observée, la plus élevée jamais mesurée depuis l'ouverture de la station (en 1953), étaient une conséquence indirecte de la présence d'ELITA. Au flux de nord-ouest chaud drainé par le météore, s'était conjuguée une forte nébulosité nocturne en marge de son influence nuageuse. Entraînant en outre un taux d'humidité de 85%, cette météo extrême avait occasionné une nuit particulièrement inconfortable pour ceux qui ne bénéficiaient pas de la fraîcheur d'un climatiseur...

ELITA an atypical end of life-cycle. Having evolved into an hybrid-type depression southeast of Madagascar, ELITA maintained during several days a wide clockwise circulation associated to an uncharacteristic cloud pattern consisting in a volute of mostly low clouds coiling around a fairly large central area where meso-vortices formed and orbited (up to three simultaneously – on the above image only two are present), this central area corresponding to a zone of weak winds (cf. QuikScat wind data above).

Indirectly linked to the presence of ELITA, an extra-feature is worth mentioning. On the previous day (5 February – see image page 58) a record of heat had been broken at Gillot Airport (north shore of La Réunion), the 28.1°C minimum temperature recorded at the station becoming the warmest min temperature ever observed since the opening of the station in 1953. The warm northwesterlies dragged by ELITA had allied with the important nocturnal cloud cover brought about on the northern periphery of the meteor to generate such warm conditions. Considering the high 85% humidity rate maintained additionally, one can imagine the extreme moistness and uncomfortable night those who did not benefited from air conditioning have had to suffer...

about the rejuvenation potential of the phenomenon given the prompt way in which the convection rebuilt and gathered around the low centre, as well as the favourable environmental conditions (fairly good upper divergence beneath the upper troposphere ridge and subduing vertical windshear).

In fact, the depression deepened again progressively at a regular but very moderate pace first (estimated rate of 2 hPa drop every 6h during the next 24h). Having regained its status of moderate tropical storm by early morning of 1st February, ELITA was still shoving off the Malagasy coast at the time, towards the northwest at about 15 km/h. But soon afterwards, its speed of movement suddenly dropped to under 5 km/h. After reaching the westernmost point of its path some 200 km south of Juan de Nova Island, the meteor then turned back in the middle of the following night. With this hairpin turn an other threat onto Madagascar was to be feared. Indeed, while at the time ELITA was still ranked as a moderate storm, its intensifying process was taking off and unfolded at a climatological pace from then on (i.e. with an additional point every 24h on the Dvorak scale of intensity).

(certes un peu plus court que les précédents), le comblement limité affiché à la sortie en mer, avec un minimum de pression estimé à 988 hPa. Une dépression aussi creuse, laisse clairement la porte ouverte à l'opportunité d'un nouveau cycle de vie de cette perturbation, à l'existence décidément rocambolesque. Ce nouvel avatar va bien avoir lieu, mais va prendre une forme bien différente des précédents, que ce soit en terme de structure du système dépressionnaire, que de trajectoire suivie.

Il n'y aura, en effet, pas de quatrième traversée de Madagascar. Quittant les "rails" qui semblaient la diriger à l'occasion de son étonnant aller et retour des 4 jours précédents, la trajectoire diverge en direction du sud-est au niveau de la côte est malgache et s'en éloigne ensuite définitivement. Va s'ensuivre une longue errance du sud-est de Madagascar jusqu'au sud des Mascareignes, qui va durer une semaine.

Fortement dégénéré au niveau de sa structure nuageuse à la ressortie en mer,

ce qu'il reste d'ELITA peine dans un premier temps à se réorganiser, du fait de la présence d'un flux de nord-ouest en altitude qui génère une ventilation excessive au-dessus de la dépression résiduelle. S'adaptant à cet environnement, défavorable à une reprise de la convection et donc à la régénération d'un système dépressionnaire de type purement tropical, le système dépressionnaire va évoluer vers une structure subtropicale de type hybride. Si la configuration nuageuse ainsi constituée, à compter du 5 février, présente une allure s'apparentant plutôt à un phénomène ayant subi une phase de transition extratropicale, avec une vaste zone centrale dénuée de convection, autour de laquelle s'enroule une large bande nuageuse en partie convective dans son demi-cercle sud, il apparaît, au vu des données AMSU-A, que le système ait conservé un cœur chaud dans les couches moyennes. Le champ de vents en surface est lui plutôt caractéristique d'une dépression de type extratropical,

avec une large plage centrale, de plus de 200 km de diamètre moyen, où les vents sont faibles, entourée d'un anneau de vents forts.

Cette structure (notamment la configuration nuageuse) va demeurer pérenne plusieurs jours durant, la dépression se conservant parallèlement de manière quasiment inchangée, avec une pression minimale peu ou prou stabilisée autour de 988 hPa. Associés à la bande nuageuse du système, les vents les plus forts sont situés dans le quadrant sud-ouest de la dépression, où ils atteignent le fort coup de vent, voire localement la force tempête, par effet de gradient avec les hautes pressions subtropicales.

Le système tend à se décaler globalement vers l'est, au voisinage du 25^{ème} parallèle Sud, mais en décrivant une trajectoire à nouveau des plus "tarabiscotées" et malaisée à suivre précisément, faute de centre dépressionnaire clairement défini. Des vortex de méso-échelle plus ou moins éphémères (jusqu'à trois simultanément) se développent notamment au sein de la zone centrale, compliquant le choix et le suivi d'un centre de la circulation nuageuse. A compter du 6, la dépression commence à se combler très lentement, tandis que le 9 la structure nuageuse devient moins dissymétrique, au moment où le vortex transite au sud de La Réunion. Un début d'affaiblissement plus net du système nuageux se manifeste le lendemain, tandis que le minimum de pression remonte à la valeur estimée de 1000 hPa. Ce même jour, il commence à refluer vers l'ouest. Ce nouveau point de rebroussement annonce en fait la fin du long épisode de blocage. La porte s'ouvre enfin vers les moyennes latitudes et la dépression résiduelle de l'ex-ELITA peut entamer son évacuation du domaine tropical, accélérant vers le sud-ouest dans un premier temps, puis vers le sud-est à partir du 12 février.

Phénomène hors du commun de par la trajectoire abracadabrante suivie, ELITA restera comme un système mémorable du bassin. Semant inondations et destructions dans le sillage de ses trois traversées de Madagascar, et y faisant 33 morts, 4 disparus et près de 56000 sans-

Despite a persistent very slow motion until the middle of the day of 2 February, time was once again limited (24 hours elapsed) before its third landfall on the Malagasy coast (not as limited as for the two previous landfalls though; it is therefore fortunate that another explosive intensification, of the type that had occurred before the landing on Mahajunga, did not happen then).

While gathering speed as it approached the Great Island, the meteor continued to describe an amazing track really assuming a hairpin-like shape. Its east-southeastward motion was now steered by the impressive west-to-northwesterly flow that was encompassing in the lower and middle troposphere the main tropical domain of the basin situated north of latitude 20° South (with the presence of an imposing mid-troposphere ridge stretching zonally near the Equator). Repeating nearly the same track as the previous night but in the opposite direction and slightly more to the south, ELITA simultaneously went on developing with a CDO (Cloud Dense Overcast) pattern. After a second (and last!) stay of a little bit more than two days over the waters of the Mozambique Channel, ELITA was analysed at the upper level of severe tropical storm stage when it eventually hit a second large coastal town on the west coast of Madagascar.

The storm's centre went inland straight over the town of Morondava in the second part of the night of 2 February. The observation at 00 UTC of the synoptic station based locally indicated a sea level pressure of 969.6 hPa. Since the nearest passage to the station had occurred slightly earlier (during the preceding hour much probably), the minimum central pressure might have been lower than 970 hPa (corrected from the barometric tide). Given this pressure value one should consider the possibility that the minimum stage of tropical cyclone had been reached before the landfall, just as it had happened before the first landfall near Mahajunga. However, one should point out that unlike what had happened five days before, no eye formed at any given time either on the satellite imagery or microwave imagery.

Unfortunately, no wind measure was available that time in order to validate the real wind force (peak gusts were estimated at only 100 km/h by the Meteorological Services of Madagascar). Nonetheless, the meteor had a great impact on Morondava. Being extremely vulnerable –namely to flooding –, the town was inundated for its most part. The consequences were worsened by the collapsing of a dam upstream the river flowing into the sea near the city. The

inhabitants compared the power of ELITA to that of CYNTHIA, the last cyclone that hit the west coast of Madagascar and which had by a streak of fortune also gone through... Morondava (in February 1991).

Although CYNTHIA was classified as a tropical cyclone at the time of its landfall, one should point out that at the time, the meteorological data provided by the Morondava station only stated maximum winds of 52 knots (10-min average wind) for a minimum pressure of 979 hPa. Much stronger winds had been sweeping more to the north, far away from the low centre, namely in the areas of Maintirano and Besalampy. If such was apparently not the case this time, those areas greatly suffered of the consequences of ELITA's presence though, as they underwent the longest and most consequential rainfall on the whole.

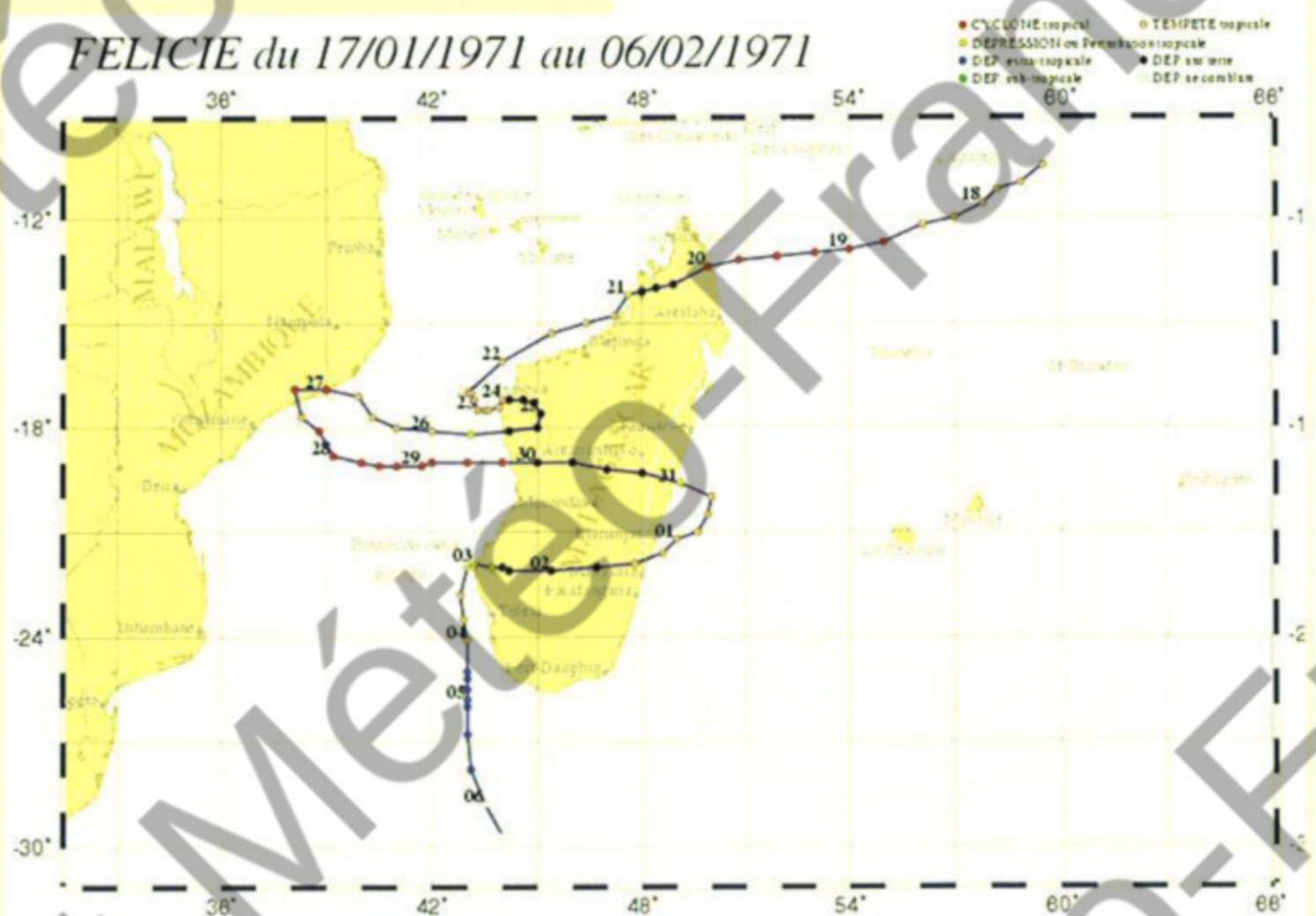
The inshore areas were not the only ones to be affected. Even the high plateaux in the hinterland felt the influence of the meteor at the time of its successive passages overland. It was especially the case during this third crossing of the Great Island that followed the landing on Morondava. The residual vortex linked to the core of the disturbance resisted far better than in the two previous analogous situations and remained well-defined nearly as far as the eastern Malagasy coast. It kept on drawing in its trail a powerful monsoon flow that was sucked into the hinterland as testified by the damage caused in the capital city of Antananarivo 300 km north of its trajectory. 90 km/h gusts caused many power cuts there and the partial collapse of the western side of the Queen Palace (also called "Rova", this major monument of the historic heritage of Madagascar looks over the Malagasy capital city and was still undergoing works after a fire had ruined it 8 years earlier). ELITA's residual low kept moving towards the east-southeast at 20 km/h on a track almost parallel to the path it had followed during its former trek across the Red Island, and passed near the town of Fianarantsoa in the late afternoon of 3 February before coming back to sea north of Manakara a few hours later. Asserting then a limited filling up with an estimated pressure value of 988 hPa, the low yet provided another evidence it had managed quite well to go through this third land crossing (of shorter duration than the preceding ones though). Such a deep pressure clearly gave way for the likelihood of another life-cycle of this incredibly resilient disturbance. This other round of misadventures would actually take place but in a totally different way from the previous ones

both in terms of structure and trajectory. There would not be any fourth crossing of Madagascar indeed. Leaving the tracks that seemed to have been leading it during its astounding return trip of the previous 4 days, the meteor's track diverted southeastward after the eastern Malagasy coast and edged away definitely offshore. A long-lasting wandering of one week ensued then, from the southeast of Madagascar to the south of the Mascarene Islands.

As the cloud configuration exited to sea in a battered shape, what remained of ELITA firstly struggled to re-organise due to the presence of an upper northwesterly flow that generated excessive ventilation above the residual depression. Never mind about that the system dealt with this context and adapted to this unfavourable environment uncondusive to the regeneration of a genuine tropical-type depression system, evolving instead into a hybrid-type subtropical structure. While the cloud system thereupon constituted from 5 February displayed the pattern of a phenomenon having undergone an extratropical transition phase, with a wide cloud band (partly convective in its southern semi-circle) wrapping around a large central area devoid of any convection, it appeared (according to the AMSU-A data) that the system had kept a broad mid-level warm core. On the other hand, the surface wind field was rather characteristic of an extratropical-type depression, with a wide central area of over 200 km in average diameter with weak winds, surrounded by a ring of strong winds.

This structure (namely the cloud configuration) lasted several days while the related depression remained nearly unchanged with a minimum pressure more or less fixed around 988 hPa. Associated to the cloud band of the system, the strongest winds were situated in the southwestern quadrant of the circulation with gales or even storm force winds locally – by gradient effect with the subtropical high. The system tended to shift globally eastward roughly along latitude 25°South while describing a very tortuous and intricate track, difficult to monitor accurately since there was no clearly-defined low centre. More or less ephemeral meso-scale vortices (up to three simultaneous ones) developed within the central area, making it hard to choose or follow a definite centre of the cloud circulation. From 6 February, the depression started to fill up very slowly while on the 9th the cloud structure became less

FELICIE du 17/01/1971 au 06/02/1971



ELITA : une sarabande infernale autour de Madagascar. Virages en épingle à cheveu, allers et retours improbables, remontée inhabituelle dans le Canal de Mozambique, ELITA aura décrit une des trajectoires les plus abracadabrantes qu'il ait été donné d'observer. Lui faisant traverser à trois reprises Madagascar, avec deux atterrages côté Canal de Mozambique intervenus qui plus est à l'occasion des deux pics d'intensité du phénomène, ce périple extravagant aura entretenu un temps perturbé sur la Grande Ile durant plus d'une semaine.

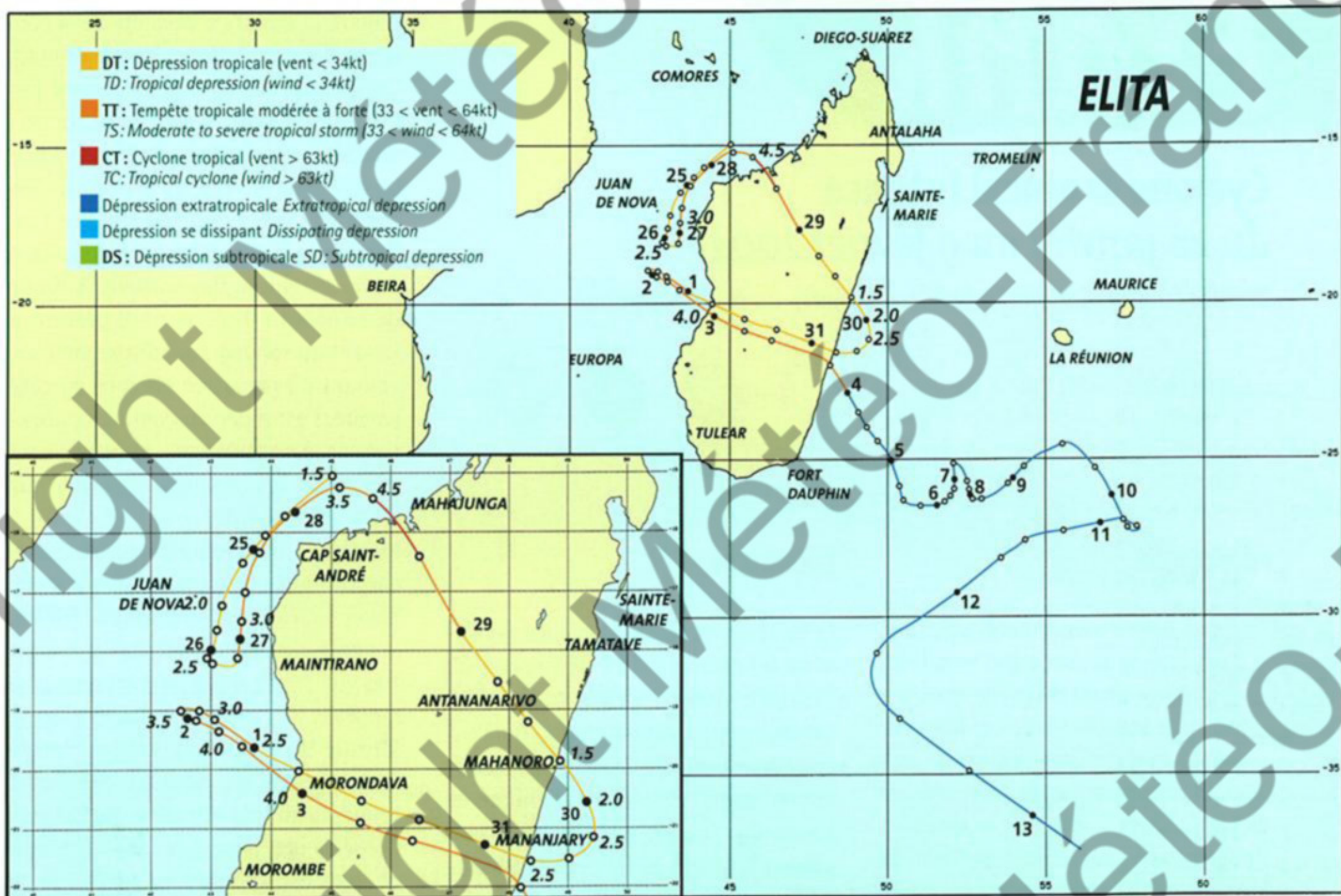
Aussi ahurissante qu'elle ait été, cette trajectoire ne constitue pourtant pas un cas unique. En janvier-février 1971, le cyclone tropical FELICIE avait suivi un trajet tout aussi incroyable, surpassant même celui d'ELITA au nombre des entrées sur terre. Traversant également à trois reprises Madagascar, ce météore d'exception avait, en effet, rajouté une quatrième pénétration supplémentaire sur les terres malgaches, ainsi qu'une autre sur le Mozambique...

ELITA : an infernal saraband around Madagascar. ELITA followed one of the most stunning cyclone track ever observed. Including hairpin turns, unbelievable out and in treks and an unusual northward backtrack in the Mozambique Channel, this extraordinary journey made it cross Madagascar three times, with two landfalls on the Mozambique Channel side which moreover corresponded to the two intensity peaks of the phenomenon and fostered a disturbed weather over the Great Island that lasted for more than one week. As astounding as it was such a trajectory was not unprecedented. In January-February 1971 tropical cyclone FELICIE had described a similarly incredible track which even overtopped that of ELITA in terms of number of landfalls. Matching the three crossings of Madagascar, this out of norm storm had come ashore twice more : one extra occasion in Madagascar plus an additional one in Mozambique...

dissymmetric at the time the vortex was transiting south of La Réunion. On the following day, a clearer incipient weakening of the cloud structure manifested while the pressure low rose to an estimated value of 1000 hPa. The meteor started to surge back west on the same day. This new cusp of the track precluded the ending of this long episode of blocking. The door had finally opened towards the mid-latitudes and the residual depression of ex-ELITA was able to leave the tropical domain lastly, speeding southwestward at first and then southeastward from 12 February. An extraordinary phenomenon due to its stunning trajectory, ELITA will remain a memorable system of the basin and its impact on Madagascar emphasized its indelible mark. Its three successive crossings of the Red Island left a trail of floods and destructions. 33 people died, 4 were reported missing, 886 were injured and nearly 56 000 were left homeless (source: National Council of Malagasy Rescue). Additionally, its presence combined with that of tropical cyclone FRANK northeast of the Mascarene Islands fostered a rare episode of west-to-northwesterly winds (monsoon flow) over a large area of the western part of the basin. Both fairly strong and exceptionally long-lasting, this episode of westerlies supported an unusual swell on the more-exposed shores of La Réunion and Mauritius.

abri (source : Conseil National de Secours malgache), son impact sur la Grande Ile ne fait qu'ajouter à son empreinte indélébile.

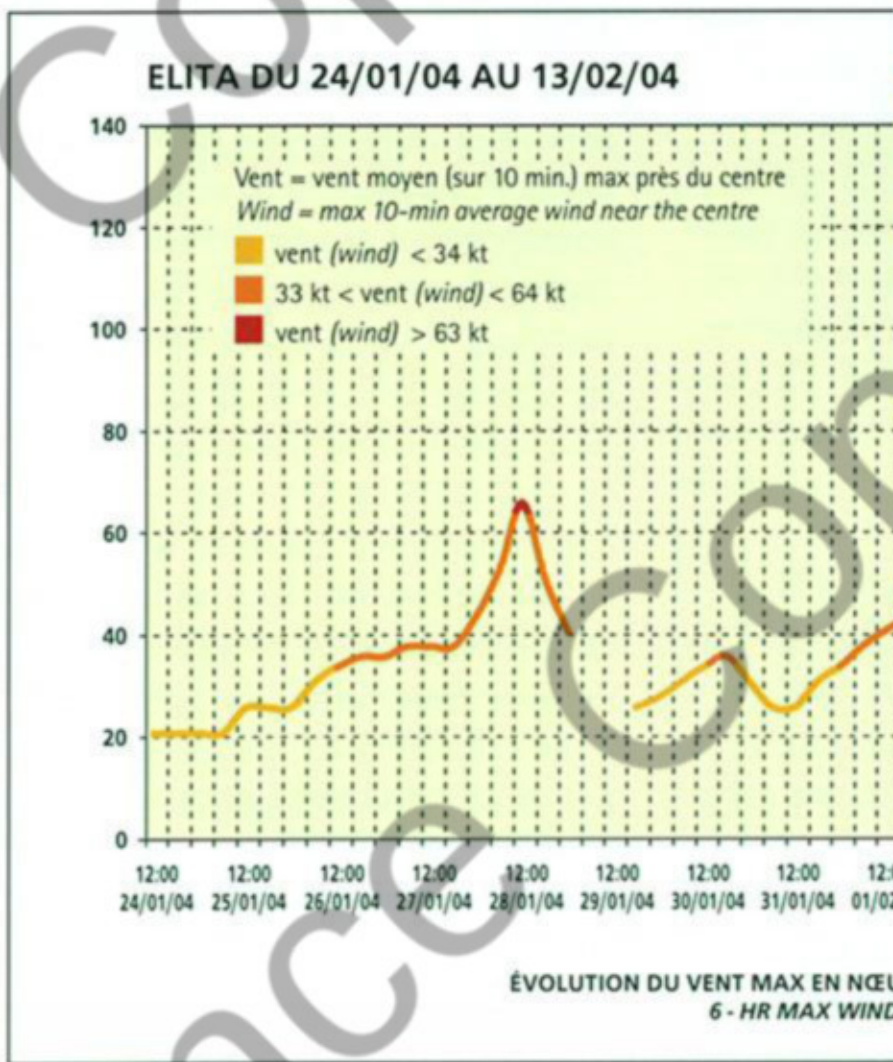
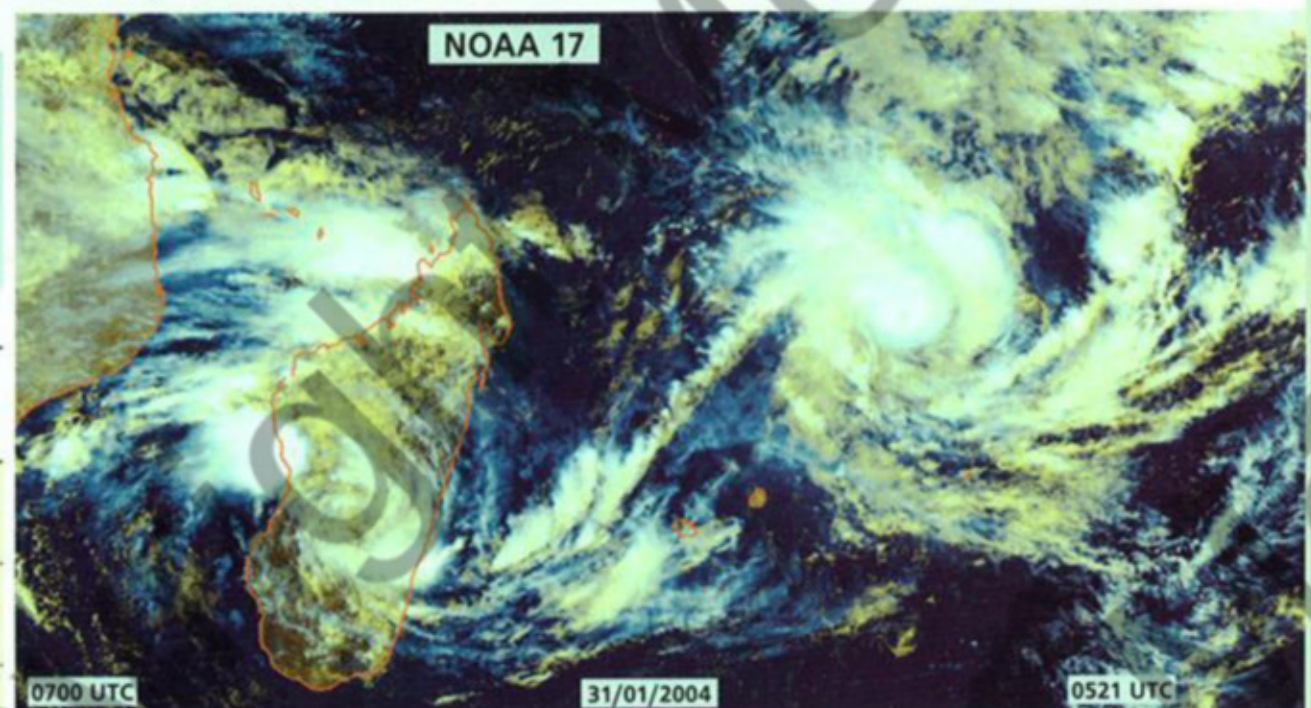
Sa présence conjuguée avec celle du cyclone tropical FRANK au nord-est des Mascareignes, aura par ailleurs entretenu un épisode rare de vents d'ouest à nord-ouest (flux de mousson) sur toute une vaste zone de la partie ouest du bassin. A la fois assez fort et surtout d'une durée exceptionnelle, cet épisode de vents d'ouest a entretenu une houle inhabituelle sur les côtes les plus exposées de La Réunion et de l'île Maurice.



Météo France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

ELITA sur terre lors de sa deuxième traversée de Madagascar. Au nord des Mascareignes, le cyclone FRANK vient de faire volte-face vers l'est après avoir atteint le point le plus à l'ouest de sa trajectoire. Noter le "bras de liaison" nuageux reliant les deux circulations dépressionnaires.

ELITA overland while crossing Madagascar for the second time. North of the Mascarene Islands tropical cyclone FRANK had just turned back eastward after reaching the western-most point of its trajectory. Notice the cloud string linking the two clockwise circulations.



Frank

Cyclone Tropical Intense du 26 janvier au 9 février 2004

Intense Tropical Cyclone "Frank" (26 January-09 February 2004)

FORMATION

En liaison avec le développement, puis la propagation vers l'est, d'une phase d'activité marquée de la MJO (Oscillation de Madden-Julian), trois cyclogenèses vont se produire en cascade fin janvier, d'ouest en est du bassin. Dans la foulée de la zone perturbée apparue sur le Nord du Canal de Mozambique et aboutissant à la genèse d'ELITA le 26 janvier, la seconde perturbation va naître plus à l'est, sur la zone océan Indien, au nord-est des Mascareignes. Le point de départ remonte à cette même journée du 26 janvier, avec l'isolement au sein de la Zone de Convergence Intertropicale d'un minimum dépressionnaire à quelque 900 km au nord de l'île Rodrigues. Situé en marge sud-est de la zone convective associée, ce minimum évolue dans un environnement caractérisé par une bonne divergence d'altitude, mais également l'existence d'un cisaillement vertical de vent modéré d'est, qui va tendre toutefois à diminuer sensiblement entre le 27 et le 28 janvier. Cette baisse du cisaillement de vent jusqu'à un niveau proche de zéro, va favoriser une organisation rapide du système, via la mise en phase et le puissant développement de la convection au-dessus du minimum dépressionnaire. En moins de 24h de temps, la perturbation embryonnaire se transforme en forte tempête tropicale, stade considéré atteint dès avant la mi-journée du 28 janvier, le météore ayant préalablement reçu le nom de FRANK, en début de matinée.

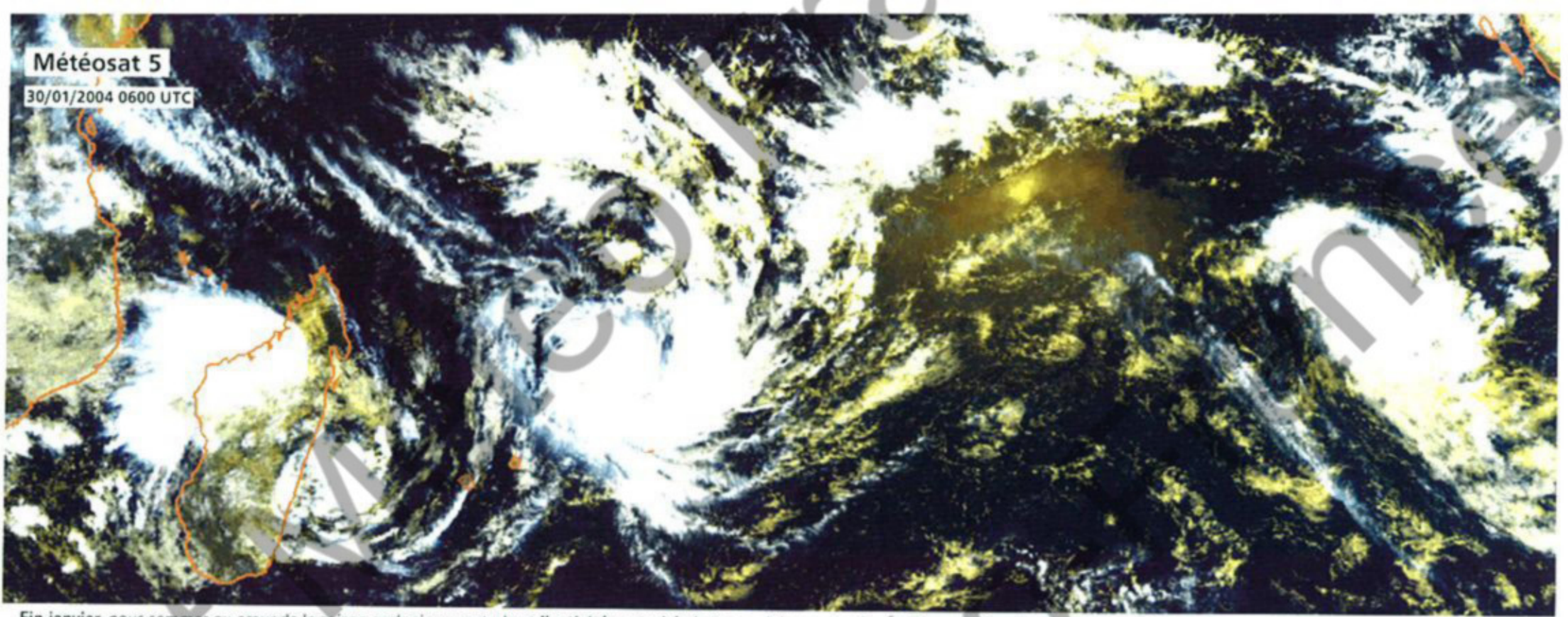
ÉVOLUTION

Le système nuageux développe rapidement un embryon d'œil déchiqueté sur l'imagerie visible. Au cœur du petit CDO -amas nuageux central dense- qui l'entoure (une centaine de km de diamètre), cet œil gagne ensuite en définition en soirée sur l'imagerie micro-onde, puis devient apparent en fin de nuit suivante sur l'imagerie infra-rouge. Cette évolution amène à classer FRANK au stade minimal de cyclone tropical peu avant l'aube du 29 janvier. 36h plus tôt, le phénomène n'en était encore qu'au stade de simple perturbation tropicale. S'étant décalé dans l'intervalle en direction générale du sud-sud-ouest, en marge occidentale d'une petite cellule anticyclonique de moyenne troposphère, le centre de FRANK se situe à cet instant à moins de 500 km au nord de l'île Rodrigues et continue de s'en rapprocher lentement (vitesse moyenne de déplacement inférieure à 10 km/h), sur une trajectoire qui va tendre à s'infléchir progressivement plus sud-ouest au fil de la journée du 29. Après une cyclogenèse et une phase initiale de développement pouvant être qualifiées d'explosives, le processus d'intensification marque une pause en cette journée du 29. L'œil périclité, puis disparaît même, tant sur l'imagerie satellitaire classique que micro-onde, cette dernière amenant qui plus est un éclairage supplémentaire sur l'origine de cette destruction du cœur de FRANK, en pré-

sentant la signature évidente de la présence d'une contrainte cisailée de nord. Celle-ci est liée au rapprochement par l'ouest d'un petit talweg de haute troposphère venu s'insérer dans le domaine tropical. Axé la veille au niveau des îles sœurs de La Réunion et de Maurice, l'influence positive qu'il exerçait alors, via le renforcement du flux sortant d'altitude de FRANK (le flux de nord présent à l'avant du talweg agissant comme un courant d'évacuation efficace du côté polaire, s'est muée en contrainte négative, via le renforcement du cisaillement vertical de vent généré par ce même flux d'altitude de nord.

Mais cette situation défavorable qui, si elle avait perduré, aurait pu impacter de manière rapidement irrémédiable FRANK, la petite taille de ce système le rendant très vulnérable à une ventilation même modérée, va s'avérer transitoire. Entre le 29 et le 30, le talweg précité se comble brutalement et son extension méridienne reflue au sud du 20ème parallèle Sud. Conséquence immédiate : le cisaillement de vent est annihilé au voisinage de FRANK. Le météore n'en demandait pas tant et va aussitôt mettre à profit ces conditions favorables de développement retrouvées pour se ré-intensifier. L'œil se reconstitue en fin de nuit du 29 au 30 et FRANK atteint finalement ce qui s'avérera constituer un premier pic d'intensité en début de nuit du 30, au stade minimal de cyclone tropical intense.

Le début de cette nouvelle phase d'intensification a également correspondu avec un changement de trajectoire du cyclone. Parvenu à quelque 375 km au nord de Rodrigues, le météore a en effet incurvé en direction du nord-ouest. La situation est, en terme de flux directeur, très complexe et évolutive. Les modèles numériques présentent d'ailleurs un large spectre de prévisions contradictoires, entretenant ainsi l'incertitude sur le devenir de la trajectoire future de FRANK. Outre l'effacement du talweg d'altitude précité, avec pour corollaire la suppression correspondante de la composante nord du vent en altitude au niveau de FRANK, on note l'affaissement de la cellule de hauts géopotentiels de moyenne troposphère située à l'est de la perturbation, et,



Fin janvier, nous sommes au cœur de la saison cyclonique australe et l'activité perturbée bat son plein sur l'océan Indien sud. Consécutivement au développement et à la propagation vers l'est de la plus puissante pulsation de la MJO (oscillation de Madden-Julian) observée durant cette saison (voir page B4), trois systèmes dépressionnaires se sont développés en cascade d'ouest en est du bassin. Après le cyclone ELITA, qui tente de se régénérer au large des côtes malgaches après avoir traversé une première fois la Grande Ile, le cyclone FRANK a pris le relais au nord de l'archipel des Mascareignes et est désormais à maturité, tandis que plus à l'est la tempête tropicale LINDA, formée en dernier, vient d'être nommée par le Centre australien de Perth et est encore en phase d'intensification à proximité des îles Cocos.

End of January, which corresponds to the heart of the cyclone season, the disturbed activity was in full swing in the South Indian Ocean. Following the development and eastward propagation of the most powerful active phase of the Madden-Julian oscillation observed during this cyclone season (see page B4), three tropical systems blossomed in a row west to east of the basin. Taking over from tropical cyclone ELITA, which was attempting to regenerate off the eastern coast of Madagascar after having completed its first trek across the Big Island, FRANK had developed north of the Mascarenes Archipelago and was now a mature tropical cyclone, while more to the east the last-born tropical storm LINDA had just been named by the Australian warning Centre of Perth and was still intensifying near Cocos Islands.

au contraire, le renforcement des hautes pressions au sud du système, que ce soit en basse ou moyenne troposphère. Le changement de trajectoire de FRANK est donc probablement dû à une prise de contrôle du flux directeur par ces dernières. Toujours est-il que cette lente dérive en direction du nord-ouest ne va se prolonger que durant un peu plus de 24h, prenant fin au petit matin du 31 janvier ; le cyclone stationne alors sur place durant quelques heures, puis rebrousse chemin en direction du sud-est.

Revenant ainsi sur ses pas, toujours lentement, le météore se retrouve confronté à une alimentation énergétique quelque peu défailante. Par suite du refroidissement océanique engendré consécutivement à son premier passage initial, les eaux de surface ont en effet perdu quelques degrés (refroidissement classiquement généré par upwelling et brassage turbulent de la couche de mélange océanique). FRANK pâtit en outre du rétablissement d'une contrainte cisailée, de secteur sud-est cette fois. Conséquence immédiate de l'influence cumulée de ces éléments contraires, le météore montre des signes d'affaiblissement : le CDO central, déjà peu étendu, tend à se réduire encore, les sommets nuageux associés se réchauffant dans le même temps, tandis que l'œil présent en son sein tend à s'excentrer du côté sud-est du CDO, tout en devenant évanescent. Ce moment difficile, FRANK va toutefois le passer sans trop de dommages au final (se résumant

FORMATION

In conjunction with the development and eastward propagation of a marked active phase of the Madden Julian Oscillation (MJO), three cyclogenesis occurred one after the other end of January west to east of the basin. Soon after the disturbed zone appeared north of the Mozambique Channel and which yielded the genesis of ELITA on 26 January, the second disturbance emerged more to the east on the Indian Ocean zone northeast of the Mascarene Islands.

Its inception can be traced back to the 26 January when a low circulation closed up within the Intertropical Convergence Zone some 900 km north of Rodrigues Island. Situated on the fringe of the southeastern boundary of the related convective area, this low evolved in an environment associated with good upper divergence and the presence of a moderate easterly windshear that tended to weaken significantly between 27 and 28 January however. This abatement of the windshear close to none fostered a swift organisation of the system via a massive blow up of convection vertically stacked with the depression low. In less than 24h the nascent disturbance turned into a severe tropical storm whose stage was considered reached before the middle of the day on 28 January, the meteor being named FRANK prior to that in the early morning.

EVOLUTION

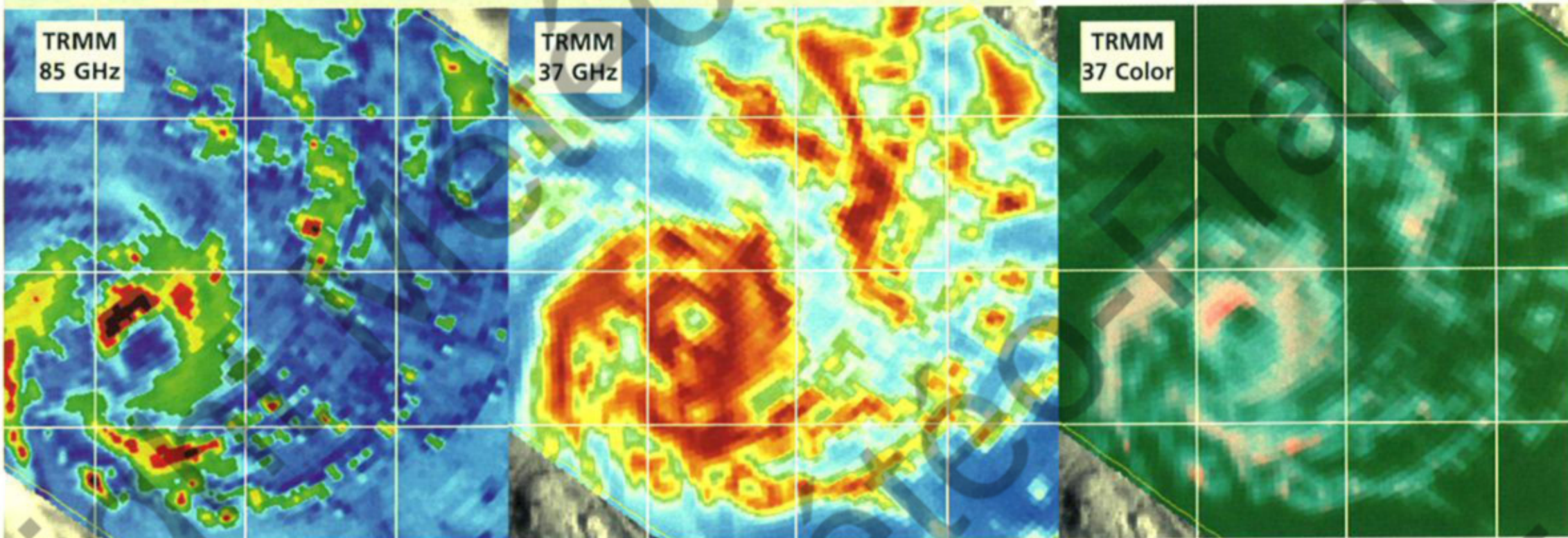
Very soon, the cloud system developed an embryonic ragged eye on the visible imagery. In the middle of the small CDO (Central Dense

Overcast) that encircled it (about 100 km in diameter) the eye gained definition by the evening on the microwave imagery and then became visible at the end of the following night on the infrared imagery, which led FRANK to be upgraded at minimal tropical cyclone stage shortly before daybreak on 29 January. 36 hours earlier the phenomenon was just a mere tropical disturbance.

Having shifted south-southwestwards in the meantime in the western periphery of a small anticyclonic cell of middle troposphere, FRANK's centre was then spotted less than 500 km to the north of Rodrigues Island and kept approaching it slowly (average travelling speed of under 10 km/h) on a track that tended to gradually veer more southwestward as the day on 29 January went on.

After an initial development phase and a cyclogenesis that could be stated as explosive, the intensification process was stopped on 29 January. The eye collapsed and then disappeared on both the satellite and microwave imageries, the latter giving an additional clue as to the origin of the destructuring of FRANK's core by showing the obvious signature of a northerly sheared constraint.

The sheared constraint was related to the approaching from the west of a small trough of high troposphere that had wedged in the tropical domain. With its axis standing the day before at the level of the Sister Islands of Reunion and Mauritius, the positive influence it was then exerting via the enhancement of FRANK's upper outflow (the northerly stream flowing ahead of the trough acting as an efficient poleward outflow channel) had turned into a negative constraint by the strengthening



FRANK au stade de tempête tropicale modérée, vu par l'imagerie micro-onde (image du 28/01/2004 à 0215 UTC). Alors qu'il s'apprête à être baptisé, le météore présente sur ces images TRMM une circulation de basses couches déjà bien affirmée, comme en témoignent les images ci-dessus dans le canal 37 GHz (canal plus sensible aux hydrométéores liquides et qui investigate donc la basse troposphère). A ce stade de développement précoce, une signature micro-onde aussi nette, avec en particulier un centre parfaitement défini (identifiable grâce à la zone centrale dénuée de précipitations), est souvent le gage d'un potentiel de développement important et d'une intensification à venir plus rapide que la normale. Cela va effectivement se vérifier pour FRANK.

FRANK at moderate tropical storm stage as viewed by the microwave imagery (28/01/2004 at 0215 UTC). While it would soon be named, the meteor displayed a well defined low-level circulation on the TRMM images, as testified by the above images in the 37 GHz channel (which is more sensitive to the liquid hydrometeors and thereby investigates in the lower troposphere). At this early stage of development such a clear microwave signature, namely including such a perfectly well depicted low level circulation centre (identifiable thanks to the central rain-free area), generally augurs an important potential of development and intensification rates above normal. This was indeed verified for FRANK.

of the vertical windshear generated by this upper northerly flow.

However, this unfavourable situation which – if long-lasting – might have had a rapidly irretrievable impact on FRANK given the small size of the system which made it very vulnerable to any – even moderate – ventilation turned to be transitory. Between 29 and 30 January the abovementioned trough filled all of a sudden and its meridian extension surged back south of latitude 20° South causing an immediate annihilation of the windshear nearby FRANK. The meteor jumped on the opportunity to take advantage of these favourable conditions recovered and re-intensified. An eye rebuilt in the early morning of 30 January and FRANK finally reached a first peak of intensity early in the night on 30 January at the minimal stage of intense tropical cyclone status.

The beginning of this new intensification phase had also corresponded to a change in the cyclone's trajectory since the meteor had indeed recurved northwestwards once arriving some 375 km north of Rodrigues. The situation was very complex and evolutionary in terms of steering flow. The numerical models indeed displayed a wide spreading of contradictory track forecasts thus fostering uncertainty as to what would be FRANK's next course. Beside the disappearing of the abovementioned upper trough, with the consequence of suppressing the upper northerly component of the steering flow near FRANK, one could notice the sinking of the high geo-potential cell of middle

troposphere standing east of the disturbance while to the contrary high pressure were building south of the system both in the lower and middle troposphere. FRANK's track change might therefore be attributed to a takeover of the steering flow by this latter high pressure. Nonetheless, the slow drifting of the system towards the northwest lasted only a little over 24 hours and ended at dawn on 31 January; then the cyclone stalled for a few hours and turned back southeastwards.

As it retraced its track, still at a slow pace, the meteor incurred a drop in energy supply. As a result of the ocean cooling generated by the first initial passage of the meteor, the sea surface temperature had indeed dropped by a few degrees (classic cooling generated by upwelling and turbulent mixing of the oceanic layer). FRANK was also faced with the re-establishment of a shearing constraint – this time from the southeast. As a consequence of the cumulated impact of those adverse elements, the meteor showed signs of weakening: the already narrow central CDO tended to shrink further while the associated cloud tops warmed up. At the same time the embedded eye tended to be displaced on the southeastward side of the CDO while vanishing. Nevertheless FRANK would go through those difficult times without too much trouble at the end (only undergoing limited filling).

In the middle of the day of 1st February, the centre of the meteor – now back to the stage of a mere tropical cyclone – cut through the track it had been following 48 hours earlier thereby

à un comblement limité).

En milieu de journée du 1er février, le centre du météore, redevenu simple cyclone tropical, recoupe la trajectoire suivie 48h plus tôt, achevant ainsi de décrire une pseudo-boucle dans le secteur nord de Rodrigues. Le déplacement, orienté est à cet instant, vient de connaître une brusque accélération et va rapidement s'établir à environ 20 km/h de vitesse, sur un cap s'infléchissant légèrement est-sud-est. Cette nouvelle donne d'un déplacement enfin franc et déterminé, fait suite à la prise en main affirmée du flux directeur par le puissant courant d'ouest à nord-ouest déjà évoqué pour ELITA et venu occuper, en ce début du mois de février, toute une vaste partie du domaine tropical située de part et d'autre du 10ème parallèle Sud, que ce soit en basse ou moyenne troposphère.

La pseudo-boucle achevée, FRANK retrouve, en s'éloignant de ses traces, des eaux plus chaudes. Comme dans le même temps le cisaillement a de nouveau diminué, les paramètres sont à nouveau au vert pour le météore, qui de fait entame aussitôt un nouveau cycle d'intensification. Bien que de durée limitée – une quinzaine d'heures –, il va s'avérer extrêmement efficace, amenant le phénomène jusqu'à son maximum d'intensité, en fin de nuit du 1er au 2 février. FRANK est alors un cyclone tropical intense associé

à des vents maximaux estimés atteindre les 100 nœuds en vents moyens sur 10 minutes (ce qui signifie des rafales maximales sur mer de l'ordre de 260 km/h). Le système nuageux s'est étoffé, mais reste de taille moyenne (environ 300 km de diamètre pour la partie principale). FRANK commence à légèrement s'affaiblir la nuit suivante, puis temporairement de manière un peu plus significative en journée du 3, du fait de l'occurrence d'un premier cycle de l'œil. Celui-ci prend fin dès la soirée et aboutit au remplacement du petit œil initial par un œil de dimension nettement supérieure (50 à 60 km de diamètre). Après avoir été temporairement déclassé en cyclone tropical pendant le cycle de l'œil, FRANK retrouve son statut de cyclone tropical intense, avec une intensité quasiment équivalente à celle qui lui était reconnue avant ce cycle de l'œil.

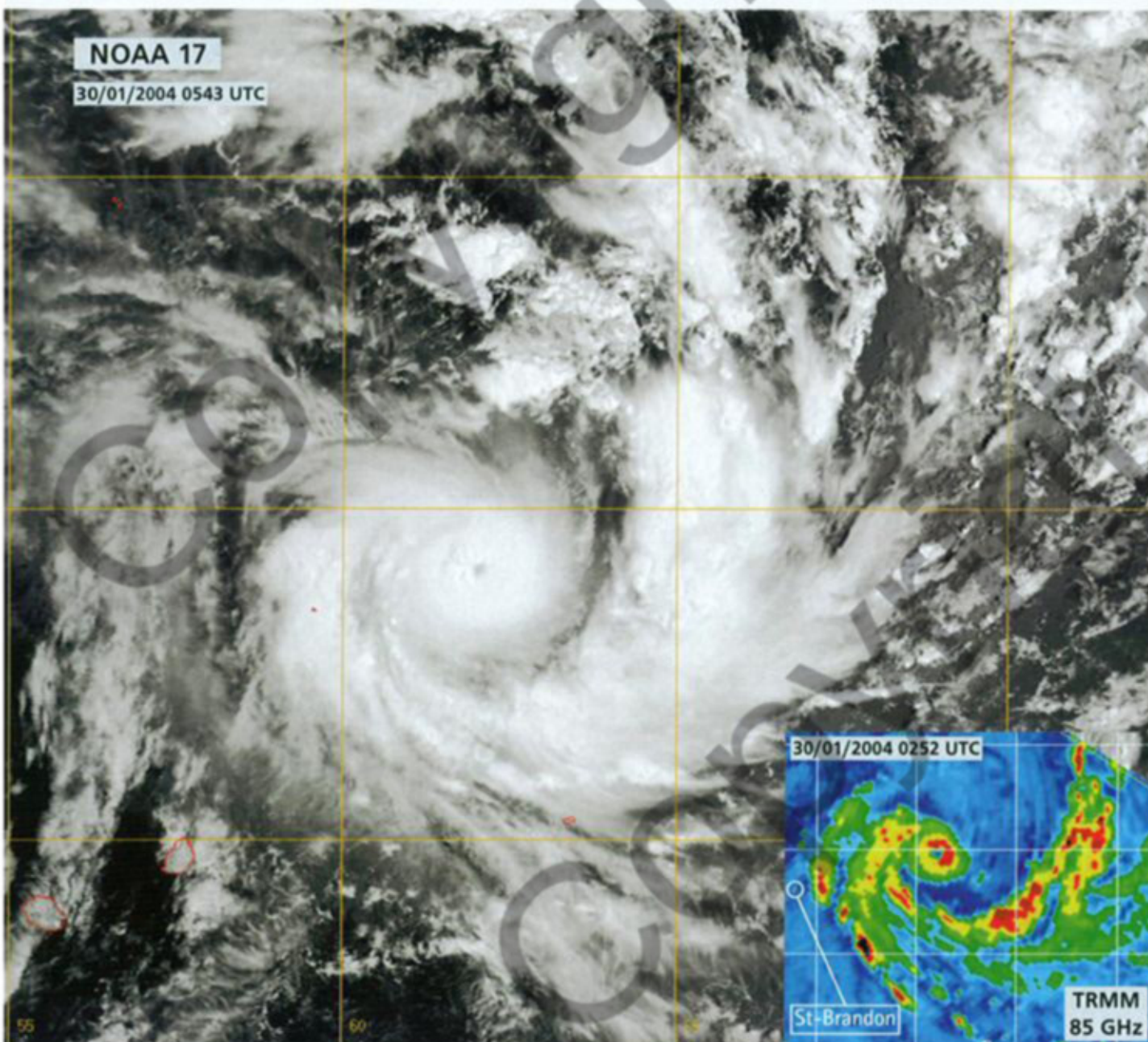
Mais ce nouvel état se révèle éphémère, puisqu'un second cyclone de l'œil débute

presque aussitôt, en journée du 4. Très net, y compris sur l'imagerie visible, ce nouveau cycle de remplacement de l'œil ne pourra toutefois pas aller totalement jusqu'à son terme cette fois. En soirée, alors que l'œil interne est en voie de dissipation, l'anneau concentrique de convection externe se déchire dans sa partie sud-est. Cette érosion, parfaitement bien appréhendée par l'imagerie micro-onde (voir page 57), est la signature classique d'une ventilation excessive. Celle-ci résulte d'un renforcement du flux d'altitude de sud-est issu d'une cellule de hauts géopotentiels initialement située au sud des Mascareignes et qui, en se décalant vers l'est, vient se glisser progressivement au sud de FRANK. Le cyclone évolue à ce moment-là au niveau du 70ème méridien Est, sur une trajectoire orientée depuis la veille au sud-sud-ouest. Le changement de cap est intervenu après que le météore a buté, dans sa course préalable vers l'est-sud-

finishing to describe a pseudo-loop in the northern sector of Rodrigues Island. Its motion - bearing eastward at the time - had just promptly picked up in forward speed, which soon established at about 20 km/h, while assuming a heading shifting slightly south of due east. This new and at last definite motion accrued from the powerful west-to-northwesterly current (already mentioned for ELITA) firmly taking over the steering flow after having spread over the major part of the tropical domain either side of latitude 10°South both in the lower and mid troposphere beginning of February.

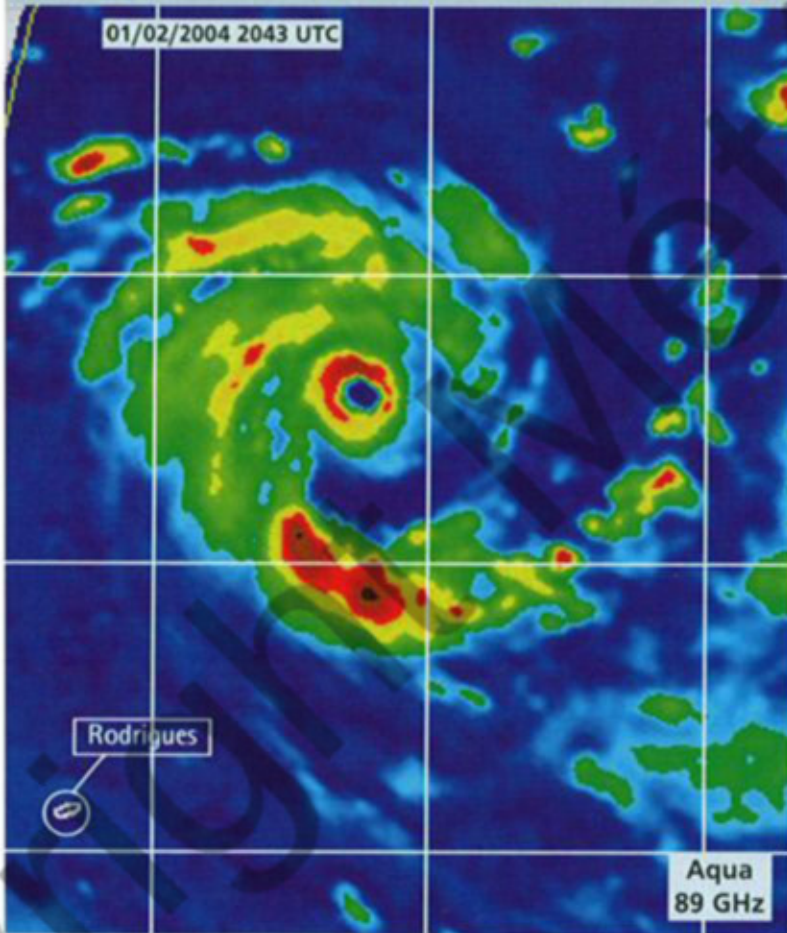
Once FRANK had completed its pseudo loop, it went back to warmer waters while edging away from its former track. As in the meantime the windshear had once again subsided, all parameters were again favourable for the meteor which as a result started a new intensification cycle. While short-lasting (about 15h), it proved to be very efficient and brought the phenomenon to its maximum of intensity in the late night of 1st February. FRANK was then an intense tropical cyclone associated with maximum winds of 100 knots in 10-min average (which meant that maximum gusts at sea reached 260 km/h). The cloud system had filled out but remained of average size (about 300 km in diameter for its main part).

FRANK started to weaken slightly the following night and then temporarily more significantly on 3rd February due to the occurrence of a first eyewall cycle. This eyewall cycle ended in the evening and led to the tiny initial eye being replaced by a much larger eye (50 to 60 km in diameter). After being downgraded to a mere tropical cyclone for a short span during the eyewall replacement cycle, FRANK recovered its initial status of intense tropical cyclone with an intensity almost equivalent to the one it was credited with prior to its eyewall cycle. However, this new stage was short-lived as a second eyewall cycle started soon after in the course of the day of 4 February. This very well depicted new eyewall replacement cycle - on the visible imagery as well - did not come to completion though this time. In the evening, while the inner eye was dissipating, the concentric outer ring of convection tore in its southeastern part. This erosion - thoroughly analysed by the microwave imagery (see page 57) - was the classic mark of excessive ventilation caused by a reinforced upper southeasterly flow stemming from the high geopotential cell situated first south of the Mascarene Islands and that was now gradually sliding south of FRANK while swinging eastward.



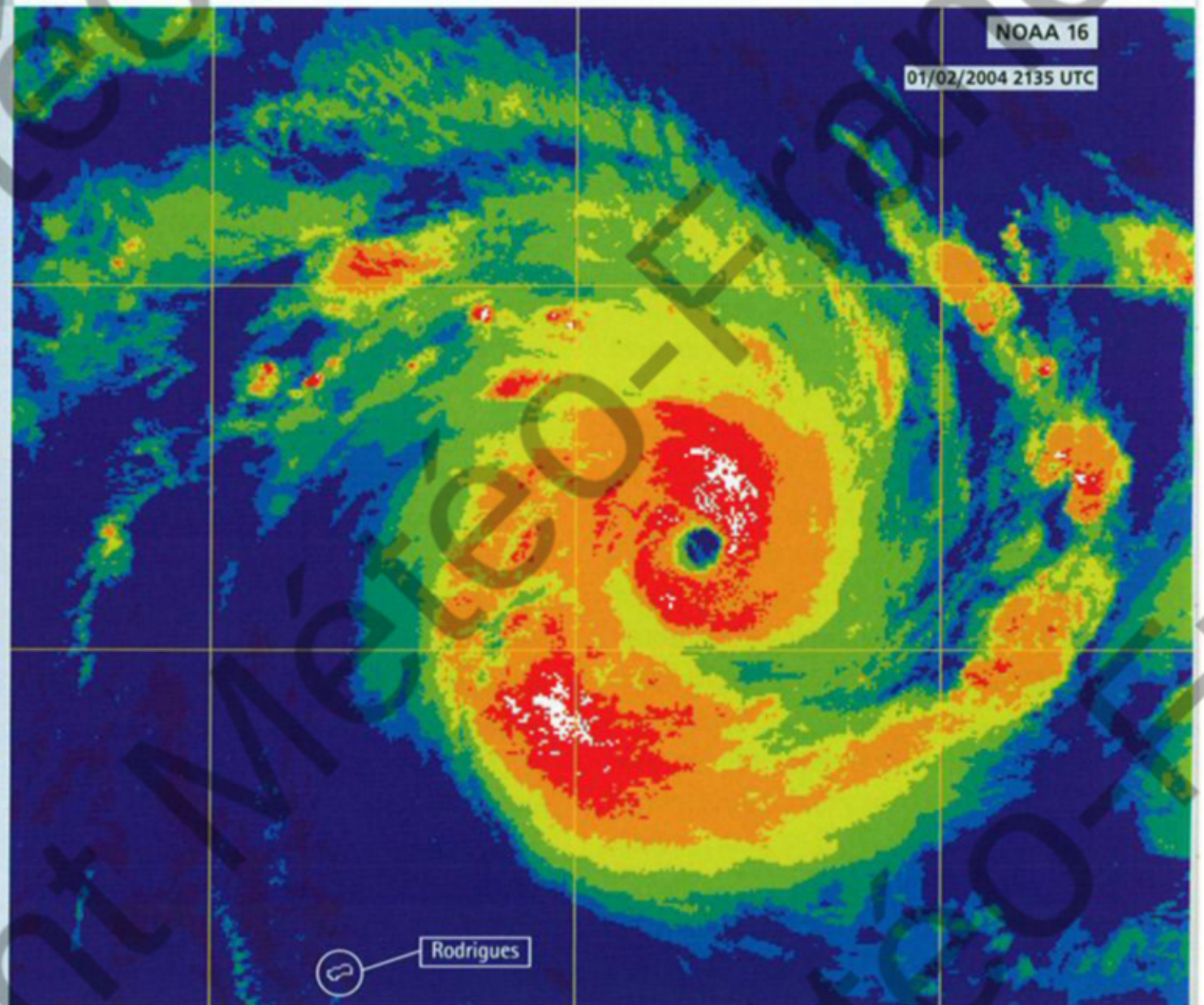
Le cyclone tropical FRANK, en cours d'intensification entre St-Brandon et Rodrigues. Alors centré à moins de 280 km à l'est de St-Brandon, il atteindra quelques heures plus tard son premier pic d'intensité. Le cœur central du météore fait environ 200 km de diamètre, mais la partie la plus active est elle concentrée sur une centaine de km d'extension horizontale d'après l'image micro-onde TRMM.

Tropical cyclone FRANK while intensifying between St-Brandon and Rodrigues Islands. Centred less than 280 km east of St-Brandon at the time, it would reach its first peak of intensity a few hours later. The inner core of the meteor was about 200 km wide but its most active part was concentrated within an area whose horizontal extension barely reached a hundred km wide according to the TRMM microwave imagery.



FRANK peu avant son maximum d'intensité (image en infrarouge renforcé -palette de couleurs par gamme de températures adaptée à l'analyse Dvorak de l'intensité des systèmes dépressionnaires tropicaux- et image micro-onde du satellite Aqua). L'œil fait un peu moins de 25 km de diamètre.

FRANK shortly prior to its intensity peak (enhanced infrared image - colour set of temperatures designed for the Dvorak analysis of the intensity of tropical systems- and microwave image of the Aqua satellite). The eye's size is slightly less than 25 km in diameter.

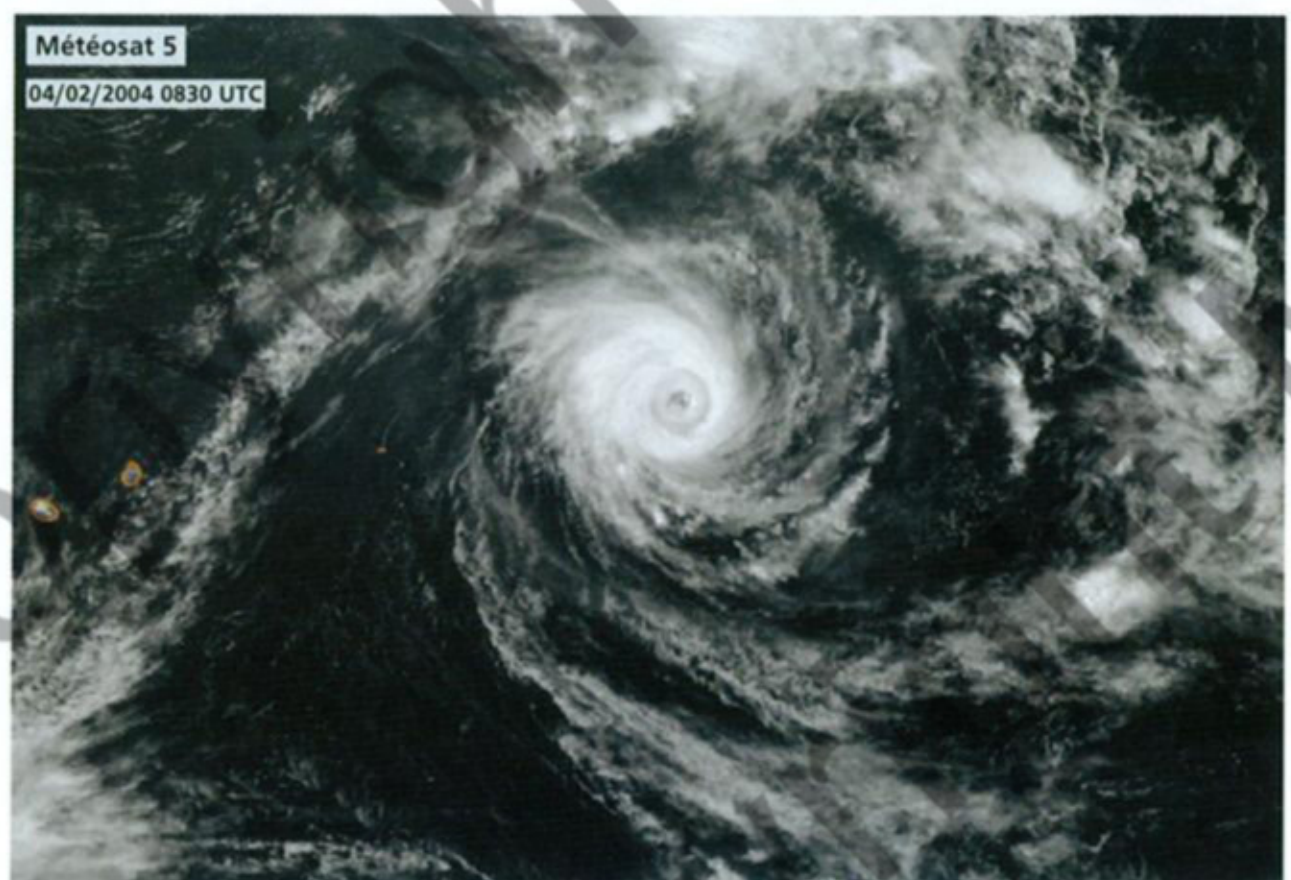


The cyclone was evolving near longitude 70° East at the time, heading south-southwest since the previous day. This change of trajectory had occurred after the meteor bumped into an anticyclonic cell of mid troposphere settled on the eastern portion of the basin while trekking east-southeastward. This first track swerving was soon followed by another one. Due to the relatively sharp-cornered high pressure pattern, FRANK while retreating around this mid-level ridge was compelled to a new change of direction by 90° in the early morning of 5 February as it reached the southeastern edge of the ridge, slightly north of latitude 20° South.

The cyclone now heading southeastward was already in its destructuring phase at the time. The eye had just about disappeared when, under the impact of the vigorous upper flow, the low-level circulation centre unveiled on the microwave imagery, being exposed just outside the southeast boundary of the residual convection. The vertical windshear was now exceeding 20 knots and kept increasing, speeding up the splitting off of the lower-layer circulation. During the night of 5 February, FRANK lost its status of tropical cyclone and on 6 February in the morning, the low clouds vortex became totally exposed. The moment when the decoupling between the low-level circulation and the upper levels intervened was clearly marked out: the speed of motion had

est, sur une cellule anticyclonique de moyenne troposphère positionnée sur l'est du bassin l'obligeant à obliquer ainsi. La configuration relativement anguleuse de ces hautes pressions, fait que leur contournement va s'accompagner d'un nouveau changement de direction à 90°. Parvenu en limite sud-ouest de la dor-

sale, légèrement au nord du 20ème parallèle Sud, FRANK incurve en effet en direction du sud-est au petit matin du 5 février. A cet instant, le cyclone est déjà en voie de déstructuration. L'œil n'a pas disparu depuis bien longtemps que déjà, sous l'impact du vigoureux flux d'altitude, le centre dépressionnaire se dévoile sur l'ima-



Structure à double œil pour FRANK, lors de son second cycle de l'œil. Sur cette image visible on distingue clairement l'œil interne et l'anneau concentrique externe de convection qui l'entoure complètement, cet œil secondaire ayant vocation à supplanter et à remplacer l'œil interne.

Double eye structure for FRANK during its second eyewall cycle. On this visible picture one can clearly distinguish the inner eye and the concentric ring of convection that completely encircled it, this secondary eyewall being vowed to supersede and replace the inner eye.

gerie micro-onde, exposé en bordure sud-est de la convection résiduelle. Le cisaillement vertical de vent excède désormais les 20 nœuds et continue de s'accroître, accélérant la dissociation de la circulation de basses couches. Dans la nuit du 5 au 6, FRANK perd son statut de cyclone tropical et, au matin du 6 février, le vortex de nuages bas devient entièrement exposé. Le moment de la concrétisation du découplage entre la circulation de basses couches et l'altitude est en l'occurrence on ne peut plus clairement jalonné : la vitesse de déplacement a brusquement été multipliée par deux au cours des heures précédentes, matérialisant l'af-

suddenly doubled in the previous hours marking the emancipation of the steering flow from the upper environment (associated to winds of opposite direction which till then had hindered the southeastward motion).

In the following hours, FRANK sped even further. As it kept heading southeastward at more than 30 km/h, the residual depression continued to fill, but at a much slower pace despite its arrival onto cooler water (25°C in surface). In the late afternoon of 6 February, ex-FRANK, now declared as an extratropical depression, subsisted as a large vortex of low and middle clouds devoid of any convection. In the early hours of 8 February, the low centre crossed latitude 30°South and simultaneously shifted

heading east-southeastwards. It was no longer followed beyond longitude 95°East when the pressure was estimated to have climbed above 1000 hPa in the late afternoon of 9 February.

The thing FRANK and ELITA had in common was to describe unusual tracks and their coexistence was one of the most notable feat of the cyclone season. The second most intense phenomenon of the season, FRANK was mainly characterised by a very long life-cycle at the stage of tropical cyclone since it maintained this status for nearly eight days. In the recent history of the basin, only HUDAH (in 2000) had managed to stay longer at the cyclone stage, but not without any interruption though.

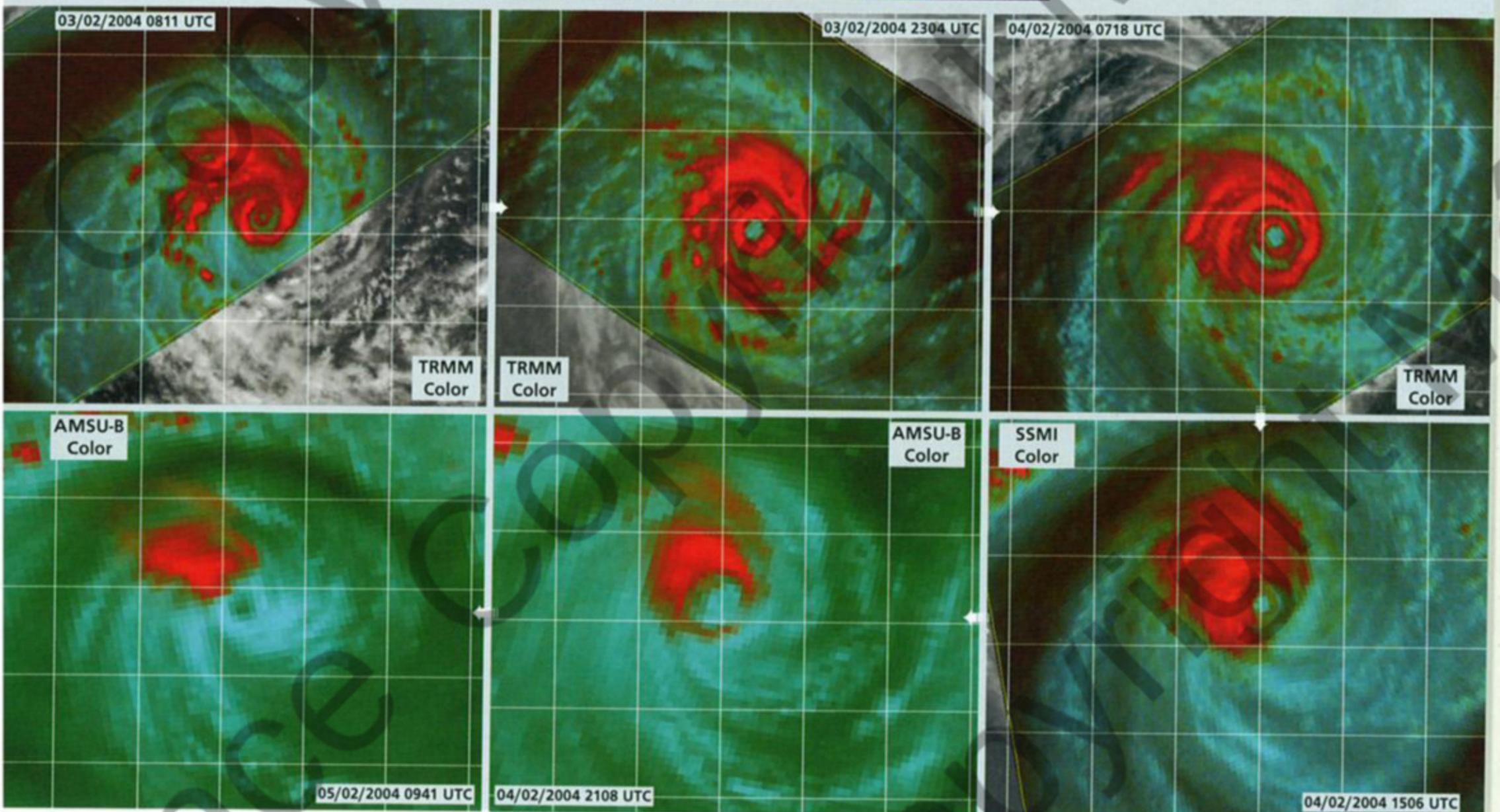
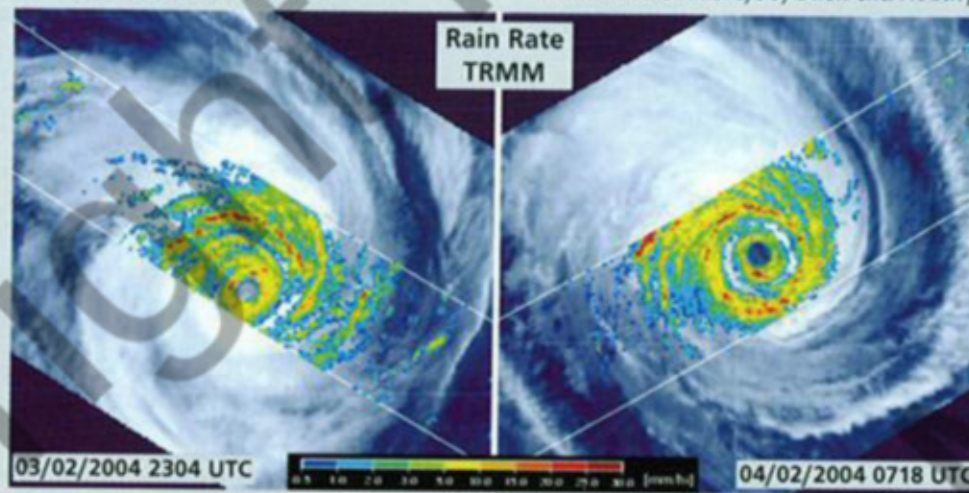
FRANK effectue deux cycles de l'œil successifs. Le cœur des cyclones de forte intensité reste rarement durablement stable et figé, étant souvent le siège de mutations internes associées à des cycles de remplacement de l'œil, au cours desquels l'œil initial est progressivement remplacé par un nouvel œil. FRANK n'a pas échappé à ce type d'évolution classique et, dans la foulée de son maximum d'intensité, il a même subi deux cycles de l'œil consécutifs.

Dans chacun des cas, l'imagerie micro-onde ou l'imagerie radar TRMM (quand sa fauchée réduite parvient à intercepter le cœur du cyclone) ont permis de bien appréhender les changements de structure du mur de l'œil interne et de l'anneau concentrique de convection externe. Le premier cycle de l'œil a ainsi abouti à la constitution d'un nouvel œil nettement plus large que l'œil initial. Le second cycle de l'œil a été lui interrompu avant terme, par suite de la ventilation excessive générée par l'irruption d'un flux de sud-est en altitude. Pénétrant jusqu'au cœur de la perturbation, avant dissipation complète de l'œil interne, celui-ci a, dans un premier temps, simplement eu pour effet

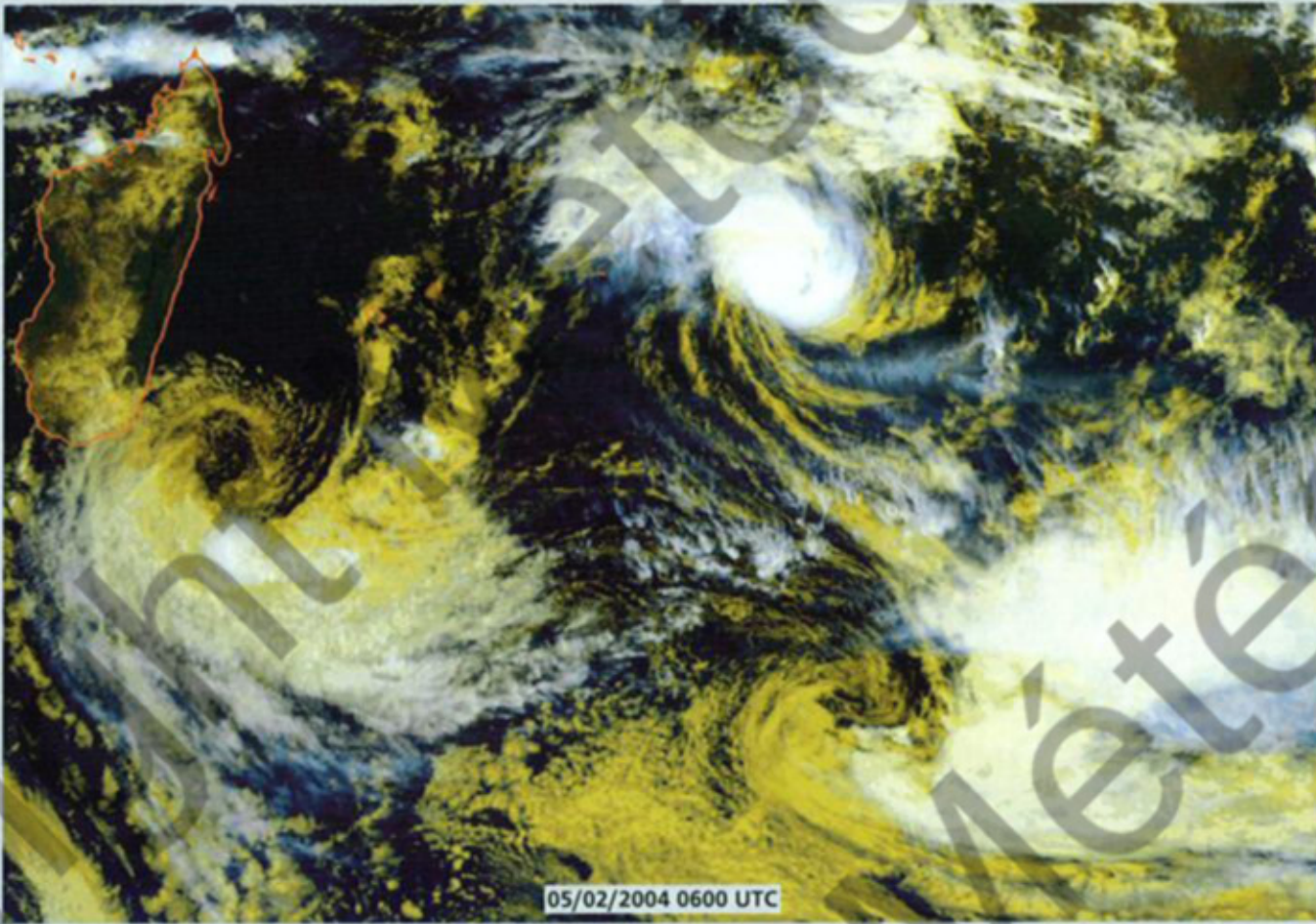
d'éroder la partie au vent de l'anneau de convection externe, mais son renforcement a ensuite provoqué le cisaillement brutal du système nuageux.

FRANK going through two successive eyewall cycles. The inner core of intense cyclones rarely remains stable and set, being often prone to mutations described as eyewall replacement cycles which consist in a gradual replacement of the initial eye by a new one. FRANK provided nice examples of such a typical evolution since it went

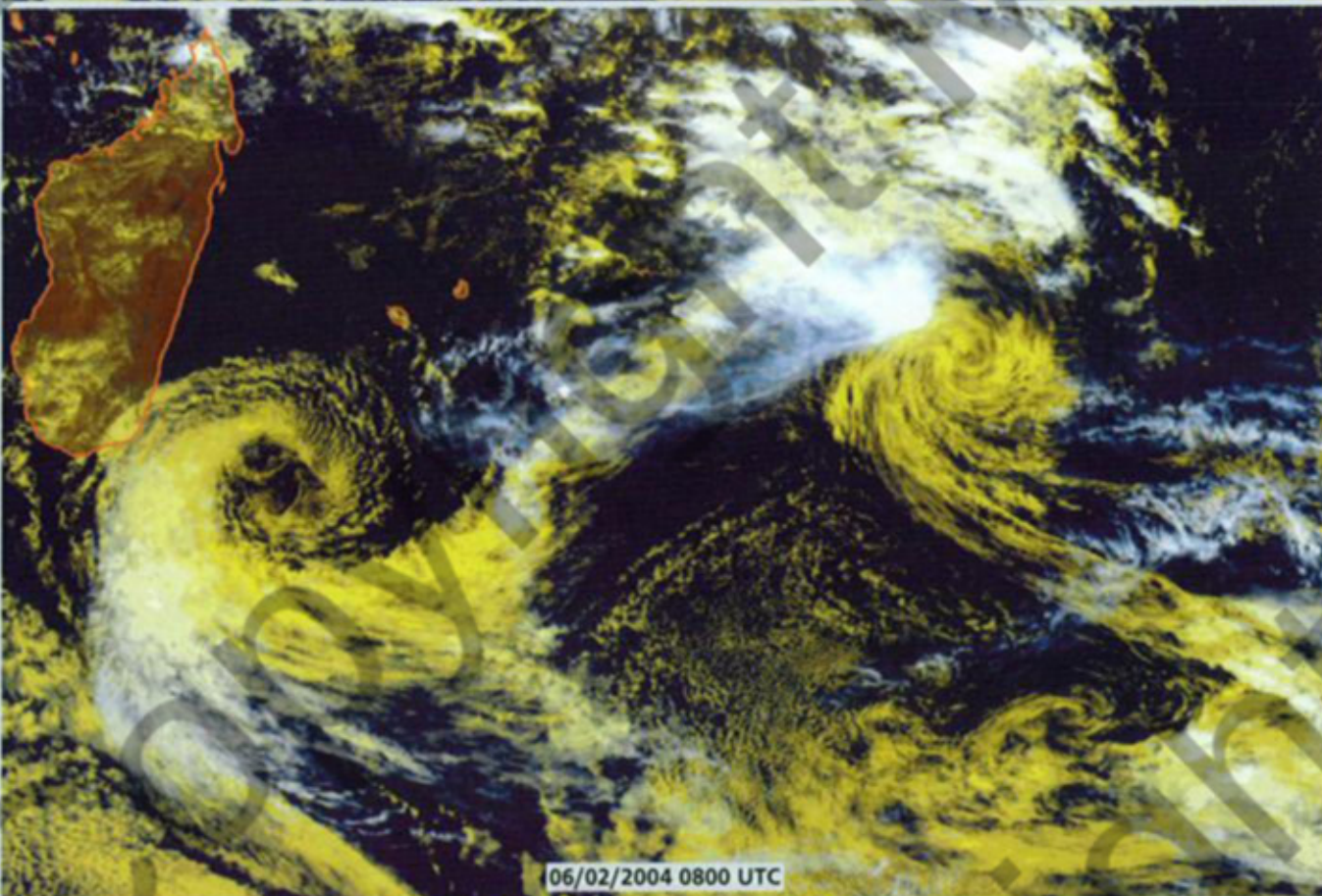
through two consecutive eyewall cycles after its intensity peak. Both the micro-wave imagery and TRMM radar imagery (when its narrower swath managed to catch the inner core of the cyclone) nicely captured the structure changes of the inner eyewall and of the concentric outer ring of convection. The first eyewall cycle yielded a new eye of larger size compared to the initial one. The second one was interrupted before its final completion due to the enhanced ventilation generated by the inroad of an upper southeasterly flow. Penetrating deeply into the core of the cyclone prior to the final dissipation of the inner eyewall these upper winds first simply resulted in the erosion of the windward side of the outer ring of convection but their strengthening thereafter caused the total disruption of the cloud system through vertical windshear.



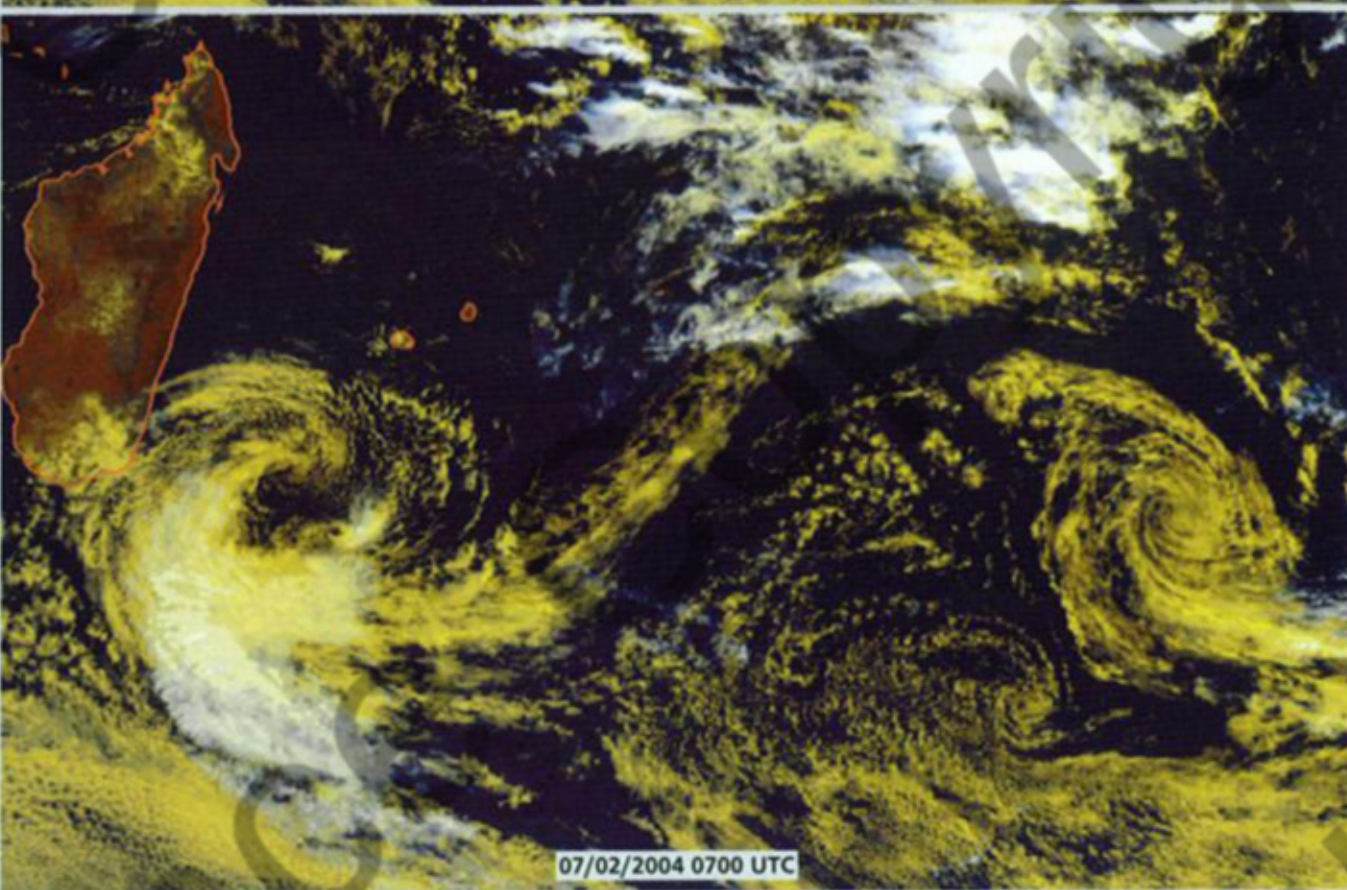
Météosat 5



05/02/2004 0600 UTC



06/02/2004 0800 UTC



07/02/2004 0700 UTC

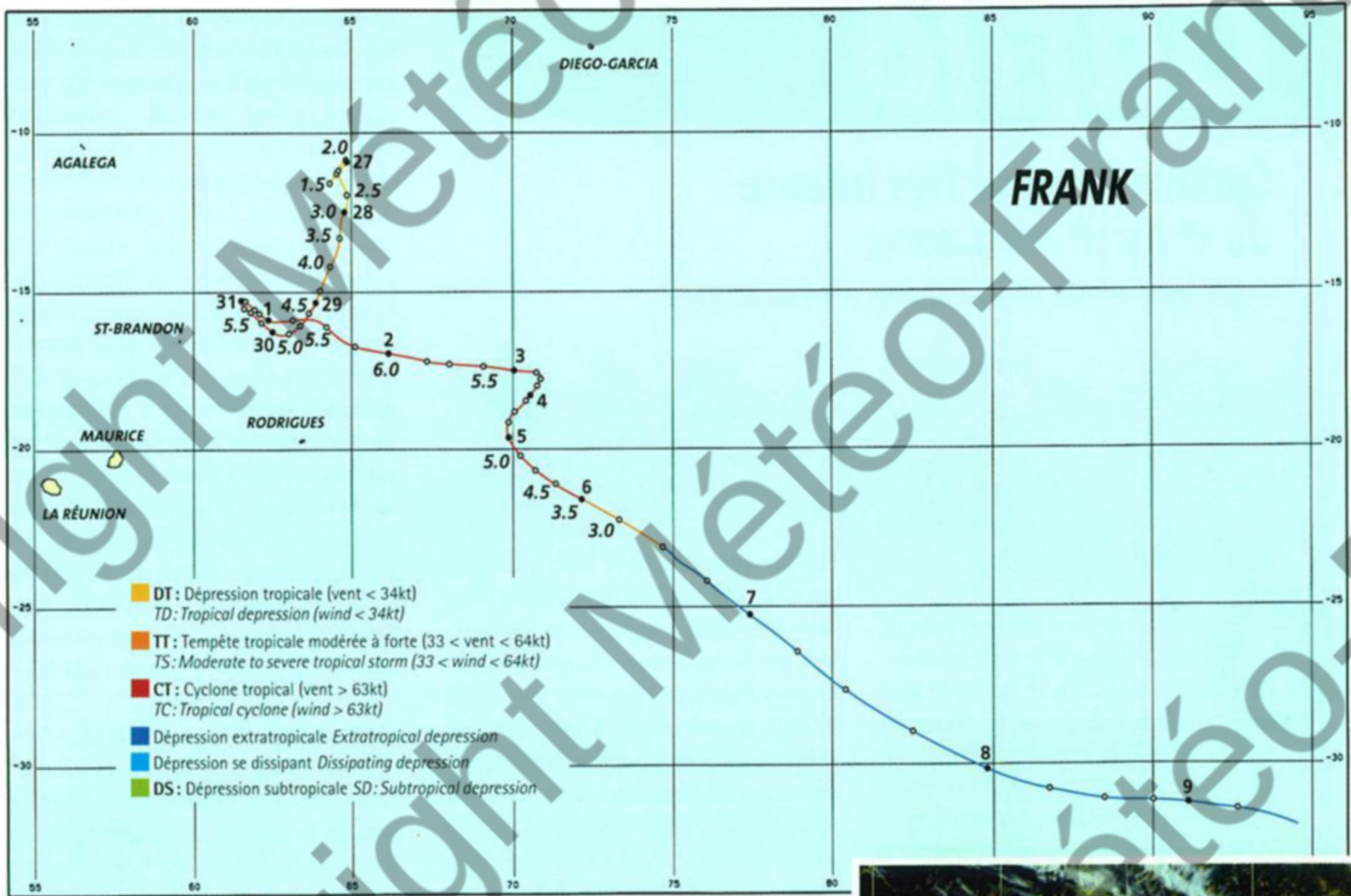
franchissement du flux directeur de l'environnement d'altitude (associé à des vents de direction opposée, qui constituaient jusque là un frein au déplacement sud-est).

Dans les heures qui suivent, FRANK accélère encore. Poursuivant à plus de 30 km/h de vitesse de déplacement sa course en direction du sud-est, la dépression résiduelle continue de se combler, mais à un rythme désormais nettement atténué, malgré son arrivée sur des eaux plus fraîches (de l'ordre de 25°C en surface). En fin de journée du 6, l'ex-FRANK, désormais déclaré dépression extratropicale, ne subsiste plus que sous la forme d'un large vortex de nuages bas et moyens dénué de convection. En début de journée du 8, le minimum dépressionnaire franchit le 30ème parallèle Sud et redresse au même moment sa course en direction de l'est-sud-est. Il cesse d'être suivi en fin de journée du 9, aux abords du 95ème méridien Est, alors que sa pression est alors estimée remonter au-dessus des 1000 hPa.

Ayant en commun une propension certaine à décrire des trajectoires peu orthodoxes, la coexistence de FRANK et d'ELITA aura constitué un des faits marquants de la saison cyclonique. Deuxième phénomène le plus intense de cette saison, FRANK se sera surtout caractérisé par une remarquable durée de vie au stade de cyclone tropical, puisqu'il aura maintenu ce statut quasiment huit jours durant. Dans l'histoire récente du bassin, seul HUDAH (en 2000) a connu une durée de vie plus longue au stade de cyclone, et encore pas de manière ininterrompue.

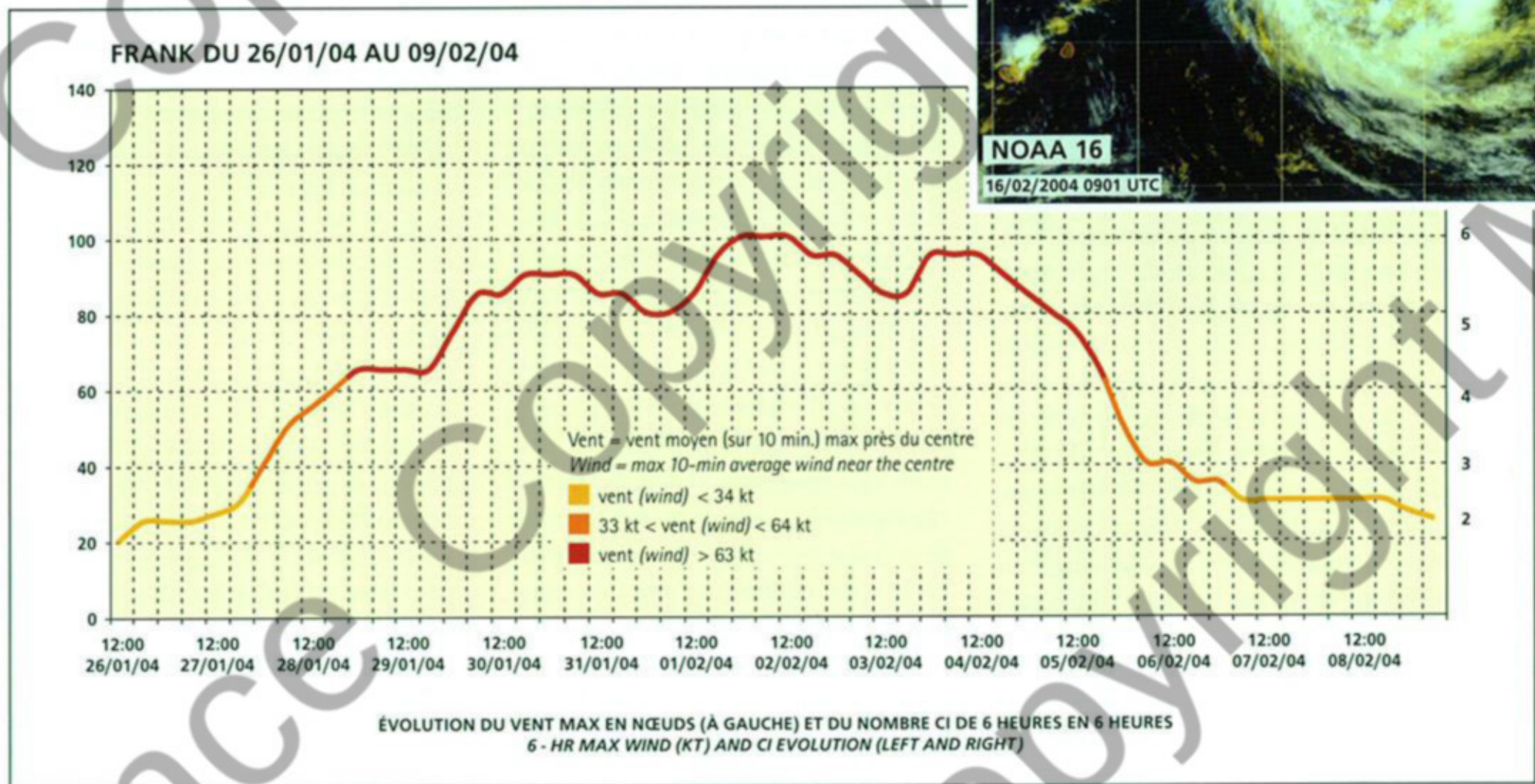
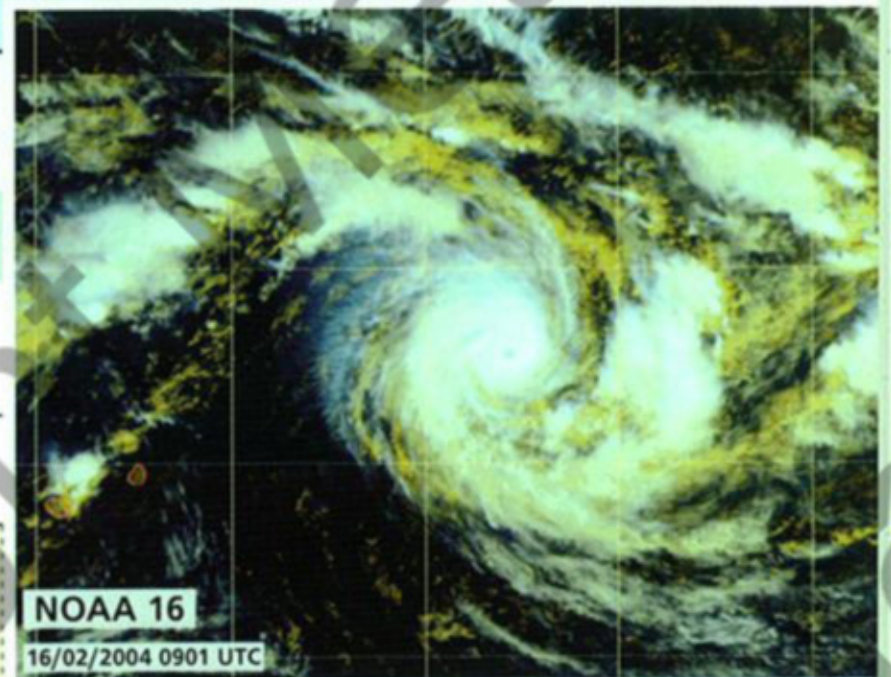
Un ballet de dépressions sur le Sud-Ouest de l'océan Indien. Ces trois images consécutives (à raison d'une image par jour) montrent la fin de vie de FRANK, qui subit un cisaillement de sud-est brutal, provoquant la destruction de la convection et la mise à nu du vortex de basses couches résiduel. Plus au sud une dépression connaît également une cyclolyse rapide dans le domaine subtropical. Par contraste le résiduel de l'ex-ELITA fait par contre de la résistance au sud-est de Madagascar.

A ballet of depressions in the SouthWest Indian Ocean. These three consecutive images (one per day) portray the end of FRANK's life-cycle through southeasterly shear blowing off the convection and unveiling the low level vortex. More southward another low underwent a rapid cyclolysis in the subtropical domain. By contrast the residual low of former ELITA was still well alive, tenaciously resisting southeast of Madagascar.



Météo France - Centre des cyclones tropicaux et La Réunion

FRANK au maximum de son intensité.
FRANK at intensity peak.



Gafilo

Cyclone Tropical Très Intense du 1^{er} au 18 mars 2004

Very Intense Tropical Cyclone "Gafilo" (1st-18 March 2004)

FORMATION

Début mars, les températures de surface de la mer sont traditionnellement à leur niveau le plus haut de l'année sur le bassin du Sud-Ouest de l'océan Indien. En terme de cyclogenèse tropicale, le potentiel énergétique est donc à son maximum. Le neuvième système dépressionnaire apparu cette saison va en tirer plein profit et, à la faveur de conditions environnementales quasiment optimales, va approcher l'intensité maximale potentielle autorisée sur le bassin. Devenant ainsi un des cyclones les plus puissants observés sur le Sud-Ouest de l'océan Indien depuis le début de l'ère satellitaire, ce "monstre" va également devenir un des plus dévastateurs, venant frapper Madagascar quasiment au maximum de son intensité.

Après quinze jours de calme relatif, suite à la fin de vie d'ELITA, on note un regain d'activité convective au changement de mois sur toute la partie est du bassin, avec une zone principale d'effervescence au sud des Chagos. Si aucune organisation n'est apparente au niveau de la convection, tel n'est pas le cas du champ de vents en surface, comme le révèle l'orbite QuikScat du début de journée du 1^{er} mars, qui montre la présence d'une circulation dépressionnaire fermée déjà parfaitement identifiée au sein du talweg de mousson, avec un centre bien défini localisé à quelque 500 km au sud de Diego-Garcia. Dans les 24h qui suivent, l'activité nuageuse se met au diapason de cette situation de surface très nette, avec une cla-

rification spectaculaire de la situation, prenant la forme d'une organisation bipolaire des masses nuageuses et convectives, qui se focalisent désormais autour de deux foyers bien dissociés. L'un, à l'est de 90E, va correspondre à la perturbation initiale à partir de laquelle se déclenchera, plusieurs jours plus tard, la cyclogenèse du futur NICKY/HELMA. L'autre, qui s'est désormais décalé au sud-ouest de Diego-Garcia, va pour sa part connaître une évolution beaucoup plus rapide et un sort hors du commun.

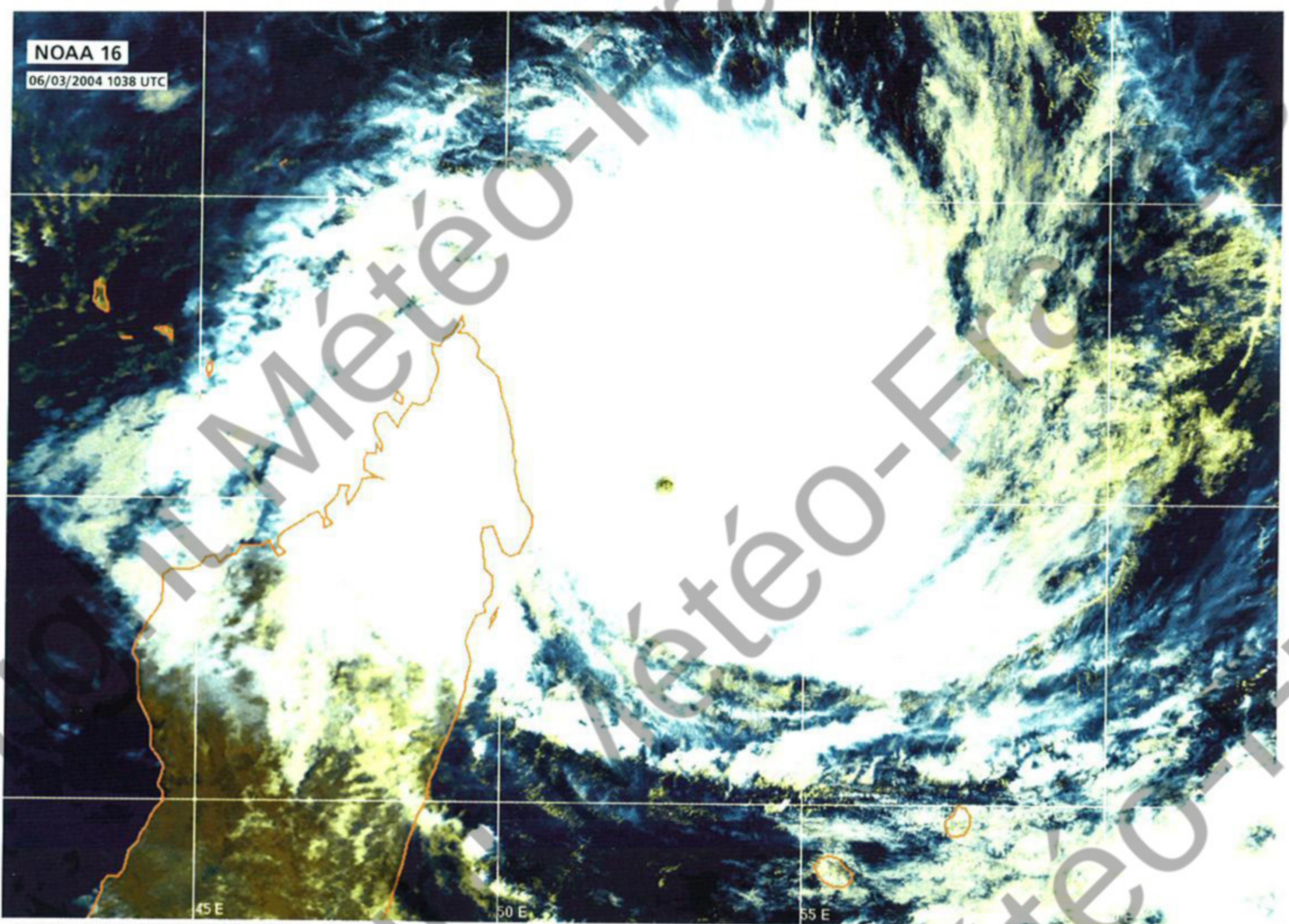
En cette journée du 2 mars, on est pourtant encore loin d'imaginer la puissance et l'intensité extrêmes que ce système embryonnaire va acquérir en seulement quatre jours. Car sa structure initiale ne présage pas d'un potentiel de développement aussi énorme. Situation classique en début de vie, ce qui n'est encore qu'une simple zone perturbée évolue sur la façade équatoriale de la dorsale d'altitude et baigne donc dans un flux environnemental d'est en haute troposphère. Très diffluent, ce qui est plutôt favorable à la convection, ce courant d'est en altitude entretient par contre une contrainte cisailée d'est modérée, dont l'emprise est patente sur l'imagerie satellitaire, le minimum dépressionnaire de basses couches apparaissant exposé en marge orientale de la convection, signature visuelle habituelle d'un déphasage entre la circulation de surface et l'altitude sous l'effet d'un cisaillement vertical de vent.

Cette contrainte cisailée va toutefois s'estomper rapidement et ce à la faveur d'une accélération brutale du déplacement du

système, à l'approche du 70^{ème} méridien Est. Alors qu'en matinée du 2, le minimum se décalait en direction du sud-ouest à environ 15 km/h, sa vitesse de déplacement va rapidement plus que doubler, culminant à plus de 40 km/h en fin de nuit du 2 au 3 mars. Dans le même temps, sa course se redresse ouest, puis ouest-nord-ouest. Ce déplacement rapide atténue d'autant le cisaillement vertical de vent. Les conséquences ne se font pas attendre et cette fin de nuit du 2 au 3 marque le lancement de la cyclogenèse, avec une spectaculaire organisation du système nuageux - sous la forme d'une bande incurvée-, associée à une phase de creusement rapide de la perturbation, l'amenant dès le courant de matinée du 3 mars jusqu'au stade de tempête tropicale modérée, ce qui lui vaut de se voir attribuer le prénom malgache GAFILO.

ÉVOLUTION

A peu près aussi rapidement qu'elle était montée, la vitesse de déplacement revient à sa valeur antérieure de 15 km/h la nuit suivante. Mais ce ralentissement ne s'accompagne toutefois pas d'un retour du cisaillement vertical de vent à son niveau primitif, la tendance environnementale étant elle à la baisse. Le processus d'intensification de GAFILO ne se voit donc pas contrarié outre mesure par l'évolution de ce paramètre critique. Mais après la poussée de fièvre initiale, on note cependant qu'il se poursuit à un rythme nettement tempéré, avec un développement qui s'opère même temporairement plus lentement que la normale (gain d'intensité inférieur à un point en 24h sur l'échelle de Dvorak). Le franchissement du 60^{ème} méridien Est, à l'aube du 4 mars, marque un changement de cap de ce qui est devenu depuis quelques heures la forte tempête tropicale GAFILO. Si la trajectoire demeure fondamentalement zonale, canalisée le long de la bordure septentrionale de la dorsale de moyenne troposphère qui gouverne toujours le flux directeur, elle s'infléchit en effet ouest-sud-ouest. Cette modification de trajectoire est sans conséquence pour ce qui est de l'intensité du météore, qui continue de croître. Une étape décisive est franchie au matin du 4, avec la formation d'un œil en bande,



Le cyclone tropical très intense GAFILO peu avant son maximum d'intensité. Comme il sied à ce genre de cyclone d'exception, le météore en impose visuellement par son allure (noter en particulier la texture particulièrement lisse du CDO central). Autour de l'œil d'une trentaine de km de diamètre, les rafales maximales vont être estimées culminer à près de 330 km/h au cours des heures suivantes. Bien que les masses nuageuses associées aient eu logiquement tendance à se concentrer à l'approche du maximum d'intensité (comparer à l'image de la veille page 63), la largeur de la circulation dépressionnaire de GAFILO demeurerait également impressionnante.

The very intense tropical cyclone GAFILO a little while prior its intensity peak. As only such kind of an exceptional storm deserves the meteor displayed an awe-inspiring visual pattern (notice in particular the especially smooth texture of the Central Dense Overcast). Around the eye of about 30 km in diameter estimated peak gusts of about 330 km/h would rage during the coming hours. Although the overall cloud mass had tended to concentrate since the previous day (compare with image page 63), which was logical for a cyclone approaching its maximum of intensity, the width of GAFILO's clockwise circulation remained fairly impressive.

évolution qui amène tranquillement le phénomène jusqu'au stade de cyclone tropical, considéré atteint dans l'après-midi, le centre de GAFILO se situant à cet instant à environ 340 km au sud-est de l'île d'Agalega.

Si à ce moment là, GAFILO est encore un cyclone d'intensité banale, la taille de sa circulation dépressionnaire l'est déjà nettement moins pour le bassin, avec une extension impressionnante des bandes nuageuses tourbillonnaires rattachées au météore, leur aire d'influence méridienne s'étendant en particulier du nord des Seychelles jusqu'aux Mascareignes, soit plus de 1700 km nord-sud !

En milieu de journée du 5, GAFILO adopte un cap plus sud-ouest, laissant envisager un moment que le scénario, a priori très peu probable, d'un changement de trajectoire plus radical vers le sud puisse se réaliser (voir détails page 64). Mais quelques heures plus tard, la trajectoire se redresse franchement ouest-sud-ouest écartant définitivement cette éventua-

FORMATION

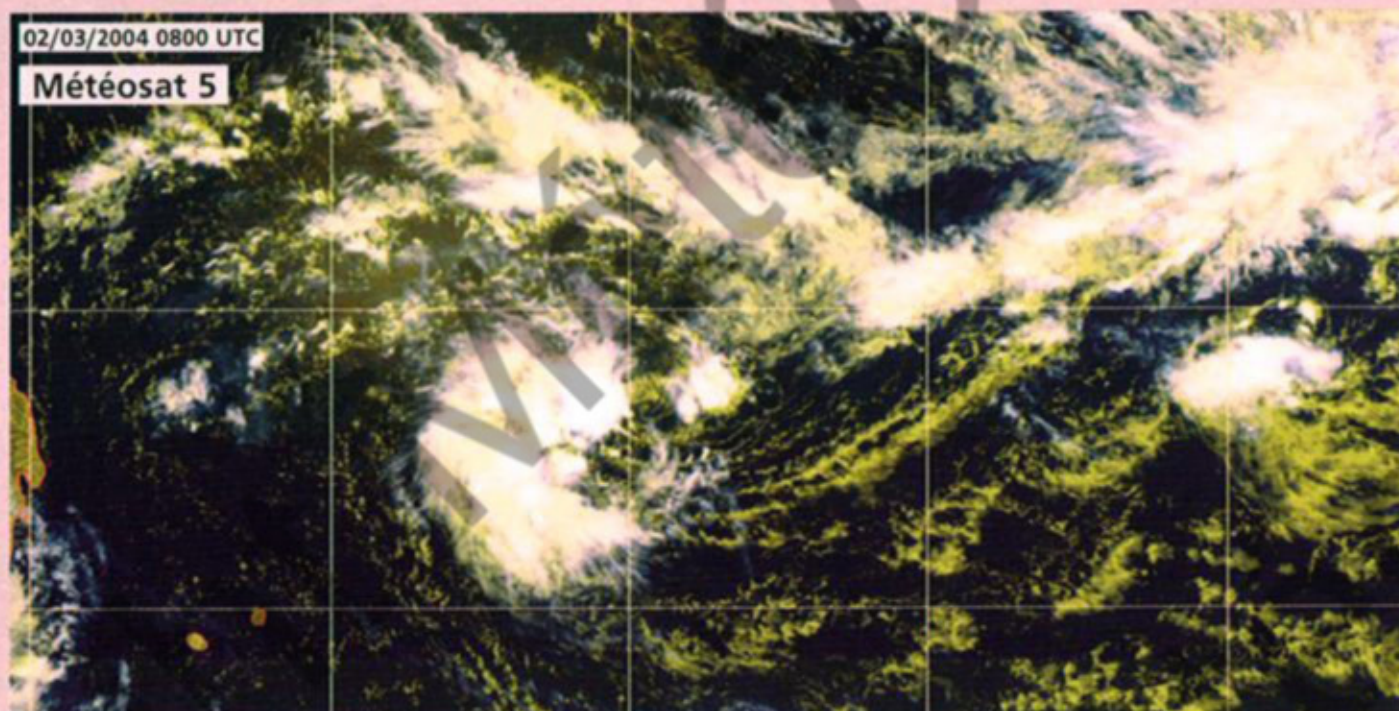
At the beginning of March, sea surface temperatures are generally at their highest yearly level in the SouthWest Indian Ocean. In terms of tropical cyclogenesis, the energy potential is thus at its maximum. The ninth depression system that emerged during that season took full advantage of this and with nearly optimal environmental conditions, neared the Maximum Potential Intensity allowed in the basin. This cyclone turned to be one of the most powerful ones observed over the SouthWest Indian Ocean and became also one of the most devastating one as it hit Madagascar at its nearly intensity peak.

After a relatively calm fortnight, following the end of life-cycle of ELITA, some convective activity resumed at the beginning of April over the whole eastern part of the basin, with a particularly effervescent area south of the Chagos. While the convection displayed no organisation, this was not so in the surface windfield as revealed by the QuikScat swath acquired early on 1st March which showed a

closed clockwise circulation, perfectly identified within the monsoon trough with a well-defined centre pinpointed some 500 km south of Diego-Garcia.

In the next 24 hours, the cloud activity soon got in tune with this very clear surface situation, with a spectacular clarification into a bipolar organisation of the cloud and convective masses which were now focusing around two separate centres. One, east of longitude 90°East turned to be the initial disturbance which would spawn the future cyclogenesis of NICKY/HELMA several days later. The other one, which by then had shifted southwest of Diego-Garcia, would undergo much faster development and an extraordinary fate.

However, on 2nd March one was still far from imagining that this embryonic system would gain such extreme power and intensity in just four days. Indeed, given its initial structure one could hardly surmise such a great potential of development. As is usual at the beginning of a system's life-cycle, what could be considered as a mere zone of disturbed weather was situated equatorward of the upper ridge and so was



02/03/2004 0800 UTC

Météosat 5

Prémices des futurs GAFILO et HELMA. Au centre de l'image se discerne clairement, exposé à l'est de la convection, le minimum dépressionnaire embryonnaire de ce qui deviendra 4 jours plus tard le cyclone tropical très intense GAFILO. Plus de 2000 km à l'est, les prémices du futur NICKY/HELMA sont déjà apparents, mais la cyclogenèse de ce système mettra beaucoup plus de temps à se concrétiser.

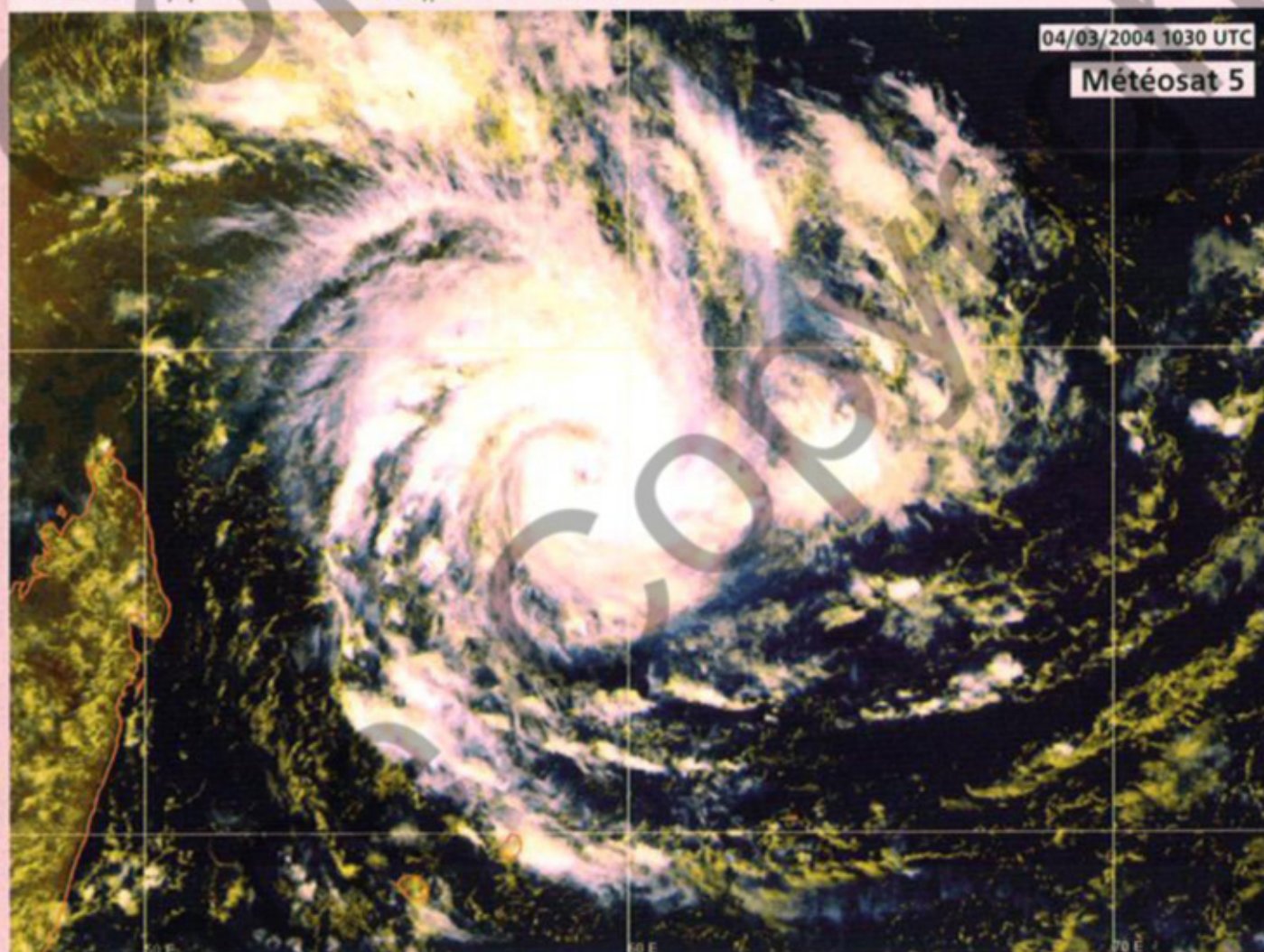
Early beginnings of GAFILO and HELMA. In the middle of the image one can clearly discern, exposed to the east of the convection, the embryonic low of what would eventually turn into the very intense tropical cyclone GAFILO 4 days later. More than 2000 km to the east the initial disturbance of to-become NICKY/HELMA was already visible but the cyclogenesis of this storm would need much more time to convert.

embedded within an easterly environmental flow in the upper troposphere. Being very diffluent, which is rather favourable to the convection, this easterly upper flow maintained a moderate easterly shear constraint though whose hindering effect was manifest on the satellite imagery resulting in the low-level circulation centre being exposed east of the convection, the usual signature of a shift between the surface and upper circulations under the impact of a vertical windshear.

However, this sheared constraint soon abated owing to the sudden acceleration of the system's motion as it was approaching latitude 70° East. While in the morning of 2nd March the low centre was drifting southwestwards at about 15 km/h, its speed of movement soon more than doubled, exceeding 40 km/h by the end of the night of 2nd March. In the meantime, its track curved westward then west-northwestwards. This rapid motion tended to lessen the vertical windshear in the same proportion.

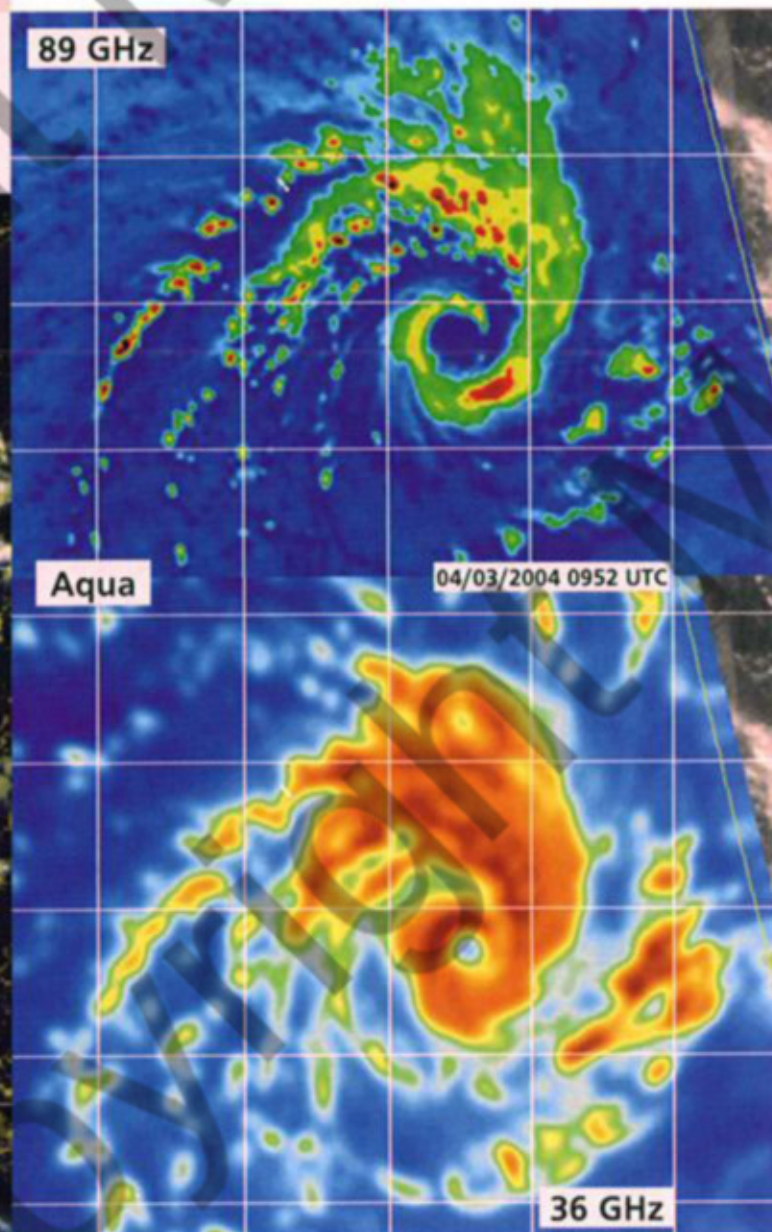
Structure d'œil en bande pour GAFILO sur le point d'atteindre le stade de cyclone tropical. Trait caractéristique des phénomènes à ce stade d'intensité, l'imagerie micro-onde en canal 36 GHz montre que l'œil est déjà bien constitué dans les couches inférieures de la troposphère.

Banding eye pattern for GAFILO when on the verge to reach tropical cyclone stage. The microwave imagery (36 GHz channel) depicted an already well structured eye pattern in the lower levels a typical feature for storms of such an intensity.



04/03/2004 1030 UTC

Météosat 5



89 GHz

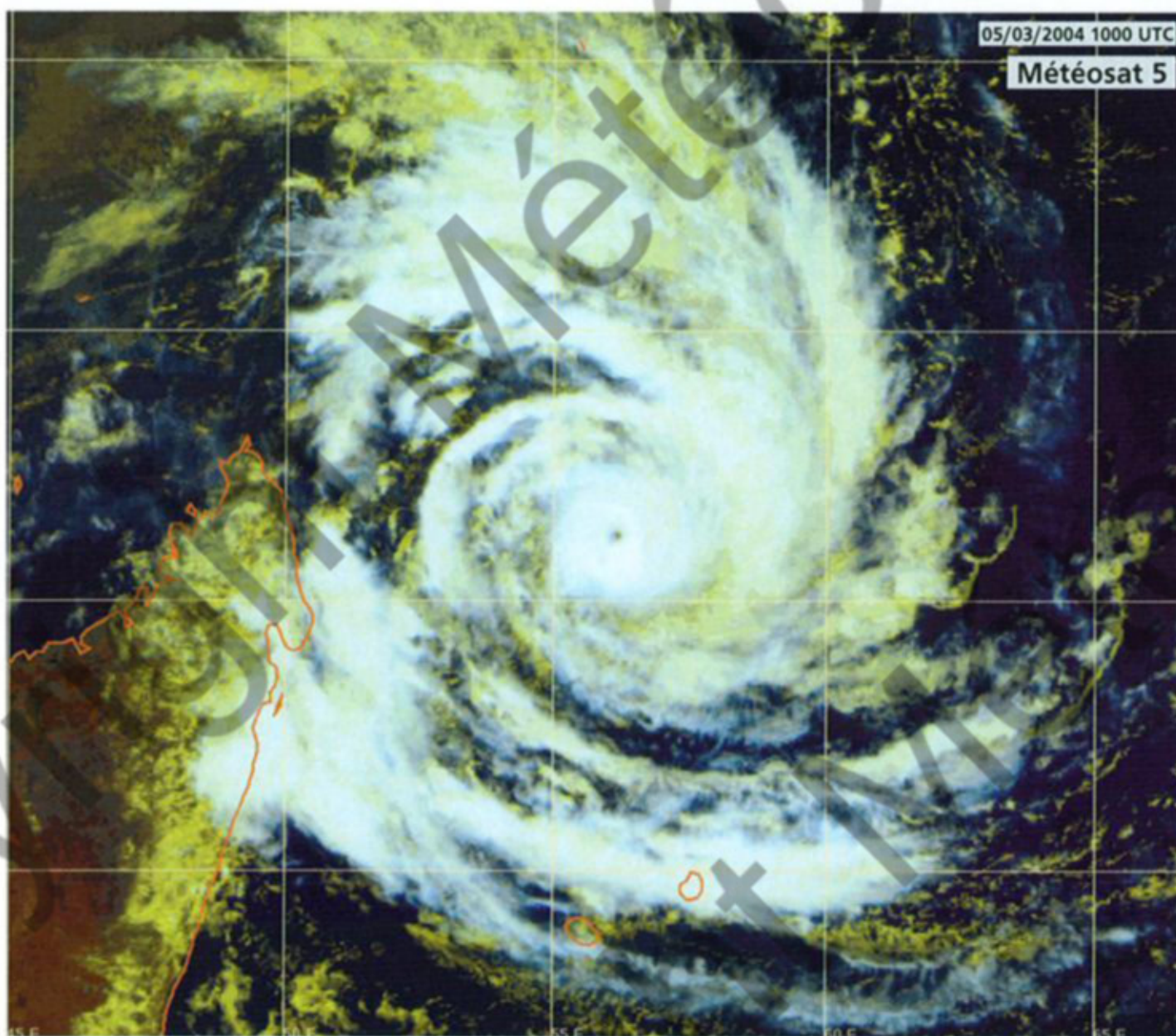
Aqua

04/03/2004 0952 UTC

36 GHz

lité. Cette bonne nouvelle pour La Réunion, en constitue par contre une très mauvaise pour Madagascar, un impact du météore sur la Grande Ile ne faisant désormais plus aucun doute. Et cette perspective va hélas prendre une tournure de plus en plus inquiétante au fil des heures suivantes.

Car ce redressement de la trajectoire vers l'ouest, va marquer également un tournant encore plus majeur dans la vie de la perturbation, en terme d'intensité cette fois. Le processus d'intensification, qui s'opérait piano jusque là, va en effet brutalement s'emballer à compter de l'après-midi du 5. Gagnant deux points sur l'échelle d'intensité de Dvorak en l'espace d'une vingtaine d'heures, GAFILO va passer du stade de cyclone tropical au stade de cyclone tropical très intense, cette intensification quasi explosive correspondant à un creusement estimé de 60 hPa en l'espace de 24h. Même si l'on est loin du record mondial en la matière (101 hPa de chute de pression centrale en 24h pour le typhon FORREST dans le Pacifique Nord-Ouest), ce creusement n'en est pas moins remarquable (voir page 66 les éléments expliquant cette évolution spectaculaire de l'intensité de GAFILO).



GAFILO, un cyclone de taille hors norme pour le bassin du Sud-Ouest de l'océan Indien. Au moment de cet image, le météore vient d'entamer la phase de creusement rapide qui l'amènera le lendemain au stade de cyclone tropical très intense. Mais ce qui frappe au premier coup d'œil, c'est l'extension inhabituelle du système nuageux associé. La zone d'influence des bandes périphériques rattachées au météore s'étend en effet des Seychelles jusqu'aux Mascareignes, soit sur plus de 1700 km d'extension méridienne ! Bien que situées à des centaines de km du centre du cyclone (au plus près pour l'île Maurice), les Mascareignes comme les Seychelles vont ainsi être concernées par ces bandes externes, qui y occasionneront localement de fortes précipitations (393 mm en 48h au Gîte du volcan, 151 mm en 24h à Salazie Village par exemple à La Réunion ; 159 mm le 4 mars à Malavoie sur l'île de Mahé aux Seychelles – voir image page opposée).

GAFILO, an exceptionally large cyclone for the SouthWest Indian Ocean. At the time of this picture the storm had just initiated the rapid deepening phase that would carry it to very intense tropical cyclone status on the following day. But what was the most striking at first glance was the unusual extent of the meteor related cloud system whose peripheral influence extended from Seychelles to the Mascarenes, that means more than 1700 km from north to south. The outer cloud bands indeed yielded some heavy rain to these islands (at La Reunion : 393 mm recorded in 48h at the volcano's shelter or 151 mm at Salazie Village for instance; 159 mm on 4th March at Malavoie on Mahé Island Seychelles – see image opposite page).

À la mi-journée du 6 mars, l'intensification commence enfin à plafonner, mais durant la phase de plateau qui suit, un léger supplément d'intensité est toutefois encore noté en fin d'après-midi, permettant de faire descendre le minimum de pression estimé au centre de l'œil de GAFILO sous le plancher mythique des 900 hPa. Avec une intensité dépassant 7.0 sur l'échelle de Dvorak, GAFILO est en effet crédité d'un minimum de pression centrale de 895 hPa, une valeur que l'on peut considérer comme tout à fait exceptionnelle pour le Sud-Ouest de l'océan Indien (même s'il n'existe pas de record "officiel" en la matière pour le bassin, faute de validation par des mesures in situ, on peut cependant raisonnablement considérer que cette valeur doit grandement s'en rapprocher).

Intensité extrême, extension hors norme,

à son apogée GAFILO est un phénomène surpuissant – au cœur duquel les vents maximaux sont alors estimés souffler à 230 km/h en vents moyens sur 10 min (125 nœuds), les rafales associées devant elles culminer à près de 330 km/h sur mer !-, le classant dans la catégorie des cyclones d'exception du bassin, dans la lignée d'un GERALDA (1994), dernier cyclone en date à pouvoir rivaliser avec un tel "monstre". Au cas où l'imagerie satellitaire ne suffirait pas à elle seule à convaincre de la puissance et de la taille exceptionnelle de ce "super-cyclone", deux autres éléments plus tangibles en attestèrent. En fin de nuit du 5 au 6 mars, alors que le cyclone n'avait pas encore atteint son maximum d'intensité, le rayon de la tempête excédait déjà les 150 km dans le demi-cercle dangereux, cette extension étant validée par l'observation de l'île de Tromelin (située

The consequences were soon to be felt and the end of the night on 2nd March marked the set off of the cyclogenesis with a spectacular organisation of the cloud system into a curved band associated with a rapid deepening phase of the disturbance which led it to reach the moderate tropical storm stage by morning of 3rd March, and to be named GAFILO (a Malagasy name).

EVOLUTION

The motion decelerated as quickly as it had sped up, coming back to its previous speed of 15 km/h on the following night. However, this slowing down did not mean a return to its initial state for the vertical windshear as the environmental tendency was on a lowering trend. Therefore, GAFILO'S intensification process was not restrained by the evolution of this critical parameter. But after the initial bout of intensification, the ensuing development operated at a much more moderate pace, even slower than normal temporarily (gain of intensity below one point in 24h on the Dvorak scale).

The crossing of longitude 60° East on 4 March at dawn marked a shift of heading for what had become severe tropical storm GAFILO within the last hours. While the trajectory kept on a track still basically zonal, steered along the northern edge of the mid-troposphere ridge that was persistently governing the steering flow, it indeed bent west-southwestward. This track change had no impact on the intensity of the meteor which kept increasing. A decisive stage was cleared in the morning of 4 March when a banding eye formed, an evolution which led the phenomenon to the threshold of tropical cyclone stage, declared as being crossed in the afternoon. GAFILO'S centre was then standing some 340 km southeast of Agalega Island.

Although at that stage GAFILO was still a cyclone of banal intensity, the size of its clockwise circulation did not deserve the same qualifying as being fairly uncommon for the basin given the impressive extension of the cloud bands linked to the meteor with a meridian extension especially large since interesting the whole area spanning from the north of the Seychelles to the Mascarene Islands, i.e. over 1700 km north to south! In the middle of the day on 5 March, GAFILO assumed a more southwestward heading letting one envisage that the rather unlikely scenario of a more radical change of track southward could realise (see details next page). But a few hours later a downright shift of heading slightly south than due west occurred leaving that outcome definitely aside. This good piece of news for La Réunion was a very bad one indeed for Madagascar as a direct

Un exemple de prévisions d'ensemble du CEP pour GAFILO. Avec l'augmentation des capacités de calcul, la prévision numérique du temps s'est enrichie depuis quelques années de ce que l'on appelle la prévision d'ensemble. L'idée est de faire "tourner" un modèle numérique x fois à partir d'un état initial légèrement modifié à chaque fois. Les x solutions de prévisions obtenues, permettent ainsi d'évaluer la variabilité des évolutions possibles de l'atmosphère.

Appliquée à la prévision de trajectoire du cyclone GAFILO, les résultats de la prévision d'ensemble du modèle du Centre européen du 5 mars 2004 à 00 UTC sont présentés sur le graphe ci-contre, avec, outre l'affichage des 50 trajectoires issues des 50 simulations différentes (en noir la solution de référence du modèle déterministe), la visualisation des probabilités -calculées à partir des 50 solutions obtenues- de voir le centre du cyclone passer à moins de 120 km d'un point donné au cours des 120 h à venir. Plus la dispersion du panache de probabilités correspondant est large, plus l'incertitude sur la prévision de trajectoire du météore est importante.

Dans le cas présent, on constate que le modèle prévoyait globalement un recourbement de la trajectoire de GAFILO au niveau de Madagascar, mais avec une incertitude importante sur le moment du recourbement. Par ailleurs quelques unes des solutions envisageaient la possibilité d'un changement de trajectoire beaucoup plus précoce et abrupt, amenant le

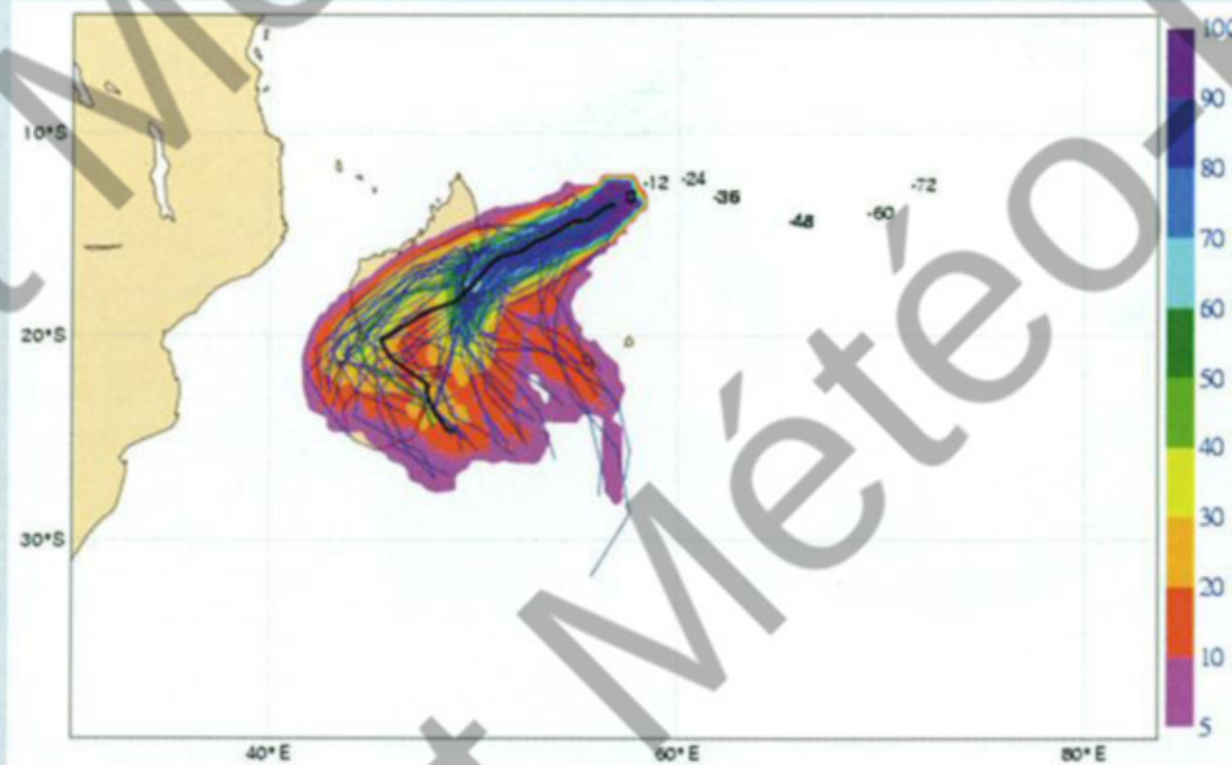
météore à proximité de La Réunion. Bien que le risque d'un tel changement de trajectoire apparût faible (probabilité de 10 à 20% d'un passage à proximité de La Réunion), cet élément a été pris en compte et a participé du processus de décision du placement de La Réunion en situation de vigilance cyclonique (l'intensité et la taille exceptionnelle du météore ayant également été des critères importants). On peut donc dire que GAFILO a constitué le premier cas où la prévision d'ensemble a influencé

An example of ensemble forecasts for GAFILO. With the advent of more powerful computers the numerical weather prediction could add another string to its bow a few years ago: the Ensemble Prediction System (EPS). The idea was to rerun a numerical model x times from slightly different modified initial conditions, the x forecast solutions obtained enabling to assess the spreading of possible evolutions of the atmosphere. Applied to TC GAFILO's track prediction, the results of the ensemble forecasts of the European Centre model are presented on the herewith diagram

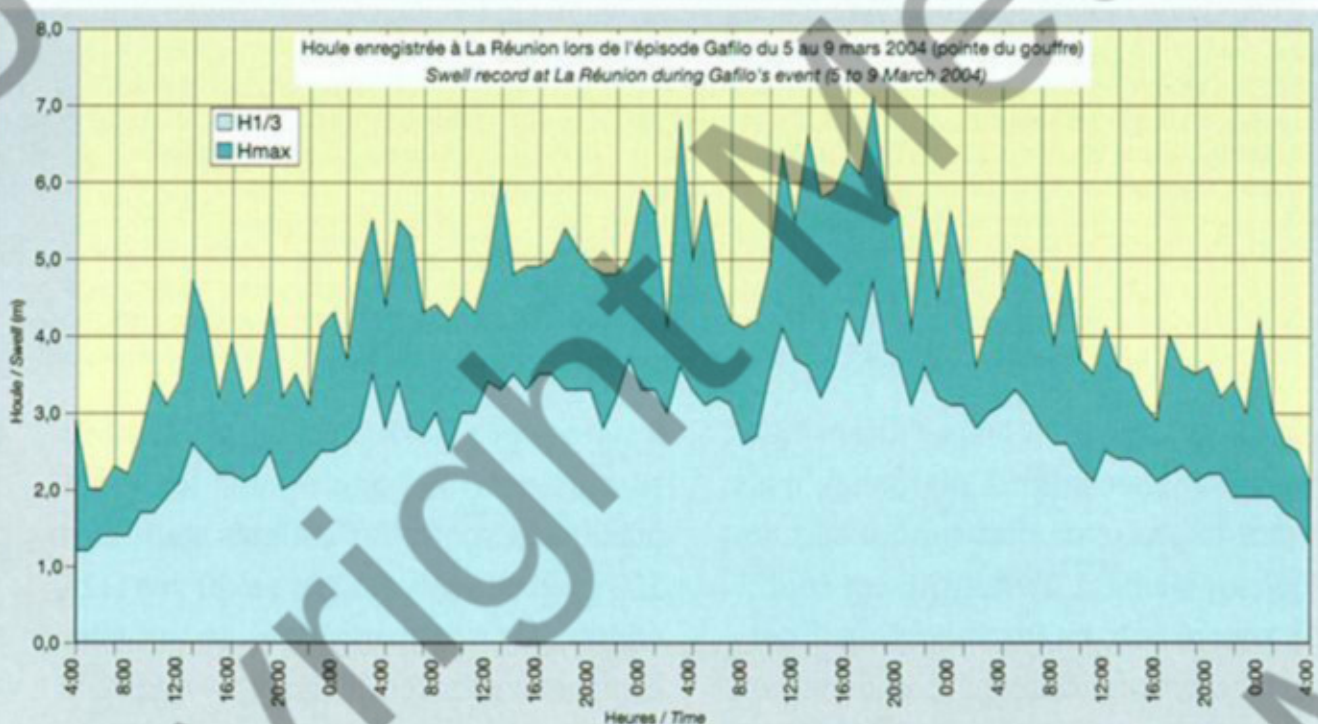
which includes the plot of the 50 tracks issued from the 50 different runs of the model (in black the reference of the deterministic model) and also the display of the strike probabilities map (defined as the probability that a tropical cyclone will pass within a 120 km radius from a given location at anytime during the next 120 h). The larger the strike probabilities spreading the greater the uncertainty in track forecast.

In the present case one can see that the model predicted an overall tendency of GAFILO's future track to recurve over or close to Madagascar, but with a large uncertainty on the timing of the occurrence of the recurvature. An alternate scenario was envisaged by a few solutions, outliers which considered a much more precocious and sharp turn with a track heading for the vicinity of La Réunion Island. Although the likelihood of such a track change appeared low (probability of 10 to 20% chance of a passage close to La Réunion) this element was taken into account when dealing with the opportunity to activate a tropical cyclone watch for La Réunion (the other criteria considered before taking the decision being the exceptional size and intensity of the meteor). It can thus be asserted that GAFILO became the first storm for which the ensemble prediction influenced the decision of activating the cyclone alert process at La Réunion.

Final point: looking at the track eventually followed by GAFILO one can verify that it was included within the strike probability spread but on the outer fringe.



le déclenchement d'une phase d'alerte cyclonique à La Réunion. Enfin, une comparaison a posteriori avec la trajectoire réellement suivie par GAFILO, permet de se rendre compte que celle-ci se trouvait bien à l'intérieur du panache de la prévision d'ensemble, même si elle se situait clairement dans la partie externe de l'enveloppe.

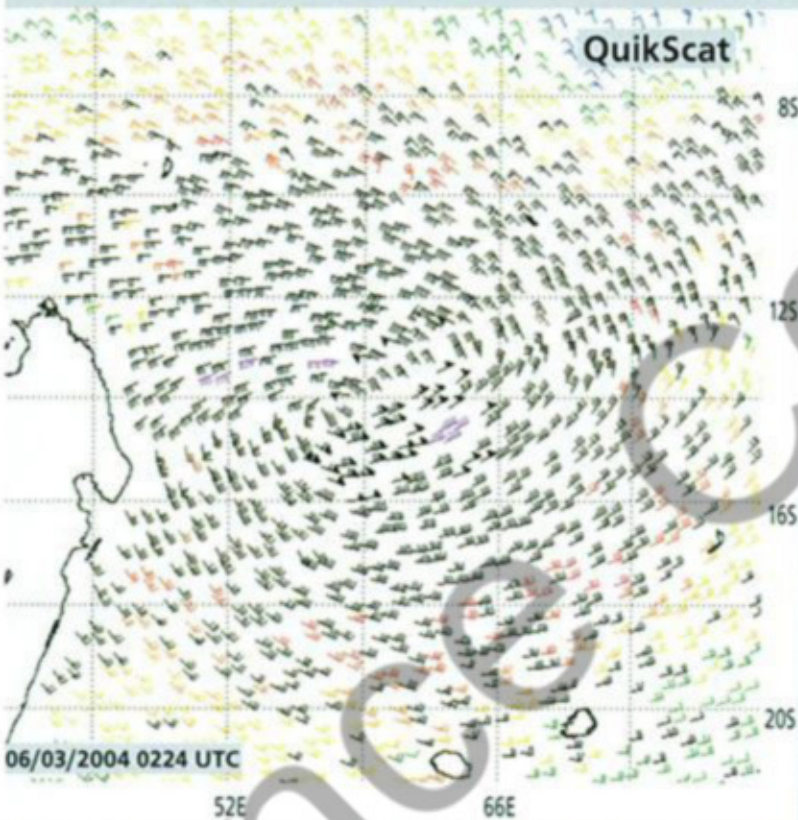


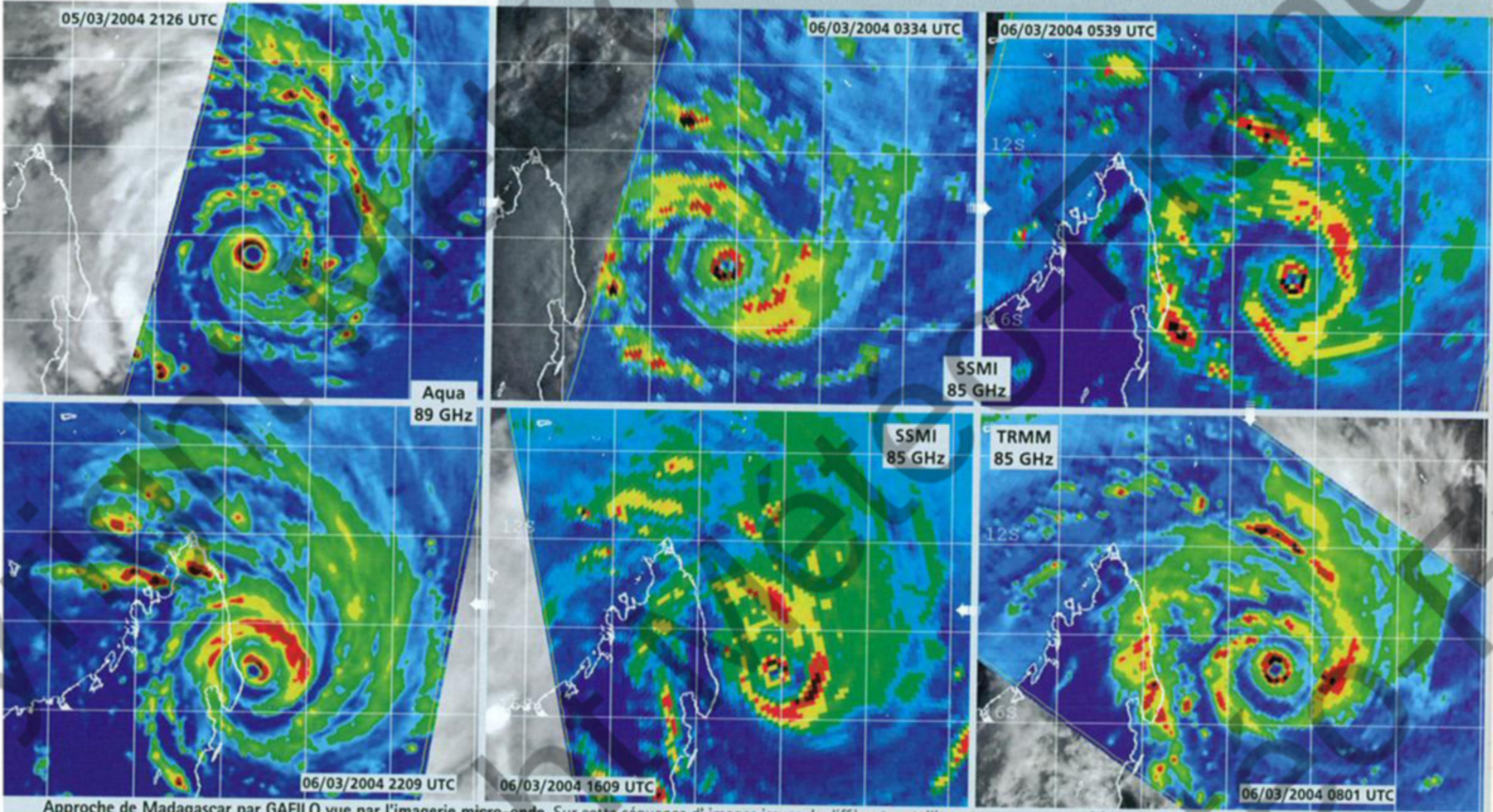
GAFILO : une houle cyclonique magistrale. Bien que le centre de GAFILO soit passé très loin au large de La Réunion (720 km au plus près, soit la même distance minimale que FRANK), le cyclone n'est pas passé inaperçu. Outre les bandes nuageuses périphériques venues toucher l'île à une distance considérable du centre, l'élément le plus spectaculaire aura été la houle cyclonique levée par le météore et venue durablement déferler sur les côtes exposées (houle supérieure à 3 m durant plus de 48h). Excédant les 4 m de hauteur significative (H1/3) à son maximum, cette houle aura perturbé les conditions de circulation sur la route littorale entre Saint-Denis et La Possession. Une vague plus forte que les autres aura même fini sa course à l'intérieur d'un hôtel de la côte ouest, mais sans faire de victime.

Pour appréhender le caractère exceptionnel de cette houle cyclonique, il suffit de réaliser que les hauteurs mesurées lors de cet épisode, correspondent à ce qui est habituellement observé quand un cyclone tropical transite à 300-350 km de l'île (cyclone mature de taille "normale" pour le bassin). C'est la taille hors norme de la zone de vents forts associée à GAFILO, qui explique l'ampleur de cette houle si loin du cœur du météore. L'extension de la zone de grand frais était ainsi supérieure à 1000 km en latitude, comme on peut l'évaluer sur le champ de vents dérivé des données diffusiométriques QuikScat (ci-contre).

GAFILO : a cyclone swell of amazing magnitude. Although GAFILO's centre passed very far offshore La Réunion Island (720 km at its closest, i.e. the same nearest distance as FRANK's) the cyclone's influence was fairly strongly felt. Apart from the outer rainbands which affected the island at considerable distance from the centre the most spectacular feature was the cyclone swell generated by the meteor and which fostered a long episode of high surf on the exposed shoreline with significant height (H1/3) exceeding 3 m for more than 48h and peaking higher than 4 m. This swell disturbed the traffic conditions on the main road link and a big wave broke into an hotel on the western coast (but unscathed).

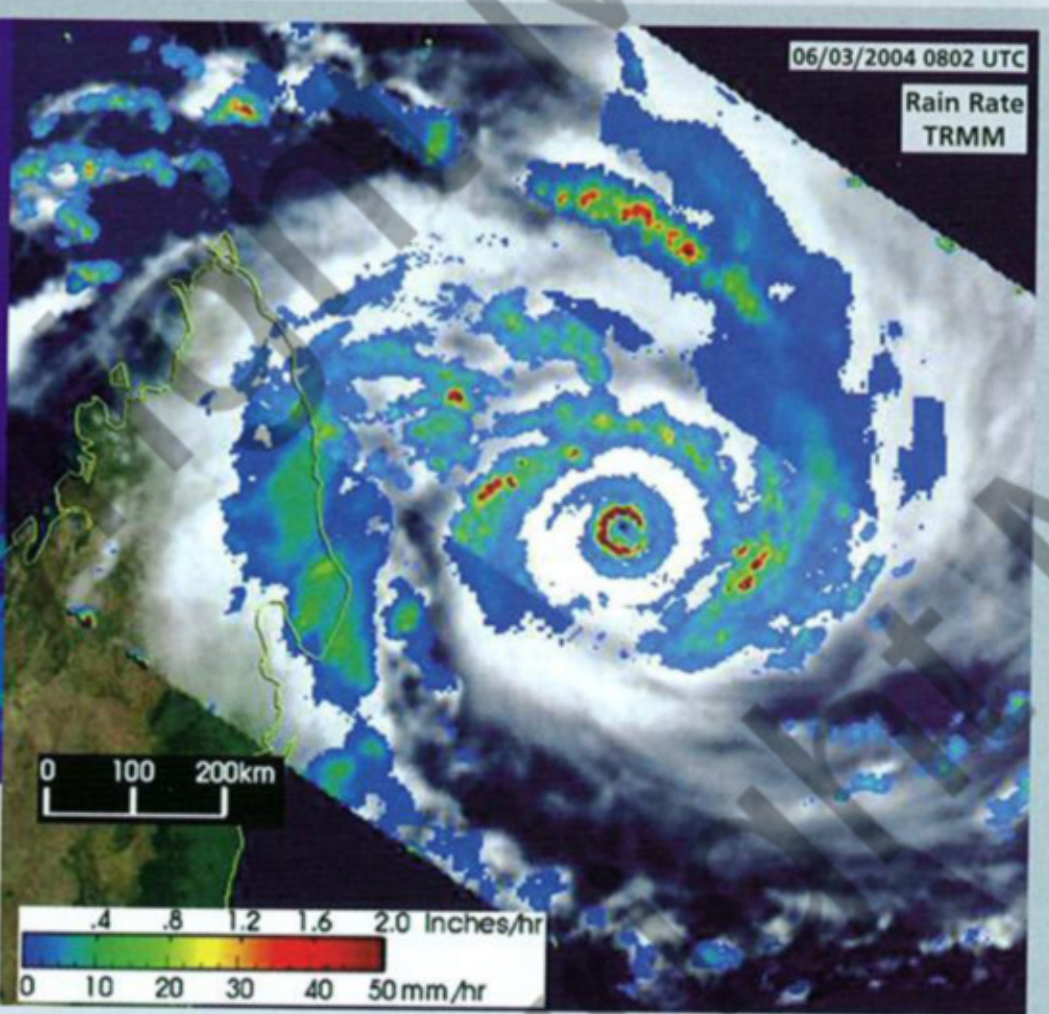
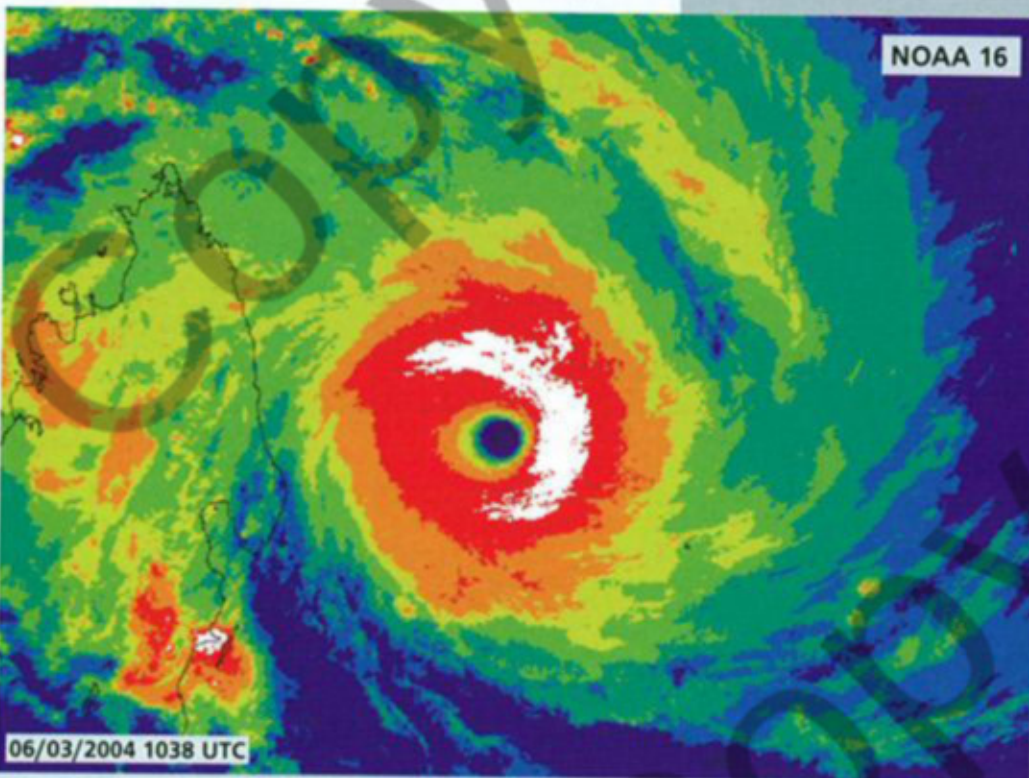
To better realize how uncharacteristic this cyclone swell was, one has to consider that the observed heights corresponded to what is usually recorded when a tropical cyclone transits some 300 to 350 km off the island (mature cyclone of "normal" size for the basin). The huge and out of norms size of the high winds area associated to GAFILO was responsible for the magnitude of this swell so far away from the storm's centre. The extent of the near gale winds in particular exceeded 1000 km in latitude as assessed from the wind field derived from the QuikScat scatterometer data (left).





Approche de Madagascar par GAFILO vue par l'imagerie micro-onde. Sur cette séquence d'images issues de différents satellites et couvrant une période d'un peu plus de 24h précédant l'arrivée sur terre légèrement au nord du cap Est (pointe est de la Grande Ile), on appréhende clairement le maximum d'intensité du cyclone (images SSMI du haut, avec un mur de l'œil associé à de la convection particulièrement intense), mais aussi le processus de début de cycle de l'œil qui est intervenu ensuite avant l'arrivée sur Madagascar (images ci-dessus). Si cette amorce de cycle de l'œil a contribué à légèrement affaiblir la force des vents maximaux présents au cœur du météore, il a par contre eu pour conséquence d'étendre la zone de vents forts, avec la constitution d'un maximum secondaire de vents au niveau de l'anneau de convection externe venu se refermer autour de l'œil interne.

GAFILO as seen on microwave imagery when bearing towards Madagascar. On this sequence of images spanning a little bit more than 24h prior to the landfall slightly to the north of Cape East (eastern tip of the Great Island), one can clearly assess the cyclone's peak of intensity (check upper SSMI images portraying an eyewall of especially intense convection) but also the process of an eye-cycle that began afterwards prior to Madagascar's strike (above images). This incipient eye-cycle triggered a slight weakening of the strongest winds blowing near the meteor's centre but as a counterpart induced a widening of the strong winds area through the building up of a secondary maximum of winds within the outer annulus of convection that wrapped around the inner eye.



GAFILO peu avant son maximum d'intensité, vu en infra-rouge renforcé (colorisation par gamme de températures adaptée à l'analyse d'intensité par la Technique de Dvorak) et par l'imagerie radar TRMM. Ces deux visions se révèlent assez différentes. L'étroite fauchée radar TRMM (seul radar précipitations actuellement en orbite dans l'espace), qui a opportunément intercepté le cœur du cyclone, montre la structure beaucoup plus dépouillée du champ de précipitations, par rapport à la vision nuageuse simple fournie par l'imagerie satellitaire classique. Noter en particulier la "douve" dénuée de précipitations entourant le mur de l'œil (se présentant lui sous la forme d'un mince anneau d'intenses précipitations, quasiment fermé, de 43 km de diamètre) et totalement insoupçonnable sur l'imagerie infrarouge. L'imagerie radar (ou micro-onde) laisse par ailleurs entrevoir les prémices d'un cycle de l'œil à venir, ce qui échappe également totalement à l'imagerie infrarouge.

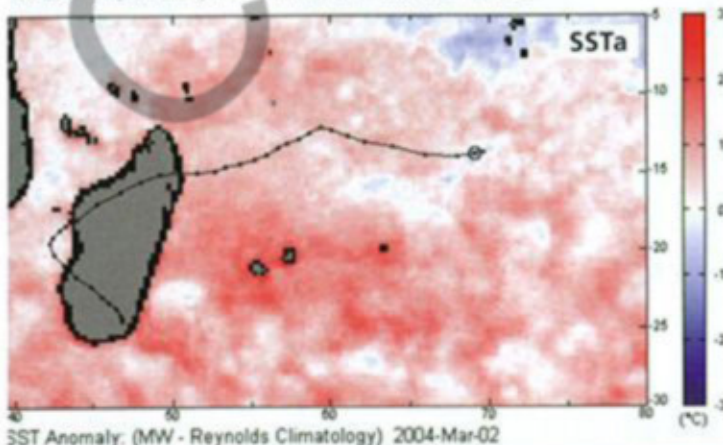
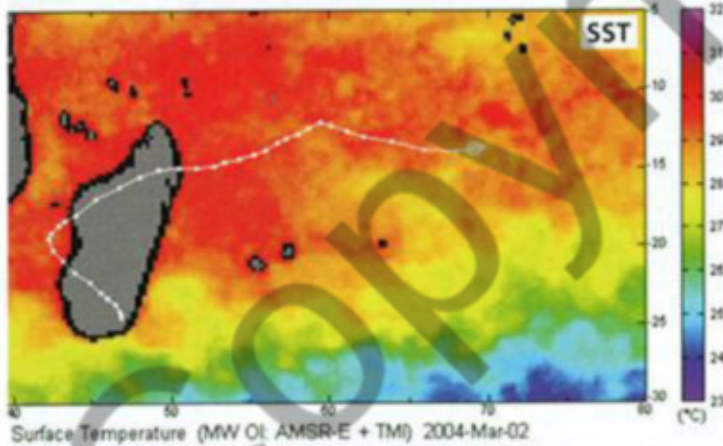
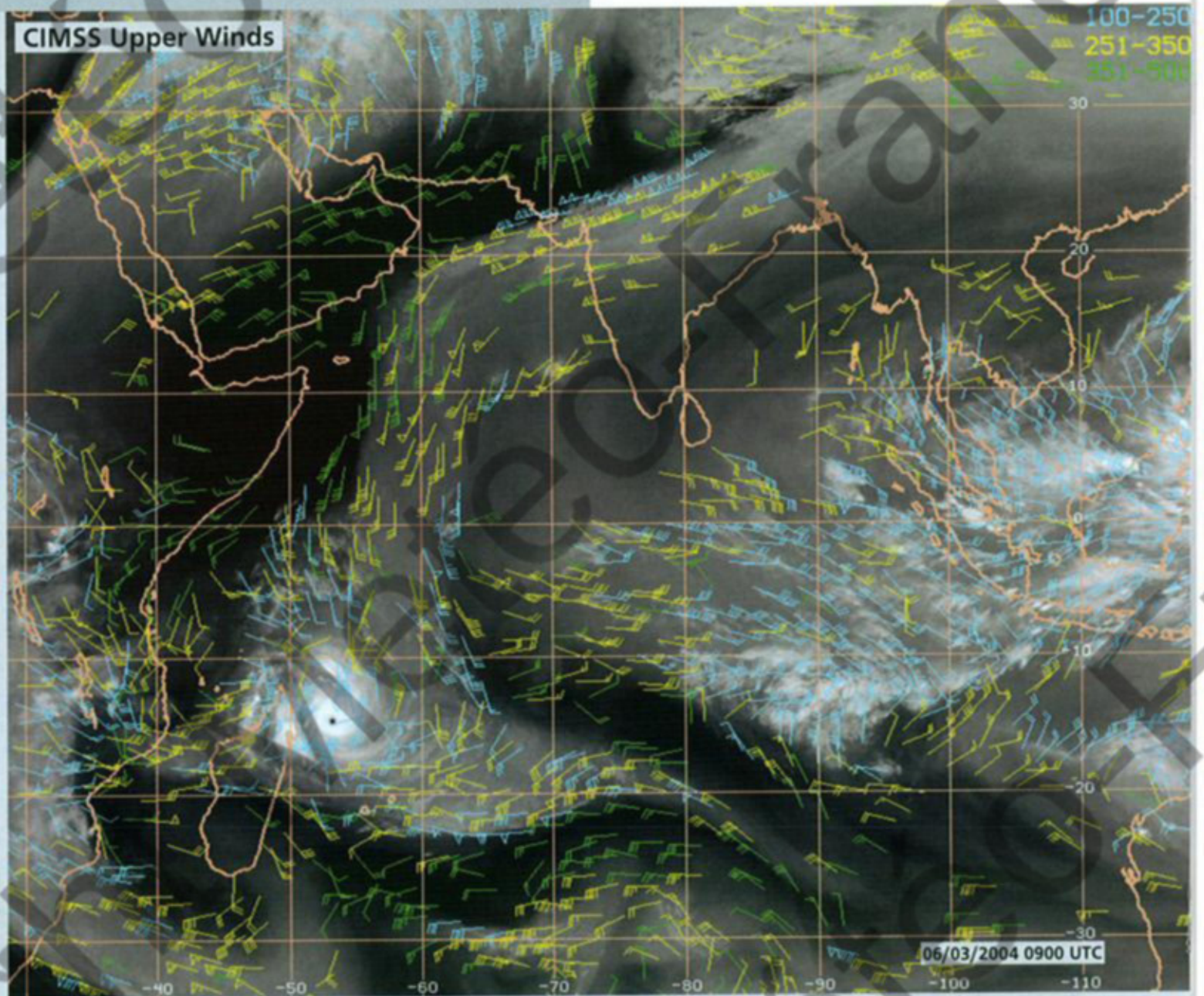
GAFILO a little while prior to its maximum of intensity, as seen on enhanced infrared imagery (colour set of temperatures used for intensity analysis with the Dvorak Technique) and by the TRMM radar imagery. The narrow radar swath of the TRMM satellite (the single spaceborne precipitation radar at the present time), which luckily intercepted the cyclone's core, peered into the much more bared structure of the rain field compared to the raw vision allowed by the classical satellite imagery. Notice in particular the moat region devoid of any rain activity encircling the eyewall (portrayed as a 43 km wide thin and almost completely closed annulus of intense precipitations), a feature completely indiscernible on the infrared imagery. The radar (or microwave) imagery also showed a glimpse of the eye cycle to come, another feature completely undetectable on the infrared imagery.

Les raisons d'une intensité exceptionnelle. Parmi les facteurs qui ont dû jouer un rôle déterminant dans la phase d'intensification quasi explosive qui a amené GAFILO au stade de cyclone tropical très intense, on peut en identifier deux essentiels.

En l'absence de cisaillement vertical de vent, le paramètre majeur qui gouverne les taux d'intensification des cyclones matures c'est la divergence d'altitude, ou plus exactement la manière dont s'organise le flux sortant d'altitude (qui va en quelque sorte dicter le "tirage" de la cheminée à laquelle on peut grossièrement comparer le cœur du cyclone). La situation classique la plus favorable habituellement rencontrée, voit le flux sortant d'altitude s'organiser en deux canaux d'évacuation, l'un du côté équatorial, l'autre du côté polaire (respectivement en direction du nord-ouest et du sud-est en règle générale dans l'hémisphère Sud). Ce type de configuration à deux canaux, conditionné à une organisation propice du flux d'altitude par les centres d'action environnant le cyclone, sera associé à des taux d'intensification supérieurs à la normale. Dans le cas de GAFILO, l'image ci-contre, où sont superposés à l'imagerie vapeur d'eau les vents satellite dérivés, montre que le météore a bénéficié d'une situation encore plus favorable, avec la présence, très rare, de trois canaux d'évacuation. Outre l'existence très originale de ce troisième canal d'évacuation (vers l'ouest, dans la partie gauche du système), on notera la structure et la puissance particulière du canal "équatorial", orienté de manière atypique, avec un axe très méridien relayé par la branche orientale d'un talweg d'altitude de l'hémisphère Nord venu s'enfoncer de manière excessivement profondément vers le sud le long des côtes africaines (ce jusqu'au sud de l'Equateur).

L'autre élément fondamental ayant permis à GAFILO d'atteindre une telle intensité, c'est bien sûr la température de la mer. Traditionnellement située à son plus haut niveau en cette période de l'année (avec même des valeurs plus chaudes que la normale au vu des anomalies de température affichées sur le diagramme en bas à gauche), elle présentait ses valeurs les plus élevées -dépassant les 29°C- à l'ouest de 56°E, longitude à partir de laquelle la phase de creusement rapide de GAFILO a comme par hasard commencé. Le potentiel énergétique était donc très important à l'est de Madagascar et les conditions dynamiques (en particulier en altitude, comme rappelé ci-avant) étaient tellement favorables que le cyclone a pu en tirer plein profit pour approcher le maximum d'intensité potentiellement (MIP) autorisé par les conditions aux limites (température de surface de la mer plus spécialement), MIP estimé à 880 hPa de minimum de pression centrale sur la zone où a transité le centre de GAFILO (diagramme ci-dessous à droite : source COLA - Center for Ocean-Land-Atmosphere studies).

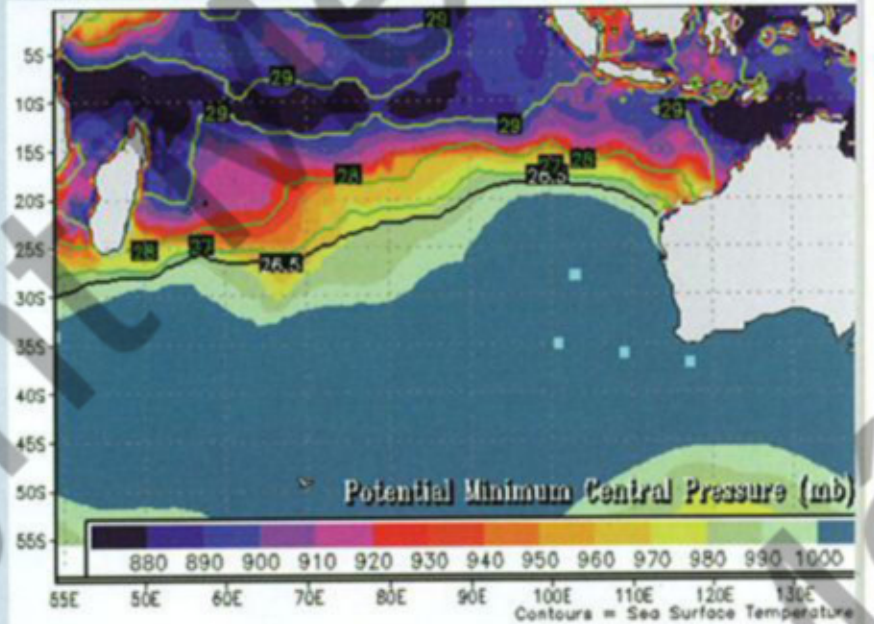
CIMSS Upper Winds



The reasons for an exceptional intensity. Among the factors that played a key role during the nearly explosive intensification phase which drove GAFILO to very intense tropical cyclone stage, two main ones can be identified. When the vertical wind shear is close to nil the main parameter that rules the intensification rates of mature tropical cyclones is the upper divergence, or more precisely the way how the upper outflow organizes (dictating the draught of the chimney to which the inner core of a cyclone can be grossly compared). The most favourable and typical situation usually observed corresponds to a dual-outflow channels arrangement with both equatorward and poleward channels setting up (commonly northwestward and southeastward respectively in the southern hemisphere). This kind of dual-outflow channels pattern - linked to a propitious arrangement of the upper flow by the centres of action surrounding the cyclone - is generally associated to intensification rates greater than average.

In the case of GAFILO, the top image, where the cloud drift winds are superimposed to the water vapour imagery, showed that the storm benefited from an even more favourable situation with the very rare presence of three outflow channels. Besides the very singular existence of this third outflow channel (westward on the left part of the system) notice the particular structure and strength of the equatorward channel with a northward axis resulting in an atypical orientation upstream of an extraordinary deep upper trough of the northern hemisphere that had dug incredibly south along the African coast penetrating south of the Equator.

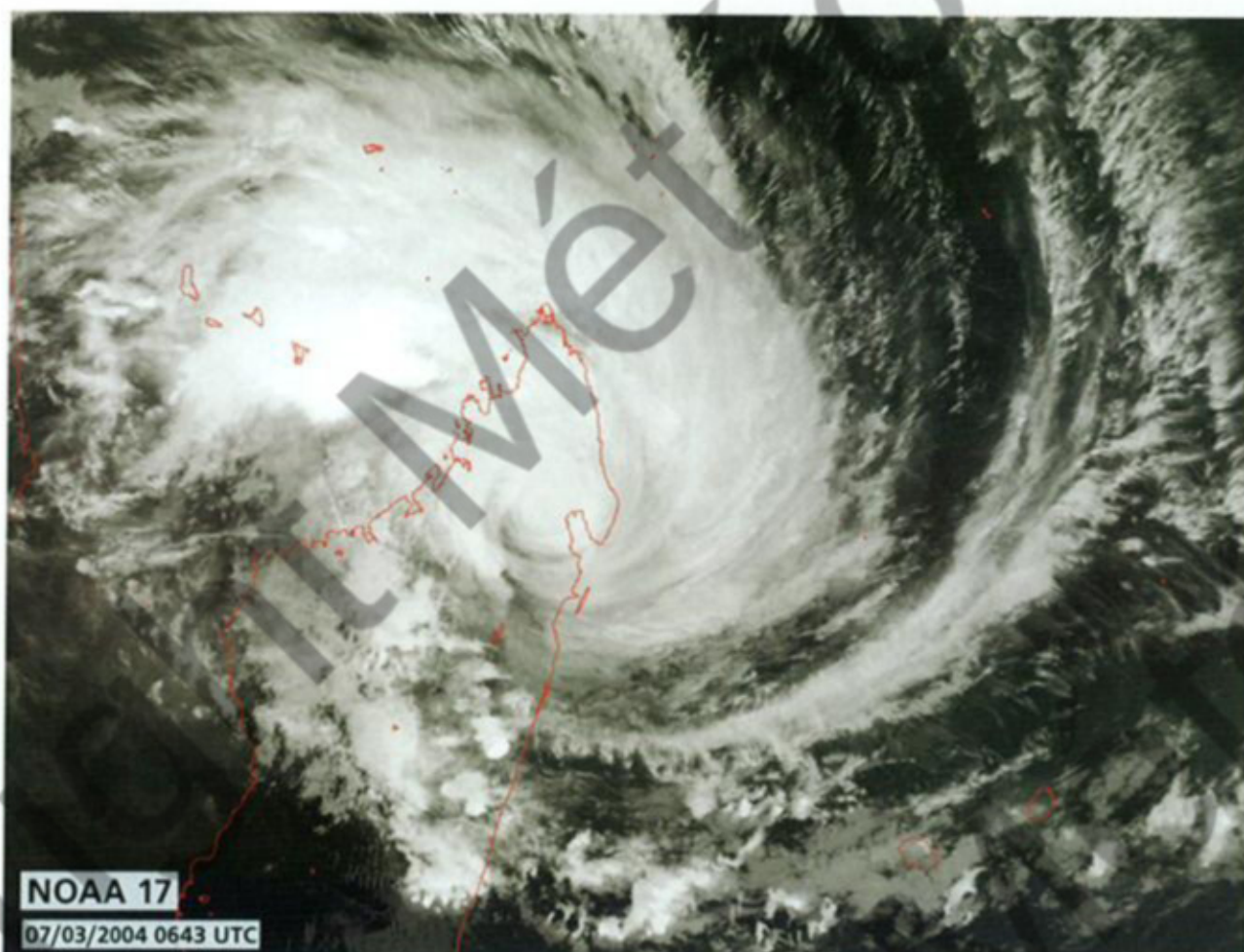
The other fundamental element that enabled GAFILO to reach such an intensity was the sea surface temperature. Climatologically at its warmest level at this time of the year (with temperatures even warmer than normal when considering the SST positive anomalies - bottom left diagram) they exhibited the highest values (exceeding 29°C) west of 56°E, the longitude beyond which GAFILO started to deepen drastically (not a coincidence...). The ocean heat content was therefore very important east of Madagascar and thanks to the very favourable dynamical conditions (especially in the upper levels as mentioned earlier) the cyclone could take full advantage of it thus nearly bottoming the Maximum Potential Intensity (MPI) allowed by the boundary conditions (and the SST more specifically), this MPI being assessed to 880 hPa minimum central pressure in the area where GAFILO's centre tracked (bottom right diagram, courtesy COLA - Center for Ocean-Land-Atmosphere studies).



blow of the meteor on the Great Island was now unavoidable. And this prospect became more worrying as time went by in the following hours. Indeed, this new motion, more definitely westward, was associated to another piece of bad news to come since corresponding to a greater turn in the disturbance's life cycle in terms of intensity. The intensifying process which had been sluggish till then, went berserk all of a sudden from the afternoon of the 5th. Gaining

two points on the Dvorak intensity scale within the next 20h, GAFILO jumped from the tropical cyclone stage to the very intense tropical cyclone stage, this outburst of intensification corresponding to a fall of the central pressure estimated at 60 hPa within 24 h. Even if it was still far from the world record (101 hPa central pressure drop in 24h for typhoon FORREST in the Northwest Pacific), this deepening was still remarkable (see details above on the reasons

à un peu moins de 160 km au sud de la trajectoire du centre de GAFILO au moment du passage au plus près), faisant état d'un vent moyen maximal mesuré de 49 nœuds, pour une rafale maximale de 66 nœuds, soit 122 km/h (la pression minimale horaire relevée étant de 991.9 hPa). L'autre élément révélateur de la puissance exceptionnelle de GAFILO fut la houle cyclonique magistrale levée par le météore



NOAA 17
07/03/2004 0643 UTC

ding hour and would continue such till the following night with temporary gales yielding gusts over 100 km/h (max 10 min average wind of 37 knots recorded at the Airport with a peak gust of 58 knots - 107 km/h). Heavy rain had also started to pour down on the "sea horse island": until the next day rainfall amounts ranging between 100 and more than 275 mm would be registered (250 mm in 24h recorded at Dzoumogne on the northern coast for the heaviest rain). These bad weather conditions generated disturbances, namely in the lagoon where a great number of ships and small vessels broke adrift and ran aground due to the strong winds and high swell. The North of Madagascar would also be drenched (255 mm of rain falling at Nosy Be Island this 7th March for instance).

GAFILO, six heures après son premier atterrissage sur Madagascar. Le cœur du météore est encore relativement bien constitué, mais sera complètement déstructuré peu après (voir image page 71). Outre la divergence d'altitude, qui demeure impressionnante, noter la présence des bandes externes de convection dans le demi-cercle nord de la circulation, dont une particulièrement active sévissant des Comores jusqu'au Nord de Madagascar et occasionnant pluies et vents forts.

Des vents de la force du grand frais ont ainsi commencé de souffler à Mayotte depuis une heure et perdureront ensuite jusqu'en cours de nuit suivante, atteignant temporairement la force du coup de vent, avec des rafales dépassant les 100 km/h (vent moyen maxi de 37 nœuds mesuré à l'aéroport de Pamandzi, pour une rafale maximale de 58 nœuds, soit 107 km/h). De fortes précipitations ont également commencé à s'abattre sur "l'île hippocampe": on enregistrera entre 100 et plus de 275 mm d'ici le lendemain (maximum observé de 250 mm en 24h à Dzoumogne sur la côte nord). Ces conditions météorologiques dégradées provoqueront des désordres, notamment dans le lagon, où nombre de voiliers et d'embarcations rompent leurs amarres et seront drossés à la côte par le vent et la houle. Le Nord de Madagascar sera également copieusement arrosé; 255 mm seront ainsi recueillis sur l'île de Nosy Be ce 7 mars.

GAFILO, six hours after its first landfall on Madagascar. The central core of the meteor was still rather well structured but would be battered very soon (see image page 71). Apart from the upper divergence, which remained fairly impressive, notice the presence of outer bands of convection in the northern semi-circle of the circulation, including a very active one producing heavy rain and strong winds between the Comoros and the North of Madagascar.

Winds of near gale force had indeed begun to blow over Mayotte Island in the preceding hour and would continue such till the following night with temporary gales yielding gusts over 100 km/h (max 10 min average wind of 37 knots recorded at the Airport with a peak gust of 58 knots - 107 km/h). Heavy rain had also started to pour down on the "sea horse island": until the next day rainfall amounts ranging between 100 and more than 275 mm would be registered (250 mm in 24h recorded at Dzoumogne on the northern coast for the heaviest rain). These bad weather conditions generated disturbances, namely in the lagoon where a great number of ships and small vessels broke adrift and ran aground due to the strong winds and high swell. The North of Madagascar would also be drenched (255 mm of rain falling at Nosy Be Island this 7th March for instance).

et qui, se propageant jusqu'à plus de 1000 km du centre du cyclone, a concerné une aire excessivement large, affectant en particulier les côtes réunionnaises exposées (voir détails page 64).

Avec le spectre d'une catastrophe à venir, le rendez-vous avec Madagascar est désormais inévitable. Il intervient en fin de nuit du 6 au 7 mars. Malgré un léger affaiblissement dans la nuit, dû à l'amorce d'un cycle de l'œil (interrompu par l'arrivée sur terre), c'est l'un des cyclones les plus violents de ces dernières décennies qui vient frapper la Grande Ile. Le point d'impact se situe au nord de la péninsule de Masoala, le centre du cyclone franchissant la côte à une trentaine de km au sud de l'infortunée ville d'Antalaha, à nouveau détruite à plus de 85% et sur laquelle les cyclones majeurs semblent s'acharner depuis quelques années (après HUDAH en 2000, HARY en 2002). Aucune donnée n'a malheureusement pu être récupérée de la station synoptique d'Antalaha. La seule donnée fiable concerne la pression minimale mesurée par la station plus au nord de Sambava: 977.9 hPa, une pression relevée à une distance minimale au centre de GAFILO encore conséquente de 95 km (le rayon des vents maximaux étant alors estimé à 15 km). Sur sa lancée, le météore poursuit sa course à travers l'île Rouge, avec une tra-

jectoire qui s'oriente au sud-ouest, et traverse ainsi Madagascar en une trentaine d'heures, semant la ruine sur son passage. Comme c'est généralement le cas pour les cyclones appelés à traverser la Grande Ile, le système nuageux s'est déstructuré assez rapidement une fois sur terre. Mais c'est surtout le cœur central du météore qui a été affecté. Du fait de la taille très large de la circulation dépressionnaire, la partie externe encore sur mer a pour sa part été peu impactée, comme la suite va hélas le prouver. La confluence avec le flux de mousson et l'inertie du champ de vent aidant, des vents étonnamment forts vont en particulier perdurer sur le nord du Canal de Mozambique, et ce bien après l'atterrissage sur la côte nord-est malgache.

En fin de nuit du 7 au 8, des vents de la force ouragan sont ainsi observés plusieurs heures durant au niveau de la ville côtière de Mahajunga. Voir ainsi de tels vents sévir quelque 24h après que GAFILO eut pénétré sur terre constitue un fait inédit, dont on ne trouve pas d'équivalent lors d'épisodes précédents de cyclones ayant traversé Madagascar. Les conséquences de cette bourrasque sont terribles, puisque la zone maritime proche de Mahajunga est le théâtre de deux drames de la mer: un bateau de pêche se retourne dans la baie de la Betsiboka avec 15 personnes à bord; on dénombre 4 res-

explaining this spectacular intensification of GAFILO).

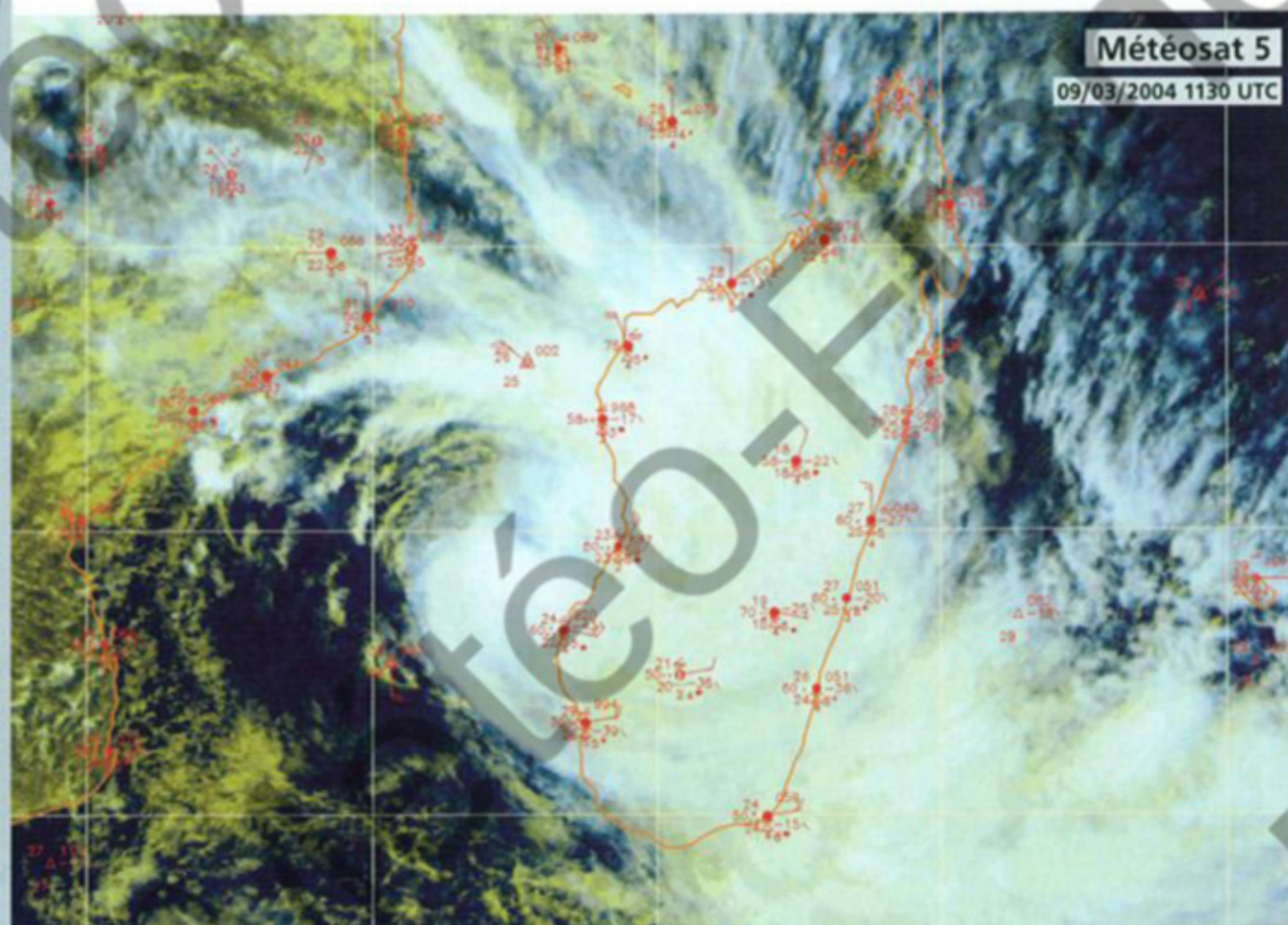
In the middle of the day on 6 March, the intensity started to level off at last, but during the following ceiling phase, a slight additional gain in intensity was observed by late afternoon enabling the estimated minimum eye pressure to fall under the mythical threshold of 900 hPa. With an intensity exceeding 7.0 on the Dvorak scale, GAFILO was indeed credited a minimum central pressure of 895 hPa, which is quite an exceptional value for the SouthWest Indian Ocean (even though there is no "official" record for the basin for lack of validation by in situ measurements, this value sounds very close though).

Extreme intensity, outstanding extension, GAFILO at its peak was a superpowerful phenomenon within which maximum winds were estimated to reach 230 km/h in 10 min-average (125 knots), with related gusts peaking at 330 km/h over the sea! Such a mightiness ranked GAFILO amongst the really exceptional cyclones in the basin, very much like GERALDA (in 1994), the last cyclone commensurate with such a "monster".

In case the satellite imagery was not convincing enough in terms of power and exceptional size of this super-cyclone, two more tangible elements corroborated the feat. In the late night of 5 March, when the cyclone had not yet reached its maximum of intensity, the radius of storm force winds was already exceeding 150 km in the dangerous semi-circle as confirmed by the observations from Tromelin Island (situated less than 160 km south of the trajectory of GAFILO'S

centre at the time of the nearest passage), which recorded a max 10-min average winds of 49 knots for a peak gust of 66 knots, i.e. 122 km/h (the hourly lowest pressure measured was 991.9 hPa). Another revealing feature of the exceptional power of GAFILO was the impressive cyclone swell caused by the meteor which spread to over 1000 km from the cyclone core and affected an extremely wide area including the Reunionese exposed shores (see details page 64).

The inevitable meeting with Madagascar – with the prospect of a major disaster – happened on 7 March at daybreak. Despite a slight weakening during the night due to an incipient eye cycle (interrupted by the landfall), this was one of the strongest cyclones in the last decades to hit the Great Island. The impact point was situated north of the Masoala peninsula, as the centre of the cyclone came ashore some 30 km south of the unfortunate town of Antalaha, relentlessly targeted by major cyclones in the last few years (after HUDAH in 2000, HARY in 2002) and which was once again destroyed by 85%. There was unfortunately no data available from the synoptic station of Antalaha. The only reliable data related to the lowest sea level pressure recorded by the station of Sambava more to the north: 977.9 hPa, a pressure measured from a closest point of approach of GAFILO's centre set at the distance of 95 km (knowing that the radius of maximum winds was estimated at 15 km at the time). In its stride, the meteor kept travelling through the Red Island on a path which curved southwestwards and crossed Madagascar in about 30h leaving a trail of destruction on its way. Just as it is generally the case when cyclones cross the Great Island, the cloud system lost its structure rapidly once overland. But it was mainly the central core of the meteor that was affected. As a result of the large extension of the clockwise circulation, the outer part still at sea underwent little impact as what came next alas showed. Due to the confluence of the low circulation with the monsoon flow together with the important inertia of the windfield, amazingly strong winds perdured over the northern part of the Mozambique Channel many hours after the system had landed on the northeast coast of Madagascar. At the end of the night of 7 March, hurricane force winds were observed for several hours near the seaside town of Mahajunga. The fact that such violent winds raged some 24h after GAFILO's centre had penetrated inland was an unprecedented event with no equivalent seen during previous occurrences of cyclones crossing Madagascar. The consequences of this blast were awful, with the maritime area close to Mahajunga experiencing two dramas at sea: a fishing boat tipped over in the



GAFILO moins de dix heures avant son deuxième atterrissage sur Madagascar. Le météore est alors en phase de réorganisation progressive, avec une structure de type bande incurvée. Du coup de vent est alors observé à Juan de Nova (les vents moyens y excéderont les 43 nœuds) sous la partie nord de cette bande, qui est en fait le prolongement de la bande ayant balayé la veille la côte nord-ouest malgache (voir images page 71). Cette bande génère en outre de fortes pluies (190 mm par exemple à Maintirano ce 9 mars). Certains endroits beaucoup plus éloignés, mais dans la sphère d'influence de GAFILO, subissent également de fortes précipitations (242 mm ce même jour à Fort Dauphin).

GAFILO less than ten hours prior to its second landfall on Madagascar. At that time the storm was still in the process to gradually reorganize through a curved band pattern. Gales were observed at Juan de Nova Island (10 min average winds would exceed 43 knots) beneath this band which was the continuation of the band that had swept over the northwestern Malagasy coast on the previous day (see images page 71). This band also yielded heavy rains (190 mm for instance at Maintirano on this 9th March). Some areas located much farther, but under GAFILO's influence as well, were also experiencing some heavy rain (242 mm recorded at Taolagnaro on this same day).

capés et 7 corps repêchés. Au large, c'est un ferry en provenance des Comores qui fait naufrage. Trois miraculés réchapperont de cette catastrophe maritime, ayant la chance de venir s'échouer sur la côte. Le nombre des disparus est quant à lui incertain, le nombre de passagers excédant probablement les 120 officiellement annoncés (voir l'encart spécial page suivante, sur les circonstances météorologiques ayant conduit à ce drame). Au matin du 8 mars, le minimum dépressionnaire résiduel de GAFILO ressort en mer, à proximité de la ville de Maintirano. La pression relevée à la station météorologique permet de quantifier assez précisément la valeur du minimum de pression, soit 992 hPa. Malgré une circulation dépressionnaire encore bien affirmée, le météore va peiner à se ré-intensifier sur les eaux chaudes du Canal de Mozambique, la convection ayant du mal à se reformer au-dessus du centre de la circulation. Ce n'est qu'après avoir amorcé un virage à 90°, à l'aube du 9 mars, que le météore, dirigé par une cellule anticyclonique de moyenne troposphère positionnée dans le secteur nord-est à nord de

Madagascar, va montrer des signes de réelle intensification. Le délai limité avant son deuxième atterrissage sur la Grande Ile, ne lui laissera heureusement pas le temps de regagner un niveau d'intensité trop conséquent. C'est tout de même au stade de forte tempête tropicale que GAFILO touche terre la nuit suivante, son centre franchissant la côte à 75 km au nord de la ville de Morombe, où la pression minimale observée sera de 986.5 hPa. Parti pour retraverser l'île Rouge en sens inverse, à l'exemple d'ELITA quelques semaines plus tôt, GAFILO va s'attarder à l'intérieur du pays, s'offrant une "excursion" en boucle de plus de trois jours sur le Sud malgache, et contribuant au passage à rajouter localement de nouvelles fortes précipitations (238 mm le 11 mars à Morondava). Rapidement déstructuré et avec un centre dépressionnaire devenu difficile à suivre, GAFILO retrouve l'océan Indien à l'aube du 13 mars, au sud de Farafangana, le minimum dépressionnaire associé étant alors estimé à 1000 hPa. Considérablement affaibli, le système ne disposera pas des ressources nécessaires pour se réorganiser significativement,

malgré une velléité éphémère dans la nuit du 14 au 15. Il sera suivi durant encore plusieurs jours, poursuivant sur une trajectoire en direction de l'est-sud-est, avant d'effectuer un virage en boucle dans le sud-est des Mascareignes, pour venir finalement se dissiper au sud de La Réunion le 18 mars.

GAFILO restera comme un des cyclones majeurs de ces dernières décennies, de part l'intensité atteinte et surtout de part ses conséquences catastrophiques. Madagascar, qui avait déjà terriblement souffert des trois passages consécutifs d'ELITA, a cette fois subi un impact dévastateur. Le bilan humain est très lourd : au 30 mars 2004, le bilan officiel, établi à partir des données fournies par le Conseil National de Secours à Antananarivo, faisait état de 237 morts, 181 disparus (incluant les victimes du naufrage du Samson), 879 blessés, et 304 000 sans abris (dont plus de 174 000 dans la région d'Antalaha). Au niveau matériel, on dénombrait plus de 20 000 habitations sinistrées, 413 bâtiments administratifs et 3400 écoles endommagés, dont 1400 entièrement détruites. Après le passage du cyclone, les Nations Unies estimaient à 700 000 le nombre des sinistrés, dont 280 000 nécessitant une assistance urgente. A plus long terme, le spectre d'une nouvelle période de précarité alimentaire était à redouter, par suite des ravages de GAFILO sur l'agriculture, avec des dégâts importants causés notamment par les inondations aux cultures vivrières, aux productions de riz, de vanille, de bananes.

Bay of Betsiboka with 15 people aboard; 4 survived and 7 drowned bodies were found. In the open sea, a ferry sailing from Comoro was shipwrecked. Three people miraculously survived from this disaster and ran aground on the Malagasy beaches. The number of disappeared people is uncertain as the number of passengers was probably greater than the officially announced number of 120 (see special insert below on the meteorological circumstances that led to the drama).

In the morning of 8 March, GAFILO's residual low went back to sea, next to the town of Maintirano. The pressure read at the meteorological station there enabled to assess rather accurately the value of the minimum pressure, i.e. 992 hPa. Despite a still well defined clockwise circulation, the meteor struggled to re-intensify over the warm waters of the Mozambique Channel as the convection tailed at reforming above the centre of the circulation. It was only once it had started a 90° turn on 9 March at dawn that the meteor steered by a high cell of mid-troposphere standing in the northeastern to northern sector of Madagascar showed some real signs of intensification. Given the short delay before landing for a second time on the Great Island, the meteor hopefully did not have enough time to regain too high an intensity level. Still, it was at the stage of severe tropical storm that GAFILO came ashore on the following night, with its centre crossing the coast 75 km north of the town of Morombe where the lowest recorded pressure was 986.5 hPa. Now gone to cross again the Red Island the other way round, following ELITA's example a few weeks before, GAFILO hung around inland and made a three-day loop over the Malagasy south thereby contributing to bring additional

heavy rain (238 mm on 11 March in Morondava). GAFILO de-structured rapidly inland with its low centre becoming difficult to follow, and returned to the Indian Ocean at dawn on 13 March south of Farafangana, with the related low centre estimated at 1000 hPa.

Drastically weakened as it was, the system did not have enough resilience to get reorganised in a significant way despite a vague impulse in the night of 14 March. It was monitored for another few days as it kept heading east-southeastwards before making a U-turn south east of the Mascarenes and finally dissipating south of La Réunion Island on 18 march.

GAFILO will remain one of the major cyclones in the last decades in terms of intensity and namely of disastrous consequences. Madagascar which had already been severely affected during the three consecutive crossings of ELITA underwent devastating impact this time. The death toll was very high: on 30 March official data from the National Rescue Council in Antananarivo reported 237 dead, 181 missing (including the victims of Sampson shipwreck), 879 injured, and 304,000 homeless (among which 174,000 in the region of Antalaha alone). Infrastructure-wise, more than 20,000 homes were destroyed, 413 public buildings and 3,400 schools were damaged, including 1,400 which were completely destroyed.

After the cyclone's passage, the United Nations estimated there were 700,000 disaster-stricken, 280,000 of which needed urgent assistance. In the longer term, another period of food shortage was to be expected as a result of GAFILO's havoc to agriculture highly damaged by floods in food-producing areas, rice, vanilla and banana plantations.

UN DRAME DE LA MER DANS LE SILLAGE DE GAFILO :

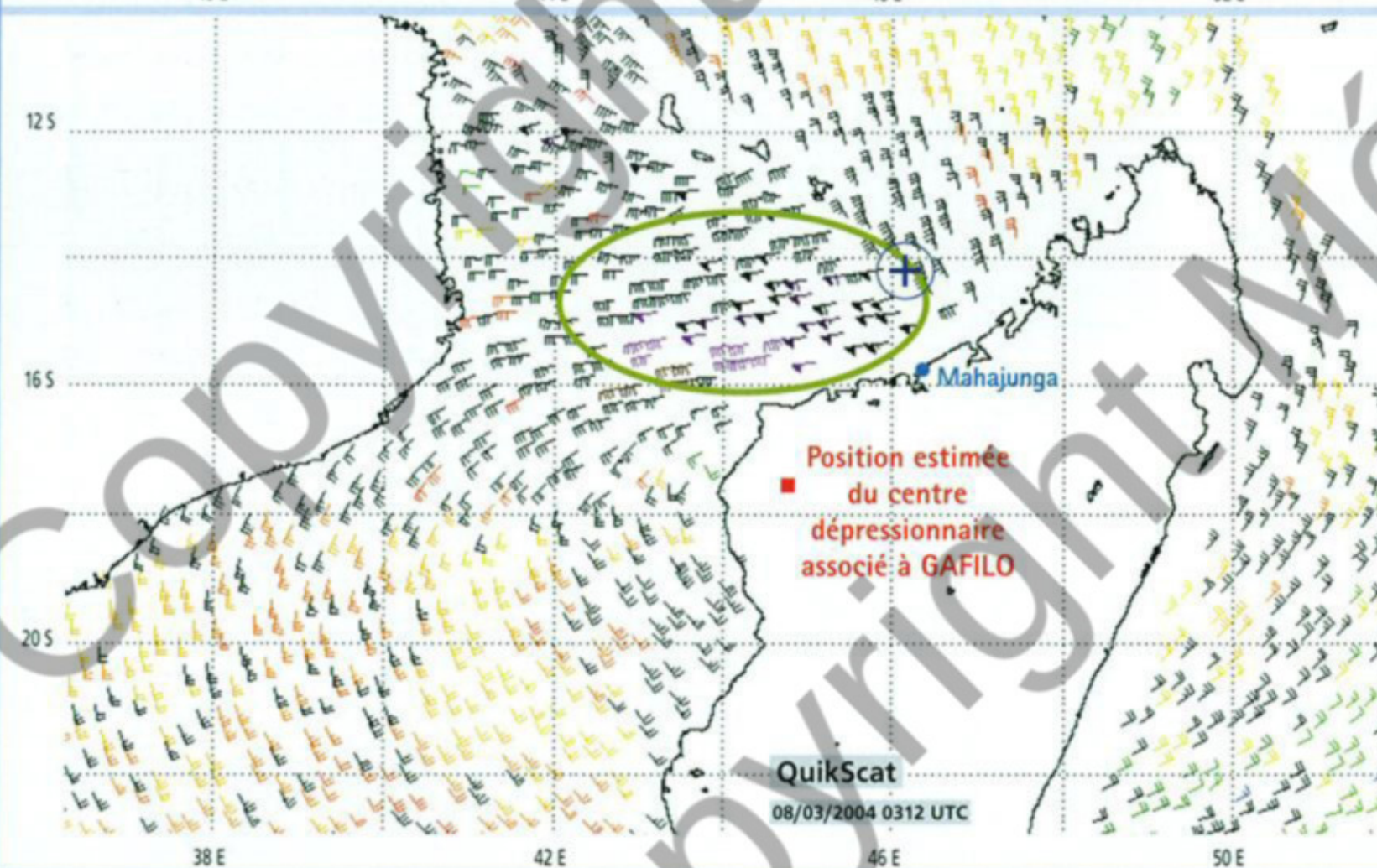
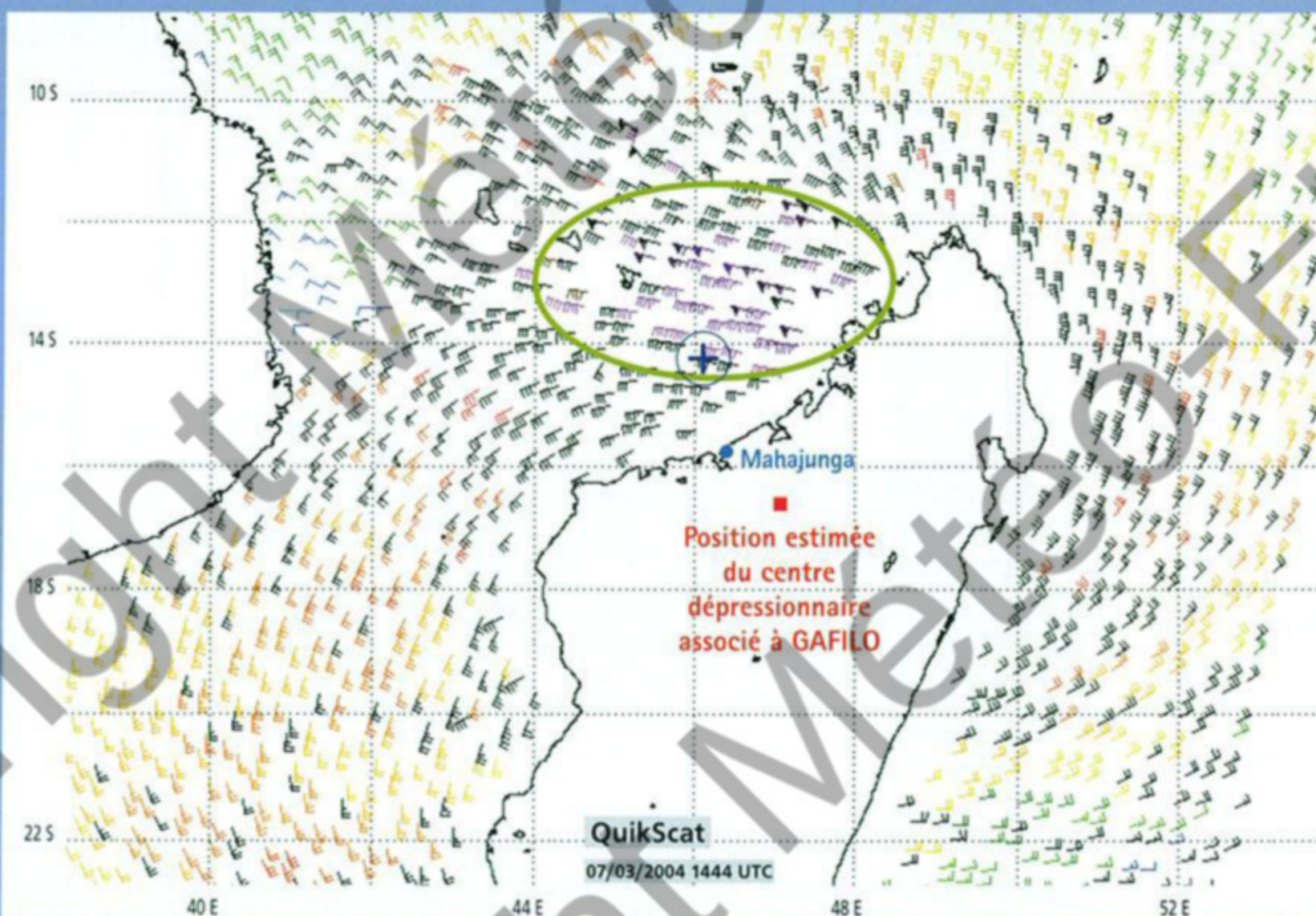
Dans la nuit du 7 au 8 mars 2004, le ferry "Samson" en provenance de Moroni (Grande Comore) et en route vers Mahajunga (Madagascar), sombra quelque part entre les côtes malgaches et l'île de Mayotte. Seuls trois rescapés, venus s'échouer sur les plages du littoral nord-ouest de Madagascar, réchappèrent de ce naufrage qui a fait un nombre indéterminé de victimes (120 passagers et membres d'équipage étaient officiellement recensés, mais on estime plutôt autour de 140 personnes le nombre de personnes à bord).

Le naufrage est intervenu alors que le centre du cyclone GAFILO transitait sur terre à près de 300 km au sud de la dernière position connue du Samson (datant de 16 utc). Selon le témoignage d'un des survivants, le navire aurait été victime d'une panne moteur et, dans une mer démontée, se serait retourné avant de couler quasiment instantanément, ce entre 21 et 22h locales (18 et 19 utc).

Les conclusions de l'étude sur les circonstances météorologiques de cette tragédie sont résumées ci-après :

Les données diffusiométriques (page suivante) dérivées des deux orbites QuikScat consécutives acquises avant et après l'heure présumée du naufrage, indiquent qu'une zone assez étendue de vents forts (localement de la force tempête) a balayé la zone maritime comprise entre Mayotte et la côte malgache dans un déplacement vers le sud-ouest (dans le sillage de la trajectoire du minimum dépressionnaire de GAFILO). Ces vents forts, potentiellement douteux car suspects de contamination par les précipitations, ont été considérés comme valides après analyse expertisée et ce en s'appuyant en particulier sur les observations de vent des stations de Mayotte et de Mahajunga.

Tandis qu'à Mayotte régnait un vent établi autour de 30 nœuds, la station aéroportuaire de Mahajunga a subi elle une montée en puissance brutale de la force du vent. A compter de 21 utc (voir graphe



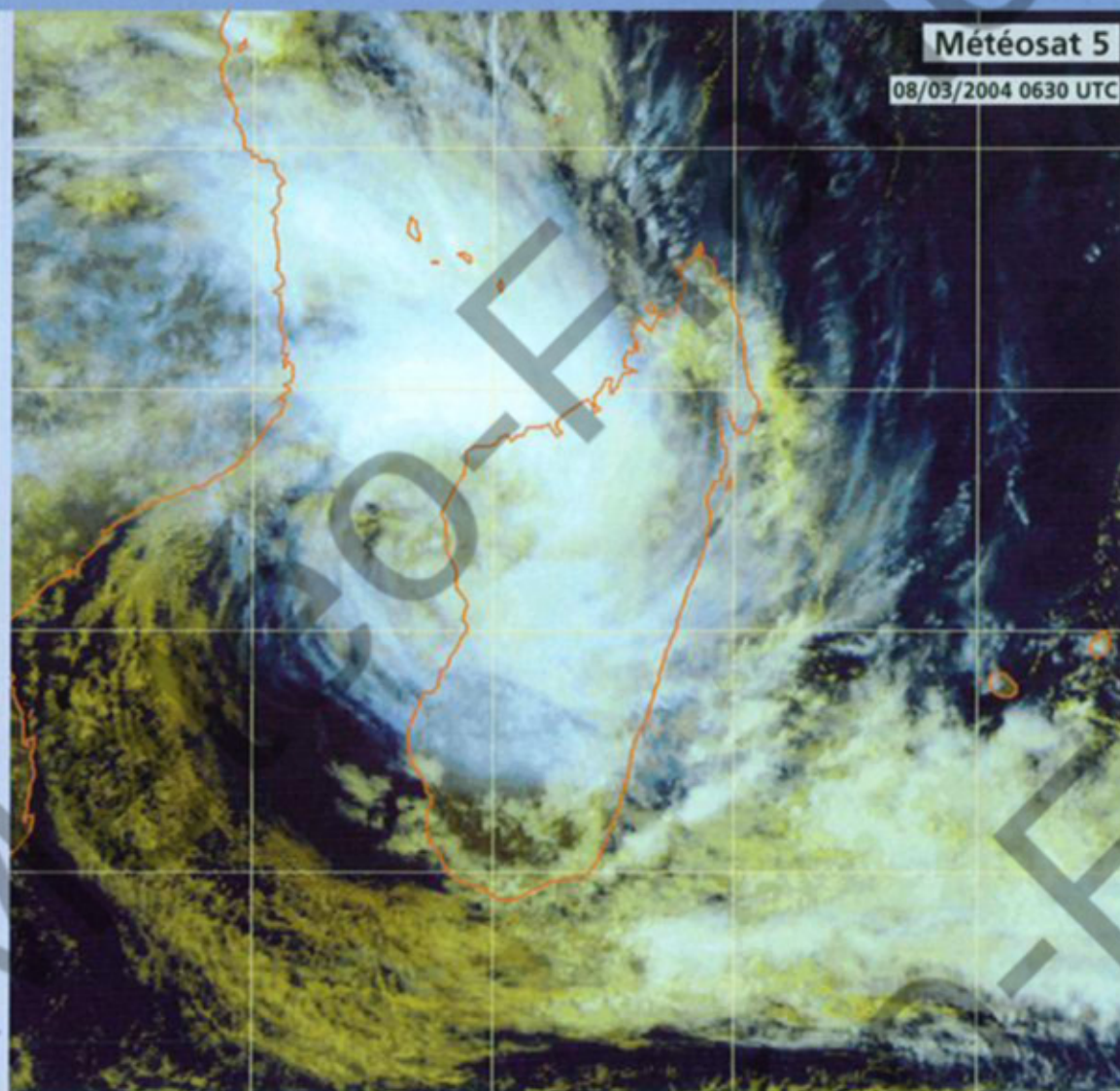
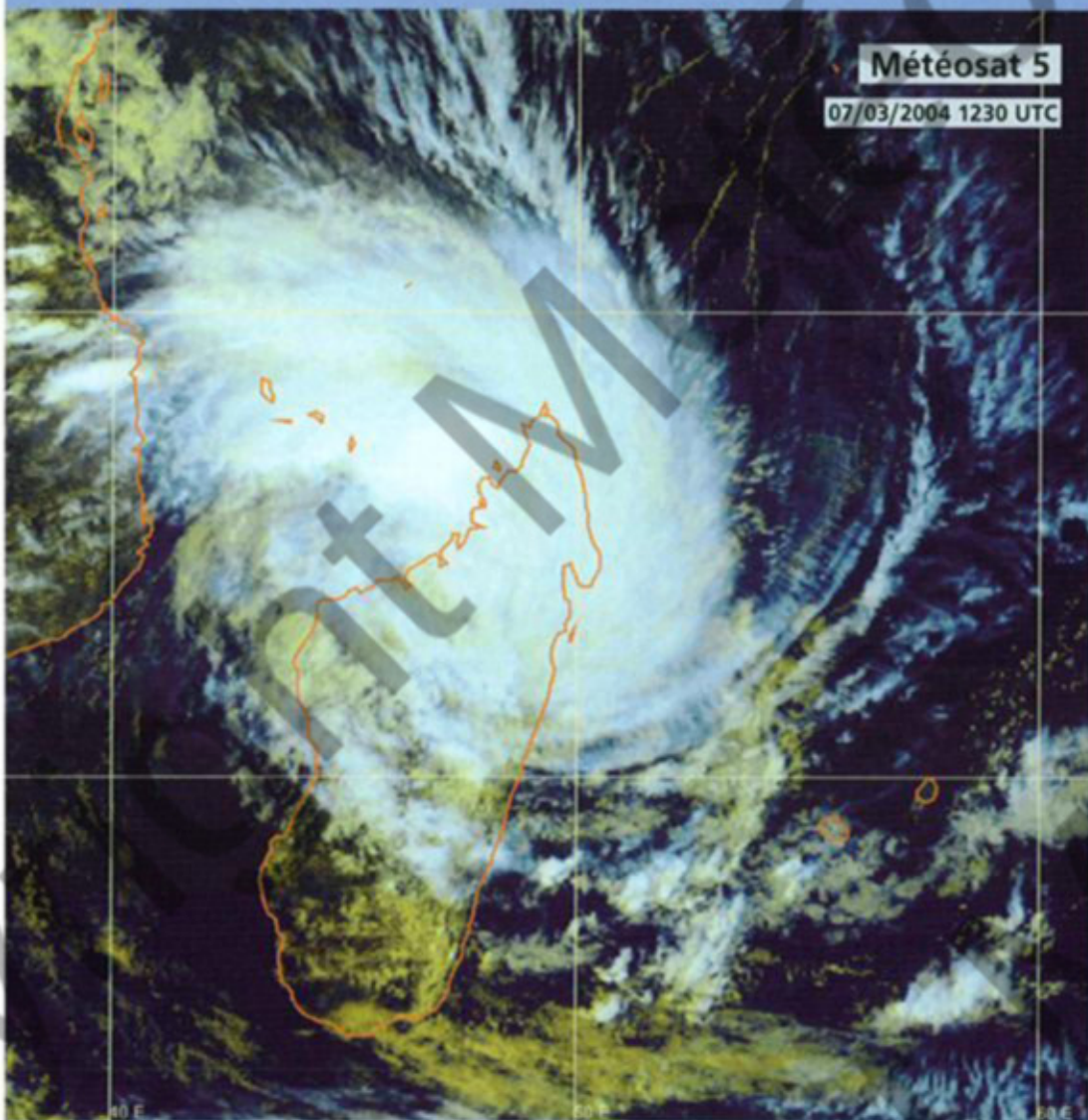
A la confluence entre le flux de mousson au nord et la circulation dépressionnaire de GAFILO, les données issues du radar diffusiomètre QuikScat faisaient valoir la présence de vents forts (jusqu'à 50-60 nœuds) ayant balayé la zone où se trouvait le "Samson" (la croix correspond à la dernière position connue du navire - le 7 à 16 UTC). Se présentant sous la forme de pavés uni-directionnels quasiment perpendiculaires à l'axe de la fauchée du satellite, ces données sont cependant à interpréter avec précaution, car potentiellement susceptibles d'avoir été contaminées par les précipitations. En présence réelle de vents forts, la contamination par les précipitations a toutefois un impact faible, pouvant même se traduire par une atténuation du signal rétro-diffusé vers le radar diffusiomètre et donc une sous-estimation de la force des vents. Enfin, une deuxième limitation majeure de la capacité de mesure a trait à la résolution de QuikScat : de 25 km, elle signifie que les super-gradients de vents ne peuvent être appréhendés, les vents étant alors minorés par "lissage" avec les vents plus faibles alentours.

At the confluence of GAFILO's clockwise circulation with the monsoon flow to the north, the data derived from the QuikScat scatterometer radar asserted the presence of strong winds (reaching 50 to 60 knots) having swept over the area where the "Samson" was cruising (the cross corresponds to the last known position of the ship - at 16 UTC on the 7th). Yet these winds have to be interpreted with caution, especially so since being displayed within blocks of winds aligned perpendicular to the orientation of the satellite swath, a signature of potential rain contamination. When strong winds truly exist the impact of rain-contamination is however limited and may even result into an attenuation of the back-scattered signal and to an underestimation of the strength of the winds hence. Last point, a second major limitation of the wind measuring skill by QuikScat has to be remembered : due to the 25 km resolution of the sensor the super-gradients of winds cannot be seen by the radar, therefore inducing an underestimation of the strongest winds by "smoothing" with the neighbouring weaker winds.

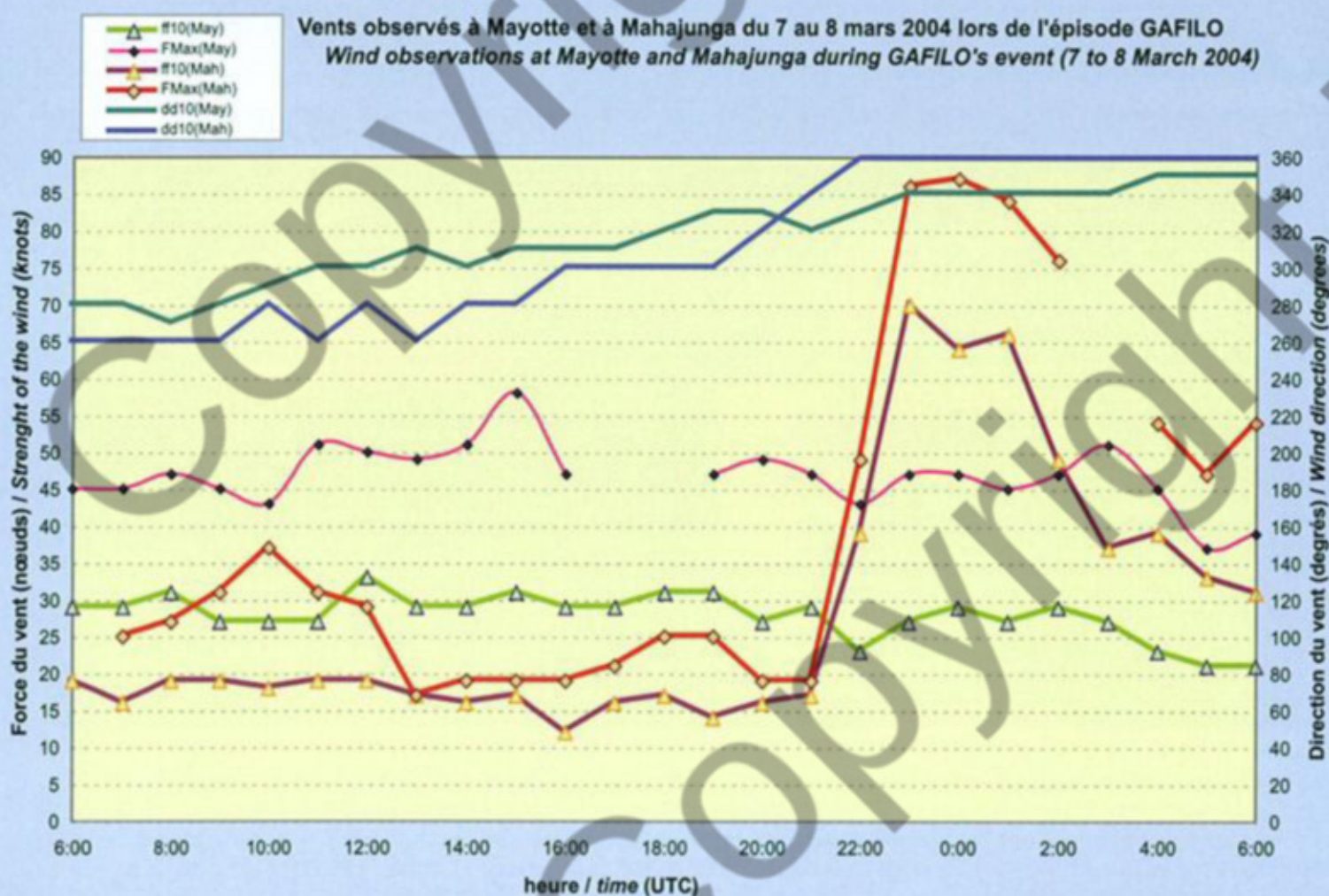
page opposée), les vents moyens sont passés de 16-17 nœuds à 70 nœuds en l'espace de 2h de temps (les rafales culminant peu après à 87 nœuds - soit 161 km/h !), ces conditions cycloniques étant d'autant plus remarquables qu'elles survenaient quelque 24h après que le centre de GAFILO eut pénétré sur terre sur la côte est malgache. La mise en perspective de ces vents de la force ouragan, ayant sévi plus de 3h durant sur la cité portuaire malgache, avec les données d'imagerie disponibles, a montré qu'ils étaient à relier avec le passage d'une bande nuageuse s'apparentant à une puissante ligne de grains. Outre le fait que la durée des vents les plus forts observée à Mahajunga était cohérente avec la largeur et la vitesse de

déplacement de la bande pluvieuse telle qu'elle se présentait au niveau du littoral malgache, une analyse plus fine des données a permis de déterminer que les vents les plus forts (ceux de la force ouragan) étaient localisés plutôt dans la partie postérieure et à l'arrière de la ligne de grains, le corps de celle-ci étant plutôt situé au niveau de la zone de fort gradient marquant la montée en puissance brutale du vent.

Enfin, il été établi que le timing de l'heure estimée à laquelle a dû se produire la confrontation du "Samson" avec la bande relativement étroite de vents les plus extrêmes, était cohérent avec l'heure présumée du naufrage.



Sur ces deux images (composites colorées de canaux visible et infrarouge), noter la zone de forte activité convective initialement présente à l'est de Mayotte, puis, le lendemain, la bande de convection profonde à l'ouest de Mahajunga (à comparer avec les champs de vents QuikScat correspondants page opposée).
 On these two images (coloured composite of visible and infrared) one can notice the strong convective activity initially located east of the Comoros and the band of deep convection standing on the following day west of Mahajunga (to compare with the corresponding QuikScat windfields - opposite page).



Sur ce diagramme figurent les données horaires de vents observées à Mahajunga (Mah) et à Mayotte (May) entre le 7 et le 8 mars 2004 (ff10 = force du vent moyen sur 10 minutes à l'heure ronde; Fmax = rafale maximale observée dans l'heure précédente; dd10 = direction du vent moyen à l'heure ronde).
 Noter la montée en flèche brutale du vent observée à Mahajunga entre 21 et 23 utc le 7 mars, ce renforcement s'accompagnant d'une rotation des vents du nord-ouest au nord.

On this diagram are plotted the hourly wind observations recorded at Mahajunga (Mah) and at Mayotte (May) between 7 and 8 March 2004 (ff10=10 min hourly average winds; Fmax= peak gust recorded during the preceding hour; dd10=direction of the mean wind).
 Notice the steep rise of the windspeed observed at Mahajunga between 21 and 23 utc on 7th march, the northwesterly winds veering northerly in the meantime.

A DRAMA AT SEA IN THE AFTERMATH OF GAFILO :

In the course of the night of 7 March 2004, the ferry "Samson" coming from Moroni (Comoros) and bound to Mahajunga (Madagascar) foundered somewhere between the Malagasy coast and the island of Mayotte. Only three people survived to this shipwreck, running aground on the northwestern Malagasy beaches while the number of fatalities remains undetermined (120 passengers and crew members were officially onboard but more realistic estimations stated that some 140 had in fact to be accounted for missing).
 The shipwreck occurred while the centre of tropical cyclone GAFILO was transiting inland almost 300 km to the south of the last known position of the Samson (at 16 utc). One of the survivors witnessed that the ship underwent an engine failure and tipped over almost instantaneously in very rough sea conditions between 9 and 10 p.m. local time (i.e. 18 and 19 utc).
 The conclusions of the study on the meteorological circumstances having led to this tragedy are summarized hereafter :

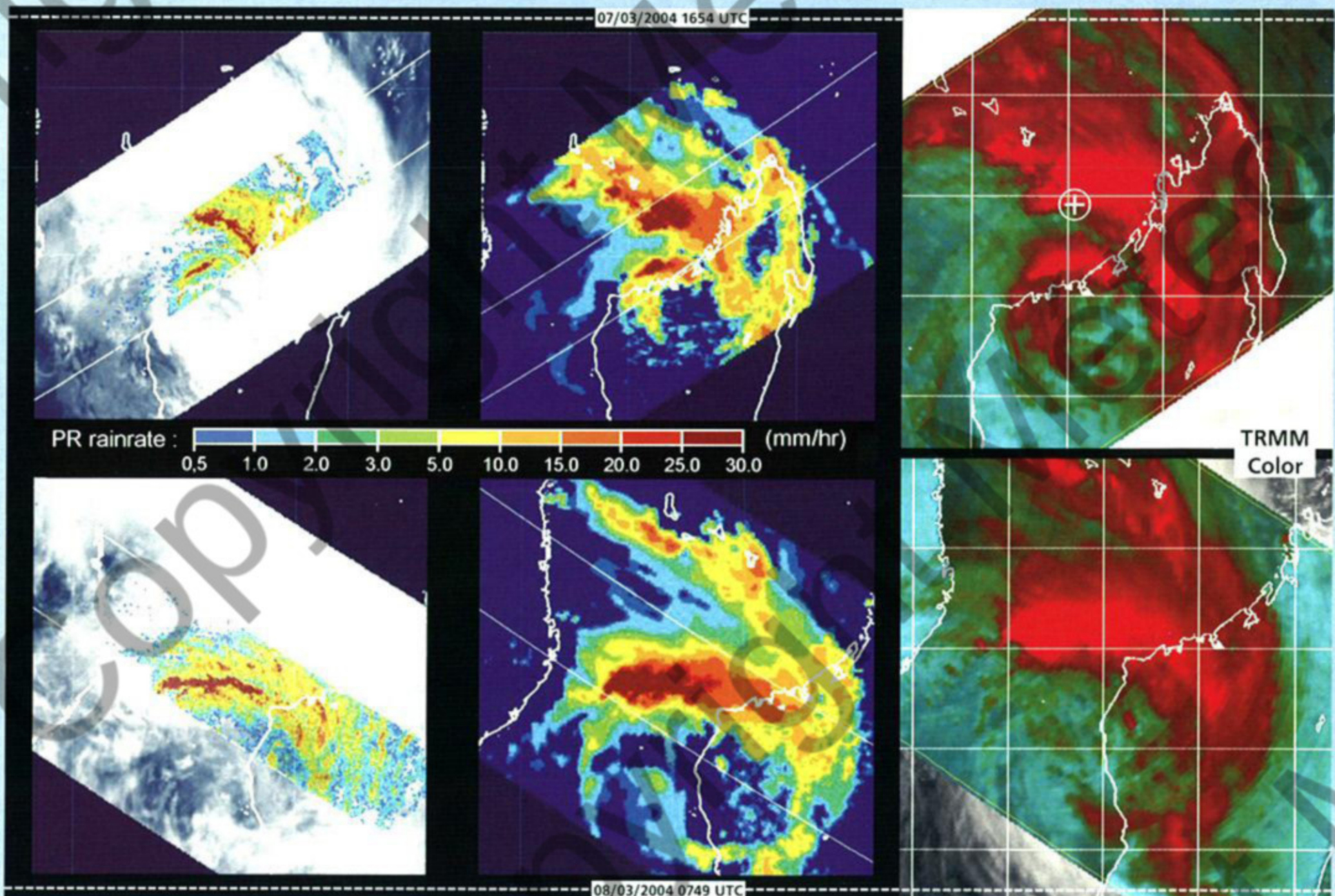
The scatterometer data (page 70) derived from the two consecutive QuikScat swaths acquired before and after the presumed time of the shipwreck, indicated that a rather wide area of strong winds (of storm force locally) had swept over the maritime zone situated between Mayotte Island and the Malagasy shoreline on a southwestward path (in the wake of GAFILO's centre track). These strong winds, potentially dubious as suspected of being rain-contaminated, were reckoned as valid after a valuation that partly relied upon the wind observations of the synoptic stations of Mayotte and Mahajunga.

While at Mayotte steady winds of about 30 knots were recorded, the airport station of Mahajunga reported an abrupt and powerful rise of the windspeed. Reckoning from 21 utc (see diagram on previous page) the 10-min average winds rose from 16-17 knots to 70 knots in just 2h time (the peak gust of 87 knots -i.e.161 km/h- being registered a little while later). Those hurricane force winds conditions, which lasted for more than 3h on the harbour city of

Mahajunga, were all the more remarkable as they happened some 24h after the landfall of GAFILO on the eastern Malagasy coast...

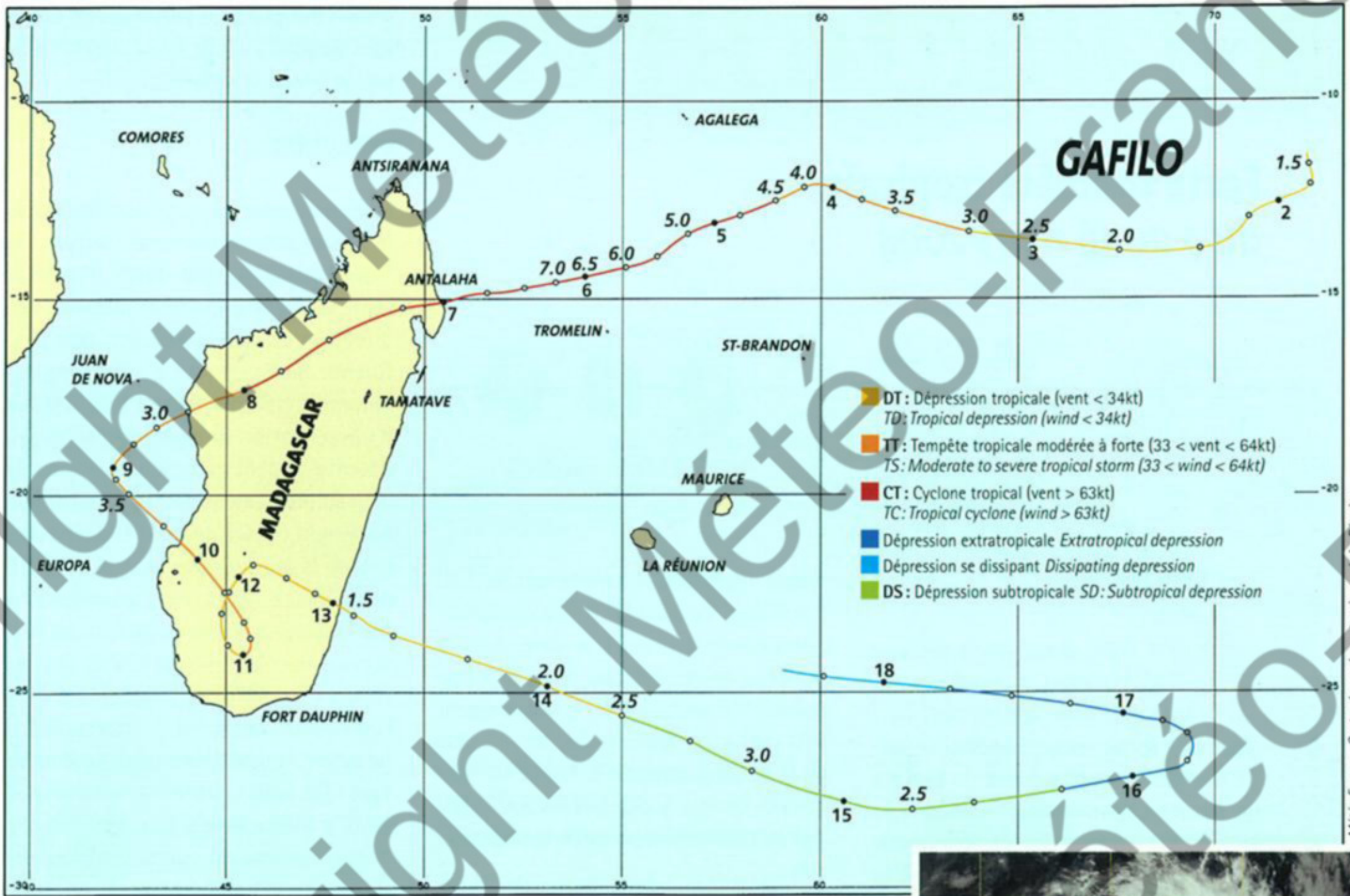
Putting those hurricane force winds in perspective with the available satellite data led to the conclusion that they were linked to the passage of a cloudband resembling a powerful squall line. In addition to the fact that the duration of the strongest winds that raged at Mahajunga was consistent with the width and speed of movement of the rainband as it was featured along the Malagasy shoreline a thorough analysis of the data enabled to determine that the strongest winds (those of hurricane force) were located in the rear part of the squall line and behind it, the main rain body corresponding to the strong gradient area associated to the steep rise of the winds.

Lastly it was established that the estimated time when the "Samson" was hit by the narrow band of strongest winds was coherent with the timing of the shipwreck.



Ces différentes images TRMM, issues de deux orbites acquises respectivement moins de deux heures avant et plus de douze heures après le naufrage du "Samson", éclairent la situation à laquelle a été confrontée le ferry. Plus que les données de l'imageur micro-onde (au milieu), qui a une fauchée plus large, permettant une vision plus globale mais avec une résolution grossière, c'est la finesse du détail des précipitations vues par le radar (à gauche) qui permet de mieux appréhender la structure de la bande d'intenses précipitations ayant balayé la zone où se trouvait le navire. Ce qui s'apparente à une bande nuageuse externe telle qu'on en trouve fréquemment au sein des systèmes dépressionnaires tropicaux, se singularise par son extrême activité pluvieuse et compacité, lui conférant tous les traits d'une puissante ligne de grains, d'une largeur moyenne voisine de 30 km pour une extension horizontale est-ouest de 200 à 250 km pour sa partie la plus active (celle associée aux précipitations les plus intenses - en rouge brique). Cette extension horizontale importante garantit en tout cas que le "Samson" n'a pas pu y échapper et a eu à subir son passage, ainsi que les vents violents et les conditions de mer très dégradées associées. Sur la première orbite TRMM, la limite avant de la ligne de grains est positionnée juste au niveau des dernières coordonnées transmises par le "Samson" environ une heure plus tôt (repérée par la croix blanche sur l'image du haut à droite)...

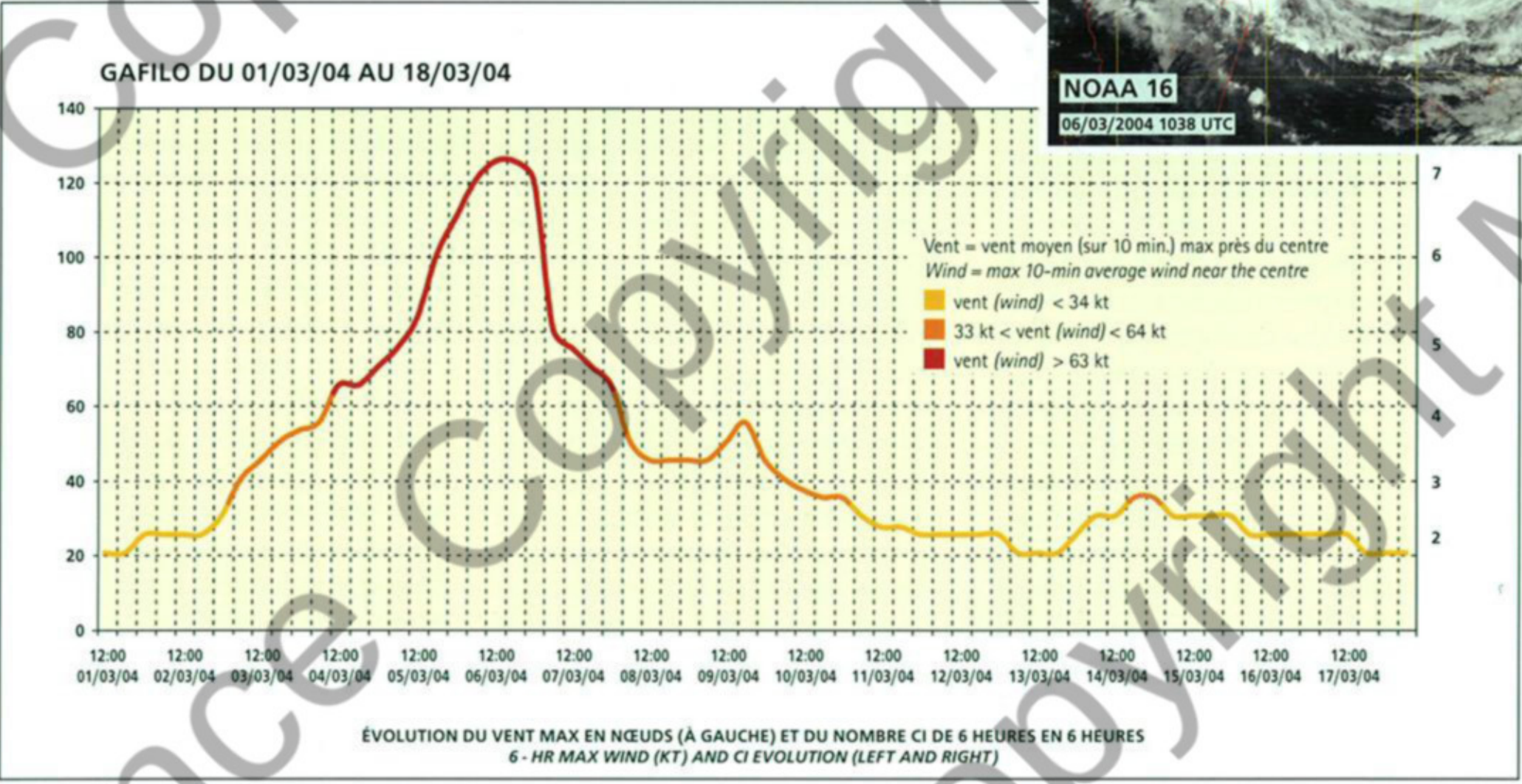
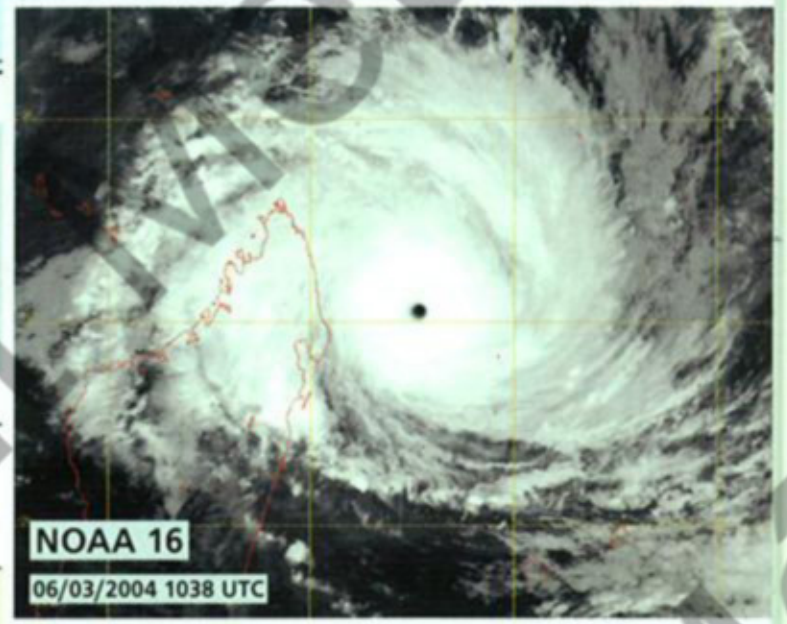
This panel of TRMM images coming from two different orbits acquired respectively less than two hours before and more than twelve hours after the shipwreck of the "Samson", elucidate the situation the ferry had to face. Owing to the acuteness of peering provided by the Precipitation Radar data (left images) more than to the data from the Microwave Imager (midmost images) whose swath is larger enabling a more comprehensive vision but with a coarser resolution, one can better comprehend the structure of the intense rainband that swept over the area where the vessel was situated. What looked like a typical outer rainband as commonly found within the circulation of tropical systems, appeared in fact much more peculiar considering its extreme rain activity and compactness that gave it all the features of a powerful squall line of about 30 km average width for a 200 to 250 km zonal length for its most active part (the one associated to the most heavy rain - reddish brown coloured). The important horizontal extent of this squall line undoubtedly guaranteed that the "Samson" could not avoid it and had to bear the related violent winds and very high seas conditions. On the first TRMM orbit the front of the squall line stood right above the last coordinates transmitted by the "Samson" about one hour earlier (spotted by a white cross on the upper right image)...



Météo France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

Rien n'égale le Noir et Blanc pour faire rejaillir toute la symbolique qui peut se rattacher à la "monstrueuse esthétique" d'un cyclone de la puissance de GAFILO. Fascination face à cette merveille de la nature d'un côté (pureté des lignes, soyeux de la texture nuageuse valorisée par l'infra-rouge), mais aussi effroi face à cette dévastatrice machine atmosphérique, source de ravages et de souffrances.

Nothing can compare with black and white pictures when wanting to highlight all the symbolism related to the "dreadful aesthetics" of such a mighty cyclone like GAFILO that inspires fascination in front of this natural marvel (perfect lines, smooth cloud texture emphasized by the infrared) but also dismay considering the havoc and amount of sufferings this devastating atmospheric machine can generate.



Helma/Nicky

Forte tempête tropicale du 7 au 16 mars 2004

Severe Tropical Storm "Helma/Nicky" (07-16 March 2004)

FORMATION

Le 7 mars, alors que le cyclone GAFILO vient de pénétrer sur Madagascar et occupe tout l'espace méditerranéen -et aussi une bonne partie de l'espace géographique du bassin!, un nouveau système dépressionnaire va bientôt voir le jour en marge orientale de la zone de responsabilité du CMRS de La Réunion. Mais les prémices de cette nouvelle perturbation sont en fait apparus bien plus tôt, étant contemporains des débuts de GAFILO. Dès le 2 mars, en effet, alors que le futur GAFILO en était encore à un stade embryonnaire, un minimum dépressionnaire était déjà esquissé au sein du talweg de mousson, vers 92°Est et au voisinage du 10ème parallèle Sud. Les modèles numériques prenaient en compte cette circulation encore très faible et entrevoyaient pour elle un réel potentiel de creusement, mais seulement à moyenne échéance. La suite va leur donner raison. Durant les 3-4 jours suivants, aucune évolution significative n'est observée. La convection est certes bien présente au sein de cette zone perturbée -positionnée à cheval sur le Sud-Est et le Sud-Ouest de l'océan Indien-, mais demeure très fluctuante et inorganisée. Il faut donc attendre le 7 mars pour noter un début d'accroissement de la vorticité autour du minimum dépressionnaire, alors encore estimé à 1005 hPa. A cet instant il est situé à l'ouest du 90ème méridien Est, mais se décale toutefois vers l'est pour ce qui s'avérera être son dernier aller et retour entre les zones sud-ouest et sud-est de l'océan

Indien. Franchissant dans la nuit du 7 au 8 le 90ème méridien Est, limite de séparation virtuelle entre les deux zones, il ne va toutefois guère s'enfoncer en zone de responsabilité australienne, le déplacement vers l'est ne se prolongeant pas au-delà de la fin de journée du 8. Mais c'est bien dans ce secteur Sud-Est de l'océan Indien que la cyclogenèse va enfin se concrétiser.

Au petit matin du 8, le changement est patent par rapport à la veille, avec une structuration franche de la circulation dépressionnaire, confirmée à la fois par le champ de vents dérivé des données diffusiométriques de l'orbite QuikScat et par l'imagerie satellitaire, qui révèle la formation d'un vortex de basses couches bien affirmé, au sein d'une circulation cyclonique assez large. Ce vortex apparaît cependant exposé hors de la convection, non pas en raison de la présence d'un cisaillement vertical de vent particulièrement sensible, mais plutôt du fait d'une activité convective quelque peu déficiente, en particulier dans le demi-cercle sud de la circulation dépressionnaire. Ce manque de convection va oblitérer les chances d'un développement rapide du système.

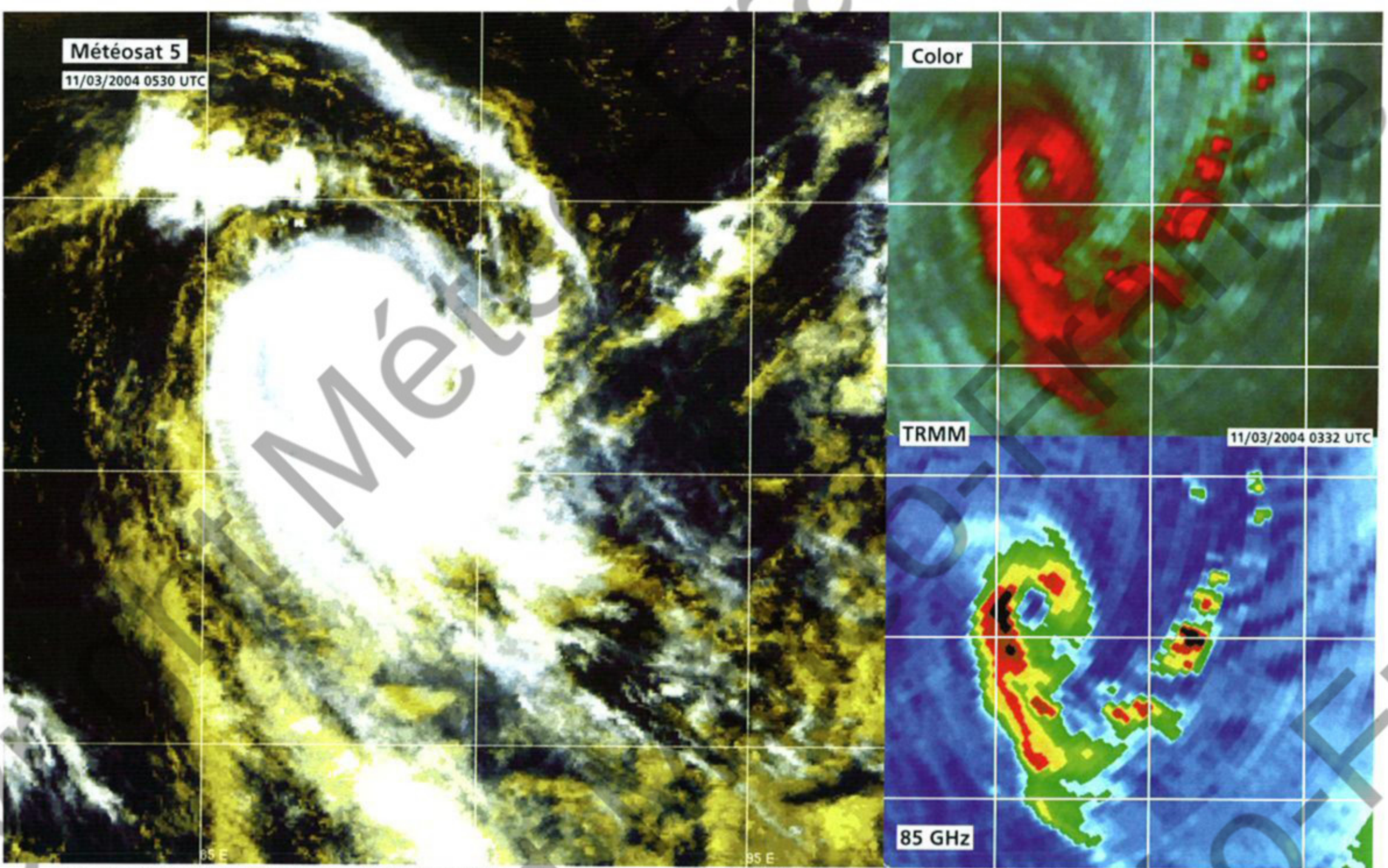
Car la convection peine en effet à se développer et à se consolider, mais vient en contrepartie s'installer autour du centre de la circulation de basses couches à compter de la nuit suivante, ce qui autorise ainsi un creusement supplémentaire du minimum dépressionnaire associé, jusqu'au stade minimal de tempête tropicale modérée, atteint en fin de matinée du 9 mars. Ce creusement s'est opéré qua-

siment sur place, la perturbation décrivant depuis la veille une trajectoire en boucle à vitesse réduite.

ÉVOLUTION

Baptisé en matinée du prénom NICKY par le Centre d'Avertissements de Cyclones Tropicaux australien de Perth, le système vient alors d'amorcer un déplacement en direction du sud-sud-ouest, sous l'influence de l'approche d'un talweg des moyennes latitudes. Evitant ainsi la baisse d'alimentation énergétique qu'aurait potentiellement pu induire la poursuite d'un stationnement sur place (par refroidissement consécutif de la surface océanique), la perturbation peut ainsi continuer de se renforcer, à un rythme désormais plus climatologique. La convection gagne en consistance le 10 et un point chaud s'y développe fugacement dans l'après-midi, avant que la structure nuageuse ne s'établisse en configuration de type CDO (amas nuageux central dense). Dans le même temps, subissant l'attraction croissante du puissant talweg des moyennes latitudes présent au sud-ouest et dont la limite septentrionale est venue s'enfoncer jusqu'au nord du 20ème parallèle Sud, NICKY accélère au fil de la journée du 10, sur un cap qui s'établit un peu plus sud-ouest. Retraversant le 90ème méridien Est en soirée, le météore, analysé depuis peu en forte tempête tropicale, change de nom et devient HELMA dans le Sud-Ouest de l'océan Indien.

Le scénario est désormais écrit et on ne peut plus classer. En marge de la cellule de hauts géopotentiels présente à l'est, la tempête peut poursuivre son processus d'intensification tant qu'elle demeure située du côté équatorial de l'axe de la dorsale d'altitude. Une fois basculée du côté polaire, elle va commencer à subir l'impact grandissant du flux de nord-nord-ouest circulant à l'avant du talweg polaire et l'accroissement résultant du cisaillement vertical de vent, jusqu'à ce que la ventilation ne dépasse ensuite le seuil critique supportable par le système nuageux et ne vienne déchirer sa structure verticale et démanteler la convection associée. Le maximum d'intensité survient en fait à l'approche du 18ème parallèle sud, soit légèrement au nord de l'axe de la dorsale



La forte tempête tropicale HELMA à son maximum d'intensité. La configuration nuageuse est du type CDO (amas nuageux central dense) sur l'imagerie satellitaire classique, mais l'imagerie micro-onde TRMM, qui permet de "voir" au travers la couche supérieure de cirrus, montre la présence d'un œil déjà bien constitué au cœur de la perturbation.
Severe tropical storm HELMA at intensity peak. The storm displayed a Central Dense Overcast (CDO) cloud pattern at that time on the classical imagery, while the microwave imagery, which has the capacity to sense through the cirrus cloud shield, portrayed a clear-cut eye within the storm's central core.

d'altitude, en début de matinée du 11 mars, HELMA étant alors classé au stade supérieur de la forte tempête tropicale. Sur l'imagerie satellitaire classique, la perturbation présente toujours à cette heure une configuration de type CDO, mais un œil assez bien défini s'affiche par contre clairement sur l'imagerie micro-onde. Cet état ne dure que quelques heures et dès le début d'après-midi les prémices du cisaillement annoncé deviennent perceptibles sur l'imagerie satellitaire. S'accroissant en fin de nuit suivante, il provoque rapidement la déstructuration du météore. En début de nuit du 12 au 13, quasiment toute la convection s'est volatilisée, dévoilant complètement le vortex résiduel de basses couches, dont le centre franchit à cet instant le 20ème parallèle Sud.

Le comblement de la dépression est rapide jusqu'au matin du 13 mars, moment où intervient un changement de trajectoire en direction du sud-sud-est, puis beaucoup plus lent ensuite. Après avoir obliqué à 90° au matin du 14, au niveau du 25ème parallèle Sud, au contact de la cellule anticyclonique subtropicale postérieure au talweg polaire qui attirait jusque là l'ex-HELMA, le minimum résiduel incurve ensuite en direction du sud-est le

FORMATION

On 7 March, just as Cyclone GAFILO was penetrating Madagascar making the news headlines, a new depression system was about to emerge on the eastern outskirts of RSMC La Reunion's area of responsibility. Actually, the early beginnings of this incipient disturbance had manifested much earlier being contemporaneous of those of GAFILO. Early on 2 March indeed, while to-be GAFILO was still at an embryonic stage of development, there was already a hint of a weak low outlined within the monsoon trough around 92°East near latitude 10°South. The numerical models took account of this still very weak circulation and expected it to deepen but only at medium range. What happened next confirmed their predictions. During the following three to four days, no significant evolution could be observed. The convection was assuredly well represented within this area of disturbed weather, straddling the Southeast and Southwest Indian Ocean, but remained fluctuating and disorganised. It was only from 7 March that one could observe an incipient increase of vorticity around the low centre estimated to be still 1005 hPa at the time. At that very moment it was positioned west of longitude 90°East but had started to shift eastwards thus initiating what would turn to be its last return trip between the southwest and

southeast sub-areas of the Indian Ocean. As it crossed longitude 90°East in the night of 7 March, the virtual demarcation line between the two zones, it did not move deep into the Australian area of responsibility as its eastward motion did not last beyond the late afternoon of 8 March. However, it was in this Southeastern sector of the Indian Ocean that the cyclogenesis did finally materialise.

On 8 March at dawn, the change was obvious compared to the previous day, with a clear-cut structuring of the low circulation, confirmed both by the wind field retrieved from the scatterometer data of the QuikScat swath and by the satellite imagery, which revealed the formation of a well-defined low-level cloud vortex wrapping within a rather wide clockwise circulation. The vortex appeared exposed outside the convection though, which was not caused by the presence of quite a noticeable vertical windshear but rather due to a somewhat deficient convective activity, especially in the southern semi-circle of the clockwise circulation. The lack of convection impeded upon the rapid development of the system. Indeed, the convection struggled in order to develop further and consolidate but nonetheless settled around the low-level circulation centre from the following night, which enabled the related minimum of low pressure to deepen further. The minimum stage of moderate tropical

storm was thereupon reached by the late morning of 9 March. The deepening took place nearly on the spot as the disturbance had been describing a small loop at reduced speed since the previous day.

EVOLUTION

Named NICKY by morning by the Australian Tropical Cyclones Warning Centre of Perth, the system had just started to move towards the south-southwest under the influence of an approaching mid-latitude trough. It thus avoided a drop in energy supplying that a prolonged standstill might have generated (by a consecutive cooling down of the sea surface) and kept intensifying at a more climatological pace thence. The convection gained consistence on 10 March and embedded within it a hint of a warm spot developed transiently in the afternoon before the cloud structure settled as a CDO cloud pattern (central dense overcast). In the meantime NICKY was undergoing the increasing attraction of the powerful mid-latitude trough lying in the southwest, whose northern boundary had dug further northward thereby intruding equatorward of latitude 20°South. Accelerating on a more southwesterly track in the course of the 10th it crossed longitude 90°East once again in the evening, the meteor—just recently analysed as a severe tropical storm—changed name and became HELMA as it entered the Southwest Indian Ocean.

The scenario was thence predictable and a typical one. Evolving on the western periphery of a geo-potential high present in the east, the storm could keep intensifying as long as it remained equatorward of the upper ridge axis. Once it had tipped over to the polar side it started to feel the increasing impact of the north-northwesterly flow ahead of the polar

through and the induced enhancement of the vertical windshear until the ventilation exceeded the critical threshold bearable by the cloud system, tearing the vertical structure and dismantling the related convection.

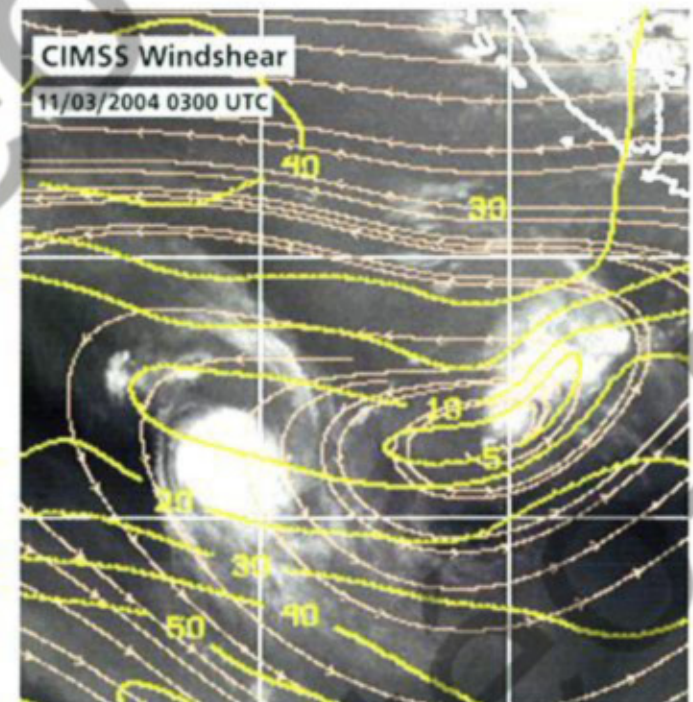
In fact, the intensity peak occurred as the system approached latitude 18°South, i.e. slightly northward of the upper ridge axis in the early morning of 11 March HELMA being upgraded at the upper level of severe tropical storm stage. On the classic satellite imagery, the disturbance was still displaying a CDO cloud pattern at the time, but a clear-cut eye appeared on the microwave imagery. This state was however short-lived only lasting a few hours since early in the afternoon the first signs of the expected shear exhibited on the satellite imagery.

The shear increased further by the end of the following night, causing the rapid destructuring of the meteor. By early night on 12 March, nearly all the convection had volatilised totally unveiling the residual vortex of low clouds, whose centre was then crossing latitude 20°South. The depression filled up rapidly until the morning of 13 March, when a south-southeastward change of path intervened, and then at a much slower pace afterwards. After veering at right angle in the morning of 14 March near latitude 25°South, as it impinged on the subtropical anticyclonic cell which was replacing the polar trough that had been attracting ex-HELMA until then, the residual low recurved southeastwards on the 15th, ahead of a new polar trough, and finally dissolved ahead of the related cold front in the subtropical domain.

First storm of the season originating in the Southeast Indian Ocean, NICKY/HELMA's favourable conditions to develop did not last long enough for the system to reach the status of a tropical cyclone.

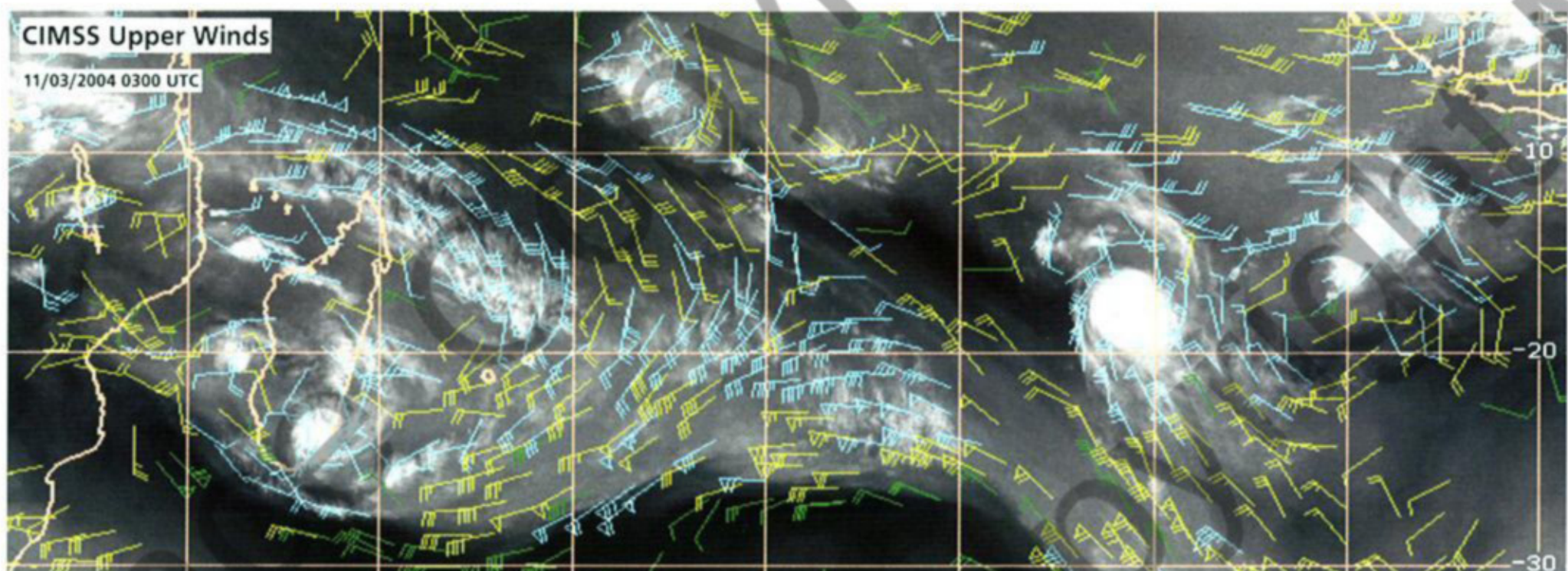
15, à l'avant d'un nouveau talweg frontal, se dissolvant finalement à l'avant du front froid, dans le domaine subtropical.

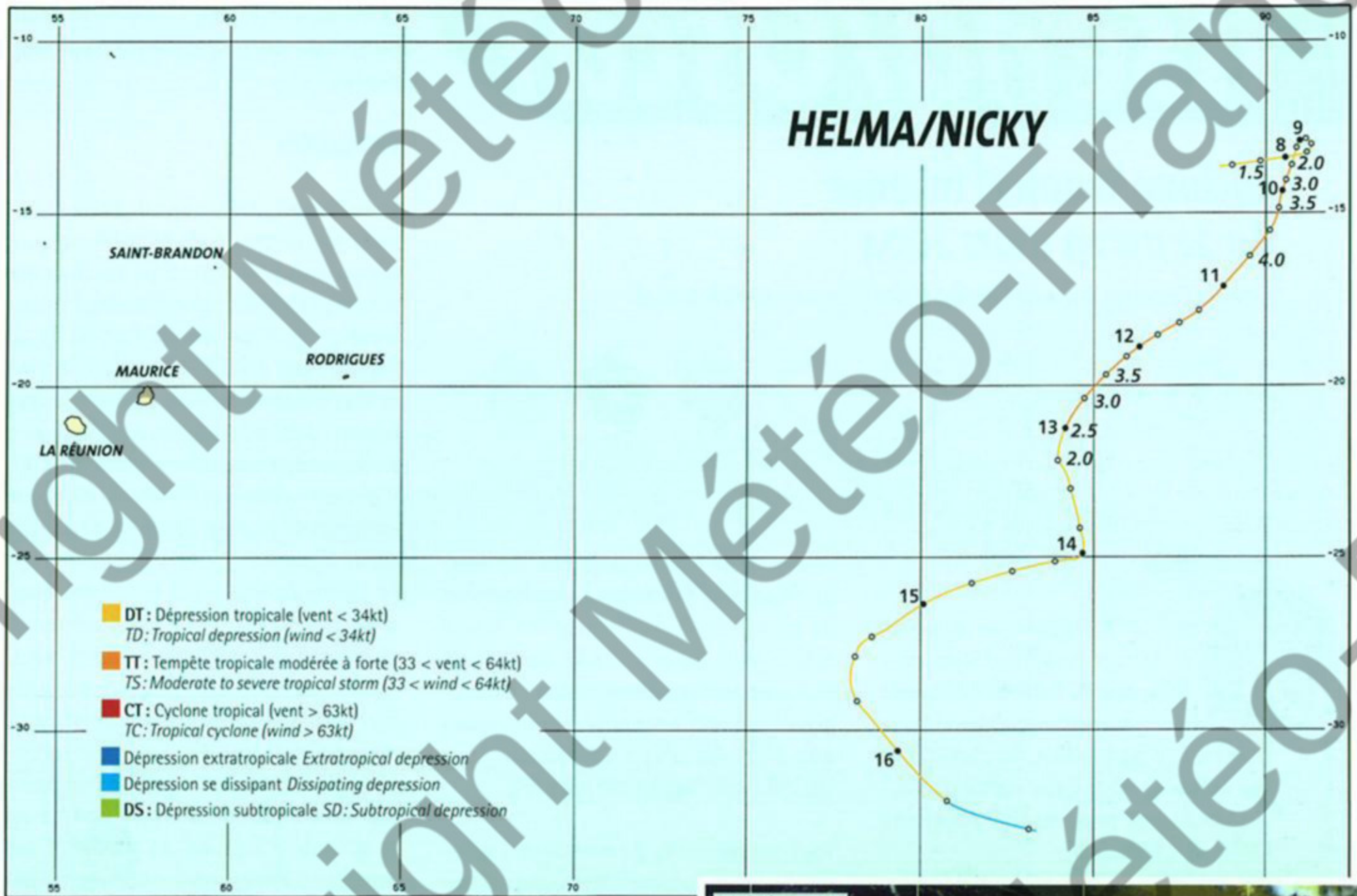
Première tempête de la saison issue du Sud-Est de l'océan Indien, NICKY/HELMA n'aura bénéficié de conditions favorables de développement que de manière trop éphémère pour avoir le temps d'atteindre le stade de cyclone tropical.



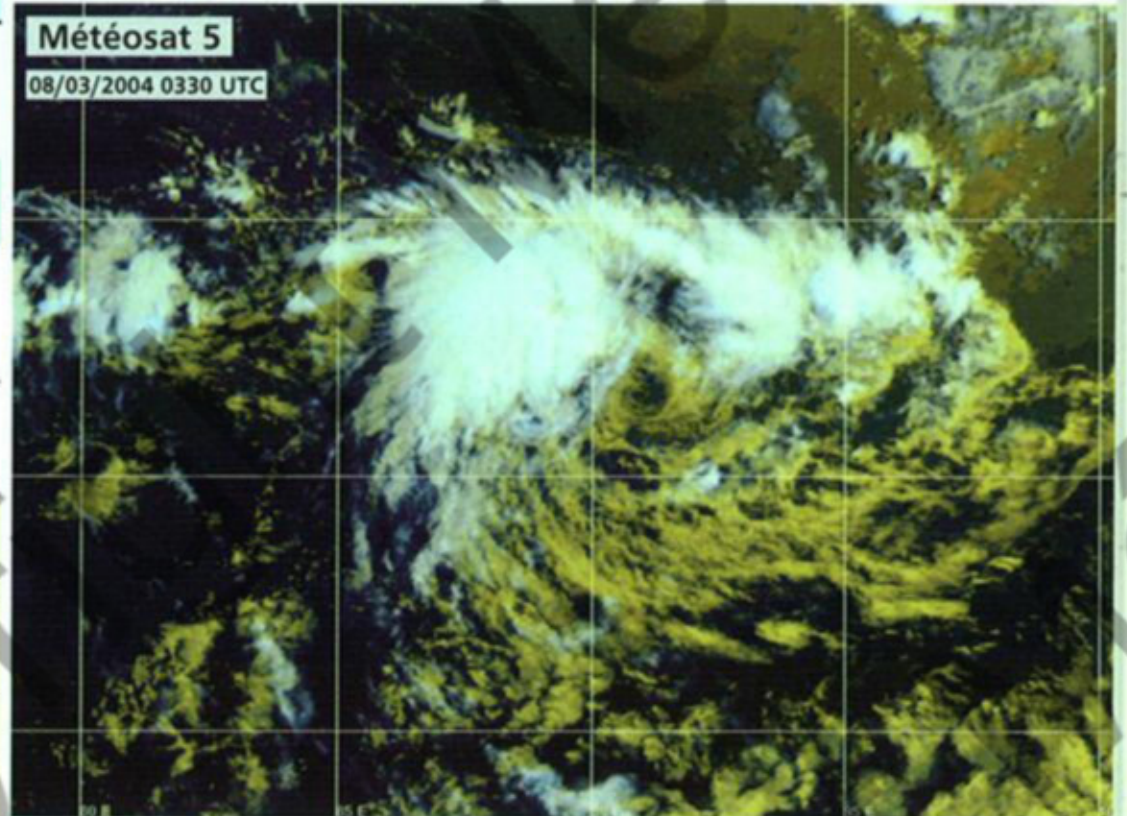
Une configuration environnementale des plus classiques pour HELMA à son maximum d'intensité. Les vents satellite permettent de bien apprécier la situation. La perturbation se situe en marge occidentale d'une cellule anticyclonique d'altitude, légèrement au nord de l'axe de la dorsale associée. Le canal principal d'évacuation du flux d'altitude du côté polaire a commencé d'interagir avec la zone barocline, caractérisée par la présence dominante d'un puissant talweg au sud-ouest de la tempête. Le courant de nord-nord-ouest qui circule à l'avant de ce talweg, ne va pas tarder à induire le renforcement du cisaillement vertical de vent (carte ci-dessus) qui va conduire HELMA à sa perte.

A typical upper-level synoptic pattern for HELMA when at intensity peak. The cloud drift winds enabled to get a clear view of the situation. The storm was located on the western periphery of an upper high cell, slightly to the north of the related ridge axis. The main poleward outflow channel had started to interact with the baroclinic zone, namely with the prominent powerful mid-latitude trough lying to the southwest. The north-northwesterly jet stream flowing ahead of this trough would soon generate the enhanced vertical wind shear (above map) that led to HELMA's demise.

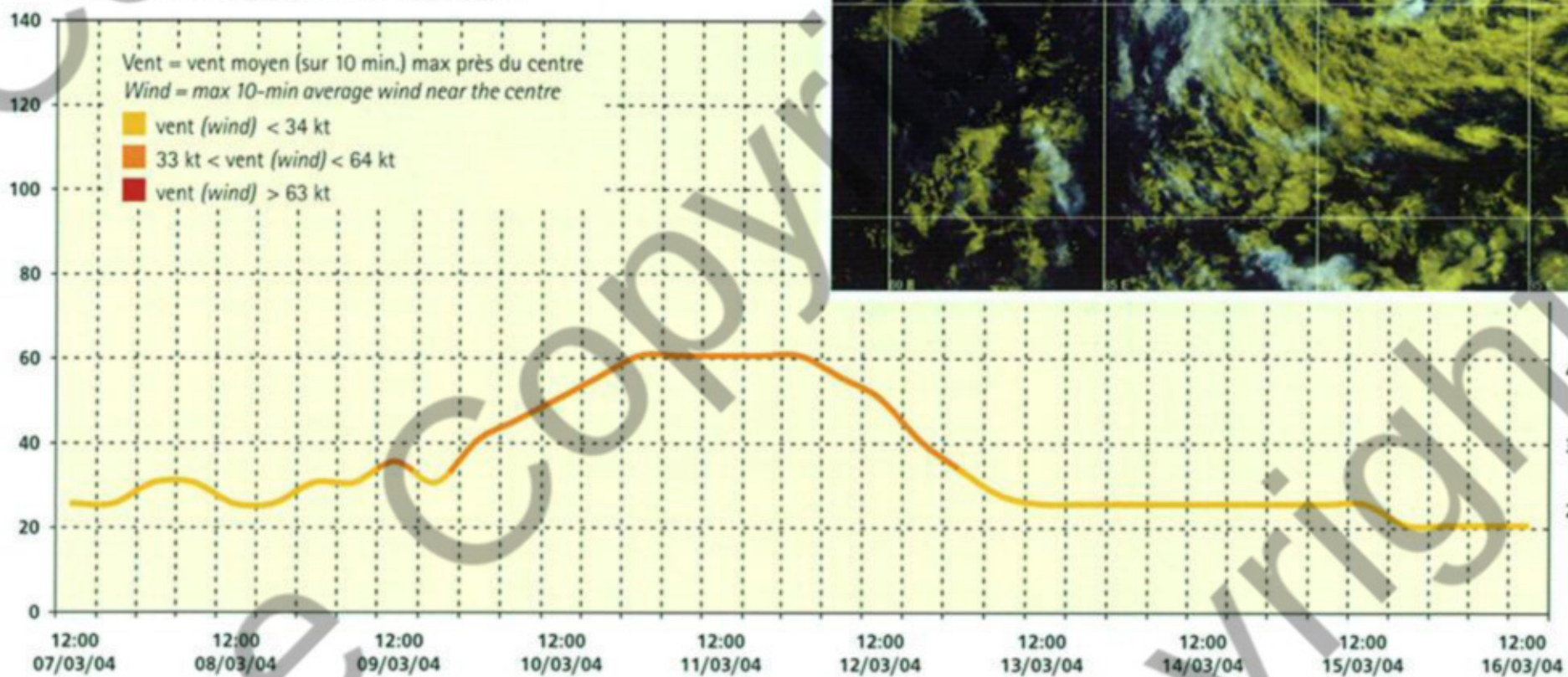




Joli vortex de basses couches pour la future tempête tropicale NICKY en phase de cyclogenèse.
Nice low-level vortex for to-become tropical storm NICKY during cyclogenesis phase.



HELMA DU 07/03/04 AU 16/03/04



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)

Itseng/Oscar

Cyclone Tropical Intense du 22 au 29 mars 2004

Intense Tropical Cyclone "Itseng/Oscar" (22-29 March 2004)

FORMATION

Après NICKY/HELMA, un deuxième et dernier système dépressionnaire issu du Sud-Est de l'océan Indien va venir intéresser le Sud-Ouest de l'océan Indien, ou plutôt finir son existence dans cette partie du bassin océanique sous responsabilité du CMRS de La Réunion.

Car, à la différence de son prédécesseur, le futur OSCAR/ITSENG va passer l'essentiel de son existence, et en particulier sa phase mature, dans le Sud-Est de l'océan Indien. La raison en est que ce douzième système dépressionnaire suivi depuis le début de la saison, va naître, deux semaines après NICKY/HELMA, beaucoup plus à l'est, au cœur de la zone de responsabilité australienne.

Cette nouvelle cyclogenèse fait suite à un renforcement important de l'activité convective survenu à la mi-mars sur toute la partie est de l'océan Indien -incluant son extension au nord de l'Australie. Ce pic d'activité intra-saisonnière est à mettre en relation avec la mise en phase conjuguée de plusieurs ondes tropicales venues interagir positivement sur la convection dans cette zone. Il y eut tout d'abord le développement d'une pulsation de la MJO (oscillation de Madden Julian) : encore en phase naissante en début de mois sur le centre du bassin, quand elle avait certainement participé du déclenchement de la cyclogenèse de NICKY/HELMA, elle avait poursuivi sa propagation vers l'est tout en s'amplifiant. Dans le même temps une onde équatoriale de Rossby, se déplaçant elle vers

l'ouest, avait atteint le secteur au nord de l'Australie, favorisant la cyclogenèse du cyclone tropical intense FAY. Cette même onde équatoriale de Rossby est probablement à incriminer dans le développement, une semaine plus tard et quelque 3500 km plus à l'ouest, du futur OSCAR (voir diagramme page 84).

Tout commence le 20 mars, avec l'isolement au sein du talweg de mousson d'une circulation dépressionnaire fermée, centrée à quelque 300 km au sud-ouest de l'île Christmas. Les données de vents QuikScat indiquent l'existence d'une poussée de flux de mousson au sud de l'Equateur, ce flux de nord-ouest étant canalisé et accéléré le long des côtes sud-ouest de l'île indonésienne de Sumatra. Se décalant dans un premier temps vers le sud, avant de redresser vers l'ouest le 22, le système végète jusqu'au 23, son développement initial étant contrarié par la présence d'un cisaillement de vent d'est trop important.

S'étant désormais rapprochée de l'axe de la dorsale d'altitude, la perturbation va mettre à profit des conditions plus favorables, avec en particulier un cisaillement vertical de vent plus modéré, pour entamer une intensification régulière. De la convection commence à se développer le 23 dans le secteur ouest du vortex de nuages bas, encore relativement dénué de convection la veille. En fin de journée du 23 mars, OSCAR est baptisé par le Centre d'Avertissements de Cyclones Tropicaux de Perth. La tempête tropicale modérée est alors centrée à moins de 300 km au sud-est de l'île Cocos et poursuit

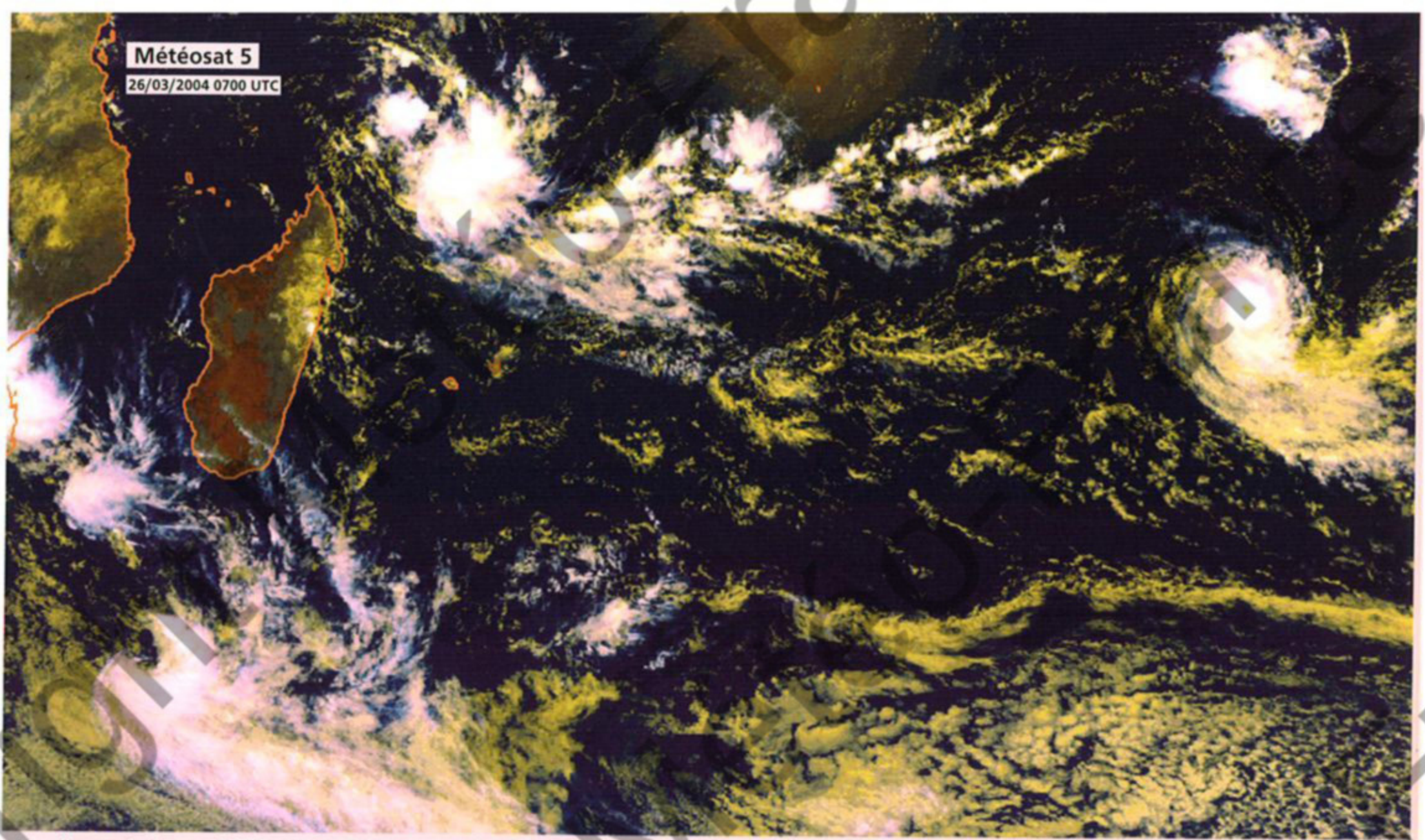
sa course vers l'ouest à environ 15 km/h, en bordure des hautes pressions subtropicales.

ÉVOLUTION

Le centre de la circulation de basses couches est dorénavant occulté sous la convection. Peut-être dopé par l'arrivée sur une bulle d'eaux plus chaudes, le creusement s'accélère dans la nuit du 24 au 25, avec une étape décisive dans le processus d'intensification, à savoir la formation d'un œil : apparu sur l'imagerie micro-onde en deuxième partie de nuit, il devient visible sur l'imagerie classique en début de journée du 25. Le désormais cyclone tropical OSCAR vient de franchir le 15ème parallèle Sud et a commencé d'incurver en direction du sud-sud-ouest, consécutivement à l'affaiblissement des hautes pressions subtropicales, par suite du transit au sud d'un talweg des moyennes latitudes. Avec cette nouvelle trajectoire plus méridienne, OSCAR se rapproche encore plus directement de l'axe de la dorsale d'altitude, et voit donc les conditions environnementales continuer de s'améliorer.

La fin de nuit du 25 au 26 marque l'apogée d'OSCAR. Gagnant un point supplémentaire sur l'échelle de Dvorak, son intensité culmine au stade minimal de cyclone tropical intense. Autour de l'œil de 35 km de diamètre, les vents maximaux sont estimés atteindre les 90 nœuds en vents moyens sur 10 min (ce qui signifie des rafales maximales sur mer de l'ordre de 235 km/h). Ce maximum d'intensité survient au niveau du 17ème parallèle Sud. Le météore, qui a ralenti progressivement sa course au cours des dernières 36h et ne se déplace plus qu'à environ 6 km/h, se situe alors en marge d'un col barométrique au sein de la ceinture anticyclonique subtropicale. Ce col a commencé de s'éloigner vers l'est, laissant place à une certaine reconsolidation des hautes pressions subtropicales, insuffisante toutefois pour modifier fondamentalement la trajectoire de NICKY, qui ne s'infléchit que légèrement plus ouest, sur un cap qui s'établit plus franchement au sud-ouest.

OSCAR va se maintenir au stade de cyclone tropical intense jusqu'en fin de journée du 26, mais dès la mi-journée



Le cyclone tropical intense OSCAR sur le Sud-Est de l'océan Indien. Encore au maximum de son intensité, il ne va pas tarder à commencer de s'affaiblir, avant de finir son existence dans le Sud-Ouest de l'océan Indien sous le nom d'ITSENG. La zone perturbée n°11, qui évolue au même moment au nord-est de Madagascar, n'a pas connu le même sort, n'étant jamais parvenue à se développer.
Intense tropical cyclone OSCAR in the SouthEast Indian Ocean. Still at its maximum of intensity it would soon start weakening before ending its life-cycle as tropical storm ITSENG in the SouthWest Indian Ocean. The disturbed area n° 11, which was at the same time evolving northeast of Madagascar, never got the opportunity to develop.

sont apparus les premiers signes d'une perte de puissance à venir. Amorcée de manière encore ténue en journée, cette tendance à l'affaiblissement va s'accroître brutalement la nuit suivante, avec destruction rapide de l'œil via un accroissement progressif du cisaillement vertical de vent (se doublant d'une arrivée sur des eaux également moins chaudes). Sous l'effet de cette ventilation accrue, la convection se délite progressivement au fil de la journée du 27 et OSCAR perd son statut de cyclone tropical en fin de journée.

C'est donc déclassé en forte tempête tropicale depuis peu, qu'OSCAR franchit en début de nuit le méridien 90E, frontière virtuelle entre les deux zones de responsabilité du Sud-Est et du Sud-Ouest de l'océan Indien. Son statut de tempête lui vaut d'être rebaptisé du nom d'ITSENG. Mais continuant de subir les effets d'un implacable cisaillement de vent de nord-ouest, les heures qu'il lui reste à passer à ce stade sont comptées. Le météore exhibe rapidement une circulation de basses couches quasiment dénuée de convection et le 28 mars en journée, le système ne se réduit plus qu'à une petite circulation dépressionnaire déjà en grande partie comblée et déclassée en simple dépression tropicale à la mi-journée. Repoussé en direction de l'ouest-nord-

FORMATION

After NICKY/HELMA, a second and last system originating from the Southeast Indian Ocean involved the Southwest Indian Ocean, or rather came to end its life-cycle in that part of the basin under the responsibility of La Reunion's RSMC.

Indeed, contrary to its predecessor, to-be OSCAR/ITSENG spent most of its existence, namely its mature phase, in the Southeast Indian Ocean. The reason was that this twelfth system monitored since the beginning of the cyclone season spawned -two weeks after NICKY/HELMA's episode- more duly east in the heart of the Australian area of responsibility. This new cyclogenesis came after a significant escalation of the convective activity in mid-March over the whole eastern part of the Indian Ocean - including its extension north of Australia. This intra-seasonal peak of activity can be connected to the combined influence of several tropical waves which interfered positively on the convection over that area. First of all, there was the development of an active pulse of the Madden Julian Oscillation : still at an incipient phase over the central part of the basin at the beginning of the month when it had certainly taken part in the setting off of the cyclogenesis of NICKY/HELMA, this MJO pulse had kept spreading eastwards while amplifying. In the meantime, an Equatorial Rossby wave (with westward motion hence) had reached the northern part of Australia

promoting the cyclogenesis of the intense tropical cyclone FAY. Then the same Equatorial Rossby wave could be likely considered as the main causative agent involved in the development of to-be OSCAR a week later some 3500 km further west (see page 84).

It all started on 20 March when a closed low circulation centred some 300 km southwest of Christmas Island identified itself within the monsoon trough. The QuikScat wind data portrayed a surge in the monsoon flow south of the Equator, the northwesterlies being steered and accelerated along the southwest coast of the Indonesian Island of Sumatra. Drifting first towards the south before bending westwards on the 22nd, the system stagnated until the 23rd as its initial development was hampered by the presence of too strong an easterly windshear. Having thence drawn near the upper ridge axis, the disturbance took advantage of the more favourable conditions, namely that of a more moderate windshear, to initiate a steady intensification. On the 23rd some convection developed in the western sector of the low-level cloud vortex which on the previous day was still rather devoid of any convection. In the late afternoon of 23 March, OSCAR was named by the Tropical Cyclones Warning Centre of Perth. The moderate tropical storm was then lying some 300 km off the southeast coast of Cocos Islands and kept on sailing westward at about 15 km/h on the edge of the subtropical high.

EVOLUTION

The centre of the lower-level circulation was now concealed by the convection. Maybe boosted by its arrival over a pool of warmer waters, the deepening trend gathered a new impetus during the night of the 24th going through a decisive stage in the intensification process, i.e. the formation of an eye which showed up on the microwave imagery in the second part of the night and became visible on the classic imagery at dawn on the 25th. Now-tropical cyclone OSCAR had just crossed latitude 15°South and started recurving south-southwestward, as a result of the weakening of the subtropical high induced by the transit of a migratory mid-latitude trough in the south. Having assumed a more meridian-like trajectory, OSCAR was getting even more directly closer to the upper ridge axis and thus undergoing further favourable environmental conditions. OSCAR reached its apogee at the end of the night of 25th. Gaining an extra point on the Dvorak scale, its intensity culminated at the minimal stage of intense tropical cyclone. Around the 35 km-diameter eye, maximum winds were estimated to reach 90 knots in 10-min average (which means peak gusts of about 235 km/h). The intensity peak occurred by latitude 17°South. The meteor, which had gradually slowed down during the last 36h and was now moving at a mere 6 km/h, was standing close to a barometric col within the subtropical high belt. This col had started edging away eastwards, making room for some reconsolidation of the subtropical high,

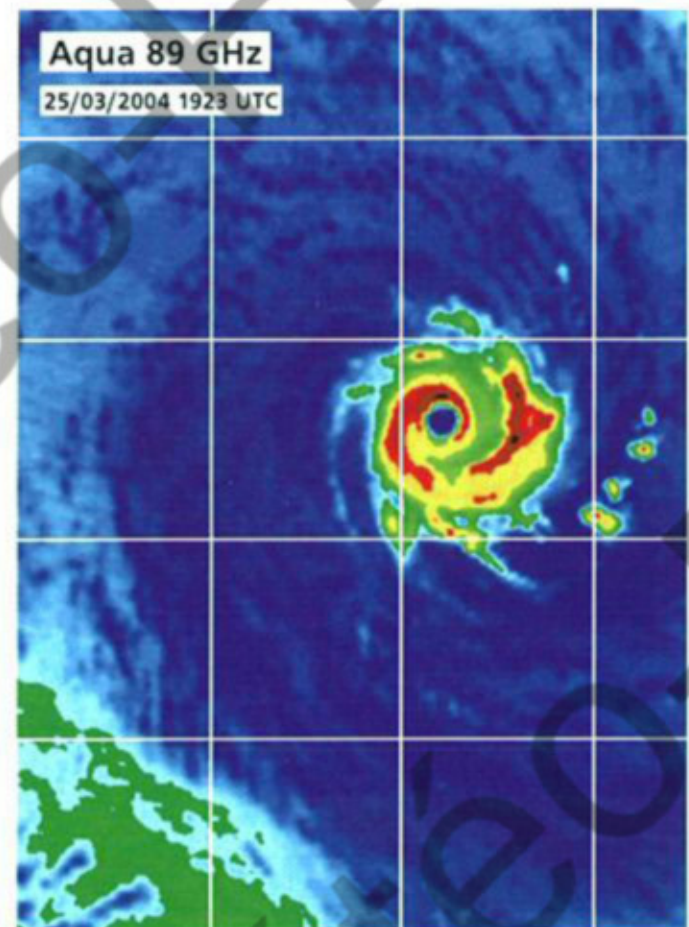
insufficient though to greatly alter NICKY's track which slightly slanted westward heading definitely southwestward from then on.

OSCAR maintained its status of intense tropical cyclone until end of day of 26th; however, already in the middle of the day, it had shown the first weakening signs. Very mild first the weakening trend picked up all of a sudden on the following night with the rapid destruction of the eye via a gradual increase in vertical windshear (combined with the simultaneous impact of cooler waters). Bearing the brunt of the increased ventilation, the convection fell apart gradually throughout the day of 27 March and OSCAR lost its tropical cyclone status by the end of the day.

So, it was as a recently-downgraded severe tropical storm that OSCAR crossed longitude 90°East in the early night, thus skipping over the virtual boundary between the two responsibility areas of the Southeast and Southwest Indian Oceans. Its storm status earned it to be renamed ITSENG.

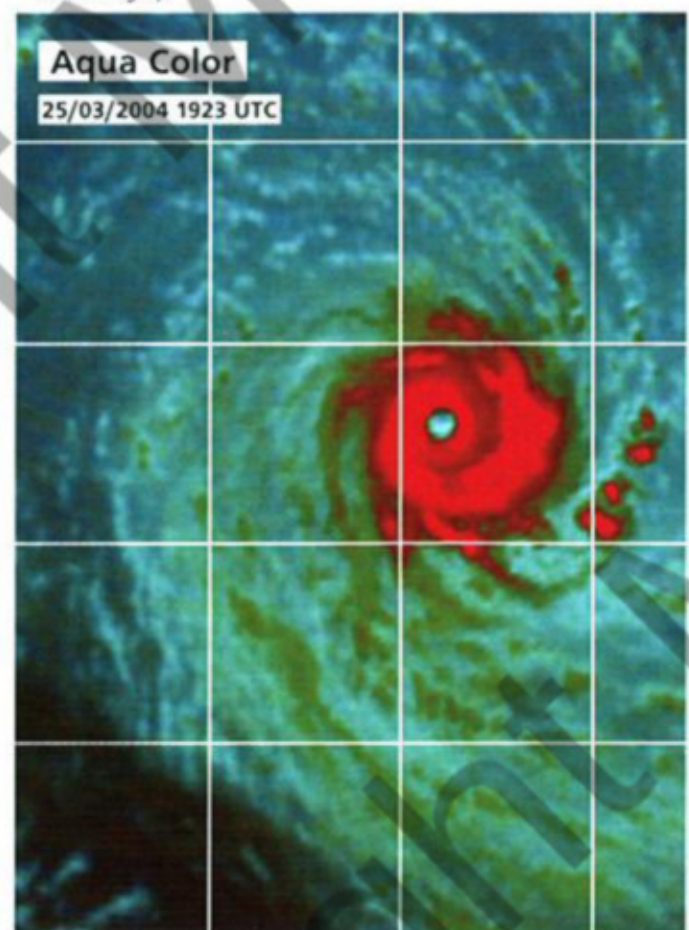
However, faced with the implacable effects of the northwesterly windshear, its storm status did not last long. The meteor rapidly displayed a low-level circulation nearly devoid of any convection and in the course of the day on 28 March, the system was reduced to a tiny low circulation mostly filled already and was thereupon downgraded to a mere tropical depression by the middle of the day. Shoved back west-northwestward by the following morning, as a result of the arrival of a new subtropical high, ex-ITSENG entered final dissipation phase in the heart of the tropical domain near latitude 20°South.

ouest le lendemain matin, consécutivement à l'arrivée d'une nouvelle cellule anticyclonique subtropicale, l'ex-ITSENG est désormais en voie de dissipation finale au cœur du domaine tropical, au voisinage du 20ème parallèle Sud.



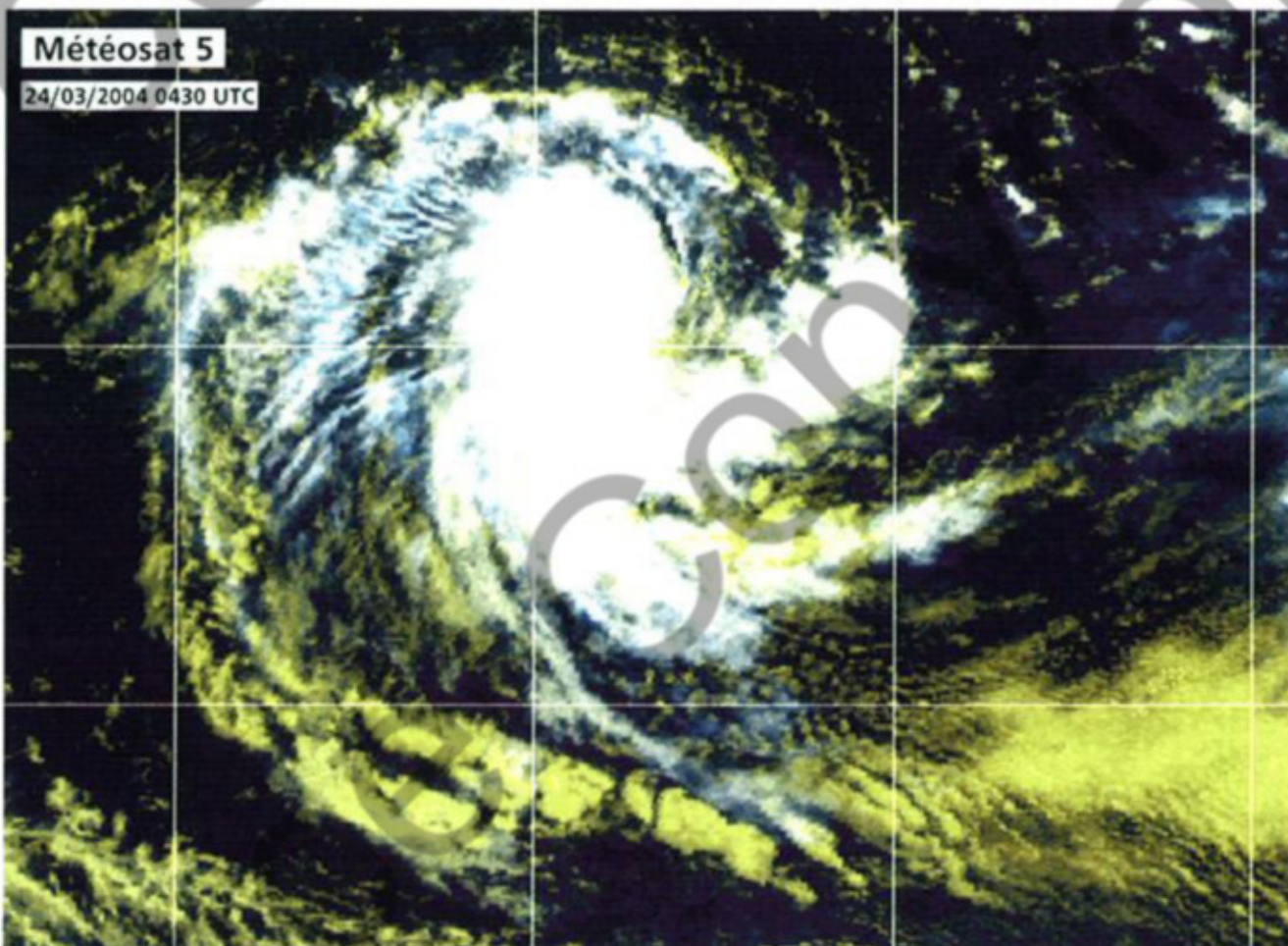
Le cyclone tropical OSCAR peu avant d'atteindre son maximum d'intensité, présente la signature caractéristique d'un cyclone tropical mature sur l'imagerie micro-onde.

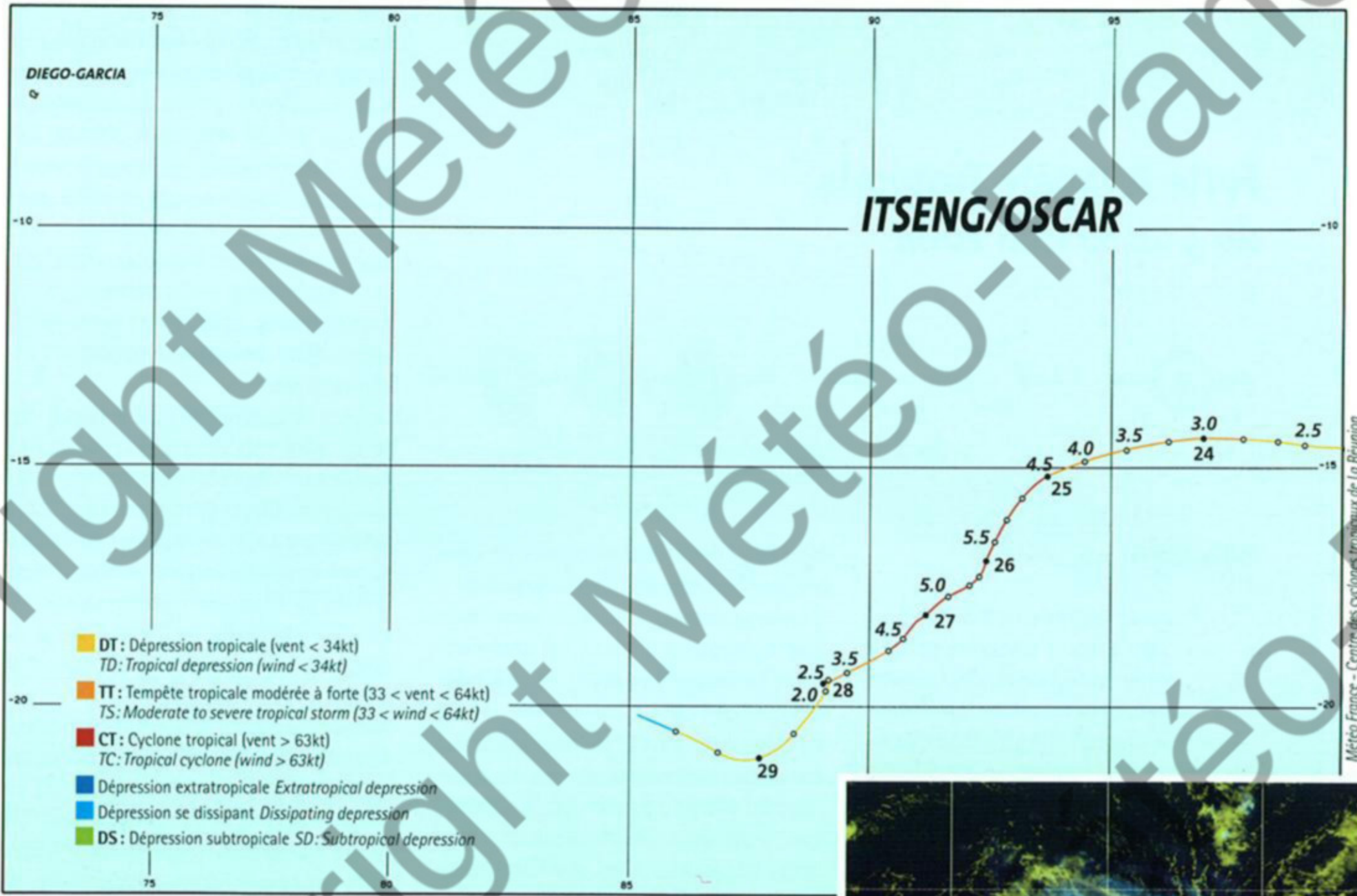
Tropical cyclone OSCAR just prior reaching its intensity peak displayed the characteristic signature of a mature cyclone on the microwave imagery.



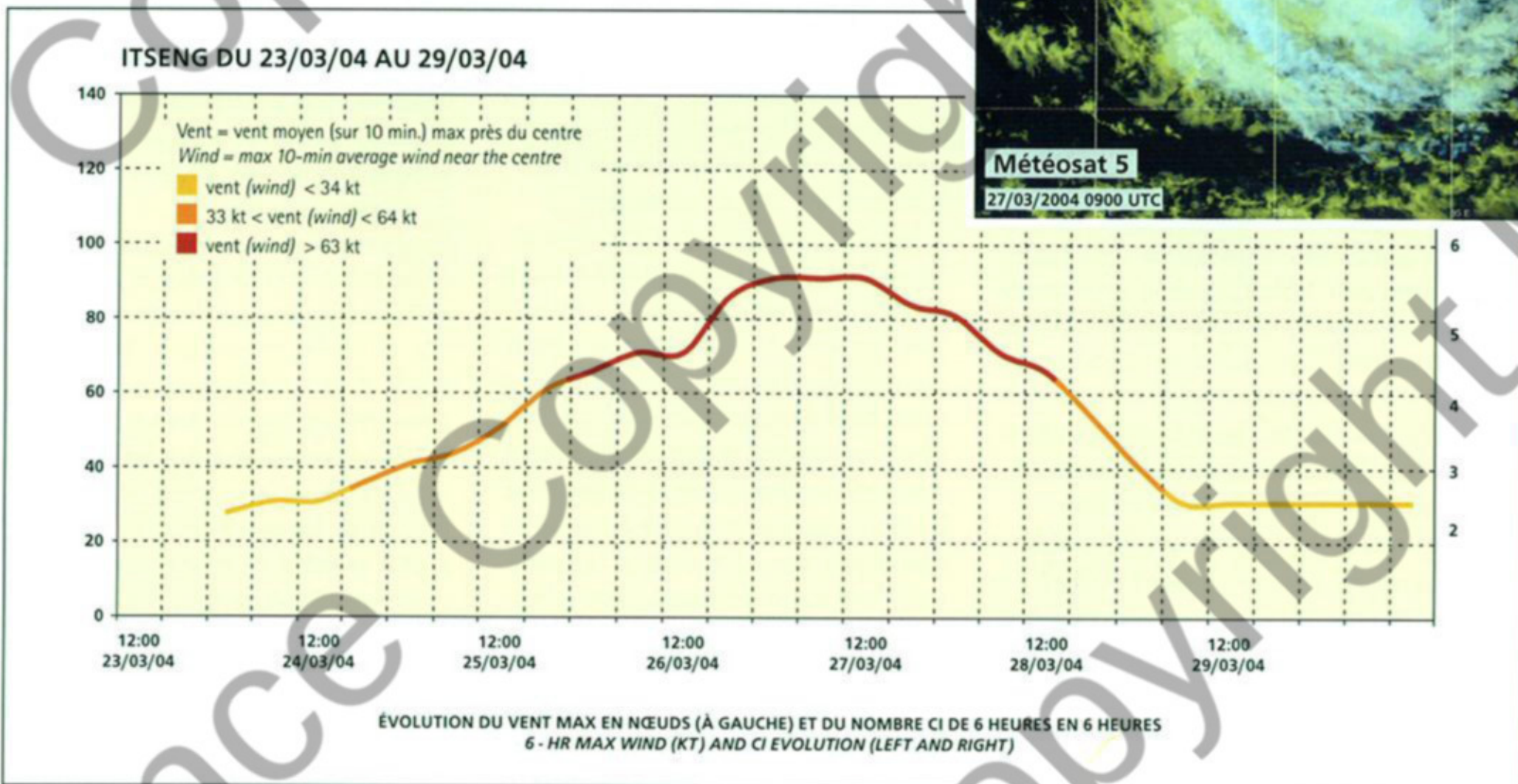
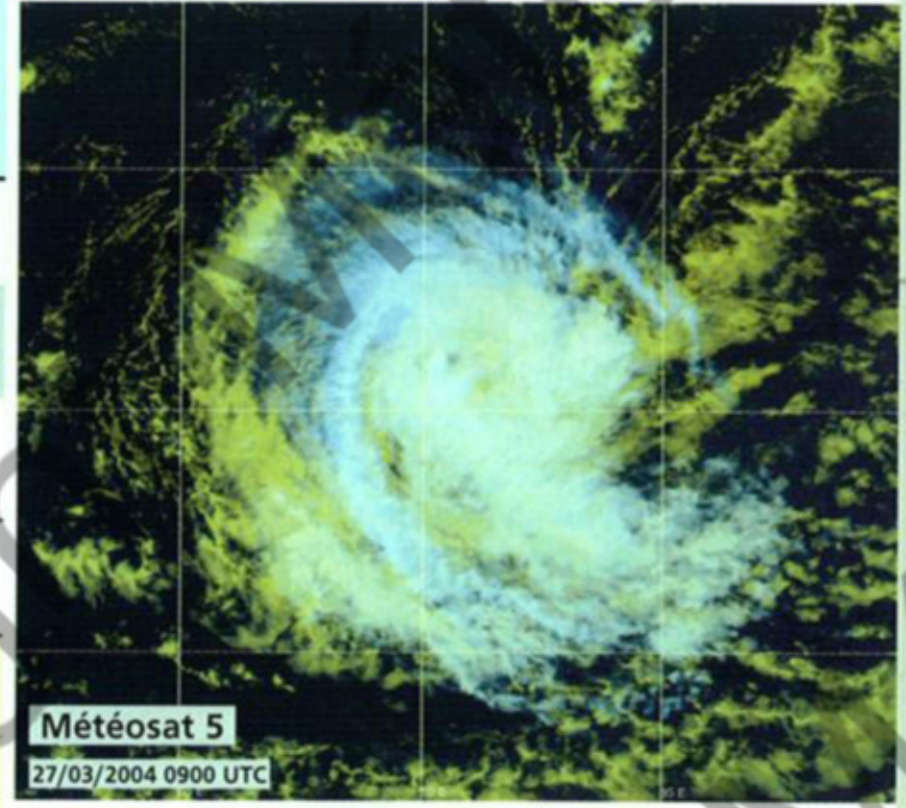
OSCAR au stade de tempête tropicale modérée. Un point chaud, annonciateur de l'œil à venir, est déjà visible au sein de la tête de la virgule nuageuse. Une observation de bateau, non loin au nord-est, aide à la mieux calibrer l'intensité du système, tout en bornant l'extension du grand frais dans ce quadrant de la perturbation.

OSCAR at moderate tropical storm stage. A warm spot forerunner of an eye formation was already depicted within the cloud comma. Not far to the northeast, a ship observation helped to better assess the storm's intensity and also the extent of the near gale force winds in this quadrant of the clockwise circulation.





OSCAR en phase de dégénérescence peu avant de franchir le 90° méridien Est et d'être renommé ITSENG pour une fin de vie imminente.
 OSCAR on a degenerating trend a little while before crossing longitude 90E and being renamed ITSENG for an imminent end of life-cycle



JUBA

Forte Tempête Tropicale du 5 au 16 mai 2004

Severe Tropical Storm "Juba" (05-16 May 2004)

FORMATION

Après un mois d'avril 2004 totalement exempt d'activité perturbée (à l'exception de deux vagues tentatives de formation rapidement avortées), on pouvait légitimement penser que la saison cyclonique 2003-2004 du Sud-Ouest de l'océan Indien se soit achevée de manière précoce avec ITSENG. Il n'en sera finalement rien, car le bassin va connaître un dernier système dépressionnaire tardif pour clôturer cette saison. Ses débuts laissèrent pourtant plutôt augurer d'une nouvelle velléité sans lendemain, tant ce système de fin de saison va peiner à se développer. Une bonne semaine va en effet s'écouler avant que le minimum dépressionnaire initial ne puisse commencer de se creuser réellement.

Le contexte environnemental semblait pourtant des plus favorables en ce début mai. En basse troposphère, dès avant le changement de mois avait commencé de se développer une poussée de vent d'ouest équatorial. Intéressant une large bande proche-équatoriale allant du sud du sous-continent indien jusqu'aux Chagos, elle prend de l'ampleur à partir du 2, en particulier au sud de l'Equateur, où son extension zonale est maximale, puisque se propageant jusqu'au méridien 90°Est.

Cette situation d'inter-saison assez classique, est potentiellement propice au déclenchement de cyclogenèses "jumelles" de part et d'autre de l'Equateur. En l'occurrence, la situation semblait d'autant plus prometteuse que, parallèlement à cette poussée de vents d'ouest, la convection

bénéficiait de circonstances presque idéales pour favoriser son épanouissement. L'analyse spectrale du flux sortant de grande longueur d'onde (OLR pour Outgoing Longwave Radiation) -une donnée représentant bien la convection, révèle, en effet, que la forte poussée d'activité convective observée début mai au voisinage du 80ème méridien Est, a coïncidé avec la présence simultanée de plusieurs ondes tropicales venues interférer positivement sur la convection et à l'origine de ce noyau de maximum de convection produit dans cette zone (voir page 84). Cette situation rare, à savoir la conjonction d'une onde de Kelvin, d'une phase active de la MJO (oscillation de Madden-Julian) et d'une onde Equatoriale de Rossby (cette dernière se propageant vers l'ouest, contrairement aux deux précédentes) venues se focaliser sur un même secteur, constitue un "terreau" presque optimal pour favoriser la cyclogenèse, via le renforcement de l'activité convective.

A l'arrivée, deux systèmes dépressionnaires vont effectivement se former, mais de manière très laborieuse et avec un décalage temporel. Dans l'hémisphère nord, une première zone perturbée à l'est du Sri Lanka ne donnera rien, pénétrant sur terre assez rapidement. Mais une deuxième zone se développera dans la foulée entre les îles Laquedives et la côte indienne du Kerala, aboutissant, le 6 mai, à la formation d'une tempête tropicale dans ce secteur.

Dans l'hémisphère sud, la vaste zone perturbée présente de Diego-Garcia jusqu'au 90ème méridien Est, va mettre pour sa part beaucoup plus de temps à trouver sa

voie. Dans un premier temps, son extension, et en particulier son caractère trop élongé, vont la pénaliser. Avec la présence d'au moins deux centres de basses pressions au sein de cette vaste zone de talweg, la convergence de basses couches peine à se focaliser sur une zone bien précise. Et comme dans le même temps prévaut un cisaillement vertical de vent d'est-nord-est modéré sur la partie est de la zone perturbée et assez fort sur sa partie ouest, toute cyclogenèse potentielle est contrecarrée.

Le foyer de convection situé le plus à l'est se décalant vers l'ouest, il se rapproche rapidement de celui évoluant dans les parages de Diego-Garcia. Le flux sortant d'altitude associé, expulsé vers l'ouest par le vent dominant, accentue le cisaillement de vent au-dessus du minimum présent à proximité nord-est de Diego-Garcia, ne tardant pas à provoquer sa dissipation, le 5 mai.

Avec désormais un seul minimum dépressionnaire identifié, la situation se clarifie quelque peu. Mais si la convergence de basses couches et l'activité convective peuvent désormais s'organiser de manière plus ciblée autour de ce minimum, le cisaillement de vent de nord-est perdue, en marge nord-ouest d'une cellule de hauts géopotentiels en altitude. La convection demeure fluctuante et peine à se greffer sur la dépression de surface : positionnée au voisinage sud-ouest immédiat du minimum dépressionnaire le 6, elle laisse le vortex de nuages bas qui l'entoure entièrement exposé le lendemain, le minimum dépressionnaire associé ayant entre-temps fait volte-face vers l'est (après s'être rapproché à moins de 250 km à l'est de Diego-Garcia la veille).

Dans ces conditions, aucun creusement n'est possible et la pression au centre demeure figée à la valeur estimée de 1000 hPa. Le minimum entame en cette matinée du 7 mai un déplacement d'une douzaine d'heures en direction du sud-sud-est. Puis, parvenu au contact de la cellule anticyclonique subtropicale centrée au sud-est de Mascareignes, il incurve vers l'ouest en début de nuit suivante, à l'approche du 10ème parallèle Sud. Repris par le flux directeur d'alizé, il va ensuite "surfer" sur ce parallèle pendant plus de trois jours, sans présenter la moindre évolution significative dans l'intervalle en terme d'intensité.

La forte tempête tropicale JUBA à son maximum d'intensité. Pour la troisième année consécutive un système dépressionnaire tropical mature s'est développé durant la première quinzaine de mai sur le Sud-Ouest de l'océan Indien (sans dommages pour les terres habitées cette fois). On devine sur l'imagerie satellitaire classique (composition colorée de canaux visible et infra-rouge) la présence d'un point chaud matérialisant l'œil déjà formé, mais pour bonne part occulté à ce stade d'intensité (stade supérieur de la forte tempête tropicale). L'imagerie micro-onde le révèle beaucoup plus clairement et permet également de bien appréhender la relative petite taille de ce système (une centaine de km de diamètre pour le cœur central le plus actif).

Severe tropical storm JUBA at intensity peak. For the third consecutive year a mature tropical system had developed in the Southwest Indian Ocean during the first half of May (without affecting the inhabited lands this time). A hint of a warm spot was discernible on the classic imagery (coloured composite of visible and infrared channels) thus revealing the presence of an eye already formed but partly obscured at this stage of intensity (upper level of severe tropical storm stage). Like often it appeared much more conspicuous on the microwave imagery which also highlighted the rather small size of the system (its active central core being about 100 km in diameter).

Et c'est donc après avoir végété une semaine durant à un état embryonnaire, que le système numéro 15 va enfin connaître le déclic. A compter du courant de journée du 11 mai, la contrainte cisailée commence à relâcher progressivement son emprise, permettant au minimum dépressionnaire de pouvoir se rapprocher de la convection désormais durablement établie dans son secteur ouest. Un début de mise en phase intervient ensuite la nuit suivante, s'accompagnant dans le même temps d'une évolution patente de la convection, qui gagne en importance tout en affichant une structure nettement plus organisée. Le creusement résultant ainsi amorcé en soirée du 11 mai, conduit à classer le système en dépression tropicale en milieu de nuit suivante.

ÉVOLUTION

Le stade de tempête tropicale modérée est considéré atteint avant la mi-journée du 12 et les 24h suivantes voient le processus de creusement s'accélérer. Le facteur majeur expliquant cette évolution, spectaculaire en regard de l'apathie antérieure, tient essentiellement au change-

FORMATION

After an April month totally devoid of any disturbed activity (except for two vague attempts of formation which aborted rapidly), it was legitimate to think that the 2003-2004 cyclone season in the Southwest Indian Ocean had ended precociously with ITSENG. It turned out to be totally different and the basin experienced a last tardy depression system to close the season.

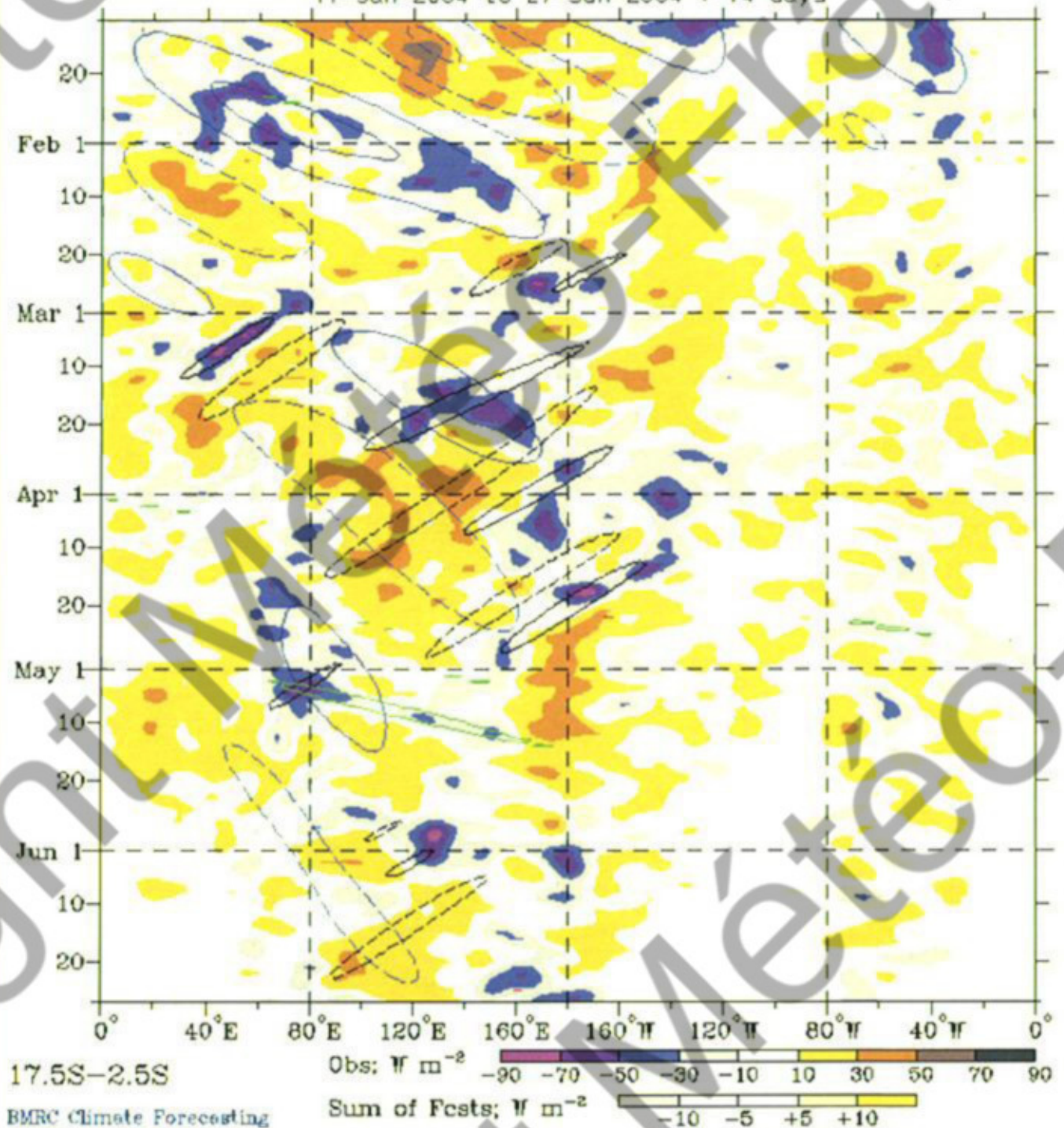
However, the beginnings of this late system looked like it would be just another vague impulse leading nowhere, so much it struggled to develop. A good week elapsed indeed before the initial low centre at last started to really deepen.

At the beginning of May the environmental context seemed most favourable though. In the lower troposphere, at the end of April, an equatorial westerly wind burst had started to develop. Concerning a wide near-equatorial band spanning from the south of the Indian sub-continent to the Chagos Islands, this wind burst expanded from 2nd May, especially south of the Equator where its zonal extension was maximal since it spread as far as longitude 90° East. This kind of rather classic inter-seasonal

situation is potentially likely to set off twin cyclogenesis on either side of the Equator. In this case the situation looked very promising indeed since concurrently with this westerly wind burst the convection enjoyed ideal conditions for it to develop further still. Namely the analysis of the Outgoing Longwave Radiation – a good proxy for convection – revealed that the flare up of convective activity observed at the beginning of May near longitude 80° East, had coincided with the simultaneous presence of several tropical waves that had interfered positively on the convection and concurred to generate this local maximum of convection in that area (see next page). This rare situation – i.e. the conjunction of a Kelvin wave, of an active phase of the MJO and of an Equatorial Rossby wave (the latter propagating westwards unlike the two previous ones) focusing on the same sector – afforded a nearly-perfect ground to prompt a cyclogenesis through enhanced convective activity. Eventually, two depression systems formed indeed, but rather laboriously and with a time-lag between the two. In the North hemisphere an initial disturbed area east of Sri Lanka did not materialise since it landed fairly rapidly. However a second zone would develop straight afterwards

between the Laquedives Islands and the Indian coast of Kerala leading on 6 May to the formation of a tropical storm in that sector. In the South hemisphere the wide zone of disturbed weather stretching from Diego-Garcia to longitude 90°East would take much more time to find its way. First its extension and namely its too elongated structure penalised it. With the presence of at least two low level circulation centres within that large troughing area, the low-level convergence hardly managed to focus on any specific area. Given that at the same time, an east-northeasterly moderate vertical windshear prevailed across the disturbed area being even quite strong on its western side, any potential cyclogenesis was hindered. As the convective cloud cluster standing more eastward was drifting westward it rapidly drew nigh the one that was evolving nearby Diego-Garcia. The related upper outflow fanned westwards by the reigning wind, increased the vertical windshear above the low lying in the northeast vicinity of Diego Garcia, thus causing its early dissipation on 5 May. With only one identified low centre left now, the situation was somewhat getting clearer. But although the low-level convergence and the convective activity were now able to aim and get organised around this low centre, the northeasterly windshear perdured on the northwestern fringes of an upper geo-potential cell. The convection was still fluctuating and struggled in order to graft itself to the surface low. Positioned right next to the northeast of the convection on 6 May the low centre and surrounding vortex of low clouds became totally exposed on the next day, as a result of the eastward turn round having occurred in the meantime (after getting as close as 250 km to the east of Diego Garcia on the previous day). Given this context, no deepening could possibly take place and the pressure in the centre remained fixed at the estimated value of 1000 hPa. In the morning of 7 May, the low centre initiated a south-southeastward motion that would last about 12 hours. Once it had impinged on the subtropical high centred southeast of the Mascarenes, it recurved westwards early on the following night as it approached latitude 10°South. Caught and carried away by the steering trade wind flow it then surfed on this latitude for over 3 days without displaying any significant evolution intensity-wise in the meantime. And it was thus after a week of stagnation at an embryonic stage, that system Number 15 cranked up at last. From the course of the day of 11 May the sheared constraint started to ease

Real-time filtering superimposed upon 1-2-1 filt, R21, OLR Anoms
 MJO blue CINT=10; n1ER black CINT=10; Kelvin green CINT=15
 Negative contours solid, positive dashed (excluding Kelvin)
 11-Jan-2004 to 27-Jun-2004 + 14 days

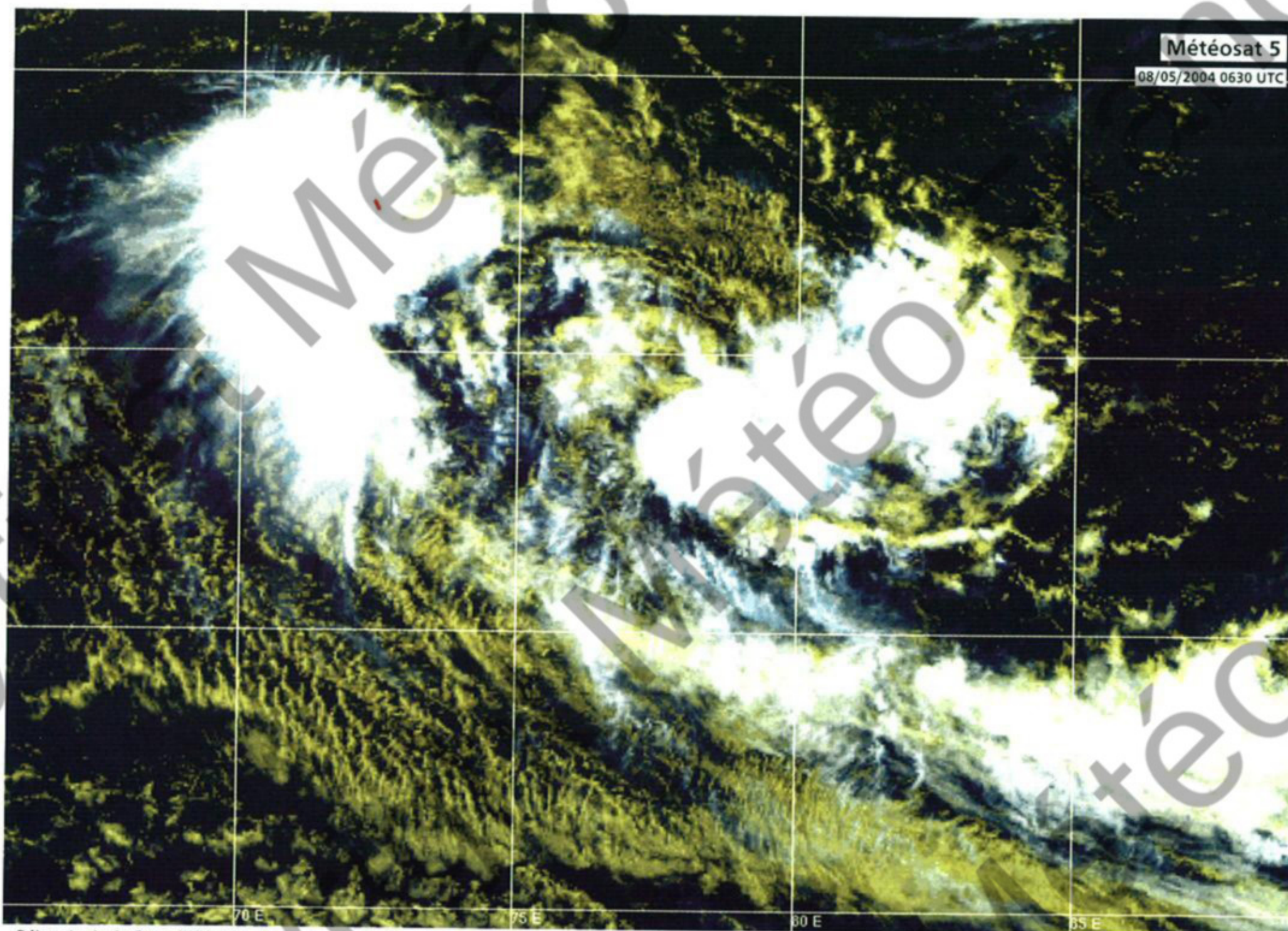


Anomalies du flux sortant de grande longueur d'onde (OLR) durant le premier semestre 2004 et ondes tropicales analysées correspondantes. L'analyse spectrale des anomalies d'OLR (signature radiative de la convection) permet de mettre en évidence les différentes ondes tropicales à l'origine des modulations intra-saisonnières de l'activité convective (ici sur la zone "normale" de cyclogenèse 2.5S/17.5S). De janvier à mai 2004, on peut identifier sur le Sud-Ouest de l'océan Indien (ouest de 90°E) trois phases d'activité convective principales (bleu à mauve). Celle de fin janvier est liée au développement et à la propagation vers l'est de la plus puissante pulsation de la MJO (oscillation de Madden-Julian) de la saison (phase active cerclée de bleu) et participera des cyclogenèses en cascade -d'ouest en est- d'ELITA, FRANK et LINDA. Celle de début mars, sera mise sur le compte d'une onde Equatoriale de Rossby (cerclée de noir, se propageant vers l'ouest) ; son timing est en phase avec la cyclogenèse de GAFILO. La dernière, qui s'est produite début mai vers 80°E, a correspondu à la conjonction -rare- d'une pulsation de la MJO, d'une onde Equatoriale de Rossby et d'une onde de Kelvin (cerclée de vert, se propageant vers l'est). Il n'est pas étonnant qu'un contexte aussi favorable à la convection ait débouché sur la cyclogenèse tardive de JUBA.

OLR (Outgoing Longwave Radiation) anomalies during first semester of 2004 and related analysed tropical waves. The spectral analysis of the OLR anomalies (a proxy of convection) enabled to detect the different tropical waves involved in the intra-seasonal modulations of the tropical convective activity (here within the "normal" cyclogenesis domain 2.5S/17.5S). From January to May 2004 one could identify three main phases of enhanced convection (blue or purple shade) in the Southwest Indian Ocean (west of 90°E). The first one, end of January, was linked to the development and eastward propagation of the most powerful pulse of the MJO (Madden-Julian Oscillation) observed during the period (blue solid contour for the active phase) and participated to the consecutive cyclogenèses of ELITA, FRANK and LINDA (from west to east). The one from early March would be attributed to an Equatorial Rossby wave (westward propagating solid black contour); its occurrence was in phase with GAFILO's cyclogenesis. The last one, which happened early May around 80°E, corresponded to the rare conjunction of an MJO pulse, an Equatorial Rossby wave and a Kelvin wave (eastward propagating solid green contour). No wonder that such a favourable context fostered the late cyclogenesis of JUBA. (Data courtesy BoM/BMRC Climatology).

off progressively enabling the low centre to get closer to the convection which was now well settled in its western sector. Coupling initiated during the following night intervening together with an obvious evolution of the convection which gained areal extent while displaying a much better-organised structure. The resulting

ment de trajectoire du météore (dénommé JUBA dans l'après-midi du 12). A l'approche du 70ème méridien Est, la perturbation a en effet entamé une incurvation très progressive vers le sud-ouest, se prolongeant vers le sud le 13, en direction de l'importante faiblesse dans le



Début de vie du futur JUBA. Malgré le contexte très favorable évoqué page ci-contre, la cyclogenèse de JUBA se révélera des plus laborieuses. L'image ci-dessus a été capturée au milieu de la longue phase de pré-genèse -d'environ une semaine- qui a précédé le vrai début de creusement du météore. Sur cette image, on distingue clairement, au sein d'une large circulation dépressionnaire à la forme ovoïde très allongée, le minimum de basses pressions associé. A l'écart de la convection, il se situe à cet instant à plus de 650 km au sud-est de Diego-Garcia, qui subit au même moment l'influence pluvio-orageuse d'une autre zone de convection.

Early life-cycle of to-become JUBA. Despite the most favourable context described opposite page JUBA's cyclogenesis turned out to have much difficulty to convert. The above picture was taken mid time of the long pre-genesis stage that lasted about a week prior to the definite start of the meteor's deepening. On this picture one can clearly distinguish, within a large elongated egg-shaped clockwise circulation, the low-level circulation centre which lay aside from the convection more than 650 km to the southeast of Diego-Garcia which at the same time was under the rainy and stormy influence of another convective area.

champ de pression induite par l'éloignement de la cellule anticyclonique subtropicale précitée et son remplacement par un puissant talweg des moyennes latitudes venu s'enfoncer jusqu'au 20ème parallèle Sud en moyenne troposphère. A mesure qu'il décrit cette large courbe régulière, JUBA se rapproche de l'axe de la dorsale d'altitude, là où le cisaillement vertical de vent est le plus faible. Comme dans le même temps la divergence d'altitude va en s'améliorant, avec un canal d'évacuation du côté sud devenant de plus en plus efficace sur la façade sud-ouest de la dorsale d'altitude, dopé qu'il est par l'approche du talweg polaire, ce sont des conditions de développement de plus en plus favorables dont bénéficie JUBA, du moins tant que la tendance de cisaillement ne s'inverse pas à la hausse. Et de fait, le météore va tirer au mieux

deepening which began in the evening of 11 May led the system to be upgraded as a tropical depression by the middle of the following night.

EVOLUTION

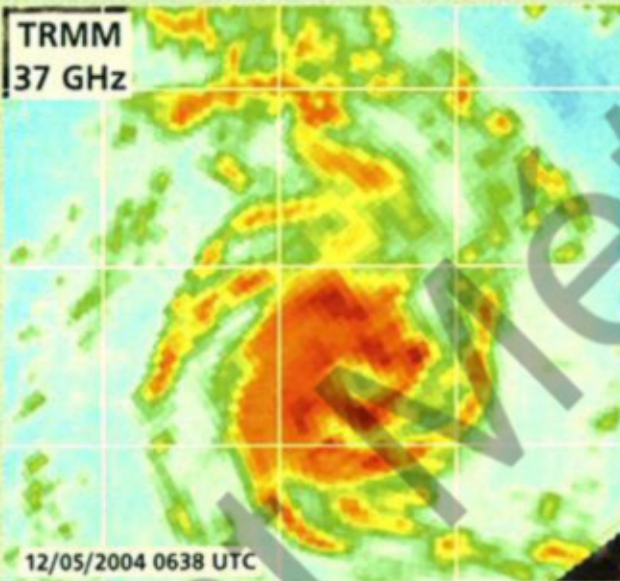
The moderate tropical storm stage was considered to be reached before the middle of the day on 12 May and through the next 24h the deepening process accelerated. The main causative factor for this evolution which was spectacular considering the previous apathy of the system, was basically the change of track assumed by the meteor (named JUBA in the afternoon of 12 May).

As it approached longitude 70°East, the disturbance had actually begun recurving very gradually southwestwards and then southwards on the 13th, heading for the important weakness in the pressure field induced by the withdrawal of the abovementioned subtropical lower

tropospheric high and its replacing by a major mid-latitude trough digging northwards as far as latitude 20°South in the mid-levels. As JUBA was taking this large and smooth sweep it got closer to the upper ridge axis where the vertical windshear was weakest. Since meanwhile the upper divergence was improving with an outflow channel to the south becoming more and more efficient on the southwestern side of the upper ridge, boosted as it was by the approaching polar trough, JUBA benefited from increasingly favourable conditions to develop further, at least as long as the vertical windshear lessening trend did not reverse.

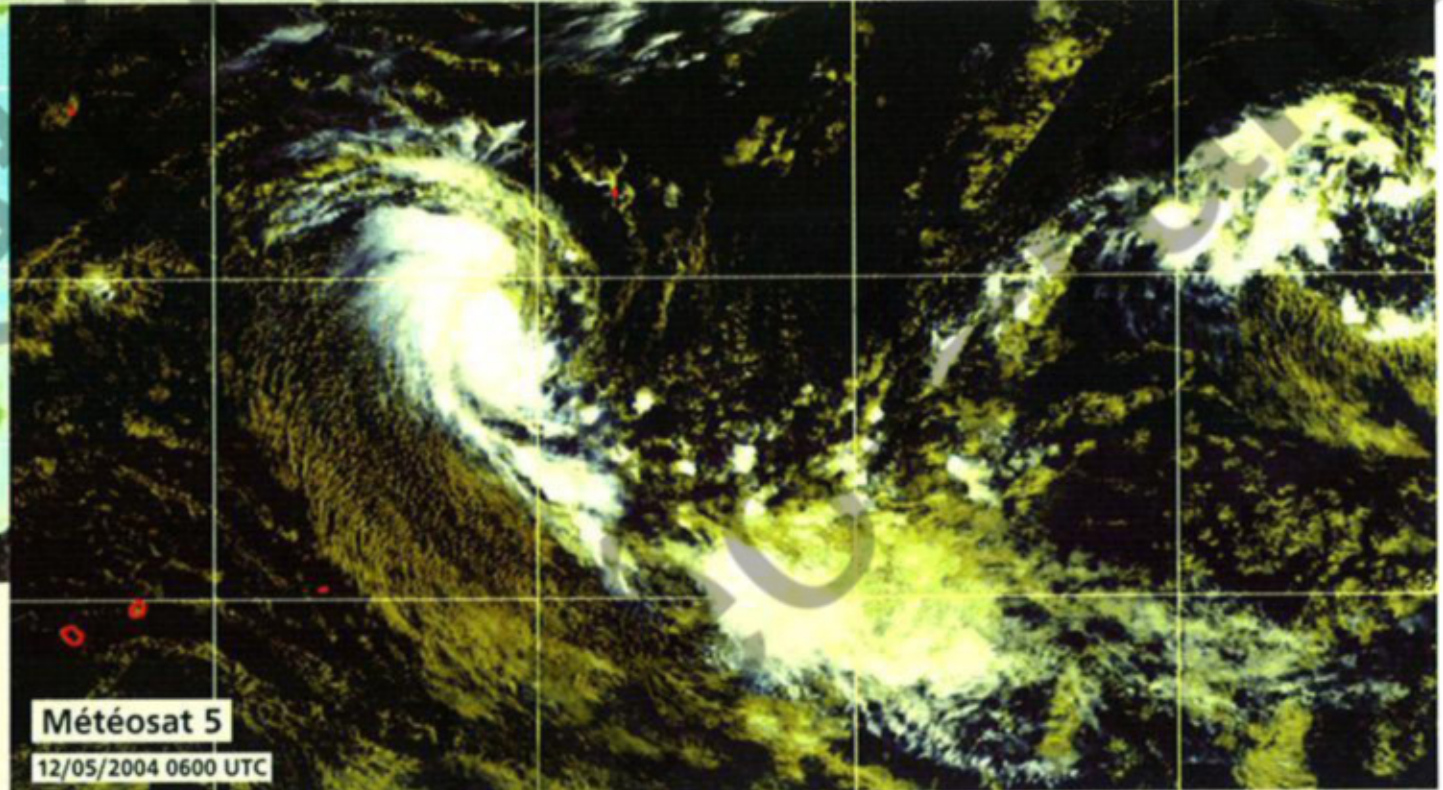
And the meteor would indeed take advantage of the limited lapse of time during which the vertical windshear remained at an acceptable level. During this short 24-hour time span, JUBA sustained an intensification rate greater than the climatological norm and gained one and a half point on the Dvorak intensity scale until it

TRMM
37 GHz



12/05/2004 0638 UTC

JUBA (pas encore nommée) atteint le stade de tempête tropicale modérée au sud-ouest de Diego-Garcia. L'image micro-onde TRMM (canal 37 GHz) confirme la structuration affirmée de la circulation de basses couches autour d'un centre (dénué de précipitations) déjà particulièrement bien défini.



Météosat 5

12/05/2004 0600 UTC

JUBA (unnamed at the time) when reaching moderate tropical storm stage southwest of Diego-Garcia. The TRMM microwave imagery (channel 37 GHz) confirmed the degree of organisation of the low-level circulation around an already well defined rain free centre.

reached its intensity peak by late morning of 13 May. JUBA, analysed at the time at the upper level of severe tropical storm stage, was on the verge to cross latitude 13°South, some 800 km southwest of Diego-Garcia.

Heading duly south from now on, the meteor was inexorably moving towards an area of increasing windshear. The favourable window for intensification closed up and the first signs of weakening appeared in the early afternoon on the satellite imagery. After a temporary remission in the course of the following night, the meteor was sheared off abruptly in the morning of the 14th, with a low-level vortex becoming completely exposed northwest of the residual convection. As a result, the disturbance simultaneously shifted its track westwards. Now being disconnected from the upper environment, the steering flow had indeed come under the control of the subtropical high lying south in the lower troposphere.

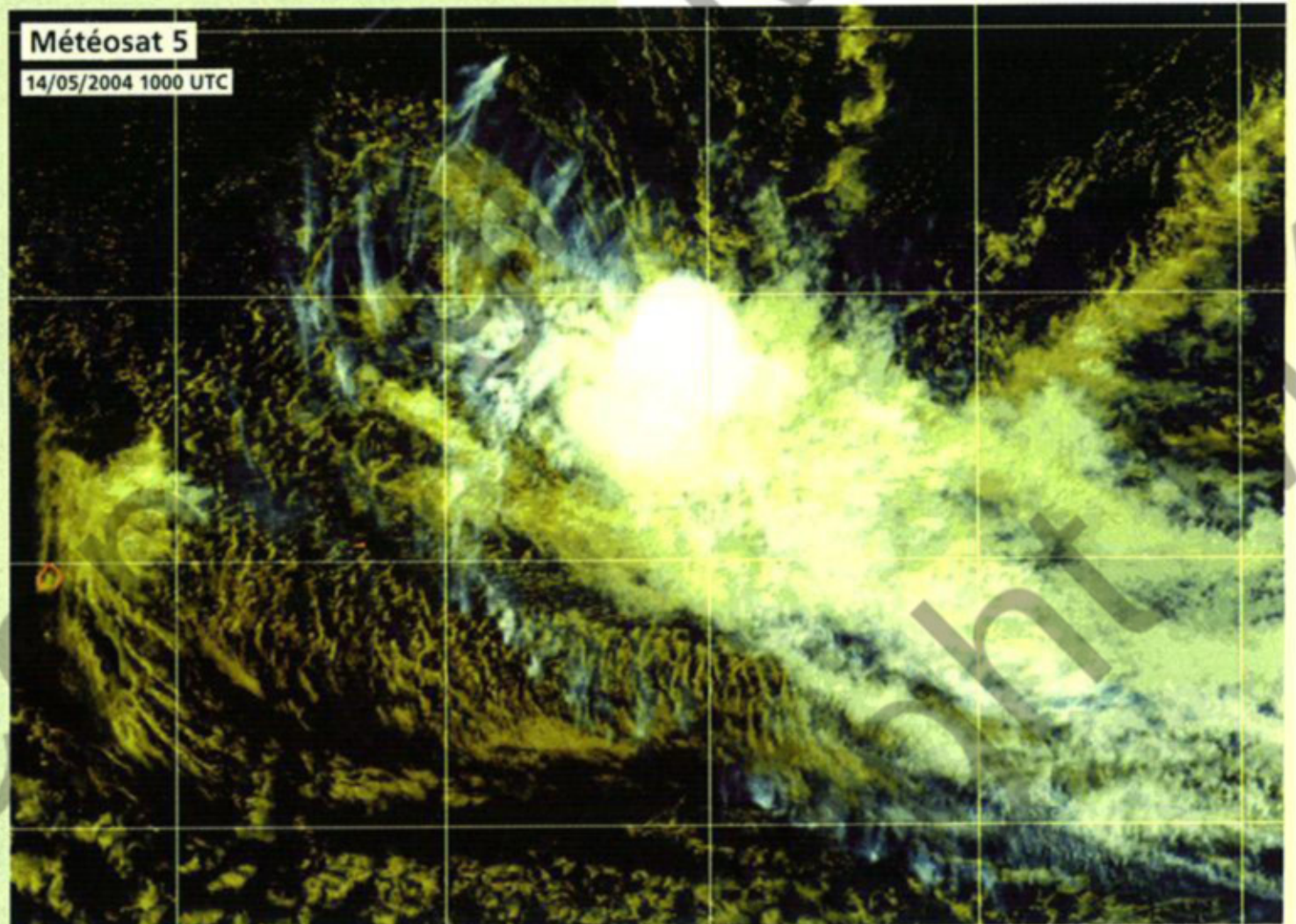
This westward motion slightly north of latitude 15°South turned out to be transitory since less than 24 hours later the residual low of ex-JUBA, which had quickly filled in the meantime, recurved once again towards the south-southwest. Heading straight for Rodriguez Island, it finally brushed past the island to the west in late afternoon on 16th (with estimated value of 1007 hPa) before dissipating not far off south -in the middle of the tropical domain- the next day. Although it was at the end of its life-cycle by then, JUBA's cloud remnants managed to generate heavy showers on Rodriguez Island (102 mm recorded), a tardy end-of-season rainfall which was much welcome in expectation of the coming dry season on that island suffering from chronic water shortage.

While the formation in May of a tropical storm on the Southwest Indian Ocean is not exceptional (since the beginning of the satellite era, six bona fide cyclones so far have been reported to occur in May), JUBA yet ranks among the tardiest depression systems in our contemporary times. Actually, since 1960, year in which depression systems started to be named in the basin, only two disturbances were named later (IKONJO in May 1990 and GRITELLE in June 1991). What is more unusual is that it was the third successive year that a mature storm developed

profit de la fenêtre temporelle limitée qui lui est offerte où le cisaillement vertical de vent demeure à un niveau acceptable. Durant ce court laps de temps -environ 24h-, JUBA va en effet soutenir un taux d'intensification supérieur à la norme climatologique, gagnant un point et demi sur l'échelle d'intensité de Dvorak, jusqu'à son maximum d'intensité, atteint en fin de matinée du 13 mai. JUBA, alors analysé au stade supérieur de la forte tempête tropicale, s'appête à franchir le

Météosat 5

14/05/2004 1000 UTC



Fin de vie de JUBA des plus classiques par cisaillement vertical de nord-ouest. Une trentaine d'heures après son maximum d'intensité, le météore apparaît déjà très déstructuré, avec une convection résiduelle nettement reléguée au sud-est du centre de basses couches.

JUBA's end of life-cycle through classical northwesterly windshear. Some 30h after its maximum of intensity the storm looked already dismantled with the residual convection being completely sheared off southeast of the exposed low centre.

Phase d'intensification de JUBA vue par l'imagerie micro-onde, durant les 24h qui ont vu le météore passer du stade minimal de tempête tropicale modérée au stade supérieur de la forte tempête tropicale (noter en particulier le passage d'un œil "ouvert" à un œil "fermé" en fin d'évolution).

Intensification phase of JUBA as seen by the microwave imagery during the 24h period which saw the meteor skip from the minimal threshold of moderate tropical storm stage to the upper level of severe tropical storm stage (notice in particular the transformation from an "open" eye to a "close" eye at the end of the evolution).

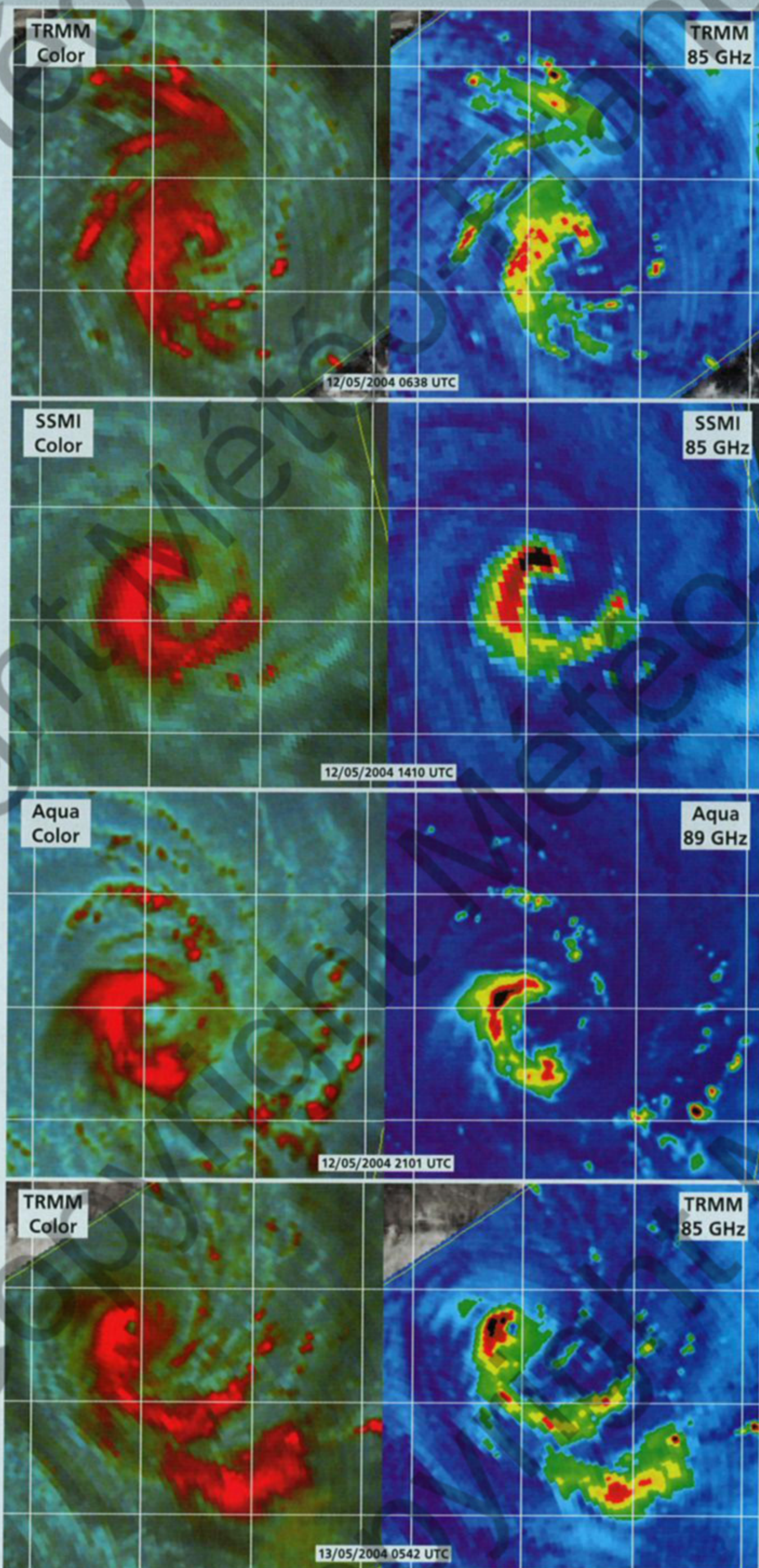
13ème parallèle sud, à quelque 800 km au sud-ouest de Diego-Garcia.

Faisant désormais route quasiment plein sud, le météore se dirige inexorablement vers une zone de cisaillement de vent croissant. La fenêtre favorable d'intensification se referme et les premiers signes d'affaiblissement apparaissent dès l'après-midi sur l'imagerie satellitaire. Après une rémission temporaire en cours de nuit suivante, le météore est brutalement cisailé au matin du 14, avec un vortex de basses couches se retrouvant complètement exposé au nord-ouest de la convection résiduelle. Il en résulte dans le même temps un changement de trajectoire de la perturbation vers l'ouest. Désormais déconnecté de l'environnement d'altitude, le flux directeur est en effet passé sous le contrôle de la cellule anticyclonique subtropicale présente en basse troposphère au sud.

Ce déplacement ouest, légèrement au nord du 15ème parallèle Sud, va cependant s'avérer transitoire, puisque, moins de 24h plus tard, le minimum dépressionnaire résiduel de l'ex-JUBA, qui s'est dans l'intervalle comblé rapidement, incurve à nouveau en direction du sud-sud-ouest. Se dirigeant tout droit vers l'île de Rodrigues, il passe finalement à proximité ouest en fin de journée du 16 (avec une valeur estimée à 1007 hPa), avant de se dissiper non loin au sud le lendemain, au cœur du domaine tropical.

Bien qu'en toute fin de vie à ce moment-là, les restes nuageux de JUBA ont suffi à générer des pluies significatives sur Rodrigues (102 mm), une pluviométrie tardive de fin de saison bienvenue pour affronter les mois de saison sèche à venir, sur une île souffrant d'un manque d'eau chronique.

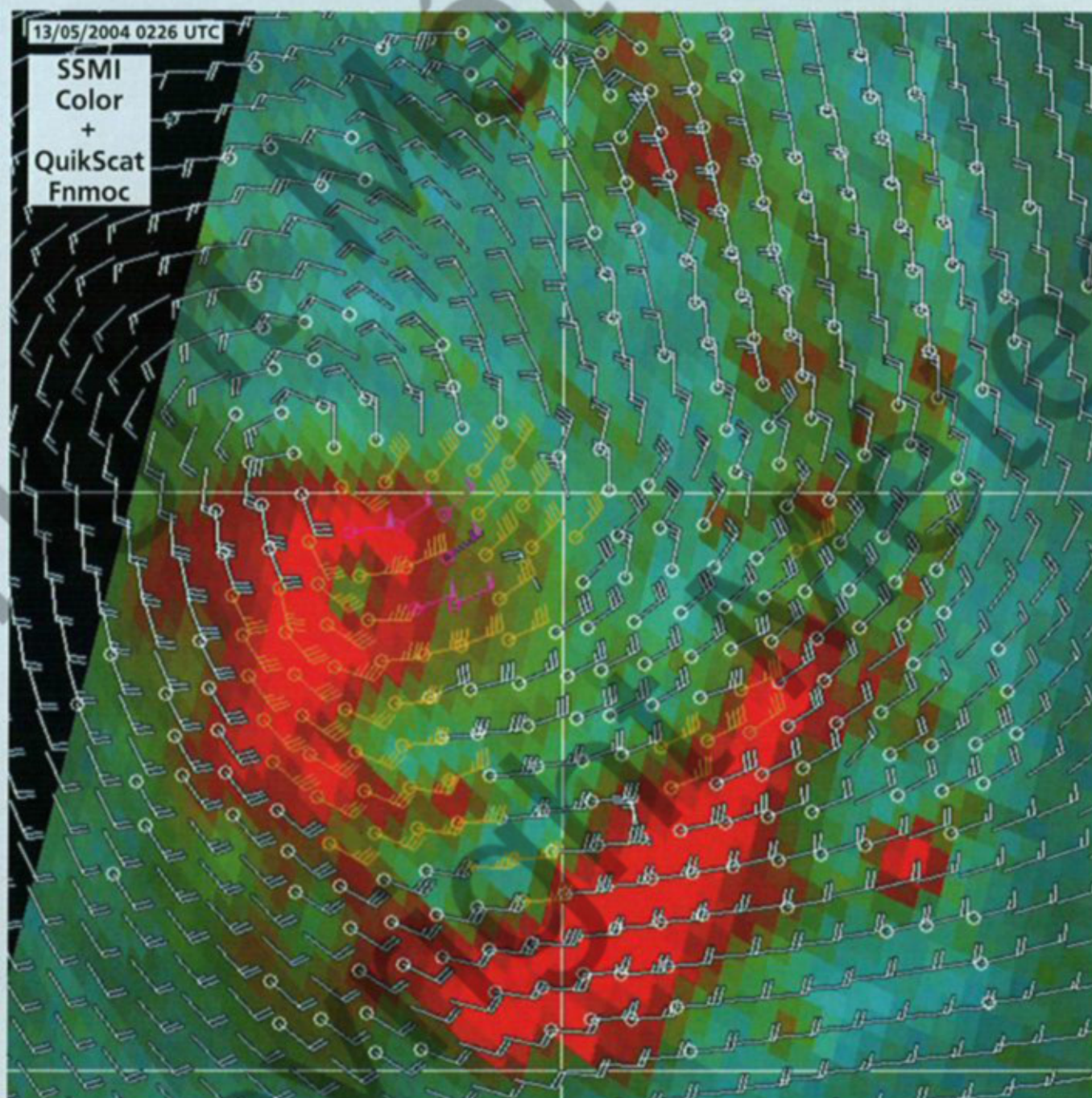
Si la formation d'une tempête tropicale au mois de mai sur le bassin du Sud-Ouest de l'océan Indien ne constitue pas en soi un événement exceptionnel (depuis le début de l'ère satellitaire, six cyclones ont même été répertoriés en mai à ce jour), JUBA figure toutefois parmi les systèmes dépres-



over the Southwest Indian Ocean during the first May fortnight –after KESINY in 2002 and MANOU in 2003, two tropical cyclones affecting Madagascar–. This repetition is so exceptional

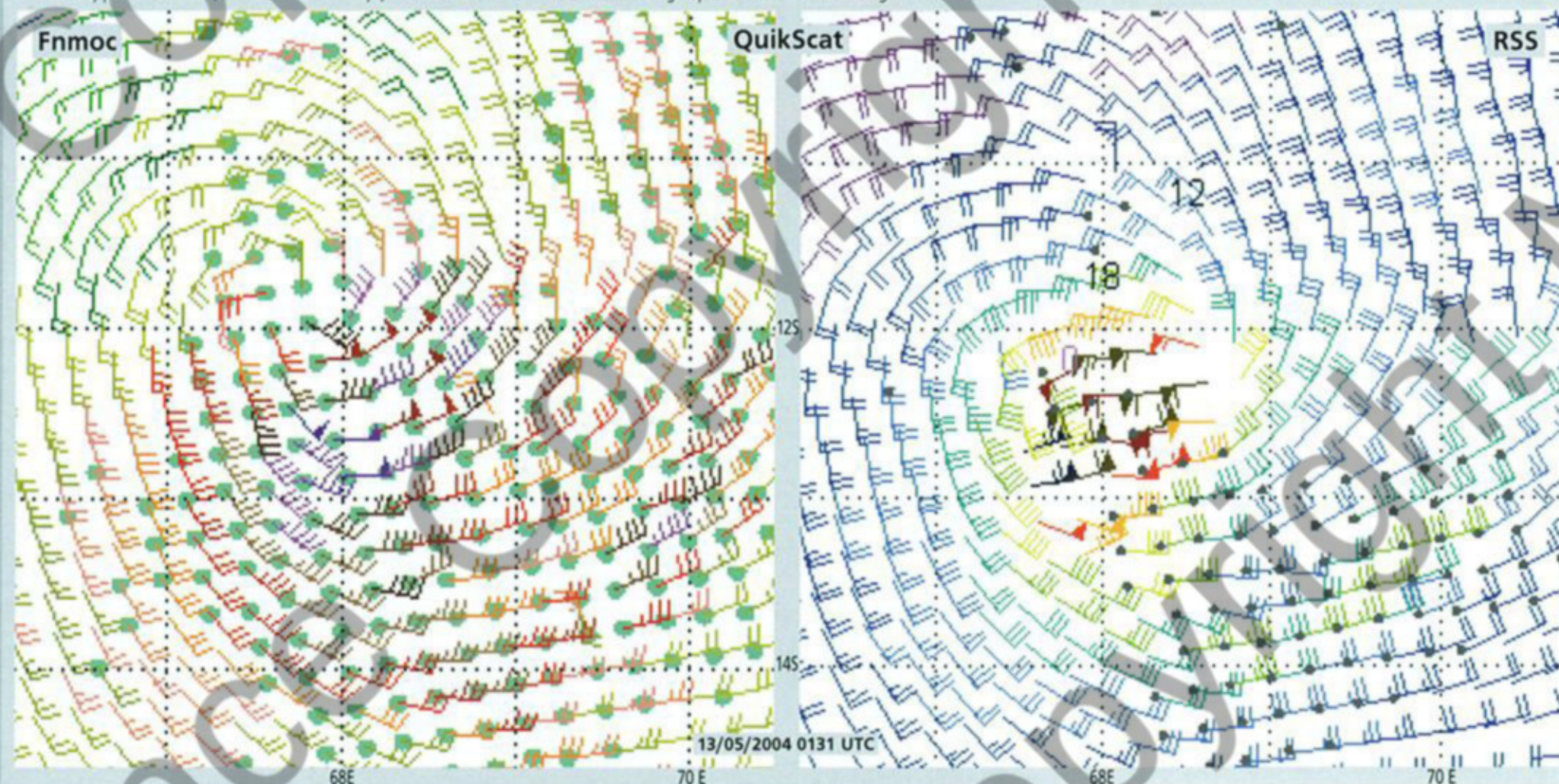
that it triggered wonderings about a potential lengthening of the “normal” cyclone season duration in relation with the global warming (speculation currently unprovable).

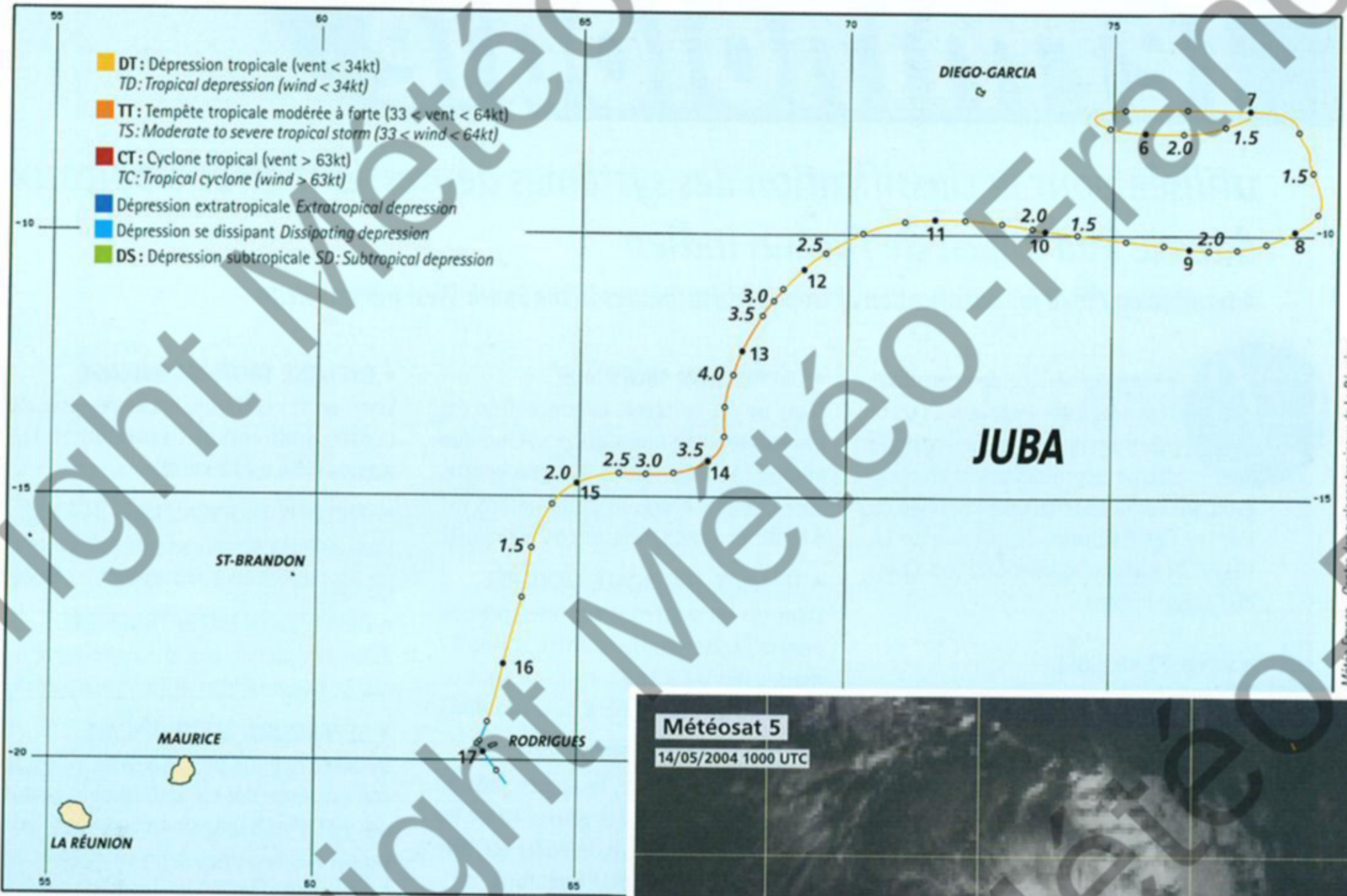
sionnaires les plus tardifs de l’histoire contemporaine. En fait, depuis 1960, année à partir de laquelle on a commencé de nommer des systèmes dépressionnaires dans le bassin, seules deux perturbations ont été baptisées plus tardivement (IKONJO en mai 1990 et GRITELLE en juin 1991). Il faut surtout noter que c’est la troisième année consécutive qu’un système dépressionnaire mature se développe durant la première quinzaine de mai sur le Sud-Ouest de l’Océan Indien (après KESINY en 2002 et MANOU en 2003, deux cyclones tropicaux ayant affecté Madagascar). Cette répétition est réellement inédite, incitant d’aucuns à s’interroger sur un éventuel allongement de la saison cyclonique “normale”, en lien avec le réchauffement climatique (hypothèse invérifiable pour l’heure).



The herewith images illustrate the problems induced by the difficulties in resolving properly the ambiguities on wind directions for the winds derived from the QuikScat data. The design of the QuikScat scatterometer radar is such that an uncertainty exists when estimating the wind direction with this technology since there can be up to six different possible solutions for the direction of a same wind vector. The algorithms developed to solve these ambiguities (i.e. to choose the “right” solution) are more or less sophisticated. The algorithm from RSS (Remote Sensing Systems) is generally more accurate, even though some directions may remain inconsistent (see right image), compared to an algorithm that uses a pure mathematical function based on a model’s guess as is the case for the Fmloc (U.S. Navy meteorological agency), whose solution was erroneous in the present case of JUBA (on the verge to reach its intensity peak at the time, with a well-defined eye) with the low-level circulation centre being displaced more than half a degree northward.

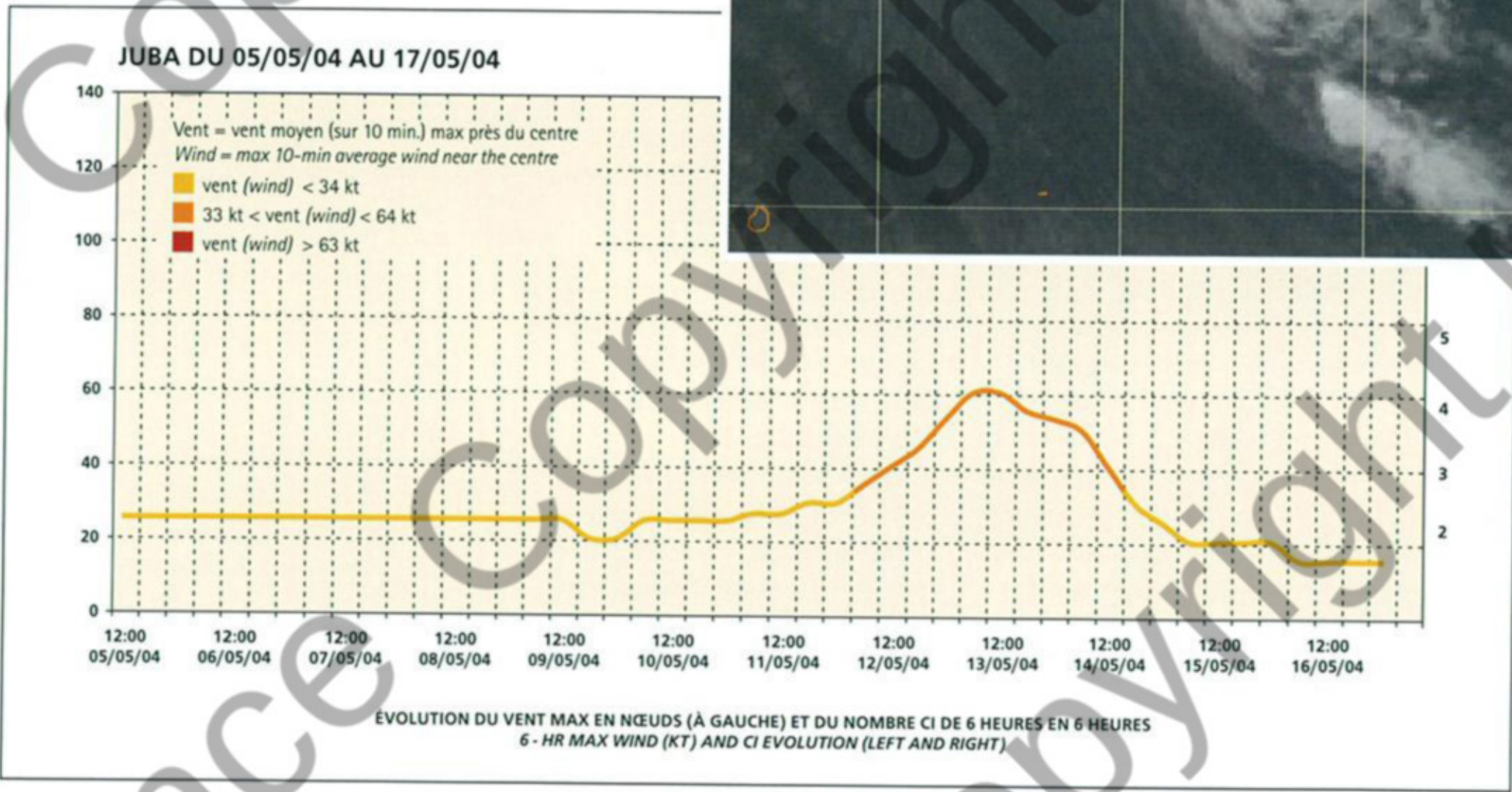
Les images ci-jointes illustrent les problèmes liés à la difficulté de résoudre correctement les ambiguïtés directionnelles sur les vents dérivés des données QuikScat. La conception du radar diffusiomètre QuikScat fait qu’il existe une incertitude sur la direction du vent estimée via cette technologie : il peut en effet y avoir jusqu’à six solutions différentes possibles pour la direction d’un même vecteur vent. Les algorithmes développés pour résoudre les ambiguïtés (i.e. choisir la “bonne” direction) sont plus ou moins sophistiqués. L’algorithme RSS (Remote Sensing Systems), qui s’appuie sur l’imagerie micro-onde, est généralement plus performant, même s’il demeure encore des incohérences dans les directions estimées (voir image de droite), qu’un algorithme utilisant une fonction purement mathématique basée sur l’ébauche d’un champ de modèle, comme c’est le cas de celui du Fmloc (agence météorologique de l’U.S. Navy), qui dans le cas présent aboutit à une solution erronée, avec le centre dépressionnaire de JUBA (alors sur le point d’atteindre son maximum d’intensité, avec un œil bien défini) décalé de plus d’un demi-degré au nord.





Météo France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

JUBA peu avant son maximum d'intensité, présente à cette heure ce qui constituera la meilleure définition de l'œil sur l'imagerie infrarouge.
 JUBA a few hours prior to its maximum of intensity displayed at the time what would be the eye's best depiction on the infrared imagery.



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

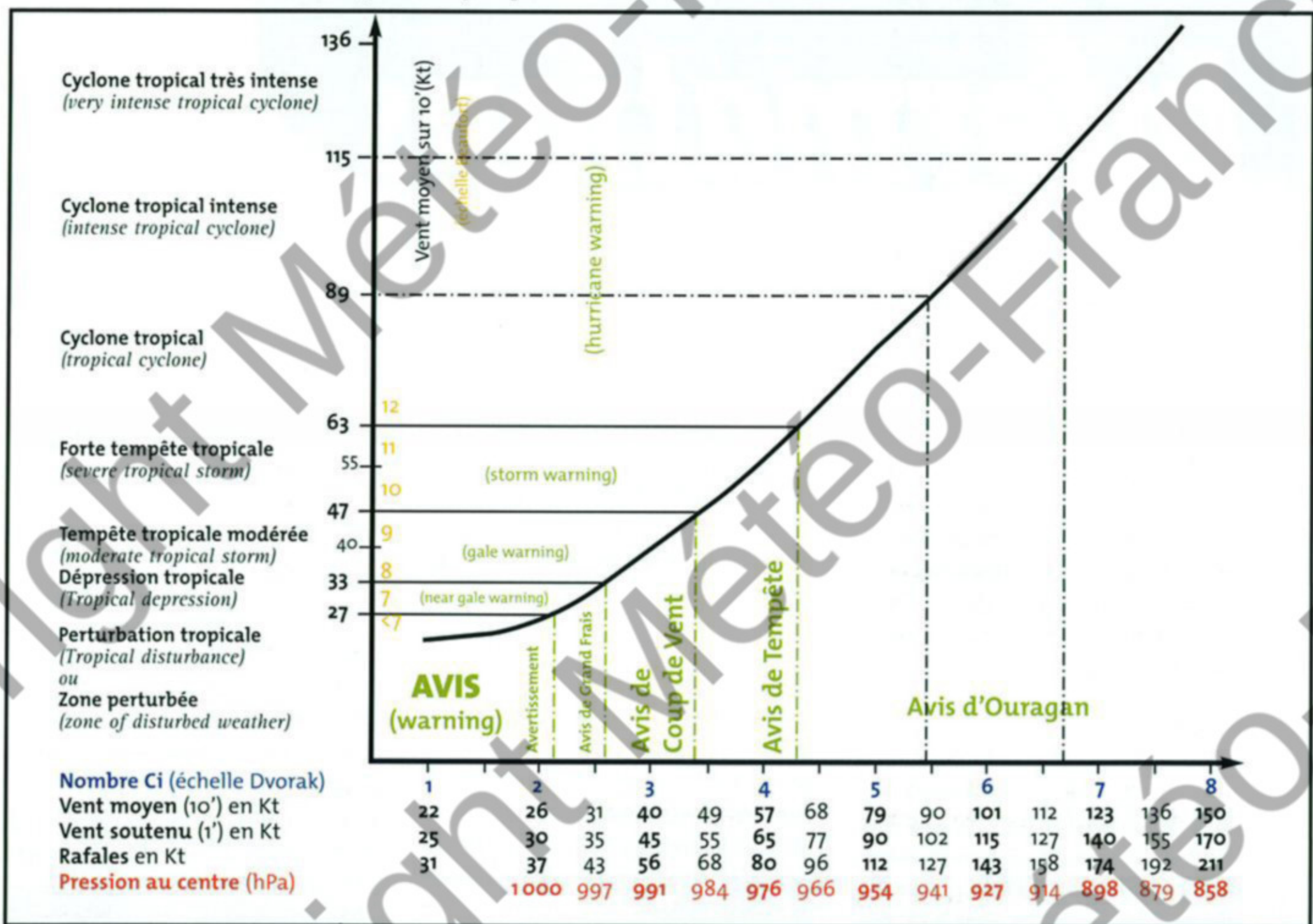
A synoptic scale low pressure area outside of the tropics.

• 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.

Informations

Techniques d'analyse et de prévision

Analysis and forecasting techniques

LES OUTILS D'ANALYSE :

1. L'imagerie radar :

Pour les systèmes dépressionnaires évoluant non loin de LA REUNION, l'imagerie radar constitue un outil de suivi privilégié. Fin 1993, un radar 10 cm Doppler a été installé dans les hauts de Saint-Denis de LA REUNION, à environ 700 mètres d'altitude et 12 km à vol d'oiseau du CMRS qui le pilote à distance. Les données brutes acquises par le radar sont traitées sur le site et les différents produits dérivés (PPI, CAPPI,...), transmis au Centre de Prévision au moyen d'une liaison spécialisée à 9600 b/s. Après une interruption de service, suite à sa destruction par le cyclone DINA en janvier 2002, ce radar est redevenu opérationnel à la fin de cette même année 2002. Depuis l'Est jusqu'à l'Ouest-Sud-Ouest de l'île, la vue du radar est totalement dégagée sur tout le demi-cercle nord, secteur origine de plus de 95% des tempêtes et cyclones tropicaux qui s'approchent de LA REUNION. Dans ce secteur essentiel, elle permet une surveillance quasi continue des perturbations situées à moins de 350/400 km de la côte et donc un suivi efficace de celles qui menacent l'île. Cela se traduit par des analyses plus précises des phénomènes, résultant par voie de conséquence en un gain également dans les prévisions de la trajectoire finale et de l'impact à attendre – en termes de vent et de pluie – des météores amenés à affecter le temps sur l'île, participant ainsi grandement de l'amélioration de la qualité des avis et du timing de la phase finale du processus d'alerte à LA REUNION.

Ce radar Doppler ouvre par ailleurs des possibilités très intéressantes en matière de Recherche/Développement sur les effets que l'orographie peut avoir sur la structure centrale des cyclones venant

toucher l'île et, de manière plus générale, en combinant les observations radar avec les données collectées en temps réel par le réseau de plus d'une vingtaine de stations automatiques implantées sur l'île, sur les effets de l'orographie sur la distribution des fortes précipitations.

2. L'imagerie satellitaire :

Pour les systèmes dépressionnaires éloignés, l'absence de reconnaissance aérienne et le nombre très limité d'observations conventionnelles, font de l'imagerie satellitaire l'outil de base de la surveillance cyclonique dans le Sud-Ouest de l'océan Indien.

Au CMRS de LA REUNION, celle-ci reposait essentiellement, jusqu'à il y a quelques années, sur l'exploitation des images des satellites défilant de la série américaine TIROS.

Les données du satellite indien INSAT n'étant pas disponibles, le Sud-Ouest de l'océan Indien restait, en effet, le seul bassin cyclonique au monde dont la couverture par un satellite géostationnaire n'était pas assurée en totalité. Les données du satellite géostationnaire européen METEOSAT nominal, positionné au-dessus du Golfe de GUINEE (METEOSAT 7 jusqu'en janvier 2004, remplacé ensuite par METEOSAT 8, premier satellite de seconde génération – initialement dénommé MSG1) sont bien acquises au Centre depuis fin 1996, grâce à une station primaire de réception (PDUS). Mais ces images en haute résolution, reçues en direct toutes les 1/2 h (pour les METEOSAT de première génération), ne permettent qu'une surveillance de la zone située à l'ouest de 60 degrés est et principalement du canal de MOZAMBIQUE. Les images du satellite japonais GMS (IR basse résolution uniquement) permettaient, en outre, de suivre l'évolution des

perturbations évoluant sur la bordure est de la zone de responsabilité du CMRS de LA REUNION.

Mais depuis la saison 1998-1999, une couverture géostationnaire globale du bassin est assurée en permanence grâce au satellite METEOSAT 5, ancien satellite nominal METEOSAT en fin de vie mais encore fonctionnel, déplacé et positionné au-dessus de l'océan Indien (par 63°Est) suite à l'expérience internationale INDOEX. Depuis mai 1998, des images en haute résolution couvrant l'ensemble du Sud de l'océan Indien, sont ainsi acquises en direct toutes les 30 minutes.

Par ailleurs, le Centre, qui dispose depuis novembre 1990 d'une station de réception et de traitement haute résolution (High Resolution Picture Transmission), station ayant fait en 1995 l'objet d'une refonte complète, a continué d'exploiter, comme auparavant, les images des satellites défilant américains (NOAA 16 et NOAA 17 principalement), dont les orbites permettent de couvrir la majeure partie ou la totalité du bassin cyclonique, seules les perturbations présentes sur l'extrême est de la zone de responsabilité pouvant demeurer temporairement hors du scope d'acquisition.

Outre l'imagerie classique, de nombreuses autres sources de données satellitaires sont exploitées, en particulier les données issues de satellites de recherche de nouvelle génération mis en orbite ces dernières années. De diverses natures, elles ont pris un poids considérable dans la panoplie des outils opérationnels d'analyse satellitaire.

Pour ce qui est du suivi cyclonique, les données issues des sondeurs micro-ondes et radars diffusiomètres sont les plus utilisées. Travaillant dans des gammes de fréquences particulières, notamment

hyperfréquences (ou "micro-ondes"), ces nouveaux capteurs ont renouvelé la vision des cyclones tropicaux, de par leur capacité à aller investiguer au cœur des phénomènes, y compris jusqu'au niveau des conditions de surface.

Ainsi, lorsqu'elles sont disponibles, les observations de vents de surface (force et direction) dérivées des données diffusiométriques, apportent des renseignements objectifs précieux sur la structure des systèmes dépressionnaires tropicaux : position du centre (utile notamment dans le cas des systèmes naissants ou cisailés), taille de la circulation cyclonique (étendue du grand frais ou du coup de vent), indications sur les intensité et tendance d'intensité des phénomènes, à l'exception des cyclones matures (les vents les plus violents présents au cœur de ces systèmes ne pouvant être appréhendés par ce biais).

Le diffusomètre du satellite européen ERS2 (European Remote Sensing Satellite) étant malheureusement tombé définitivement en panne début 2001, seules les données altimétriques sont désormais disponibles et reçues quotidiennement au Centre des Cyclones Tropicaux de LA REUNION. Mais le satellite QuikScat (pour "Quick Scatterometer"), satellite lancé en 1999, a pallié plus que largement la défection d'ERS2. Le radar diffusiomètre SeaWinds embarqué à bord de ce satellite de la NASA, possède en effet l'avantage, par rapport au diffusomètre d'ERS, de disposer d'une double-fauchée, assurant une couverture spatiale beaucoup plus large. Jusqu'à deux orbites QuikScat quotidiennes sur chaque système dépressionnaire ont ainsi pu être exploitées cette saison cyclonique, via leur visualisation sur des sites Internet.

Les données micro-ondes SSM/I (Special Sensor Microwave Imager) issues des satellites défilants militaires américains (programme DMSP), ou issues des satellites AQUA et TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission), tout particulièrement l'imagerie associée, constituent une puissante source d'informations additionnelles sur la position du centre et l'intensité des systèmes dépressionnaires tropicaux. A ces données, il faut également rajouter les données micro-ondes AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit) des satellites NOAA 15 et NOAA 16, sources de

THE ANALYSIS TOOLS

1. The radar imagery :

The radar imagery is a privileged and powerful tool for monitoring the tropical disturbances evolving not too far away from La Reunion Island. At the end of 1993, a 10 cm Doppler radar has been installed on a site in the upper reaches of the capital city Saint-Denis, at about 700 meters elevation and 12 km away from the Meteorological Centre. This radar is operated by remote control. Raw data are processed on the site and the different products (PPI, CAPPI,...) are transmitted to the Centre via a 9600 b/s specialized link. After a service disruption following the blown off of this radar by intense tropical cyclone DINA end of January 2002, a new radar replaced the former one and reestablished full normal radar operation at the end of 2002.

The view of the radar is totally clear from the east to the north and the west-southwest of the island, sectors of origin of more than 95% of the storms approaching La Reunion. It enables nearly continuous coverage of tropical cyclones within about 350/400 km of the coast and, therefore, effective monitoring of those that threaten the island. This results in more accurate analyses and consequently to improved forecasts of the final track and impact on the island (in terms of strong winds and heavy rain), and eventually in better warnings and better timing in the final phase of the alert process for the island.

Moreover this radar opens up very interesting possibilities for Research and Development on the effects that the orography can have on the core structure of landfalling tropical cyclones and, more generally speaking, combining radar observations with data collected in real-time by the network of more than 20 automatic stations implemented on the island, on the effects of the orography on heavy rain distribution.

2. The satellite imagery :

For remote systems, due to the fact that aircraft reconnaissance is lacking and conventional observations are very scarce, satellite imagery is obviously the most important tool for ensuring cyclone watch and monitoring in the South-West Indian Ocean.

At RSMC La Reunion, imagery from the polar orbiting American satellites of TIROS series was, until recently, the main source of satellite data. Since data from the Indian satellite INSAT are not available in the region in real time, the South-West Indian Ocean was previously the only cyclone basin in the world which was not

covered entirely by a geostationary satellite. Data from the operational European Geostationary satellite, positioned above the Gulf of Guinea (METEOSAT 7 until January 2004 replaced from then on by METEOSAT 8 – the first satellite of second generation, initially known as MSG1) are received at the Centre since the end of 1996 thanks to a primary reception station (PDUS). But this direct access to high resolution pictures (available every half-hour for METEOSAT 7), only covers the area west of longitude 60°E and more specifically the MOZAMBIQUE Channel.

Additionally, to monitor the depressions located near the eastern boundary of the Region, pictures from Japanese geostationary GMS, are also available at RSMC La Reunion (low-resolution IR only).

But since cyclone season 1998-1999 a global and permanent geostationary coverage of the whole basin has been provided thanks to METEOSAT 5, a former operational satellite METEOSAT displaced to longitude 63°East (in the frame of the international scientific experiment INDOEX), providing thus (since May 1998) high resolution images of the whole southern Indian Ocean every 30 minutes.

As during the previous seasons, the Centre has been operating a HRPT (High Resolution Picture Transmission) Station. This station, installed in November 1990 but which was the subject of a complete overhaul in 1995, allowed the acquisition of the imageries from the American polar orbiting satellites (NOAA 16 and NOAA 17 mostly) whose orbits enable to cover the major part of the basin although the depressions located on the far eastern part of the area of responsibility may remain temporarily out of LA REUNION's scope of acquisition.

Besides classical imagery, numerous other sources of satellite data are available, namely those provided by research satellites of a new generation launched in the recent years. These data of different nature have now taken a major importance amongst the panel of operational tools for satellite analysis.

For tropical cyclone monitoring the data derived from microwave sounders and scatterometer radars are the most useful. Working in specific ranges of frequencies, like microwave, these sensors have provided a renewed vision of tropical cyclones through their capability to investigate the inner structure of the meteors, even down to the surface.

This is namely the case for scatterometer data. When available their derived wind speeds and directions provide valuable objective information

on a storm's structure : location of the low-level circulation centre (especially useful for incipient or sheared systems), size of the clockwise circulation (extent of the near gale force or gale force winds), indications on the intensity and intensity trend of the system, except for mature cyclones (since this technology does not have the capability of resolving the highest wind speeds of the central core). Due to fatal failure of instrument early in 2001 the scatterometer data from the European satellite ERS2 (European Remote Sensing Satellite) were not available anymore (just receiving altimeter data). However NASA's satellite named QuikScat (for Quick Scatterometer) – launched mid-1999 – made up for this loss of ERS2 data. The SeaWinds scatterometer radar aboard QuikScat benefits from a much larger swath compared to that of ERS, thereby ensuring much better spatial coverage. Up to two daily orbits on each tropical system could thus be acquired this season and made visible through Internet websites. Microwave data and imagery from SSML (Special Sensor Micro-wave Imager aboard the American military polar orbiting satellites from the DMSP program), or from the AQUA and TRMM satellites (Tropical Rainfall Measurement Mission) brought extensive additional and invaluable information on the centre's location and intensity estimates of the tropical systems. AMSU data (Advanced Microwave Sounding Unit) from NOAA 15 and NOAA 16 also greatly contributed to more accurate analyses through imagery (AMSU-B) or derived products (AMSU-A intensity estimates).

TECHNIQUES USED FOR SATELLITE INTERPRETATION :

Despite the advent of this new generation of satellites and the development of new techniques and algorithms already integrated in the analysis process, the main method of analysis and classification of tropical disturbances used by the Centre remains the technique developed by Vernon F. Dvorak (this technique replacing since 1982 the one developed by Vincent J. Oliver formerly in use). It is worth remembering that the DVORAK technique is based on procedures for evaluating the satellite signature of the cloud features and their distribution around the tropical disturbances. Several cloud patterns have been established which corresponded to the most common intensification stages of tropical disturbances observed. Different cloud parameters are considered, for example the size and length of the spiral bands, the diameter and

shape of the central cloud mass, the diameter and the embedded distance of the eye, the degree of shear, etc.

This analysis compared to that of previous pictures makes it possible to classify the depression on an intensity scale (the DVORAK scale) after allocation of a current intensity number (CI) between 1.0 and 8.0. Indication of the maximum wind speed and minimum sea level pressure are then inferred from an empirical non-linear scale of correspondence with the CI number (see graphic and additional explanations page 91).

THE FORECASTING TOOLS

Tropical disturbances track and intensity forecasts rely to a great extent on the numerical models' outputs available at RSMC La Reunion. Beside their direct or indirect use (via specific methods like the consensus techniques) the derived fields are analysed to evaluate the constraints imposed on the tropical systems by their environment. This subjective analysis added to the observation data, collected from satellite and other sources enables to determine how the current behaviour of the cyclone may be influenced.

At the present time, the RSMC tropical cyclone specialists use different operational models for their forecasts.

1. Statistical model :

Based on the tropical cyclones historical file maintained by RSMC/La Reunion (which contains the data of some 1200 storms for the period 1848-2004), a simple « analogs » model have been developed. However, the interest of this kind of model for operational forecasting is rather limited, although it is helpful to new or young forecasters for acquiring the necessary climatological knowledge. This model allows to get quick access to basic track and intensity cyclone forecasts mostly useful to make short range forecasts (up to 12 hours). Moreover this kind of model can be used as an advanced reference model to quantify the value of more sophisticated models.

Intensity forecasts are even more difficult than track forecasts mostly because of limited skill of operational models on this matter. Thus statistical models can perform comparatively quite well for intensity forecasts.

2. Baroclinic models :

The global models are the main source of reliable information to assist the tropical cyclone specialists in making their forecasts (track forecasts essentially). Among all the global

précieux éléments d'analyse, que ce soit en terme d'imagerie simple (AMSU-B) ou de produits dérivés (estimations d'intensité à partir des données AMSU-A).

TECHNIQUES D'ANALYSE SATELLITAIRE UTILISEES :

Malgré l'arrivée de ces nouvelles générations de satellites et le développement de nouvelles techniques d'analyse très prometteuses et déjà intégrées dans le processus d'analyse, la principale méthode d'identification et d'analyse des perturbations tropicales utilisée par le Centre demeure celle en vigueur depuis 1982, à savoir celle basée sur la technique développée, à partir de l'imagerie satellitaire classique, par Vernon F. Dvorak (cette technique remplaçant à cette date celle de Vincent J. Oliver utilisée précédemment).

On rappelle que la technique de DVORAK est basée sur l'étude des configurations et des caractéristiques des formations nuageuses associées aux systèmes dépressionnaires. Un certain nombre de schémas types ont été établis qui déterminent des types courants de développement des perturbations tropicales. Différents paramètres des formations nuageuses sont pris en compte ; par exemple l'importance des bandes nuageuses spiralées, le diamètre et l'aspect de la masse nuageuse centrale, le diamètre et le degré d'inclusion de l'œil, le degré de cisaillement, etc. Cette analyse et la prise en compte de l'évolution passée de la perturbation, permettent de classer celle-ci sur une échelle d'intensité, dite de DVORAK, allant de 1.0 à 8.0 par pas de 1/2.

Le nombre "CI" (pour "Current Intensity") ainsi attribué, permet d'apprécier indirectement la vitesse maximale du vent près du centre, ainsi que la pression minimale au niveau de la mer, via une échelle de correspondance empirique (non linéaire), qui permet d'affecter à un nombre CI déterminé, des valeurs correspondantes de vent maximal et de pression centrale associées au système dépressionnaire analysé (voir graphique et indications complémentaires page 91).

TECHNIQUES DE PREVISIONS :

Les prévisions de trajectoire et d'intensité des systèmes dépressionnaires tro-

picaux reposent en grande partie sur les données produites par les modèles de prévision numérique. Outre leur utilisation directe ou indirecte (via par exemple des techniques de consensus), les champs produits par les modèles sont analysés afin d'évaluer les contraintes imposées aux perturbations tropicales par leur environnement. Cette analyse subjective combinée aux renseignements obtenus à partir des données d'observation, satellitaires ou autres, permet d'estimer comment le comportement actuel de la perturbation risque d'être influencé.

Actuellement, le CMRS de LA REUNION utilise divers modèles pour ses prévisions opérationnelles, les plus utilisés étant :

1. Un modèle statistique :

Sur la base du fichier historique des cyclones tropicaux du CMRS (qui aujourd'hui contient les données relatives à plus de 1200 perturbations couvrant la période 1848-2004), un modèle simple par analogues a été développé. Ce type de modèle permet rapidement d'avoir accès à des prévisions de trajectoire et d'intensité de cyclone.

Si le modèle de trajectoire permet de former les prévisionnistes nouvellement arrivés à la climatologie du bassin, son intérêt pour la prévision opérationnelle demeure limité, excepté pour les très courtes échéances (jusqu'à 12 heures). Ce modèle peut, en outre, constituer une référence élaborée pour quantifier l'apport de modèles plus sophistiqués de prévision cyclonique.

Les prévisions d'intensité sont beaucoup plus délicates que les prévisions de trajectoire, en grande partie du fait des performances relativement médiocres des modèles opérationnels actuels dans ce domaine. Les modèles statistiques ont ainsi une bonne valeur ajoutée en prévision d'intensité.

2. Les modèles globaux :

Les modèles globaux sont la source principale d'informations permettant aux prévisionnistes d'effectuer leurs prévisions (de trajectoire essentiellement). Parmi les modèles disponibles au CMRS, les plus utilisés sont le modèle européen (modèle global du Centre Européen CEPMMT), le modèle anglais du

UKMO et bien sûr le modèle français ARPEGE, dont une version à résolution uniforme est particulièrement adaptée aux régions tropicales océaniques (ARPEGE Tropicale). L'analyse est issue d'une assimilation variationnelle à 4 dimensions qui permet d'assimiler le plus efficacement possible les radiances satellitaires, données cruciales sur les zones océaniques dépourvues de mesures in situ telles que l'océan Indien. Une particularité est le forçage (« bogus ») d'une pseudo-observation de pression mer (telle qu'estimée par le prévisionniste) au centre des systèmes dépressionnaires tropicaux. Ce modèle, tout comme le modèle statistique sont maintenus et améliorés par la Cellule de Recherche Cyclone implantée au CMRS de LA REUNION.

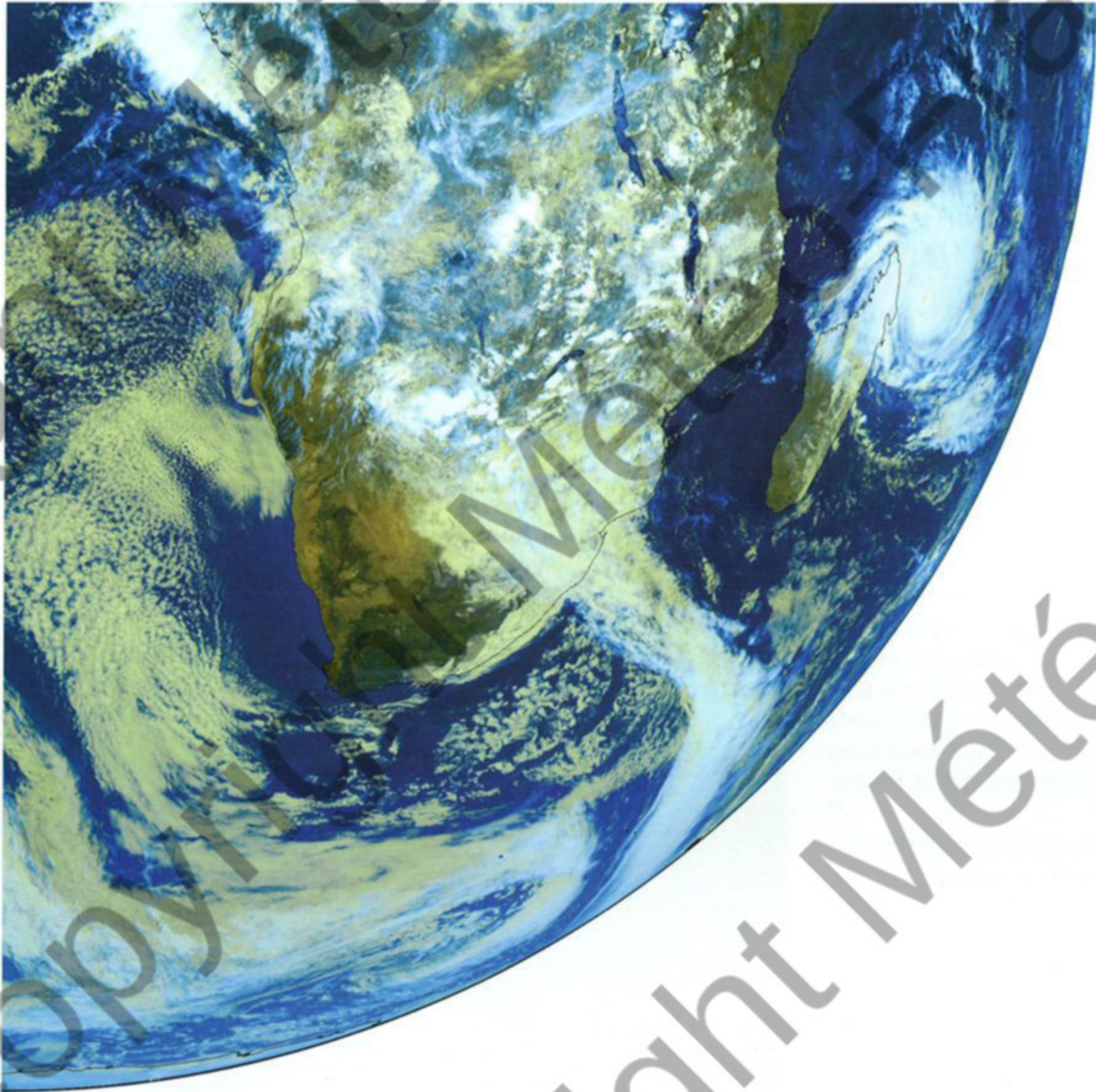
Par ailleurs, les prévisions d'ensemble du modèle du Centre Européen sont reçues et utilisées, en particulier pour évaluer le degré de confiance des prévisions cycloniques déterministes.

numerical weather prediction models available at RSMC La Reunion, the most helpful are the European Centre model (ECMWF model IFS), the English model from the UKMO and the French model ARPEGE for which a specific version with uniform resolution has been specifically designed for oceanic tropical regions. A 4D-var analysis technique allows a better assimilation of all the satellite radiances which are critical data for a data-sparse oceanic region like the Indian Ocean. A specific "bogussing" technique has been implemented with the forcing within the inner core of the tropical disturbance of a pseudo-observation of the minimum central pressure consistent with the current intensity of the system analysed by the forecaster. This model, like the statistical model, are maintained and regularly improved by the Cyclone Research Cell based at the RSMC.

Finally it is worth mentioning that the ensemble forecasts from the Ensemble Prediction System (EPS) of the European Centre are increasingly used to better assess the degree of confidence in the deterministic tropical cyclone forecasts of the model.



Le satellite géostationnaire METEOSAT 5 à 36 000 km au-dessus de l'océan Indien le 6 mars 2004.
The geostationary satellite METEOSAT 5 at 36,000 km above the Indian Ocean on the 06 march 2004.



GAFILO vu par le satellite MSG-1
le 6 mars 2004 à 1000 utc
(composition colorée de canaux visible et infrarouge)

Lancé le 28 août 2002, le premier satellite géostationnaire Météosat de Seconde Génération a été déclaré opérationnel le 29 janvier 2004, prenant alors le nom de Météosat 8. Avec ses 12 canaux spectraux et une fréquence accrue d'imagerie (images toutes les 15 min au lieu de 30 min pour l'ancienne génération), ce satellite procurera un volume de données 20 fois supérieur aux satellites d'ancienne génération. Il constituera ainsi un outil de poids supplémentaire pour suivre les cyclones tropicaux sur la partie ouest du bassin du Sud-Ouest de l'océan Indien, là où sont concentrées toutes les terres habitées. Malgré un positionnement en bordure du scope d'acquisition du satellite, on visualise bien sur cette image le cyclone GAFILO alors au maximum de sa puissance (Image à comparer avec celle acquise à la même heure par le satellite d'ancienne génération Météosat 5 – en page de couverture).

GAFILO as seen by the MSG-1 satellite
6th March 2004 at 1000 utc
(coloured composite of visible and infrared channels)

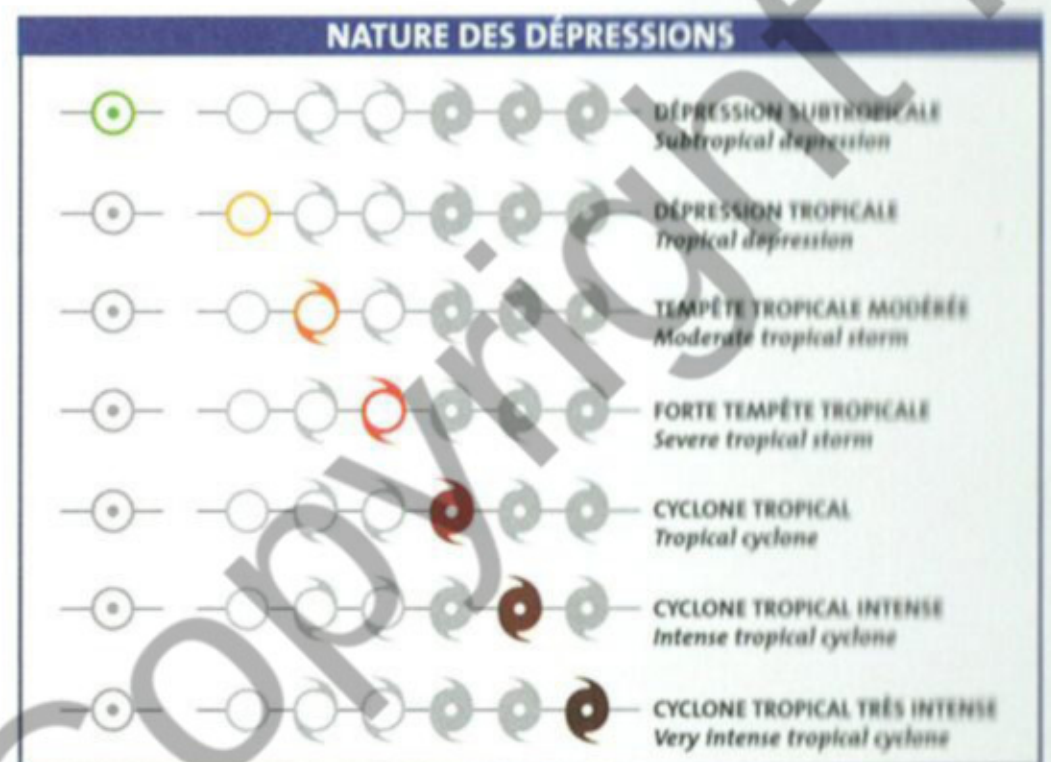
Launched on 28 August 2002, the first Meteosat Second Generation (MSG) geostationary satellite became operational on 29 January 2004, when it was re-designated Meteosat-8. The image data generated by its 12 spectral channels provide 20 times the information of previous generation satellites including an increased frequency of data acquisition (images every 15 min instead of 30 min). It will thus become an important additional tool to monitor tropical cyclones in the western part of the Southwest Indian Ocean, where all inhabited lands are concentrated. Despite its location on the boundary of the acquisition scope mighty cyclone GAFILO – at peak intensity at the time – was clearly depicted on the above image (image to compare with the corresponding one acquired by the one of "old" generation Meteosat 5 – see outside back cover).

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 REUNION 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.
SSM/I : *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*.
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).





Malgré sa taille hors norme pour le bassin, le cyclone tropical GAFILO demeure bien petit à l'échelle de la portion de globe terrestre vue par le satellite géostationnaire Météosat 5...
Despite its large size out of norms for the basin, tropical cyclone GAFILO remained small compared to the portion of the earth seen by the geostationary satellite Meteosat 5...

Prix : 22,80 €
ISBN : 2-9511665-8-3

 **METEO FRANCE**