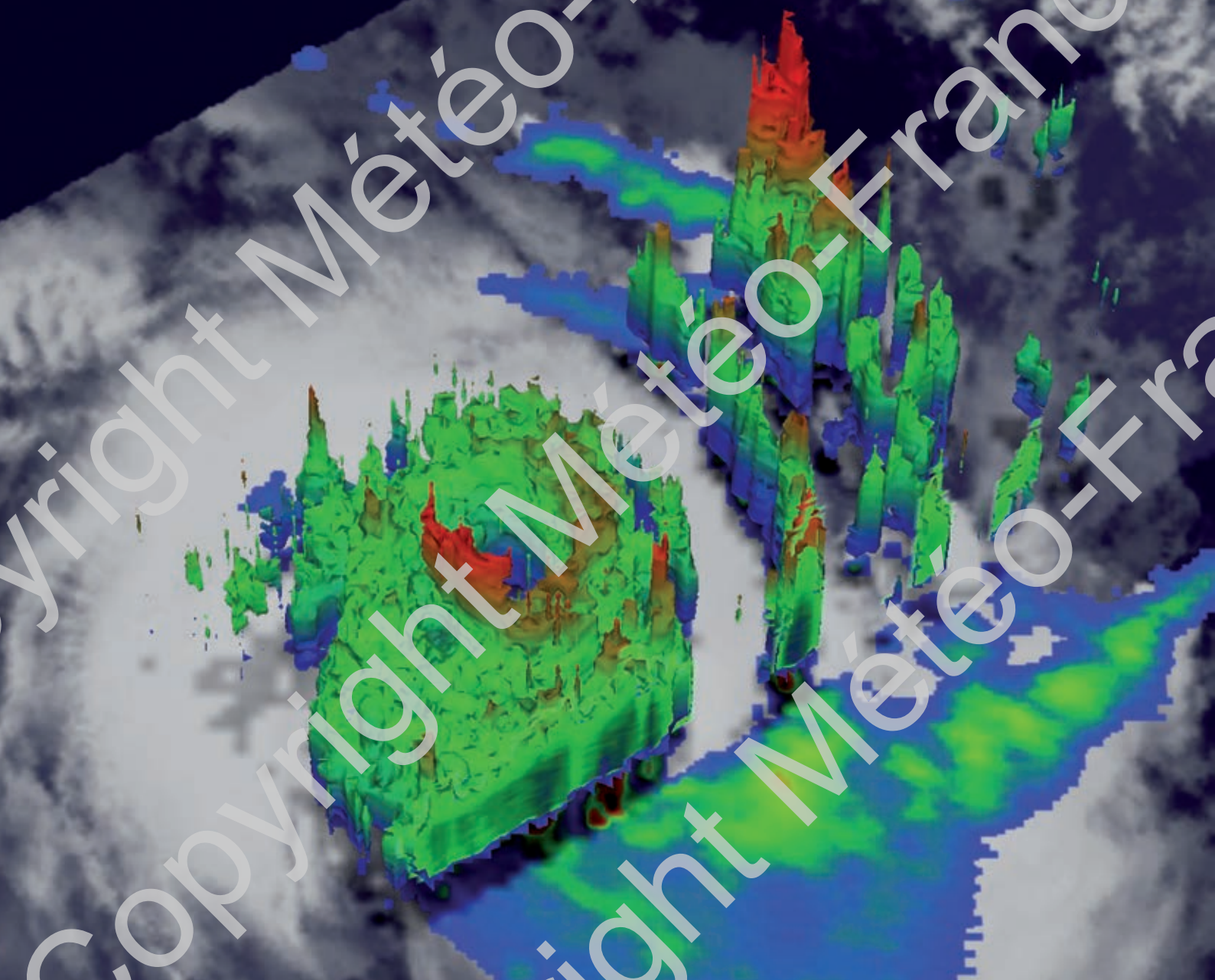


Centre des
Cyclones Tropicaux
de La Réunion

La Reunion
Tropical Cyclone
Centre

SAISON CYCLONIQUE

Sud-Ouest de l'océan Indien



CYCLONE SEASON
South-West Indian Ocean

2009
2010



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

Saison cyclonique 2009-2010

Sud-Ouest de l'océan Indien

Cyclone season *South-West Indian Ocean*

Sommaire *Contents*

Introduction	Page	2
<i>Introduction</i>		
Liste et intensité maximale des perturbations	Page	6
<i>List of tropical disturbances with their maximum intensities</i>		
Cartographie des trajectoires	Page	7
<i>Map of trajectories</i>		
Caractéristiques de la saison cyclonique et données statistiques	Page	8
<i>Main features of the cyclone season and statistical data</i>		
Note explicative sur l'analyse individuelle des perturbations	Page	11
<i>Explanatory note on the individual analysis of disturbances</i>		
Analyse chronologique des perturbations de la saison	Page	12
<i>Analysis of the disturbances of the season in chronological order</i>		
Terminologie	Page	78
<i>Terminology</i>		
Classification des systèmes dépressionnaires dans le Sud-Ouest de l'océan Indien	Page	79
<i>Classification of tropical disturbances used in the South-West Indian Ocean</i>		

Directeur de la publication :
Yves GREGORIS

Rédaction et réalisation :
Philippe CAROFF

PAO : Jean-François BOYER

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

Catherine BIENTZ
Thierry DUPONT
Sébastien LANGLADE
Hubert QUETELARD
Géraldine RAYOT

SAISON CYCLONIQUE

Sud-Ouest de l'océan Indien

CYCLONE SEASON

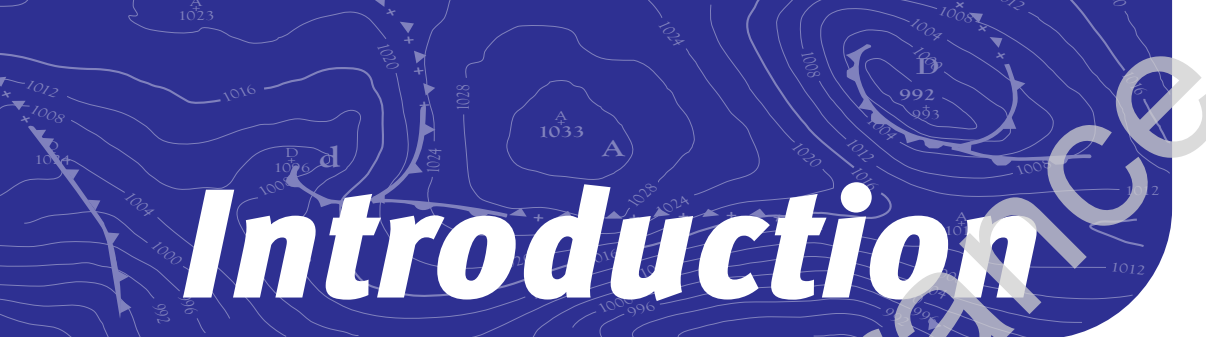
South-West Indian Ocean

2009 - 2010



METEO FRANCE

Toujours un temps d'avance



Introduction

La saison cyclonique 2009-2010 dans le Sud-Ouest de l'océan Indien

The 2009/2010 Cyclone season In the South-West Indian Ocean

La saison cyclonique 2009-2010 a de nouveau été marquée par une activité nettement inférieure à la normale, malgré un nombre de phénomènes qui s'est maintenu à un niveau légèrement supérieur à la moyenne climatologique. On peut d'ailleurs légitimement considérer que cette saison cyclonique 2009-2010 est restée dans la continuité de l'exercice précédent, nombre de caractéristiques de la saison 2008-2009 s'étant rééditées (ou perpétuées, comme l'on voudra). Outre le nombre équivalent de dix systèmes baptisés, le nombre de jours d'activité perturbée (nombre de jours cumulés avec présence, sur le Sud-Ouest de l'océan Indien, d'un système dépressionnaire d'intensité au moins égale à la tempête tropicale modérée), est resté identique, soit 36 jours (à comparer avec une moyenne climatologique de 51 jours et une médiane fixée à 48 jours). Cette stabilité, que l'on peut en l'occurrence qualifier de stagnation, de l'activité perturbée à un niveau réellement faible, n'a donc pas eu pour origine un déficit de cyclogénèses, mais s'explique, comme lors de la saison précédente, par la durée de vie réduite que les phénomènes ont, en moyenne, passée à une intensité significative. Inchangée par rapport à 2008-2009, cette durée de vie moyenne (4,3 jours passés au stade de dépression tropicale ou plus – i.e. tempête ou cyclone) est demeurée proche des plus bas niveaux historiques, étant de nouveau tirée vers le bas par des météores à l'existence rendue particulièrement éphémère du fait d'un atterrissage prématuré sur Madagascar, alors qu'ils venaient tout juste de commencer de s'intensifier (tempêtes tropicales FAMI et HUBERT). La seule différence notable par rapport à 2008-2009, est venue du nombre de jours cycloniques, qui a doublé par rapport à la saison précédente, remontant à 14 jours, ce qui reste malgré tout en deçà de la normale (qui est de 19 jours avec présence d'un cyclone tropical sur le bassin). Avec la moitié des tempêtes

tropicales s'étant transformées en cyclones tropicaux matures (5 cyclones, dont trois intenses et un autre classé très intense), on a, en effet, retrouvé un ratio normal de développement et, plus généralement, une répartition plus équilibrée des phénomènes entre les différentes catégories d'intensité. Mais hormis ce distinguo d'avoir vu se développer davantage de systèmes matures, cette saison 2009-2010 a présenté un comportement malgré tout très similaire à celui de sa devancière, le fait marquant étant donc la persistance de la faible activité perturbée sur le bassin.

Celle-ci est à replacer dans un contexte plus général : c'est toute l'activité cyclonique à l'échelle du globe qui est entrée dans une phase d'apathie étonnante depuis deux ans. Totale à contre-courant du message que continuent, imperturbablement, de véhiculer les médias depuis l'ouragan Katrina de 2005 et des contre-vérités régulièrement assénées – sans aucune vérification – quant à un pseudo "accroissement" du nombre de cyclones, c'est, bien au contraire, à un effondrement de l'activité perturbée auquel on a littéralement assisté depuis 4 ans, chute ramenant l'activité cyclonique mondiale à un niveau que l'on n'avait pas connu depuis une trentaine d'années et le creux majeur d'inactivité précédent de la fin des années 1970.

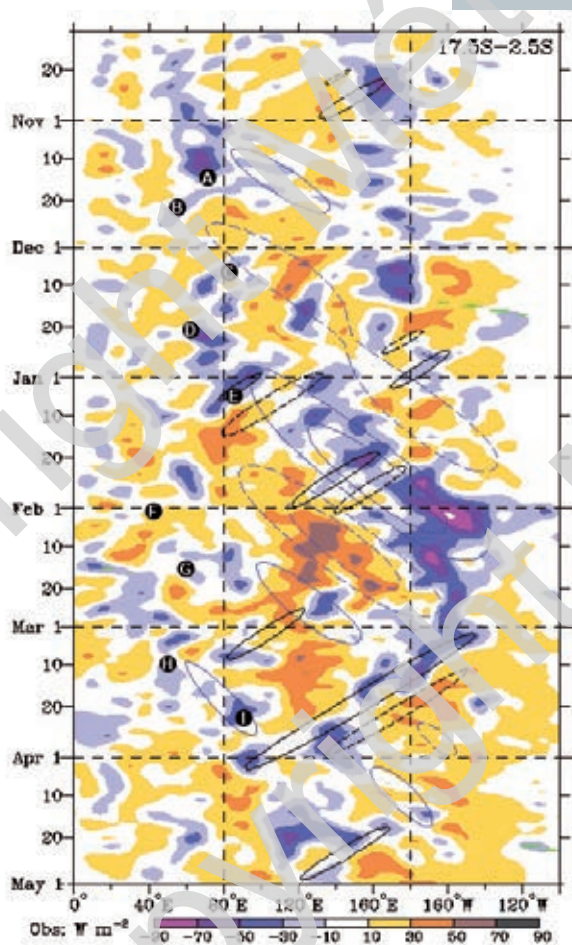
Simple cycle naturel ou signe d'un changement plus profond et durable, les raisons de cette faiblesse actuelle de l'activité cyclonique mondiale font présentement défaut. En tout cas, difficile a priori d'aller incriminer un des facteurs potentiels de modulation du climat auxquels on pense habituellement en premier, à savoir l'oscillation australe. L'été austral 2009-2010 a été placé sous le signe d'un épisode El Niño modéré dans le Pacifique Sud, alors que la saison chaude précédente avait été associée à un pseudo-épisode La Niña ("pseudo", car tous les critères d'un épisode La Niña habituel n'étaient pas réunis, malgré

un indice ENSO nettement positif). Ce basculement vers une phase chaude El Niño, n'a donc en rien modifié la donne pour ce qui est de l'activité cyclonique, qui est restée atone, tant à l'échelle planétaire, qu'au niveau du bassin du Sud-Ouest de l'océan Indien. Et le nouveau revirement intervenu à la fin de l'été austral 2009-2010, avec développement rapide d'une phase La Niña, n'a pas eu davantage d'effet, si ce n'est que d'amplifier encore la chute de l'activité cyclonique du bassin normalement le plus productif au monde et le plus touché par la léthargie actuelle, à savoir le Pacifique Nord-Ouest, qui a ainsi battu un record d'inactivité sur les 50 dernières années (les données fiables sur ce bassin datant de 1960).

Cette saison 2009-2010 du Sud-Ouest de l'océan Indien a donc vu cinq cyclones tropicaux se développer, dont trois cyclones tropicaux intenses et un cyclone tropical très intense. Ceci est particulièrement méritoire et remarquable, si l'on considère la durée de vie moyenne très réduite de l'ensemble des perturbations de la saison. Pour pouvoir atteindre de telles intensités dans un laps de temps aussi contraint et limité, cela n'a pu être rendu possible que par l'occurrence de cycles de vie accélérés, i.e. associés à des taux d'intensification (ou/et d'affaiblissement) très rapides. Et de fait, un des traits marquants de cette saison aura été la récurrence du développement explosif ou à des taux d'intensification anormalement rapides de plusieurs phénomènes : cela aura, en particulier, été le cas du cyclone CLEO, et à un degré légèrement moindre des cyclones EDZANI et ANJA.

La saison aurait pu s'achever de manière extrêmement précoce, dès la fin mars, sans l'occurrence d'un système extrêmement tardif, presque hors saison, la dépression subtropicale JOEL, développée sur le Sud du Canal de Mozambique, à proximité des côtes sud-ouest de Madagascar.

Hormis JOEL, qui a contourné le littoral sud-ouest malgache, mais sans conséquence, si ce n'est l'apport bénéfique de quelques pluies, deux météores ont touché directement la Grande Ile. Il s'agit des tempêtes tropicales FAMI et HUBERT. Si FAMI a eu un impact limité sur la côte sud-ouest malgache, il n'en a pas été de même de la tempête HUBERT, qui malgré son extension plutôt réduite, a déversé des précipitations importantes dans le Sud-Est de la Grande Ile (région de Manakara), à l'origine de graves et meurtrières inondations (plus de 100 morts ou disparus).



Evolution temporelle des anomalies d'OLR lors de la saison cyclonique 2009-2010 (octobre 2009 à avril 2010) et analyse spectrale correspondante des différentes ondes tropicales associées : onde de Kelvin (en vert), onde équatoriale de Rossby (en noir), MJO (oscillation de Madden-Julian, en bleu) ; les contours en trait plein (resp. en tiretés) correspondent aux phases actives (resp. inactives). Ont été superposées les localisations des cyclogenèses des tempêtes tropicales et cyclones de la saison cyclonique (repérées par la date et la longitude du moment où ces systèmes ont atteint le stade de dépression tropicale).

Time evolution of the OLR anomalies for the cyclone season 2009-2010 (October 2009 to April 2010) and corresponding spectral analysis of the associated tropical waves : Kelvin waves (in green), Equatorial Rossby wave (in black) and MJO (Madden-Julian oscillation, in blue); the solid (resp. dashed) contours correspond to their active (resp. inactive) phases. The locations of geneses occurrences of the cyclone season' storms (as defined by the time and longitude of their initial classification at tropical depression stage) have been superimposed.

The cyclone season 2009-2010 was another season that distinguished itself by a disturbed activity set well below normal despite a number of storms that maintained at a level slightly above the climatological mean.

One can in fact legitimately consider that the 2009-2010 cyclone season was a continuation of the 2008-2009 season, since many of the main features of the previous season have been repeated (or were perpetuated, as one prefers). In addition to the equivalent number of named systems, the number of days of disturbed activity (cumulated number of days with the presence, in the South-

West Indian Ocean, of a low pressure system with an intensity at least equal to a moderate tropical storm), has remained the same, i.e. 36 days (to be compared to a climatological average of 51 days and a median set at 48 days).

Such stability – which in this case could be called a stagnation – of the disturbed activity at a really low level, hence did not result from a deficiency of cyclogenesis, but can be explained, as during the previous season, by the reduced average time spent by the storms at significant intensity level. That average lifetime, unchanged from 2008-2009 (4.3 days at the stage of a tropical depression or higher – i.e. tropical storm or cyclone) has remained close to the lowest historical levels, again dragged downward by some meteors whose existence was made particularly short-lived because of a premature downfall on Madagascar while they had just started to intensify (tropical storms FAMI and HUBERT).

The only significant difference compared to 2008-2009 came from the number of cyclone days, which was doubled compared to the previous season, rising up to 14 days, although still remaining below the normal figure (set at 19 days with the presence of a tropical cyclone in the basin). With half of the tropical storms having converted into

mature tropical cyclones (5 cyclones, of which three intense and one ranked as very intense), we have indeed gone back to a normal development ratio and, more generally, to a more balanced distribution of the phenomena between the various categories of the intensity classification. However, except for this difference – the specific development of a higher number of mature systems –, the 2009-2010 season demonstrated a behaviour all the same very similar to that of the previous season, the salient common feature being therefore the continued low disturbed activity in the basin.

This low disturbed activity is to be put in a more general context : it is the whole cyclone activity world wide that has entered an astonishing phase of apathy for the last two years. Fully contrary to the message the media have continued to broadcast imperturbably, since 2005 and the hurricane Katrina, and to the counter truths being regularly pushed around – without any cross checking – about a so-called "increase" in the number of tropical cyclones, it is in fact quite the opposite: for the last four years, there has been a slump in disturbed activity, bringing down the global cyclone activity to a level unseen for about thirty years and since the previous major trough of inactivity of the late 1970s.

A simple natural cycle or the sign of a downright and more persistent change : the reasons for this present weakness of cyclone activity world wide are lacking. In any case, it is difficult, to start with, to go and blame one of the potential factors for climate modulation that we generally think of first, namely the southern oscillation. The 2009-2010 southern hemisphere summer passed along with a moderate El Niño situation taking place in the South Pacific, whereas the previous warm season had been associated with a pseudo La Niña situation ("pseudo", because all of the criteria for a usual La Niña phenomenon were not met, in spite of a markedly positive ENSO index). This shift towards a warm El Niño phase has therefore changed nothing regarding cyclone activity, which has remained flat both world wide and in the South-West Indian Ocean basin. And the new turnabout noted at the end of the 2009-2010 southern summer (with the rapid development of a rather strong La Niña) did not have any more impact, other than to amplify still the decline of cyclone activity in a basin which is normally the most productive in the world and the most affected by the present lethargy, namely the Northwest Pacific, which therefrom

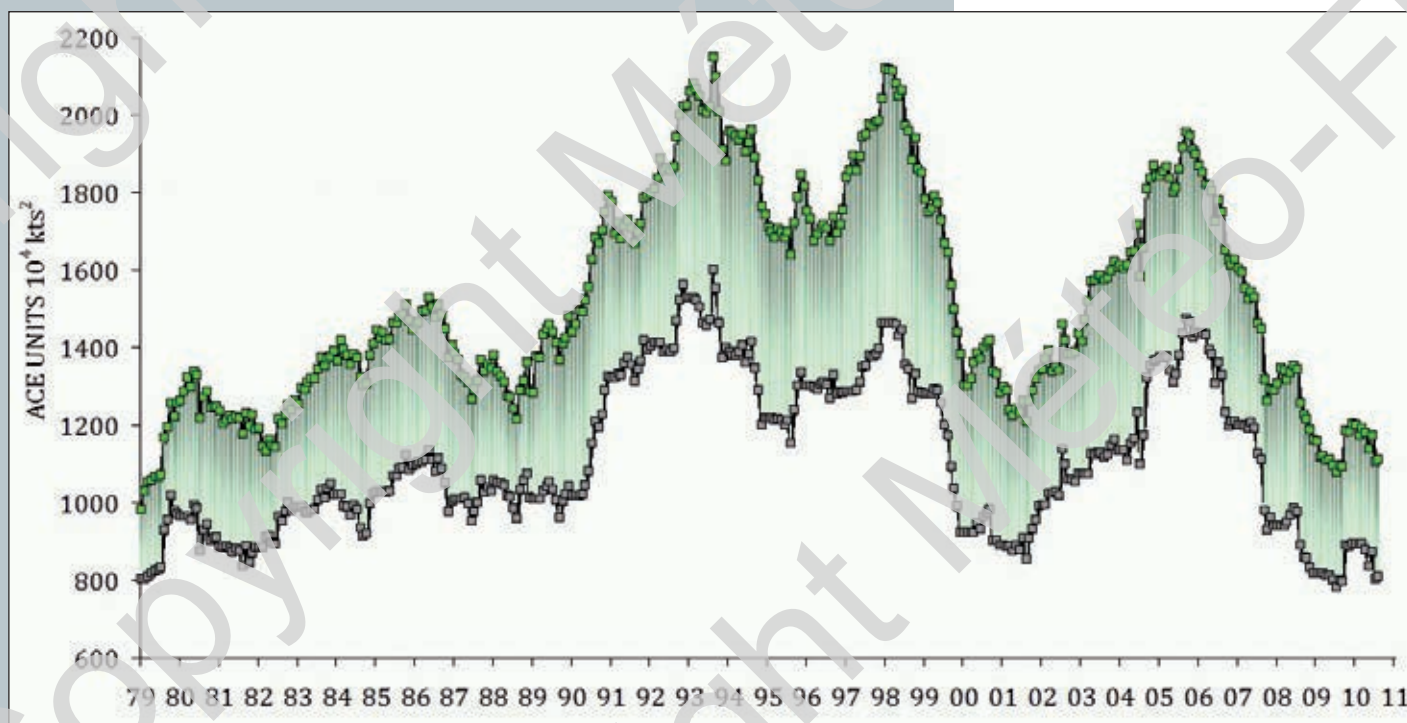
broke a record low activity for the past 50 years (since the reliable record beginning in 1960).

So, during the 2009-2010 season there were five tropical cyclones that developed in the South-West Indian Ocean, of which three became intense tropical cyclones and one a very intense tropical cyclone. This is particularly praiseworthy and remarkable if one considers the much reduced average life time of all of the disturbances during the season. Reaching such intensities in such a constrained and limited time frame was only made possible by the occurrence of accelerated life cycles, i.e. associated with very fast rates of intensification (and/or weakening). In fact one of the highlights of that season will have been the recurrence of the explosive development of several phenomena or their development at abnormally rapid rates of intensification: it has been the case, in particular, of cyclone CLEO, and, at a slightly lesser degree, of cyclones EDZANI and ANJA.

The season could have ended very early, end of March, without the occurrence of a very late, almost off-season subtropical system, JOEL, which developed in the southern Mozambique Channel, close to the southwest coast of Madagascar.

With the exception of JOEL, which skirted around the southwestern seaboard of Madagascar, but with no consequences, beside the beneficial onslaught of some rain, two storms affected directly the Big Island : tropical storms FAMI and HUBERT. If FAMI has had a limited impact on the Southwest of Madagascar, things went differently with tropical storm HUBERT which, in spite of its rather limited extension, poured significant precipitations in the Southeast of the Big Island (Manakara region), and brought along severe and deadly floods (over 100 fatalities – people died or missing). The other countries in the area, be it the island territories of the Mascarenes or the Comoros, as well as southern Africa, were not exposed to any harmful influence for that season.

Les autres pays de la zone, que ce soient les territoires insulaires des Mascareignes ou des Comores, ou ceux de l'Afrique australe, n'ont eu à subir aucune influence dommageable d'un système dépressionnaire cette saison.

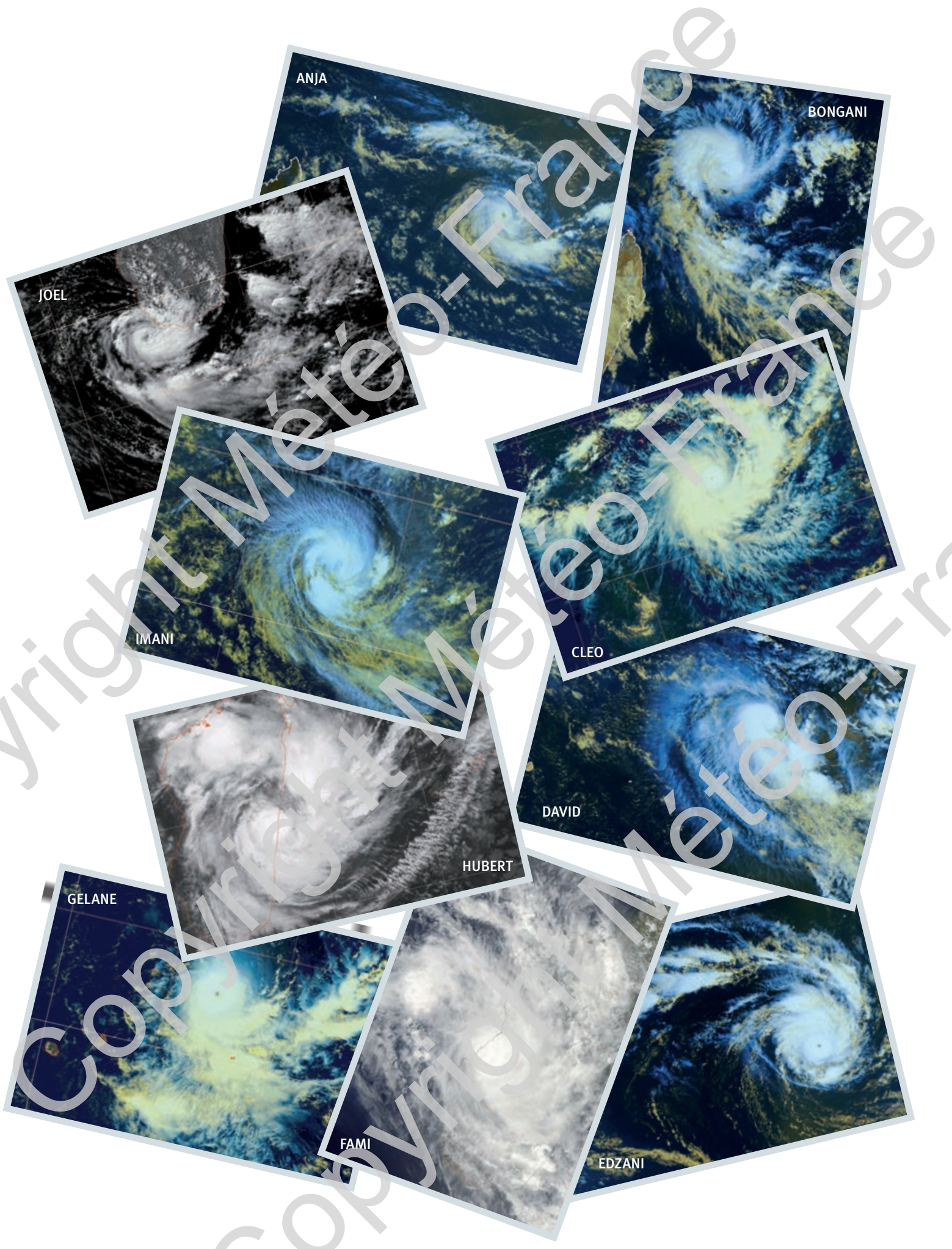


L'activité cyclonique mondiale à un niveau extrêmement bas, proche du record historique sur la période contemporaine. Le graphe ci-dessus représente l'évolution temporelle (de 1979 au 31 août 2010) de l'énergie cyclonique cumulée (définie comme la somme des carrés des vitesses maximales de vent hexa-horaires des systèmes dépressionnaires tropicaux) globale et pour l'hémisphère Nord (courbes du haut et du bas respectivement – sommes glissantes sur 24 mois –, la différence entre les deux courbes représentant l'hémisphère Sud).

On peut constater que l'activité cyclonique mondiale a chuté spectaculairement depuis 2006, atteignant en 2009 son plus bas niveau depuis trente ans et la fin des années 1970. Et en 2010, seulement 69 tempêtes tropicales se sont développées sur le globe, la fréquence d'occurrence la plus faible observée depuis que des données fiables sont disponibles (soit près de 40 ans).

Near-historical record low global tropical cyclone activity. The graph above depicts the time-evolution (from 1979 till August 31, 2010) of the global and northern hemisphere (upper and lower curve respectively – 24-month running sums –, the difference in between representing the southern hemisphere) tropical cyclone accumulated cyclone energy ACE (calculated by summing the squares of the estimated 6-hourly maximum wind speeds of tropical systems).

One can see that the global tropical cyclone activity has decreased dramatically since 2006, reaching its lowest level since the end of the 1970s. And in 2010, only 69 tropical storms were observed globally, the fewest number in almost 40 years of reliable records. (Data courtesy Dr. Ryan N. Maue).



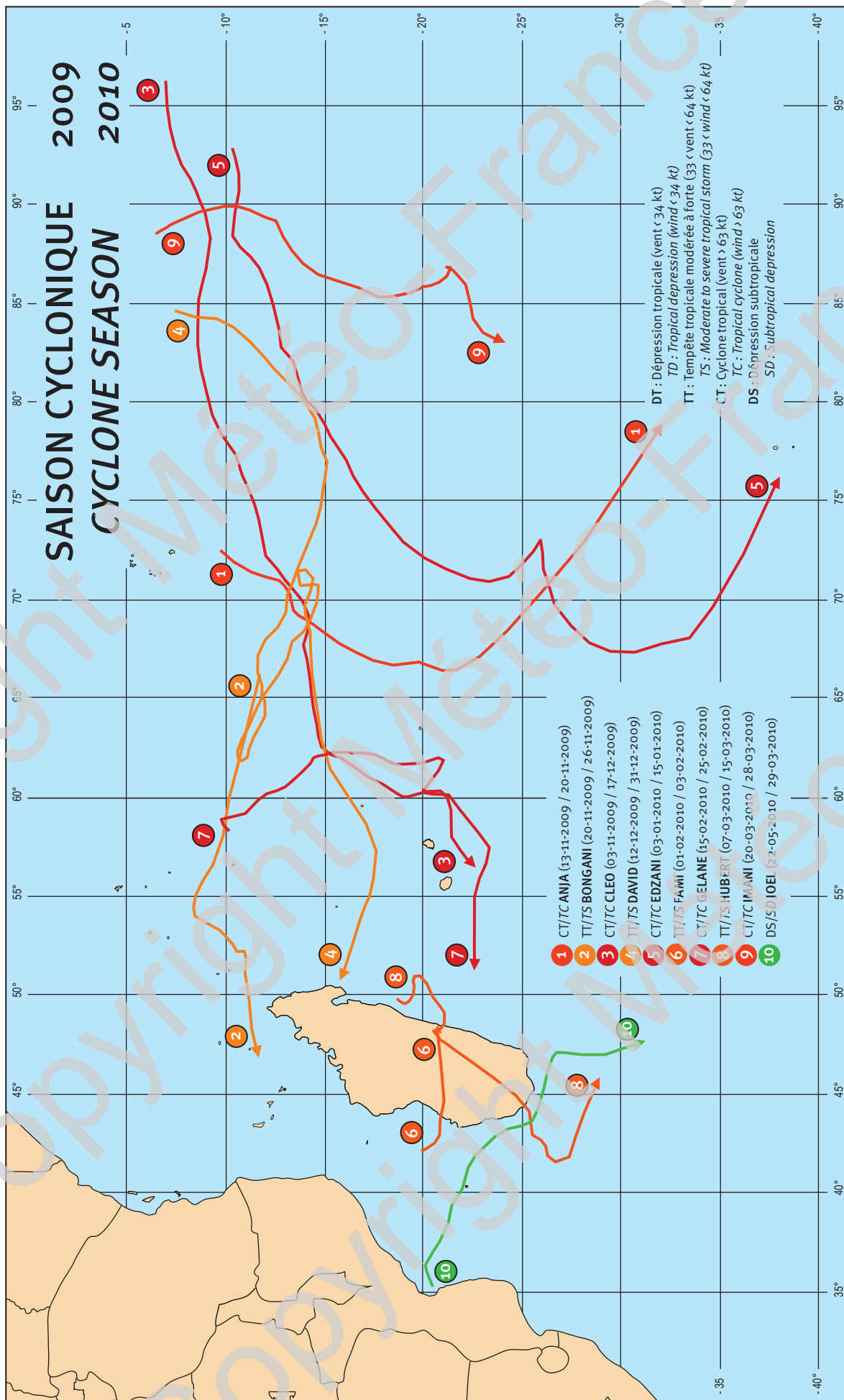
Perturbations

Analysées dans l'ordre chronologique

Analysed disturbances in chronological order

- | | | | |
|---|--|---|---|
|  | 01. ANJA :
Cyclone tropical intense
(13 au 20 novembre 2009) |  | 01. ANJA :
Intense tropical cyclone
(13-20 November 2009) |
|  | 02. BONGANI :
Tempête tropicale modérée
(20 au 26 novembre 2009) |  | 02. BONGANI :
Moderate tropical storm
(20-26 November 2009) |
|  | 03. CLEO :
Cyclone tropical intense
(3 au 17 décembre 2009) |  | 03. CLEO :
Intense tropical cyclone
(3-17 December 2009) |
|  | 04. DAVID :
Tempête tropicale modérée
(12 au 31 décembre 2009) |  | 04. DAVID :
Moderate tropical storm
(12-31 December 2009) |
|  | 05. EDZANI :
Cyclone tropical très intense
(3 au 15 janvier 2010) |  | 05. EDZANI :
Very intense tropical cyclone
(3-15 January 2010) |
|  | 06. FAMI :
Forte tempête tropicale
(1 au 3 février 2010) |  | 06. FAMI :
Severe tropical storm
(1-3 February 2010) |
|  | 07. GELANE :
Cyclone tropical intense
(15 au 25 février 2010) |  | 07. GELANE :
Intense tropical cyclone
(15-25 February 2010) |
|  | 08. HUBERT :
Forte tempête tropicale
(7 au 15 mars 2010) |  | 08. HUBERT :
Severe tropical storm
(7-15 March 2010) |
|  | 09. IMANI :
Cyclone tropical
(20 au 28 mars 2010) |  | 09. IMANI :
Tropical cyclone
(20-28 March 2010) |
|  | 10. JOEL :
Dépression subtropicale
(22 au 29 mai 2010) |  | 10. JOEL :
Subtropical depression
(22-29 May 2010) |

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>Minimun sea-level pressure (hPa)</i>
1	ANJA	CT/TC	90 (15/11/2009)	950
2	BONGANI	TT/TS	40 (23/11/2009)	996
3	CLEO	CT/TC	105 (08/12/2009)	930
4	DAVID	TT/TS	45 (23/12/2009)	987
5	EDZANI	CT/TC	120 (08/01/2010)	910
6	FAMI	TT/TS	50 (02/02/2010)	987
7	GELANE	CT/TC	110 (19/02/2010)	930
8	HUBERT	TT/TS	55 (10/03/2010)	985
9	IMANI	CT/TC	70 (25/03/2010)	965
10	JOEL	DS/SD	60 (26/05/2010)	990



Caractéristiques

de la saison 2009-2010 dans le Sud-Ouest de l'océan Indien

Statistical data relative to the 2009-2010 season in the South-West Indian Ocean

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

TYPE	NOM NAME	JUL	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	DURÉE LIFETIME (CI ≥ 2.5)
CT/TC	ANJA					■								5
TT/TS	BONGANI					■								2
CT/TC	CLEO					■								5
TT/TS	DAVID					■								5
CT/TC	EDZANI						■							7
TT/TS	FAMI							■						1
CT/TC	GELANE							■						6
TT/TS	HUBERT								■					2
CT/TC	IMANI									■				5
DS/SD	JOEL											■		5
MOYENNE (AVERAGE LIFETIME) =														4.3

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)	4 (4)	3	1
NOMBRE DE JOURS D'ACTIVITÉ CYCLONIQUE (calendaires) Number of days with cyclone activity	59 (68)	43	34 (42)	12 (13)	4	1
NOMBRE DE JOURS D'ACTIVITÉ CYCLONIQUE (cumulés pour l'ensemble des perturbations) Cumulated number of days for all the disturbances	59 (75)	43	34 (48)	12 (13)	4	1

* Données relatives aux seules perturbations analysées

* Data valid for analysed disturbances only

NOTA : • CI = Intensité sur l'échelle de DVORAK (page 79) (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)

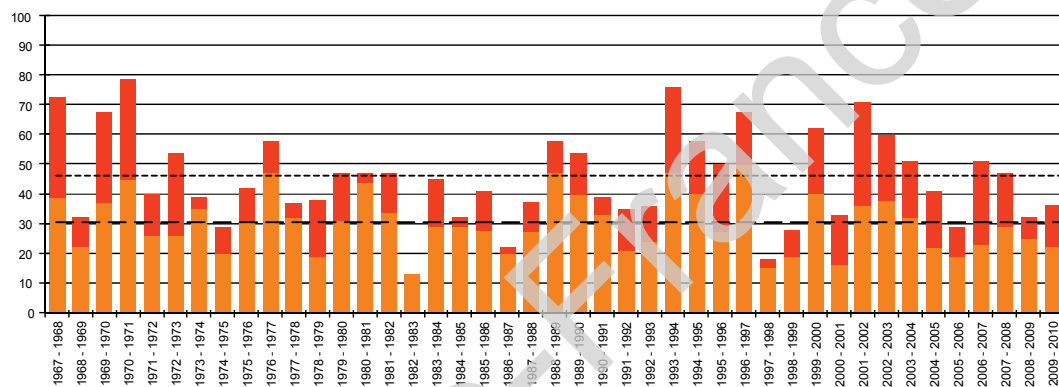
• CI = 7.0 et plus : cyclone tropical très intense (very intense tropical cyclone)

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 79).

Starting from the season 1999-2000, the classification of tropical systems regarding Dvorak intensities has been modified (see explanations page 79).

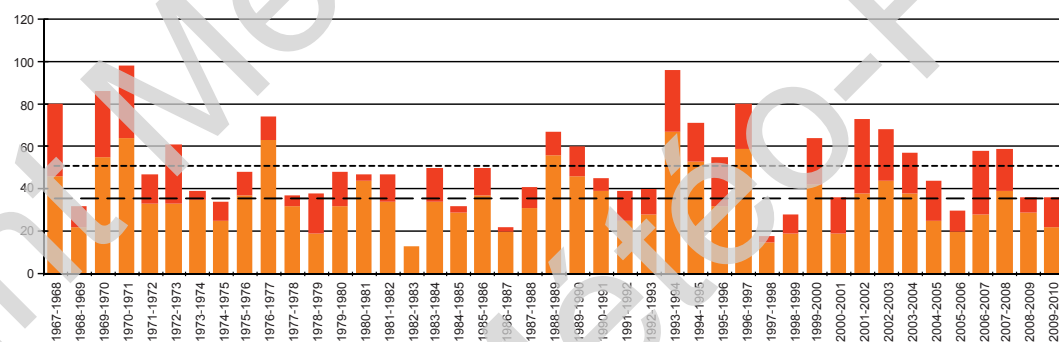


Variation interannuelle du nombre de jours avec activité cyclonique sur le bassin Sud-Ouest de l'océan Indien et moyenne.
Annual variation in the number of days with cyclonic activity in the South- West Indian Ocean basin and average.

■ 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 / Normal 1 - - - Normale / Normal 2



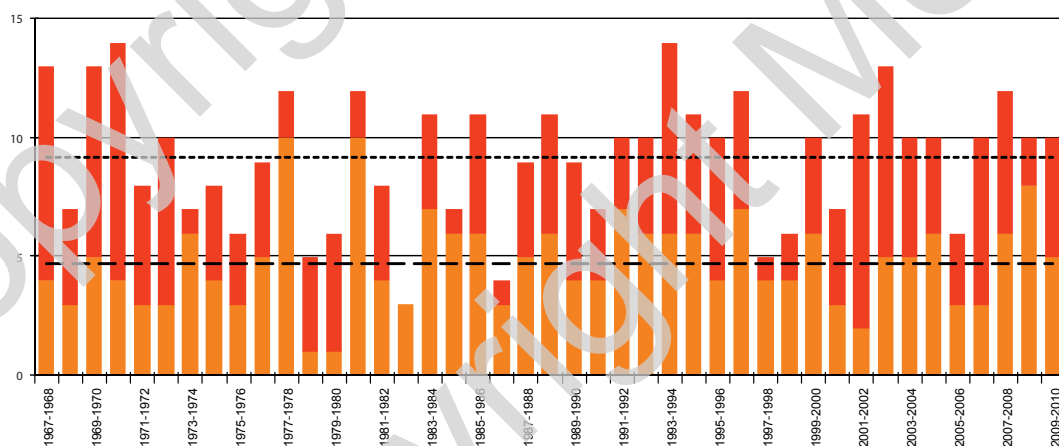
Variation interannuelle de l'activité cyclonique* sur le bassin Sud-Ouest de l'océan Indien et moyenne.
(* définie comme le cumul pour l'ensemble des perturbations d'une saison du nombre de jours avec présence d'une tempête tropicale ou d'un cyclone).

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 / Normal 1 - - - Normale / Normal 2



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

■ Tempêtes tropicales modérées ou fortes
 Moderate to severe tropical storms

■ Cyclones tropicaux
 Tropical cyclones

— — Normale / Normal 1 - - - Normale / Normal 2

3. INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES (OTHER INDICATIONS)

Genèse (*Genesis*)

- Nord-Est bassin (*Northeastern area*) (est de 70°E) = 4
- Centre bassin (*Central area*) (de 60°E à 70°E) = 2
- Nord-Ouest bassin (*Northwestern area*) (de 50°E à 60°E) = 2
- Canal de MOZAMBIQUE (*MOZAMBIQUE Channel*) = 2

Cyclolyse (*Cydolysis*)

- Domaine polaire (*extratropical domain*) = 4
- Domaine tropical (*tropical domain*) = 6
 - dont [Sur terre (*overland*) = 1
 - (among which) Sur mer (*oversea*) = 5

4. QUALITÉ DES PRÉVISIONS (VERIFICATION OF FORECASTS)

ÉCHÉANCE (HEURES) (FORECAST HOUR)	ÉCART MOYEN (KM) 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	73 (197)	69 (99)	52 (32)
24	107 (193)	104 (97)	96 (32)
48	178 (175)	181 (95)	215 (32)
72	257 (146)	265 (88)	318 (31)

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

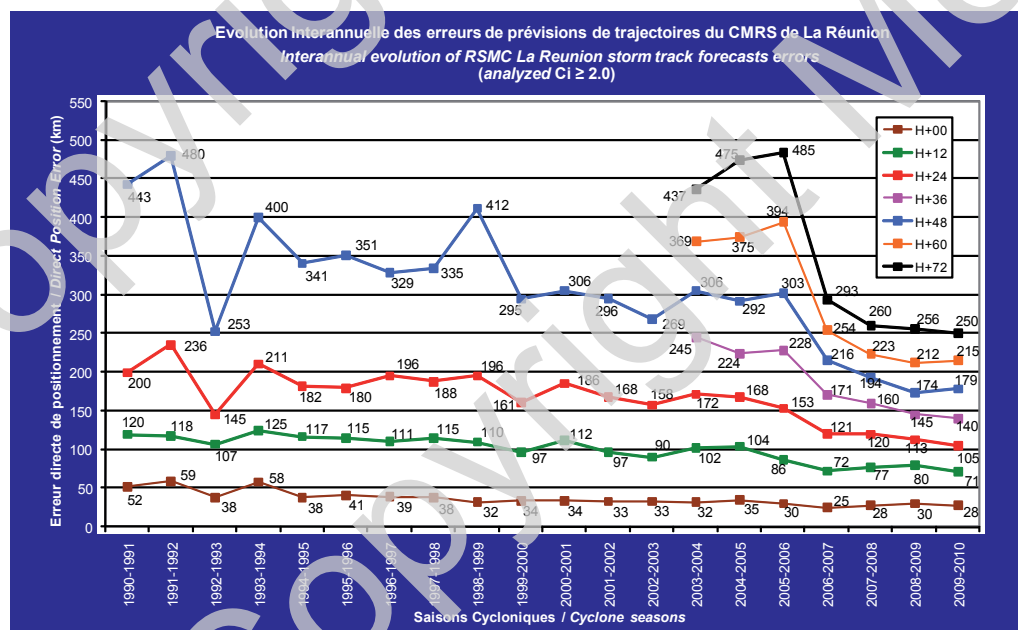
Le graphe ci-dessous montre l'évolution temporelle de la qualité des prévisions de trajectoires du CMRS de La Réunion depuis qu'il a commencé d'en diffuser. Les erreurs de prévisions présentées le sont par échéance de prévision et pour des intensités significatives à l'analyse (au moins 2.0 sur l'échelle de Dvorak). Les chiffres figurant au-dessus des courbes indiquent les valeurs moyennes annuelles correspondantes.

Depuis le bond spectaculaire dans la qualité des prévisions de trajectoires du CMRS de La Réunion observé lors de la saison 2006-2007, les performances ont continué de progresser, mais plus lentement. Les erreurs de prévision se rapprochent désormais de la barre des 100 km à 24h d'échéance et ont atteint cette saison le seuil des 250 km à 72h d'échéance.

The graphic below presents the time-evolution of the RSMC La Reunion track forecast errors since the onset of such forecasts' dissemination. The direct position errors are displayed by lead times and for systems at significant intensity (analysed intensity of at least 2.0 on the Dvorak scale).

The figures indicated above the different curves refer to the corresponding annual average errors.

Since the spectacular improvement in the quality of the official track forecasts issued by RSMC la Reunion observed during the 2006-2007 cyclone season, the performances have kept on improving, but more slowly. The track forecasts errors are now verging on the 100 km mark at 24h range while the 72h forecasts have reached the 250 km threshold this season.



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 herewith 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 2009-2010)

NUMBER OF BULLETINS ISSUED BY RSMC/LA REUNION (CYCLONE SEASON 2009/2010)

N°	PERTURBATIONS TROPICALES TROPICAL DISTURBANCES	Bulletins Marine Spéciaux - Special Marine Bulletins					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			
1	01-20092010	2					2		
2	02-20092010	2					2		
3	03-20092010	6					6		
4	ANJA	2	2	2	2	10	18	14	1
5	BONGANI	9		3			12	4	1
6	CLEO	14	2	4	6	5	31	15	1
7	DAVID	13	2	8	6		29	16	1
8	EDZANI	5	3	10	5	14	37	30	1
9	09-20092010	2					2		
10	10-20092010	12	3	1			16	1	
11	FAMI	4	1	1			6	2	1
12	GELANE	10		3	8	6	27	22	1
13	HUBERT	3	3	2	1		9	4	1
14	IMANI	2	5	4	4	2	17	11	1
15	15-20092010		1				1		
16	JOEL	1	1	4	6		12	10	1
	TOTAUX (TOTALS)	87	23	42	38	37	227	129	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 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 6h 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 to better visualize the tracks 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-hrly CI number (DVORAK) and intensity evolution.



Anja

Cyclone Tropical Intense

du 13 au 20 novembre 2009

Intense Tropical Cyclone "Anja" (13-20 November 2009)



FORMATION

On peut considérer que la saison cyclonique 2009-2010 a débuté conformément au calendrier climatologique, c'est-à-dire en novembre, la première tempête tropicale étant nommée ANJA au 14 novembre, date qui correspond précisément à la médiane en terme d'occurrence du premier système dépressionnaire significatif de la saison (qui se forme donc une année sur deux avant ou après la mi-novembre). Deux zones perturbées avaient préalablement fait l'objet d'un suivi sur l'extrême est du bassin, une en août et une en septembre, mais il s'agissait là d'épiphénomènes anecdotiques et éphémères (bulletins émis l'espace d'une journée seulement). De sorte que l'on doit faire remonter le vrai démarrage de la saison cyclonique à début novembre, moment où une phase modérément active de la MJO (oscillation de Madden-Julian) a commencé de prendre place sur l'océan Indien, se traduisant par un renforcement de l'activité convective (voir page 3). Le bassin est alors en configuration de double talwegs proche-équatoriaux, comme il est habituel en cette saison, une situation atmosphérique propice à l'occurrence de cyclogenèses "jumelles" de part et d'autre de l'Equateur.

Un premier minimum dépressionnaire s'identifie au sein du talweg proche-équatorial de l'hémisphère austral, évoluant en début de mois dans le secteur compris entre les Seychelles et Agalega, mais sans jamais pouvoir se creuser significativement. Il est suivi, quelques jours plus tard, d'un nouveau minimum, qui apparaît le 6 novembre dans la partie la plus active du talweg, au nord-est de l'archipel des Chagos, très près de l'Equateur (vers 02°Sud). Un minimum dépressionnaire se forme

dans le même temps dans l'hémisphère Nord, entre le Sri Lanka et le Cap Comorin (pointe sud de l'Inde). Il donnera naissance quelques jours plus tard (le 10 novembre) à la tempête tropicale PHYAN, au large de la côte ouest de l'Inde (système qui pénétrera sur terre dès le lendemain au voisinage de Mumbai). Mais de cyclogenèse jumelle il n'y aura point, car, dans l'hémisphère Sud, le système au nord des Chagos (perturbation n°03) ne parviendra pas à se développer : contrecarré de manière rédhibitoire par le Jet d'Est Tropical, qui génère un trop fort cisaillement vertical de vent, il se dissipe au nord-est de Diego Garcia le 10.

Mais ce premier essai avorté ne sera pas totalement vain, car d'une certaine manière il aura préparé le terrain pour la suite. Voire même plus, car il n'est pas illégitime de se demander si le futur ANJA, qui naîtra quelques jours plus tard, n'est pas un rejeton ou un avatar de ce système n°03. C'est en tout cas ce que pourraient laisser à penser les champs de vents successifs dérivés des données diffusiométriques QuikScat acquises au cours des jours suivants, qui indiquent un lien, voire une continuité, entre le système 03 et le futur ANJA, tendant à accréditer l'hypothèse que c'est bien de la zone de basses pressions résiduelle où s'est fondu le minimum associé à la perturbation n°03, que va émerger le minimum dépressionnaire initial d'ANJA. De là à envisager qu'il s'agit de la résurgence du même minimum, il n'y a qu'un pas...

En début de journée du 12, le champ de vents analysé par QuikScat isole une petite circulation dépressionnaire fermée au sein du talweg proche-équatorial, dans le nord-est proche de Diego Garcia. On retrouve ce minimum initial, alors estimé à 1006 hPa, à quelque 200 km au sud de

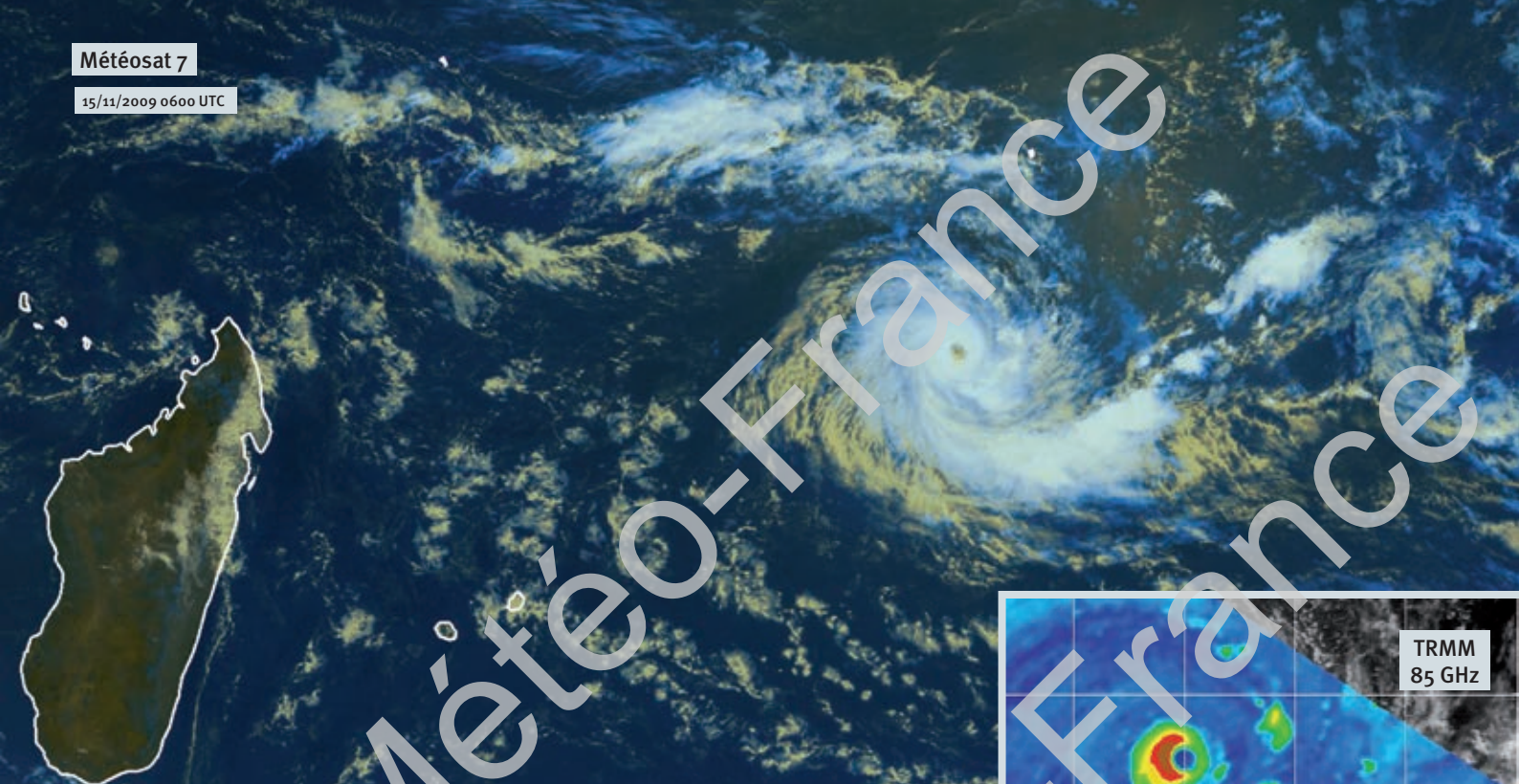
l'atoll, sur l'orbite ascendante suivante du 13 au matin. En décalage vers le sud-sud-ouest, il s'apprête à franchir le 10^{ème} parallèle Sud. La convergence de basses couches s'est améliorée, du côté nord en particulier, où un bon flux trans-équatorial s'est mis en place. La divergence d'altitude est excellente, notamment du côté équatorial, et le cisaillement vertical de vent est en cours d'affaiblissement rapide. A ce stade, la convection demeure toutefois totalement inorganisée et fluctuante, avec plusieurs amas nuageux, principalement présents dans les secteurs ouest à nord-ouest du centre (que l'on devine grossièrement désormais sur l'imagerie satellitaire). 24h plus tard, le tableau a radicalement changé : un système nuageux unique et relativement impressionnant, à la cambrure déjà bien affirmée, s'est constitué dans la nuit. L'analyse Dvorak de la configuration nuageuse (bande incurvée), corroborée par les données de vents issues d'Ascat (radar diffusiomètre embarqué à bord du satellite défilant européen Metop), valident la cyclogenèse, avec un creusement du météore au stade de dépression tropicale au matin de ce 14 novembre.

Si cette première cyclogenèse de la saison est tout sauf une surprise, car annoncée par la plupart des modèles numériques dès le 11 novembre, et en particulier par la prévision d'ensemble du modèle du Centre européen, qui crédite l'éventualité de cette cyclogenèse d'une forte probabilité d'occurrence, la rapidité avec laquelle les choses se sont déclenchées a malgré tout surpris.

EVOLUTION

Et l'on n'a encore rien vu. Car cette organisation spectaculaire intervenue dans la nuit du 13 au 14, n'est rien comparée à ce qui va suivre ; elle n'était que le premier étage de la fusée. Au cours des 24h suivantes, c'est, en effet, à un développement éclair du phénomène auquel on va assister. En se rapprochant de 13°Sud, la dépression se retrouve positionnée quasiment sous la dorsale d'altitude, avec un cisaillement vertical de vent qui devient faible. Et comme la divergence d'altitude demeure excellente, avec un très bon canal d'évacuation du flux sortant d'altitude du côté équatorial, qui vient se doubler d'un second canal du côté polaire associé au jet subtropical, les conditions environnementales sont très favorables.

Devenu tempête tropicale à la mi-journée du 14 novembre, le météore va gagner deux points et demi sur l'échelle d'intensité de Dvorak au cours



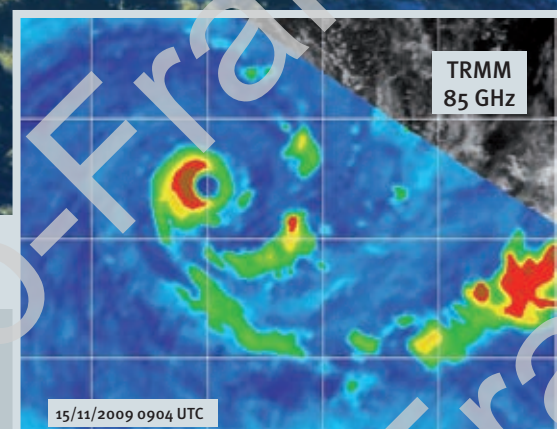
des 24h suivantes (et quatre points en 48h entre les après-midi du 13 et du 15), un taux d'intensification largement supérieur à la norme climatologique (mais restant tout juste dans la limite du taux maximal de développement autorisé par la technique de Dvorak). Il est à noter que cette phase d'intensification rapide va se produire alors qu'ANJA fait quasiment du surplace pendant l'essentiel de cette période, mais visiblement sans que cela n'ait le temps d'affecter son alimentation énergétique (via un refroidissement de l'océan sous-jacent).

Les signes précurseurs de la formation d'un œil qui s'étaient manifestés sur l'imagerie micro-onde dès la fin d'après-midi du 14, se concrétisent sur l'imagerie classique en fin de nuit suivante. ANJA devient cyclone tropical au petit matin du 15 novembre, puis est classé au stade minimal de cyclone tropical intense l'après-midi (vent moyen maximal sur 10 min de 90 nœuds). Le processus d'intensification est alors stoppé et une phase de plateau va s'ensuivre et durer 36 heures (jusqu'en début de journée du 17), au cours desquels l'intensité du phénomène est considérée demeurer quasi-inchangée (oscillant entre 85 et 90 nœuds). Se maintenir aussi longtemps à son maximum d'intensité n'est pas chose commune, surtout s'agissant d'un cyclone de petite taille, mais cela peut en partie s'expliquer par la structure quasiment annulaire vers laquelle va tendre progressivement le cœur du météore au cours de cette période (voir image Aqua du 16 à 0849 utc – page 16). La structure très stable des cyclones annulaires leur confère, en effet, une faculté et une propension supérieures à celles des autres cyclones à maintenir plus durablement leur intensité.

Le cyclone tropical ANJA peu avant son maximum d'intensité.
Tropical cyclone ANJA, just before reaching its maximum of intensity.

FORMATION

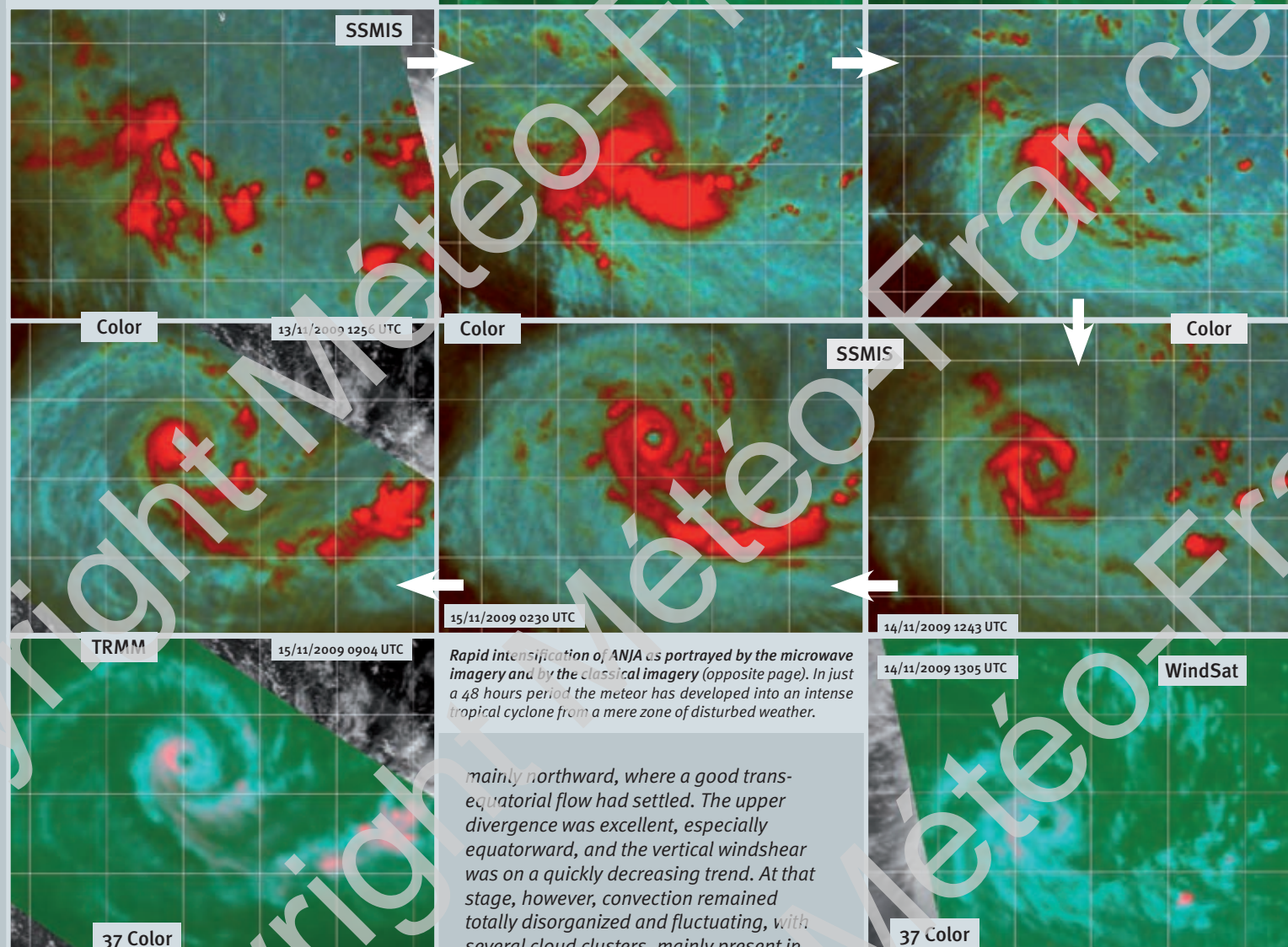
It can be considered that the 2009-2010 cyclone season kicked off in accordance with the climatological calendar, that is to say in November, as the first tropical storm was named ANJA on 14 November, a date which precisely corresponds to the median in regard to the date of occurrence of the first significant system of the season (which therefore forms every other year after or before mid November). Two zones of disturbed weather had been monitored before in the far eastern part of the basin, one in August and one in September, but they were only anecdotal and short-lived epiphenomena (bulletins being issued on a single day only). So that the true onset of the cyclone season should be traced back to the beginning of November, when a moderately active phase of the MJO (Madden-Julian oscillation) started to settle over the Indian Ocean, which resulted in the invigoration of the convective activity (see page 3. The basin was then in a dual near-equatorial trough pattern, as usual in that season, an atmospheric situation which is typically prone to the occurrence of "twin" cyclogenesis on both sides of the Equator. A first low was identified within the near-equatorial trough of the southern hemisphere, evolving at the beginning of the month in the sector between the Seychelles and Agalega, but without being able to deepen significantly. It was followed, a few days later, by a new low, which dawned on 6 November within the most active part of the trough, to the northeast of the Chagos Archipelago, very



close to the Equator (about 02°South). A low formed at the same time in the northern hemisphere, between Sri Lanka and Cape Comorin (southern tip of India). It would give birth a few days later (on 10 November) to tropical storm PHYAN, off the western coast of India (that would penetrate inland on the following day in the vicinity of Mumbai). But eventually there was no twin cyclogenesis, as, in the southern hemisphere, the system situated to the north of the Chagos (disturbance n°03) did not succeed in developing ; radically thwarted by the Tropical Easterly Jet stream, which generated too strong a vertical windshear, it dissipated to the northeast of Diego Garcia on 10 November.

But that first aborted attempt would not be totally vain, as in a way it prepared the ground for what was going to come next. It may have done even more than that, as it was not unfounded to wonder whether the future ANJA, which formed a few days later, was not an offspring or an avatar of this system n°03. That was in any case what could be inferred from the successive wind fields derived from the QuikScat scatterometer data acquired during the following days, which indicated that there was a link, nay even a continuation, between system 03 and the to-become ANJA. That tended to give substance to the assumption that it was actually from the residual low-pressure area into which

Intensification rapide d'ANJA vue par l'imagerie micro-onde et par l'imagerie classique (page opposée). En l'espace de 48 heures de temps seulement, le météore est passé du stade de simple zone perturbée au stade de cyclone tropical intense.



Rapid intensification of ANJA as portrayed by the microwave imagery and by the classical imagery (opposite page). In just a 48 hours period the meteor has developed into an intense tropical cyclone from a mere zone of disturbed weather.

mainly northward, where a good trans-equatorial flow had settled. The upper divergence was excellent, especially equatorward, and the vertical windshear was on a quickly decreasing trend. At that stage, however, convection remained totally disorganized and fluctuating, with several cloud clusters, mainly present in the western to northwestern sectors of the low centre (which could henceforth be vaguely guessed on the satellite imagery). 24 hours later, the picture was completely different : a single and relatively impressive cloud system, with already quite a prominent curvature, had formed during the night. The Dvorak analysis of the cloud structure (curved band pattern), corroborated by the wind data from Ascat (the scatterometer radar on board the European polar-orbiting satellite Metop), validated the cyclogenesis, with the deepening of the meteor into a tropical depression in the morning of 14 November. If that first cyclogenesis of the season was no surprise at all, as it had been forecast by most of the numerical models from 11 November, and in particular by

the low associated with disturbance n°03 merged, that ANJA's initial low would emerge. From that to envisioning that it was the revival of the same low was within the limits of belief...

At the beginning of 12 November, the windfield analysed by QuikScat spotted a small closed low circulation within the near-equatorial trough, to the close northeast of Diego Garcia. That initial low, then estimated at 1006 hPa, was found some 200 km to the south of the atoll, on the following ascending orbit in the morning of 13 November. Having shifted south-southwestward, it was about to cross latitude 10°South. The low-level convergence had improved,

Le 16 novembre, ANJA repart en direction du sud-sud-ouest et retrouve de la vitesse de déplacement (plus de 15 km/h), le long de la façade occidentale d'une cellule anticyclonique de moyenne troposphère, en pleine expansion au sud-est du cyclone. Cette trajectoire l'amène au sud du 16^{ème} parallèle Sud en fin de nuit du 16 au 17, à la rencontre de conditions énergétiques bien moins favorables. Nous sommes au printemps austral et l'océan n'a pas encore eu le temps de bien se réchauffer, avec une isotherme 26°C située en surface au voisinage de 17°Sud. Un affaiblissement du cyclone est donc inéluctable.

ANJA perd sa structure annulaire en deuxième partie de nuit du 16 au 17, avec la formation d'une bande convective venant s'enrouler autour du cœur central, dans le demi-cercle sud du système nuageux. Un petit œil demeure visible jusqu'en début de matinée du 17. Sa disparition marque le début de l'affaiblissement du météore. Dès avant la mi-journée, la convection commence à s'effondrer et à dégénérer ; les eaux de surface deviennent trop fraîches pour maintenir une alimentation énergétique suffisante du système. En soirée, le cisaillement vertical de vent se renforce, avec une ventilation de nord-ouest qui vient aisément pénétrer au cœur d'un système nuageux déjà fragilisé et accélérer le processus d'affaiblissement. Favorisé par la petite taille du météore, celui-ci s'avère aussi rapide que n'avait

the Ensemble Prediction System of the European Centre's model, which granted the cyclogenesis likelihood a high probability of occurrence, nevertheless the swiftness with which everything was triggered off was surprising.

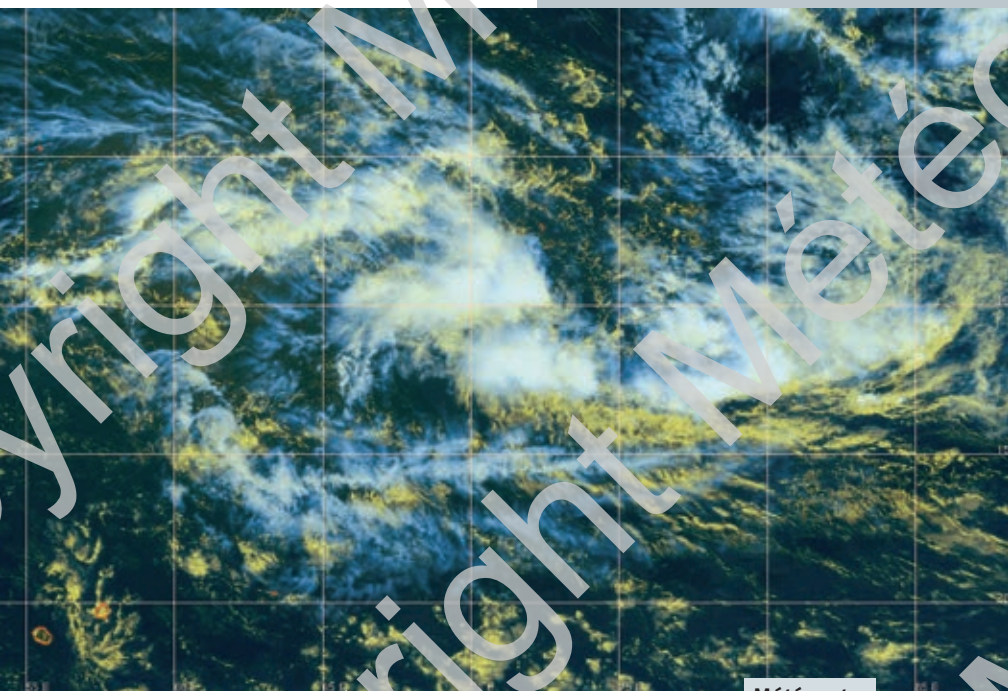
EVOLUTION

And one had not seen anything yet. Because the spectacular organization which happened during the night of 13 to 14 November, was nothing compared to what was going to come next ; it was only the first stage of the rocket. During the next 24h, the development of the phenomenon was quick as a flash. As it drew nearer latitude 13°South, the depression found itself almost underneath the upper ridge, with induced further reduction of the vertical

windshear close to zero. And as the upper divergence remained excellent, with a very good equatorward outflow channel, joined by a second poleward outflow channel associated with the subtropical jet stream, the environmental conditions were quite favourable.

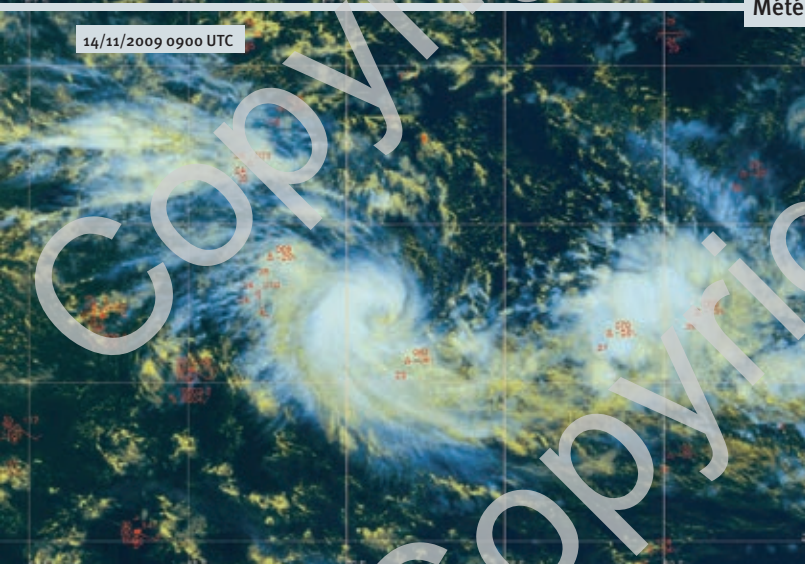
The meteor, which became a tropical storm around midday on 14 November, would thereafter gain two points and a half on the Dvorak intensity scale during the ensuing 24h (and four points in 48h between the afternoon of 13 November and the afternoon of 15 November), an intensification rate that was much higher than the climatological norm (but remaining just within the bound of the maximum development rate allowed by the Dvorak technique). It must be noted that this rapid intensification phase would take place whereas ANJA stayed quasi stationary for most of that period ; hence we must admit that obviously its energetic supply didn't have time to be affected by this standstill (via a cooling of the underlying ocean).

The harbinger signs of the formation of an eye, which had been first detected on the microwave imagery from the afternoon of 14 November, materialised on the classical imagery at the end of the following night. ANJA became a tropical cyclone early in the morning of 15 November. It was then ranked at the minimal threshold of intense tropical cyclone stage in the afternoon (maximum 10-min average winds of 90 knots). The intensification process was then stopped and a ceiling/plateau phase would follow and last 36h (until the beginning of 17 November), during which the intensity of the phenomenon was considered practically unchanged (oscillating between 85 and 90 knots). It is fairly uncommon for a cyclone to maintain its maximum

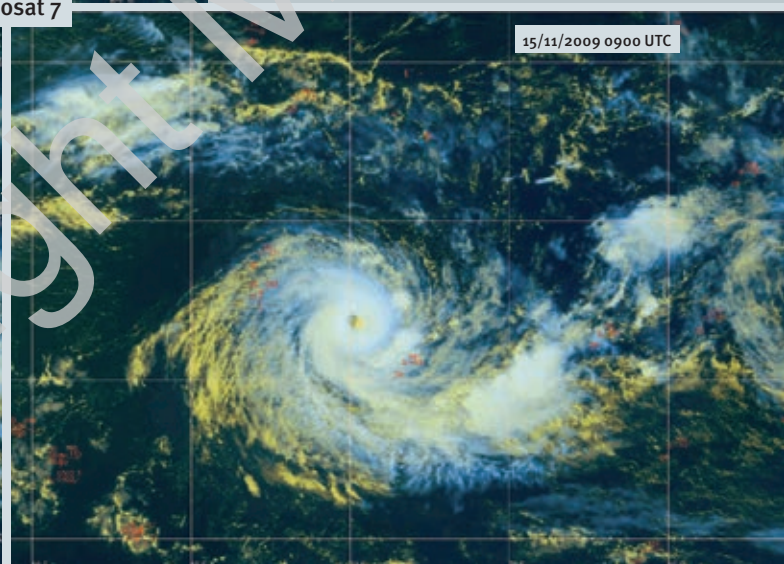


Météosat 7

14/11/2009 0900 UTC

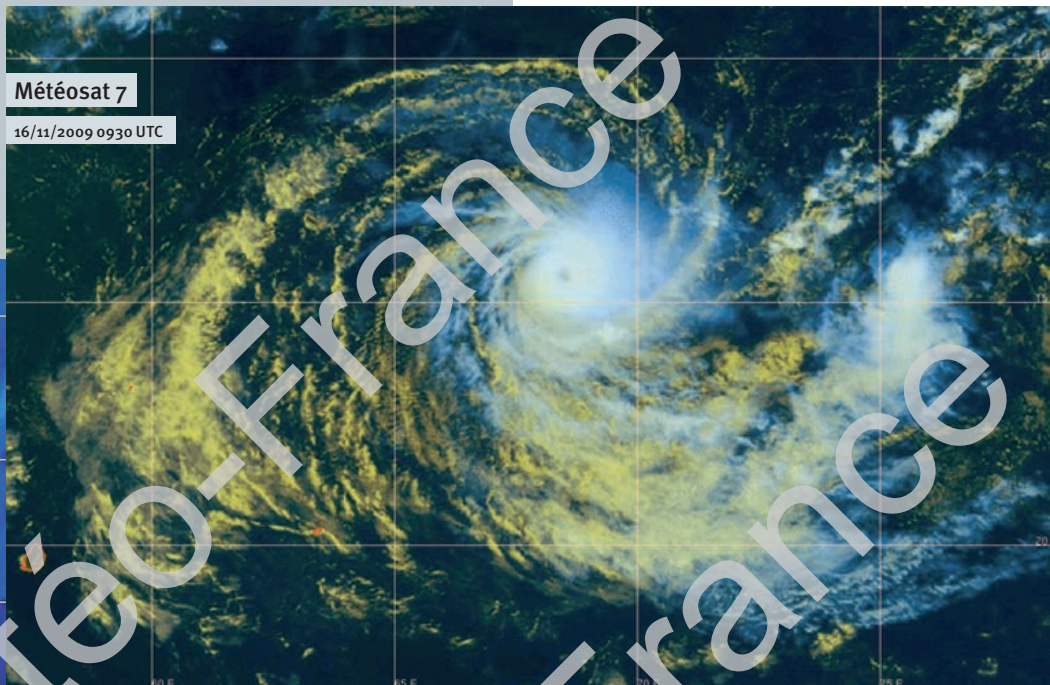


15/11/2009 0900 UTC



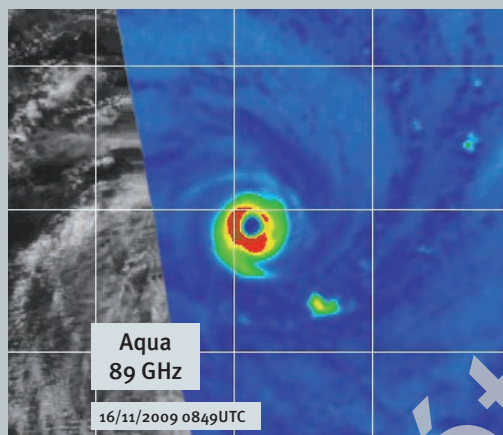
Météosat 7

16/11/2009 0930 UTC



Aqua
89 GHz

16/11/2009 0849 UTC



ANJA, un petit cyclone annulaire. Si la zone d'influence nuageuse d'ANJA apparaît relativement large sur cette image satellite composite (composition colorée obtenue par mélange de canaux visible et infrarouge), s'étirant sur quelque 2000 km dans le sens est-ouest, elle donne une impression trompeuse de la puissance réelle de la circulation dépressionnaire du cyclone, dont la taille se rapproche en fait beaucoup plus de celle d'un "midget" (système "nain"), avec une extension du coup de vent restreinte (diamètre estimé inférieur à 200 km), comme en attestent les données haute résolution QuikScat. Sur l'imagerie micro-onde, la petite taille du cœur du cyclone saute par contre aux yeux, s'étant encore réduite par rapport à la veille (comparer avec l'image TRMM du 15 à 0904 utc – page 13) et conférant, en outre, à ANJA les apparences d'un cyclone annulaire (anneau de convection central presque symétrique et quasiment dénué d'activité convective périphérique).

ANJA, a small annular cyclone. If ANJA's cloud extension appeared to be relatively wide on this coloured composite satellite image (obtained by mixing visible and infra-red channels), spreading over about 2000 km from the east to the west, it gave a deceptive impression of the real power of the clockwise circulation of the cyclone, whose size compared more with that of a midget system, with a restricted gale extension (diameter estimated at less than 200 km), as corroborated by the QuikScat high-resolution data. On the microwave imagery, on the other hand, the small size of the core of the cyclone was stark obvious, as it had even shrunk further compared to the day before (check with the TRMM image of 15 November at 0904 utc – page 13), bestowing ANJA, in addition, the appearance of an annular cyclone (with the characteristic following features : a central convective ring almost symmetrical and nearly void of any peripheral convective activity).

of intensity for so long, especially for a small cyclone, but that can be partly explained by the quasi annular structure towards which the core of the meteor would gradually tend during that period (see Aqua image of 16 November at 0849 utc – above). The very stable structure of annular cyclones actually gives them the ability and the propensity, superior to those of other cyclones, to maintain their intensity over a longer term.

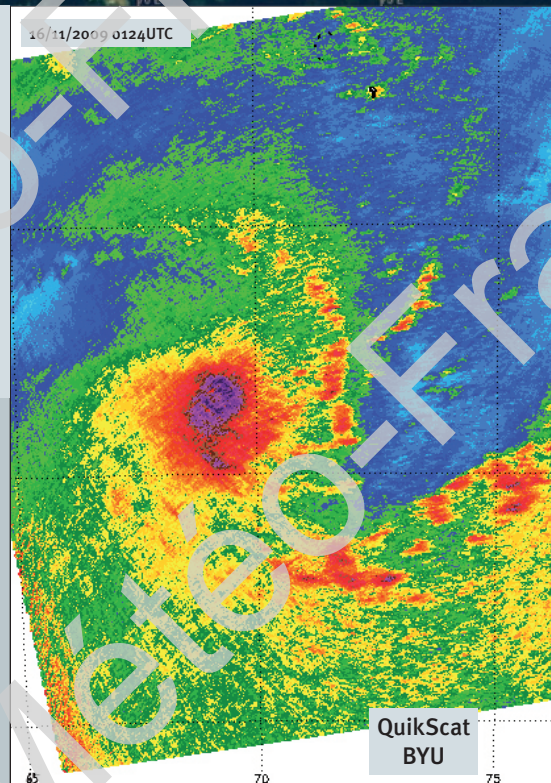
On 16 November, ANJA resumed a south-southwestward motion and regained speed of movement (over 15 km/h), along the western boundary of a mid-tropospheric high, in full expansion to the southeast of the cyclone. That trajectory brought it to the south of latitude 16° South by the end of the night of 16 to 17 November, where it encountered energetic conditions that were much less favourable. It was southern hemisphere spring and the ocean had not yet had enough time to warm up sufficiently, with a surface 26°C isotherm situated in the vicinity of latitude 17° South. The weakening of the cyclone was then unavoidable.

ANJA lost its annular structure during the second part of the night of 16 to 17 November, with the formation

of a convective band, which wrapped around the inner core of the storm, in the southern semi-circle of the cloud system. A small eye remained visible until the early morning of 17 November. Its disappearance set the landmark of the beginning of the weakening of the meteor. From towards midday, convection began to collapse and to decay ; the surface water were now too cool to sustain a sufficient energetic supply of the system. In the evening, the vertical windshear strengthened, with a northwesterly ventilation which easily penetrated the core of an already frail cloud system and accelerated the weakening process. Favoured by the small size of the meteor, the latter proved to be as fast as the intensification process had been only three days earlier.

Filling up rapidly, ANJA was completely sheared before the end of the night and the residual exposed vortex appeared clearly on the first visible images on 18 November. At midday, the meteor was nothing but a dying ex-tropical depression. The residual low recurved at the same time towards the southeast, ahead of a frontal trough, and was then ejected at an accelerated pace towards the sub-tropical domain.

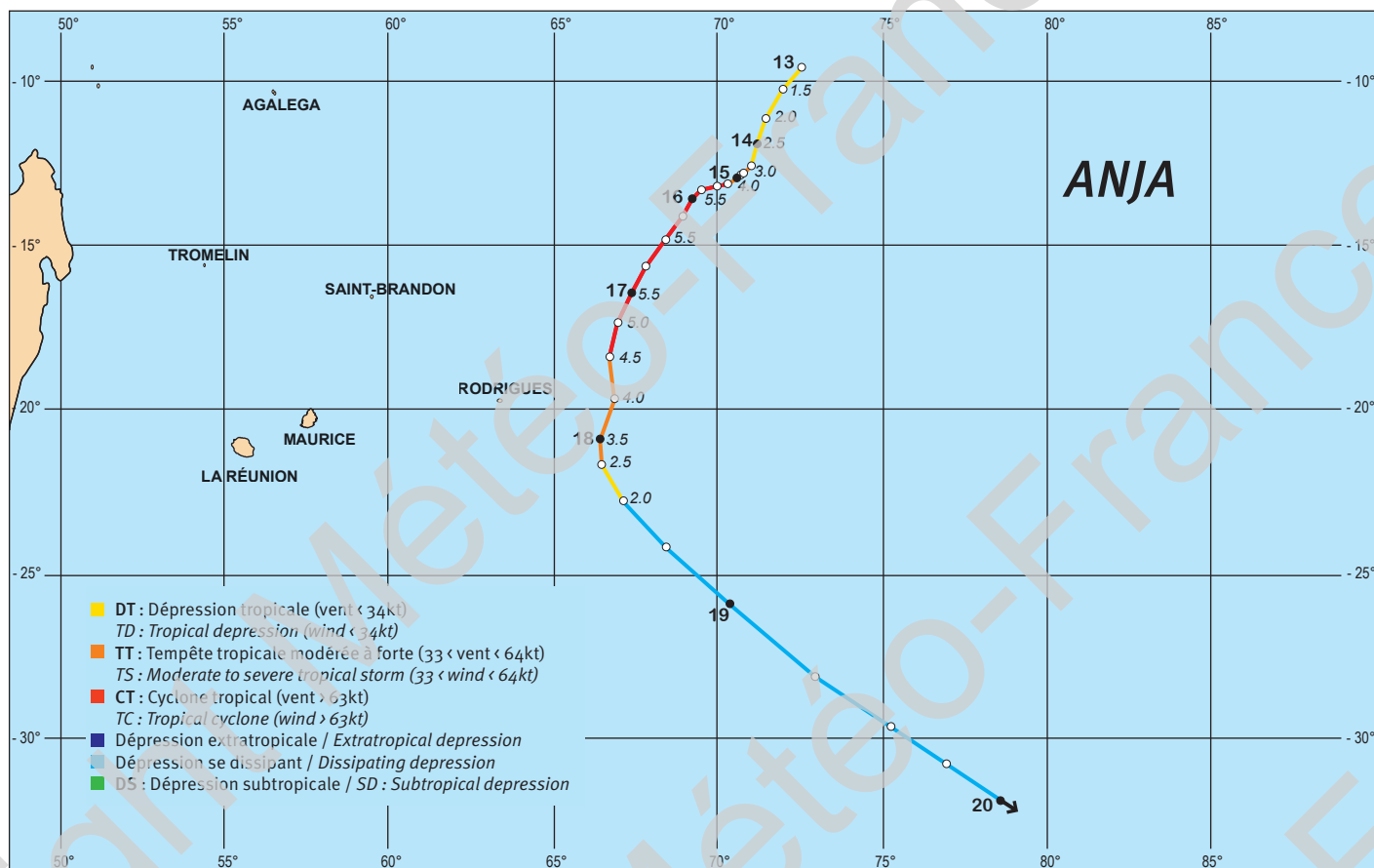
16/11/2009 0124 UTC



QuikScat
BYU

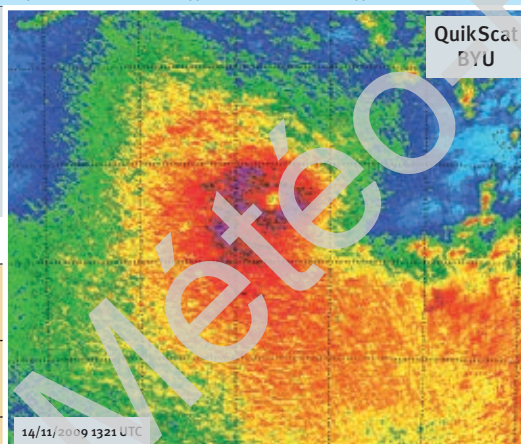
été le processus d'intensification trois jours plus tôt seulement.

En comblement rapide, ANJA se retrouve complètement cisailé avant la fin de nuit et le vortex résiduel exposé apparaît au grand jour sur les premières images visible de ce 18 novembre. A la mi-journée, le météore n'est plus qu'une ex-dépression tropicale agonisante. Le minimum dépressionnaire résiduel incurve au même moment en direction du sud-est, à l'avant d'un talweg frontal, et est ensuite expulsé à vitesse accélérée en direction du domaine subtropical.

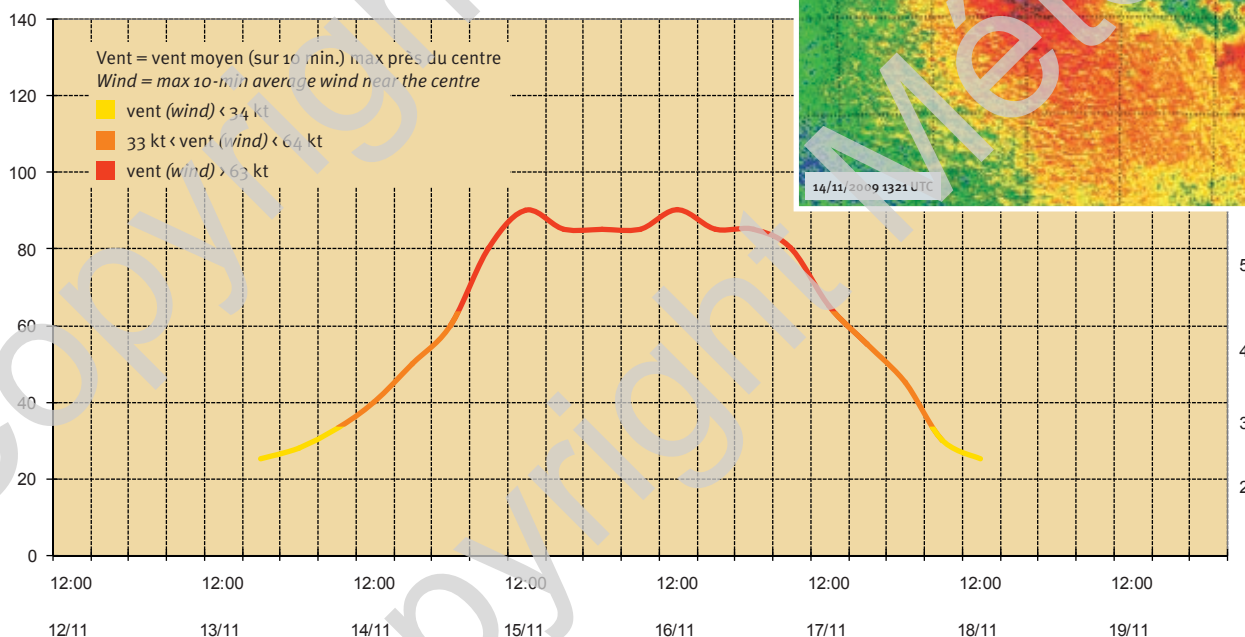


ANJA, au stade de tempête tropicale modérée, vu par le satellite QuikScat : sur ce champ de vents haute résolution dérivé des données issues du radar diffusiomètre embarqué SeaWinds, la zone de vents forts apparaît clairement (en mauve) autour de la zone de vents faibles centrale qui préfigure l'œil. Le satellite QuikScat tombera définitivement en panne quelques jours plus tard, après 10 ans de bons et loyaux services.

ANJA at moderate tropical storm stage, as seen by the Quikscat satellite : on this high resolution windfield derived from the data provided by the onboard scatterometer radar SeaWinds, the area of strong winds is clearly depicted (in purple) around the inner weak winds area that prefigured the eye. The QuikScat satellite will undergo fatal failure a few days later, after 10 years of a mission of invaluable benefit.



ANJA du 13/11 au 20/11/2009



EVOLUTION DU VENT MAX EN NŒUDS (A GAUCHE) ET DU NOMBRE CI DE 6 HEURES EN 6 HEURES
6 - HRLY MAX WIND (KT) AND CI TIME-EVOLUTION (LEFT AND RIGHT)

Bongani

Tempête Tropicale Modérée du 20 au 26 novembre 2009

Moderate Tropical Storm "Bongani" (20-26 November 2009)



FORMATION



NJA a définitivement lancé la saison cyclonique et après sa fin de vie, le soufflé ne va pas redescendre tout de suite, avec un second système dépressionnaire enchaîné, qui sera, toutefois, loin d'atteindre le même stade d'intensité.

Le 20 novembre, tandis que le minimum dépressionnaire résiduel de l'ex-ANJA se comble dans le domaine subtropical, une faible circulation dépressionnaire est détectée loin au nord-est des Mascareignes (et à quelque 800 km au sud-ouest de Diego Garcia), avec une activité convective modérée à forte associée. Le minimum de pression correspondant est estimé à 1011 hPa, valeur peu impressionnante (étalonnée grâce aux observations d'une bouée dérivante située à proximité), mais conditionnée par la pression environnementale élevée (1013 hPa).

Au cours des 24h suivantes, l'évolution est marginale. La pression est en légère baisse, mais si l'activité convective s'est plutôt renforcée, elle demeure quelque peu déconnectée du centre de basses pressions, se situant pour l'essentiel à bonne distance au sud-ouest de ce dernier. Le cisaillement vertical de vent n'est pas en cause, étant des plus modérés sur le secteur.

Au matin du 22, le minimum dépressionnaire, qui s'est déplacé à vive allure (30-35 km/h) en direction de l'ouest-nord-ouest depuis la veille, transite à environ 100 km au nord des îlots d'Agalega. Il est désormais en phase avec la convection, qui s'est densifiée et dont la partie la plus active se présente, sur l'imagerie micro-onde SSMIS, sous la forme d'une virgule pluvieuse, dont la courbure pourrait laisser supposer un système d'une intensité déjà significative (dépression

tropicale ou tempête modérée). Le doute est renforcé par les données de vents dérivées des données diffusiométriques de l'orbite matinale QuikScat, qui affichent dans le même temps des valeurs de 30-35 nœuds. Mais outre le fait d'être potentiellement contaminés par les précipitations (fortes sous la convection, comme en attestent les observations de la station d'Agalega, qui recueille 102 mm de pluies en 12h de temps), ces vents QuikScat sont sujets à caution par le fait des problèmes mécaniques de rotation que subit depuis quelque temps l'antenne et qui conduiront, le lendemain 23 novembre, à la panne fatale de l'équipement, mettant irrémédiablement un terme à la mission QuikScat, après plus de dix années de bons et loyaux services (ayant contribué de manière inestimable à la surveillance opérationnelle des épisodes de vents forts sur les différents océans du globe, en particulier ceux générés par des perturbations tropicales).

Au vu des observations de vents de la station d'Agalega (à 15 nœuds seulement), qui ne valident pas les données QuikScat, et considérant le fait que les images micro-ondes suivantes ne confirment pas le degré d'organisation affiché par l'imagerie matinale SSMIS, montrant à nouveau une absence de structuration nette des bandes précipitantes associées au système, l'hypothèse d'une intensification déjà notable du phénomène est écartée et l'intensité maintenue au stade de perturbation tropicale jusqu'à l'après-midi.

Mais c'est probablement reculer pour mieux sauter, car les conditions apparaissent désormais réunies pour que la cyclogenèse devienne effective. Outre la configuration nuageuse affichée, qui apparaît prometteuse, un paramètre impor-

tant vient de passer au vert. Il s'agit de la convergence de basses couches : jusque là très déficiente, elle est en train de se bonifier rapidement avec le retour et renforcement de l'alizé du côté sud, suite à la reconstruction des hautes pressions subtropicales.

En fin d'après-midi de ce 22 novembre, les données micro-ondes Windsat montrent une amélioration nette de la structure du système en basse troposphère, évolution cette fois-ci confirmée par les images suivantes. Le stade de dépression tropicale est atteint en début de nuit, analyse confortée par le champ de vents dérivé des données diffusiométriques Ascet acquises peu après.

EVOLUTION

Le développement se poursuit dans la nuit et justifie un classement en tempête tropicale modérée avant l'aube du 23 novembre. Mais cette phase d'intensification va rapidement tourner court. En effet, dès avant la fin de matinée, le météore, qui est alors au point le plus "haut" de sa trajectoire (le plus au nord), atteint déjà ce qui s'avérera être également le summum de son intensité. Il faut attendre la fin d'après-midi pour avoir l'explication de cette interruption prématurée du processus d'intensification : l'imagerie micro-onde révèle une structure cisailée, avec un centre dépressionnaire se retrouvant exposé au sud-est de la convection. Les données du CIMSS analysent effectivement un cisaillement vertical de vent de sud-est, mais très modéré et peut-être sous-estimé par rapport à la réalité.

Toujours est-il que BONGANI ne se relèvera pas de ce coup porté à un stade encore précoce de son évolution, sa vulnérabilité étant exacerbée par sa petite taille (à peine une centaine de km seulement pour l'extension horizontale des vents supérieurs à 30 nœuds). Le vortex résiduel de basses couches demeure durablement exposé, malgré une baisse du cisaillement de vent et les classiques reprises sporadiques de convection à proximité du centre ne changeront rien à l'affaire ; la dépression se comble. Au matin du 24, il faut déjà parler de la dépression tropicale ex-BONGANI au passé. Le minimum dépressionnaire résiduel transite alors à 100 km au sud-est de l'atoll de Farquhar (voir image page 21), sur une trajectoire globalement orientée sud-ouest, qui redressera quasiment plein ouest dans l'après-midi.

La tempête tropicale modérée BONGANI à son maximum d'intensité, entre les Seychelles et Madagascar.

Moderate tropical storm BONGANI at its maximum of intensity between the Seychelles and Madagascar.

the low, as it was essentially present quite distantly to the southwest of the latter.

The vertical windshear was not responsible for that, as it was quite moderate over the sector.

In the morning of 22 November, the low, which had been moving at a high speed (30-35 km/h) towards the west-northwest since the day before, transited about 100 km to the north of the Agalega islets. It had henceforth teamed up with the convection, which had now packed in close order and whose most active part was portrayed on the SSMIS microwave imagery as a rain comma, whose curvature could lead one to assume that the intensity of the system was already significant (tropical depression or moderate tropical storm). Doubt was upheld by the wind data derived from the scattometer data of the morning QuikScat swath, which displayed values of 30-35 knots at the same time. But besides the fact that they were potentially rain contaminated (rain was indeed heavy beneath the convection, as testified by the Agalega station, which recorded 102 mm of rain in 12h), those QuikScat winds were questionable due to the mechanical rotation problems that the aerial had been undergoing for some time and which resulted, on the following day, 23 November, in the fatal breakdown of the equipment, irreparably putting an end to the QuikScat mission, after more than 10 years in service, having contributed in an invaluable way to the operational watch of the strong wind events over the different oceans of the globe, especially those generated by tropical disturbances. In view of the wind observations of the Agalega station (15 knots only), which did not validate the QuikScat data, and considering the fact that the following microwave images did not confirm the degree of organization displayed by the morning SSMIS imagery, showing again the absence of clear structuring of the rain-bearing bands associated with the system, the assumption of an already notable intensification was discarded and the intensity was held at the stage of tropical disturbance until later in the afternoon.

But it probably meant delaying the day of reckoning, as the conditions henceforth seemed met for the cyclogenesis to become effective. In addition to the displayed cloud pattern, which appeared to be promising, the light had just gone green for one important parameter.

23/11/2009 0524 UTC

C'est à un stade quasiment comblé (1009-1010 hPa) qu'il vient ainsi doubler la pointe nord de Madagascar dans la nuit du 25 au 26 novembre (à moins de 100 km au nord du Cap d'Ambre), pour venir ensuite se dissiper sur le Nord du Canal du Mozambique. Scénario habituel, il draine dans son sillage une activité pluvio-orageuse chaotique, qui laisse quelques pluies sur le Nord de Madagascar et l'archipel des Comores, précipitations bienvenues en cette fin de saison sèche (30 à 50 mm recueillis en 24h sur la majeure partie de l'île de Mayotte entre le 26 et le 27, avec un maximum de 79 mm à Bandièrè, sur la côte sud-est de "l'île hippocampe").

Petite tempête tropicale relativement éphémère, BONGANI n'aura certes pas été le phénomène le plus virulent et mémorable de la saison, mais constitue un bon exemple de système dépressionnaire de début de saison assez classique : durée de vie plutôt courte, intensité limitée, trajectoire zonale et relativement proche de l'Equateur venant concerner la zone maritime des Seychelles.

FORMATION

ANJA definitely launched the cyclone season and after its demise, the disturbed activity was not going to cease immediately, with the formation of another storm to follow, which would, however, be far from reaching the same level of intensity. On 20 November, whereas ex-ANJA's residual low was filling in the subtropical domain, a weak clockwise circulation was detected far to the northeast of the Mascarene (and about 800 km to the southwest of Diego Garcia), with a moderate to strong associated convective activity. The corresponding low centre had a minimum sea-level pressure estimated at 1011 hPa, a not very impressive value (assessed thanks to the observations from a drifting buoy situated nearby), but which was conditioned by the high environmental pressure (1013 hPa).

During the next 24 hours, the evolution of the system was marginal. The pressure fell slightly, but if the convective activity had strengthened a little, it remained somewhat disconnected from the core of

Namely the low-level convergence : up to then very deficient, it was rapidly improving with the return and strengthening of the trade winds to the south, consequent to the rebuilding of the subtropical high pressures.

Towards the end of the afternoon of 22 November, the Windsat microwave data showed a clear betterment of the structure of the system in the low troposphere, an evolution which was this time confirmed by the ensuing images. The stage of tropical depression was reached at the beginning of the night. That analysis was corroborated by the windfield derived from the Ascat scattometer data acquired a little later.

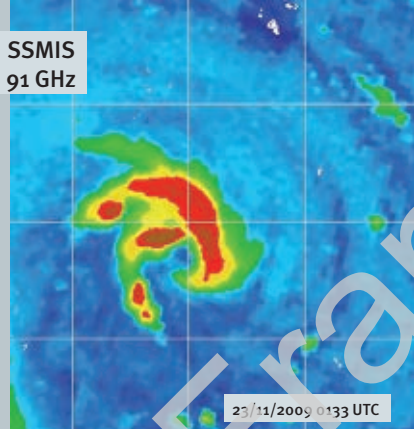
EVOLUTION

The development of the system went on during the night and justified its upgrading as a moderate tropical storm before the dawn of 23 November. But that intensification spell was to come to a sudden end. In fact, by the end of the morning, the meteor, which was then at the "highest" point of its trajectory (the northernmost), had already reached what would also prove to be the culmination of its intensity. The explanation of that premature interruption of the intensification process remained unknown until the end of the afternoon when the microwave imagery revealed a sheared structure, with a low centre exposed to the southeast of the convection. The CIMSS data actually analysed a southeasterly vertical windshear, but quite moderate and maybe underestimated compared to reality.

Be it as it may, BONGANI would not recover from that blow underwent at an early stage of its evolution, its vulnerability being exacerbated by its small size (hardly one hundred km for the horizontal extension of winds of over 30 knots). The low-level residual vortex remained tenaciously exposed, in spite of the decreasing windshear and the classical sporadic revivals of the convection near the centre would not make the slightest difference ; the depression filled. In the morning of 24 November, the tropical depression had to be referred to as late ex-BONGANI. The residual low transited then 100 km to the southeast of the Farquhar atoll (see image page 21), on a globally southwestward trajectory, which would shift heading almost due west in the afternoon.

It was an almost filled system (1009-1010 hPa), which overtook the northern tip of Madagascar during the night of 25 to 26 November (less than 100 km to the north of Cape Ambre), and then dissipated over the northern Mozambique Channel. It was

SSMIS
91 GHz



BONGANI peu avant son maximum d'intensité. A son "apogée", le météore affiche une structure nuageuse en bande incurvée, alors qu'il évolue sur les eaux seychelloises, entre les archipels éloignés de Farquhar (au sud-ouest), des Amirantes (au nord-ouest) et l'île de Coëtivy (au nord-est).

BONGANI on the verge of reaching its maximum of intensity. Then at its best definition, the cloud system associated with the meteor displayed a curved band pattern while it was moving over the Seychelles waters between the Outer Islands of the Farquhar Archipelago (to the southwest), the Amirante Islands (to the northwest), and Coëtivy Island (to the northeast).

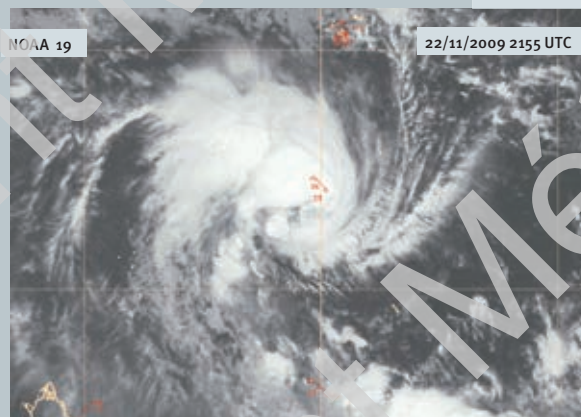
a usual scenario, as it dragged in its wake a chaotic rainstorm activity, which brought a few showers to the North of Madagascar and the Comoro Archipelago. The rainfall was welcome at the end of the dry season (30 to 50 mm recorded in 24h over most of Mayotte Island between 26 and 27 November, with a maximum of 79 mm at Bandrele, on the southeast coast of the "sea horse island").

A relatively short-lived small tropical storm, BONGANI would certainly not have been the most virulent and memorable phenomenon of the season, but it was a good example of a rather classical early season system

with the typical corresponding characteristics : short life-cycle, a limited intensity, a zonal track, relatively close to the Equator, which concerned the maritime area of the Seychelles.

Cyclogenèse de BONGANI. Le météore est alors analysé en dépression tropicale, avec une organisation tourbillonnaire déjà affirmée et prometteuse. L'imagerie micro-onde permet de mieux disséquer la structure interne du phénomène, avec un vortex de basses couches bien constitué autour du centre et aisément identifiable en canal 37 GHz.

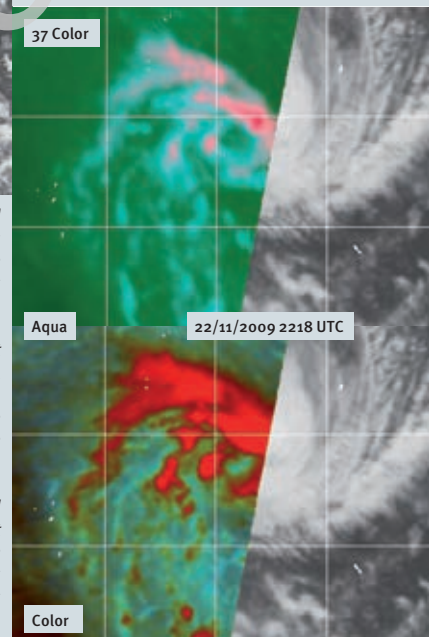
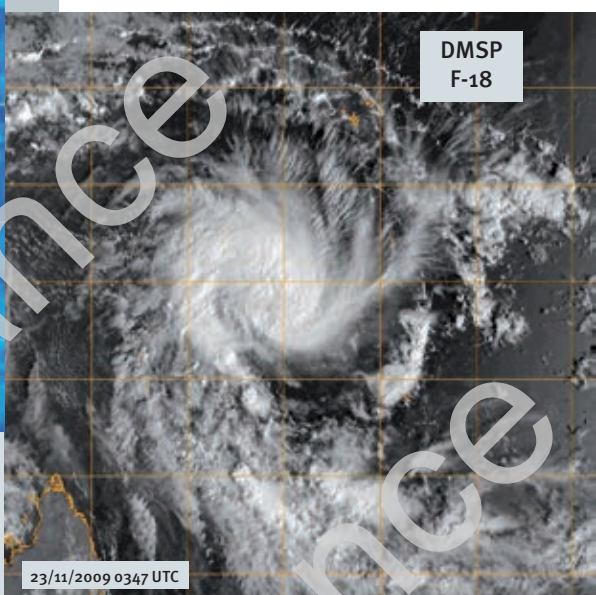
On notera les 25 nœuds de vents mesurés non loin au nord-est du centre de la dépression tropicale par une bouée ancrée du réseau RAMA. Récemment implantées sur l'océan Indien central, ces bouées ancrées ont pour vocation première de suivre l'évolution de la structure océanique de l'océan Indien proche-équatorial, mais même parcimonieuses, les quelques mesures atmosphériques disponibles, comme le vent, sont précieuses, en particulier quand une perturbation tropicale évolue à proximité. Pour renforcer les capacités de mesure de ce réseau de bouées ancrées et valoriser l'intérêt pour la surveillance cyclonique que confère à ces sentinelles avancées leur positionnement stratégique sur les zones de cyclogenèses ou sur la route des perturbations tropicales, certaines d'entre elles ont été équipées de capteurs de pression fournis par Météo-France.

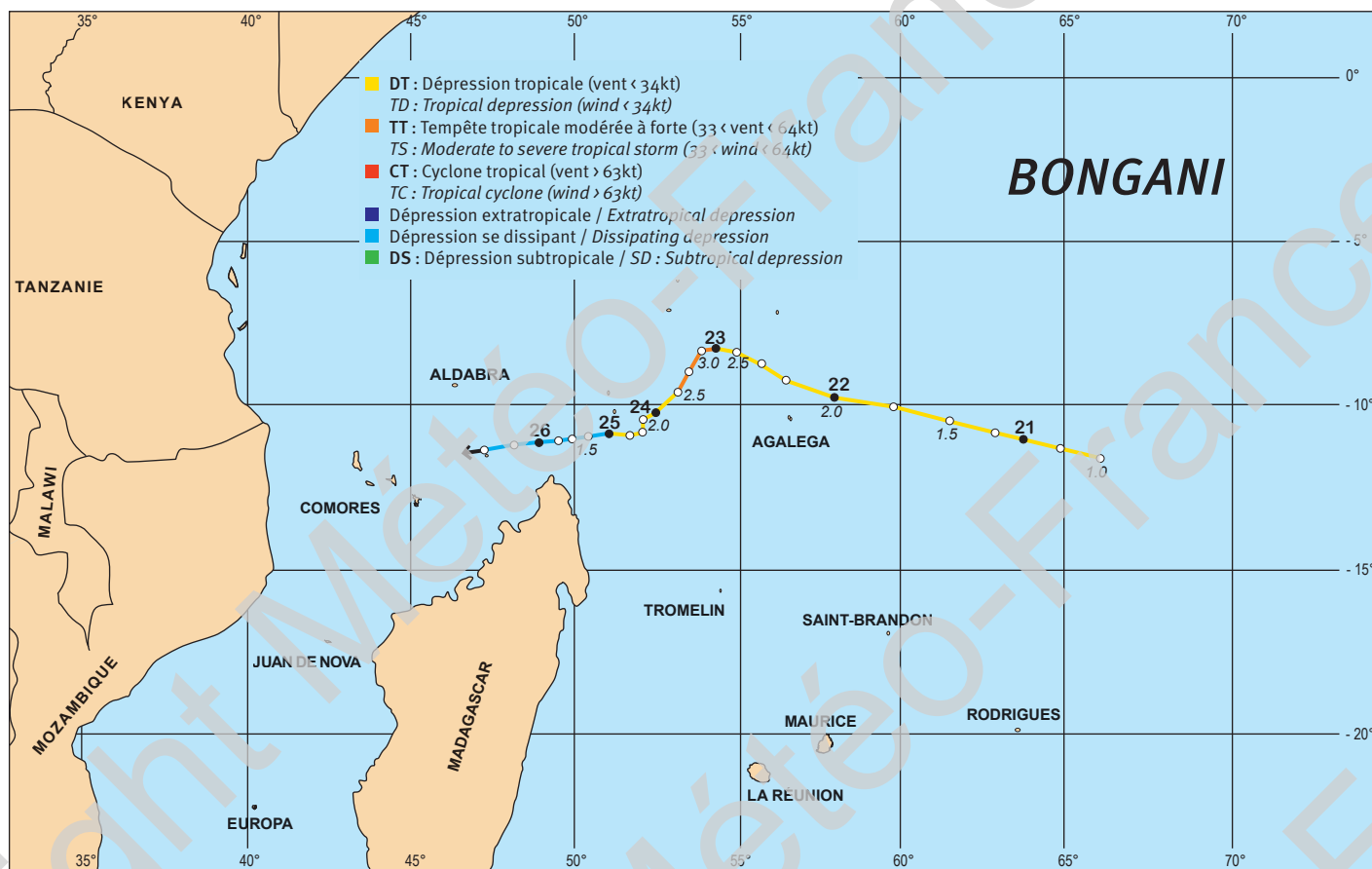


BONGANI's cyclogenesis. The meteor was then analysed as a tropical depression, with an already tightly-wrapped and promising swirling organization. The microwave imagery made it possible to dissect the inner structure of the phenomenon, with a low-level vortex that was well-defined around the centre and that could easily be identified on the 37 GHz channel.

One can notice the 25-knot winds measured not very far to the northeast of the centre of the tropical depression by a moored buoy of the RAMA network. Recently set in the central Indian Ocean, those moored buoys are primarily intended to monitor the evolution of the ocean structure of the near-equatorial Indian Ocean. Even though parsimonious, the few available atmospheric measures, such as the wind, are precious however, especially when a tropical disturbance is evolving nearby. In order to increase the observing capabilities of that network of moored buoys and to enhance the interest in the monitoring of cyclones that their strategic positioning confer to those sentries standing in the forefront along the path of tropical disturbances or over the cyclogenesis areas, some of them have been equipped with pressure sensors supplied by Météo-France.

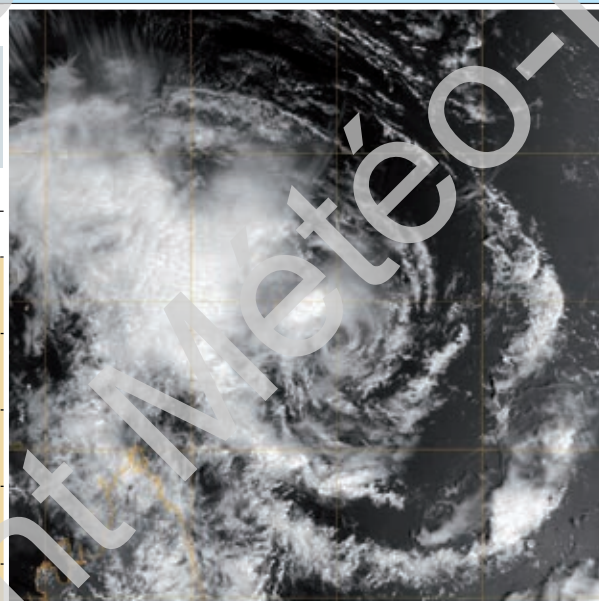
DMSP
F-18



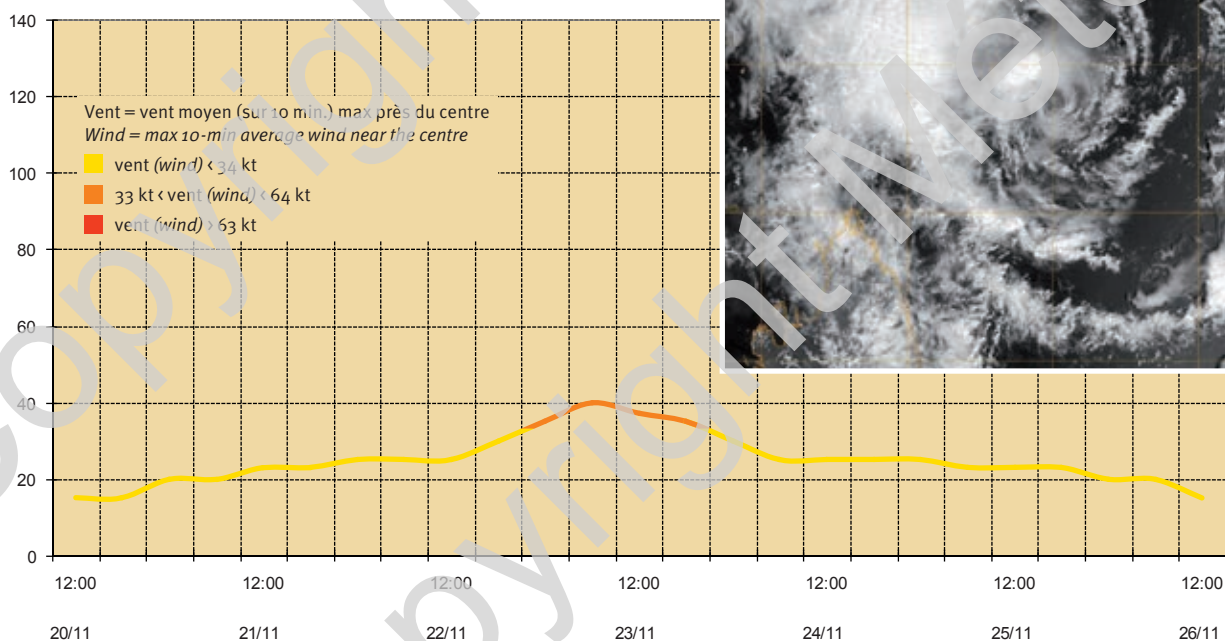


BONGANI en phase d'affaiblissement au nord-est de Madagascar. Le vortex résiduel de l'ex-tempête tropicale transite alors à quelque 100 km au sud-est de l'atoli de Farquhar.

BONGANI in its weakening phase to the northeast of Madagascar. The residual vortex of the ex-tropical storm was then transiting some 100 km to the southeast of the Farquhar atoll.



BONGANI du 20/11 au 26/11/2009



EVOLUTION DU VENT MAX EN NŒUDS (A GAUCHE) ET DU NOMBRE CI DE 6 HEURES EN 6 HEURES
6 - HRLY MAX WIND (KT) AND CI TIME-EVOLUTION (LEFT AND RIGHT)



Cléo

Cyclone Tropical Intense

du 03 au 17 décembre 2009

Intense Tropical Cyclone "Cleo" (03-17 December 2009)



FORMATION

Fin novembre 2009, une phase sèche de la MJO s'installe sur la zone Sud-Ouest de l'océan Indien, avec un signal pas très marqué toutefois, avant de gagner la partie est du bassin début décembre. Ce contexte a priori peu propice à la cyclogenèse, ne va toutefois pas empêcher un système dépressionnaire de se former dans le sillage de cette phase sèche de la MJO (qui, via la réduction de l'activité convective, tend à abaisser certes le potentiel de cyclogenèse à un niveau inférieur à la norme climatologique, mais sans toutefois l'annihiler).

Début décembre, l'activité convective est plutôt minimaliste sur le bassin, conformément à l'état en cours de la MJO, mais pas totalement absente. Le 3 décembre au matin, elle apparaît même ravagée sur l'Est du bassin, où elle ondule joliment de l'Est des Chagos jusqu'aux abords de Sumatra, esquissant ainsi visuellement sur l'imagerie satellitaire les contours du talweg proche-équatorial, qui ondoie entre 5 et 7°Sud. D'aspect anodin dans sa partie ouest, l'extrémité orientale de celui-ci attire par contre l'attention, car mise en exergue par la présence additionnelle d'une bande convective assez active présente du côté sud, au sein de l'Alizé, et dont la courbure indique l'amorce d'un mouvement tourbillonnaire. Ce qui est confirmé par l'orbite Ascat matinale, dont le champ de vent dérivé des données du radar diffusiomètre, montre une circulation dépressionnaire fermée centrée légèrement au nord de 07°Sud et à l'est de 95°Est, en zone de responsabilité indonésienne donc. Les vents sont très faibles dans le demi-cercle nord (10 nœuds en moyenne) et le minimum dépressionnaire associé à

cette circulation primitive est estimé à 1008 hPa. La mollesse du flux du côté équatorial et sa contribution marginale à la convergence de basses couches, ainsi que la présence d'un cisaillement vertical de vent d'est modéré, limitent dans l'immédiat le potentiel de développement, de ce qui n'est pour l'heure qu'un frémissement de perturbation. Mais les conditions environnementales étant prévues s'améliorer à échéance de 2-3 jours, cette zone devient clairement suspecte et à surveiller de près.

Au cours des 48h qui suivent, comme attendu, on n'observe effectivement pas d'évolution significative en terme d'organisation, tourbillonnaire tout particulièrement. Mais une activité convective assez forte se maintient toutefois. Toujours principalement présente du côté sud du minimum, elle demeure cependant fluctuante. Portée par la dorsale subtropicale, solidement installée du côté polaire, la zone perturbée s'est entre-temps déplacée bon train en direction de l'ouest-sud-ouest, franchissant le 90^{ème} méridien Est dans la nuit du 4 au 5 décembre. A son entrée dans la zone de responsabilité du CMRS de La Réunion, le minimum dépressionnaire est estimé à 1005-1006 hPa et n'a donc toujours rien d'un foudre de guerre.

Il faut attendre plus de 24h encore, avant de voir les choses commencer à bouger réellement. Si en basses couches on ne note pas d'amélioration du flux entrant du côté équatorial, avec une convergence toujours déficiente, le système s'est par contre rapproché de la dorsale d'altitude, ce qui le place progressivement dans un environnement de moins en moins cisailé. Conséquence directe, de la convection profonde s'est établie de manière désormais durable au-dessus du

centre de la circulation dépressionnaire. Au matin du 6 décembre, le système est classé en perturbation tropicale. Si le creusement demeure marginal à ce stade, le changement de structure est par contre patent, avec un petit CDO (amas nuageux central dense) pérenne, vers lequel converge une pseudo-bande incurvée, sans lui être directement rattachée, dans les secteurs sud à ouest de la circulation dépressionnaire. Alors que tout semble désormais en place pour aboutir rapidement à la cyclogenèse, le processus demeure extrêmement lent et près de 24h supplémentaires vont s'écouler avant qu'elle ne devienne effective, à l'aube du 7 décembre, moment où le stade de dépression tropicale est considéré atteint.

EVOLUTION

Mais après cette phase de genèse laborieuse, le système va brutalement passer la surmultipliée. Dès la matinée du 7, le gain d'organisation est flagrant et rapidement, avant la mi-journée, un simili point chaud apparaît même, l'espace de quelques heures, au sein du CDO, donnant l'illusion de la formation d'un embryon d'œil. Le météore est pourtant encore loin du stade de cyclone tropical, se voyant simplement octroyer pour l'heure le statut de tempête tropicale modérée (et le nom qui va avec, CLEO). Cette analyse est confortée par des mesures altimétriques d'une fauchée Envisat, qui a intercepté pile le centre du phénomène. Mais une structuration aussi affirmée du système nuageux à ce stade encore précoce, laisse présager un potentiel de développement important. Ce qui va effectivement très vite se vérifier, au-delà même des attentes.

Car s'ensuit une phase de développement explosive, au cours de laquelle CLEO va s'intensifier au rythme de près de trois points de gain par 24h sur l'échelle d'intensité de Dvorak (obligeant d'ailleurs à casser les contraintes normalement imposées sur les taux maximaux d'intensification, par les règles d'analyse d'intensité de la technique du même nom). Un œil se constitue sur l'imagerie micro-onde en toute fin d'après-midi du 7 décembre. Il se consolide et se contracte ensuite au fil des heures. Sur l'imagerie infrarouge, le décalage temporel habituel fait qu'il faut attendre la fin de nuit pour voir l'œil émerger. CLEO devient cyclone tropical à l'aube du 8 décembre.

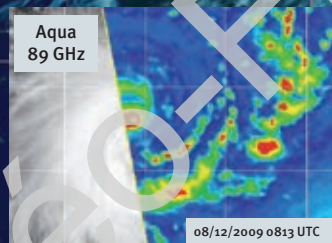
Le météore, qui poursuit sa course en direction de l'ouest-sud-ouest, a franchi le 10^{ème} parallèle Sud peu auparavant

et est alors centré à 630 km au sud-est de l'atoll de Diego Garcia. Il longe depuis 24h une zone océanique à fort contenu énergétique et arrive sous l'axe de la dorsale d'altitude, bénéficiant ainsi d'un cisaillement vertical de vent faible et d'une excellente divergence d'altitude, du côté ouest et sud en particulier.

La machine s'emballe. Favorisé par la taille très réduite du cœur central du météore (voir image Aqua page ci-contre), qui facilite ce genre d'évolution extrême, le processus d'intensification, déjà rapide, s'accélère encore en matinée et devient complètement débridé, avec un œil qui se réchauffe et gagne en définition à chaque nouvelle image. Cette intensification effrénée ne peut toutefois pas durer indéfiniment et atteint sa limite dès le début d'après-midi de ce 8 décembre. A son apogée, CLEO est un cyclone tropical de forte intensité. Autour du petit œil d'environ 15 km de diamètre, les vents sont estimés souffler à 105 nœuds (195 km/h) en moyenne sur 10 minutes, ce qui signifie des rafales maximales sur mer approchant les 150 nœuds (soit 275 km/h). 36h plus tôt, le futur CLEO n'était encore qu'une simple perturbation tropicale ! Une telle évolution, qui représente un bond de près de quatre points sur l'échelle d'intensité de Dvorak dans l'intervalle, est tout à fait exceptionnelle, mais, aussi hors normes soit-elle, n'est toutefois pas sans précédent, étant comparable à celle, qualifiée de "stupéfiante" à l'époque, de BONDO, en décembre 2006.

CLEO ne va pas se maintenir à son maximum d'intensité bien longtemps. A peine la montée en flèche jusqu'au pic d'intensité interrompue, une phase d'affaiblissement s'amorce. La "chute" va être certes moins brutale que n'avait été la montée en puissance, mais va s'avérer tout de même assez sévère, avec une dégénérescence rapide de CLEO. Dès avant la fin d'après-midi, l'œil devient évanescent sur l'imagerie visible et infrarouge. La perte d'organisation est tout aussi manifeste sur l'imagerie micro-onde. Et au petit matin du 9 décembre, il faut carrément parler de déstructuration, même si, du fait de l'inertie supposée du champ de vents, CLEO est encore classé cyclone tropical.

Cet accès de faiblesse surprend par son ampleur et par la rapidité de sa survenue. De prime abord, la cause de ce renversement de tendance ne saute pas aux yeux. On aurait a priori envie d'incriminer des processus internes, car l'environnement externe de la perturbation ne montre pas de dégradation manifeste. Les analyses du CIMSS indiquent certes une augmentation



Le cyclone tropical intense CLEO au maximum de son intensité. A son apogée, le phénomène occupe un large espace au sud-ouest des Chagos. Malgré cela, le cœur central du météore proprement dit, est lui de dimension très réduite : l'amas nuageux central dense qui entoure le petit œil, et qui se détache de manière proéminente du reste de la couverture nuageuse, fait à peine 150 km de diamètre, sa partie la plus active étant en réalité encore plus restreinte et carrément minuscule (seulement quelques dizaines de km d'extension horizontale), comme le montre l'imagerie micro-onde Aqua. On notera l'épanchement généreux des cirrus autour du système (dans les secteurs ouest et sud tout particulièrement), matérialisant l'excellente divergence d'altitude dont bénéficie alors le météore.

Intense tropical cyclone CLEO at its intensity peak. At its climax, the phenomenon occupied a wide space to the southwest of the Chagos. In spite of that, the size of the central core of the meteor itself was very restricted : the central dense central overcast which surrounded the small eye and which stood out in a prominent way from the rest of the cloudshield, was hardly 150 km wide, its most active part being actually even smaller and definitely minute (only a few tens of km or so of horizontal extension) as portrayed on the Aqua microwave imagery. The generous fanning out of the cirrus around the system was worth noticing (especially in the western and southern sectors), materializing the excellent upper divergence of which the meteor was then taking advantage.

FORMATION

At the end of November 2009, a dry phase of the MJO settled over the South-West Indian Ocean, with a signal that was not, however, very powerful, before propagating towards the eastern part of the basin at the beginning of December. This context, normally not very conducive to cyclogenesis, was not going to prevent yet in the wake of the dry phase of the MJO (which, via the reduction of the convective activity, tends to lower the cyclogenesis potential down to a level that is below the climatological norm, without annihilating it though). At the beginning of December, the convective activity was rather minimal over the basin, in accordance with the current state of the MJO, but it was not totally absent. On the morning of 3 December, it even appeared to perk up over the East of the basin, where it was nicely waving from the east of the Chagos Archipelago to the vicinity of Sumatra, thus visually outlining on the satellite imagery the near-equatorial trough, which was undulating between latitudes 5 and 7°South. Looking rather insignificant in its western portion, its eastern end attracted one's attention on the other hand, as it was highlighted by the additional presence of a rather active convective

band on the southern side, within the trade winds, a band whose curvature indicated an incipient swirling circulation. Which was confirmed by the morning Ascet orbit, whose windfield, derived from the data of the scatterometer radar, showed a closed low circulation centred slightly to the north of latitude 7°South and to the east of longitude 95°East, in the Indonesian area of responsibility then. The winds were very weak within the northern semi-circle (10 knots on average) and the low associated with that clockwise circulation which was still in its infancy, was estimated at 1008 hPa. The weakness of the flow on the equatorial side and its marginal contribution to the low-level convergence, as well as the presence of a moderate easterly vertical windshear, limited, for the moment, the potential of development of what was then only the sketchy hint of a disturbance. However, as the environmental conditions were forecast to improve in 2 or 3 days, that area became clearly suspect and had to be closely monitored. During the next 48h, as expected, no significant evolution could be observed in terms of organization, especially swirling organization. Nevertheless a rather strong convective activity persisted. Still mainly present on the southern side of the low, it remained fluctuating though. Carried along the subtropical ridge, firmly

Cyclogenèse de CLEO. Acquisées à une dizaine d'heures d'intervalle, les images ci-dessus, que ce soit en imagerie classique ou en imagerie micro-onde (avec les deux orbites TRMM consécutives), permettent d'appréhender la cyclogenèse de CLEO intervenue prestement en début de journée du 7 décembre. L'organisation de la convection et du vortex associé au système sont clairement mis en évidence. On peut également supputer que les foyers de convection intense ("tours chaudes") visibles à proximité du centre de la perturbation (en particulier sur l'image TRMM de 2050 utc) ont dû jouer un rôle actif dans le processus. Le "trou" de moindre activité nuageuse visible au sein du système nuageux sur l'image composite colorée de la matinée préfigure le futur œil du cyclone, mais ne peut être qualifié de tel à ce stade. Enfin, on pourra comparer utilement les images initiales de la nuit du 6 au 7, avec celles du 8 (page opposée), montrant l'évolution fulgurante intervenue en une trentaine d'heures de temps et ayant fait passer dans l'intervalle le système du stade de simple perturbation tropicale à celui de cyclone mature de forte intensité.

06/12/2009 2100 UTC

TRMM

06/12/2009 2050 UTC

Color

Météosat 7

07/12/2009 0630 UTC

TRMM

07/12/2009 0641 UTC

37 Color

CLEO's cyclogenesis. Acquired at an interval of less than ten hours, the images as above, whether on classical imagery or on microwave imagery (with the two consecutive TRMM swaths), made it possible to apprehend CLEO's cyclogenesis, which took place swiftly at the beginning of 7 December. The organization of the convection and of the vortex associated with the system was clearly emphasized. It may also be claimed that the nuclei of intense convection ("hot towers") which were visible in the vicinity of the centre of the disturbance (in particular on the TRMM image at 2050 utc) might have played an active part in the process. The "hole" of weaker cloud activity visible within the cloud system on the coloured composite image of the morning foreshadowed the future eye of the cyclone, but could not be considered as such at that stage. Lastly it will be telling to compare the initial images of the night of 6 to 7 December to those of 8 December (opposite page), showing the startling evolution that took place within about thirty hours, and, in the interval, enabled the system to be upgraded from the stage of simple tropical disturbance to that of mature cyclone of strong intensity.

anchored poleward, the zone of disturbed weather had moved in the meantime at a rather smart pace towards the west-southwest, crossing longitude 90° East during the night of 4 to 5 December. As it entered the RSMC's area of responsibility, the low was estimated at 1005-1006 hPa and was still no firebrand. One had to wait for another 24h before the situation really began to change. If in the lower levels there was no improvement of the inflow equatorward, with still insufficient convergence, on the other hand the system had drawn nearer the upper ridge, which gradually placed it

in a less and less sheared environment. As a direct consequence, some deep convection had settled on a henceforth long-term basis above the centre of the clockwise circulation. In the morning of 6 December, the system was ranked as a tropical disturbance. If the deepening remained marginal at that stage, on the other hand the change in the structure was obvious, with a small, perennial CDO (central dense overcast), towards which a pseudo curved band converged, without being directly connected to it, in the southern to western sectors of the clockwise circulation. Whereas

du cisaillement vertical de vent, mais relativement marginale et qui ne trouve pas de traduction visuelle sur l'imagerie satellitaire, comme c'est généralement le cas. L'épanchement des cirrus autour du météore n'apparaît nullement perturbé par une quelconque contrainte externe et a conservé toute sa superbe sur l'imagerie satellitaire infrarouge. Pourtant, il semble que le cisaillement de vent soit effectivement bien en cause. L'évolution observée sur l'imagerie micro-onde ne laisse aucun doute quant à l'existence d'une ventilation de nord-nord-est affectant le système et aboutissant à une configuration de centre

exposé en bordure de la convection, en début d'après-midi du 9. Mais il faut croire que cette ventilation doit être présente dans une tranche d'atmosphère se situant à une altitude moins élevée que le niveau auquel le flux sortant d'altitude s'évacue et se manifeste sur l'imagerie classique (sous la forme du panache de cirrus)...

Quoi qu'il en soit, CLEO accuse le coup et perd son statut de cyclone tropical dès la mi-journée du 9 décembre. L'affaiblissement se poursuit jusqu'en début de nuit suivante, les vents maximaux étant alors estimés avoir été quasiment divisés par deux depuis le moment du maximum d'intensité, à peine plus de 24h plus tôt. Scénario que l'on observe régulièrement, la convection reprend du poil de la bête

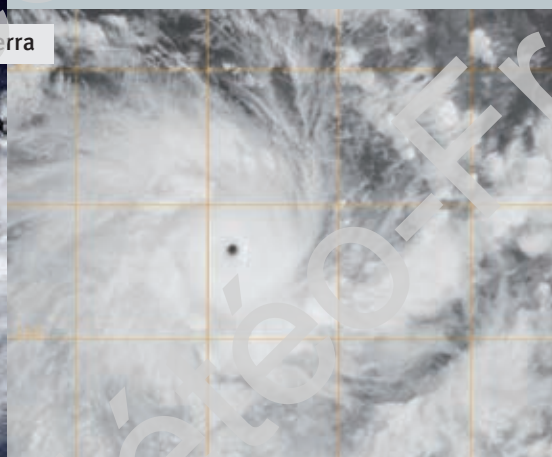
everything seemed henceforth to be set for the cyclogenesis to take place at short notice, the process remained extremely slow and almost another 24h would elapse before it became effective, at the dawn of 7 December, when the stage of tropical depression was considered as being reached.

EVOLUTION

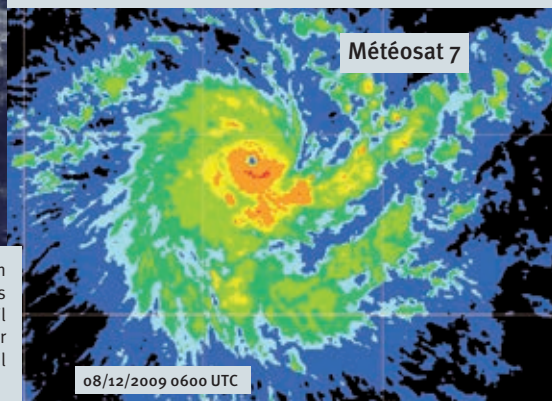
However, after that laborious genesis phase, the system would abruptly go into overdrive. As early as the morning of 7 December, the gain in organization was unquestionable and very rapidly, before midday, what looked like a warm spot feature even appeared, within the space of a few hours, within the CDO, giving an

illusion of the formation of an embryonic eye. Yet the meteor was still far from reaching the stage of tropical cyclone, as it was just granted for the time being the status of moderate tropical storm (and the name that went with it, CLEO). That analysis was corroborated by the altimetric measures of an Envisat swath, which exactly intercepted the centre of the phenomenon. But such a prominent structuring of the cloud system at such an early stage led one to expect an important potential of development. Which was going to be confirmed very quickly, even beyond expectation.

As a matter of fact, a phase of explosive development followed, during which CLEO would intensify at an exceptional rate gaining about three points in 24h on the Dvorak intensity scale (compelling to break the constraints that are normally imposed on the maximum rates of intensification, by the rules of the Dvorak technique for intensity analysis). An eye formed on the microwave imagery at the



CLEO, when becoming an intense tropical cyclone, after a very rapid intensification phase. Although it had not yet reached its intensity peak, as better attested by the enhanced infrared image (when compared to that acquired two hours later – see page 26 –, which clearly showed the difference in intensity, with a convective ring surrounding the eye associated with even colder cloud tops), the cyclone already displayed an impressive presentation on the satellite imagery, a sign of its obvious mightiness. The definition and the sharpness of the eye (about 15 km wide) are worth noticing.



CLEO devient cyclone tropical intense, après une intensification expresse. Bien que n'ayant pas encore atteint son pic d'intensité, comme en atteste mieux l'image en infrarouge renforcé (en comparant avec celle acquise deux heures plus tard – voir page 26 –, qui montre bien la différence d'intensité, avec un anneau de convection entourant l'œil associé à des sommets nuageux encore plus froids), le cyclone affiche déjà une impressionnante présentation sur l'imagerie satellitaire, signe de son évidente puissance. On notera, en particulier, la définition et la pureté de l'œil (d'une quinzaine de km de diamètre).

very end of the afternoon of 7 December. It consolidated and then shrank as the hours went by. On the infrared imagery there was an usual time gap and the eye did not appear until the end of the night. CLEO became a tropical cyclone at dawn on 8 December.

The meteor, which continued its west-southwestward motion, had crossed latitude 10°South a little while before and was then centred at 630 km to the southeast of the Diego Garcia atoll. For 24h, it had been skirting an area of high ocean heat content and arrived underneath the upper ridge axis, thus benefiting from a weak vertical windshear and from an excellent upper divergence, on the western and southern sides in particular.

The system ran amuck. Favoured by the very small size of the central core of the meteor (see Aqua image page 23), which facilitated that type of extreme evolution, the intensification process, which was already fast, accelerated even more during the morning and became totally unbridled, with an eye that warmed up and gained in definition on each new image. However, that frantic intensification could not last indefinitely and soon ended at the beginning of the afternoon of 8 December. At its culmination, CLEO was a tropical cyclone of strong intensity. Around the small eye of about 15 km in diameter, the winds were estimated to blow at 105 knots (195 km/h) on 10-min average, which meant that peak gusts at sea almost reached 150 knots (i.e. 275 km/h). 36 hours earlier, to-be CLEO was nothing but a simple tropical disturbance ! Such evolution, which represented a jump of about four points on the Dvorak intensity scale in the interval, was quite exceptional, but however outstanding it was, it was not unprecedented, as it could be compared to BOND O's, which at the

time, in December 2006, was described as "astounding".

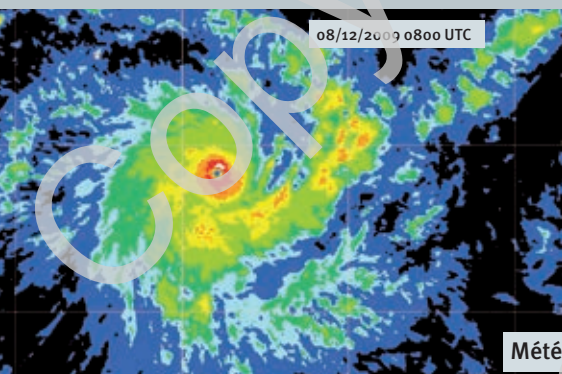
CLEO was not going to maintain its maximum of intensity for long. Hardly had the rocketing intensification up to the climax stopped, when a weakening phase started. As a matter of fact the "fall" was going to be less brutal than the rise in intensity, but it proved to be rather severe all the same, resulting into CLEO's rapid decay. From prior the end of the afternoon, the eye became evanescent on the visible and infrared imagery. The loss in organization exhibited as clearly on the microwave imagery. And early in the morning of 9 December, one had to downright refer to dismantling, even though, due to the assumed windfield inertia, CLEO was still ranked as a tropical cyclone.

That fit of faintness was astonishing considering its magnitude and the fact that it occurred so quickly. At the outset, the cause of that tendency reversal was not obvious. At first sight, one could have been tempted to blame inner processes, for the outer environment of the storm did not show any evident deterioration. The analyses from the CIMSS indeed indicated an increase in the vertical windshear, but it was relatively marginal and was not really made manifest on the satellite imagery, as such is the case generally. Thus the fanning of cirrus around the meteor did not look as being disturbed or hindered by any outer constraint and had kept all its splendour on the infrared satellite imagery. Nevertheless, it definitely

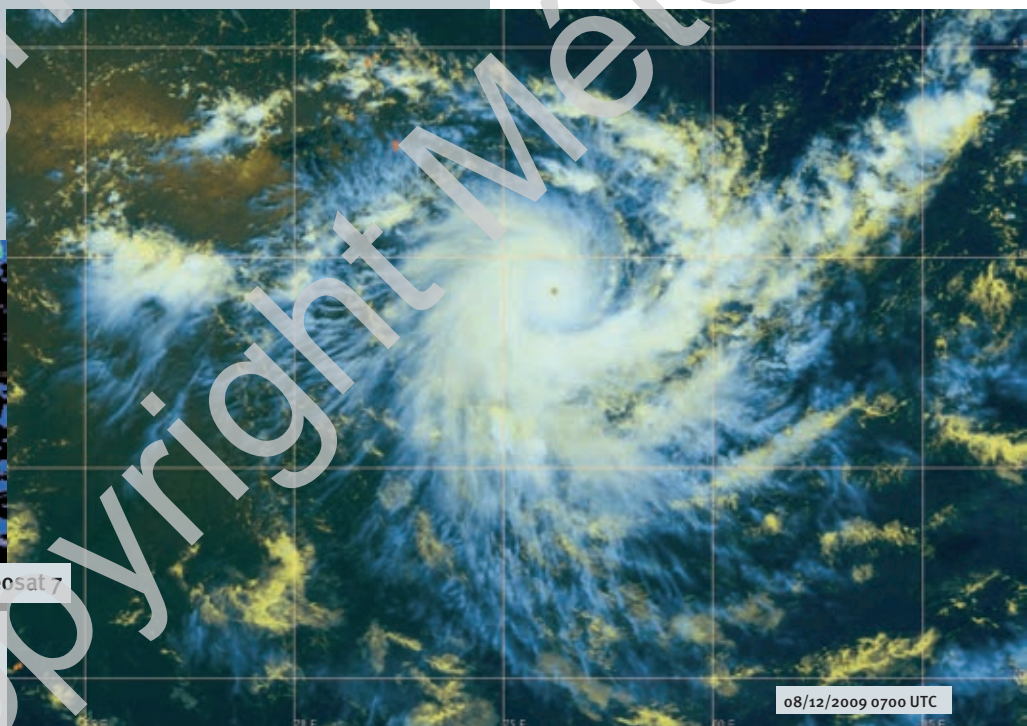
dans la nuit, ce qui permet la reconstitution transitoire d'un pseudo-cœur d'altitude sur l'imagerie micro-onde (demeurant toutefois déphasé au sud de la circulation de basses couches). Un tel regain d'organisation temporaire est supposé stopper momentanément le processus d'affaiblissement. Mais il ne s'agit souvent que d'une rémission éphémère, ce qui va être le cas cette fois encore.

Au matin du 10, la contrainte cisailée reprend le dessus et ne tarde pas à provoquer le découplage entre la convection et le centre de basses couches, qui devient apparent sur l'imagerie visible avant la mi-journée, exposé en bordure de la masse nuageuse convective. CLEO est déclassé en tempête tropicale modérée. Parallèlement à l'augmentation du cisaillement de vent, de l'air sec de basses couches, bien visible sur les images micro-ondes à l'ouest du système, commence à s'immiscer au sein de la circulation dépressionnaire et contribue à accélérer le processus de dégénérescence de CLEO. Au matin du 11, la convection s'est entièrement volatilisée et ne subsiste plus qu'un vortex résiduel de basses couches entièrement exposé. Le minimum de pression centrale repasse au-dessus du seuil des 1000 hPa.

Le comblement se poursuit ensuite au cours des jours suivants, mais très lentement. L'ex-CLEO poursuit dans le même temps sa route en direction de l'ouest-sud-ouest, avant d'obliquer en direction du sud-sud-ouest en tout début de journée



CLEO atteint son maximum d'intensité au sud-est de l'archipel des Chagos.
CLEO, when reaching its maximum of intensity southeast of the Chagos Archipelago.



Début d'affaiblissement de CLEO. Le météore a perdu son œil depuis déjà plusieurs heures, mais est encore classé cyclone tropical (par inertie du champ de vents). Il bénéficie toujours d'une bonne divergence d'altitude et les magnifiques cirrus présents au nord du système nuageux convectif, qui remontent jusqu'à proximité de l'île de Diego Garcia, lui confèrent un look très iroquois...

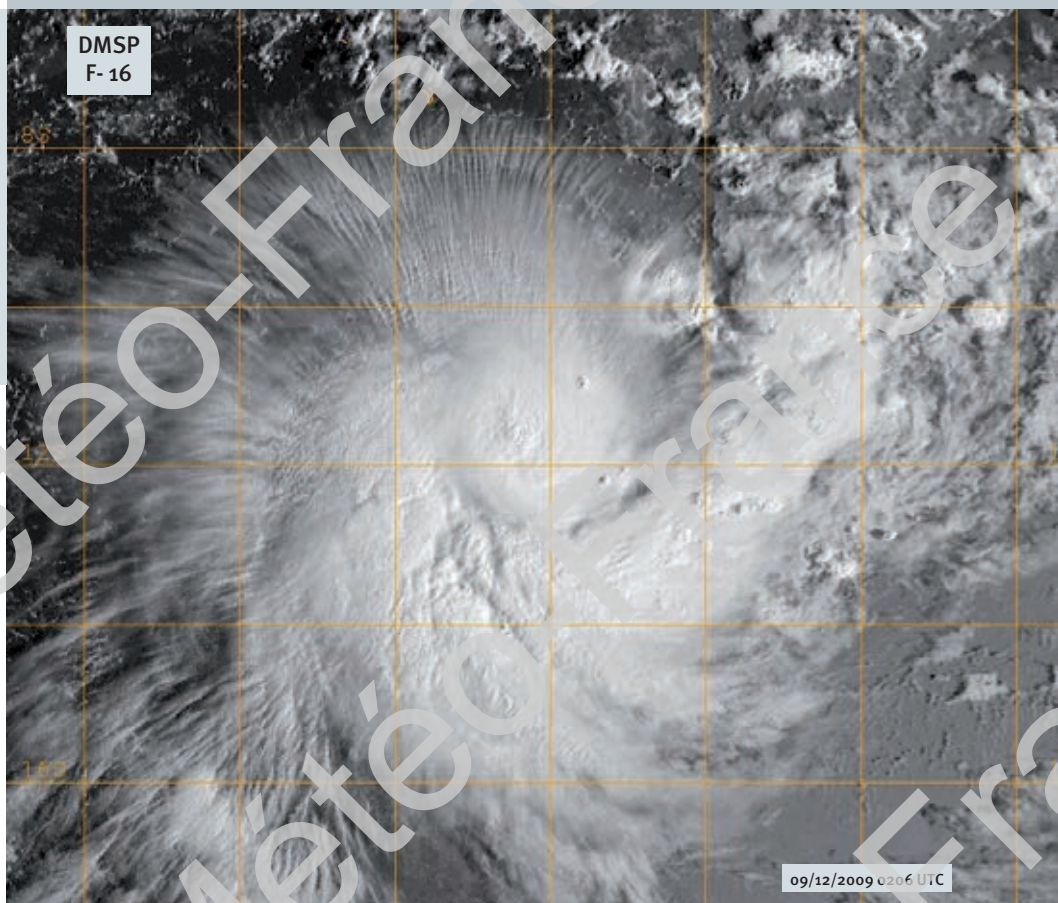
Initial weakening phase of CLEO. The meteor lost its eye a few hours ago but is still ranked as a tropical cyclone (by inertia of the windfield). It still benefited from a good upper divergence and the splendorous cirrus clouds blowing off to the north of the main convective cloudshield that brushed against the island of Diego Garcia, bestowed it a Mohawk haircut style...

du 13, sous l'influence de l'approche par le sud-ouest d'un talweg frontal (alors au sud de Madagascar), ce qui le fait transiter au sud-est de l'archipel de St-Brandon la nuit suivante. En liaison avec une atténuation sensible du cisaillement vertical de vent, de la convection a repris assez vigoureusement la nuit du 12 au 13 au voisinage du minimum dépressionnaire (alors estimé à 1003 hPa), mais sans que cela autorise une quelconque régénérescence du météore.

Et la convection s'effondre à nouveau le 14 : s'éloignant de la dorsale d'altitude, ex-CLEO subit à nouveau des conditions fortement cisailées. La faible circulation dépressionnaire résiduelle continue sa progression en direction du talweg précité et franchit le 20^{ème} parallèle Sud dans l'après-midi du 15, presque à mi-distance entre Maurice et Rodrigues. Alors que tout laisse à penser qu'il va maintenant s'évacuer vers le domaine subtropical, le tourbillon résiduel de CLEO rate l'appel du talweg et est finalement repris le 16 en journée par la dorsale qui lui succède. Il vient achever de se dissiper non loin au sud-est de la Réunion le 17 décembre.

CLEO aura été le système dépressionnaire emblématique de cette saison 2009-2010, de par son cycle de vie en accéléré, qui lui a fait atteindre une intensité conséquente malgré une longévité en tant que système mature des plus brèves (trois jours et demi seulement passés au stade de tempête tropicale ou cyclone – sans un peu plus de 30h en tant que cyclone). Son intensification explosive restera comme une des plus remarquables qu'il ait été donné d'observer sur le bassin. Venu mourir dans le secteur des Mascareignes, il n'a eu aucune conséquence significative (même pluvieuse) sur les îles de l'archipel.

DMSP
F-16

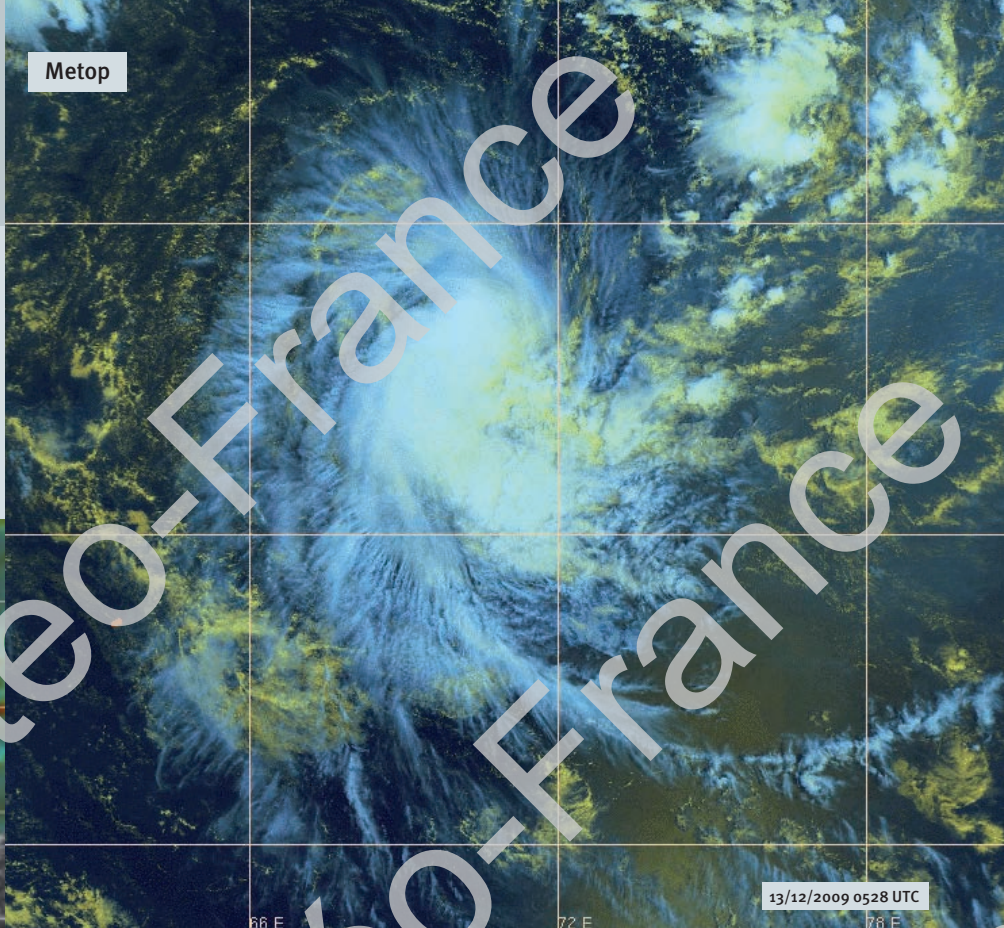
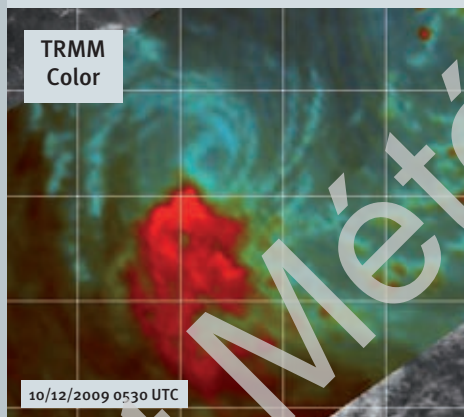


09/12/2009 0206 UTC

seemed that the vertical windshear was indeed involved. The evolution observed on the microwave imagery left no doubt as to the presence of a north-northeasterly ventilation affecting the system and resulting in an exposed centre pattern – on the boundary of the convection –, at the beginning of the afternoon of 9 December. But one had to conclude that the ventilation must have been present in a stretch of atmosphere situated at a lower height than the level at which the upper outflow was evacuated and could be viewed on the classical imagery (in the shape of a cirrus wreath). Be that as it may, CLEO felt the blow's effect and lost its status as a tropical cyclone as soon as midday on 9 December. The weakening went on until the beginning of the following night, the speed of the strongest winds was then estimated to have been divided almost by two from the moment when the maximum of intensity had been reached, barely more than 24h earlier. According to a scenario that is regularly observed, the convection regained strength during the night, which allowed an upper eye-like feature to rebuild on the microwave imagery (yet it was kept out of phase to the south of the low-level circulation). Such a temporary revival in

organization is supposed to momentarily interrupt the weakening process. But it is often a short-lived remission, which was to be the case once again. In the morning of 10 December, the sheared constraint gained the upper hand again and soon brought about the decoupling between the convection and the low-level centre, which became conspicuous on the visible imagery before midday, exposed on the edge of the convective cloud mass. CLEO was downgraded as a moderate tropical storm. Along with the increase in the windshear, low-level dry air, clearly visible on the microwave imagery to the west of the system, began to interfere within the clockwise circulation and contributed to accelerating CLEO's waning process. In the morning of 11 December, the convection had vanished altogether and there remained only an entirely exposed residual low-level vortex. The minimum low rose above the threshold of 1000 hPa. Then the filling trend went on during the following days, but very slowly. At the same time Ex-CLEO kept travelling towards the west-southwest, before slanting towards the south-southwest at the very beginning of 13 December, under the influence of a frontal trough

CLEO lors de sa phase d'affaiblissement. Evoluant alors à mi-chemin entre l'île Rodrigues (au sud-ouest) et l'archipel des Chagos (au nord), CLEO subit un cisaillement vertical de vent de nord-nord-est. Guère évident sur l'imagerie classique, où il est masqué par les cirrus associés à un flux sortant d'altitude encore bien portant (car s'effectuant au-dessus du niveau où s'exerce la ventilation de nord-nord-est), le cisaillement est par contre flagrant sur l'imagerie micro-onde, qui montre un découplage déjà important entre le vortex nuageux de basses couches et la convection résiduelle.

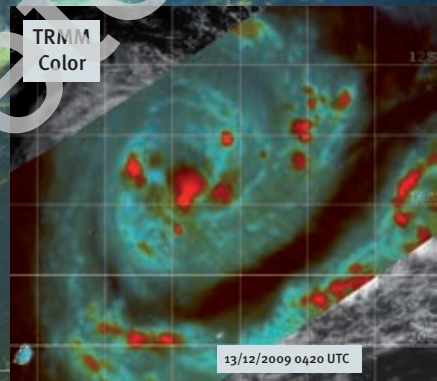
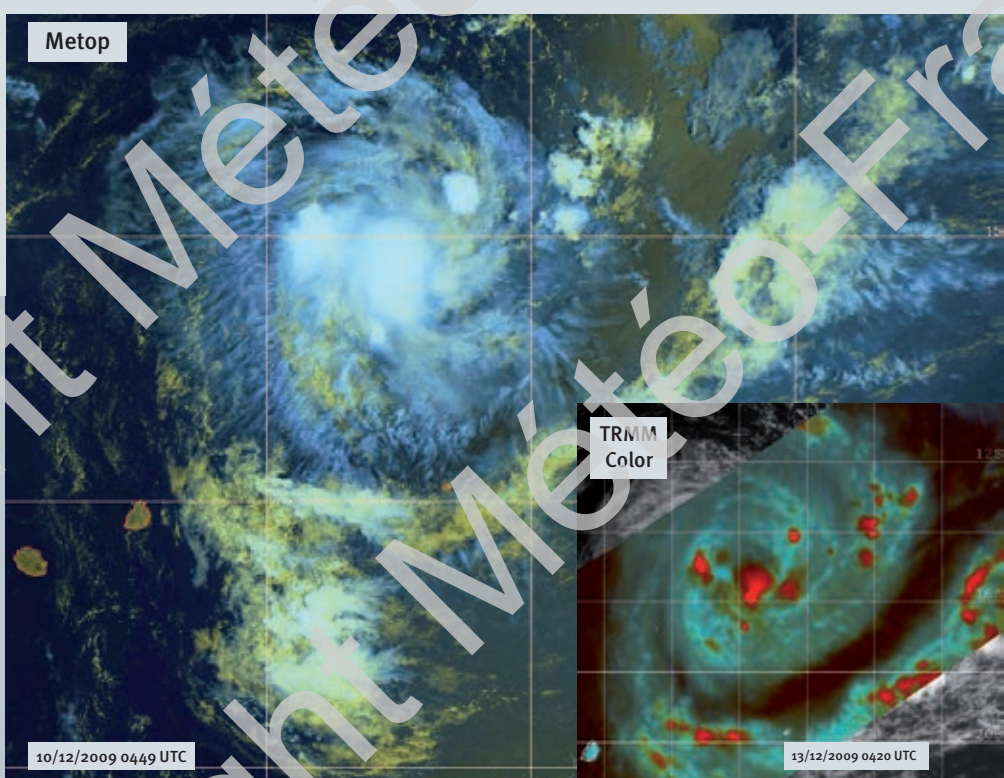


Decaying phase of CLEO. Then standing almost halfway between Rodrigues Island (to the southwest) and the Chagos Archipelago (to the north), CLEO was undergoing a north-northeasterly vertical windshear. Not much obvious on the classical imagery, where it was hidden by the cirrus clouds associated with the upper-level outflow (still in good health as taking place at a level situated above the north-northeasterly ventilation), the windshear was conversely flagrant on the microwave imagery, which showed an already important decoupling between the low-level cloud vortex and the residual convection.

(situated then to the south of Madagascar) approaching via the southwest. As a result of a significant abatement of the vertical windshear, some convection had resumed rather vigorously the night before in the vicinity of the low (then estimated at 1003 hPa), but without favouring any regeneration of the meteor.

And the convection collapsed again on 14 December, as Ex-CLEO edged away from the upper ridge and underwent strong sheared conditions again. The weak remnant low kept heading towards the aforementioned trough and crossed latitude 20° South in the afternoon of the 15th, almost halfway between Mauritius and Rodrigues. Whereas it definitely looked as if the system would now withdraw towards the subtropical domain, CLEO's residual swirl missed the trough and was eventually caught up by the ensuing ridge on December 16. It ended dissipating to the southeast of La Réunion on 17 December.

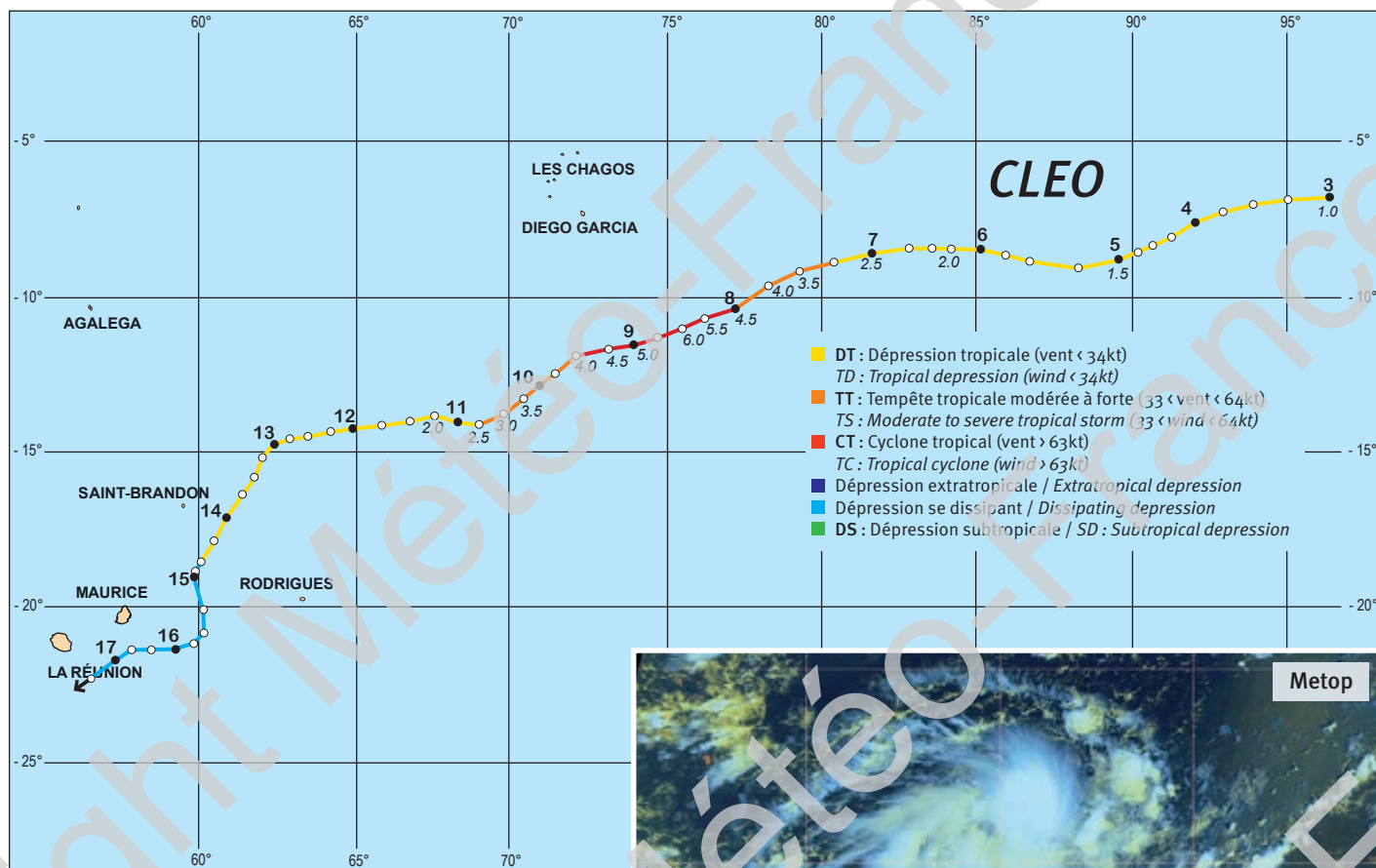
CLEO was the storm emblematic of the cyclone season 2009-2010. Its "speeded-up" life-cycle made it peak at a fairly strong intensity despite quite a short-lived



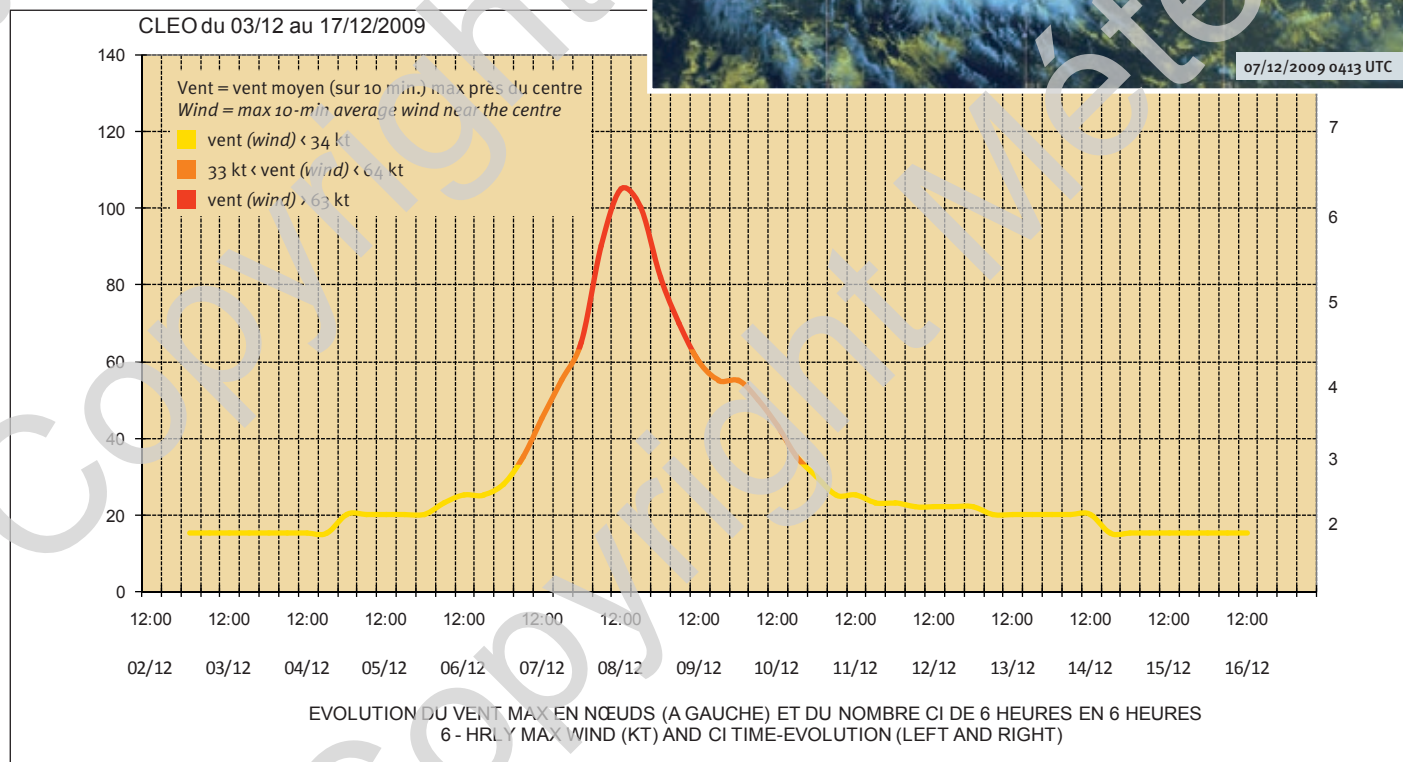
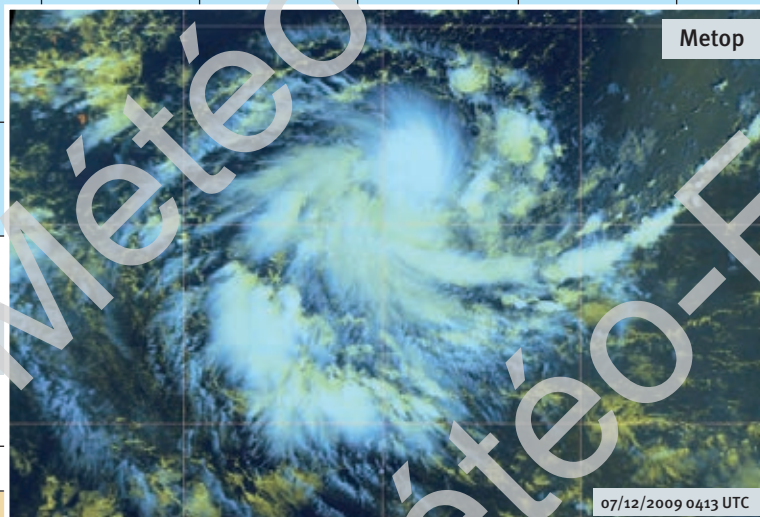
period spent as a mature system (staying only three and a half days as a tropical storm or tropical cyclone – including slightly more than 30h spent as a bona fide tropical cyclone). Its explosive intensification will remain as one of the most outstanding ever observed in the basin. Its dying phase in the middle of the Mascareine Archipelago resulted in virtually no significant consequences (even in term of rain) for the islands.

Fin de vie de CLEO. En phase de comblement, le météore connaît un illusoire dernier sursaut au nord-est de St-Brandon. Mais la poussée de convection affichée (favorisée par une divergence d'altitude propice) se révélera vaine et l'ex-cyclone achèvera son existence dans la zone des Mascareignes trois jours plus tard.

End of CLEO's life-cycle. During its filing phase the meteor went through a delusive last attempt of revival to the northeast of St-Brandon. But the transient puff of convection displayed (favoured by a propitious upper divergence) would turn out to be vain and the former cyclone would end its existence in the Mascarene area three days later.



CLEO atteint le stade de tempête tropicale modérée à l'est de Diego Garcia.
CLEO becoming a moderate tropical storm to the east of Diego Garcia.



David

Tempête Tropicale Modérée du 12 au 31 décembre 2009

Moderate Tropical Storm "David" (12-31 December)



FORMATION

L

Le 11 décembre 2009, deux zones d'activité convective (très morcelée) sont présentes sur le bassin. L'une occupe l'espace entre les Seychelles et les Chagos et correspond en fait au sillage humide et instable de la dépression résiduelle de l'ex-CLEO, qui est en cours de comblement au nord-est des Mascareignes. L'autre se situe à cheval entre les zones Sud-Ouest et Sud-Est de l'océan Indien, de part et d'autre du 90^{ème} méridien Est donc. Mais se déplaçant vers l'ouest, le plus gros de l'activité nuageuse associée ne tarde pas à passer à l'ouest de cette frontière virtuelle séparant les deux portions du bassin. Un minimum dépressionnaire mal défini, estimé à 1005 hPa, est ainsi analysé légèrement à l'ouest de 85°Est le lendemain, en lien avec cette zone perturbée.

Celle-ci prend une tournure suspecte la nuit suivante (du 12 au 13), la convection montrant des signes patents d'organisation, avec la constitution de ce qui pourrait s'apparenter, de prime abord, à une bande incurvée. En fait il s'agit plutôt d'une pseudo-bande incurvée, dont la durée de vie s'avère très courte (quelques heures seulement), avec du coup un impact très marginal sur la petite circulation dépressionnaire embryonnaire, comme le confirme l'orbite matinale Ascat du 13, dont le radar diffusiomètre ne détecte que des vents de l'ordre de 20 nœuds. A ce stade, la convergence de basses couches reste limitée, comme le montre aussi très bien cette même fauchée Ascat, où le minimum dépressionnaire apparaît complètement isolé au sein d'une assez large zone tampon de vents faibles, qui fait qu'il n'est connecté ni à l'alizé au sud, ni aux vents

d'ouest proche-équatoriaux. Mais si les conditions ne sont pour l'heure pas réunies pour une cyclogenèse, on ne se doute alors pas qu'il va falloir au système patienter une bonne semaine avant de trouver, enfin, des conditions plus propices à un développement...

Et durant ce long intermède, il va déjà lui falloir survivre. Se présentant la majeure partie du temps sous la forme d'un amas de convection assez compact mais relativement informe, il doit notamment passer le cap d'une sérieuse mise à l'épreuve le 16, jour où la convection se volatilise presque entièrement (soufflée par une ventilation de sud-ouest), laissant le vortex de nuages bas complètement exposé. Ce cisaillement sera toutefois suffisamment transitoire pour ne pas être fatal ; et après cette grosse alerte, la convection peut se rétablir assez rapidement.

Les jours suivants voient le système se déplacer en direction générale de l'ouest-nord-ouest, ce qui le fait remonter jusqu'au nord du 12^{ème} parallèle Sud (alors qu'il était descendu passagèrement jusqu'à 15°Sud le 15 décembre). La grande courbe ainsi décrite depuis son origine l'a amené à traverser une bonne partie du bassin, un périple de huit jours qui s'est avéré stérile jusque là. Mais la persévérance va finir par être récompensée.

Parvenue à quelque 2500 km à l'ouest de son point de départ, la zone perturbée va amorcer une évolution. Ô combien timidement certes, car il est dit depuis le début que rien ne pourra se faire dans la facilité. Au matin du 20, on observe une ébauche de structuration du système. Mais si l'on discerne enfin un centre bien défini, c'est aussi parce-que les volutes de nuages bas du vortex qui l'entoure se dévoilent partiellement en marge ouest de la convection, indication claire

que le système souffre à nouveau d'une contrainte cisailée (d'ouest cette fois).

Mais si ce cisaillement vertical de vent très modéré (estimé à environ 10 nœuds par les analyses du CIMSS) est suffisant pour freiner le développement du météore, il ne saurait le contrecarrer complètement. Les images micro-ondes successives montrent ainsi une amélioration lente, mais indéniable, de la définition du vortex de nuages bas central, ce qui laisse supposer un renforcement de la vorticité et donc un creusement de la dépression associée au système. Mais rien ne vaut le révélateur de mesures vraies, même indirectes et par nature sujettes à une certaine marge d'erreur et d'interprétation, telles que des mesures de vents dérivées de données diffusiométriques, pour valider une impression visuelle ou même une analyse satellitaire. La chance veut qu'en l'occurrence deux orbites successives du satellite Ascat aient intercepté la circulation dépressionnaire de ce système n 07. La première, acquise en première partie de nuit du 20 au 21 décembre, montre un système très proche du stade de dépression tropicale, avec du grand frais présent sur près de la moitié de la circulation dépressionnaire. L'orbite suivante, de la matinée du 21, indique un léger supplément global dans la force des vents, avec du grand frais maintenant présent sur plus de la moitié de la circulation, confortant le classement en dépression tropicale opéré la nuit précédente.

On notera que cette cyclogenèse, qui a mis tant de temps à se dessiner mais que l'on peut considérer comme quasiment aboutie désormais, s'est produite suite à l'amélioration très nette intervenue préalablement au niveau de la convergence de basses couches et consécutive au renforcement des vents survenu du côté équatorial, avec un flux de mousson qui s'est établi franchement et qui converge directement vers la dépression.

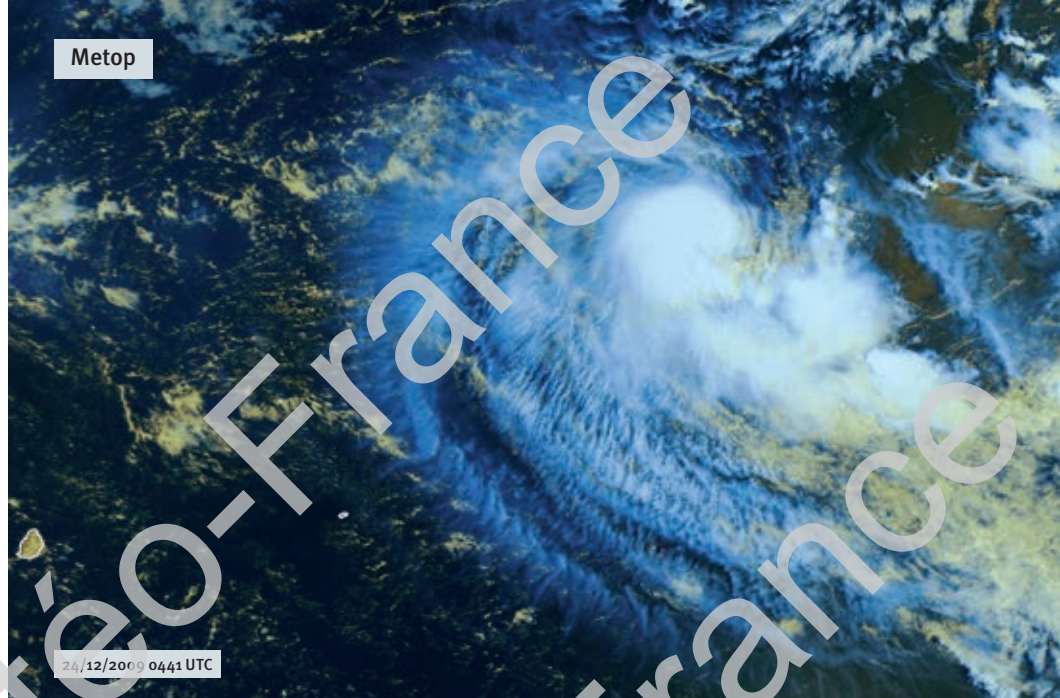
Cette évolution s'est accompagnée d'un changement de trajectoire de la perturbation. Alors que son déplacement était piloté depuis plusieurs jours par la dorsale subtropicale, celle-ci se retrouve maintenant concurrencée par une cellule anticyclonique de basse et moyenne troposphère centrée près de l'Equateur (et sur la façade occidentale de laquelle s'est établi ce flux de mousson assez puissant). Prise en sandwich entre ces deux centres d'action, qui génèrent des flux directeurs de directions opposées, la dépression ralentit sa progression

en direction de l'ouest-nord-ouest dans l'après-midi du 20, puis rebrousse chemin la nuit suivante, revenant alors sur ses pas. L'affaiblissement de la dorsale subtropicale au sud et son retrait vers l'Afrique, font que c'est finalement la cellule proche-équatoriale qui a pris le dessus et dicte maintenant le flux directeur de la perturbation. On peut, par ailleurs, avancer l'hypothèse que ce revirement complet de trajectoire, avec un déplacement en direction de l'est-sud-est (très atypique – surtout aussi tôt dans la saison cyclonique), a également pu participer du processus d'intensification, en tendant à atténuer le cisaillement de vent (de manière relative – i.e. dans un repère lié à la dépression), puisque celui-ci se retrouve désormais orienté dans le même sens que le déplacement du système.

EVOLUTION

Après un étiolement temporaire de la convection constaté dans l'après-midi du 21 décembre (probablement sous l'effet du cycle diurne), l'activité nuageuse se renforce au fil de la nuit suivante (le cycle diurne, ou nocturne en l'occurrence, y étant aussi certainement pour beaucoup). Mais si l'évolution apparaît spectaculaire sur l'imagerie classique (voir image page 32), elle l'est beaucoup moins sur l'imagerie micro-onde, qui montre toujours un centre de basses couches décalé au nord-ouest de la convection. Si bien que l'évolution observée en infrarouge s'apparente plutôt à une évolution du type CCC (Cold Cloud Cover – Couverture Nuageuse Centrale Froide). Le météore est tout de même crédité d'un petit gain d'intensité, d'où son classement en tempête tropicale modérée, dénommée DAVID.

En journée du 22, le déplacement est-sud-est s'accélère, excédant temporairement les 25 km/h, ce qui induit une baisse supplémentaire du cisaillement vertical de vent (relatif). Cela permet une mise en phase de la convection avec le centre de la circulation dépressionnaire, comme en atteste l'imagerie micro-onde de la fin de journée, avec un impact immédiat sur l'intensité du météore, ce qui se concrétise visuellement par une amélioration au niveau de la signature micro-onde de la structure de basses couches du système (voir image Aqua en canal 36 GHz page 33). Si d'un point de vue qualitatif le gain d'intensité apparaît avéré, le quantifier arithmétiquement est nettement plus délicat. En temps réel, il avait été estimé suffisant pour autoriser une promotion de DAVID au grade de forte tempête tropicale. En analyse a posteriori, cela n'a pas été le



La tempête tropicale modérée DAVID loin au nord-est de l'archipel des Mascareignes (dont seuls Maurice et l'île Rodrigues sont visibles sur cette image).

Moderate tropical storm DAVID far to the northeast of the Mascarene Archipelago (Mauritius and Rodrigues Islands being solely visible on this picture).

FORMATION

On 11 December 2009, two areas of convective activity (quite broken up) were present over the basin. There was one stretching from the Seychelles to the Chagos and which corresponded in fact to the moist and unstable wake of Ex-CLEO's residual depression, that was filling up to the northeast of the Mascarenes at that time. The other one was then straddling the South-West and South-East Indian Ocean areas, on either side of longitude 90°East. But as it was moving westward, it did not take long for most of the associated cloud activity to pass to the west of that virtual frontier separating the two sections of the basin. An ill-defined low, estimated at 1005 hPa, was thus analysed slightly to the west of longitude 85°East on the following day, in connection with that zone of disturbed weather.

The latter became suspect during the following night (12 to 13 December), as the convection showed obvious signs of organization, with the formation of what could be described, at first sight, as a curved band. In fact it was rather a pseudo-curved band, which proved to be short-lived (a few hours only), with as a result a very marginal impact on the small embryonic clockwise circulation, as confirmed by the Ascot morning orbit of 13 December (the scattometer radar only detected winds of about 20 knots). At that stage, the low-level convergence remained very limited, as it was also very clearly witnessed by that same Ascot swath, where the low appeared to be completely isolated within a rather extensive buffer zone of weak winds, so that it was connected neither to the trade winds to the south, nor to the near-equatorial

westerly winds. However, if the conditions were not favourable to cyclogenesis for the time being, one could not surmise that the system would have to wait for more than a week to meet, at last, better conditions to start developing...

During that long period of time, it had to survive first. Appearing most of the time as a ball of convection, fairly compact, but rather shapeless, it had in particular to pass a difficult test on 16 December, on the day when the convection disappeared almost entirely (blown off by a southwesterly ventilation), leaving the vortex of low clouds completely exposed. Yet that shearing would not last long enough to be fatal; and after that serious warning, the convection could re-establish rather rapidly.

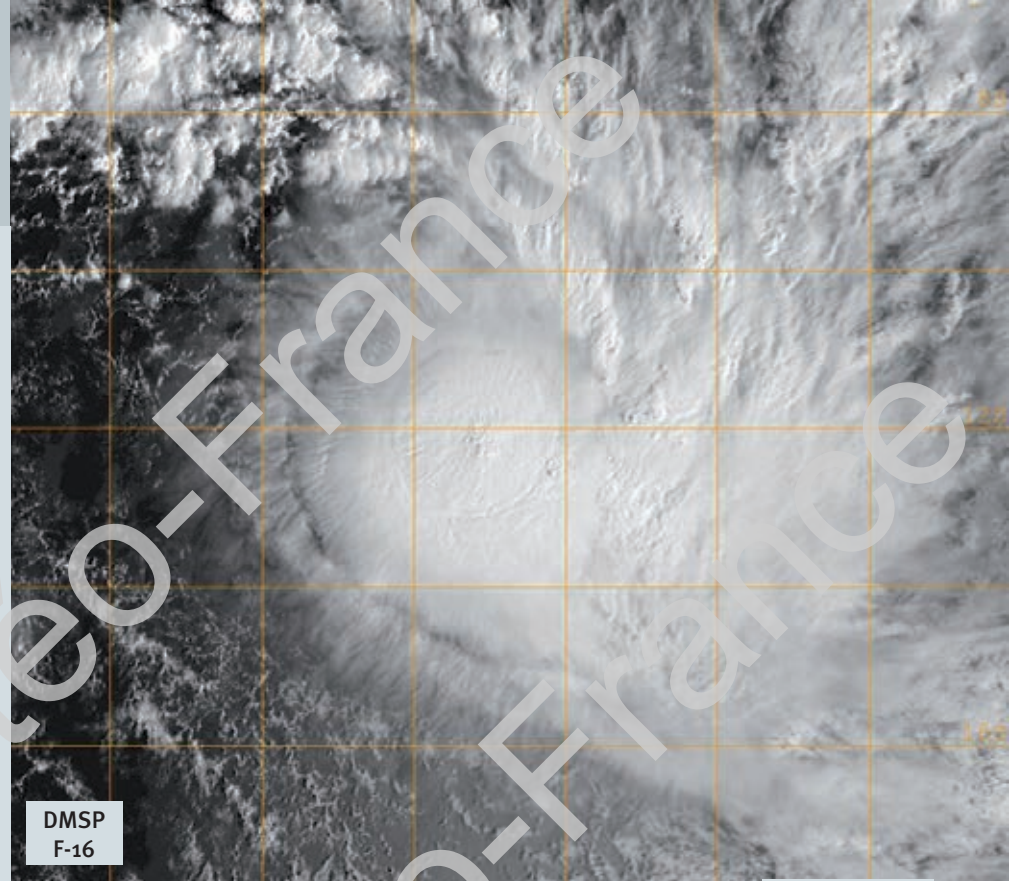
The following days the system moved in a general west-northwesterly direction, up to the north of latitude 12°South (whereas it had transiently gone down to latitude 15°South on 15 December). The large curve it had described since its origin thus had made it cross a large part of the basin, an eight-day journey which had proved to be sterile up to then. But its perseverance was eventually rewarded. Having arrived some 2500 km to the west of its starting point, the zone of disturbed weather would initiate some evolution. Well, very shyly indeed, as it was written since the beginning that nothing would be easily done. In the morning of 20 December, the incipient structuring of the system could be observed. But if a well-defined centre could at last be discerned, it was also because the volutes of low clouds of the vortex that surrounded it were partially unveiled to the west of the convection, a clear indication that the system was again undergoing a sheared constraint (westerly this time).

DAVID : une illusion d'intensification. Au vu de cette simple image visible matinale du système nuageux de DAVID, il serait aisé de se méprendre, tant sur la localisation du centre de la circulation dépressionnaire que sur l'intensité du phénomène. Mais l'imagerie micro-onde est heureusement là pour remettre les choses à leur juste réalité, permettant à la fois de mieux positionner le centre mais aussi de tempérer l'impression laissée par l'image visible : avec un centre que l'on devine exposé en bordure nord-ouest de la convection, il apparaît que le système demeure à un stade d'intensité très modéré, contrarié qu'il est par une contrainte cisailée (estimée à une dizaine de nœuds sur la carte de cisaillement du CIMSS).

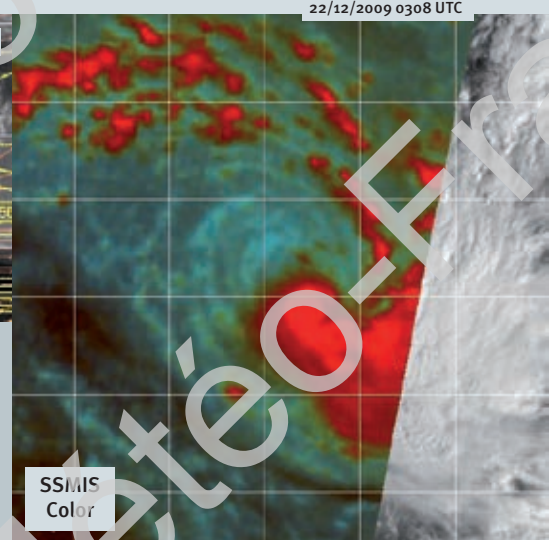
DAVID : an illusion of intensification. In view of this single visible image of DAVID's cloud system acquired in the early morning of 22 December, it could be easy to misapprehend the situation, both about the localisation of the centre of the clockwise circulation and about the intensity of the phenomenon. But fortunately the microwave imagery was available to help establish the real facts, and to make it possible both to better position the centre and to temper the impression left by the visible image : with a centre that could be guessed as being exposed nearby the northwestern boundary of the convection, it appeared that the system had remained at a very moderate stage of intensity, thwarted by a sheared constraint (estimated at about 10 knots on the CIMSS windshear map).

Yet if the very moderate vertical windshear (estimated at 10 knots by the CIMSS) was able to slow down the development of the meteor, it could not completely thwart it. Indeed the successive microwave images showed that there was a slow but unquestionable improvement of the definition of the central vortex of low clouds, which led one to assume an enhancement of the vorticity and therefore a deepening of the depression associated with the system. But there is nothing like true measures to ascertain the reality of things, even indirect and naturally subject to a certain margin of error and of interpretation, such as measures of winds derived from scattometer data, and to validate a visual impression or even a satellite analysis. Luckily in that case two successive orbits of the Ascat satellite intercepted the clockwise circulation of system n°7. The first one, acquired during the first part of the night of 20 to 21 December, revealed a system that had nearly reached the tropical depression stage, with near gale force winds present over almost half of the clockwise circulation. The next orbit, in the morning of 21 December, indicated a slight global additional gain in the windfield's strength, with near gale force winds now present over more than half of the circulation, endorsing the upgrading to the tropical depression stage done the night before.

It is worth noticing that that cyclogenesis, which took so much time to unfold but that could be considered almost achieved now, took place as a consequence of the downright improvement of the low-level convergence having occurred previously



and consecutive to the wind surge intervened on the equatorial side, with a monsoon flow which had definitely settled and was converging towards the depression. That evolution occurred in conjunction with a change of heading of the disturbance. Whereas its motion had been driven for several days by the subtropical ridge, the latter had then to compete with a low and mid troposphere high centred near the equator (and on whose western side that rather powerful monsoon flow had settled). Sandwiched between those two centres of action, which generated steering flows in opposite directions, the depression slowed down its west-northwest motion during the afternoon of 20 December, then turned back during the following night, and retraced its path. The weakening of the subtropical ridge to the south and its withdrawal towards Africa eventually resulted in the near-equatorial cell gaining the upper hand and then dictating the steering flow of the disturbance. Besides, one can possibly assume that that sudden and complete change of trajectory towards the east-southeast (quite atypical – especially so early in the cyclone season), may also



cas et l'intensité a été revue à la baisse, maintenant DAVID en tempête tropicale modérée, pour ce qui correspondra en fait à son maximum d'intensité. Car le météore ne va pas pouvoir aller au-delà de ce stade d'intensité. Au fil de la journée du 23 décembre, on note un essoufflement évident du phénomène ; le flux sortant d'altitude apparaît anémié et la convection en pâtit, le transit au-dessus du système d'un fond de talweg d'altitude n'étant peut-être pas étranger à cet état de fait. On observe ensuite un regain d'organisation le lendemain, spectaculaire au niveau du flux sortant d'altitude, qui apparaît comme ressuscité et plus vaillant qu'il n'a jamais été, tandis qu'une petite virgule nuageuse et convective, pouvant être qualifiée de bande incurvée, se constitue, donnant l'illusion du début d'un nouveau cycle d'intensification. Mais il s'agit en fait plutôt là du chant du

cygne et du dernier sursaut du phénomène. Dès la nuit suivante, l'imagerie micro-onde montre un découplage croissant entre le centre de la circulation de basses couches et la convection. Au matin du 25 décembre, les premières images en canal visible montrent, sans surprise, un système nuageux complètement cisaillé, avec un centre exposé bien au nord de la convection résiduelle. L'ex-DAVID redevient une simple perturbation tropicale dans l'après-midi.

Le processus de cisaillement s'est accompagné parallèlement de l'arrêt de la progression du météore vers l'est-sud-est. Avec un flux directeur désormais à rechercher en basse troposphère et un anticyclone subtropical qui reprend des couleurs au sud, la donne a changé. Après 36h d'hésitation, durant lesquels l'ex-DAVID effectue une petite boucle sur place, à quelque 700 km au sud-sud-ouest de Diego Garcia, le minimum dé-

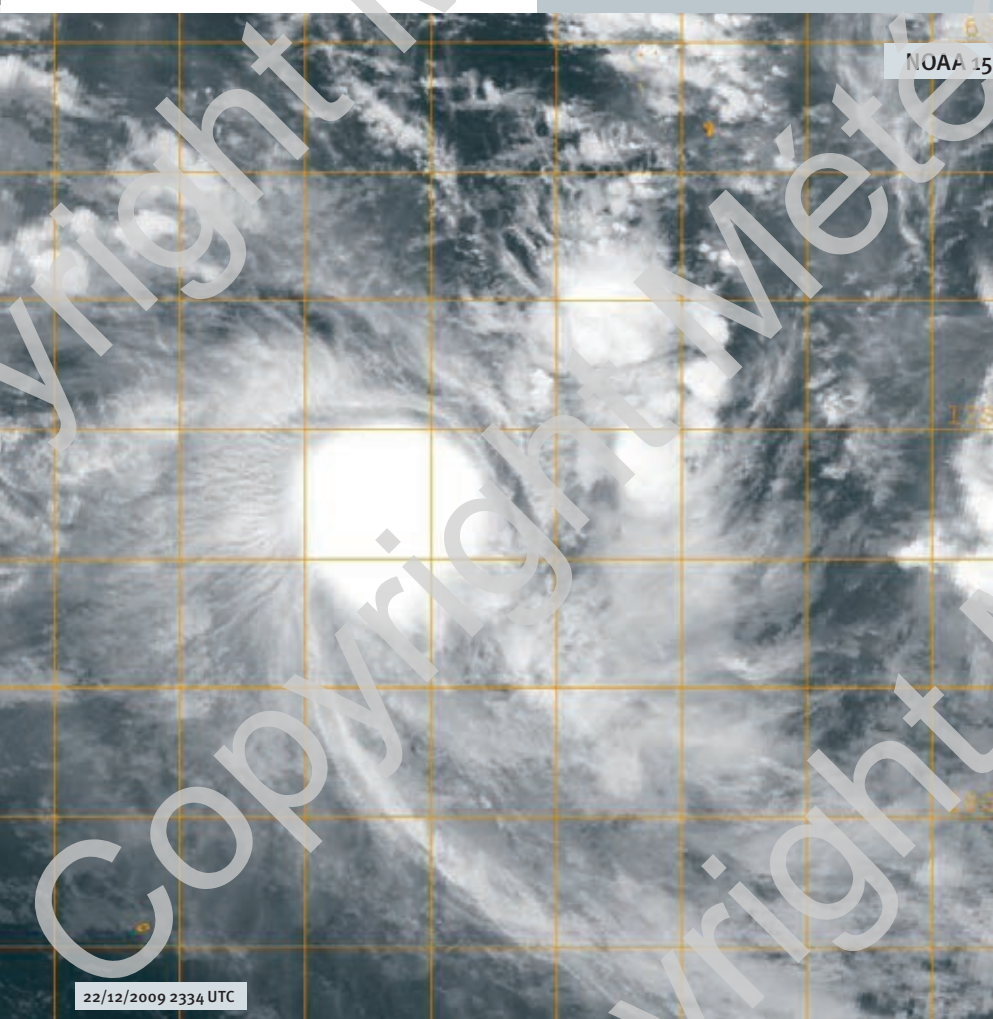
have played a part in the intensification process, as it tended to abate the vertical windshear (in a relative way – i.e. in a reference frame linked with the depression), since the latter was henceforth oriented in the same direction as the motion of the system.

EVOLUTION

After a temporary decline of the convection observed in the afternoon of 21 December (probably under the influence of the diurnal cycle), the cloud activity gained strength during the following night (the diurnal, or nocturnal cycle in that case, likely being largely responsible for that as well). But if the evolution looked spectacular on the classical imagery (see image opposite), it was not so significant on the microwave imagery, which still showed a low-level centre displaced to the northwest of the convection. So that the evolution observed on the infrared

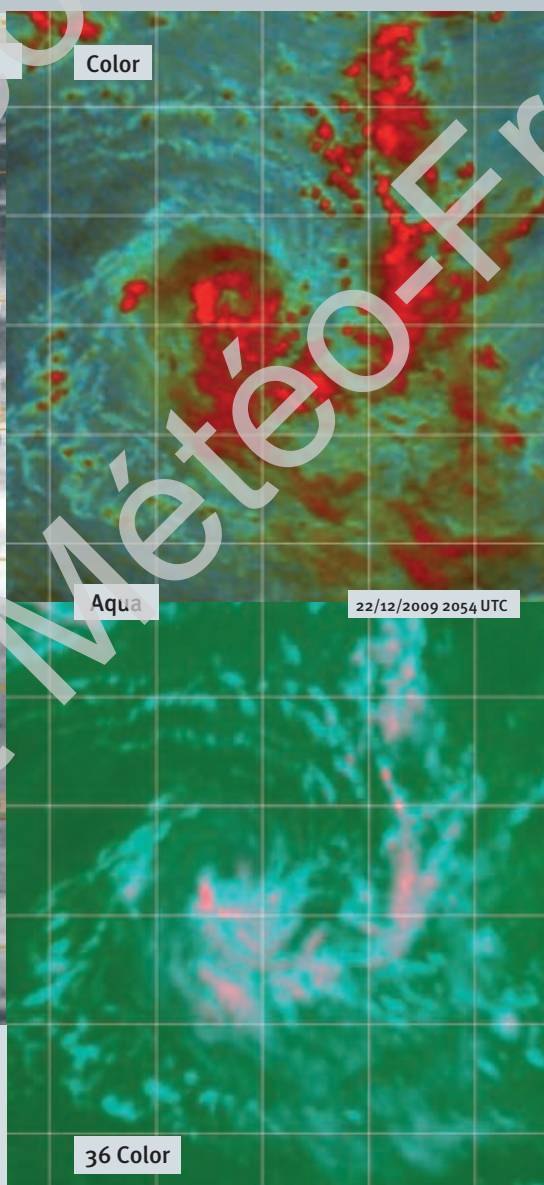
imagery was rather similar to a CCC type evolution (Cold Cloud Cover). Nevertheless, the meteor was granted a limited gain of intensity and so was ranked as a moderate tropical storm, named DAVID.

During 22 December, the east-southeastward motion was accelerated, temporarily above 25 km/h, which led to an additional abatement of the (relative) vertical windshear. That enabled the convection to become vertically aligned with the centre of the clockwise circulation, as witnessed by the microwave imagery at the end of the day, with an immediate impact on the intensity of the meteor, materializing visually by an improvement of the microwave signature of the low-level structure of the system (see Aqua image on 36 GHz channel – below). If from a qualitative point of view the gain in intensity did not seem deniable, quantifying it arithmetically was much more challenging. In real-time, it had been estimated to be



La tempête tropicale modérée DAVID à son maximum d'intensité. Le météore se présente sous la forme d'un amas nuageux central dense, dont l'imagerie micro-onde du satellite Aqua (en canal 39 GHz - image Color) montre le manque d'organisation nette de la convection associée.

Moderate tropical storm DAVID at its maximum of intensity. The cloud pattern displayed by the meteor was that of a central dense overcast. The lack of clear organization of the associated convection was definitely revealed by the microwave imagery from the Aqua satellite (on the 89 GHz channel - Color image).



36 Color

sufficient to warrant an upgrade of DAVID to the severe tropical storm stage. After the post-analysis it was stated that such was not the case and the intensity was lowered, maintaining DAVID at the stage of moderate tropical storm, which would in fact correspond to its maximum of intensity.

Because the meteor would turn out to be unable to go beyond that stage of intensity. As the day of 23 December passed, signs of waning of the phenomenon could be noticed; the upper outflow looked almost extinguished and the convection suffered from that (the transit above the system of the northern end of an upper trough may have been involved in this situation). A revitalization in organization could then be observed on the next day, quite spectacular as regards the upper outflow, which seemed to have come alive again so to speak and to be more vigorous than ever, while a small convective cloud comma, which could be assimilated to a curved band, took shape, looking as if a new intensification cycle had started. But it was rather the swan song, and the last burst of energy of the phenomenon.

As early as the following night, the microwave imagery depicted an increasing decoupling between the centre of the low-level circulation and the convection. In the morning of 25 December, the first images on the visible channel showed, no wonder, a completely sheared cloud system, with a centre exposed to the far north of the residual convection. Ex-David was downgraded as a simple tropical disturbance in the afternoon.

The shearing process happened conjointly with the end of the meteor's motion towards the east-southeast. With a steering flow from then on to be found in the lower troposphere and a subtropical high which was regaining strength in the south, the situation had changed. After hesitating for 36h, during which Ex-David made a small loop on the spot, some 700

km to the south-southwest of Diego Garcia, the residual low eventually headed towards the west in the morning of 26 December, for a quite logical final track. It filled very slowly during the following days. Transiting near the islets of the St Brandon Archipelago at the end of the night of 28 to 29 December, with a minimum pressure validated at 1005 hPa, it was accompanied by an impressive longitudinally oriented convective cloud "band", which had developed rather brutally during the previous night and that stretched over hundreds of km, as far as south of Mauritius Island, where that rain "band" generated significant rainfall in the morning of 29 December (70 mm recorded at Vacoas). The related advection of moisture also had repercussions on La Réunion, where heavy rains fell right afterwards on the heights of the East of the island (over 250 mm recorded in 24h at the shelter of La Fournaise volcano, or 182 mm recorded in 12h at Salazie, between 29 and 30 December). Meanwhile the cloud band had disintegrated and the residual clouds dissipated before the end of the year over the waters close to Madagascar.

DAVID had run counter to the majority of the other systems of the 2009-2010 season (whose life-cycles were rather short, but which developed very easily) : in spite of a long life-cycle, by far the longest one of all the systems monitored during the season, it could never meet the adequate conditions for a full development, which compelled it to reach a ceiling as a system of very moderate intensity.

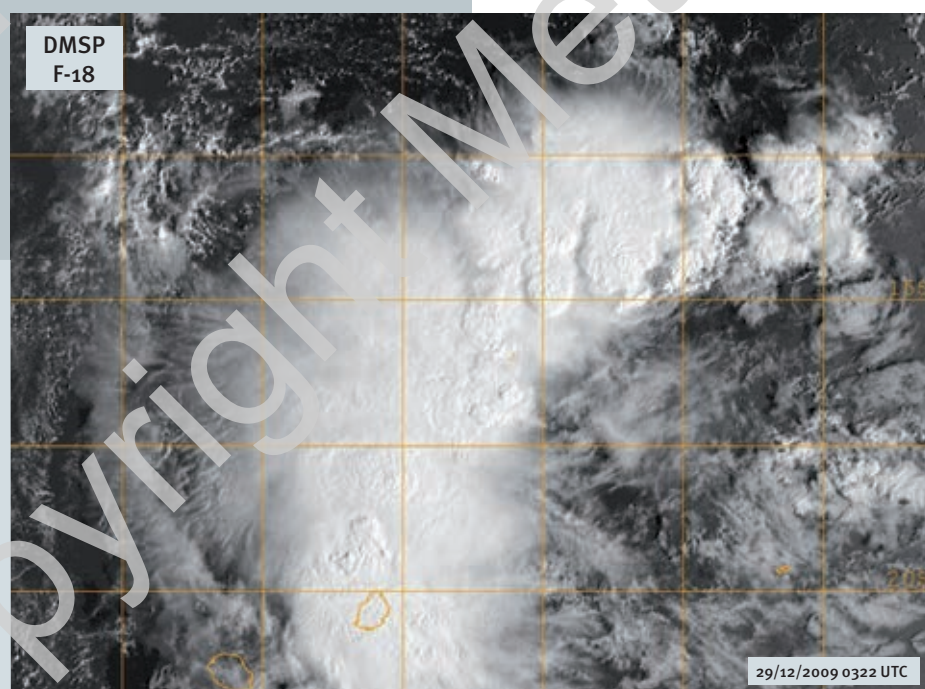
pressionnaire résiduel repart finalement vers l'ouest au matin du 26, pour une trajectoire de fin de vie logique.

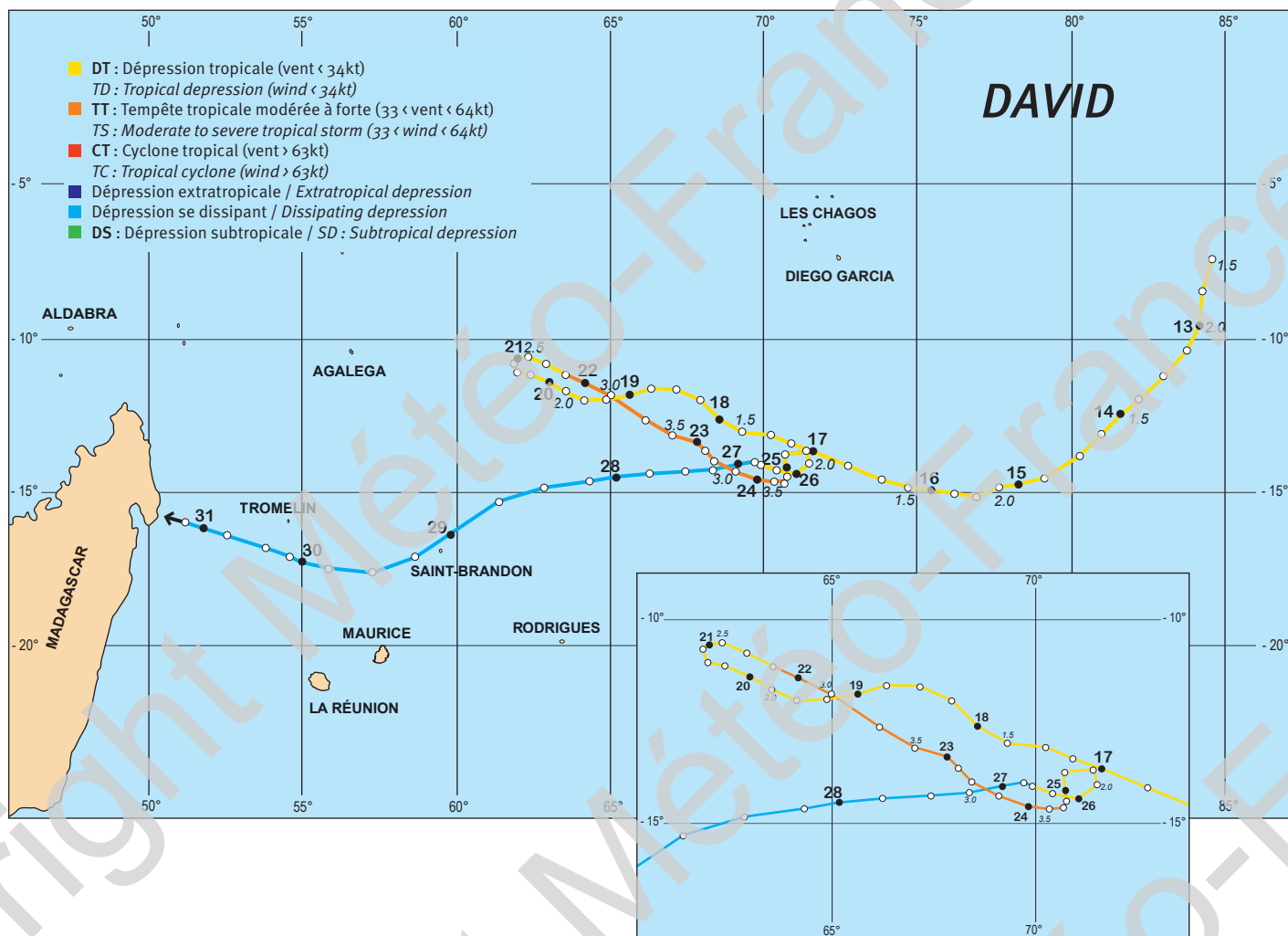
Il se comble très lentement au cours des jours suivants. Passant à proximité des îlots de l'archipel de St-Brandon en fin de nuit du 28 au 29, avec une pression validée à 1005 hPa, il s'accompagne d'une écharpe nuageuse et convective impressionnante, développée assez brutalement la nuit précédente et qui s'étire sur plusieurs centaines de km, jusqu'au sud de l'île Maurice, où le passage de cette "bande" pluvieuse occasionne de bonnes précipitations en matinée du 29 décembre (70 mm recueillis à Vacoas). Cette advection humide se répercute aussi à La Réunion, où de fortes pluies se produisent dans la foulée sur les hauteurs de l'Est de l'île (plus de 250 mm enregistrés en 24h au gîte du volcan de La Fournaise, ou 182 mm en 12h à Salazie, entre le 29 et le 30 décembre). La bande nuageuse s'est entre-temps désagrégée et les restes nuageux se dissipent avant la fin d'année aux abords de Madagascar.

DAVID aura été à contre-courant de la majorité des autres systèmes dépressionnaires de cette saison 2009-2010 (aux cycles de vie assez courts, mais avec une réelle facilité à se développer) : malgré une durée de vie conséquente, de loin la plus longue de tous les systèmes suivis lors de l'exercice, il n'aura jamais pu trouver les conditions de son épanouissement, plafonnant à une intensité très modérée.

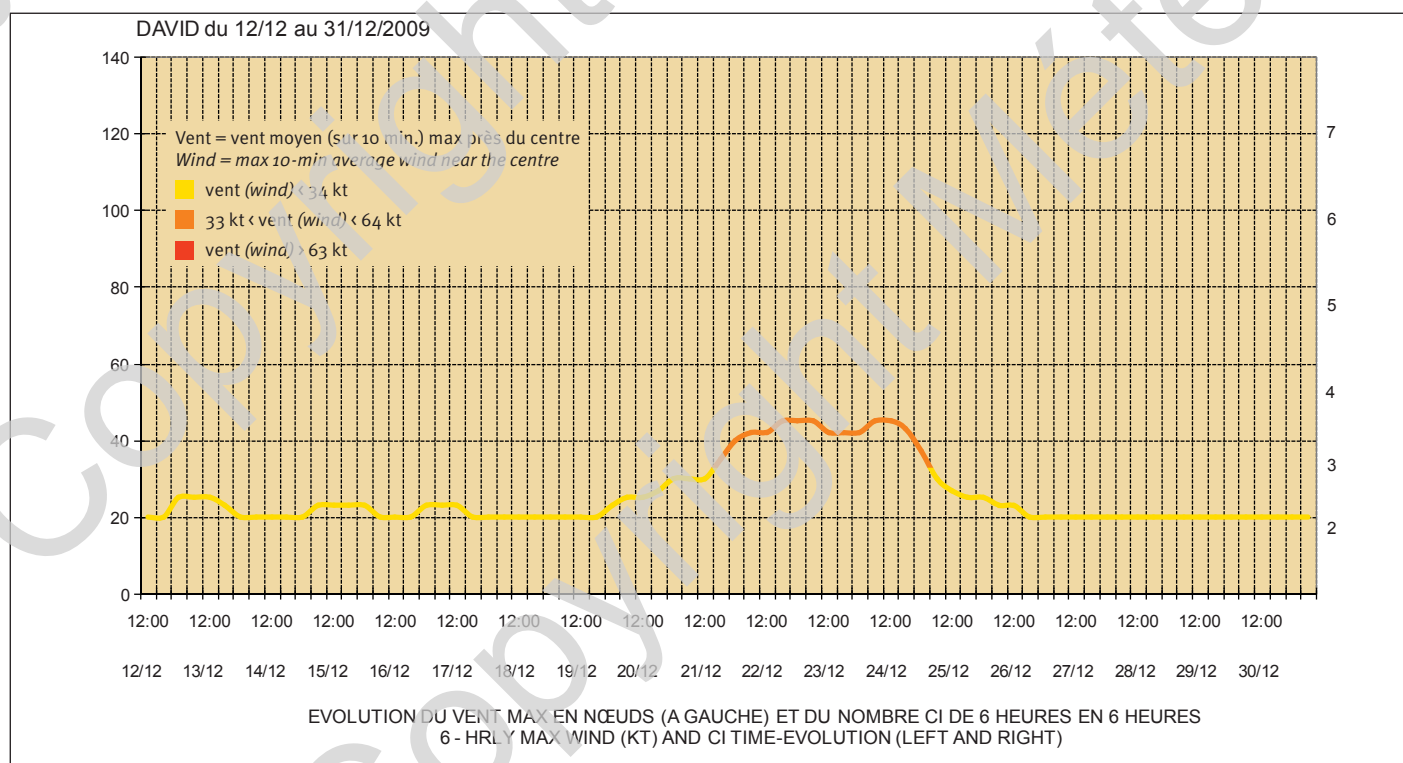
L'ex-DAVID, en fin de vie, génère de fortes pluies temporaires sur l'île Maurice (et ensuite La Réunion). Dans un dernier sursaut, le météore, dont le minimum dépressionnaire résiduel en voie de comblement (1005 hPa) vient de transiter à proximité de St-Brandon, a développé la nuit précédente une puissante bouffée d'activité pluvio-orageuse, sous la forme d'une bande nuageuse convective, qui affecte l'île Maurice en ce début de journée du 29 décembre.

Ex-DAVID in its death throes generating temporary heavy rain over Mauritius (and La Réunion thereafter). In a last gasp, the meteor, whose related remnant filling low had just transited nearby St-Brandon, had developed a powerful outburst of thunderstorm and rain activity during the preceding night, assuming the shape of a convective cloud band that was affecting Mauritius Island on the early morning of this 29 December.





Météo-France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion



Edzani

Cyclone Tropical Très Intense

du 03 au 15 janvier 2010

Very Intense Tropical Cyclone "Edzani" (03-15 January 2010)



FORMATION

Une phase active de la MJO (oscillation de Madden-Julian) s'est déclarée sur le Sud-Ouest de l'océan Indien en début de dernière décennie de 2009 (voir page 3), son initiation coïncidant avec la maturation de la tempête tropicale DAVID. Sa propagation vers l'est lui fait gagner ensuite le Sud-Est de l'océan Indien au changement d'année, pour venir concerner dans la foulée le "continent maritime", puis le Pacifique avant la fin du mois de janvier.

Cette pulsation de la MJO, la seule d'importance à s'être manifestée au cours de la saison chaude 2009-2010, va essaimer pas moins de six tempêtes tropicales ou cyclones au fil de sa traversée des océans Indien puis Pacifique (dont le cyclone OLI, qui a influencé la Polynésie Française début février). Un seul de ces systèmes aura concerné le Sud-Ouest de l'océan Indien, mais il s'avérera le plus intense de tous et même de toute la saison cyclonique de l'hémisphère Sud. Les prémices de ce système sont à rechercher sur le Sud-Est de l'océan Indien. Si le flux de mousson est établi sur l'ensemble du bassin, c'est sur la partie centre-est de celui-ci qu'il est le plus vigoureux, la pulsation de MJO en cours s'accompagnant – classiquement – d'un renforcement des vents proche-équatoriaux de composante ouest. L'activité convective la plus forte se situe conjointement entre les Chagos et Sumatra, et tout particulièrement dans le secteur nord de l'île Cocos, cette zone de convection étant considérée comme suspecte dès le changement d'année, de la convection y étant présente de part et d'autre du talweg de mousson (axé vers 8°Sud).

Le 2 janvier 2010, la convection se concentre et se regroupe, constituant un

seul foyer principal positionné autour du 10^{ème} parallèle Sud entre 90 et 95°Est. Les conditions environnementales sont globalement favorables : la convergence de basses couches est bonne, tant du côté mousson que du côté alizés ; la divergence d'altitude n'est pas en reste, avec un canal d'évacuation du flux sortant d'altitude qui s'est mis en place du côté ouest à sud de la perturbation. Le seul facteur à même de freiner ou contre-carrer une cyclogénèse est le cisaillement vertical de vent d'est, qui semble trop fort pour le moment. Cela n'empêche pas l'ensemble des modèles numériques de prévoir le creusement de ce minimum dépressionnaire à relativement brève échéance. En réalité, cela va prendre un peu plus de temps.

Le 3 janvier, la convection se déchire et se délite en grande partie, laissant apparaître, légèrement au sud du 10^{ème} parallèle Sud, le vortex de basses couches totalement exposé. Se décalant vers l'ouest, celui-ci franchit le 90^{ème} méridien Est le lendemain matin et pénètre alors en zone de responsabilité du CMRS de La Réunion.

Le système demeure sous l'emprise d'une forte contrainte cisailée : la convection est cantonnée à l'ouest de la zone dépressionnaire, qui apparaît très élongée au matin du 5 sur les données de vents diffusiométriques de l'orbite Ascat matinale, avec la présence sur l'imagerie satellitaire de deux petits vortex, qui se mettent à orbiter l'un autour de l'autre dans l'après-midi. Le passage de la perturbation sur une bouée dérivante dans l'intervalle, a permis de valider un minimum de pression à 999 hPa le matin, en baisse d'un bon hectoPascal l'après-midi (en s'affranchissant bien sûr de la marée barométrique). Cette baisse symbolique aurait pu n'avoir aucune signification ; en fait elle s'avérera marquer le début du creusement de la perturbation.

EVOLUTION

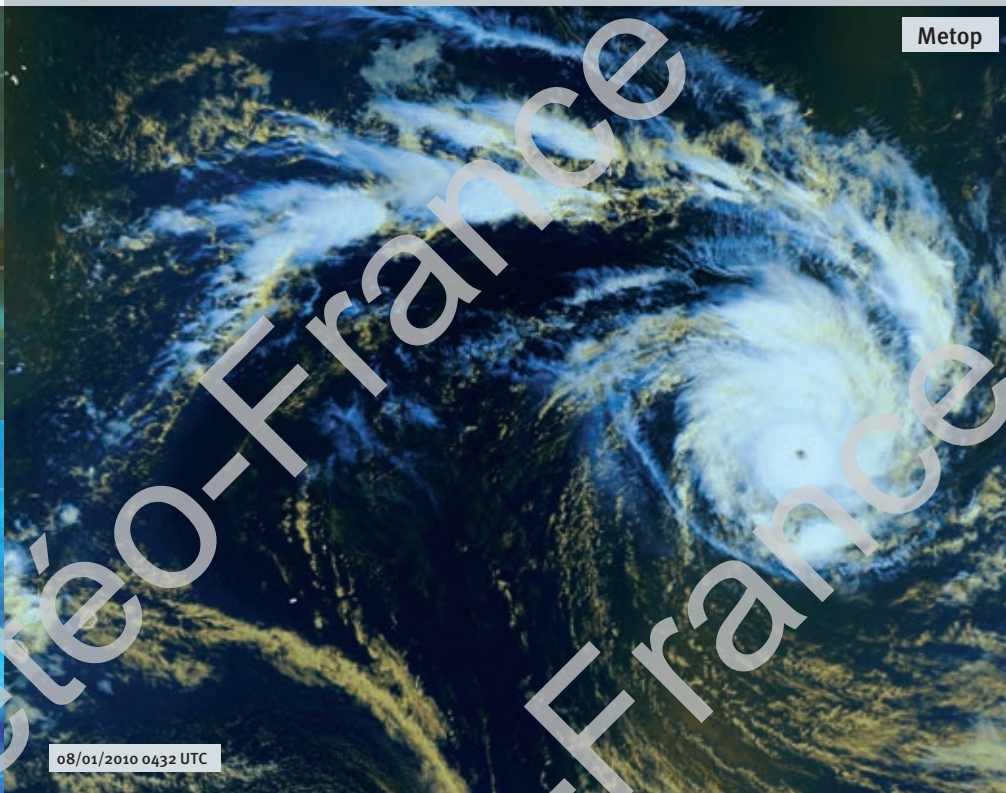
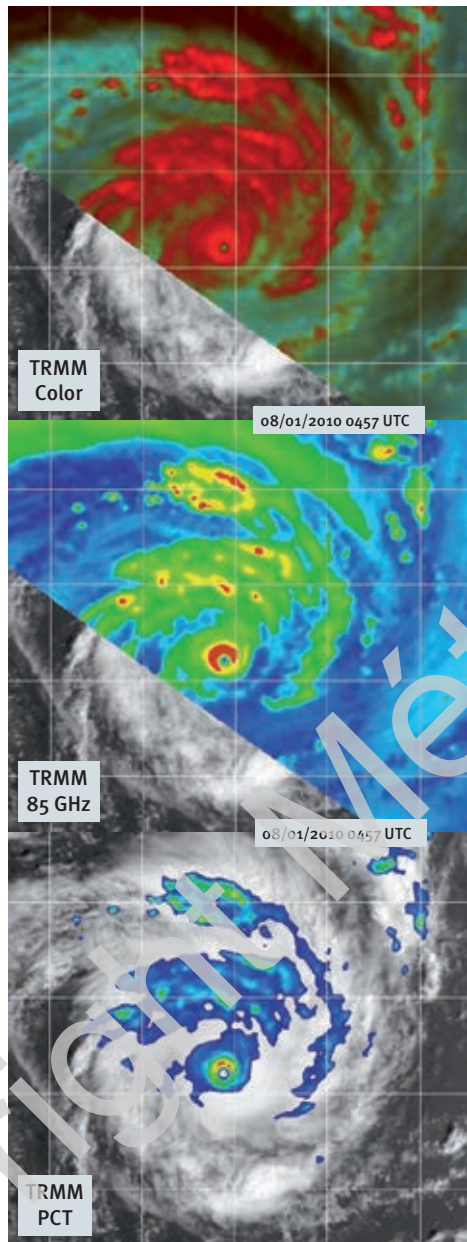
Car dans la nuit du 5 au 6 janvier, la contrainte cisailée commence à se relâcher finalement, passant sous le seuil critique des 20 nœuds (déduction faite de la vitesse de déplacement du système, peu ou prou orientée dans la même direction). Cette baisse du cisaillement vertical de vent, qui va se prolonger au cours des jours suivants, est due pour bonne part à l'inflexion plus sud-ouest de la trajectoire de la perturbation (le long de la façade nord-ouest d'une cellule anticyclonique de basse et moyenne troposphère), qui va tendre à graduellement rapprocher le météore de la dorsale d'altitude.

Les conséquences de l'atténuation du cisaillement se font en tout cas sentir aussitôt. Les données de vents dérivées de l'orbite Ascat acquise en première partie de nuit, montrent une circulation dépressionnaire au cyclonisme nettement plus affirmé que sur l'orbite matinale précédente : les vents y ont gagné quelques nœuds globalement et tournent maintenant de manière presque circulaire autour d'un centre dépressionnaire unique et bien défini. Le stade de dépression tropicale est sur le point d'être atteint.

Parallèlement, la distance de séparation entre la convection et le centre de la circulation dépressionnaire s'est insensiblement réduite. La mise en phase intervient en fin de nuit, ce qui se traduit visuellement par une évolution flagrante de la configuration nuageuse : de la convection profonde se développe autour du minimum dépressionnaire, ainsi que dans le quadrant nord-ouest du système, le tout prenant l'apparence d'une bande incurvée, dont la tête présente même un pseudo-œil dans les couches moyennes sur l'imagerie micro-onde SSMIS du début de matinée du 6 janvier.

Cette signature satellitaire assez impressionnante est toutefois éphémère, ce qui est logique à ce stade d'intensité du phénomène, classé en tempête tropicale modérée (et nommé EDZANI). Elle laisse place rapidement, et pour le reste de la journée, à une structure plus grossière, associée à une configuration de type CDO (Central Dense Overcast – amas nuageux central dense) sur l'imagerie classique visible et infrarouge.

Après une pause relative en journée, l'intensification reprend la nuit suivante, à un rythme qui va rapidement s'emballer. L'intensité analysée va grimper de deux points et demi sur l'échelle de Dvorak au cours des 24h suivantes et de près de quatre points en 48h, correspondant à un creusement du minimum de pression



Metop

EDZANI peu avant son maximum d'intensité. Premier phénomène à être classé cyclone tropical très intense depuis près de cinq ans (le dernier en date étant le cyclone JULIET en avril 2005), EDZANI entre dans le cercle fermé des cyclones figurant parmi les plus violents de ces 20 dernières années sur le bassin du Sud-Ouest de l'océan Indien. On notera la texture particulièrement lisse du CDO central, signe caractéristique de forte intensité, mais également la dimension relativement réduite du cœur central du météore (120 à 130 km de diamètre sur l'imagerie micro-onde).

EDZANI a little while prior to its maximum of intensity. First phenomenon to be ranked as a very intense tropical cyclone since almost five years (the previous one being tropical cyclone JULIET in April 2005), EDZANI integrates the exclusive club of the most violent cyclones observed in the past two decades in the South-West Indian Ocean basin. One can notice the especially smooth texture of the inner CDO, a typical signature of storms with strongest intensities, but also the rather restricted extent of the inner core of the meteor (barely reaching 130 km in diameter on the microwave imagery).

FORMATION

An active phase of the MJO (Madden-Julian oscillation) had sprung to life over the South-West Indian Ocean at the beginning of the last ten-day period of 2009, its appearance coinciding with the maturation of tropical storm DAVID. Its eastward propagation took it then to the South-East Indian Ocean for the change of year, and right after that it spread to the "maritime continent", then to the Pacific before the end of January. That MJO pulse, the only important one that occurred during the 2009-2010 warm season, was to spawn no fewer than six tropical storms or mature cyclones as it moved across the Indian then the Pacific oceans (the farthest east was tropical cyclone OLI, which had an impact on French Polynesia in early February). Only one of those systems concerned the South-West Indian Ocean, but it proved to be the most intense of all and even of the whole cyclone season of the Southern hemisphere.

The early beginnings of that system were to be traced in the South-East Indian Ocean. If the monsoon flow had settled over the whole basin, it was the most vigorous over the central-eastern sector of the latter, as the MJO pulse in progress induced, in a classical way, a strengthening

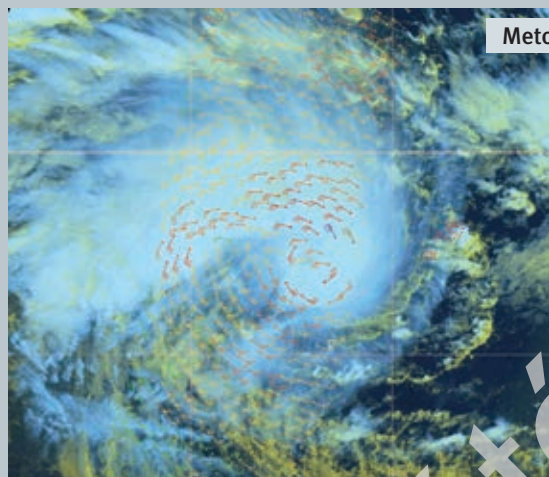
of the near-equatorial westerly winds. The strongest convective activity was situated jointly between the Chagos and Sumatra, and more particularly in the northern sector of the Cocos Island, that area of convection being considered as suspect by the beginning of the new year, because of the presence of convection on both sides of the monsoon trough (which was stretching roughly along latitude 8°South).

On 2 January 2010, the convection gathered and balled, thereby constituting a single main nucleus positioned around latitude 10°South between longitude 90 and 95°East. The environmental conditions were globally favourable: the low-level convergence was good, both on the monsoon side and on the trade winds side; upper divergence was not outdone, with an upper outflow channel, which settled on the western to southern side of the disturbance. The only factor that could slow down or thwart cyclogenesis was the easterly vertical windshear, which seemed too strong for the time being. That did not prevent the numerical models from forecasting in chorus the deepening of that low before long. In fact, it was going to take a little more time.

On 3 January the convection was ripped apart and started to decay for the most

central estimé à 85 hPa dans l'intervalle ! Outre la baisse du cisaillement, cette phase d'intensification débridée peut s'expliquer par le fort potentiel énergétique de l'océan sous-jacent dans la zone où évolue alors EDZANI et par une divergence d'altitude améliorée (sans être exceptionnelle pour autant), le puissant canal d'évacuation du flux sortant d'altitude déjà établi du côté équatorial, ayant reçu le renfort d'un second canal d'évacuation – plus modeste – venu se mettre en place du côté polaire en journée du 7, à la faveur de l'arrivée d'un talweg mobile au sud.

Un œil commence à émerger sur l'imagerie visible en matinée de ce 7 janvier, conduisant au classement d'EDZANI en cyclone tropical avant le milieu de journée. Et l'intensification expresse du phénomène se poursuit : la qualité de l'œil continue de s'améliorer à vue d'œil au fil des heures suivantes, et il devient parfaitement défini dès l'après-midi, tant sur l'imagerie classique que micro-onde. Le météore est "promu" cyclone tropical intense, 7h seulement



Metop

06/01/2010 0333 UTC

Cyclogénèse d'EDZANI. Après un début de vie un peu laborieux, le météore a fini par se développer pour devenir une tempête tropicale modérée en début de journée de ce 6 janvier. Sur cette composition colorée (image ci-contre obtenue par mélange de canaux visible et infrarouge) de l'orbite matinale du satellite défilant Metop2, a été superposé le champ de vents dérivé des données du radar diffusiomètre Ascat embarqué à bord du même satellite.

EDZANI's cyclogenesis. After a somewhat laborious early life-cycle, the meteor eventually managed to develop into a moderate tropical storm in the early morning of 6 January. On this coloured composite image (obtained by mixing visible and infrared channels) from the morning orbit of the polar orbiting satellite Metop2, the windfield derived from the data from the Ascat scatterometer radar on board the same satellite has been superimposed (left).

part, unveiling, a little to the south of latitude 10°South, the fully exposed low-level vortex. The latter shifted westward, crossed longitude 90°East on the following morning hence entering the RSMC's area of responsibility. The system remained under the dominance of a strong sheared constraint: the convection was confined to the west portion of the low pressure area, which appeared much elongated in the morning of 5 January on the scatterometer wind data of the morning Ascat swath, with the presence on the satellite imagery of two small vortices, which started to orbit around each other during the afternoon. In the meantime, the passage of the disturbance over a drifting buoy made it possible to validate a minimum of pressure of 999 hPa in the morning, with a "drop" of slightly over 1 hPa in the afternoon (the barometric tide being removed of course). That symbolic pressure fall might have had no significance; in fact it proved to mark the beginning of the deepening of the disturbance.

EVOLUTION

Because during the night of 5 to 6 November, the sheared constraint started to relax eventually, falling under the critical threshold of 20 knots (after deduction of the motion speed of the system, more or less oriented in the same direction). That abatement of the vertical windshear, which was going to continue during the following days, was mainly due to the southwestward deflection of the trajectory (along the northwest side of a high of low and mid-troposphere), which would tend to gradually bring the meteor closer to the upper ridge. In any case the consequences of the decrease of the windshear could immediately be felt. The wind data derived from the Ascat orbit acquired during the first part of the night showed

a clockwise circulation which had clearly gained vorticity compared to the previous morning orbit. The winds had globally picked up a few knots and now rotated in an almost circular way around a clearly defined single low centre. The stage of tropical depression was about to be reached.

At the same time, the distance between the convection and the centre of the clockwise circulation had lessened imperceptibly. The phasing in took place towards the end of the night, which visually resulted in the striking evolution of the cloud configuration: deep convection developed both around the low and in the northwest quadrant of the system, the whole mimicking a curved band pattern, whose head even displayed an eye-like feature in the mid-levels on the SSMIS microwave imagery at the early morning of 6 January. However, that rather impressive satellite signature was short-lived, which was logical at the stage of intensity the phenomenon was assumed to have reached, i.e. ranked as a moderate tropical storm (and named EDZANI). It rapidly gave way, for the rest of the day, to a coarser structure, associated with a CDO type configuration (Central Dense Overcast) on the visible and infrared classic imagery. After a relative pause during the day, the intensification process was resumed during the following night, at a pace which was going to run amuck. The analysed intensity would gain two points and a half on the Dvorak scale during the next 24h and almost four points in 48h, which corresponded to a deepening of the minimum central pressure estimated at 85 hPa in the meantime!

In addition to the abatement of the windshear, that unbridled intensification phase could be accounted for by the high

après son classement en cyclone tropical. Mais il va encore se passer près de 24h avant qu'EDZANI n'atteigne son maximum d'intensité. Bien que s'opérant à un rythme moins effréné, le processus d'intensification se prolonge encore bon train jusque dans l'après-midi du 8 janvier; dans les heures précédant le pic d'intensité, on observe encore un réchauffement significatif de l'œil (la température du pixel le plus chaud passe de 11.9°C sur l'orbite Metop du matin datée de 0449 utc, à 18.5°C sur l'orbite NOAA 19 de l'après-midi, acquise vers 0918 utc). A son apogée, le système nuageux maintient plusieurs heures durant des analyses manuelles d'intensité Dvorak à 7.0 (supérieures même pour l'ADT – analyse de Dvorak automatisée). Tenant compte des estimations d'intensité moindres dérivées des données AMSU-A, la valeur "optimisée" du maximum d'intensité d'EDZANI a finalement été arrêtée à 120 nœuds en vents moyens sur 10 min (soit plus de 220 km/h, ce qui implique des rafales maximales sur mer supérieures à 300 km/h). Cette intensité classe EDZANI dans la catégorie des cyclones tropicaux très intenses, au même niveau d'intensité que JULIET, dernier cyclone tropical très intense en date répertorié sur le bassin.

Evoluant en plein milieu de l'océan Indien Sud tropical, EDZANI ne menace heureusement personne. Faisant toujours route au sud-ouest, à vitesse un peu plus soutenue depuis la matinée de ce 8 janvier (déplacement à environ 15 km/h), le météore arrive qui plus est sur des eaux devenant de moins en moins chaudes, avec une baisse assez rapide du contenu énergétique océanique sous-jacent, qui n'est à l'évidence plus à même de soutenir un tel niveau d'intensité (sachant qu'EDZANI a

atteint ou tutoie son intensité maximale potentielle depuis son pic d'intensité). Cette limitation énergétique devient de facto la contrainte déterminante pour imposer une tendance baissière à l'intensité du cyclone, car pour le reste, les indicateurs dynamiques sont toujours au vert : le cisaillement vertical de vent demeure faible et la divergence d'altitude n'a jamais été aussi bonne.

Les premiers symptômes, si ce n'est d'affaiblissement, du moins de fin d'intensification, ont commencé à se manifester sur l'imagerie micro-onde, en cette fin de journée du 8 janvier, sous la forme de l'enroulement d'une bande convective externe autour du cœur central du cyclone (voir image SSMIS de la page suivante), configuration caractéristique associée à une forte présomption de cycle de l'œil à venir, ce qui va effectivement se vérifier. Alors que sur l'imagerie infrarouge, aucun signe de faiblesse ne se

oceanic heat content in the area over which EDZANI was then evolving and by the improved upper divergence (without being exceptional for all that), the powerful upper outflow channel already settled equatorward being now seconded by a poleward channel – less powerful – which set up during the day of 7 January, owing to the arrival of a mobile trough to the south.

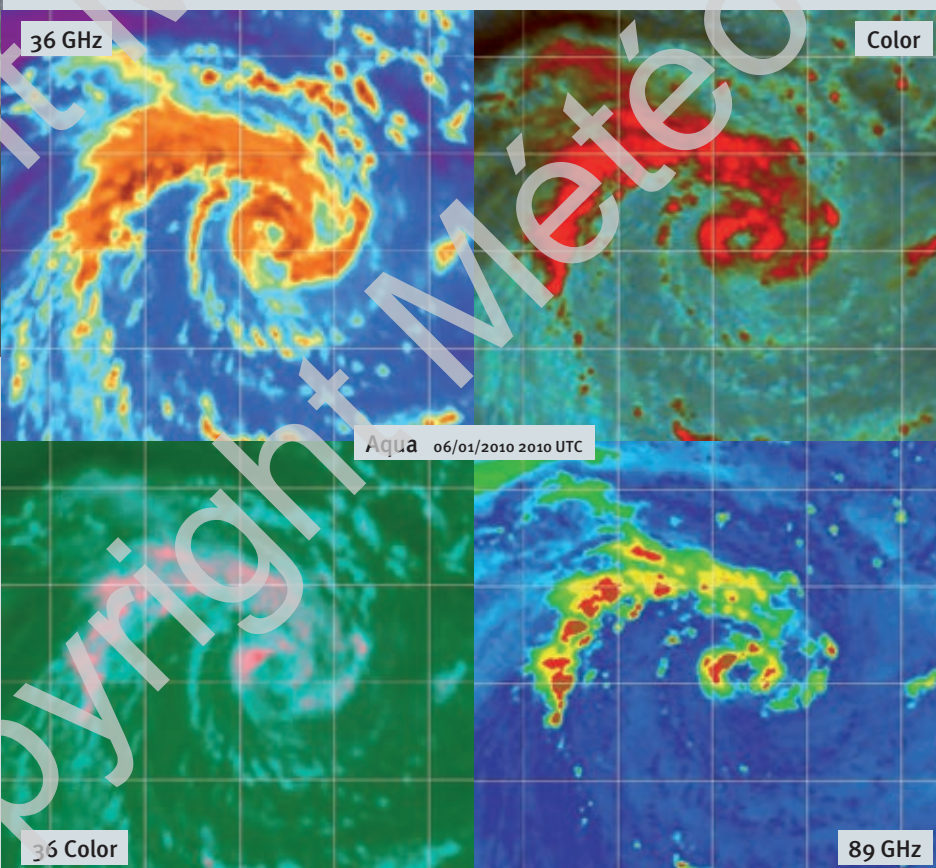
An eye began to appear on the visible imagery during the morning of 7 January, warranting the upgrade of EDZANI into a tropical cyclone before midday. And the very fast intensification of the phenomenon went on : the quality of the eye kept on improving visibly during the next hours, and it became perfectly defined by the afternoon, both on the classical and the microwave imagery. The meteor was promoted to an intense cyclone, only 7h after being ranked as a tropical cyclone. However, another 24h would pass until

EDZANI reached its maximum of intensity. Although the intensification process took place at a less frantic rate, it went on at a good pace until the middle of the afternoon of 8 January; during the hours that preceded the intensity peak, a significant rise in the temperature of the eye was still observed (the temperature of the warmest pixel went up from 11.9°C on the Metop orbit dated 0449 utc, to 18.5°C on the NOAA 19 orbit in the afternoon, acquired around 0918 utc). At its climax, the cloud system maintained for several hours manual Dvorak intensity analyses of 7.0 (even exceeding that figure for the ADT – advanced automated Dvorak analysis). Taking into account the weaker intensity estimates derived from the AMSU-A data, the “optimized” value of EDZANI's maximum of intensity was eventually set at 120 knots for 10-min average winds (corresponding to more than 220 km/h, which implied peak gusts



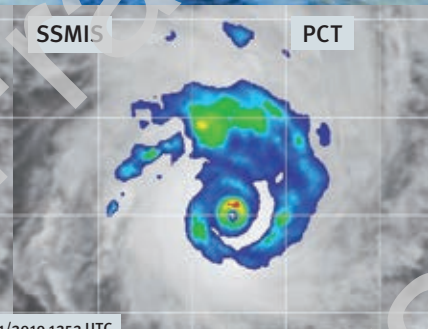
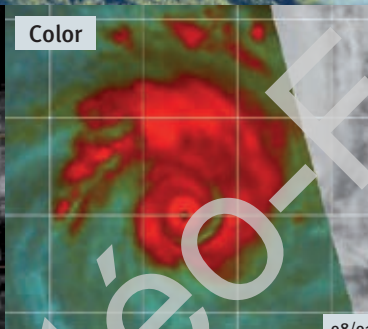
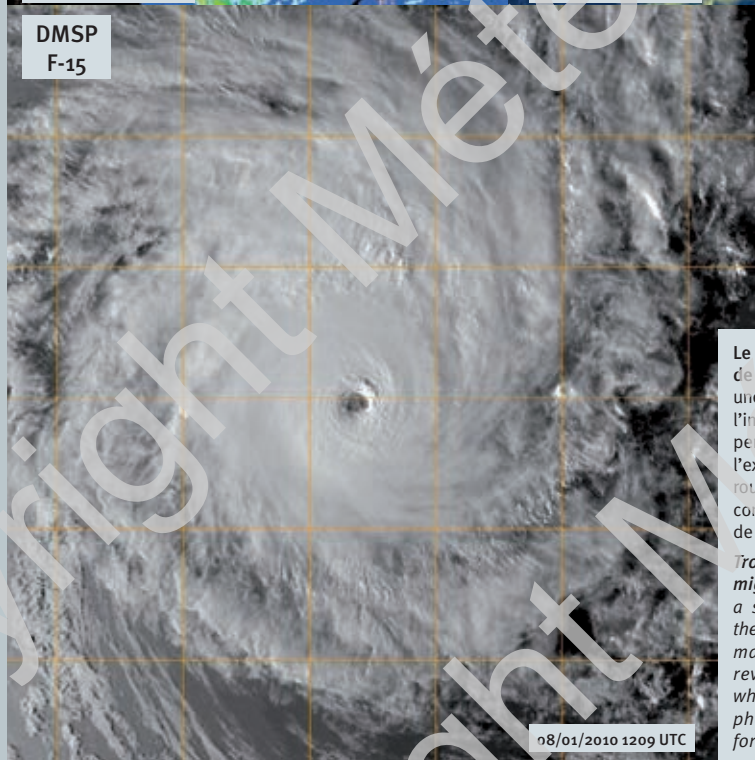
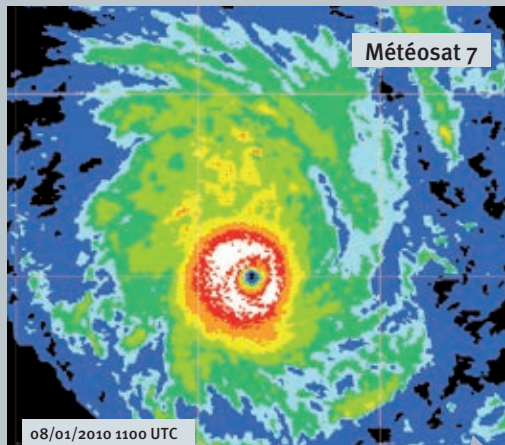
Beginning of EDZANI's rapid intensification phase. Analysed at the minimal stage of severe tropical storm at that time, the meteor displayed a classical CDO type cloud structure (Central Dense Overcast). Generally the microwave imagery provides the best added value for this type of pattern : whereas on the classical imagery (especially at night with infrared)

the evolution of the inner structure of the meteor is generally hidden by the upper level cloudshield, it becomes accessible through the microwave imagery, which makes it possible to peer into the system through the cloud tops. In the present case, the most relevant information was supplied by the 36 GHz channel imagery (more sensitive to hydrometeors), which provided a “vision” of the low-level structure of rainfall field: an already advanced degree of organization can be seen, with a well-defined vortex, associated with the presence of deep convection (hot tower featured in pink in the 36Color image) in the vicinity of the centre (perfectly identifiable thanks to the slightly cyan coloured ring, which encircled it and which foreshadowed the future eyewall in the making). Such a signature on the 36 GHz imagery generally lets one expect a rapid intensification phase to come, which will verify in this case.



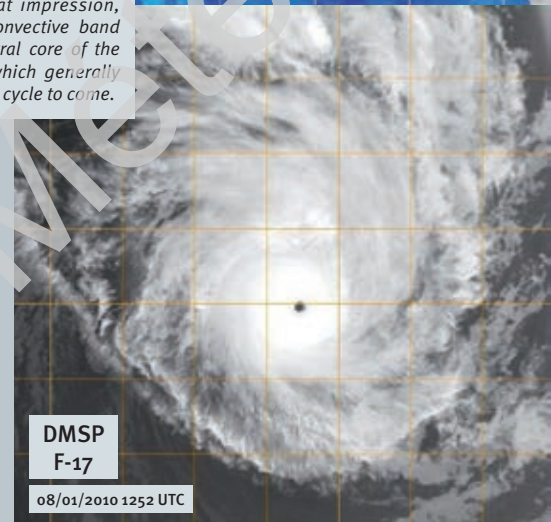
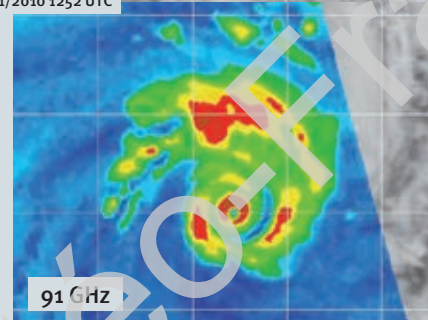
Début de la phase d'intensification rapide d'EDZANI. Analysé à cet instant au stade minimal de forte tempête tropicale, le météore présente alors une structure nuageuse classique de type CDO (amas nuageux central dense). C'est pour ce type de configuration que l'imagerie micro-onde apporte généralement la plus grande plus-value : alors que sur l'imagerie classique (en particulier la nuit avec l'infrarouge) les évolutions de la structure interne du météore sont généralement masquées par la couverture nuageuse d'altitude, elles deviennent accessibles par l'imagerie micro-onde, qui permet de “scanner” à travers les sommets nuageux.

Dans le cas présent, l'information la plus pertinente est fournie par l'imagerie en canal 36 GHz (plus sensible aux hydrométéores), qui donne une “vision” de la structure en basses couches des précipitations : on y constate un degré d'organisation déjà avancé, avec un vortex bien affirmé, associé à la présence de convection profonde (tour chaude figurant en rose sur l'image 36Color) au voisinage du centre (parfaitement identifiable par l'anneau de couleur un peu cyan qui l'entoure et qui préfigure le futur mur de l'œil en construction). Une telle signature sur l'imagerie 36 GHz laisse généralement augurer d'une phase d'intensification rapide à venir, ce qui va se vérifier en l'occurrence.



Le cyclone tropical intense EDZANI, au maximum de sa puissance. A son apogée, le météore présente une structure d'apparence presque symétrique sur l'imagerie classique. Mais l'imagerie micro-onde permet de corriger cette impression, révélant l'existence d'une bande convective venue s'enrouler autour du cœur central du phénomène, configuration préfigurant généralement un cycle de remplacement de l'œil à venir.

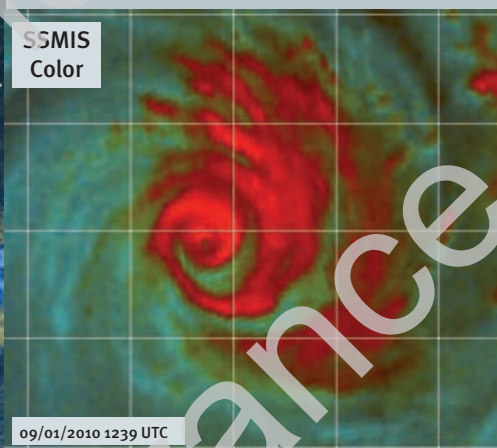
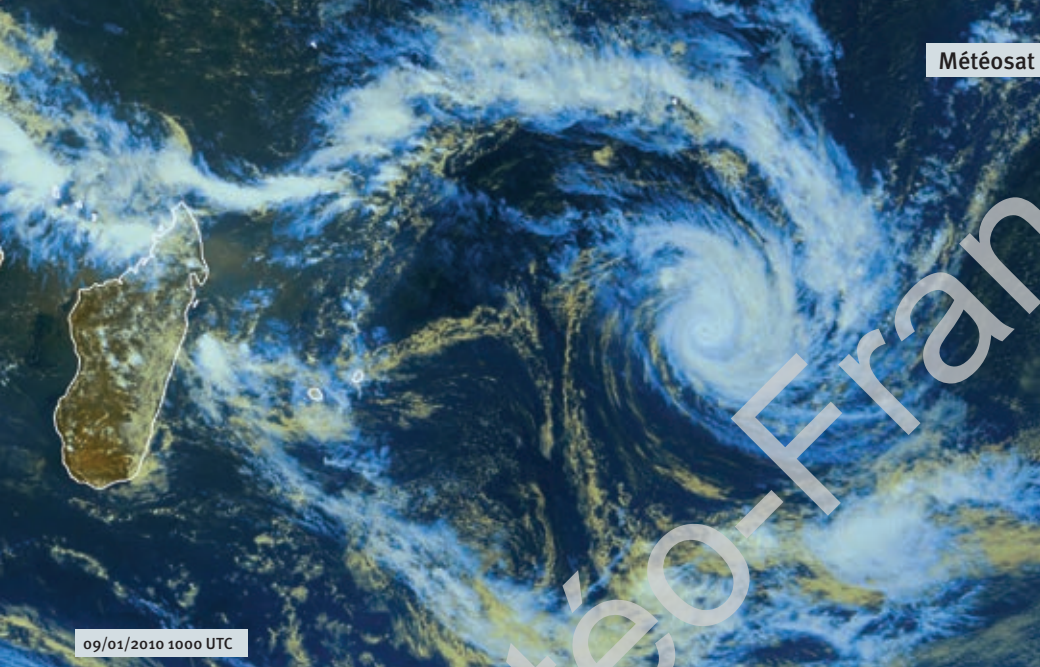
Tropical cyclone EDZANI, at the maximum of its mightiness. The meteor, at its climax, displayed a structure that looked almost symmetrical on the classical imagery. But the microwave imagery made it possible to correct that impression, revealing the existence of a convective band which wrapped around the central core of the phenomenon, a configuration which generally foreshadows an eye replacement cycle to come.



at sea in excess of 300 km/h). Such intensity led EDZANI to be granted the very intense tropical cyclone status, at the same level as JULIET, the last very intense tropical cyclone asserted in the basin. Evolving right in the middle of the Southern tropical Indian Ocean, EDZANI did not threaten anybody fortunately. Still heading southwest, at a little faster pace since the morning of 8 January (motion speed of about 15 km/h), the meteor was moreover arriving over less and less warm waters, with a rather quick fall of the oceanic heat content, which obviously could no longer support such intensity (keeping in mind that EDZANI had reached or had been verging upon its maximum potential intensity since its intensity peak). That energetic restriction became de facto the determining constraint that forced the intensity of the

cyclone to decrease. As for the rest, the dynamic parameters were still favourable: the vertical windshear remained weak and the upper divergence had never been so good. The first symptoms, if not of the weakening at least of the end of intensification, started to show on the microwave imagery, in the evening of 8 January, with a convective outer band wrapping around the inner core of the cyclone (see SSMIS image above), a characteristic configuration associated with a strong presumption of an eye cycle to come, which was actually going to be confirmed. Whereas no sign of weakness could be detected before the end of the night on the infrared imagery, the microwave imagery had already unveiled the evolution that was going on and the inner process which had set out, namely

manifeste avant la fin de nuit du 8 au 9, l'imagerie micro-onde a déjà levé le voile sur l'évolution en cours et sur le processus interne qui s'est mis en route, à savoir l'initiation d'un cycle de l'œil. Sauf que celui-ci ne va pas se dérouler de manière nominale. Le scénario classique voudrait que l'on assiste à un effondre-



Début d'affaiblissement d'EDZANI. Encore classé cyclone tropical intense, le météore demeure impressionnant, mais s'apprête à connaître un cycle de remplacement de l'œil au cours des 12h suivantes, cycle de l'œil dont les prémices sont visibles sur l'imagerie micro-onde, qui montre l'enroulement complet d'une bande externe autour du petit cœur central du cyclone.

Initial weakening of EDZANI. Still ranked as an intense tropical cyclone the meteor remained impressive but was about to go through an eyewall replacement cycle during the next 12h. The early beginnings of this cycle can be guessed from the microwave imagery which showed the presence of an outer band completely encircling the inner core of the storm.

ment du mur de l'œil initial, remplacé ensuite par l'anneau de convection externe constitué à partir de la bande convective initiale précitée, se contractant pour former un nouvel œil. Mais cela ne va pas se passer aussi simplement : il va falloir s'y reprendre à deux fois et près de 30h pour aboutir. Entre-temps, on va assister, au fil des images micro-ondes successives, à une lutte d'influence âpre et indécise entre les deux acteurs de cette joute pour s'approprier la circulation secondaire associée au phénomène, chacun prenant tour à tour le dessus sur l'autre. Ainsi, alors qu'en début de journée du 9, le scénario normal semblait devoir s'accomplir sans anicroche, l'œil initial, "éventré" et "cerné" par l'anneau convectif externe, semblant irrémédiablement condamné à dépérir, surprise quelques heures plus tard : non seulement il a résisté, mais il a fait mieux que cela, il a renversé la tendance. On le retrouve, en effet, reconstitué et revigoré (associé à un petit œil de quelque 20 km de diamètre), alors qu'au contraire l'anneau de convection externe a sérieusement périclité, s'étant effondré sur plus de la moitié de sa circonférence. Mais le bras de fer n'est pas terminé. Un nouveau round débute dans l'après-midi : la bande externe reprend du poil de la bête (l'imagerie visible plaiderait plutôt pour la formation de deux nouvelles bandes contiguës) et l'œil interne se retrouve à nouveau menacé. Il va, cette fois, devoir rendre les armes, après quelque 12h de résistance supplémentaire. Après une première tentative avortée, ce second cycle va donc cette fois jusqu'à son terme et un nouvel œil – plus large – est constitué au petit matin du 10 janvier, alors que le météore s'apprête à franchir le 20^{ème} parallèle Sud.

the inception of an eye cycle. Except that that cycle was not going to unfold in a usual or normal way. According to the classical scenario, the wall of the initial eye should collapse, being thereafter replaced by the outer ring of convection formed from the aforementioned initial convective band, which would shrink to build a new eye. But things were not going to happen so simply. Two attempts and 30h proved to be necessary to complete the process. In the meantime, the successive microwave images were going to reveal a bitter and indecisive power struggle between the two actors of that joust to appropriate the secondary circulation associated with the phenomenon, each of them gaining the upper hand on the other in turn. Thus, whereas at the beginning of the day of 9 January, the normal scenario seemed to be about to occur without a hitch, the initial eye, "ripped open" and "surrounded" by the outer convective ring, seeming irreparably doomed to decay, but surprisingly enough, a few hours later, not only had it resisted, it had even done better than that, it had reversed the situation. It had actually rebuilt and looked reinvigorated (associated with a small eye about 20 km in diameter), whereas, on the contrary, the outer convection ring had greatly deteriorated, having collapsed over more than half of its circumference. But the wrestling match was not over. A new round started in the afternoon : the outer band regained strength (according to the visible imagery there seemed to be two adjoining new bands in fact) and the inner eye was threatened again. This time, it was compelled to surrender, after

resisting for another 12h. After a first aborted attempt, the second cycle was then successfully completed this time and a new eye – larger than the original one – was formed early in the morning of 10 January, as the meteor was about to cross latitude 20°South.

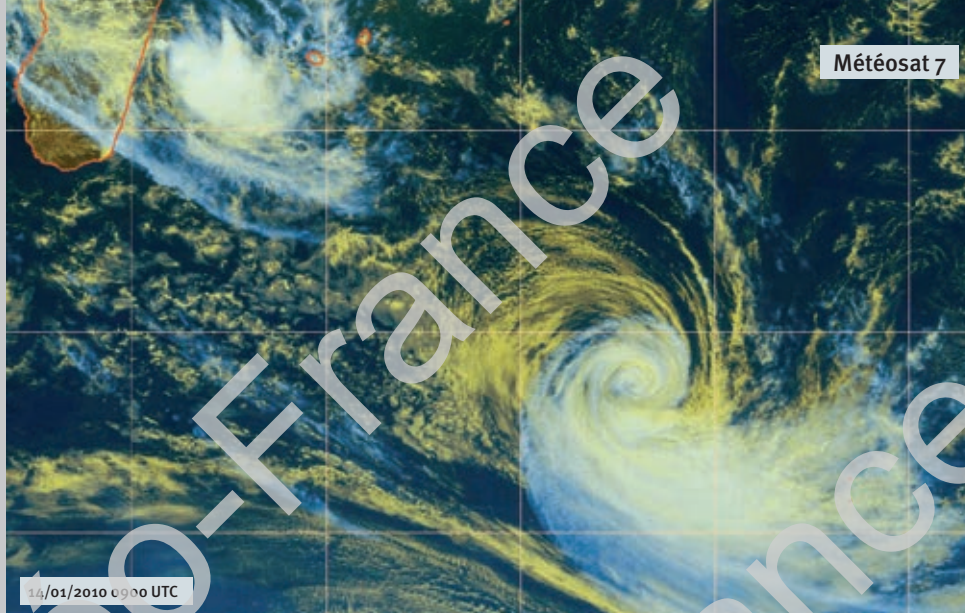
In the absence of in situ measures, it is impossible to know precisely how EDZANI's intensity has evolved during those 36h which had elapsed since the maximum of intensity was reached, but it seems likely that it has undergone a slow erosion, with some fluctuations related to the vicissitudes of that "double-eye cycle". Be that as it may, at the time when the eye replacement cycle came to an end, EDZANI was considered to have downgraded to a mere tropical cyclone. The meteor, which had just bent its track south-southwestward and had increased its moving speed (to 20-25 km/h) towards a weakness in the subtropical high belt amplified by the transit of a polar trough to the south of latitude 30°South, sank further south over cooler and cooler waters. With a sea surface temperature henceforth below the 26°C threshold, the energy supply of the system began to become problematic. That could be felt on the cloud structure of the phenomenon, which clearly started to struggle. After bravely resisting until the beginning of the afternoon, the eye disappeared, then, towards the end of the day of 10 January, the whole convection collapsed in the western semi-circle of the system. Whereas the implication of a westerly ventilation could be suspected in view of the satellite imagery, it was not confirmed by the satellite winds analyses from the CIMSS ; it was rather the conjunction of

a failing heat supply and the advection of dry air into the western sector of the clockwise circulation that might have been involved.

EDZANI was downgraded to the stage of severe tropical storm during the night and continued to weaken until the afternoon of 11 January. At the same time, the meteor recurved towards the southeast, still attracted by the aforementioned polar trough. But the latter continued to shift eastward, too rapidly for EDZANI, which did not have enough time to be "sucked in" and was then going to "miss" the trough. The classical parabolic path which had been initiated, was hence stopped, and an equally classic scenario took over : the depression, which was henceforth in an advanced extra-tropical transition phase, was caught up by the high arriving at the rear of the trough. It backtracked westward, then west-southwestward, while gathering speed along the northern boundary of the high. As the latter quickly slid under the depression, it did not take long for ex-EDZANI to skirt around it and consequently bent towards the south again at the end of the day of 13 January, in the vicinity of latitude 30° South, before heading towards the southeast on the next day, thus following a new branch of a pseudo-parabolic trajectory, which was complete this time.

The extra-tropical depression, which had managed to maintain its intensity at an almost unchanged level for three days (from 12 to 14 January) and which had kept a nice structure on the satellite imagery (see image above), with the presence of winds reaching force 9 on the Beaufort scale within the clockwise circulation (strong gale force winds), withdrew at an accelerated speed towards the mid-latitudes. Thus, the associated low was racing at almost 70 km/h early in the morning of 15 January, as it transited not far from Amsterdam Island (at the Météo-France automatic weather station based on the island, the reduced sea-level pressure fell down to 987 hPa).

As the most intense phenomenon of that cyclone season, and even of the previous five years, EDZANI hopefully evolved far from all inhabited land (apart from its final speedy passage in the vicinity of Amsterdam Island) and did not cause any damage.



14/01/2010 0900 UTC

La dépression extratropicale ex-EDZANI dans le domaine subtropical. A près de 2500 km au nord-ouest, on peut noter la présence de la perturbation tropicale n°09 (entre Madagascar et La Réunion).

Extratropical depression ex-EDZANI in the subtropical domain. About 2500 km to the northwest, the presence of tropical disturbance n°09 can be noticed (between Madagascar and La Réunion).

En l'absence de mesure in situ, impossible de savoir précisément comment a pu évoluer l'intensité d'EDZANI durant ces quelque 36h qui se sont écoulées depuis le maximum d'intensité, mais il apparaît probable qu'elle a dû subir une lente érosion, avec quelques fluctuations liées aux péripéties de ce cycle de l'œil "à double détente". Toujours est-il qu'au moment où ce cycle de l'œil prend fin, EDZANI est considéré être redevenu un simple cyclone tropical.

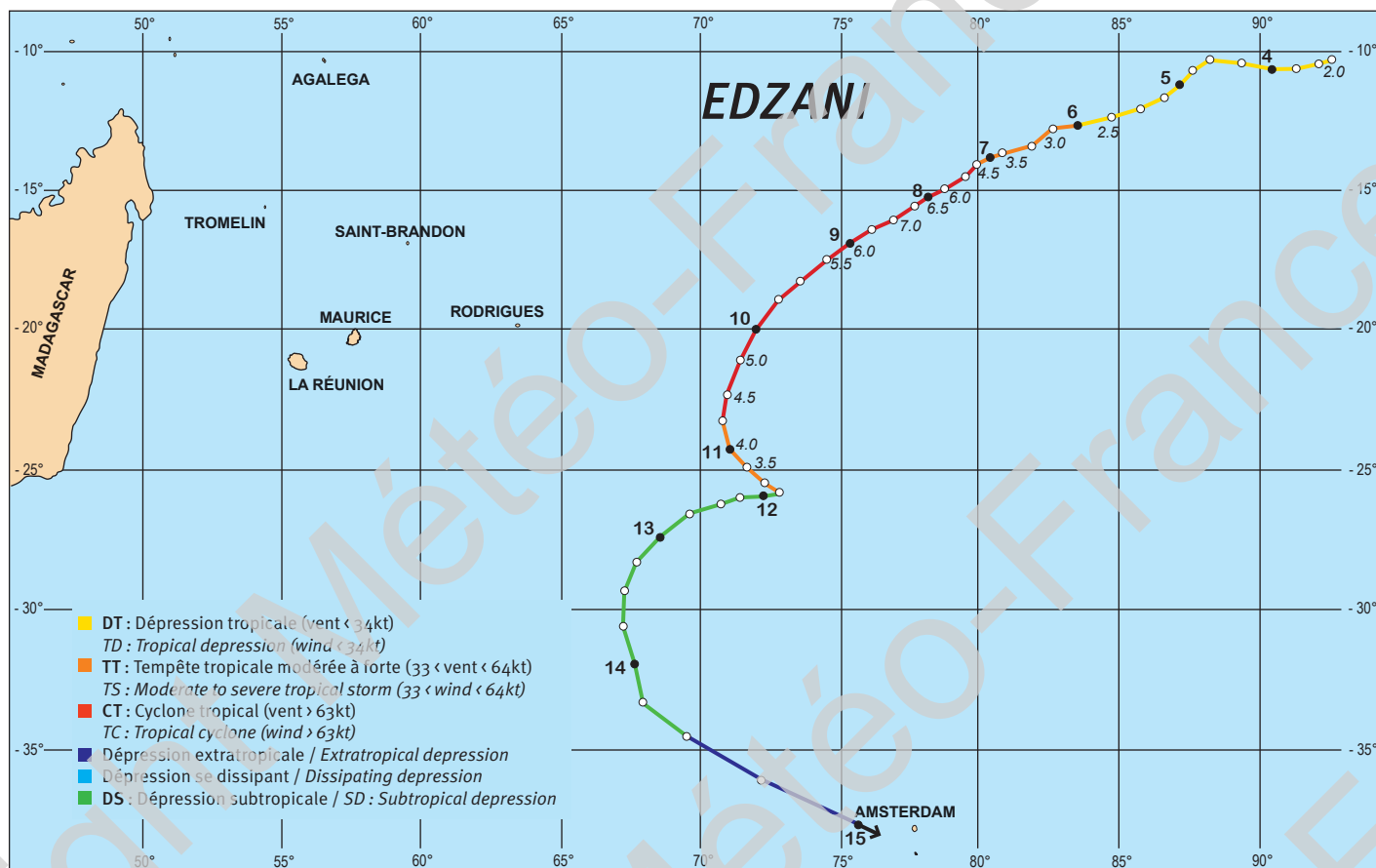
Avec un déplacement qui vient de s'infléchir au sud-sud-ouest et qui s'est encore légèrement accéléré (à 20-25 km/h), en direction d'une faiblesse dans la ceinture de hautes pressions subtropicales amplifiée par le transit d'un talweg polaire au sud du 30^{ème} parallèle Sud, le météore s'enfonce sur des eaux de plus en plus fraîches. Avec des températures de surface désormais inférieures au seuil de 26°C, l'alimentation énergétique du système commence à devenir problématique. Cela se ressent sur la structure nuageuse du phénomène, qui est clairement entrée en souffrance. Après s'être vaillamment maintenu jusqu'en début d'après-midi, l'œil disparaît, puis, en fin de journée de ce 10 janvier, c'est toute la convection qui s'effondre dans le demi-cercle ouest du système. Alors que l'on pourrait suspecter, au vu de l'imagerie satellitaire, l'implication d'une ventilation d'ouest, cela n'est pas confirmé par les analyses de vents satellitaires du CIMSS : il faut plutôt mettre en cause la conjugaison d'un potentiel énergétique déficient et d'une advection d'air sec dans ce secteur ouest de la circulation dépressionnaire.

EDZANI est déclassé en forte tempête tropicale dans la nuit et continue de s'affaiblir jusque dans l'après-midi du 11. Dans le même temps, le météore a incurvé en direction du sud-est, toujours attiré en direction du talweg polaire précité.

Mais celui-ci continue de se décaler vers l'est, trop vite pour EDZANI, qui n'a pas le temps d'être aspiré et va donc "louper" ce talweg. La classique trajectoire parabolique entamée est interrompue et, scénario tout aussi classique, la dépression, désormais en phase de transition extratropicale avancée, est reprise par la cellule anticyclonique qui se présente à l'arrière du talweg et repart vers l'ouest, puis l'ouest-sud-ouest, en accélérant le long de la face septentrionale de cet anticyclone. Comme celui-ci glisse rapidement sous la dépression, l'ex-EDZANI a vite fait de le contourner et incurve à nouveau vers le sud en fin de journée du 13 janvier, aux abords du 30^{ème} parallèle Sud, avant de mettre le cap au sud-est le lendemain, décrivant ainsi une nouvelle branche de trajectoire pseudo-parabolique, cette fois complète.

La dépression extratropicale, qui s'est maintenue à un niveau d'intensité quasiment inchangé pendant trois jours (du 12 au 14) et qui a conservé une belle structure sur l'imagerie satellitaire (voir image ci-dessus), avec présence de vents de force 9 Beaufort au sein de sa circulation dépressionnaire (fort coup de vent), s'évacue à vitesse accélérée vers les moyennes latitudes. Le minimum dépressionnaire associé, file ainsi à près de 70 km/h au petit matin du 15 janvier, quand il transite non loin au sud de l'île d'Amsterdam (à la station automatique de Météo-France basée sur l'île, la pression réduite au niveau de la mer s'abaisse à 987 hPa).

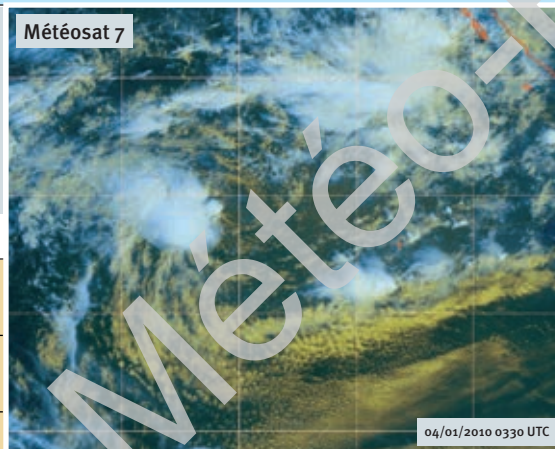
Phénomène le plus intense de cette saison cyclonique, et même depuis près de vingt ans, EDZANI est demeuré loin de toute terre habitée (hormis ce passage éclair final dans les parages de l'île d'Amsterdam) et n'a donc eu aucune conséquence dommageable.



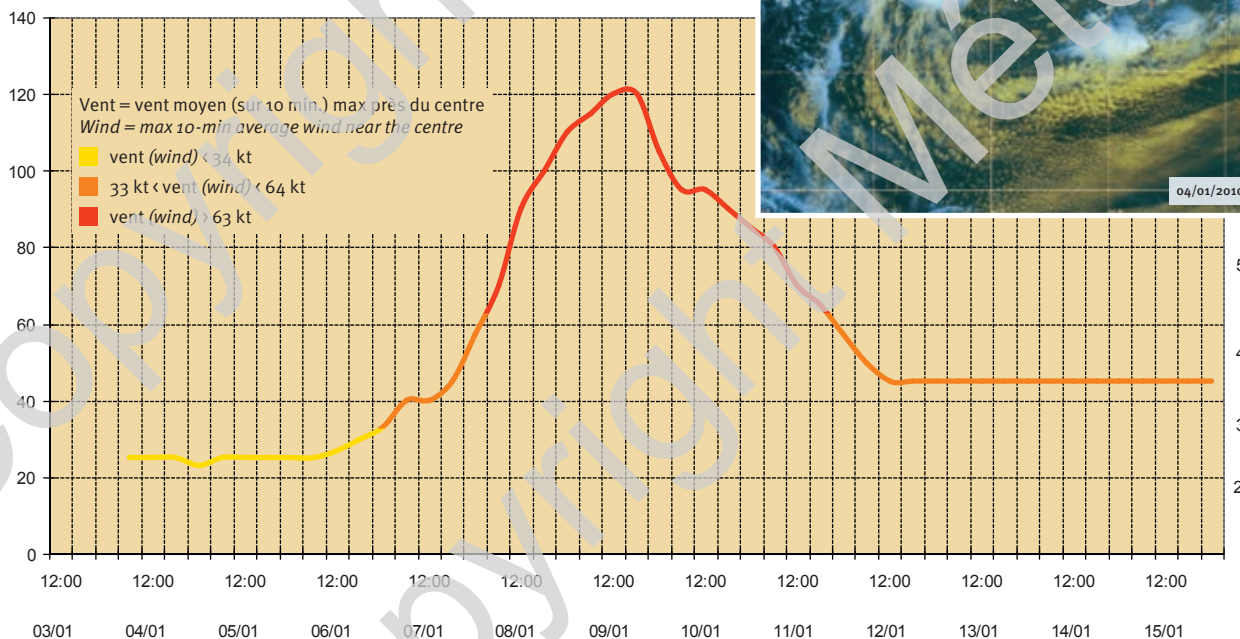
Pré-genèse d'EDZANI. Il est souvent assez bluffant de voir à partir de quoi peut se constituer le plus puissant des cyclones. Ce fut encore le cas avec EDZANI, comme en témoigne cette image acquise au moment où le minimum dépressionnaire associé à la perturbation initiale du futur cyclone très intense franchit le 90^{ème} méridien Est et pénètre dans la zone de responsabilité du CMRS de La Réunion.

Pre-genesis of EDZANI. It is often astounding to see how insignificant can look the starting point of what will afterwards become a mighty cyclone. This assertion could once again verify with EDZANI as testified by this image acquired at the time when the weak low related to the initial disturbance of the future very intense cyclone was crossing longitude 90°East, thus entering the RSMC La Reunion's area of responsibility.

Météosat 7



EDZANI du 03/01 au 15/01/2010



EVOLUTION DU VENT MAX EN NŒUDS (A GAUCHE) ET DU NOMBRE CI DE 6 HEURES EN 6 HEURES
 6 - HRLY MAX WIND (KT) AND CI TIME-EVOLUTION (LEFT AND RIGHT)

Forte Tempête Tropicale

du 1^{er} au 3 février 2010

Severe Tropical Storm "Fami" (1-3 February 2010)



FORMATION

A

près l'évacuation d'EDZANI dans le domaine subtropical, l'activité cyclonique va marquer une pause durant une quinzaine de jours, cette phase d'inactivité intra-saisonnière au cœur de la saison, étant à mettre en relation avec une phase sèche de la MJO (oscillation de Madden-Julian), qui, entre le début de la deuxième décennie de janvier et la fin du mois, va traverser tout le bassin Sud-Ouest de l'océan Indien d'ouest en est.

C'est avant la fin de mois que les "affaires reprennent" cependant. Une première zone perturbée (système numéro 10) se met en place au nord des Mascareignes à partir du 26 janvier et se décale vers le sud au cours des jours suivants. Le minimum dépressionnaire associé transite à l'est de l'île Maurice en deuxième partie de nuit du 27 au 28, mais aucune évolution réellement significative n'est observée jusqu'aux abords du 25^{ème} parallèle Sud, moment où une phase de creusement temporaire intervient (le 29), par suite d'une interaction, de nature subtropicale, avec un cut-off d'altitude. Mais le minimum dépressionnaire va ensuite en se comblant dès le lendemain 30 janvier, au sud du 30^{ème} parallèle Sud.

Après cette première velléité, pas totalement infructueuse mais presque, le relais va être pris assez rapidement par un second système, formé cette fois dans le Canal de Mozambique. L'activité nuageuse présente des côtes africaines jusqu'aux côtes malgaches apparaît dans un premier temps très inorganisée, la convection associée étant en particulier on ne peut plus morcelée et fluctuante. Mais à compter du 31 janvier, la convection tend à se focaliser de manière plus

pérenne au large de la côte ouest de Madagascar.

Le lendemain 1^{er} février, le champ de pression est en baisse de 2 à 3 hPa sur la zone et un centre de basses pressions commence à s'esquisser au voisinage du 20^{ème} parallèle Sud. Si l'environnement d'altitude apparaît plutôt favorable, avec une bonne divergence sous la dorsale de haute troposphère, la convergence de basses couches semble plus problématique, pour cause d'alizés déficitaires du côté sud. La situation est par ailleurs assez mal analysée par les modèles numériques, qui privilégient à tort un second minimum de basses pressions au voisinage de la côte mozambicaine. Mais c'est bien du côté est du Canal, plus précisément dans le secteur au nord-est de l'île d'Europa et au large de la côte malgache, que tout se joue. Le système commence à s'organiser dans la nuit du 1^{er} au 2 février, avec les premiers signes avérés d'une organisation tourbillonnaire qui apparaissent sur l'imagerie satellitaire. Dans le même temps, sous l'influence d'une cellule de hauts géopotentiels de moyenne troposphère positionnée au nord de Madagascar, il met le cap quasiment plein est, ce qui le dirige droit vers la Grande Ile et laisse a priori peu de temps à passer sur les eaux chaudes du Canal avant de toucher terre.

EVOLUTION

Mais le météore va rentabiliser au maximum ce peu de temps imparti avant l'inéluctable atterrissage et tirer le meilleur parti des bonnes conditions environnementales, démontrant une nouvelle fois que la proximité des terres ne constitue en rien un frein à une intensification, comme de nombreux exemples récents

d'intensification, souvent rapide, à l'approche de Madagascar, en ont également témoigné.

Au petit matin du 2 février, les premières images en canal visible montrent un petit CDO (amas nuageux central dense), aux contours irréguliers, qui a déjà abordé la côte malgache entre les cités côtières de Morondava et de Morombe. Une bande nuageuse de convection profonde lui est rattachée dans les secteurs nord à nord-ouest. Mais alors que l'imagerie classique ne dénote qu'un gain d'organisation tenu au cours des heures suivantes, l'apport de l'imagerie micro-onde par rapport à l'imagerie conventionnelle se révèle une nouvelle fois inestimable pour l'analyse d'intensité, montrant une évolution rapide et spectaculaire dans la structure interne du CDO, qui, en l'espace de trois heures de temps seulement, voit une bande incurvée s'enrouler et se refermer sur elle-même pour constituer un simili œil autour du centre. FAMI est nommé en matinée, alors que son centre ne se situe plus qu'à environ 30 km du littoral de la Grande Ile. Mais le stade de tempête tropicale modérée a probablement été atteint quelques heures plus tôt, en début de journée.

Le processus d'intensification rapide se poursuit encore quelques heures supplémentaires, jusqu'au moment où le centre de FAMI pénètre effectivement sur terre, en milieu de journée du 2, au voisinage de la localité de Belo sur mer (à quelque 70 km au sud de Morondava). Un peu plus d'un an auparavant (le 21 janvier 2009), le cyclone tropical FANELE avait atterri quasiment au même endroit (à quelques km plus au sud). L'intensité moindre de FAMI, ainsi que sa structure plus compacte, font que les conséquences sont moindres cette fois-ci (pas de victimes autres que les 320 sinistrés ayant perdu leur habitation – 90 maisons détruites, dont 60 à Belo sur mer), même s'il ne fait pas de doute que des vents forts ont malgré tout sévi au voisinage du point d'atterrissage. Avec un temps de retard par rapport à l'imagerie micro-onde, l'imagerie visible a, en effet, confirmé l'intensification finale aux abords de la Grande Ile, avec l'apparition d'un embryon d'œil sur le trait de côte, au moment de la rentrée sur terre. De sorte qu'il apparaît vraisemblable que FAMI ait atteint le stade minimal de forte tempête tropicale au moment de cet atterrissage sur la côte malgache (vents moyens maximaux sur 10 min de 50 nœuds – force tempête), ce qui laisse supposer des rafales maximales de l'ordre de 130 km/h.

02/02/2010 1040 UTC

La tempête tropicale FAMI peu après son atterrissage sur la côte sud-ouest de Madagascar. Le cœur nuageux et convectif du météore, de dimension réduite, a déjà commencé de perdre de sa prestance sur terre, au sud de Morondava.

Tropical storm FAMI a little while after its landfall on the southwest coast of Madagascar. The small-sized convective core of the cloud system had already started to deteriorate inland south of Morondava.

Une fois sur terre, le déplacement vers l'est de FAMI s'accélère brutalement : la vitesse de déplacement est très rapidement multipliée par deux, puis se stabilise aux environs de 30 km/h en fin de journée. A cette allure, le météore s'enfoncé rapidement à l'intérieur des terres et se désagrège dans le même temps tout aussi prestement. Ses résidus viennent se fondre au matin du 3 dans un talweg de basses couches présent au sud-est de Madagascar en prolongement d'une vaste zone dépressionnaire des moyennes latitudes.

Premier système dépressionnaire à s'être développé cette saison dans le Canal de Mozambique (et il s'en est fallu de peu qu'il ne soit le seul, si ce n'avait été la cyclogenèse particulière et un peu hors saison de JOEL), FAMI aura également été le premier phénomène à toucher une terre habitée. Mais sa trop brève durée de vie ne lui aura pas laissé le temps de se développer suffisamment avant sa rentrée sur terre, limitant fort heureusement son impact sur le Sud-Ouest de Madagascar. Cinq semaines plus tard, le cas de figure similaire d'une intensification à l'approche de Madagascar se reproduira, de l'autre côté de la Grande Ile cette fois, mais avec des conséquences tout autres : HUBERT viendra causer de

FORMATION

After EDZANI shoved off into the subtropical domain, the cyclone activity paused for about a fortnight. That intra-seasonal inactive phase in the depth of the season was to be related to a dry phase of the MJO (Madden-Julian oscillation), which, between January the 10th and the end of the month, crossed the whole South-West Indian ocean basin from west to east. However, activity resumed before the end of the month. A first zone of disturbed weather (system number 10) settled to the north of the Mascarene Islands from January 26 and shifted towards the south during the following days. The related low centre transited to the east of Mauritius Island during the second part of the night of January 27 to 28, but no really significant evolution was observed as far as the vicinity of latitude 25°South, when a deepening phase occurred (on January 29) due to the interaction, of subtropical kind, with an upper level cut-off low. But this was only temporary and the low was then to fill from the next day onward (January 30), to the south of latitude 30°South. After that first attempt, not quite fruitless but almost so, a second system took over rather rapidly, formed this time in the Mozambique Channel. Initially, the cloud activity present from the African seaboard to the Malagasy coast appeared to be very

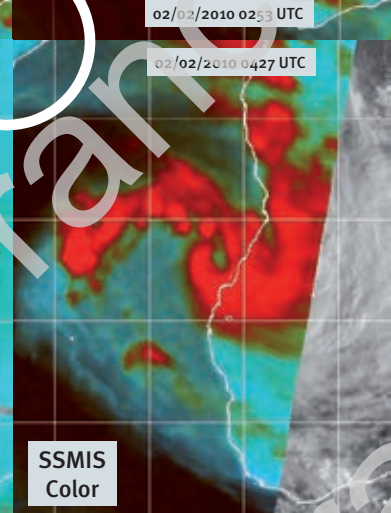
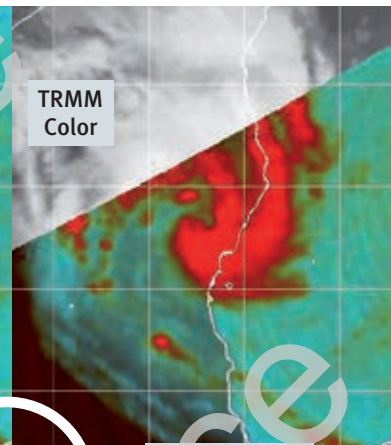
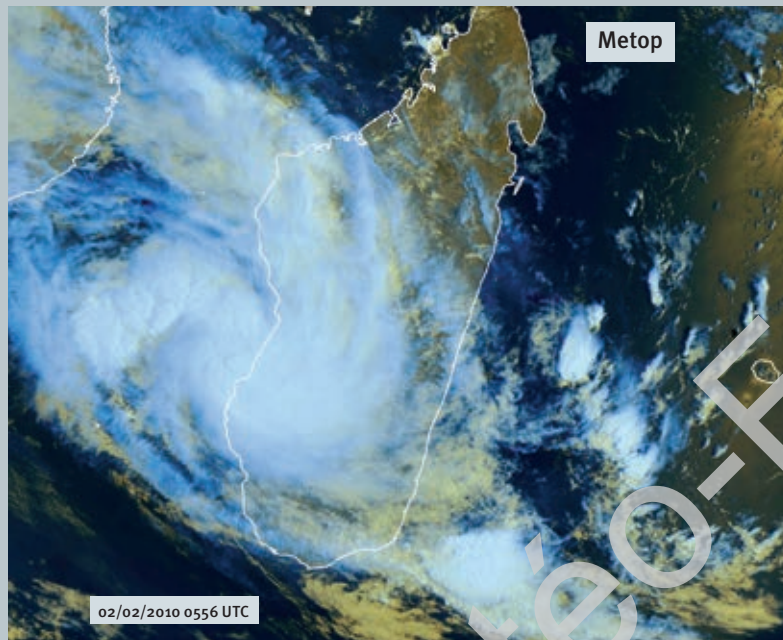
poorly organized, the related convection in particular was extremely scattered and fluctuating. But from January 31 onward, the convection tended to focus more persistently off the western Malagasy shore.

On the following day (February 1), the pressure field was falling with a drop of 2 to 3 hPa over the area and a low centre began to outline in the vicinity of latitude 20°South. If the upper environment looked rather favourable, with a good divergence underneath the high troposphere ridge, the low level convergence seemed more problematic, as the trade winds were too feeble on the southern side. Besides the situation was rather ill-analysed by the numerical models, which wrongly privileged a second low centre in the vicinity of the Mozambican coast. But it was definitely on the eastern side of the Channel, more precisely in the northeastern sector of Europa Island and off the Malagasy coast, that action was to take place. The system began to organize during the night of February 1 to February 2, with the first clearly recognized signs of a swirling organization which appeared on the satellite imagery. At the same time, under the influence of a mid-troposphere cell of high geopotentials positioned north of Madagascar, it headed almost due east, which drove it straight towards the Great Island hence with normally little time left to spend over the warm waters of the Channel before running ashore.

EVOLUTION

But the meteor took full advantage of that short time granted before the unavoidable landfall and made the most of the good environmental conditions, proving once again that the close proximity of land does not constitute an impeding factor for intensification, as also demonstrated by the many recent examples of systems having intensified – often quickly – during their approach of the Malagasy coast.

In the early morning of February 2, the first images on the visible channel showed a small CDO (Central Dense Overcast), with irregular edge, which had already impinged on the Malagasy seaboard between the seaside towns of Morondava and Morombe. A cloud band of deep convection was linked to it in the north to northwest sectors. But whereas the classic imagery indicated a limited gain of organization during the ensuing hours, the value of microwave imagery compared to conventional imagery proved once again to be inestimable for the analysis of intensity, showing a rapid and



spectacular evolution within the inner structure of the CDO, with, in only a three hours time span, a curved band tightly wrapping around the centre and closing up to form an eye-like feature. FAMI was named in the morning, whereas its centre was only situated about 30 km off the coast of the Great Island. But the stage of moderate tropical storm had probably been reached a few hours earlier, at the beginning of the day.

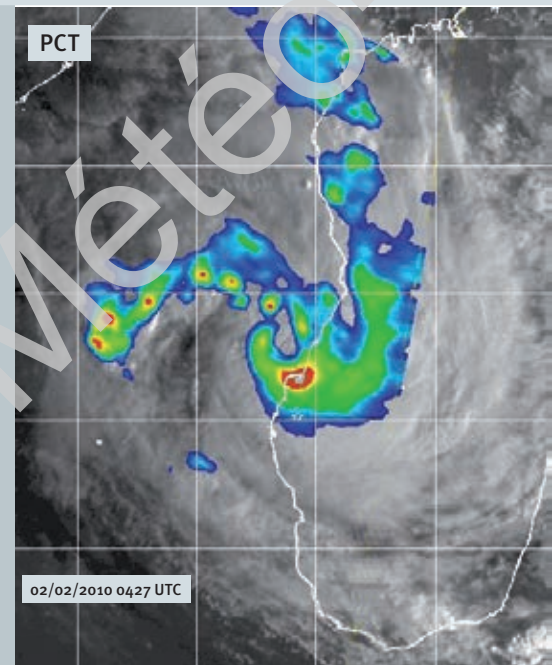
The rapid intensification process went on for a few more hours, until FAMI's centre actually went inland, around midday on February 2, in the vicinity of the town of Belo sur mer (about 70 km to the south of Morondava). A little more than one year ago (on January 21st 2009), tropical cyclone FANELE had made landfall almost at the same place (a few km further south). FAMI's weaker intensity, together with its more compact structure, resulted in less serious consequences this time (no casualty apart from 320 homeless victims having lost their dwelling – 90 houses having been destroyed, of which 60 at Belo sur mer), even though strong winds had undoubtedly blown near the landfall point. With a certain lag-time compared to microwave imagery, visible imagery did confirm the intensification during the final approach of the Great Island, with the appearance of a hint of an eye on the coast line, when the storm was already making landfall. So that it seems likely that FAMI had reached the minimal stage of severe tropical storm at the time its centre crossed the Malagasy shoreline (maximum 10 min average winds of 50 knots – minimal storm force winds), which led one to assume that peak gusts culminated to about 130 km/h. Once inland, FAMI suddenly accelerated : the speed of the eastward motion was very quickly multiplied by two, then it stabilized at about 30 km/h towards the end of the day. At that pace, the meteor rapidly moved further inland and dis-

Intensification rapide de FAMI lors de sa phase finale d'approche de Madagascar. En "radiographiant" la structure interne du météore (via l'activité pluvieuse), et en particulier sa partie centrale, l'imagerie micro-onde a permis d'appréhender l'organisation rapide du phénomène survenue en matinée du 2 février, ce qu'il n'était pas possible de voir sur l'imagerie classique, où l'intensification ne s'est matérialisée qu'ultérieurement avec l'apparition d'un embryon d'œil (voir image page suivante).

FAMI's rapid intensification during its final phase of approach of Madagascar. By "X-raying" the inner structure of the system (via the rainfall activity), and more specifically its central portion, the microwave imagery made it possible to capture the quick organization of the meteor which occurred during the morning of February 2nd, an event that was not possible to apprehend on the classical imagery, on which the intensification materialized only subsequently with the appearance of an embryonic eye (see image on next page).

tegrated just as swiftly at the same time. In the morning of February 3 its remnants eventually merged with a low level trough present to the southeast of Madagascar as an extension of a wide mid-latitude low pressure zone.

FAMI was the first system to develop during that season in the Mozambique Channel (falling short of being the single one because of JOEL's occurrence with its peculiar cyclogenesis having happened a little out of season) and was also the first phenomenon to have touched an inhabited area. But its too short-lived life-cycle did not allow enough time to develop sufficiently before making landfall, which fortunately limited its impact on the South-West of Madagascar. Five weeks later, the same scenario of a storm intensifying as it approached Madagascar would happen again, on the other side of the Great Island this time, but with quite different consequences : HUBERT would cause considerable damage, incidentally demonstrating that a longer time is not absolutely necessary for a system to become a devastating phenomenon (the induced rainfalls and floods being involved in that case).

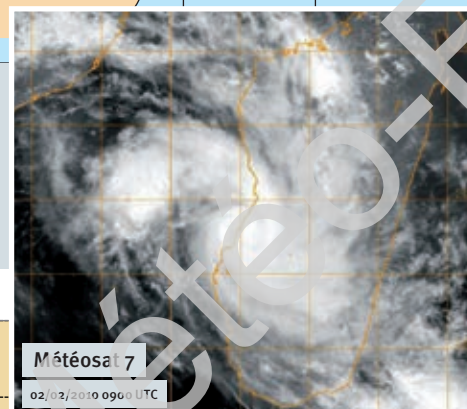


lourdes pertes, démontrant au passage qu'il n'est pas forcément besoin de disposer d'un temps de développement plus long pour devenir un phénomène dévastateur (les pluies et inondations induites étant en l'occurrence en cause).

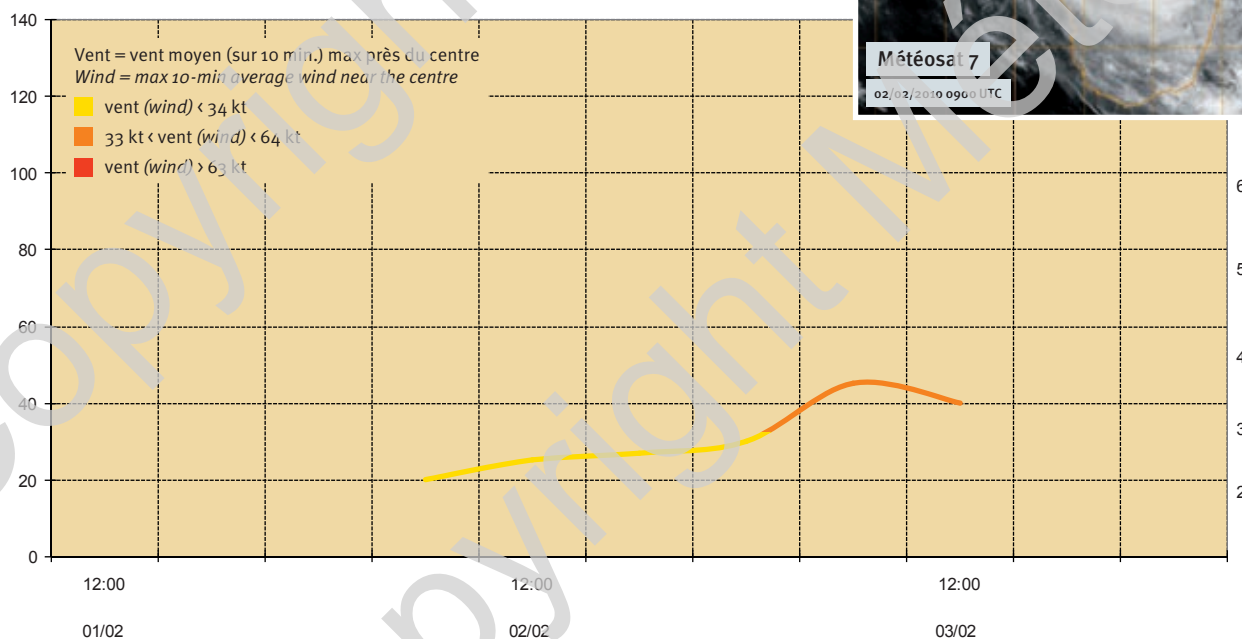


La tempête tropicale FAMI lors de son atterrissage sur le littoral sud-ouest de Madagascar. Le centre du phénomène franchit la côte au niveau de la localité de Belo sur mer, au sud de Morondava. Un embryon d'œil vient de s'esquisser sur l'imagerie visible, matérialisant avec un délai de quelques heures la phase d'intensification que l'imagerie micro-onde avait révélée de manière anticipée dès la matinée (voir page précédente).

Tropical storm FAMI making landfall on the southwest seaboard of Madagascar. The centre of the phenomenon crossed the coast near the town of Belo sur mer, to the south of Morondava. A hint of an eye had just sketched out on the visible imagery, thus materializing with a few hours' delay the intensification phase that the microwave imagery had already revealed in the morning (see previous page).



FAMI du 01/02 au 03/02/2010



EVOLUTION DU VENT MAX EN NŒUDS (A GAUCHE) ET DU NOMBRE CI DE 6 HEURES EN 6 HEURES
6 - HRLY MAX WIND (KT) AND CI TIME-EVOLUTION (LEFT AND RIGHT)

Gelane

Cyclone Tropical Intense

du 15 au 25 février 2010

Intense Tropical Cyclone "Gelane" (15-25 February 2010)



FORMATION

Succédant à un mois de janvier pas franchement débordant d'activité perturbée (deux systèmes significatifs, pour un seul phénomène baptisé), par suite du transit sur le bassin d'une phase sèche de la MJO (voir page 3), le mois de février ne va guère être beaucoup plus prolifique, ramenant la "production cyclonique" cumulée de ces deux mois au cœur de la saison 2009-2010, au niveau de celle d'il y a quatre ans. Après l'éphémère FAMI en début de mois, système à la durée de vie particulièrement réduite, car écourtée pour cause d'atterrissage précoce sur Madagascar, un seul système dépressionnaire va, en effet, voir le jour au cours du mois suivant.

Après plusieurs jours marqués par la présence en basse troposphère d'un vaste talweg empiétant depuis les moyennes latitudes jusque sur le domaine tropical entre 50 et 70°Est, et associé à un axe de convergence quasi-stationnaire s'étirant des côtes nord-est malgaches jusqu'au sud-est des Mascareignes, ce n'est qu'en fin de première décennie que les hautes pressions subtropicales peuvent se réinstaller progressivement depuis le sud de Madagascar. Le retour induit de l'alizé, se traduit aussitôt par une réactivation de la Zone de Convergence Inter-Tropicale, qui ondule alors autour du 10^{ème} parallèle Sud.

Les modèles numériques réagissent rapidement à cette évolution vers une situation de grande échelle plus propice à la cyclogenèse. Mais ils hésitent pendant plusieurs jours sur la localisation de la zone de formation, avec deux à trois vortex différents générés. Dans un premier temps, ils privilégient le développement d'un système dépressionnaire sur l'est du bassin (vers 80°Est), ce qui ne

se vérifiera pas. Mais une fausse alerte n'en cache pas forcément une deuxième (ou une troisième) et c'est finalement plus à l'ouest que va se produire la cyclogenèse.

Au sein du talweg de mousson, où la convergence de basses couches s'est bien renforcée suite au rétablissement de l'alizé, une zone d'activité convective, d'extension limitée, commence à se concentrer à l'est des îlots d'Agalega le 14 février. Une excellente divergence d'altitude contribue à entretenir ce foyer de convection profonde, avec une configuration classique d'un flux sortant d'altitude organisé en deux canaux d'évacuation : un canal du côté équatorial et un du côté polaire. Le canal équatorial est pour l'heure le canal principal, mais cela s'inversera ensuite assez rapidement, le canal du côté polaire étant relayé par un puissant courant-jet de nord-ouest circulant à l'avant d'un profond talweg d'altitude, quasi-stationnaire du nord de Madagascar jusqu'au sud des Mascareignes.

Avec ces conditions environnementales favorables, les choses ne vont pas traîner. La cyclogenèse prend forme au fil de la journée du 15 février et avant l'aube du 16, le système est analysé en dépression tropicale, moment où une bande incurvée se constitue pour quelques heures.

EVOLUTION

Après s'être écarté d'Agalega, le météore s'est mis en route vers le sud-sud-est depuis l'après-midi du 15. Le flux directeur a été pris en charge par une petite dorsale de moyenne troposphère présente au nord-est de la dépression et qui la dirige en direction d'un col barométrique positionné dans les parages de l'île Rodrigues, ...

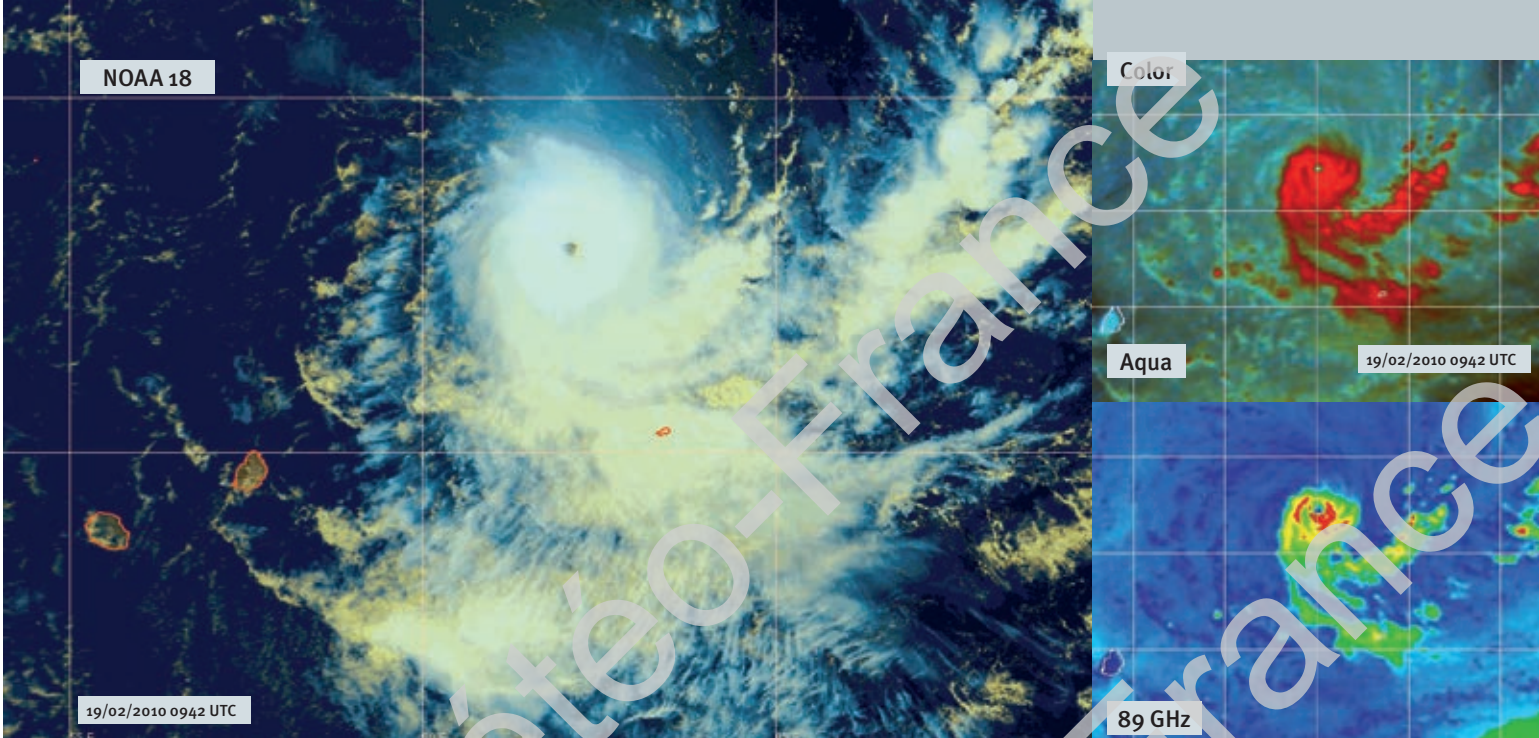
mais aussi doit vers une zone où règne un fort cisaillement vertical de vent.

Ce cisaillement de vent pré-existant à l'avant de la trajectoire du système, va toutefois aller en s'effondrant au cours des 48h suivantes, laissant ainsi l'opportunité au météore de poursuivre son développement, ce dont il ne va pas se priver. Dès la soirée du 16, un embryon d'œil commence à se construire sur l'imagerie micro-onde. Il ne met que quelques heures à se constituer (voir imagerie TRMM page 50), devenant parfaitement bien défini en deuxième partie de nuit. Bien que l'évolution apparaisse nettement moins spectaculaire sur l'imagerie infrarouge, cela dénote sans conteste une organisation franche du phénomène et un creusement à un rythme accéléré de la dépression. Avec un gain supérieur à un point en douze heures sur l'échelle d'intensité de Dvorak, le taux d'intensification excède largement la norme climatologique entre l'après-midi du 16 et la matinée du 17 février, ce qui fait passer dans l'intervalle GELANE du stade de tempête tropicale modérée au stade de cyclone tropical.

Mais GELANE va ensuite connaître un petit "coup de moins bien", comme s'il lui fallait digérer cette phase d'intensification rapide initiale. L'intensification est stoppée et le météore montre quelques signes d'essoufflement. L'œil devenu apparent sur l'imagerie visible en début de matinée du 17, disparaît ainsi au bout de quelques heures, tandis que sur l'imagerie micro-onde, il périclité quelque peu, laissant place temporairement à une configuration de type œil en bande ("ouvert" donc).

Sans que cela ait de lien avec l'intensité du phénomène, on note, en outre, une certaine contraction du système nuageux. De taille réduite depuis son origine, le météore confine maintenant au "super-nanisme" (en matinée, GELANE entrait déjà, sans conteste, dans la catégorie des "midgets" – systèmes "nains" –, avec un diamètre du coup de vent estimé à 110 km, d'après le champ de vents dérivés des données diffusiométriques Ascat).

Ce type de système de très petite taille est extrêmement sensible et vulnérable à toute altération, même ténue, des conditions environnementales. Tellement ténue en l'occurrence, qu'il est bien difficile d'identifier la cause du trouble qui gêne GELANE aux entournures : la divergence d'altitude demeure très favorable, même si elle tend à devenir un peu moins bonne du côté équatorial, tandis que le cisaillement de vent s'est abaissé à un niveau



Le cyclone tropical intense GELANE, peu avant d'atteindre son maximum d'intensité. Ce cyclone de petite taille évolue alors entre St-Brandon et l'île Rodrigues, cette dernière n'étant distante que d'un peu plus de 300 km du centre du cyclone. On notera la texture particulièrement lisse du CDO (amas nuageux central dense) d'un peu moins de 200 km de diamètre, signe caractéristique de la forte intensité du phénomène.

Intense tropical cyclone GELANE, just before reaching its maximum of intensity. The small size cyclone was then cruising between St-Brandon and Rodrigues island, the latter being only a little more than 300 km distant from the centre of the cyclone. The notable smoothness of the cloud tops of the CDO (Central Dense Overcast), whose diameter was a little less than 200 km, is worth noticing. A typical sign of the strong intensity of the phenomenon.

proche de zéro. Le potentiel énergétique océanique ne semble pas non plus à incriminer, car c'est au moment où le météore avance au ralenti (moins de 5 km/h de vitesse moyenne de déplacement dans la nuit du 17 au 18) que s'amorce un lent regain d'organisation du système nuageux. Tellement ténue enfin, que l'impact sur GELANE demeure somme toute marginal, puisque le météore demeure classé au stade minimal de cyclone tropical. Il s'agit donc plus d'une phase de plateau au niveau de l'intensité du phénomène, que d'un réel accès de faiblesse.

Les interrogations sur la suite des événements (second souffle ou affaiblissement ?), sont alors légitimes. L'incertitude prend fin au bout d'une trentaine d'heures et c'est finalement la première option qui va se réaliser.

Au soir du 18 février, la perturbation entre dans une nouvelle phase d'intensification, dont le rythme s'emballe en fin de nuit. S'ensuit une phase d'intensification rapide, qui dure une douzaine d'heures et amène GELANE jusqu'à son pic absolu d'intensité. A son apogée, le cyclone tropical intense est estimé générer des vents moyens sur 10 min supérieurs à 200 km/h (110 nœuds) sous le mur de l'œil d'une vingtaine de km de diamètre. Il est à noter que cette phase de forte intensification ultime de GELANE, est intervenue alors que le cisaillement vertical de vent était à la hausse et que le flux sortant d'altitude ne bénéficiait plus que d'un seul réel canal d'évacuation (du côté polaire), certes très efficace.

Au moment de ce qui s'avérera ensuite correspondre à son maximum d'intensité,

FORMATION

Succeeding the month of January which was clearly far from buzzing with disturbed activity (two significant systems observed for a single named storm – cyclone EDZANI) due to the transit of a dry phase of the MJO across the basin (see page 3), February was not to be much more prolific, so that the cumulated "cyclone production" of those two months in the very depth of the 2009-2010 cyclone season was levelled down to that of four years before. After the ephemeral FAMI at the beginning of the month, a storm which was particularly short-lived, due to its early landfall in Madagascar, a single system was to form during the following month.

After several days marked by the presence in the lower troposphere of a wide trough encroaching from the mid-latitudes on the tropical domain between 50 and 70°East and associated with an almost stationary axis of convergence stretching from the northeastern Malagasy coast to the southeast of the Mascarenes, it was not until the end of the first decade that the subtropical high pressures could gradually re-establish from the south of Madagascar. The induced return of the trade winds immediately triggered a reactivation of the Inter-Tropical Convergence Zone, which was then undulating around latitude 10°South.

The numerical models quickly reacted to that evolution that led to a large-scale situation which was more propitious to cyclogenesis. But they hesitated for several days about the localization of the formation area, with two to three different vortices generated. First, they tended to

favour the development of a low pressure system over the eastern part of the basin (around 80°East), which was not to verify. But a false alarm is not necessarily followed by another one (or by a third) and cyclogenesis eventually took place, but further to the west.

Within the monsoon trough, where the low level convergence has significantly increased after the re-establishment of the trade winds, a zone of convective activity, of limited size, began to ball to the east of the Agalega Islets on February 14. An excellent upper-level divergence contributed to sustain that area of deep convection, with the classical pattern of an upper outflow divided into two – equatorward and poleward – channels. The equatorward channel was for the time being the main channel, but the situation would then rather quickly reverse as the poleward channel received the boosting supply of a powerful northwesterly jet stream flowing ahead of a deep upper level trough, which was almost stationary from the north of Madagascar to the south of the Mascarene. With the above-mentioned favourable environmental conditions things did not loiter : cyclogenesis took shape during February 15 and the system was analysed as a tropical depression before dawn of 16, when a curved band built for a few hours.

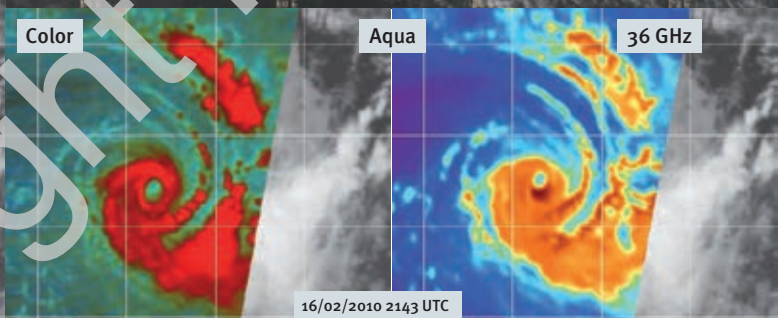
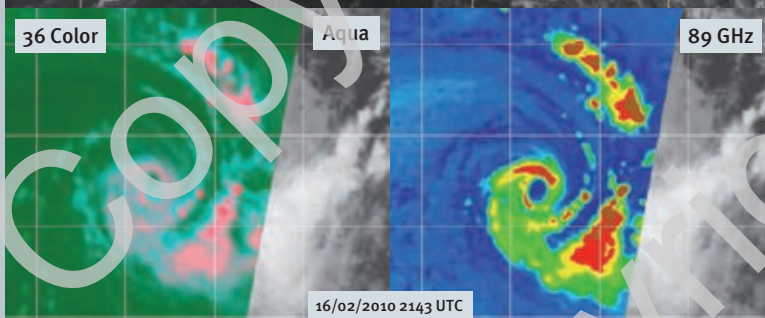
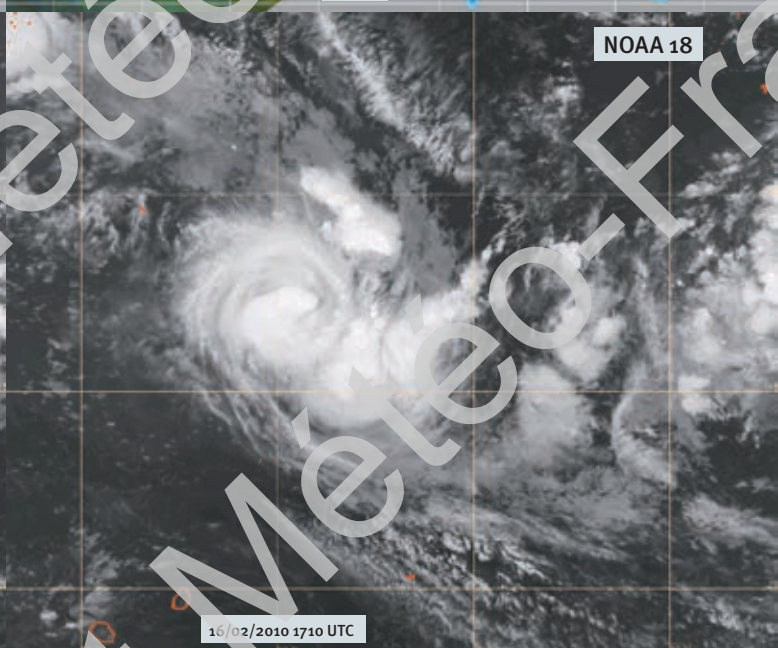
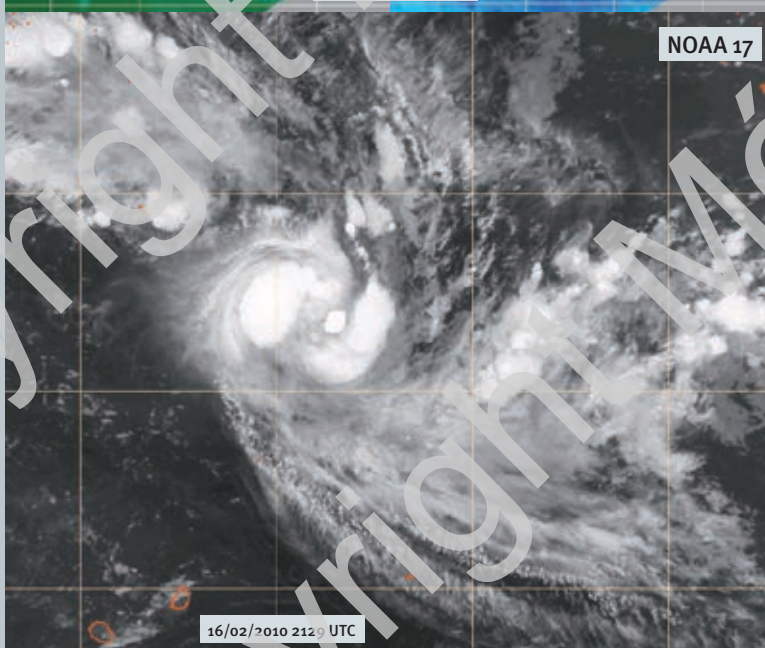
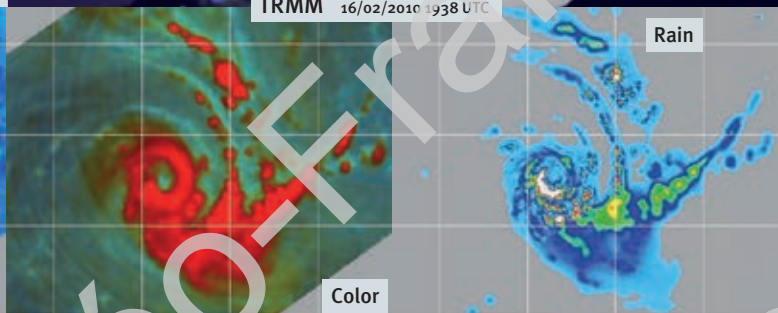
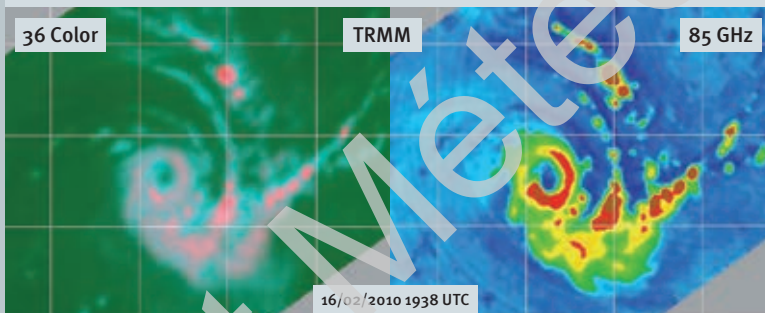
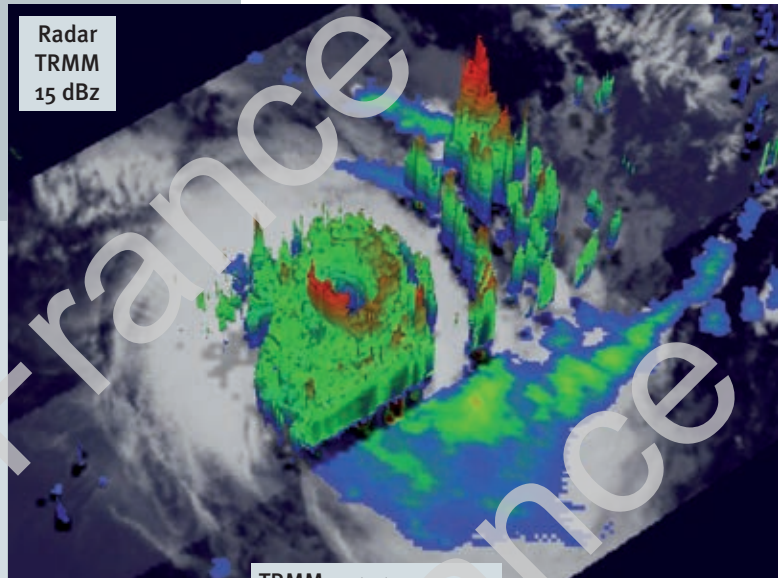
EVOLUTION

After edging away from Agalega, the meteor initiated a south-southeastward motion in the afternoon of February 15. The steering flow had now passed under the control of a small mid-troposphere

GELANE, lors de sa première phase d'intensification. Le météore est alors analysé en forte tempête tropicale et il est vraiment rare de voir une telle différence entre les degrés d'organisation respectivement affichés par l'imagerie micro-onde et l'imagerie classique (infrarouge en l'occurrence). Autant la structure apparaît impressionnante sur l'imagerie micro-onde ou radar de TRMM (seul radar précipitations en orbite dans l'espace), avec un œil déjà bien formé (même si le mur de l'œil qui l'entoure, n'est associé à de la convection profonde que sur environ la moitié de sa circonférence), autant l'on peine à croire que les images infrarouge puissent lui correspondre ; on n'y retrouve même pas un CDO (amas nuageux central dense) bien constitué, ne serait-ce...

Autre élément intéressant, la structure présentée sur l'imagerie micro-onde (en canal 37 GHz plus particulièrement), où la présence de tours chaudes convectives dans la partie sud-ouest de l'œil, pouvait laisser prévoir une phase d'intensification rapide à venir. Cela ne sera pas le cas et GELANE plafonnera au contraire assez rapidement en intensité, ne repartant en intensification que bien plus tard.

Radar
TRMM
15 dBz



GELANE, during its first phase of intensification. The meteor was then analysed as a severe tropical storm and it is really uncommon to see such a difference between the degrees of organization respectively displayed by the microwave imagery and the classical imagery (infrared in that case). Just as the structure seemed impressive on the microwave imagery or TRMM radar (the only rain radar in orbit in space), with a clear-cut eye (even if the eyewall which surrounded it was associated with deep convection only over about half of its circumference), so was it difficult to admit that the infrared imagery could correspond to the same cloud system ; no well defined CDO (Central Dense Overcast), was even depicted... Other interesting element, the structure portrayed on the microwave imagery (by the 37 GHz channel especially) where the presence of hot convective towers in the southwestern portion of the eyewall could let foresee a phase of rapid intensification to come. This was not the case as GELANE's intensity would soon plateau and will resume intensifying much later only.

GELANE fait route quasiment plein sud, et ce depuis déjà plus de 24h. La problématique en terme de prévision de trajectoire est alors très intéressante (et cruciale également, compte tenu du rapprochement, pouvant devenir inquiétant, du phénomène de l'archipel des Mascareignes).

Les prévisions de modèles numériques se séparent en deux faisceaux divergents bien distincts : les modèles américains conservent une trajectoire très méridienne, faisant donc passer le météore à l'ouest de Rodrigues (pour la majorité d'entre eux, à une distance suffisante pour que la petite possession mauricienne échappe à la zone de vents forts très compacte associée au phénomène), tandis que les modèles européens font incurver le cyclone vers le sud-ouest, puis l'ouest-sud-ouest, le faisant passer sur les îles de Maurice et de La Réunion, ou à proximité, mais en affaiblissement.

L'analyse de la situation permet de comprendre la logique de ces deux options différentes. La situation synoptique se caractérise par la permanence du profond talweg d'altitude déjà mentionné, qui s'enfoncé toujours depuis le sud des Mascareignes jusqu'au nord de Madagascar, et à l'avant duquel circule un rapide courant de nord-ouest. En basse troposphère, le centre d'action à prendre en compte est la dorsale subtropicale, dont la bordure septentrionale suit, grosso modo, l'arc de l'archipel des Mascareignes, légèrement au sud de celles-ci. La divergence de vue et de prévisions entre modèles numériques, se fait entre ceux qui privilégient un flux directeur durablement piloté par la situation d'altitude et ceux qui prévoient un flux directeur basculant sous le contrôle dominant des couches inférieures de l'atmosphère, avec incurvation et redressement progressif de la trajectoire de GELANE le long de la bordure nord de la dorsale subtropicale.

Une évaluation de la situation fondée uniquement sur l'analyse des champs aux différents niveaux, amène à statuer que prévision de trajectoire et prévision d'intensité sont fondamentalement liées. Le positionnement de GELANE en limite orientale du courant-jet de nord-ouest précité, explique ce diagnostic : soit le cisaillement vertical de vent généré par le courant-jet ne "mord" que tardivement sur le cyclone et le poids de l'altitude demeure primordial pour gouverner le flux directeur, avec une trajectoire qui reste dès lors très méridienne (et inversement, plus la trajectoire demeurera méridienne, plus cela retardera ou limi-

ridge standing to the northeast of the depression which was thereby steered towards a barometric col positioned in the vicinity of Rodrigues Island,... but also straight towards an area in which strong vertical windshear prevailed.

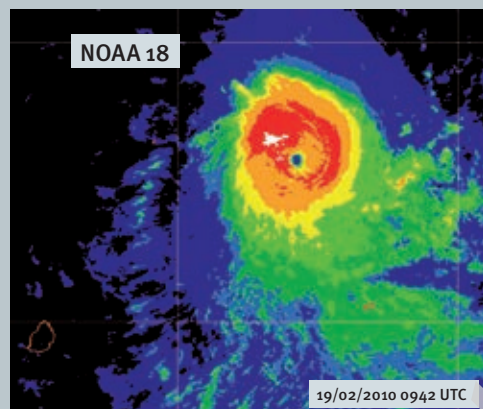
However, that pre-existing windshear ahead of the system's trajectory, was to go through a collapsing trend during the next 48h, thus giving the meteor the opportunity to go on developing, and it had no hesitation in doing so. As soon as the evening of February 16, the embryo of an eye started to build up on the microwave imagery. It took only a few hours to close in (see TRMM imagery opposite page), becoming perfectly defined during the second part of the night. Although that evolution appeared definitely less spectacular on the infrared imagery, it unquestionably revealed a clear organisation of the phenomenon and a deepening at a faster pace of the depression. With a gain of more than one point in 12h on the Dvorak intensity scale, the intensification rate largely exceeded the climatological norm between the afternoon of February 16 and the morning of February 17 making GELANE jump from moderate tropical storm stage to tropical cyclone stage in the meantime. But GELANE was then to undergo a slight bout of fainting fit as if it had to recover after that initial rapid intensification phase. The intensification was stopped and the meteor showed some weakening signs. The eye, which had emerged on the visible imagery at the beginning of the morning of February 17, thus disappeared after a few hours, while on the microwave imagery, it tended to decay a little, giving way, temporarily, to a banding eye pattern (like an "open" eye hence).

In addition, without any connection with the intensity of the phenomenon, a certain shrinking of the cloud system could be noticed at the same time. Of reduced size from the origin, the meteor was then bordering on "super-dwarfism" (during the morning, GELANE could undoubtedly be ranked already as a midget cyclone, with an estimated gale diameter of 110 km, according to the windfield derived from the Ascat scatterometer data). This type of very small size system is extremely sensitive and vulnerable to any change, even slight, in the environmental conditions. So slight and tiny in that case that it was in fact very difficult to identify the cause of the trouble which made GELANE feel less comfortable : upper divergence remained very favourable, even though it tended to become a little less effective equatorward, while the shear had abated to almost zero. The

ocean heat content did not seem to be responsible either, because it was at the very moment when the meteor was moving at its slowest pace (less than 5 km/h of average cruising speed during the night of 17 to 18) that signs of revival in organization of the cloud system started to show up. So inconsiderable finally, that the impact on GELANE remained marginal all in all, since the meteor was still ranked at the minimal stage of tropical cyclone. It was in fact more a plateau phase the intensity of the storm had gone through, than a real bout of weakness. The questioning about what was to come now (second round of intensification or weakening ?) was then quite legitimate. Uncertainty came to an end after about thirty hours and it was eventually the first option which proved to be true.

In the evening of February 18, the disturbance began a new phase of intensification, which almost ran amuck at the end of the ensuing night. A phase of rapid intensification followed, which lasted about twelve hours and led GELANE to its absolute maximum of intensity. At its culmination, it was estimated that the intense tropical cyclone was generating maximum 10-min average winds of more than 200 km/h (110 knots) beneath the eyewall, whose diameter was about 20 km. It must be noted that this final phase of GELANE's notable intensification took place while the vertical windshear was increasing and while the upper outflow could just rely on a single real channel poleward, which was indeed very efficient. At the time of what then would turn out to correspond to its maximum of intensity, GELANE had been tracking almost due south, for more than 24h already. The track prediction problem was then quite interesting (and crucial too, considering the fact that the phenomenon was getting closer to the Mascarene Islands, and could become a real threat to them). The track forecasts of the numerical models divided into two quite different divergent options : the U.S. models stuck to a very meridian-like track, carrying the meteor to the west of Rodrigues (for most of them far enough from the small Mauritian possession for it to be spared the very compact area of strong winds associated with the storm), whereas the European models predicted that the cyclone would recurve southwestward, then west-southwestward, and would track across Mauritius and La Reunion islands, or near them, but on a weakening trend and after having lost most of its strength.

The thorough analysis of the situation enabled one to understand the own



GELANE à son apogée. Le cyclone intense entre dans la catégorie des "midgets" (systèmes nains), avec une extension de la zone de vents forts réduite (diamètre du coup de vent alors estimé à 170 km). Les bandes périphériques amènent les premières pluies sur l'île Rodrigues, alors que l'île Maurice (sur le bord gauche des images) reste à l'écart des masses nuageuses liées au phénomène.

GELANE at its climax. The intense cyclone could be qualified as a midget cyclone, with a limited extension of the strong wind area (diameter of gales estimated at 170 km). The peripheral bands were bringing the first rains to Rodrigues Island while Mauritius Island (on left side of adjacent images) remained outside of the cloud activity related to the storm.



logics of those two different options. The synoptic situation was characterized by the persistent presence of the aforementioned deep upper trough, which still dug from the south of the Mascarene to the north of Madagascar, and ahead of which a fast northwesterly current was flowing. In the lower troposphere, the main synoptic feature to be taken into account was the subtropical ridge, whose northern edge was more or less following the arc of the Mascarene Archipelago, slightly to the south of the latter.

The different views and predictions between the numerical models split into those who privileged a steering flow driven, on a long term basis, by the upper level situation and those who predicted a steering flow switching under the prevailing control of the lower levels of the atmosphere and resulting into GELANE's trajectory gradually bending and straightening up along the northern edge of the subtropical ridge.

An assessment of the situation only based on the analysis of the fields at all levels, led to the conclusion that track and intensity forecasts were fundamentally linked. GELANE's positioning at the eastern boundary of the aforementioned northwesterly jet-stream, accounted for that diagnosis : either the cyclone would impinge late on the vertical windshear generated by the jet-stream and in this case the weight of the upper levels would

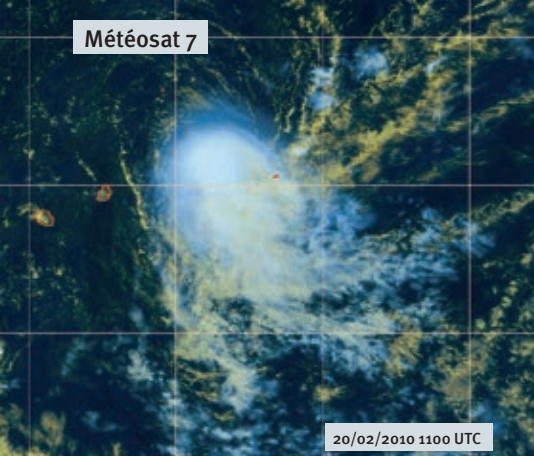
remain dominant to drive the steering flow, with a track then staying very meridian-like oriented (and conversely, the more meridian-like the trajectory would remain, the more it would delay or limit the shear and consequently the decrease in intensity), or either the jet-stream would quickly encroach upon the cloud system and shear it. In such case the steering flow would then become driven by the situation in low and mid troposphere, with an induced change of trajectory (and conversely, any bending of the trajectory towards the southwest or the west, would unavoidably lead the meteor to be hit by the strong upper northwesterlies and to undergo detrimental windshear in term of intensity – the jet-stream and linked shear acting hence as a protective "shield" for Mauritius Island and La Réunion, for which the potential threat represented by GELANE seemed therefore low).

Moreover a closer look at the numerical fields led to the conclusion that the imminent recurvature predicted by the European models did not seem really credible, as their analysis of GELANE's structure did not fit the reality of an intense cyclone : they considerably underestimated the intensity of the system, whether in term of minimal pressure, or mainly in term of the vertical extension of the low circulation. Thence they did not judge and integrate the weight of altitude

tera le renforcement du cisaillement de vent et donc la baisse d'intensité), soit le courant-jet empiète rapidement sur le système nuageux et le cisaille, le flux directeur devient alors gouverné par la situation en basse et moyenne troposphère, avec changement de trajectoire induit (et inversement, toute inflexion de trajectoire vers le sud-ouest ou vers l'ouest, amènerait inévitablement le météore à se heurter au courant-jet de nord-ouest et à subir un cisaillement de vent rédhibitoire en terme d'intensité – et faisant de fait office de "bouclier" protecteur pour l'île Maurice et La Réunion, pour lesquelles la menace potentielle GELANE apparaît donc faible).

A y regarder d'encore plus près, l'incurvation imminente prévue par les modèles européens paraît de surcroît difficilement crédible, car leur analyse de la structure de GELANE ne colle pas à la réalité d'un cyclone intense : ils sous-estiment largement l'intensité du système, que ce soit en terme de minimum de pression, mais surtout en terme d'extension verticale de la circulation dépressionnaire. Ils ne prennent donc pas en compte le poids de l'altitude à sa juste valeur et biaisent artificiellement et de manière irréaliste le flux directeur en l'assujettissant incorrectement aux couches moyennes et inférieures.

La problématique peut donc se résumer à l'alternative suivante : tant que le cyclone



20/02/2010 1100 UTC

n'est pas ou peu affecté par le cisaillement de vent ou parvient à lui résister, l'option sud semble la plus probable, mais s'il advient que le cisaillement de vent vienne à imposer son emprise, ce qui peut se produire de manière assez brutale s'agissant d'un système de petite taille comme GELANE, il faut alors s'attendre à un changement de trajectoire.

En fin de journée du 19 février, la trajectoire de GELANE s'infléchit sud-sud-ouest, ce qui peut laisser penser un temps (jusqu'en fin de nuit suivante en fait) que l'option "incurvation de trajectoire" soit la bonne. A ce stade, l'imagerie satellitaire indique que la contrainte cisaillée a bien commencé de se mettre en place et d'exercer une influence sur GELANE, mais que celui-ci parvient encore assez bien à lui résister : l'œil ne disparaît sur l'imagerie infrarouge qu'en deuxième partie de nuit, tandis qu'il demeure présent sur l'imagerie micro-onde, même si l'on note un début de déphasage entre la surface et l'altitude (structure verticale inclinée sous la pression du flux d'altitude).

Mais en début de journée du 20, le déplacement reprend un cap vers le sud, et même légèrement sud-sud-est, ce qui apparaît presque paradoxal, puisque ce retour à l'option "trajectoire méridienne", survient plus ou moins au moment où la contrainte cisaillée atteint les 20 nœuds, qui semble être le seuil critique à partir duquel elle commence à impacter irrésistiblement le système nuageux : que ce soit sur l'imagerie classique ou micro-onde, la détérioration de la structure est désormais manifeste, avec en particulier l'érosion, puis la disparition de l'œil résiduel, sur l'imagerie micro-onde, GELANE perd son statut de cyclone tropical en début d'après-midi de ce 20 février.

La poursuite de l'affaiblissement semble inéluctable, mais connaît toutefois une halte la nuit suivante. Il ne s'agit cependant que d'une phase de rémission temporaire (voir explications page 54) et en début de journée du 21, le système nuageux "implose" en quelques heures. La convection est "soufflée" par la ventilation de nord-ouest, laissant le minimum dépressionnaire totalement exposé. Décapitée dans son extension verticale, la circulation dépressionnaire passe

GELANE transite à l'ouest de l'île Rodrigues. Alors en phase d'affaiblissement, le météore a été déclassé en forte tempête tropicale et affiche la configuration nuageuse caractéristique (en forme de "méduse") d'un système soumis à un début de cisaillement de nord-ouest.

La zone de vents forts associée au phénomène est suffisamment compacte pour éviter l'île Rodrigues (où les vents n'excéderont pas les 90 km/h en pointe), qui n'échappe par contre pas aux bandes pluvieuses présentes dans le demi-cercle est de la perturbation, traditionnellement le plus humide (par contraste avec le demi-cercle ouest – où se trouvent les deux autres îles de l'archipel des Mascareignes – beaucoup plus sec). Mais en l'occurrence, il s'agit de bonnes pluies, bienvenues pour Rodrigues, pas assez fortes pour causer des dégâts, mais suffisantes pour impacter positivement la ressource en eau. En 36h, 143 mm de pluie seront ainsi recueillis à l'aéroport de Plaine Corail (dont 118 mm en 24h lors de cette journée du 20 février), et 94 mm à Port Mathurin.

GELANE while transiting to the west of Rodrigues Island. In a weakening phase at the time, the meteor had been downgraded as a severe tropical storm and displayed the typical cloud pattern (assuming the shape of a "jellyfish") of a system subjected to an incipient northwesterly windshear.

The area of strong winds associated with the phenomenon was compact enough to avoid Rodrigues Island (where the peak gusts did not exceed 90 km/h), which on the other hand did not avoid the rain bands present in the eastern semi-circle of the storm, traditionally the wetter one (in contrast to the western semi-circle – where the other two islands of the Mascarene Archipelago found themselves – which was much drier). But in that case, the rains were good rains, welcome for Rodrigues, not heavy enough to cause damage, but in sufficient quantity to positively impact the water resources. In 36h, 143 mm of rain were recorded at Plaine Corail airport (of which 118 mm fell in 24h during February 20), and 94 mm at Port Mathurin.

at its true value and artificially biased the steering flow in an unrealistic way by wrongly subjecting it to the mid and lower levels.

The problem could then come down to the following alternative : as long as the cyclone was not or little affected by the windshear or succeeded in resisting it, the southward motion option seemed the more likely, but if the windshear happened to get the storm into its clutches and impose its ascendancy, which may occur in a rather abrupt way in the case of a small size system such as GELANE, a change of trajectory must then be expected.

At the end of February 19, GELANE's trajectory slanted slightly towards the south-southwest, which could let envisage for a while (in fact until the end of the following night) that the "recurvature option" was the right one. At that stage, the satellite imagery revealed that the sheared constraint had actually begun to take place and to exert an influence over GELANE, but that the latter still succeeded in resisting it rather easily : the eye disappeared on the infrared imagery only during the second part of the night, while it was still visible on the microwave imagery, even though an incipient decoupling could be noticed between the surface and the altitude (tilted vertical structure under the push of the upper flow). But at the beginning of February 20, GELANE resumed its motion towards the south, and even slightly east than due south, which seemed almost paradoxical, since this return to a "meridian-like trajectory option" took place more or less when the sheared constraint reached 20 knots, which seemed to be the critical threshold from which it started to impact the cloud system irresistibly : whether it was on the classical or the microwave imagery, the deterioration of the structure was henceforth evident, with, in particular, the erosion, then the disappearance of

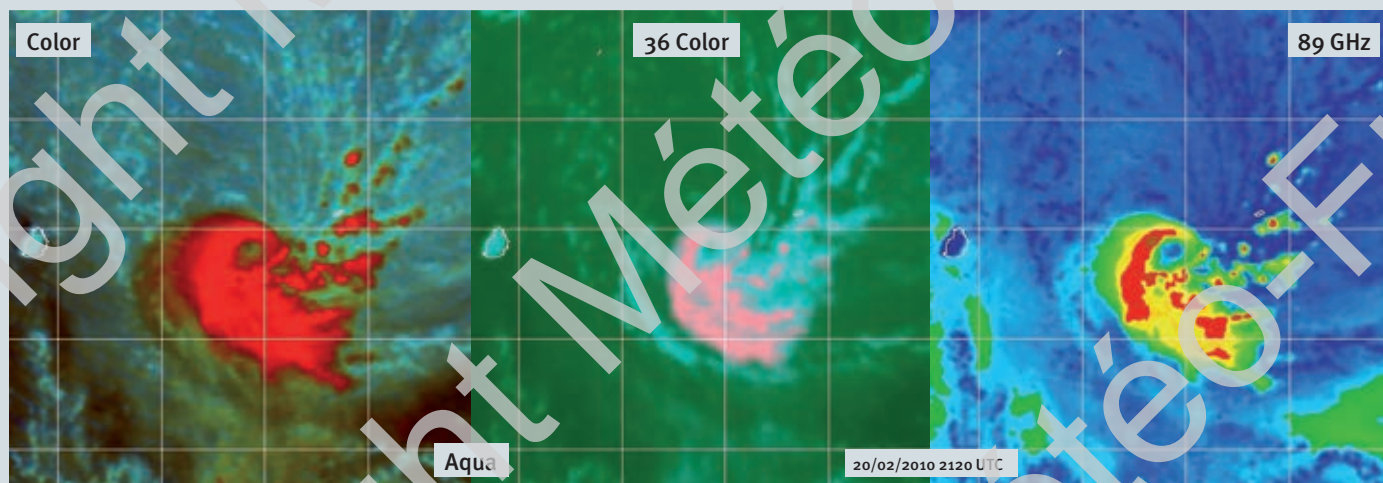
the residual eye, on the microwave imagery. GELANE lost its status as a tropical cyclone at the beginning of the afternoon of February 20.

It seemed that the weakening of the system was inescapable. However, there was a pause during the following night. Nevertheless, that was only a temporary phase of remission (see explanations page 54) and at the beginning of February 21, the cloud system "imploded" in a few hours. The convection was blown off by the northwesterly ventilation, leaving the low totally exposed. Decapitated in its vertical extension, the low circulation promptly switched over under the control of the anticlockwise low-level flow, which, after a sudden slowdown in the morning, caused the trajectory to shift towards the northwest. Concomitantly, the low filled very rapidly : the central pressure was estimated to come back above the 1000 hPa mark as early as in the evening, when the low centre was situated only 300 km to the east of Mauritius Island. But there was of course no more threat, both for Mauritius and for the sister island of La Réunion.

After crossing back transitorily latitude 20° South, by the end of the following night, the residual low veered almost due south and maintained this heading for about 12h, before turning off towards the southwest during the afternoon of February 22. Transiting on the following day to the south of Mauritius and La Réunion, without repercussions (see page 55), the remnants of ex-GELANE ended dissipating off the southeastern Malagasy coasts on February 25.

As the only storm of the season which might have threatened the Mascarene, GELANE only passed indulgently, without causing any damages, among the islands of the archipelago (and in a weakening phase), with, in the end, an influence limited to beneficial rains for Rodrigues.

Le chant du cygne de GELANE. Encore classé en forte tempête tropicale à ce moment-là, le météore va bientôt entrer en phase de dégénérescence finale, mais connaît, l'espace de quelques heures, un intermède de rémission temporaire, qui se traduit par la tentative de reconstitution d'un "œil" sur l'imagerie micro-onde (œil cohérent sur la verticale – quasiment pas de déphasage entre l'altitude et la circulation de basses couches). Mais c'est l'imagerie infrarouge qui permet de comprendre le pourquoi de ce surprenant regain d'organisation, alors que GELANE continue pourtant de subir l'emprise de la contrainte cisaillée de nord-ouest, qui avait bel et bien commencé de le déstructurer en journée. En fait la contrainte cisaillée est toujours là, mais encore suffisamment modérée (estimée à un peu moins de 20 nœuds par le CIMSS) pour que le météore parvienne, durant un temps, à la contrer. Ce par la grâce du cycle diurne de la convection, ou nocturne serait-on tenté de dire. Car c'est en l'occurrence la traditionnelle poussée d'activité convective survenant sur mer en fin de nuit, qui est responsable de cet état de fait. La divergence naturellement générée en altitude par le flux de masse lié à la poussée de convection, vient suppléer le flux sortant d'altitude déficient de GELANE et lui redonne un coup de fouet temporaire, d'une vigueur suffisante pour contrer la ventilation néfaste associée au flux de nord-ouest environnant auquel est confronté le météore. Sur l'image infrarouge, on distingue bien le voile de cirrus en forme de couronne matérialisant le flux sortant d'altitude issu de la perturbation. Renforcé temporairement par la divergence forcée par la convection, celui-ci est suffisamment puissant pour s'épancher jusqu'à environ 150 km de la bordure de la convection du côté au vent du flux environnant de nord-ouest. Agissant comme un bouclier protecteur, il empêche la ventilation extérieure de pénétrer au cœur du système et isole et protège ainsi l'activité convective, qui peut du coup se réorganiser, avec cette velléité induite de régénération d'œil.



GELANE's swan song. Still ranked as a severe tropical storm at that time, the meteor would soon begin its final phase of decay, but went, during a few hours, through a temporary phase of remission, which translated into an attempt to rebuild an eye-like feature on the microwave imagery (vertically coherent with almost no tilt between the upper and lower levels).

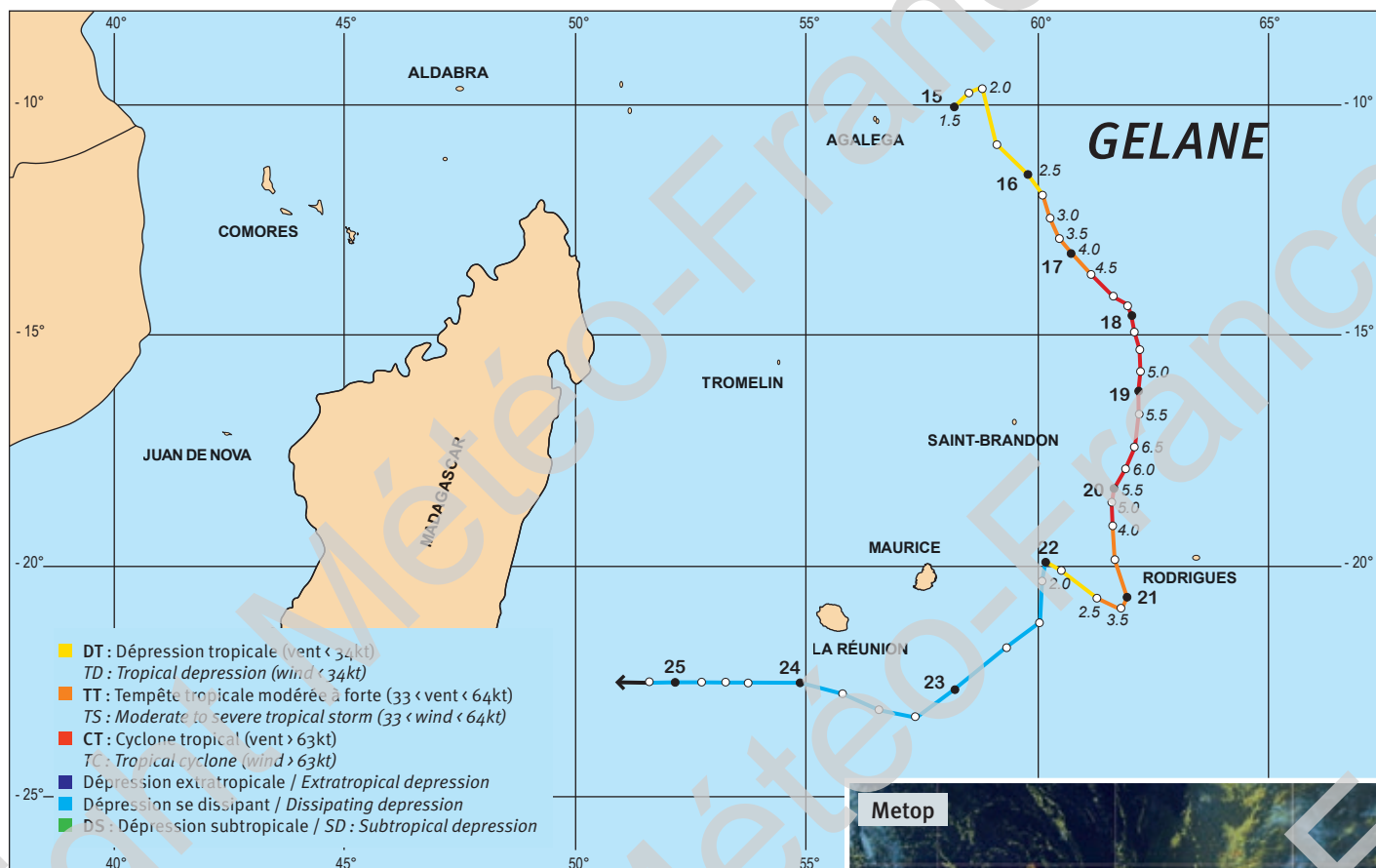
But it was the infrared imagery that enabled to understand the reason why that unexpected revival in organization took place, even though GELANE was still undergoing the ascendancy of the northwesterly sheared constraint, which had well and truly begun to de-structure it during the day. In fact the sheared constraint was still there, but still moderate enough though (estimated by the CIMSS at a little less than 20 knots) for the meteor to succeed, for a while, in countering it. That could happen thanks to the diurnal cycle of convection, or nocturnal cycle if we may say so. Because it was in that case the usual flare up of convective activity taking place over the ocean at the end of the night, which was responsible for that state of things. The upper divergence naturally generated in altitude by the mass flux induced by the flare up of convection, assisted GELANE's feeble upper outflow boosting it temporarily, sufficiently enough to counter the detrimental ventilation associated with the surrounding northwesterly flow with which the meteor was confronted. On the infrared imagery, the veil of cirrus in the shape of a crown which materialized the upper outflow stemming from the disturbance is clearly visible. Temporarily reinforced by the convectively forced divergence, the outflow is powerful enough to spread as far as 150 km from the edge of the convection on the windward side of the environmental northwesterly flow. Acting like a protective shield, it prevented the outer ventilation from penetrating into the core of the system thereby isolating and protecting the convective activity, which could as a result reorganize, with the induced attempt at regenerating an eye in embryo.

brutalement sous le contrôle du flux anticyclonique de basses couches, ce qui a pour effet, après un bon coup de frein en matinée, de faire obliquer abruptement la trajectoire vers le nord-ouest. Concomitamment, le minimum dépressionnaire se comble très rapidement : il est estimé repasser au-dessus des 1000 hPa dès la soirée, alors qu'il ne se situe plus qu'à 300 km à l'est de l'île Maurice. Mais il n'y a bien sûr plus aucune menace, tant

pour Maurice que pour l'île sœur de La Réunion. Après être remonté, de manière transitoire, légèrement au nord du 20^{ème} parallèle Sud, en fin de nuit suivante, le minimum résiduel repart quasiment plein sud pendant une douzaine d'heures, avant d'obliquer vers le sud-ouest dans l'après-midi du 22 février. Transitant le lendemain au sud de Maurice et de La Réunion, sans conséquences (voir

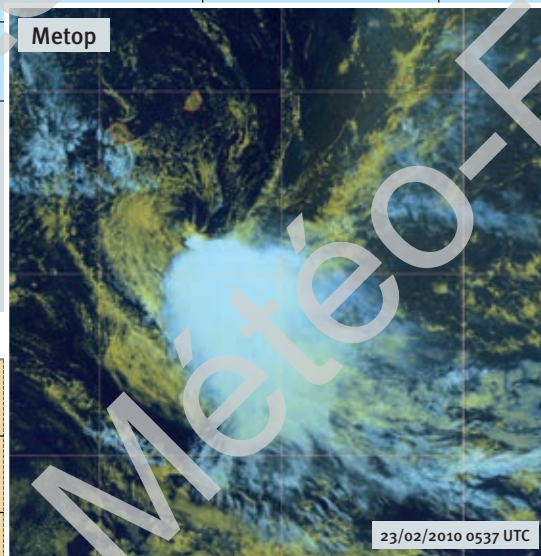
page 55), les résidus de l'ex-GELANE viennent mourir au large des côtes sud-est malgaches le 25.

Seul système dépressionnaire de la saison qui aurait pu menacer les Mascareignes, GELANE n'a finalement fait que passer de manière bénigne au milieu des îles de l'archipel (et en phase d'affaiblissement), avec à l'arrivée une influence se limitant à des pluies bénéfiques sur Rodrigues.

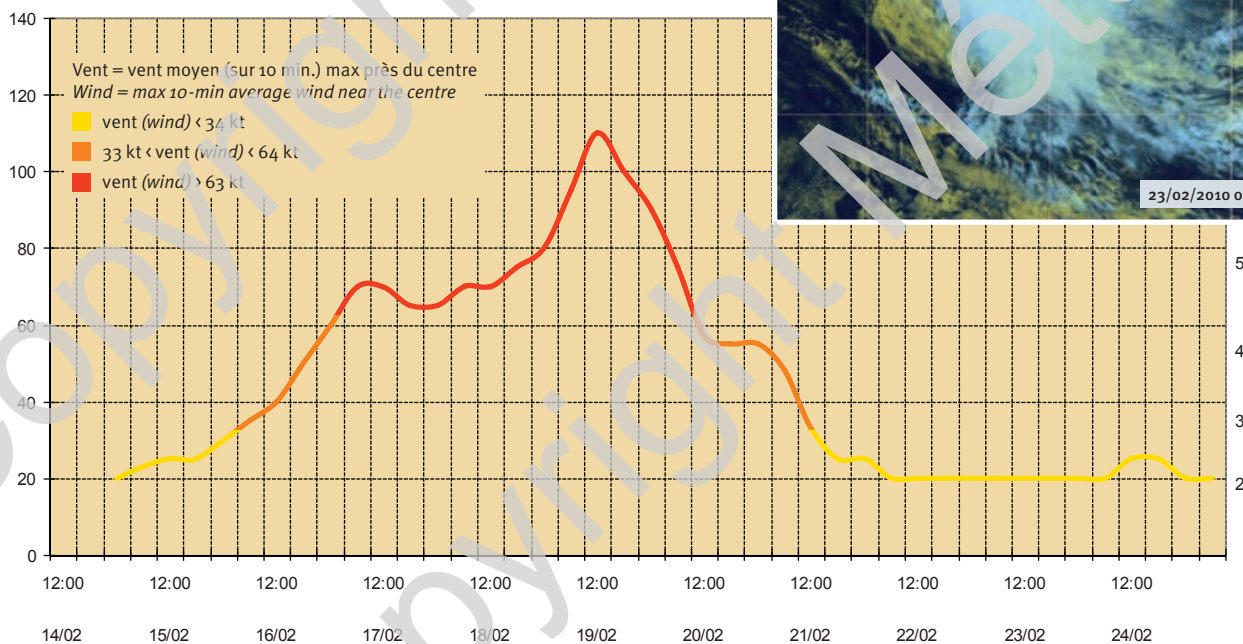


L'ex-GELANE transite au sud de Maurice et de La Réunion. Les îles sœurs se trouvent du "bon" côté de la circulation dépressionnaire et, malgré sa proximité, ne connaissent qu'une influence des plus marginales, échappant en particulier aux fortes pluies présentes au sud du minimum résiduel, la convection étant rejetée loin au sud-est, sous le vent de la contrainte cisaillée de nord-ouest qui affecte le météore.

Ex-GELANE while transiting to the south of Mauritius and La Réunion. The sister islands found themselves on the "good" side of the clockwise circulation and, despite their proximity from the remnant low, the influence they underwent was but very marginal, as they were spared the heavy rains existing south of the low, the convection being rejected far to the southeast downshear from the ventilation that affected the meteor.



GELANE du 15/02 au 25/02/2010



EVOLUTION DU VENT MAX EN NŒUDS (A GAUCHE) ET DU NOMBRE CI DE 6 HEURES EN 6 HEURES
6 - HRLY MAX WIND (KT) AND CI TIME-EVOLUTION (LEFT AND RIGHT)

Hubert

Forte Tempête Tropicale

du 7 au 15 mars 2010

Severe Tropical Storm "Hubert" (7-15 March 2010)



FORMATION



En février, après la dissipation finale des résidus de l'ex-GELANE au large des côtes sud-est de Madagascar (le 25 février), le bassin Sud-Ouest de l'océan Indien semble être retombé dans une période de léthargie durable. En association avec une phase de MJO neutre, l'activité est faible, avec un flux trans-équatorial de mousson qui demeure insignifiant et une ZCIT qui a, en conséquence, bien du mal à se reconstituer. Dans ce contexte apathique, une cyclogénèse "classique", i.e. au sein du talweg de mousson, apparaît improbable. Pourtant, un système dépressionnaire va tout de même parvenir à se développer, mais, en effet, de manière "non ordinaire".

A compter du 5 mars, une vaste zone faiblement dépressionnaire s'installe au nord du 20^{ème} parallèle Sud autour de Madagascar et à l'est, avec un centre de basses pressions que les observations de surface permettent de situer entre l'île de Tromelin et la côte est malgache. Dans le même temps, les hautes pressions subtropicales se reconstituent au sud sur toute la largeur du bassin, générant un alizé bien établi, qui souffle même assez fort dans la zone de gradient resserré assurant l'interface entre les deux centres d'action précités. Les vents dérivés des données diffusiométriques de l'orbite Ascat du début de nuit suivante, montrent que le flux de mousson qui s'arrêterait la veille bien au nord du 10^{ème} parallèle Sud, au sud-ouest de l'archipel principal des Seychelles, a été aspiré par la zone de basses pressions et pénètre désormais jusqu'au voisinage du 17^{ème} parallèle Sud, où il vient converger avec l'alizé. Cette alimentation de mousson demeure toutefois assez faible.

Le jour suivant, la situation n'évolue guère, si ce n'est que le centre de basses pressions tend à se rapprocher de la côte malgache, étant localisé au large de l'île de Ste-Marie dans l'après-midi. Il dérive ensuite lentement en direction du sud-sud-ouest et on le retrouve le lendemain matin (7 mars) à proximité de la cité portuaire de Toamasina (Tamatave), parfaitement identifiable cette fois, car associé à un petit vortex nuageux de basses couches. Evoluant au sein d'un champ de pressions relativement élevé (pour la saison en tout cas), le minimum de pression est évalué – de manière fiable grâce aux observations environnantes – à 1010 hPa. Difficile à ce stade d'envisager un avenir grandiose à ce petit minimum dépressionnaire (seul un modèle numérique, celui du Centre européen, prévoit d'ailleurs une cyclogénèse à venir). Car si tant est qu'il parvienne à éviter de pénétrer sur terre à brève échéance, la proximité de Madagascar constitue de toute façon un facteur limitant, perturbant l'alimentation et la convergence de basses couches du côté équatorial. Si l'on fouille dans les archives du bassin, depuis 1962, 13 systèmes formés dans la zone située grossièrement entre Madagascar et La Réunion, ont pu atteindre le stade de tempête tropicale. Mais presque tous, à trois exceptions près, l'ont fait par la grâce de trajectoires vers l'est, les éloignant de la Grande Ile.

La clé se situe donc probablement là. Pour avoir une réelle chance d'espérer se développer, le minimum doit, à l'image d'un ENOK (en février 2007) ou d'un GUILLAUME (en février 2002), derniers phénomènes à être nés dans les mêmes parages et à avoir connu une belle évolution ensuite, s'écarter de la côte malgache. Et cela n'est a priori pas gagné,

car en continuant de progresser vers le sud, il se rapproche de la dorsale subtropicale, qui ne peut avoir pour effet que de l'entraîner à terme vers l'ouest. Eviter d'être drossé prématurément sur les côtes de la Grande Ile, semble donc un challenge difficile à relever dans ce contexte. Il va pourtant y parvenir.

EVOLUTION

En cours de nuit du 7 au 8 mars, alors qu'il ne se situe plus qu'à un peu plus de 30 km de la côte est malgache, un revirement "salutaire" de trajectoire intervient. Le minimum incurve progressivement vers l'est, changement de trajectoire plutôt surprenant, puisque s'effectuant à "rebours" de la bordure nord de la dorsale subtropicale présente au sud-est de Madagascar.

En ayant mis le cap vers le grand large, quoique à allure toujours réduite, mais légèrement plus soutenue cependant (la vitesse de déplacement excédant même les 5 km/h et ce pendant une douzaine d'heures!), le minimum dépressionnaire met progressivement de la distance avec le littoral malgache, s'éloignant jusqu'à 200 km au maximum en journée du 9 mars, moment où la progression vers l'est cesse, avec un virage en direction du sud, qui préfigure un nouveau revirement de trajectoire, vers le sud-ouest cette fois, avec retour annoncé vers Madagascar.

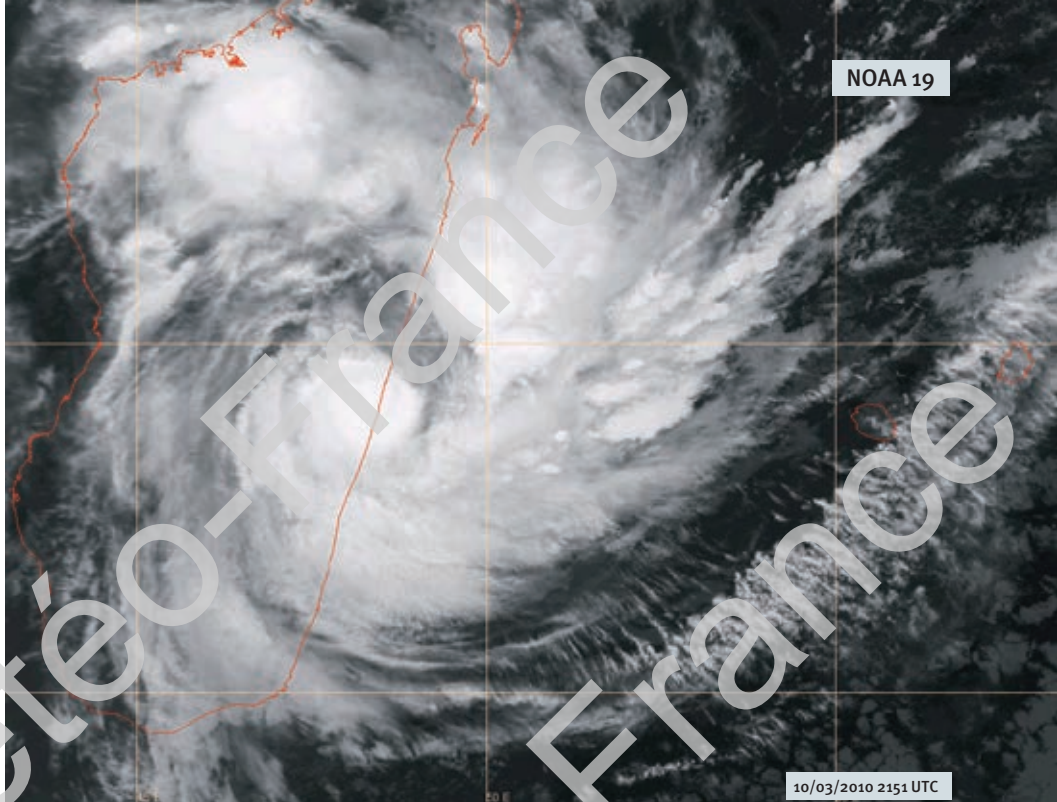
Entre-temps, le système a mis à profit l'espace vital élargi que lui a octroyé son éloignement des terres malgaches. L'environnement maritime favorable, avec des eaux évidemment chaudes en cette période de l'année (supérieures à 28°C en surface), se double d'un environnement météorologique également propice : sous la dorsale d'altitude, avec un cisaillement vertical de vent faible. Ces conditions avantageuses ont permis à la convection de se développer au-dessus du micro-vortex initial, s'installant durablement à compter de la nuit du 8 au 9, et prenant la forme d'un petit CDO (amas nuageux central dense) d'environ 150 km de diamètre au petit matin du 9 mars. Cette évolution autorise un classement du météore en perturbation tropicale, avec des vents maximaux moyens sur 10 min de 25 nœuds (ce que confirme la fauchée Ascat de la matinée du 9), pour un minimum de pression centrale estimé à 1005 hPa (soit un creusement de 3 hPa en 24h), une pression plus élevée que la normale, se justifiant par une pression environnementale nettement supérieure à la norme climatologique et par la petite taille du système.

Malgré cette amorce de développement, qui devrait logiquement déboucher assez rapidement sur une cyclogenèse effective, l'inquiétude n'est pas vraiment de mise à ce stade. Certes la perturbation naissante a stoppé sa progression vers l'est et, au vu des prévisions de trajectoires issues des modèles numériques disponibles, tout laisse à penser qu'un retour vers Madagascar et atterrissage sous 36 à 48h tout au plus, est hautement probable. Mais cette fenêtre temporelle réduite, laisse aussi raisonnablement espérer que le météore n'aura pas le temps matériel de s'intensifier jusqu'à un stade très avancé, avant d'effectuer son atterrissage sur la Grande Ile. Et avec le délitement de la convection observé dans l'après-midi du 9, conséquence habituelle classique du cycle diurne, le caractère menaçant de cette perturbation demeure pour l'heure effectivement très virtuel.

Mais par expérience (et il n'y a pas besoin de remonter loin en arrière – cf. l'intensification rapide de FAMI dans les quelques heures précédant son atterrissage sur le littoral sud-ouest malgache), l'on sait aussi qu'il faut rester prudent et se méfier de ces impressions visuelles temporaires, qui peuvent être très trompeuses, surtout s'agissant de systèmes de petite taille, qui sont capables de connaître des évolutions très rapides. Car les conditions environnementales demeurent favorables et une intensification – a priori d'ampleur limitée – reste prévue.

Elle commence à se concrétiser en cours de nuit suivante : la convection se re-développe et un CDO se reconstitue avant l'aube. Au petit matin du 10 mars, comparativement à la veille, le gain d'organisation au niveau de ce cœur central du météore n'est cependant pas spectaculaire sur l'imagerie satellitaire classique. L'évolution la plus manifeste se situe plutôt autour, avec une activité convective qui a gagné en importance, occupant maintenant quasiment tout l'espace entre La Réunion et la côte est de Madagascar. Mais l'imagerie micro-onde est, une nouvelle fois, beaucoup plus parlante : les courbures béantes au sein des bandes pluvieuses, y montrent une circulation dépressionnaire beaucoup mieux définie autour du centre de ce qui est analysé comme une dépression tropicale depuis la nuit précédente.

Tout est en place désormais pour une intensification. Mais le temps est compté, car après le virage effectué en fin de journée du 9 mars en direction du sud-ouest, le système a commencé son approche finale de Madagascar, pour un rendez-vous programmé dès la nuit à venir (du 10 au 11 donc). Comme stimulé



10/03/2010 2151 UTC

HUBERT, système dépressionnaire le plus dévastateur de la saison cyclonique 2009-2010. Loin d'avoir été le phénomène le plus puissant de la saison, comme en témoigne cette image infrarouge, pas spécialement impressionnante, acquise peu après son arrivée sur la côte sud-est de Madagascar, HUBERT a causé des inondations catastrophiques et meurtrières dans ce secteur de la Grande Ile, rappelant, une nouvelle fois, qu'une simple tempête tropicale peut, de part les pluies générées, avoir des conséquences tout aussi désastreuses qu'un cyclone tropical mature.

HUBERT, the most devastating system of the 2009-2010 cyclone season. Far from having been the most powerful phenomenon of the season, as testified by this infrared image, acquired just after the storm had accosted the southeastern coast of Madagascar and on which the meteor did not look particularly impressive, HUBERT caused catastrophic and deadly floods in that sector of the Great Island. One must keep in mind that a simple tropical storm may, because of the related generated rains, have as disastrous consequences as a mature tropical cyclone.

FORMATION

At the end of February, after the final dissipation of the remnants of ex-GELANE off the southeastern coast of Madagascar (on February 25), the South-West Indian Ocean basin seemed to have fallen again into a state of lasting lethargy. Associated with a neutral phase of the MJO, activity was weak, with a trans-equatorial monsoon flow which remained insignificant and the ITCZ which, consequently, found it very difficult to rebuild. In that apathetic context, a "classical" cyclogenesis, e.g. within the monsoon trough, seemed unlikely. Nevertheless, a tropical storm was to succeed in developing however, but, indeed, in a manner which was not ordinary.

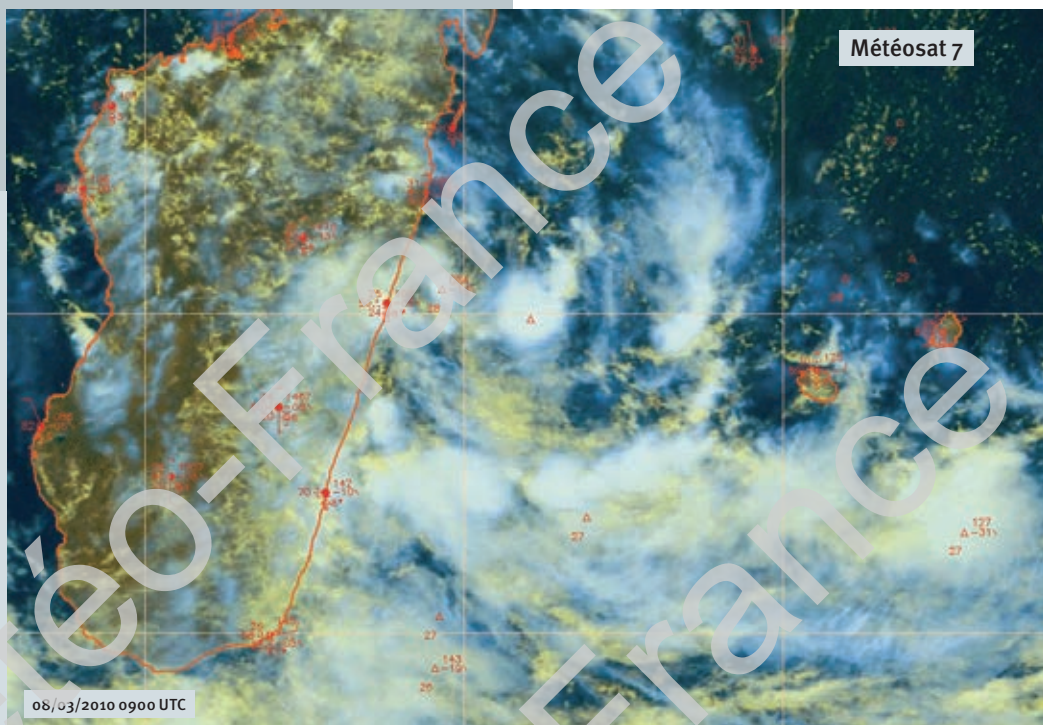
From March 5, a wide but weak low pressure area settled to the north of latitude 20°South around Madagascar and to the east, with a low centre that surface observations enabled one to locate somewhere between the island of Tromelin and the Malagasy eastern seaboard. At the same time, the subtropical high rebuilt to the south across the whole basin, supporting well-established trade winds, which were blowing rather strongly in the tightened gradient zone situated at the interface with the above-mentioned low pressure area. The

winds derived from the scatterometer data acquired by the Ascet swath of the following early night, showed that the monsoon flow which hardly penetrated into the southern hemisphere on the day before, being stopped well to the north of latitude 10°South to the southwest of the main archipelago of the Seychelles, had been sucked by the low-pressure area and henceforth penetrated as far south as the vicinity of latitude 17°South, where it converged with the trade winds. Yet, that monsoon flow remained rather weak. On the next day, the situation had not changed much, apart from the fact that the low centre tended to draw nearer to the Malagasy coast, being situated off the island of Ste-Marie in the afternoon. It then drifted slowly towards the south-southwest and was spotted in the morning of the next day (March 7) near the harbour city of Toamasina (Tamatave); it could be clearly identified this time, as it was associated with a small low-level cloud vortex. Evolving within a relatively high environmental pressure field (for the season in any case), the low was reliably assessed, thanks to the surrounding observations, at 1010 hPa.

At that stage it was difficult to envisage a bright future for that weak low (only one numerical model, that of the European Centre, forecast a cyclogenesis to come).

Pré-genèse d'HUBERT. "Petite cause, grands effets", a-t-on coutume de dire. En matière de systèmes dépressionnaires tropicaux, cela fonctionne souvent aussi, hélas... Quand on considère les origines du futur HUBERT, difficile d'imaginer que, moins de trois jours plus tard, mort et dévastation aurait été semées sur toute une région.

Le point de départ apparaît, en effet, tellement insignifiant et inoffensif : un "ridicule" petit minimum dépressionnaire, au centre d'un minuscule micro-vortex, à peine discernable sur cette image, mais dont on devine quelques enroulements de nuages bas, au voisinage de la côte est de Madagascar, entre Tamatave et Mahanoro. Les observations des stations météorologiques correspondantes, complétées par celles d'une bouée dérivante située à proximité du minimum dépressionnaire, permettent d'évaluer précisément la valeur de celui-ci à cet instant (un peu moins de 1008 hPa). Mais ce qui n'aurait pu constituer qu'un épiphénomène sans conséquence, va se transformer deux jours plus tard en une tempête tropicale impactant sévèrement le Sud-Est de la Grande Ile.



HUBERT's pre-genesis. "Great oaks from little acorns grow", as the proverb puts it. As far as tropical disturbances are concerned, it can also often be applied, unfortunately... When one considers the origins of what was to become HUBERT, it is difficult to imagine or believe that, less than three days later, death and devastation would have been sown over a whole region.

Indeed the starting point appeared so insignificant and harmless : a "ridiculous" weak low, at the centre of a tiny micro-vortex, barely discernible on this image, although some whiffs of low clouds could be guessed in the vicinity of the east coast of Madagascar, between Tamatave and Mahanoro. The observations of the corresponding meteorological stations, completed by those from a drifting buoy situated near the low, enabled to assess precisely the value of the latter at that very moment (just a little less than 1008 hPa). But what might only have constituted an epiphenomenon of no consequence, was going to turn two days later into a tropical storm which was to have a severe impact on the southeast part of the Great Island.

Since even though it would manage to avoid getting stranded on the Malagasy shore before long, the proximity of Madagascar was in any case a limiting factor, disturbing the low-level inflow and convergence equatorward. If we delve into the archives concerning the basin, since 1962, 13 systems formed in the zone roughly situated between Madagascar and La Réunion have been able to reach the tropical storm stage. But almost all of them, except three of them, did it thanks to eastward trajectories, shoving them off the Great island.

That was probably the key to the problem. To have a real hope of developing, the low had, like ENOK (in February 2007) or GUILLAUME (in February 2002), the last phenomena to have formed in the same area and to have experienced a successful evolution afterwards, to move away from the Malagasy coast. And at first sight this was not guaranteed at all yet, because as the low was still progressing southward, it was getting closer to the subtropical ridge, which should but carry it westward before long. Avoiding being driven prematurely onto the coast of the Great Island, seemed then a difficult challenge to take up in that context. However it would succeed in doing so.

EVOLUTION

During the night of March 7, while it was situated only a little more than 30 km from the eastern Malagasy coast, a "salutary" tacking about took place. The low progressively recurved towards the east, a change of trajectory which was rather odd, as it ran counter to the steering flow supposedly existing along the northern edge of the subtropical ridge which was present to the southeast of Madagascar.

As it was heading towards the open sea, still at reduced speed although slightly gathering pace (the moving speed even exceeded 5 km/h during about twelve hours!), the low gradually put increasing distance with the Malagasy seaboard, moving as far as a maximum of 200 km away during March 9, when the eastward motion was stopped, with a southward turn that foreshadowed a new change of trajectory, towards the southwest this time, auguring a return to Madagascar. In the meantime, the system had taken advantage of the widened living space granted by the distance that now separated it from land. The oceanic favourable environment, with warm waters – as logically expected at that time of the year (sea surface temperature above 28°C) –, acting together with a propitious meteorological environment as well (beneath the upper ridge, with a weak vertical windshear), enabled convection to develop above the initial tiny vortex. Settling durably from the night of March 8, the convection balled into a small CDO (Central Dense Overcast), of about 150 km in diameter, early in the morning of March 9. That evolution allowed the meteor to be classified as a tropical disturbance, with maximum 10-min average winds of 25 knots (which was confirmed by the Ascet swath acquired in the morning of March 9), for a minimum central pressure estimated at 1005 hPa

par l'urgence, le météore va mettre les bouchées doubles.

Le stade de tempête tropicale modérée sera considéré atteint en matinée de ce 10 mars, alors que le centre de la perturbation n'est plus distant que de 80 km de la côte malgache. Mais c'est dans l'après-midi et surtout dans les ultimes heures précédant l'arrivée sur terre, qu'HUBERT (pour l'anecdote baptisé le jour même où un nouvel agent, affublé du même prénom, assurait sa première vacation en solo en tant que prévisionniste spécialisé cyclone au CMRS de La Réunion – une coïncidence sûrement unique dans les annales...) voit son rythme d'intensification s'emballer. Un embryon d'œil mal défini s'ébauche dans l'après-midi sur l'imagerie micro-onde (et temporairement sur l'imagerie visible). Il gagne en définition en début de nuit et c'est au stade de forte tempête tropicale que le météore touche finalement terre vers 21h locales, un peu au nord de la localité de Mananjary (centre d'HUBERT à 25-30 km), après avoir redressé sa trajectoire vers l'ouest dans les heures précédentes. Les vents maximaux moyens sur 10 min sont estimés à 55 nœuds au moment de l'atterrissage, ce qui signifie des rafales maximales approchant les 150 km/h. Mais plus que ces vents violents, relativement localisés, ce sont les pluies qui vont poser problème et être à l'origine

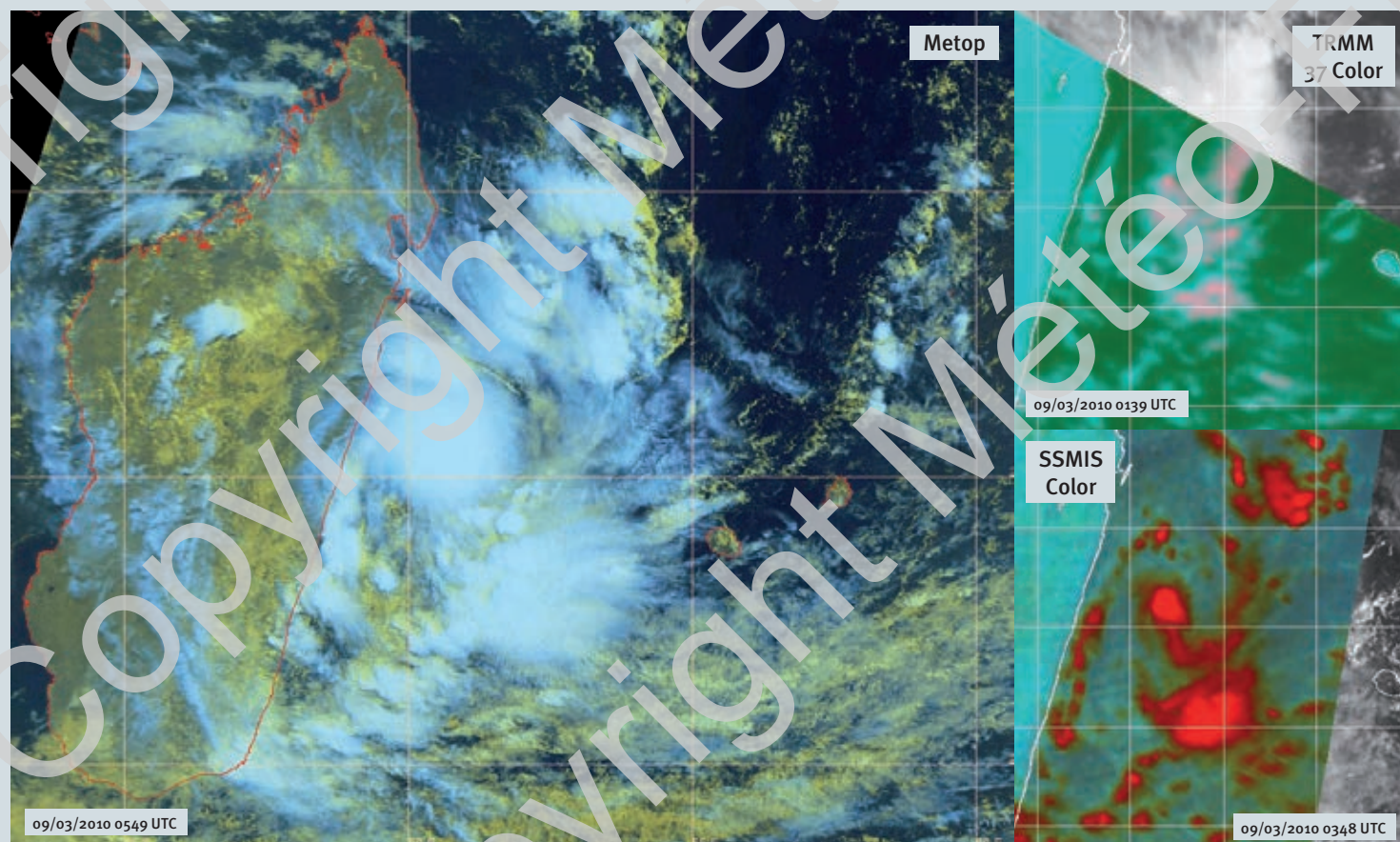
des conséquences les plus néfastes. Le déplacement lent du système, avec une remontée temporaire vers le nord le maintenant à proximité de la côte, va faire que les masses nuageuses et pluvieuses associées à la tempête vont concerner toute cette région du Sud-Est de Madagascar (dénommée Vatovavy-Fitovinany) et s'attarder l'essentiel de la journée du 11 mars. Zone humide naturelle, traversée notamment par le Canal des Pangalanes, sa plaine côtière y est particulièrement vulnérable, car fortement exposée au risque d'inondations. Les quantités d'eau importantes apportées par HUBERT, survenant alors que la saison des pluies est déjà bien avancée, vont faire déborder les rivières et exutoires naturels du trop-plein d'eau, engendrant des inondations de grande ampleur, avec des montées d'eaux localement spectaculaires, comme à Mananjary, où c'est la pire catastrophe de ce genre depuis celle engendrée par

(that is to say a deepening of 3 hPa in 24h), a pressure above normal, which could be justified by an environmental pressure that was definitely higher than the climatological average and by the small size of the system.

In spite of that incipient development, which should logically lead rather rapidly to effective cyclogenesis, there were no real worries about the situation at that stage. Of course the nascent disturbance had stopped moving eastward and, considering the track forecast from the available numerical models, the prospect of seeing a return towards Madagascar and a landfall within 36 to 48h at the very most, was highly probable. But it could reasonably be hoped that, because of that reduced time window, the meteor would not have enough time to intensify to a well advanced stage, before making landfall on the Great Island. And with the decaying of convection observed during the afternoon of March 9, a usual and

classical consequence of the diurnal cycle, the threatening character of that disturbance remained quite virtual indeed. But by experience (and there was no need to go back far in time to find a telling case – cf. FAMI's rapid intensification during the few hours preceding its landfall on the Malagasy southwest coast), one also knows that one must be cautious and careful about temporary visual impressions, that can be very deceptive, especially so with small size systems, which are liable to undergo very quick evolutions. And the environmental conditions indeed remained favourable so that some intensification – a priori of limited magnitude –, was still expected. This intensification began to verify during the following night : convection re-developed and a CDO rebuilt before dawn. However, early in the morning of March 10, compared to the day before, the gain in organization was not striking when looking at the central core of the

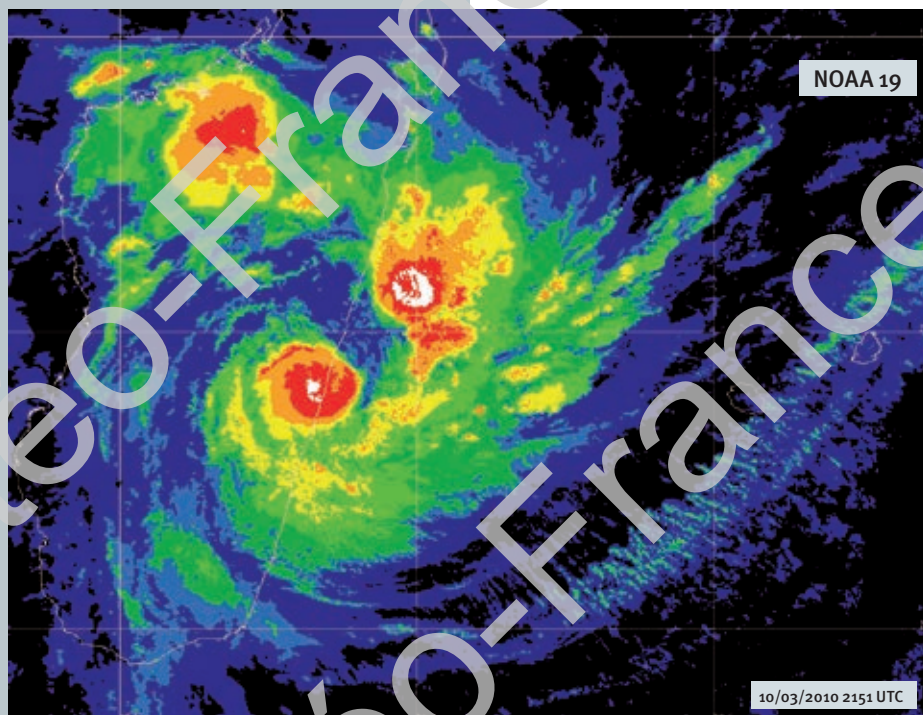
Cyclogenèse d'HUBERT. Malgré une évolution de prime abord spectaculaire par rapport à la veille (voir image page opposée), due au développement important de la convection, en particulier au-dessus du minimum dépressionnaire, la cyclogenèse du futur HUBERT n'est pas encore effective. Le processus est juste lancé et l'organisation interne du système, simple perturbation tropicale n°13 pour l'heure, en est encore à ses balbutiements, comme en témoigne l'imagerie micro-onde des heures précédentes, qui ne montre pas de structuration nette de l'activité pluvieuse liée à la convection, en particulier en basses couches (voir image TRMM en canal 37 GHz).



HUBERT's cyclogenesis. In spite of an evolution, which, at first glance, looked spectacular compared to the situation on the day before (see picture on opposite page), an impression which was due to the important development of convection, in particular above the low centre, the cyclogenesis of what was to become HUBERT was not effective yet. The process had just been kicked off and the inner organization of the system, the simple tropical disturbance n°13 for the time being, was still in its infancy, as shown on the microwave imagery of the preceding hours, which did not reveal any clear structuring of the rainy activity linked to the convection, especially in the lower levels (see TRMM image on channel 37 GHz).

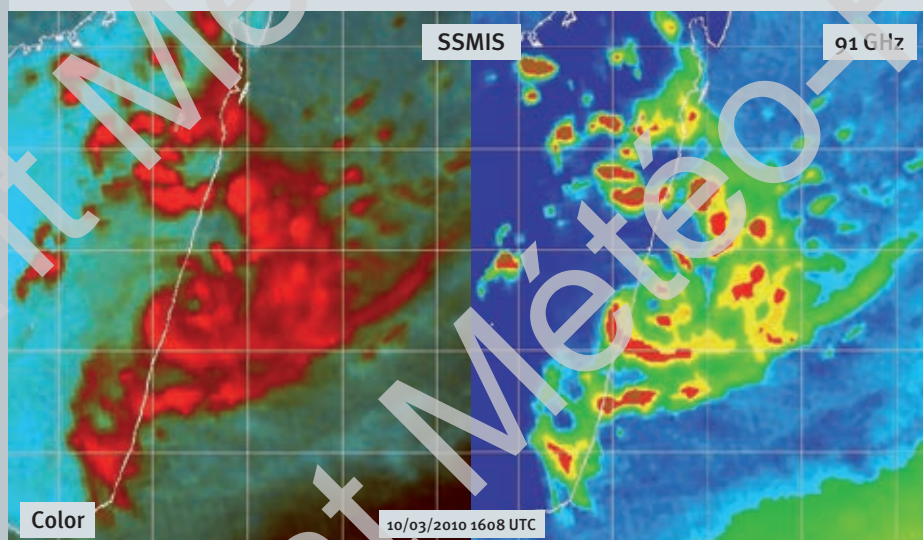
meteor on the classical satellite imagery. The most obvious evolution had rather taken place around it, with an increased convective activity, which then spanned almost the whole area between La Réunion and the eastern seaboard of Madagascar. But the microwave imagery was, once again, far more explicit: the curvatures displayed within the rain bands, revealed a clockwise circulation which was far more clearly defined around the centre of what had been analysed as a tropical depression since the previous night. Henceforth everything was ready for the system to intensify. But there was not much time left, as after the southwestward turn achieved by the end of March 9, the system had initiated its final approach to Madagascar, for a rendezvous planned for the night to come already (the night of March 10 then). As if it had been stimulated by urgency, the meteor was to put on a spurt.

It was considered that the stage of moderate tropical storm had been reached during the morning of March 10, while the separating distance between the centre of the disturbance and the Malagasy coast was only 80 km. But it was in the afternoon and especially during the last hours which preceded the landfall, that HUBERT's process of intensification started to run amuck (incidentally the system was named on the very day when a new senior forecaster, bearing the same christian name, was making is first sitting alone as a duty tropical cyclone forecaster at RSMC La Réunion – maybe a unique coincidence in history of cyclone monitoring...). A poorly defined embryonic eye appeared in the afternoon on the microwave imagery (and temporarily on the visible imagery). It became better defined at the beginning of the night and it was at the severe tropical storm stage that the meteor eventually made landfall around 9 p.m. local time, running ashore a little to the north of the town of Mananjary (HUBERT's centre at 25-30 km) after bending its trajectory towards the west during the previous hours. The maximum 10-min average winds were estimated at 55 knots at the time of landfall, which meant that the strongest gusts bordered upon 150 km/h. But more than the violent winds, which were relatively localized, the rains were to pose the main problem and be at the origin of the most disastrous consequences. The slow motion of the system, with a temporary northward shift which kept it in the vicinity of the coast, was to cause the cloud and rainy envelope associated with the storm to concern the whole



Atterrissage d'HUBERT sur le littoral sud-est de Madagascar. Le météore a touché terre entre les localités de Mananjary et de Nosy-Varika. Un "œil" était bien visible sur l'imagerie micro-onde peu avant l'arrivée sur la côte, tandis qu'aucun œil n'était décelable sur l'imagerie infrarouge.

Landfall of HUBERT on the southeastern coast of Madagascar. The meteor has run ashore between the towns of Mananjary and Nosy-Varika. An eye-like feature was clearly visible on the microwave imagery a little before the arrival on the coast, whereas no eye was detected on the infrared imagery.



South-East region of Madagascar (called Vatoavavy-Fitovinany) and to linger most of the day on March 11. As a low-lying naturally damp zone, crossed in particular by the Pangalanes channel, the coastal plain is especially vulnerable, as it is highly exposed to the risk of flooding. The large amounts of rainwater brought by HUBERT, while the rainy season was already well advanced, caused rivers and natural outlets of water excess to overflow, generating extensive floods, with water rising locally in a spectacular way, like in

le cyclone tropical EUGENIE en 1972 (cette localité se situe dans une zone très sensible, car la mer peut venir se surajouter aux eaux pluviales, quand la houle cyclonique vient casser la fragile protection naturelle que constitue le cordon de dunes lagunaire présent au sud de la ville).

Contrairement à FAMI quelques semaines plus tôt, après sa rentrée sur terre, HUBERT ne va se déstructurer que lentement : au matin du 11 mars, le vortex associé apparaît encore superbement défini (voir

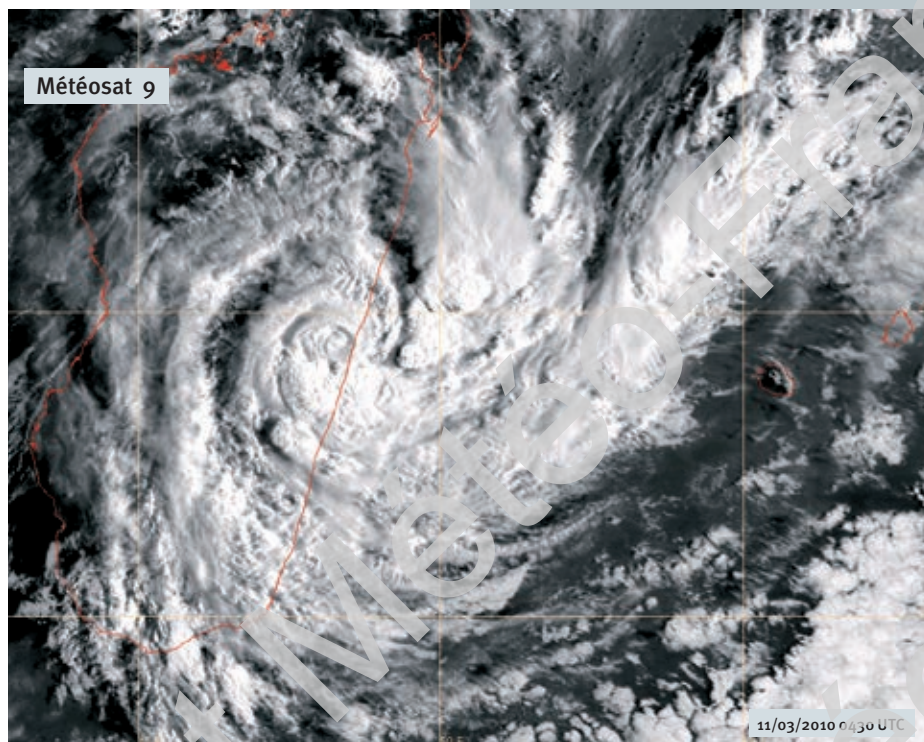


image ci-dessus) et le météore conserve une configuration nuageuse encore relativement bien organisée jusqu'à la nuit du 11 au 12, soit plus de 24h après l'atterrissage. Des bandes nuageuses convectives très actives, entretenues dans les secteurs est à sud de la circulation dépressionnaire par le flux océanique convergent de nord à nord-est chargé en humidité, continuent en particulier de s'enrouler en direction du centre, prolongeant les fortes précipitations sur la côte malgache (jusqu'à Farafangana, plus au sud, où 346 mm de pluie s'abattent en trois jours).

Après son crochet vers le nord, qui prend fin en matinée du 11, la dépression résiduelle d'HUBERT repart vers le sud-ouest, contribuant à arroser les hautes terres plus à l'intérieur de l'île (138 mm de précipitations seront recueillis au cours des 24h suivantes à Fianarantsoa). Le centre de la circulation devient difficile à localiser à partir de la nuit suivante et il faut attendre le tout début de journée du 13 mars pour retrouver précisément sa trace, quand il ressort en mer du côté sud de la Grande Ile, moins de 100 km à l'ouest du Cap Ste-Marie. Estimé à 1006 hPa, il tendra à se recreuser marginalement les jours suivants, tout en demeurant bien visible, car associé à un large vortex nuageux en basse troposphère. Après avoir incurvé en direction du sud-est le 14, il se fondra le lendemain dans un talweg frontal.

Mananjary, which had to face the worst catastrophe of this kind since the one generated by tropical cyclone EUGENIE in 1972 (that town is situated in a very sensitive area, as the seawater may add to the rainwater, when the cyclone swell smashes the fragile natural protection of the lagoon dune belt generally present south of the city).

Unlike FAMI, a few weeks earlier, after entering inland, HUBERT decayed only slowly: in the morning of March 11, the associated vortex appeared to be still nicely depicted (see picture above) and the meteor kept a still relatively well organized cloud pattern until the night of March 11, that is to say more than 24h after the landfall. Very active convective cloud bands, fostered in the eastern to southern sectors of the clockwise circulation by the northerly to northeasterly convergent flow coming from the ocean and loaded with moisture, went on wrapping towards the centre, lengthening the heavy rainfall event on the Malagasy coast (as far as Farafangana further to the south, where 346 mm of rain poured down in three days).

After a swerve towards the north, which came to an end during the morning of March 11, HUBERT's residual depression headed again to the southwest, contributing to the soaking of the high lands of the hinterland (138 mm of rain were recorded during the following 24h at Fianarantsoa). The centre of the clockwise circulation became difficult to localize from the next night and it was only at the

HUBERT, près de dix heures après son atterrissage sur Madagascar. Le système est en phase d'affaiblissement sur terre, mais affiche un vortex nuageux encore très affirmé. Sur cette image visible haute résolution acquise par le satellite Météosat 9 (2nd satellite Météosat de seconde génération), la lumière rasante du début de journée donne un relief saisissant aux éléments nuageux et met notamment en exergue les super-cellules orageuses qui sont alors présentes de part et d'autre du littoral malgache, dans le secteur sud de la perturbation, déversant des trombes d'eau dans les districts de Nosy-Varika, Mananjary et Manakara en particulier.

HUBERT, almost ten hours after its landfall on Madagascar. The system was in weakening phase inland, but displayed a cloud vortex which was still very prominent. On this high resolution visible image acquired by the satellite Météosat 9 (2nd satellite of the second Météosat generation), the low-angled light of daybreak gave a startling relief to the cloud elements and notably highlighted the thunderstorm super-cells which were then present on both sides of the Malagasy shoreline, in the southern sector of the disturbance, pouring very heavy rains on the districts of Nosy-Varika, Mananjary and Manakara in particular.

beginning of March 13 that its trace could be precisely spotted again, when it went back to sea on the southern side of the Great Island, less than 100 km to the west of Cape Ste-Marie. Estimated at 1006 hPa, it tended to marginally re-deepen during the ensuing days. In the meantime it remained fairly visible, as it was associated with a large cloud vortex in low troposphere. After recurving towards the southeast on March 14, it merged with a frontal trough on the next day.

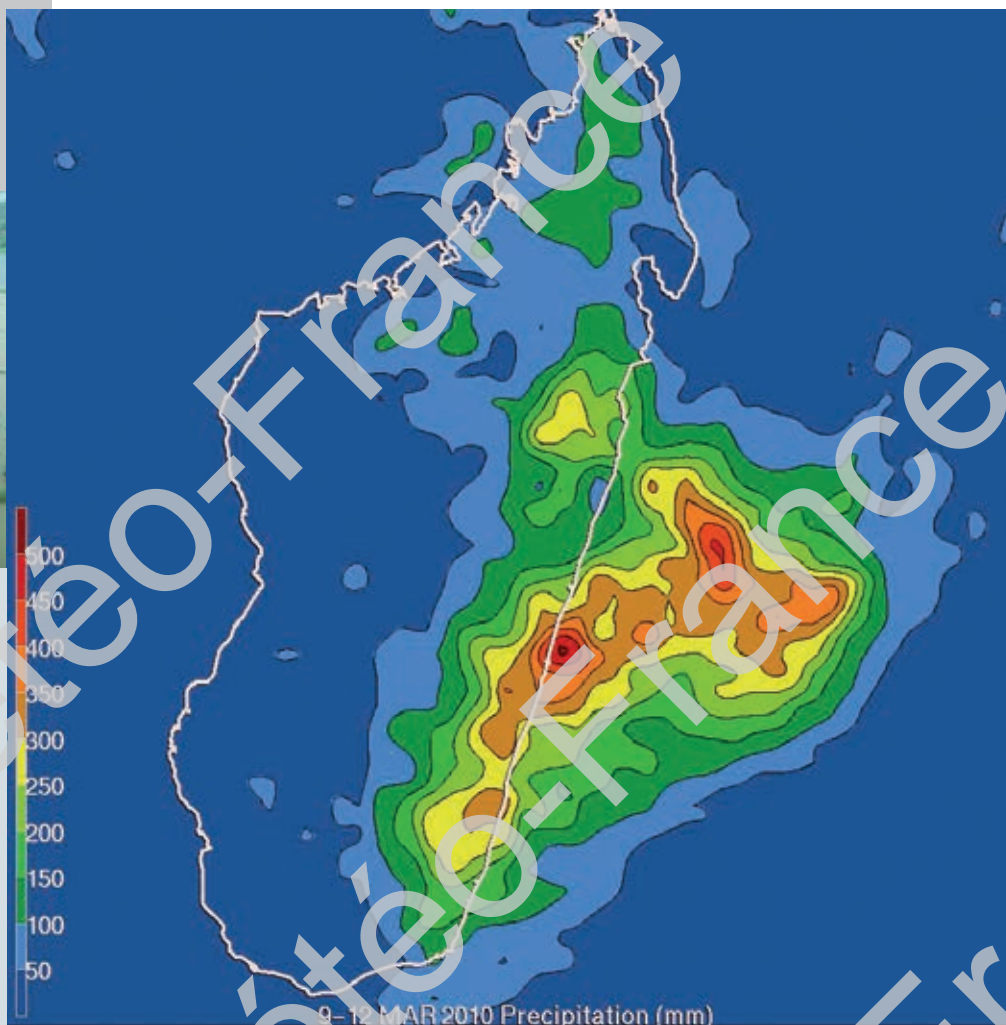
During that 2009-2010 cyclone season, only two systems had an impact on the inhabited lands, Madagascar in this case, both being tropical storms and also sharing the additional common point of having gone through rapid intensification near the coasts, during the very last hours preceding their landfall on the Malagasy shore (which is always a worse case scenario and an aggravation factor in term of prevention, because of the short time allowed to warn the population). But unlike FAMI, which, five weeks earlier, had limited consequences on the southwestern part of the Great Island it had hit, HUBERT had an uncomparable impact, as it concerned a much more densely populated area.

But the major difference between those two systems of relatively comparable intensity and structure, lay mainly in their origins and their trajectories. A configuration of the FAMI type was much more favourable: a system which penetrates the southwest coast of Madagascar, with a west to east trajectory, implies, once the system has landed, the presence of an inflow of prevailing southerly to southwesterly winds at the coast, bringing rather dry and stable air from the southern



HUBERT, un épisode pluvieux aux conséquences catastrophiques pour le Sud-Est de Madagascar. Sur ce champ de précipitations estimé, sur la période du 9 au 12 mars 2010, à partir de données multi-satellitaires (notamment TRMM) produites par la Nasa, on peut constater que les précipitations induites par HUBERT ont excédé les 250 mm sur une bonne partie du Sud-Est malgache et les 400 mm sur la zone d'impact direct, i.e. la frange littorale voisine du point d'atterrissage de la tempête.

HUBERT, a rain event with catastrophic consequences for the Southeast of Madagascar. On this rain field over the period of March 9 to March 12 2010 derived from the TRMM-based near-real time Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) produced at the NASA Goddard Space Flight Center, one can see that the rainfall amounts brought about by HUBERT have exceeded 250 mm on a large portion of the Southeast of Madagascar and 400 mm in the area of direct hit, e.g. the coastal area located close to the landfall point of the storm. (image courtesy Hal Pierce – SSAI/NASA GSFC).



Mozambique Channel. Whereas in the case of a HUBERT's type configuration, that of a storm coming from the Indian Ocean and penetrating the eastern or southeastern Malagasy coast, that implies, once the storm inland, shoreward winds of prevailing northerly to northeasterly origin, associated with a very warm and moist tropicalized air, capable of supporting and fostering long-lasting rains, especially so if the system takes a long time to penetrate further inland, as such was the case with HUBERT.

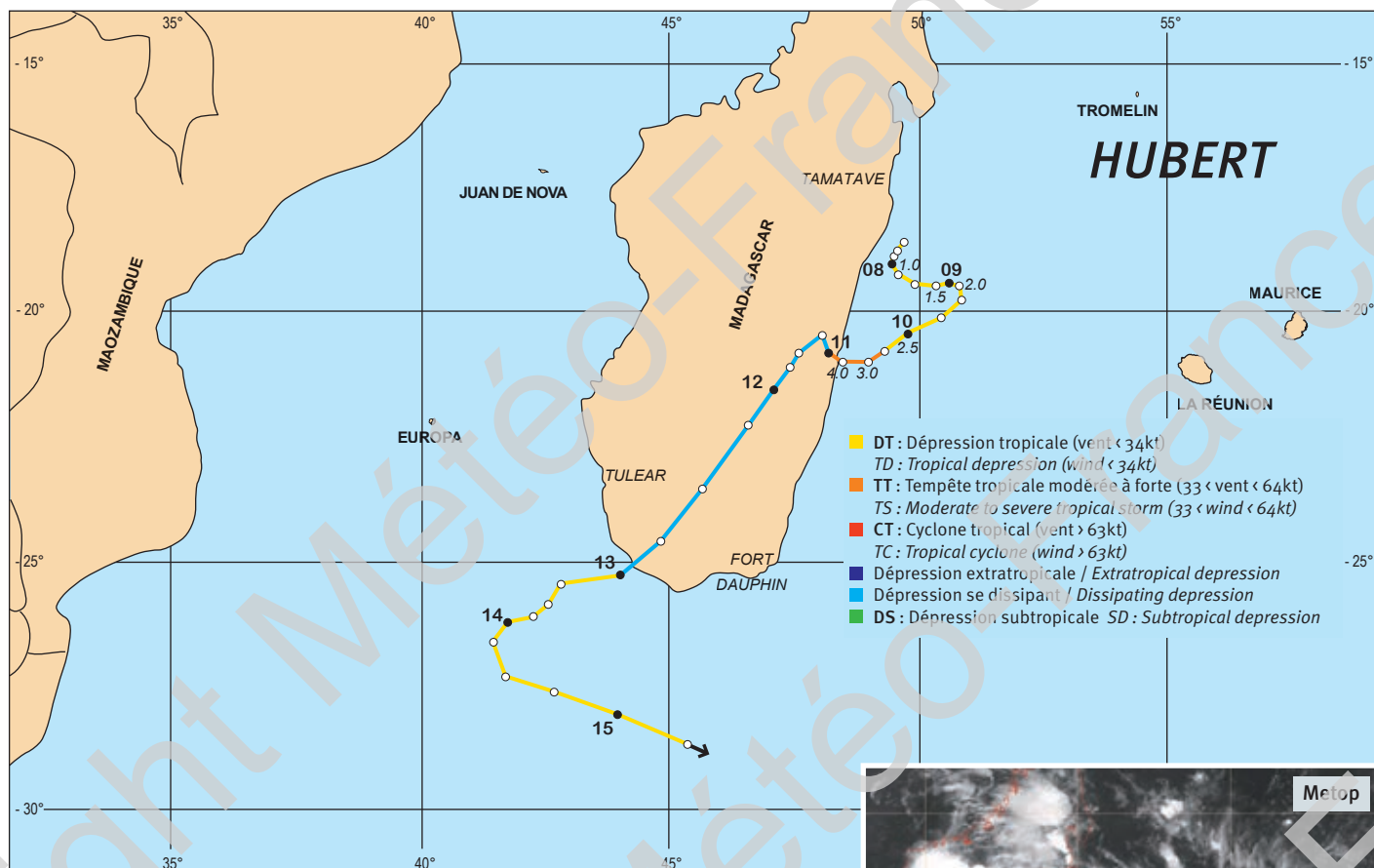
The resulting consequences were disastrous and the final toll of the rainfall induced by HUBERT was extremely severe, especially if you consider the intensity of the meteor. It was in fact equivalent to that of cyclone IVAN in February 2008 (a much more violent cyclone though). On March 31st 2010, the Malagasy National Department of Risk and Catastrophe Management (BNGRC) reported 85 death casualties, 141 people wounded, 34 people missing, to whom 191885 disaster victims, 57127 homeless, 13845 destroyed homes and nearly 100000 hectares of flooded cultivated land (2/3 of which were paddy-fields) must be added. It was the district of Manakara which suffered most (26 death casualties, 34 people missing, 104 people wounded), followed by the district of Mananjary.

Lors de cette saison cyclonique 2009-2010, seulement deux systèmes dépressionnaires ont affecté les terres habitées, Madagascar en l'occurrence, tous deux au stade de tempête tropicale, partageant également le point commun supplémentaire de s'être intensifiés rapidement aux abords des côtes, dans les toutes dernières heures précédant leur atterrissage sur le littoral malgache (ce qui est toujours un facteur aggravant en terme de prévention, du fait du délai réduit d'alerte aux populations). Mais contrairement à FAMI, qui, cinq semaines plus tôt, avait eu des conséquences limitées sur la zone sud-ouest de la Grande Ile qu'il avait touchée, HUBERT a eu un impact sans commune mesure, car ayant concerné une zone beaucoup plus habitée.

Mais la différence majeure entre ces deux systèmes d'intensité et de structure relativement comparables, tient surtout à leur origine et à leur trajectoire. Une configuration du type FAMI est beaucoup plus favorable : un système qui pénètre sur la côte sud-ouest de Madagascar, avec une trajectoire ouest-est, cela signifie, une fois le système sur terre, des vents d'afflux à la côte de sud à sud-ouest dominant, ramenant de l'air plutôt sec et stable depuis le Sud du Canal de Mozambique. Tandis que dans le cas d'une configuration du type HUBERT,

celle d'un système pénétrant sur la côte est ou sud-est malgache en provenance de l'océan Indien, cela implique, une fois le système sur terre, des vents d'afflux de nord à nord-est dominant, associés à un air très tropicalisé, chaud et humide, à même de soutenir et d'alimenter plus durablement les pluies, surtout si le système tarde à s'enfoncer dans les terres, comme cela a été le cas d'HUBERT.

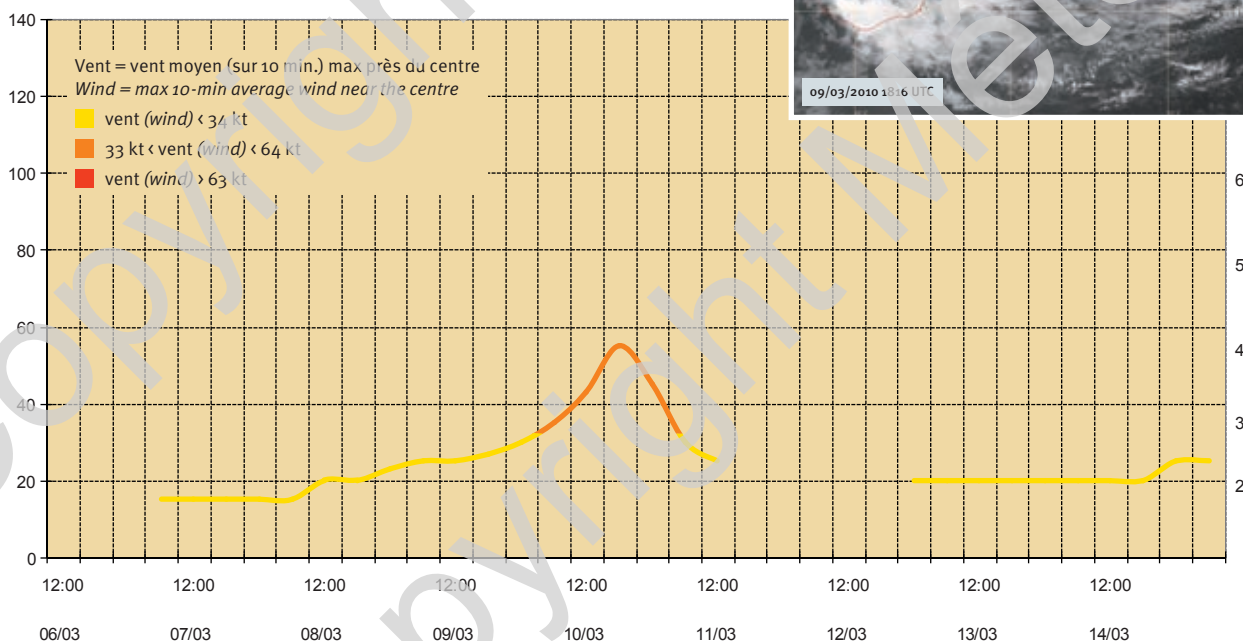
Au final, les conséquences ont été dramatiques et le bilan laissé par les inondations induites par HUBERT est extrêmement lourd, surtout au regard de l'intensité du météore. Il est, en effet, équivalent à celui laissé par le cyclone IVAN en février 2008 (cyclone pourtant beaucoup plus violent). Au 31 mars 2010, le Bureau National de Gestion des Risques et des Catastrophes (BNGRC) faisait état de 85 morts, 141 blessés, 34 disparus, auxquels il faut ajouter 191885 sinistrés, 57127 sans-abri, 13845 maisons détruites et près de 100000 hectares de terres cultivées noyées sous les eaux (dont 2/3 de rizières). C'est le district de Manakara qui a payé le plus lourd tribut (26 morts, 34 disparus, 104 blessés), suivi par celui de Mananjary.



Cyclogenèse d'HUBERT. Le cœur du météore (sur le point d'être classé en dépression tropicale) est de taille réduite et encore en phase de construction, mais l'organisation tourbillonnaire globale est déjà bien affirmée. Notez l'activité convective sur Madagascar, dont un amas pluvio-orageux assez marqué qui orbite dans le secteur nord-ouest de la perturbation et affecte la région de Tamatave.

HUBERT's cyclogenesis. The core of the meteor (about to be ranked as a tropical depression) was of reduced size and still in its building phase, but the global swirling organization was already well-shaped. Notice the convective activity over Madagascar, in particular the rather prominent thunderstorm cloud cluster that was orbiting in the northwestern sector of the disturbance and affecting the Toamasina area.

HUBERT du 07/03 au 15/03/2010



EVOLUTION DU VENT MAX EN NŒUDS (A GAUCHE) ET DU NOMBRE CI DE 6 HEURES EN 6 HEURES
 6 - HRLY MAX WIND (KT) AND CI TIME-EVOLUTION (LEFT AND RIGHT)

Imani

Cyclone Tropical

du 20 au 28 mars 2010

Tropical Cyclone "Imani" (20-28 March 2010)



FORMATION

Après la fin de l'épisode HUBERT à la mi-mars, un nouveau système va assez rapidement prendre le relais, cette fois sur l'Est du bassin. En fin de deuxième décennie, on note un certain regain d'activité convective sur toute la partie sud de l'océan Indien Sud, en liaison avec le signal – relativement faible – de la MJO propagé vers l'Est depuis la genèse d'HUBERT. Le 21, un vortex de nuages bas, exposé au milieu de l'activité convective morcelée, signe la présence d'un minimum dépressionnaire (estimé à 1007 hPa) en limite orientale de la zone de responsabilité du CMRS de La Réunion. Le flux de mousson se renforce du côté équatorial, accroissant de facto la convergence avec l'alizé, pour sa part bien établi au sud.

Certains modèles numériques ont anticipé une cyclogenèse à venir dans ce secteur depuis plusieurs jours déjà. Ils s'accordent désormais pour creuser une dépression à relativement brève échéance, malgré des conditions environnementales pour l'heure franchement défavorables. Situation assez typique de pré-genèse, le minimum dépressionnaire évolue, en effet, au nord de la dorsale d'altitude et baigne dans un environnement fortement cisailé d'est (20 à 30 nœuds de cisaillement d'après le CIMSS). Mais avec un déplacement prévu vers le sud, puis le sud-ouest, amenant le minimum à transiter sous la dorsale d'altitude, une fenêtre favorable de développement d'environ 48h devrait se présenter, où le cisaillement devrait baisser sensiblement, avant de reprendre vigoureusement ensuite au sud de la dorsale et aux abords du jet subtropical, ce qui devrait alors rapidement détruire

la perturbation. Ce scénario assez limpide, et très classique dans ce type de configuration d'une trajectoire très méridienne, va se vérifier en tout point.

La cyclogenèse va être contrecarrée et retardée par la persistance de la forte contrainte cisailée pendant encore 48h, le temps pour le minimum dépressionnaire de se rapprocher de l'axe de la dorsale d'altitude. Se déplaçant dans un premier temps en direction du sud-sud-est, il vient flirter avec le 90^{ème} méridien Est au matin du 22 mars, infléchissant alors sa trajectoire vers le sud-sud-ouest. Le météore évolue à cet instant au niveau du 10^{ème} parallèle Sud et la configuration nuageuse demeure celle d'un système soumis à une contrainte cisailée. Mais un gain d'organisation évident est toutefois intervenu au cours des heures précédentes, avec un accroissement de vorticités particulièrement manifeste sur l'imagerie micro-onde du début de journée. Luttant pied à pied contre le cisaillement de vent, qui demeure assez fort, la perturbation continue de se creuser, hectoPascal par hectoPascal. Le stade de dépression tropicale est considéré atteint dans la nuit du 22 au 23 mars, moment où du grand frais est estimé être présent sur plus de la moitié de la circulation dépressionnaire (dans le demi-cercle ouest prioritairement).

L'acquisition de deux fauchées consécutives Ascát (radar diffusiomètre embarqué à bord du satellite défilant européen Metop2) ayant intercepté cette circulation, a permis de cadrer au mieux cette évolution. Celle du matin du 23, décrit en particulier bien cette couronne de vents de la force du grand frais, entourant une plage encore relativement large de vents plus faibles présents autour du centre de la dépression.

EVOLUTION

Avec la présence, à l'est du système, d'une dorsale de moyenne troposphère occupant tout l'espace tropical (de part son orientation très méridienne), c'est un flux directeur de nord-nord-est bien établi qui porte la perturbation vers le sud-sud-ouest et la fait se rapprocher à grand pas de l'axe de la dorsale d'altitude. La divergence d'altitude, déjà très bonne dans le demi-cercle ouest, commence à s'améliorer du côté est dans l'après-midi du 23, traduisant l'amorce de relâchement de la contrainte cisailée d'est. Le classement en tempête tropicale modérée intervient en milieu de nuit suivante et IMANI est baptisée.

Le centre du météore est alors positionné aux abords du 14^{ème} parallèle Sud et la fenêtre propice à une intensification s'ouvre. Enfin libéré de l'emprise du cisaillement vertical de vent, IMANI va s'y engouffrer sans retenue. Le processus d'intensification à peine lancé, il prend aussitôt son essor et durant les 36h suivantes IMANI se développe à un rythme supérieur à la norme climatologique. Au matin du 24 mars, la structure nuageuse a très nettement évolué comparativement à la veille. Mais si l'organisation tourbillonnaire s'est sensiblement renforcée, la convection apparaît quantitativement sous-représentée. Des bandes convectives discontinues orbitent autour de la zone centrale moins nuageuse, qui affiche ainsi une allure de pseudo-œil mal défini. Malgré cette relative déficience au niveau de l'activité convective, le gain de vorticités est évident et IMANI est analysé en forte tempête tropicale en début d'après-midi.

Un œil se constitue sur l'imagerie micro-onde quelques heures plus tard. Il ne se dévoilera que très fugacement sur l'imagerie classique la nuit suivante, puis de manière plus pérenne en début de journée du 25, mais tout en demeurant relativement mal défini. La présentation nettement meilleure affichée sur l'imagerie micro-onde, a entre-temps permis de considérer que le stade de cyclone tropical avait été atteint en fin de nuit. Mais IMANI ne pourra guère pousser plus avant son intensification. Le maximum d'intensité survient dès la matinée de ce 25 mars, avec des vents moyens maximaux sur 10 min estimés plafonner à 70 nœuds (ce qui signifie des rafales maximales sur mer de l'ordre de 190 km/h).

Evanescent sur l'imagerie classique dès l'après-midi, l'œil se "déchire" dans sa partie nord à nord-ouest sur l'imagerie micro-onde, trahissant une ventilation

24/03/2010 0358 UTC

IMANI sur l'extrême Est de la zone Sud-Ouest de l'océan Indien, à quelque 1200 km à l'ouest-sud-ouest de l'île Cocos. Analysé en tempête tropicale modérée, le météore bénéficie d'une divergence d'altitude favorable (comme en témoigne l'épanchement des cirrus autour de la perturbation), qui va lui permettre de pouvoir s'intensifier franchement au cours des 24h suivantes.

IMANI on the far eastern portion of the South-West Indian Ocean, some 1200 km west-southwest of Cocos Island. Analysed at the moderate tropical storm stage, the meteor benefited from a favourable upper divergence (as testified by the outflow of cirrus clouds around the storm), that will enable it to intensify downrightly during the following 24 hours.

excessive dans ce secteur au vent du flux d'altitude, qui a commencé de se renforcer. Le centre du météore se rapproche du 20^{ème} parallèle Sud, qui marque peu ou prou la limite septentrionale du courant perturbé d'ouest qui circule en haute troposphère. En franchissant cette limite, IMANI pénètre dans une zone de fort cisaillement de vent et se condamne à une dégénérescence rapide, qui intervient la nuit suivante. L'impact du cisaillement, conjugué avec l'arrivée sur des eaux plus fraîches, est sévère et dès avant l'aube du 26, la convection a été "soufflée" pour l'essentiel, laissant apparaître le vortex résiduel de basses couches entourant le minimum dépressionnaire d'IMANI, en voie de comblement rapide. Encore associé à des vents de la force du coup de vent en matinée, d'après les données Ascat,

FORMATION

After the end of the HUBERT episode in mid-March, a new system was about to take over rather quickly, this time in the eastern part of the basin. Just a few days later a certain revival of convective activity could be noticed over the whole eastern part of the southern Indian Ocean, that could be linked with the signal – relatively weak though – of the MJO which had been spreading eastward since HUBERT's genesis. On March 21, a vortex of low-level clouds exhibited on the satellite imagery. Exposed within the scattered convective activity, it evidenced the presence of a low (estimated at 1007 hPa) close to the eastern border of the RSMC's area of responsibility. The monsoon flow was strengthening equatorward,

increasing de facto the convergence with the trade winds, which were already firmly established to the south.

Some numerical models had been anticipating a cyclogenesis to come in the sector for several days. Henceforth they agreed to deepen a depression at rather short range, in spite of the environmental conditions appearing definitely unfavourable for the time being. The low was evolving to the north of the upper ridge – a rather typical pre-genesis situation – and was thus embedded within a strongly sheared environment (20 to 30 knots easterly windshear according to the CIMSS). But with a forecast southward motion, then southwestward, leading the low to transit underneath the upper ridge, it was expected that a favourable development time window of

about 48h would open, that would see the windshear abate, before resuming vigorously afterwards to the south of the ridge and nearby the subtropical jet stream, which should then rapidly dismantle the disturbance. That rather clear and quite classical scenario in that type of very meridian-like track configuration, was to be confirmed in every respect.

The cyclogenesis was thwarted and delayed by the persistence of the strong sheared constraint for about another 48h, the required period for the low to draw nearer the axis of the upper ridge. Moving first towards the south-southeast, it almost reached longitude 90°East in the morning of March 22 and then bent towards the south-southwest. The meteor was just crossing latitude 10°South at the time and its cloud configuration remained that of a system under the influence of a sheared constraint. However, there had been an obvious gain of organization during the previous

hours, with increased vorticity, which was particularly evident on the micro-wave imagery acquired at the beginning of the day.

Fighting tooth and nail against the windshear, which remained rather strong, the disturbance went on deepening, hPa after hPa. The tropical depression stage was considered to have been reached during the night of March 22 to March 23, when near gale force winds were estimated to be blowing over more than half of the clockwise circulation (mainly in the western semi-circle). The acquisition of two Ascot successive swaths (from the scatterometer radar on board the European polar-orbiting satellite Metop2) having intercepted the circulation, made it possible to apprehend that evolution at best. That of the morning of February 23, clearly described, in particular, that crown of near gale force winds, which surrounded a still relatively wide area of weaker winds around the centre of the depression.

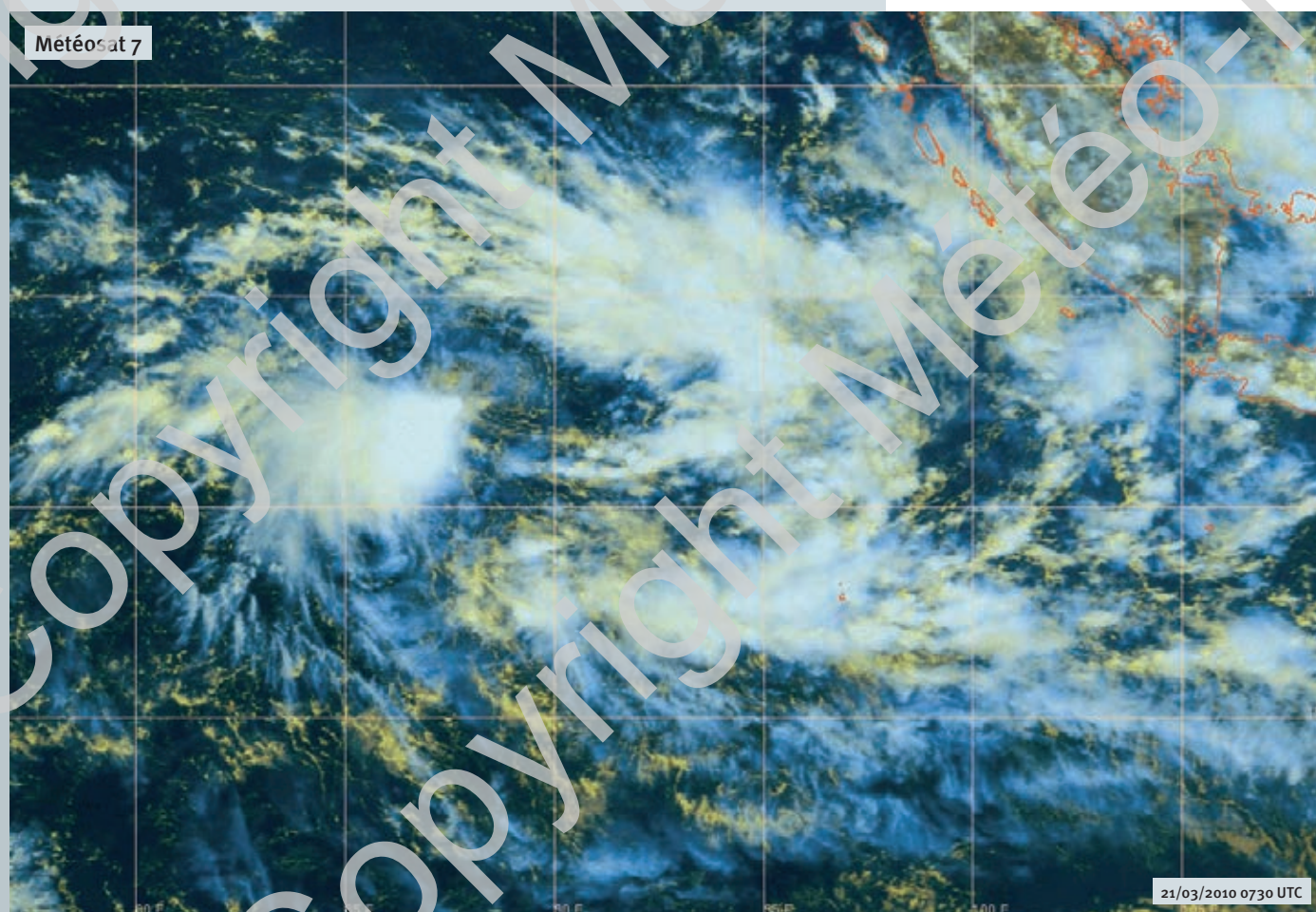
Pré-genèse d'IMANI. Localisé à plus de 1300 km au sud-ouest de l'île indonésienne de Sumatra, le petit vortex convectif de méso-échelle qui matérialise le minimum dépressionnaire du futur IMANI, est clairement discernable, au sein de la vaste zone d'activité convective morcelée alors présente sur le Sud-Est de l'océan Indien.

IMANI's pre-genesis. Spotted at more than 1300 km to the southwest of the Indonesian island of Sumatra, the small meso-scale convective vortex which materialized the low of the future cyclone IMANI, was clearly discernible, within the broken-up wide area of convective activity then present in the South-East of the Indian Ocean.

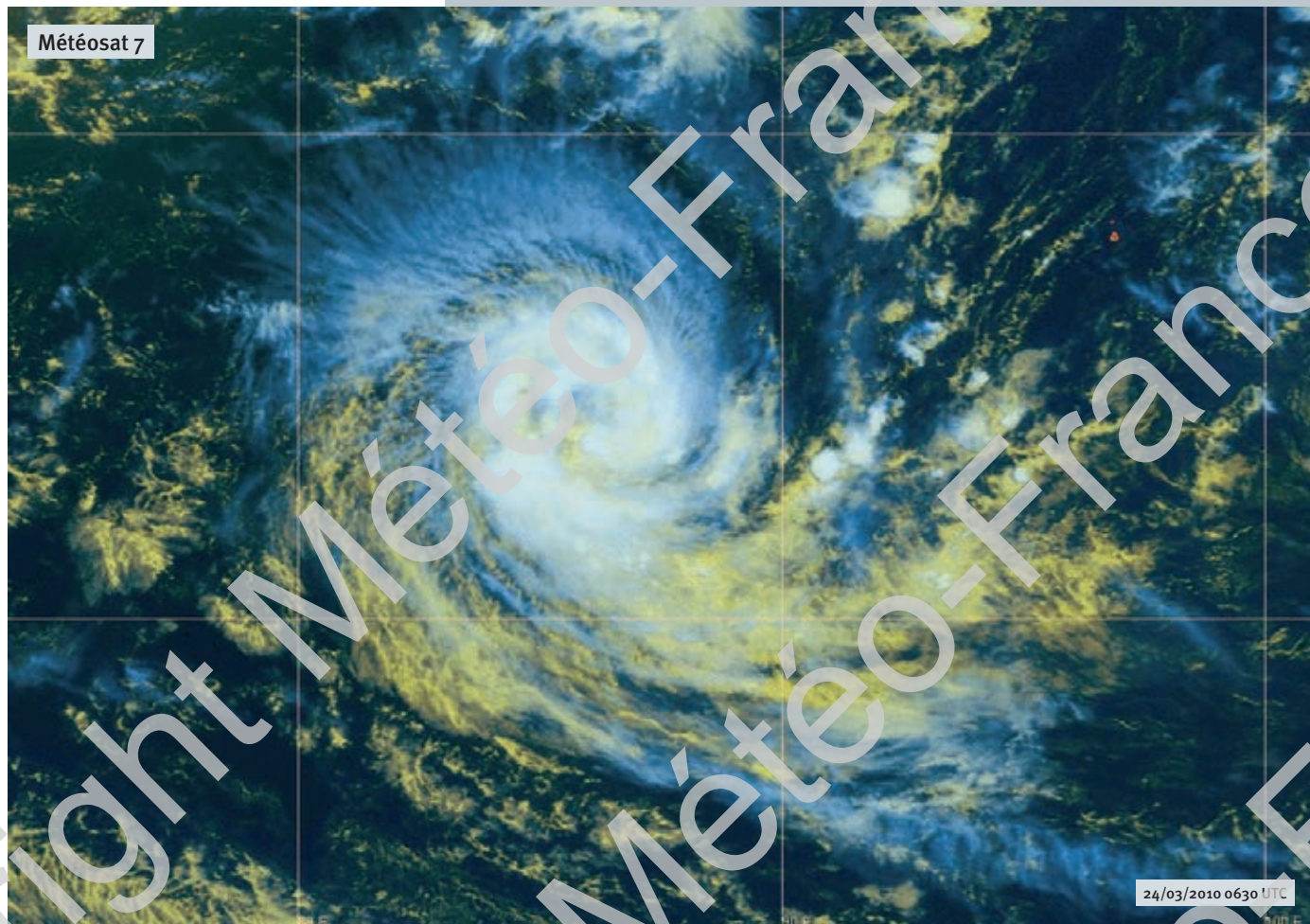
le météore est déclassé en dépression tropicale avant la fin d'après-midi.

C'est seulement à ce stade très affaibli que va se concrétiser, très tardivement, le changement de trajectoire attendu depuis le cisaillement, dont une conséquence indirecte devait être d'abaisser le niveau du flux directeur de la perturbation vers les couches inférieures de la troposphère. Le déplacement en direction du sud-sud-est, entamé dans la nuit du 24 au 25 mars, s'est en fait prolongé, à vitesse certes ralentie depuis la fin d'après-midi du 25, jusqu'en cette fin de journée du 26, moment où le changement de trajectoire intervient finalement, prenant la forme d'un point de rebroussement associé à une petite boucle décrite dans le sens anti-horaire, à la suite duquel le minimum dépressionnaire résiduel repart en direction du sud-ouest. Il continue de se combler ensuite, demeurant visible au cours des jours suivants, avant de se dissiper en toute fin de mois, en marge sud du domaine tropical.

Système développé sur l'extrême Est de la zone de responsabilité du CMRS et ayant suivi une trajectoire très méridienne, IMANI a évolué loin des terres habitées.



Météosat 7



24/03/2010 0630 UTC

IMANI en phase d'intensification. Encore classé au stade de la tempête tropicale modérée, mais plus pour longtemps, le météore est en pleine phase d'intensification et si la convection est encore limitée en présence et quelque peu morcelée, le gain d'organisation tourbillonnaire est évident, avec un cœur central qui a commencé de se constituer.

IMANI in its intensification phase. Still classified at the stage of moderate tropical storm, but not for long, the meteor was at that moment in full intensification phase and if the presence of convection was still limited and somewhat scattered, the gain of swirling organization was obvious, with an inner core that had begun to build.

Un autre système dépressionnaire, aux caractéristiques et au cycle de vie très similaires, se développera dans la foulée, début avril, quelques degrés plus à l'est seulement, sur le Sud-Est de l'océan Indien. ROBYN, suivi par le Centre australien d'avis de Cyclones tropicaux de Perth, subira également un cisaillement radical, mais un peu plus au nord qu'IMANI, et la dépression résiduelle repartira vers l'ouest, venant mourir sur le Sud-Ouest de l'océan Indien, après avoir franchi le 90^{ème} méridien Est dans l'après-midi du 7 avril, en phase de comblement déjà bien avancé (minimum de pression central validé à 1001 hPa à ce moment-là).

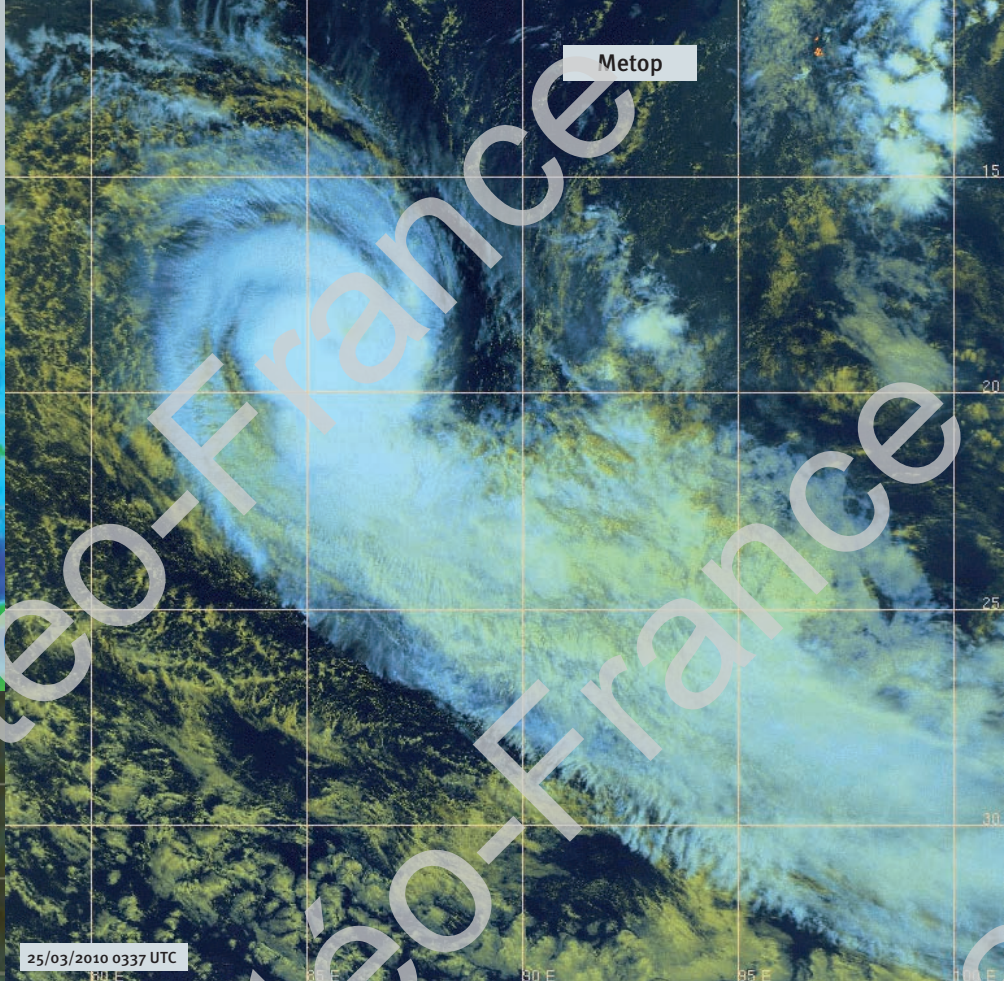
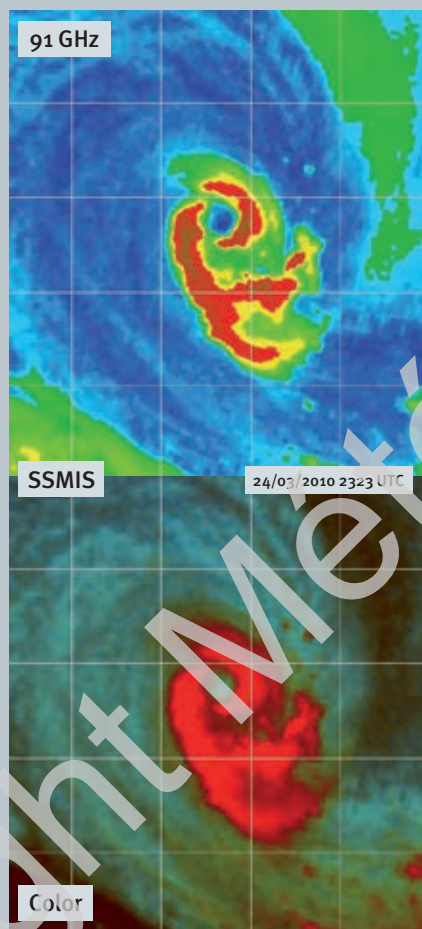
EVOLUTION

With the presence, to the east of the system, of a mid troposphere ridge, which occupied the whole tropical domain (because of its very meridian-like orientation), it was a well-established north-northeasterly steering flow which drove the disturbance towards the south-southwest and speedily brought it nearer the axis of the upper ridge. The upper divergence, which was already very good in the western semi-circle, started to improve on the eastern side during the afternoon of March 23, a clear revealer of the incipient relaxation of the easterly sheared constraint. The system was classified as a moderate tropical storm in the middle of the following night and was named IMANI.

The centre of the meteor was then positioned near latitude 14°South and the time window propitious to intensification opened. At last freed from the hindering effect of the vertical windshear, IMANI rushed into it unrestrainedly. Hardly was the intensification process launched when it took its flight and during the next 36h IMANI developed at a pace that was

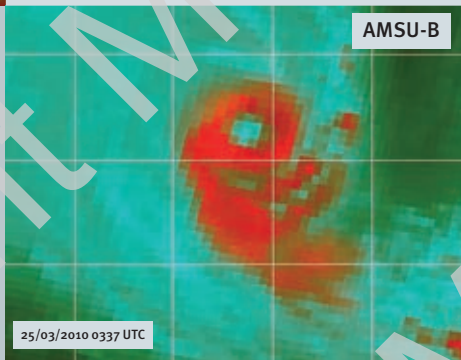
greater than the climatological norm. In the morning of March 24, the cloud structure displayed a great change compared to the day before. But if the swirling organization had noticeably improved, convection appeared to be quantitatively limited. Discontinuous convective bands orbited round the less cloudy central zone, which thus featured a poorly defined pseudo-eye. In spite of that relative deficiency in convective activity, the gain of vorticity was obvious and IMANI was analysed as a severe tropical storm at the beginning of the afternoon.

An eye built on the microwave imagery from the afternoon. It was unveiled only fleetingly on the classical imagery during the following night, then on a longer-term basis from the beginning of March 25, while remaining rather poorly defined though. The far better presentation displayed on the microwave imagery made it possible, in the meantime, to consider that the tropical cyclone stage had been reached by the end of the night. But IMANI was unable to intensify much further. The maximum of intensity occurred a few hours later already, during the morning



IMANI atteint son maximum d'intensité, au stade de cyclone tropical. L'œil, encore partiellement ouvert en fin de nuit sur l'imagerie micro-onde SSMIS, affichera sa meilleure définition en matinée du 25 mars (image AMSU-B). L'imagerie visible concomitante (acquise par le satellite défilant européen Metop) est moins spectaculaire, avec un œil décentré et assez mal défini.

IMANI when reaching its maximum of intensity, at the stage of tropical cyclone. The eye, still partly open at the end of the night on the SSMIS microwave imagery, will display its best definition during the morning of March 25 (AMSU-B image). The simultaneous visible imagery (acquired by the European polar-orbiting satellite Metop), was less spectacular, with a decentred and rather poorly defined eye.

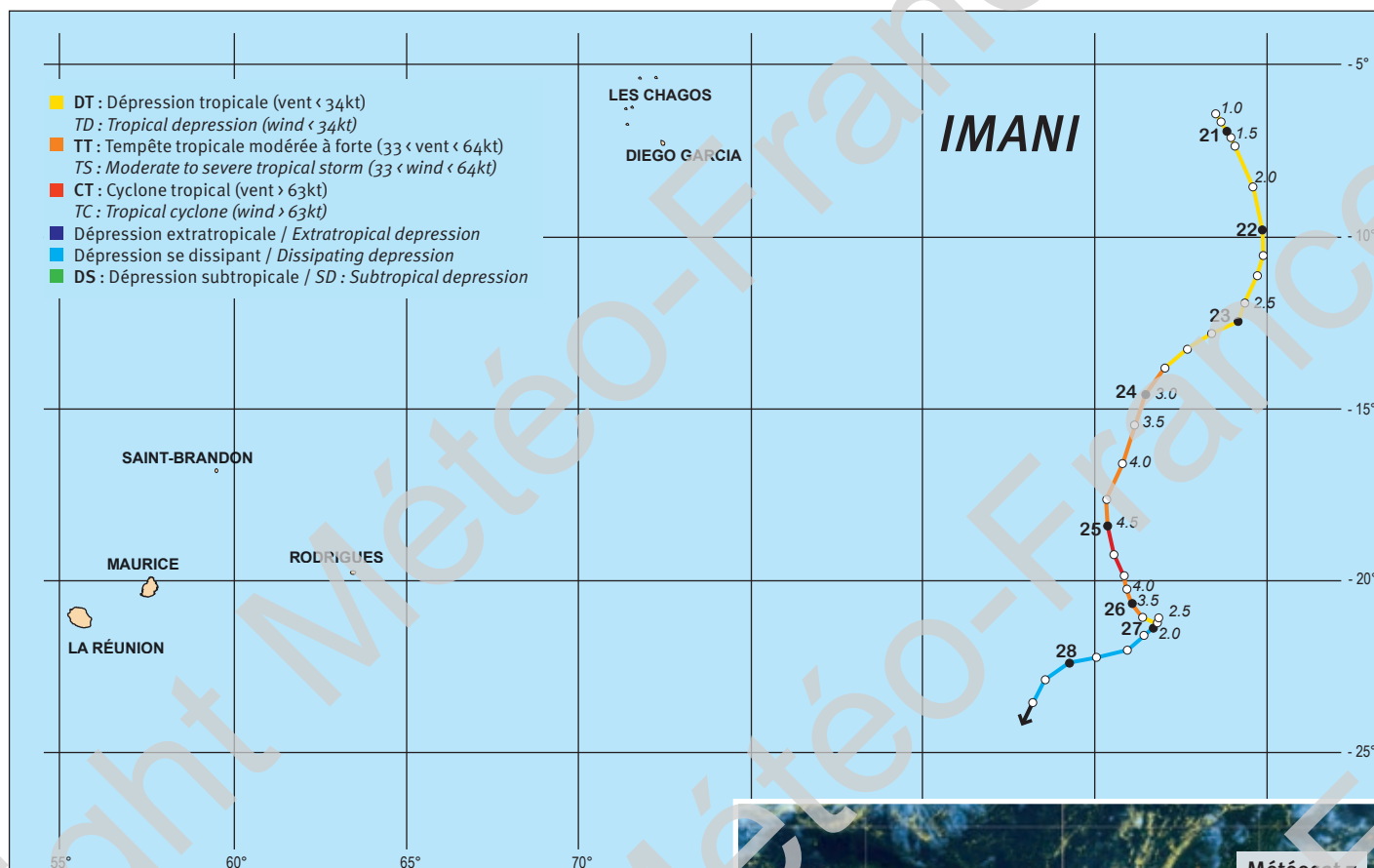


of March 25, with maximum 10 min average winds estimated at no more than 70 knots (which meant that peak gusts at sea were about 190 km/h). Evanescent on the classical imagery from the afternoon, the eye was ripped apart in its northern to northwestern portion on the microwave imagery, betraying an excessive ventilation in that windward sector of the storm directly subjected to an upper flow that had started to strengthen. The centre of the meteor was then approaching latitude 20°South, which more or less represented the northern boundary of the disturbed westerly flow that ran in the high troposphere. As it crossed that border, IMANI entered an area of strong windshear and was doomed to rapid decay, which took place during the following night. The impact of windshear, combined with the arrival on cooler waters, was severe and soon before the dawn of March 26, most of the convection had been blown off, unveiling a residual low-level vortex around the rapidly filling low of IMANI. Still associated with gale force winds during the morning, according to the Ascet data, the meteor was downgraded as a tropical depression before the end of the afternoon.

It was only at that stage, when the system had considerably weakened already, that the change of heading which had been expected since the windshear had started to impinge on the storm (that should have indirectly resulted in the steering flow of the disturbance being lowered towards the low level troposphere), eventually took place, very lately. The motion towards the south-southeast, which had begun during the night of March 24 to March 25, had in fact persisted, yet at reduced speed, since the end of the afternoon of March 25, until the end of March 26 when the change of heading eventually occurred, the storm's track going through a cusp point associated with a small anticlockwise loop, at the

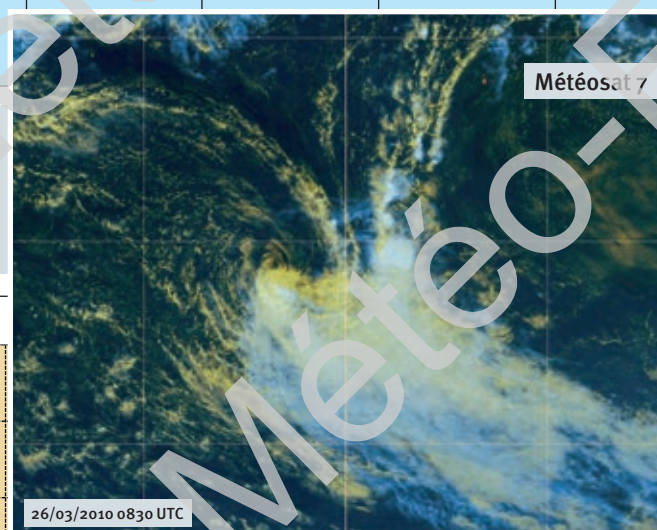
end of which the residual low headed towards the southwest. Then it went on filling up, and remained visible during the following days, before dissipating at the very end of the month, on the southern edge of the tropical domain.

As a system which developed in the far eastern part of the RSMC's area of responsibility and which followed a very meridian-like trajectory, IMANI has evolved far from inhabited lands. Another low pressure system, with similar characteristics and life-cycle, was going to develop right after it, at the beginning of April, only a few degrees further east, in the South-East of the Indian ocean. ROBYN, monitored by the Australian Tropical Cyclone Warning Centre in Perth, also underwent radical windshear, but a little further north than IMANI, and the residual low thereafter moved westward and went to die out in the South-West Indian Ocean, after having crossed longitude 90°East during the afternoon of April 7 while in a well advanced filling phase already (minimum of pressure at the centre validated at 1001 hPa at the time).

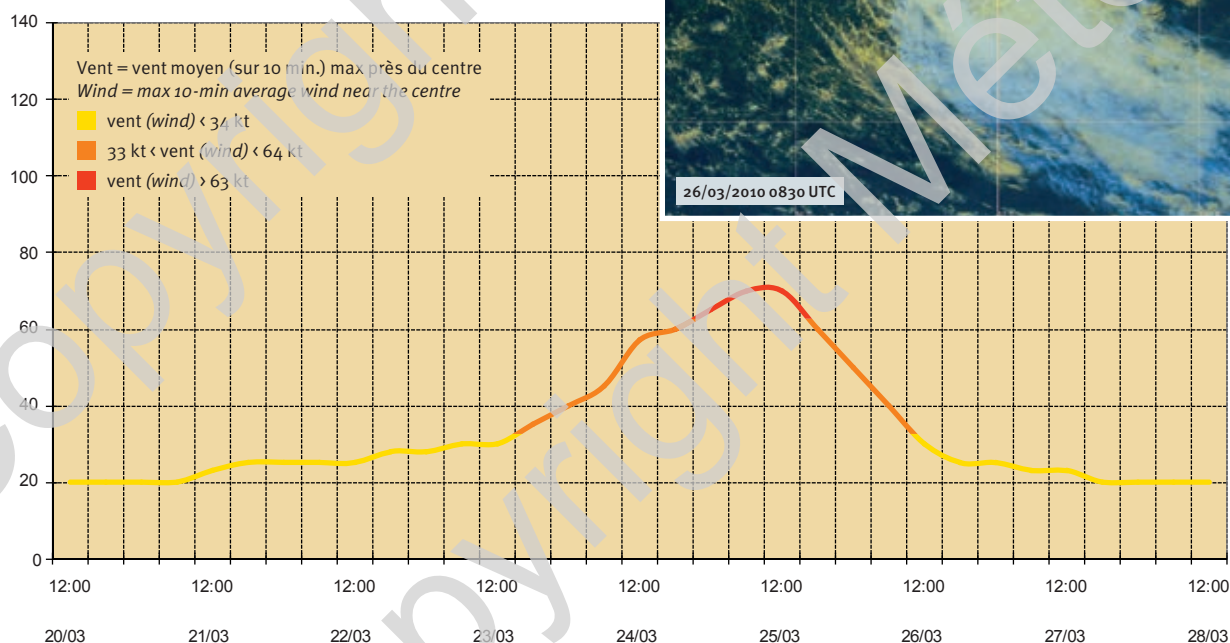


Petit vortex résiduel après qu'IMANI a subi un affaiblissement drastique par cisaillement de vent. 24h plus tôt, IMANI était encore un cyclone tropical, mais, dans la nuit, le météore et la convection associée ont été littéralement "soufflés" par la ventilation d'altitude.

Small residual vortex after IMANI underwent drastic weakening through harsh windshear. 24h earlier IMANI was still a tropical cyclone but, during the night, the storm and the related convection were literally blown off by the upper ventilation.



IMANI du 20/03 au 28/03/2010





Joël

Dépression Subtropicale

du 22 au 29 mai 2010

Subtropical Depression "Joël" (22-29 May 2010)



FORMATION

L

a saison cyclonique 2009-2010 aurait pu entrer dans le cercle des saisons s'étant achevées parmi les plus précocement dans le Sud-Ouest de l'océan Indien (fin mars – avec IMANI). Mais au final, elle monte sur le podium du classement des saisons les plus tardives. La faute à JOEL, qui en se développant fin mai au sud de Madagascar, devient le troisième système dépressionnaire significatif le plus tardif répertorié dans le bassin depuis le début de l'ère satellitaire.

Tout laissait pourtant croire que la saison s'était achevée sur la fin de vie, anecdotique pour notre bassin, de l'ex-tempête tropicale ROBYN (issue du Sud-Est de l'océan Indien), dont la dépression résiduelle était venue mourir à l'ouest de 90°Est début avril. Le reste du mois d'avril demeura exempt de toute activité perturbée et à mesure que s'écoulait le mois de mai, l'éventualité de voir démenti ce jugement d'une saison définitivement terminée, devenait de plus en plus improbable.

Mais on ne peut jamais jurer de rien, comme allait le rappeler la cyclogenèse "surprise" de JOEL, singularité insolite au regard de la climatologie du bassin de par sa survenue tardive, mais également événement inattendu par les modèles numériques, dont aucun n'avait, en effet, prévu que le minimum dépressionnaire analysé dans le Canal de Mozambique puisse se creuser de manière significative...

Le minimum dépressionnaire initial du futur JOEL est identifié le 22 mai, au voisinage de la cité côtière mozambicaine de Beira, que ce soit via les observations de surface ou sur l'imagerie satellitaire. Comme il est naturel en cet automne

austral déjà bien avancé, l'environnement est barocline, avec un flux d'ouest à nord-ouest assez rapide en altitude, qui génère un fort cisaillement vertical de vent sur la zone, un environnement a priori très hostile et réhibitoire pour une quelconque cyclogenèse.

Non concernée par ces vents d'altitude, la circulation dépressionnaire de basses couches perdure et fait même mieux que se maintenir, tendant à gagner en définition. Le minimum dépressionnaire associé se creuse ainsi légèrement, tout en se décalant en direction de l'est, puis de l'est-sud-est à partir du milieu de journée du 23. Une orbite Ascat affiche des vents de 20 nœuds sur la majeure partie de la circulation dépressionnaire en première partie de nuit suivante.

Le système évolue toujours en bordure sud du jet subtropical (fermement établi au nord du 20^{ème} parallèle Sud) et, sous l'effet d'un forçage d'altitude, de la convection profonde se développe dans les secteurs sud à sud-est du minimum dépressionnaire, qui demeure exposé en bordure nord-ouest de cette activité convective. Précédant l'approche du minimum, celle-ci occasionne les premières ondées sur l'île d'Europa, où le gros de l'activité pluvio-orageuse n'arrive cependant qu'en fin de matinée du 24 mai. 55 mm s'abattent en l'espace de trois heures et les pluies se prolongeront jusqu'en fin de nuit suivante (voir image et détails page 77), le minimum dépressionnaire proprement dit, transitant quant à lui à proximité nord de l'île avant le milieu de nuit. La pression minimale de 1009 hPa relevée par la station automatique de Météo-France d'Europa, permet alors d'estimer de manière fiable le minimum de pression centrale à 1008 hPa, valeur peu impressionnante mais à relativiser toutefois, car se justifiant pour bonne

part par la pression environnementale élevée (de l'ordre de 1015 hPa) régnant alors sur le Canal de Mozambique.

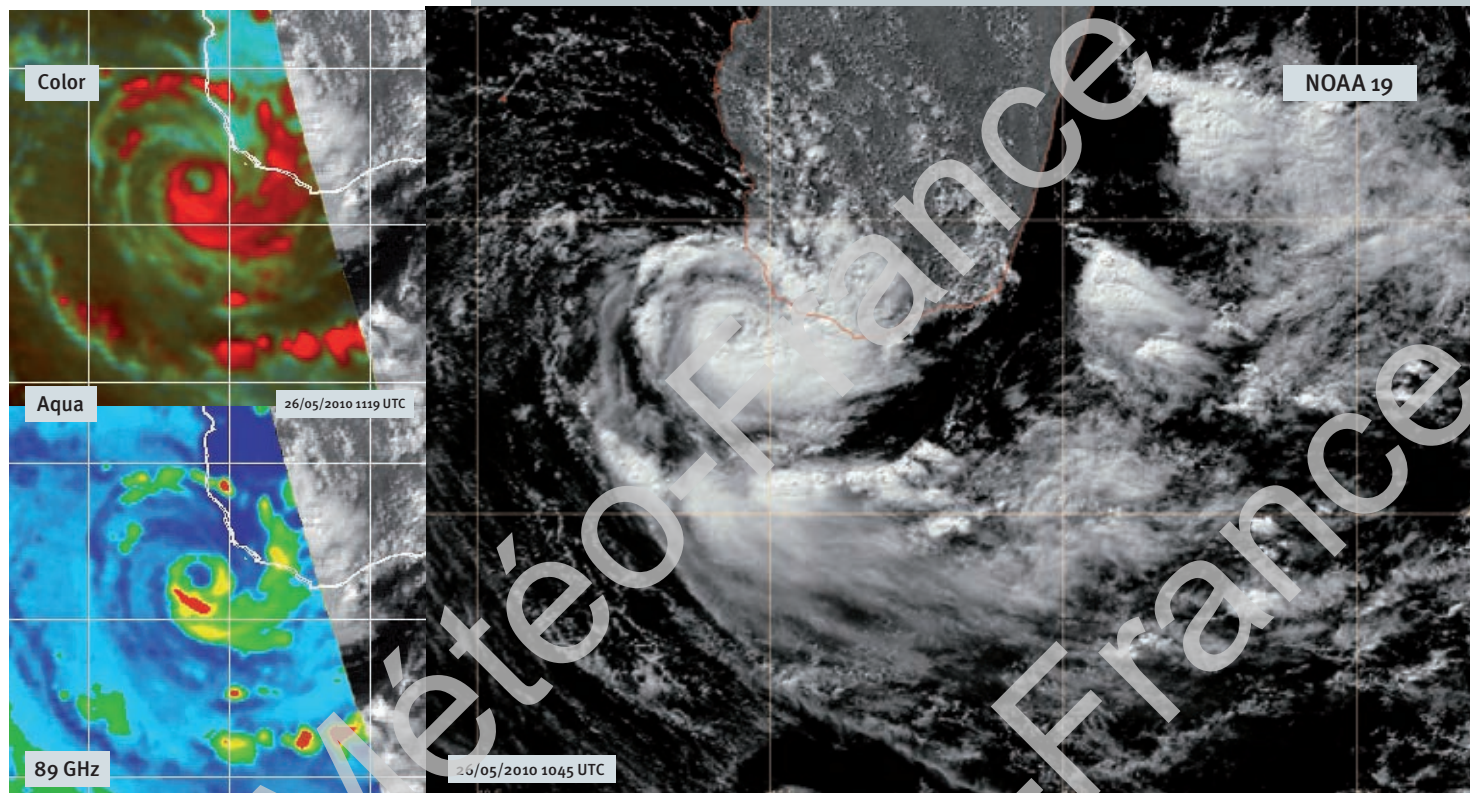
Le minimum dépressionnaire poursuit ensuite son rapprochement de la côte malgache, moins directement cependant, sa course s'infléchissant franchement sud-est en début de journée du 25. A ce stade, il ne semble pas y avoir lieu de "redouter" autre chose qu'une dégradation pluvieuse sur le Sud-Ouest de Madagascar. Espérer serait d'ailleurs sûrement plus approprié en l'occurrence, s'agissant d'une région soumise à une sécheresse chronique et pour laquelle l'augure d'un arrosage pluvieux est plutôt à considérer comme une bénédiction...

Aucun modèle numérique ne prévoit de creusement de la dépression, pour l'heure associée à des vents moyens n'excédant pas les 25 nœuds. Un indice aurait toutefois pu permettre, si ce n'est de jeter la suspicion sur la fiabilité de ces prévisions, du moins de s'interroger sur leur validité. Il s'agit de l'approche par le sud-ouest d'un petit talweg d'altitude, amené à évoluer temporairement en dépression de cut-off.

Tout laisse à penser que les trajectoires respectives de ces deux centres d'action vont se rejoindre, avant de naviguer de conserve pendant un bon moment. Et quand un talweg d'altitude vient à se mettre en phase avec une dépression en basses couches, c'est, météorologiquement parlant, un scénario toujours à considérer avec la plus grande circonspection, car potentiellement à risque, où les choses peuvent rapidement dégénérer. Et c'est effectivement ce qui va se passer...

Outre le fait d'être un élément favorable au développement de la convection, via une atmosphère plus instable, le facteur le plus important à prendre à compte avec l'arrivée prévue de ce talweg d'altitude au-dessus de la dépression de surface, c'est la suppression des vents forts en altitude, annihilant le fort cisaillement vertical de vent, jusque là réhibitoire.

Et de fait, la réduction sensible du cisaillement de vent commence à se manifester visuellement de manière évidente dès le début de journée du 25 mai : le centre du vortex de basses couches apparaît toujours exposé, mais la distance le séparant de la convection s'est sensiblement réduite et il se retrouve désormais au voisinage immédiat de la bordure nord de la convection, dans le même temps devenue pour sa part beaucoup plus compacte et plus concentrée près du centre. Avec la baisse persistante du cisaillement, la tendance se poursuit logiquement : le centre dépressionnaire



JOEL, un système dépressionnaire tardif développé au sud de Madagascar. Un œil irrégulier s'est formé quelques heures plus tôt au sein de la masse nuageuse et est également visible sur l'imagerie micro-onde, qui montre, en outre, l'existence d'une inclinaison vers l'est de la colonne verticale associée au météore, avec un léger déphasage apparent entre la circulation de basses couches (structures figurant en couleur un peu kaki sur l'image) et la circulation en moyenne troposphère (structures figurant en rouge sur l'image).

JOEL, a late season storm which developed to the south of Madagascar. An irregular eye had formed a few hours earlier within the cloud masses and was also portrayed on the microwave imagery, which showed, besides, the existence of an eastward tilting of the vertical column associated with the meteor, with an apparent slight decoupling between the low-level circulation (structures in somewhat khaki colour on the image) and the mid-troposphere circulation (structures in red on the image).

"passe" carrément sous la convection dans l'après-midi.

Bien avant que le talweg d'altitude, qui se situe encore au sud-ouest du minimum, ne soit venu se mettre en phase avec ce dernier, la circulation dépressionnaire de basses couches s'est donc elle déjà mise en phase avec la convection. Une telle évolution ne peut avoir pour effet que d'accélérer le processus de creusement de ce qui, en cette fin d'après-midi du 25 mai, présente tous les traits d'une dépression tropicale sur l'imagerie satellitaire classique. L'imagerie micro-onde montre pour sa part un vortex de basses couches très bien défini. Et avec désormais la présence de convection à proximité du centre, la configuration est clairement propice à une intensification, potentiellement même assez rapide, s'agissant d'un système de petite taille comme celui-là.

EVOLUTION

Sans que l'on puisse dans l'absolu parler de "transition tropicale", le minimum dépressionnaire initial étant de fait d'origine tropicale, il y a malgré tout un peu de cela dans l'évolution observée. A ceci près que cette "tropicalisation" s'opère au sein d'un environnement barocline non habituel, avec cette dépression "tropicale" bientôt surmontée d'un talweg d'altitude, associé à une baisse de la tropopause dynamique (jusqu'à environ 300 hPa d'après les analyses de coupe verticale de tourbillon potentiel), avec

FORMATION

The 2009-2010 cyclone season might have entered the list of the seasons which came to an end the most precociously in the South-West Indian Ocean (end of March in this case – with IMANI). But ultimately, it stepped onto the platform of the distinguished classification of seasons that lasted the longest. It was JOEL's fault whose development at the end of May to the south of Madagascar warranted it to be placed third on the record list of late developing storms of the basin since the beginning of the satellite era.

It indeed initially looked as though the season had terminated with the demise, anecdotal for our basin, of ex-tropical storm ROBYN, which originated from the South-East Indian Ocean and whose residual depression had come to die to the west of longitude 90° East at the beginning of April. There was no disturbed activity during the rest of April and as the month of May passed, the contingency of seeing the assertion according to which the season was over for good being contradicted, seemed more and more unlikely.

But you never can tell, as JOEL's unexpected cyclogenesis was about to remind us ; it was an uncommon and peculiar event, not only because of its so late advent, considering the basin's climatology, but also because it had not been foreseen by the numerical models, as none had forecast

that the low analysed in the Mozambique Channel, could significantly deepen ...

The initial low of what was to become JOEL was identified on May 22, in the vicinity of the Mozambique seaside town of Beira, both via the surface observations and on the satellite imagery. The environment was baroclinic, which was quite natural in that well-advanced southern autumn, with a rather fast westerly to northwesterly upper flow blowing aloft, which generated a strong vertical windshear over the area. At first sight such an adverse environment seemed very unfavourable and crippling for any cyclogenesis.

Not concerned however by those upper-level winds, the low-level clockwise circulation lasted, and not only did it persist, but it tended to gain definition. The associated low deepened slightly and shifted at the same time towards the east, then the east-southeast from midday on May 23. An Ascat orbit acquired during the first part of the following night, displayed 20-knots winds on the main portion of the clockwise circulation. The system kept evolving on the southern boundary of the subtropical jet stream (firmly established to the north of latitude 20° South) and, under the influence of altitude forcing, deep convection developed in the southern to southeastern sectors of the low, which remained exposed on the northwestern edge of that convective activity. Preceding the

approach of the low, the latter generated the first showers on Europa Island, where the bulk of the rain storm activity arrived only towards the end of the morning of May 24. 55 mm poured down on the island within the space of three hours and the rains persisted until the end of the following night (see image and details page 77). The minimal pressure of 1009 hPa recorded by the Meteo-France automatic weather station based in Europa, made it possible to get a reliable estimation of the central minimal pressure at 1008 hPa. That value was not really impressive but had to be relativized, as it was greatly justified by the high environmental pressure (about 1015 hPa), which prevailed over the Mozambique Channel at the time.

Then the low kept drawing closer to the Malagasy coast, less directly however, as its trajectory bent straight towards the southeast at the beginning of May 25. At that stage, there did not seem to be any reason to "fear" anything but rain over the South-West of Madagascar. In that case "to hope for" would have been more adequate as the region suffers from chronic drought, so that the prospect of a rain episode is to be considered rather as a blessing...

As yet there was still no numerical model to predict a deepening of the low, which, for the time being, was associated with average winds that did not exceed 25 knots. However there was one indication that might have aroused if not suspicion about the reliability of the forecast, at least doubts about its validity: the approach from the southwest of a shortwave trough temporarily evolving into a cut-off low. It definitely looked as if the respective trajectories of those two centres of action were about to meet, before travelling in concert for quite a while. And when an upper trough teams up with a low-level depression, it is, meteorologically speaking, a scenario, which must always be considered with the utmost care, as it is a potentially hazardous situation where things may rapidly degenerate. And that was what actually happened...

Besides the fact that such a situation was a pattern favourable to the development of convection, via a more unstable atmosphere, the most important factor to take into account with the forecast arrival of the upper trough above the low-level depression, was the suppression of the upper-level strong winds, with the induced annihilation of the strong vertical windshear that had constituted an insuperable hindrance until then. Actually the significant reduction of the windshear began to exhibit clearly from the beginning of May 25: the centre of

the low-level vortex appeared to be still exposed, but the separating distance with the convection had greatly reduced. Henceforth it found itself in the close vicinity of the northern edge of the convection, which, at the same time, had become much more compact and more concentrated near the centre. With the persistent abatement of the windshear, the tendency remained the same logically and the low-pressure centre eventually "slid" downrightly under the convection during the afternoon.

Long before the upper trough, which was still situated to the southwest of the low, had set in phase with the latter, the low-level clockwise circulation had therefore already aligned with the convection. Such evolution could only result in speeding up the deepening process of what, at the end of the afternoon of May 25, presented all the features of a tropical depression on the classical satellite imagery. As to the microwave imagery it showed a very well-defined low-level vortex. And with henceforth the presence of convection near the centre, the configuration was clearly favourable to an intensification, even potentially rather quick, as regards a small-size system like that one.

EVOLUTION

Although one cannot downrightly refer to a pure "tropical transition" in this case, the initial low being of tropical origin, nevertheless there is a little of that in the evolution that was observed. Except that the "tropicalisation" took place within an unusual baroclinic environment, with the "tropical" depression soon topped by an upper trough associated with a downward extrusion of the dynamical tropopause (to about 300 hPa according to the vertical cuts of the potential vorticity), which resulted mainly in the convection related to the phenomenon presenting rather high cloud tops temperatures (in comparison with classical tropical depressions of course), in connection with a tropopause that was lower than ordinarily. Another element that did not match with the common scheme of a purely tropical cyclogenesis was the fact that that evolution happened over a marginally warm sea surface, since the depression headed towards cooler water, with sea surface temperatures below 25°C off the southwestern seaboard of Madagascar (but without this coolness penalizing the surface fluxes and the convection, as the arrival of the upper trough enabled the air mass to remain very unstable).

All those elements showed that the system was atypical, of a hybrid nature,

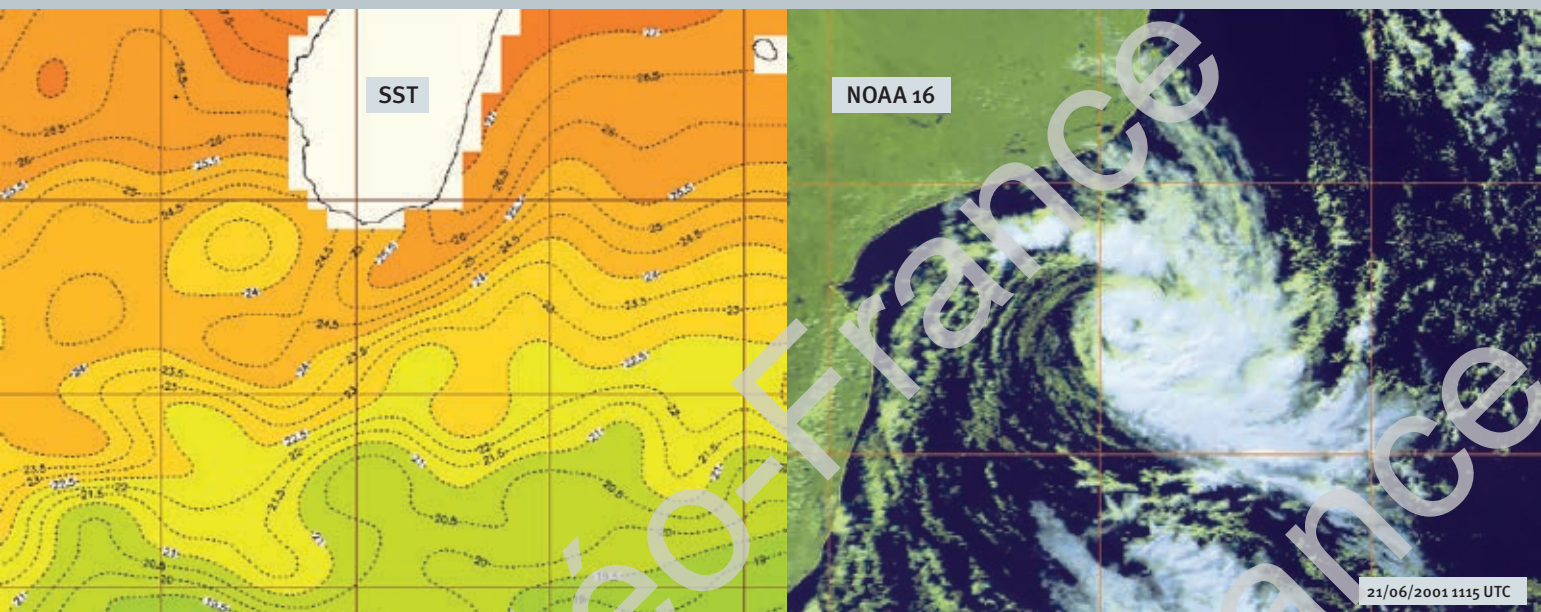
pour conséquence principale que la convection liée au phénomène présente des températures de sommets nuageux plutôt chaudes (comparativement aux dépressions tropicales classiques s'entend), en lien avec cette tropopause plus basse que d'ordinaire. Autre élément sortant du cadre habituel d'une cyclogenèse purement tropicale, le fait que cette évolution intervienne sur des eaux marginalement chaudes, puisque la dépression se dirige vers des eaux plus fraîches, avec des températures de surface inférieures à 25°C au large des côtes sud-ouest de Madagascar (mais sans que cela pénalise les flux de surface et la convection, l'arrivée du talweg d'altitude permettant à la masse d'air de conserver une forte instabilité).

Tous ces éléments font que l'on a affaire à un système atypique, de nature hybride, présentant de nombreux traits l'apparentant à un système dépressionnaire tropical classique (structure nuageuse telle que visible sur l'imagerie satellitaire, développement d'une anomalie chaude en altitude, comme en attesteront les données AMSU), mais avec aussi des caractéristiques non habituellement associées à une perturbation tropicale, d'où à l'arrivée le classement du phénomène en dépression subtropicale (qui peut faire débat – voir page 76).

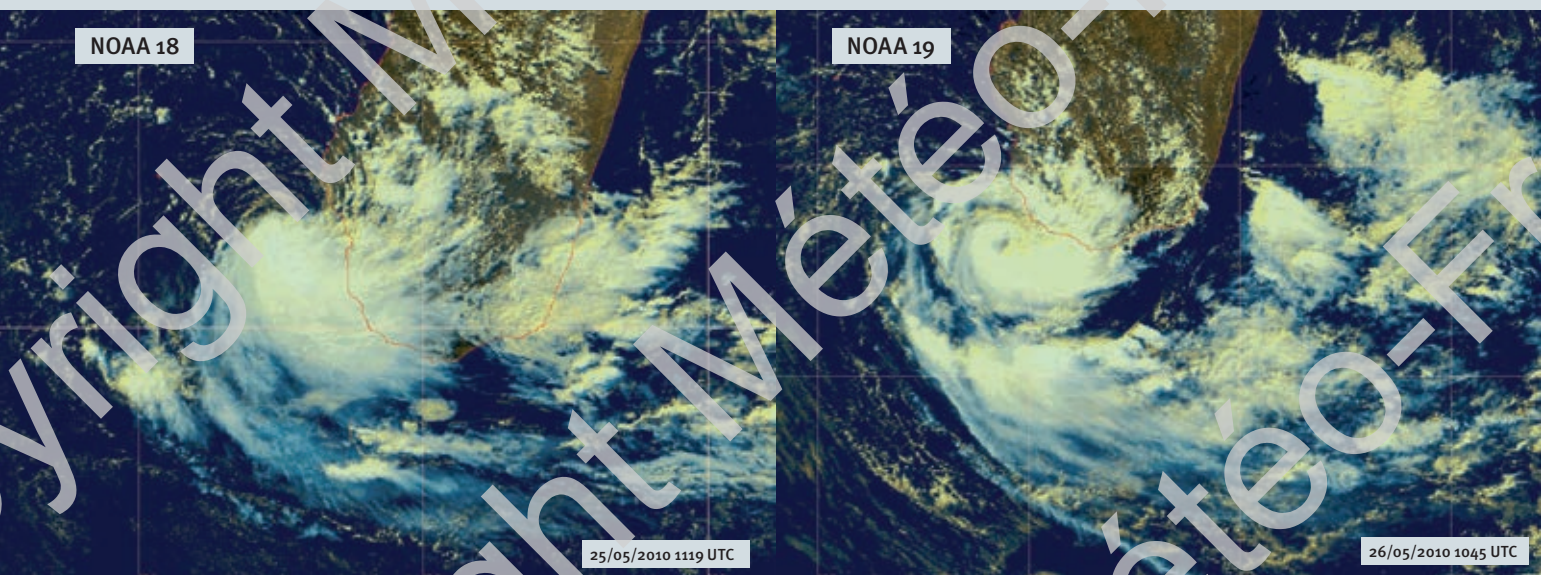
En première partie de nuit du 25 au 26, un embryon d'œil apparaît sur l'imagerie micro-onde dans les couches moyennes (canal 85 GHz de l'orbite TRMM). En post-analyse, il sera estimé que le stade du coup de vent a dû être atteint vers ce moment-là au sein de la circulation dépressionnaire.

À l'aube du 26 mai, le gain d'organisation n'est cependant pas flagrant par rapport à la veille au soir sur les premières images en canal visible, mais cela va rapidement changer. En l'espace de deux heures, la transformation est saisissante, avec une organisation spectaculaire de la convection, l'enroulement sur elle-même de la bande convective principale laissant même apparaître l'ébauche d'un œil en formation. Au vu de cette évolution et du gain de vorticité évident, un baptême s'impose d'urgence. JOEL est nommé en milieu de journée de ce 26 mai.

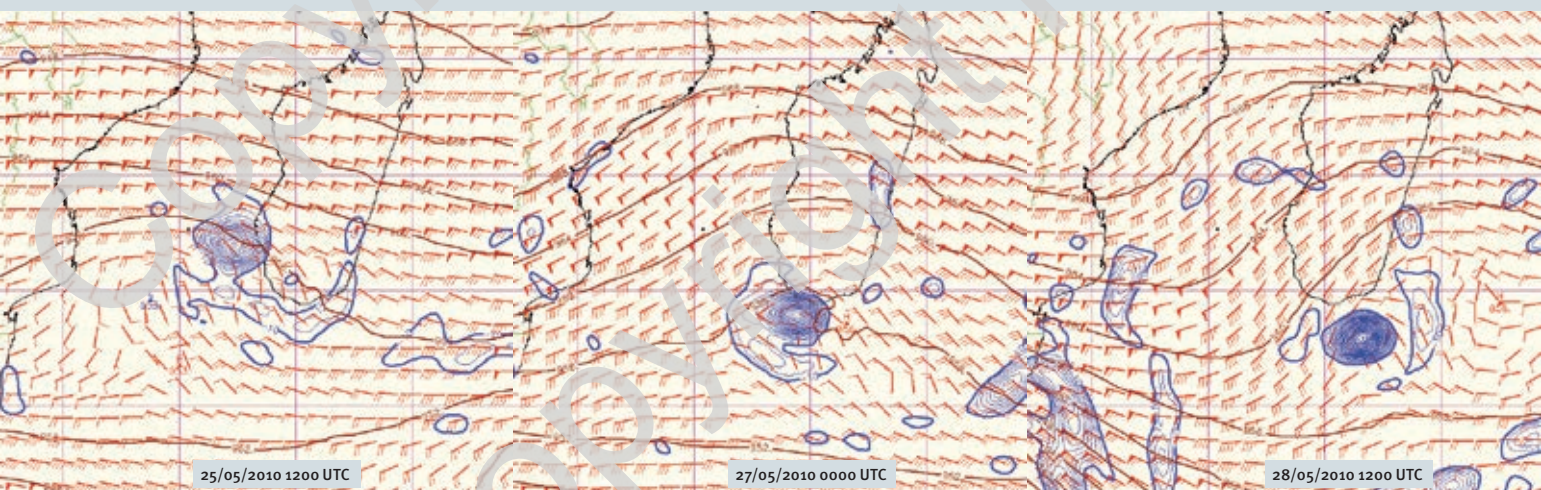
Dans l'après-midi, l'œil continue à gagner en définition, même s'il demeure encore irrégulier. La configuration nuageuse présente alors une grande similarité avec celle affichée le 21 juin 2001 par un système dépressionnaire (non baptisé à l'époque) développé dans un environnement analogue dans le Canal de Mozambique. Le talweg d'altitude précité a désormais rattrapé le système dépres-

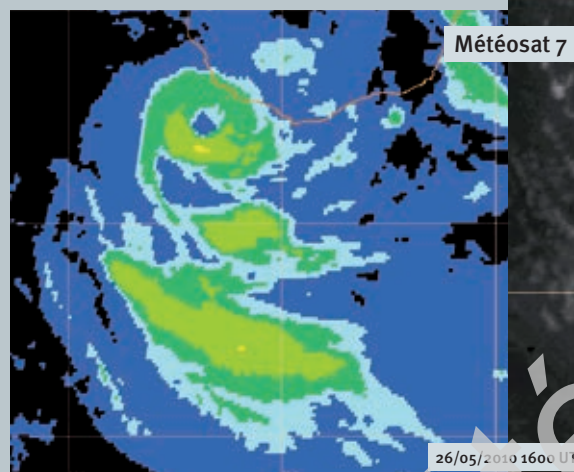


JOEL, un nouvel exemple de développement hybride dans le Canal du Mozambique. Le développement tardif de JOEL s'est effectué dans un environnement barocline et sur des eaux marginalement chaudes (inférieures à 25°C en surface), comme on peut le voir sur la carte de températures de la mer ci-dessus. Si de la convection a pu se développer et se mettre en phase avec le minimum dépressionnaire de surface originel (voir page 77), permettant la genèse puis l'intensification du phénomène, cela est dû à l'occurrence d'un petit talweg mobile d'altitude (ayant évolué temporairement en cut-off) venu depuis le sud-ouest du Canal de Mozambique se mettre en phase avec la circulation dépressionnaire de basses couches (voir, en bas de page, l'évolution temporelle, telle qu'analysée par le modèle du CEP, du champ de vents à 300 hPa superposé au tourbillon absolu à 850 hPa – le noyau de fort tourbillon matérialisant le système JOEL). La configuration nuageuse affichée le 26 mai par JOEL, présente une similarité frappante avec celle (ci-dessus) du système dépressionnaire (non baptisé) qui s'était développé, dans des conditions assez comparables, au moment du solstice d'hiver 2001.



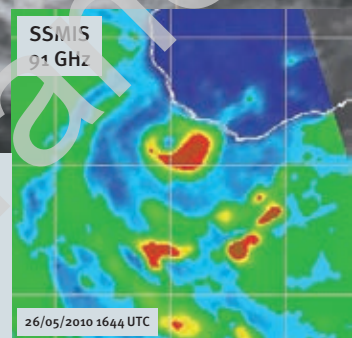
JOEL, another example of hybrid development in the Mozambique Channel. The late development of JOEL took place in a baroclinic environment and over marginally warm waters (sea surface temperature under 25°C), as can be seen above on the map of sea surface temperatures. If convection has been able to develop and set in phase with the original surface low (see page 77), allowing the genesis and then the intensification to take place, it was due to the occurrence of a mobile shortwave upper trough (having temporarily evolved into a cut-off low) which came from the southwest of the Mozambique Channel and set in phase with the low-level clockwise circulation (see, below, the time-evolution, as analyzed by the ECMWF's model, of the wind field at 300 hPa superimposed to the absolute vorticity at 850 hPa – the nucleus of strong vorticity materializing system JOEL). The cloud pattern displayed on May 26 by JOEL, was strikingly similar to that of the (unnamed) system which had developed, in rather comparable conditions, during the 2001 winter solstice (see top of page).





JOEL, peu avant son maximum d'intensité. Au moment de la définition optimale affichée sur l'imagerie infrarouge par le météore, JOEL présente l'apparence d'un petit cyclone, à ceci près que les sommets nuageux sont "anormalement" chauds par rapport à un cyclone classique (atteignant tout juste les -65°C dans la partie sud du mur de l'œil), conséquence de l'environnement atypique dans lequel ce système s'est développé (sous un talweg d'altitude, associé à une tropopause basse).

JOEL, a little while prior to its maximum of intensity. When optimal definition was displayed by the meteor on the infrared imagery, JOEL looked like a small cyclone, except that the cloud tops were "abnormally" warm in comparison with a classical cyclone (barely reaching -65°C in the southern part of the eyewall), a consequence of the atypical environment in which the system developed (under an upper trough, associated with a low tropopause).



as it presented numerous features similar to those of a classical tropical system (like the cloud structure depicted on the satellite imagery, or the development of an upper-level warm core anomaly, as testified by the AMSU data), but also characteristics which are not usually associated with a tropical disturbance, hence in the end the classification of the phenomenon as a subtropical depression (which may be questioned – see page 76).

During the first part of the night of May 25 to May 26, an embryonic eye appeared on the microwave imagery in the mid-levels (85GHz channel of the TRMM swath). In post-analysis, it was estimated that winds had probably reached gale force at about that time within the clockwise circulation. However, at dawn on May 26, the gain of organization was not obvious compared to the evening before on the first images on the visible channel. But everything would change rapidly. Within the space of two hours, the transformation was striking, with a spectacular organization of convection, the main convective band wrapping around itself unveiling a hint of a formative eye. Considering such evolution and the unquestionable gain of vorticity, the system had to be urgently named, which was done by midday on May 26, the storm being now called JOEL. During the afternoon, the eye went on gaining definition, even though it remained irregular. The cloud structure was then very similar to that displayed on June 21st 2001 by a storm (unnamed at the time), which developed in the same kind of environment in the Mozambique

Channel. The aforementioned upper trough had henceforth caught up with the low-pressure system and they were to travel in concert from then on for almost 48h. With the two protagonists involved now setting in phase, which minimized the vertical windshear, the dynamic conditions enabled the phenomenon to maintain itself, and even allowed it to intensify a little further.

It was considered that the maximum of intensity was reached at the beginning of the following night (May 26 at 18 UTC). The meteor then displayed its best presentation, with a compact and more symmetrical cloud system; the eye, then well-defined, was surrounded by a ring of convection whose coldest cloud tops peaked at -65°C (much warmer therefore than for a classical tropical system, on account of the upper configuration associated with a low tropopause, as previously explained). Considering JOEL's atypical structure, with a shallower vertical extension than for a typical storm, it was not easy to estimate the real value of the maximum of intensity of the phenomenon. It was eventually assessed at 60 knots for the maximum 10-min average winds (which implied peak gusts at sea over 150 km/h), but the assumption that the winds might have reached hurricane force beneath the eyewall at intensity peak cannot be completely dismissed. As to the wind-pressure relationship, it was biased towards higher pressure values, with a minimum central pressure evaluated at 990 hPa (integrating a high environmental pressure). A ship which was anchored near the Malagasy coast,

sionnaire et ils vont dorénavant voguer de conserve près de 48h durant. Avec cette mise en phase, minimisant le cisaillement vertical de vent, les conditions dynamiques permettent au phénomène de se maintenir, voire même autorisent un gain supplémentaire d'intensité.

Le maximum d'intensité est considéré atteint en début de nuit suivante (26 à 18 UTC). Le météore affiche alors sa meilleure présentation, avec un système nuageux compact et plus symétrique ; l'œil, bien défini maintenant, est entouré par un anneau de convection dont les sommets nuageux les plus froids culminent à environ -65°C (nettement plus chauds donc que pour un système dépressionnaire tropical classique, du fait de la configuration d'altitude associée à une tropopause basse, comme expliqué précédemment). Compte tenu de la structure atypique de JOEL, avec cette extension verticale moindre que pour un système dépressionnaire classique, estimer la valeur réelle de l'intensité maximale du phénomène n'est pas chose aisée. Elle a été arbitrairement fixée à 60 nœuds pour les vents moyens maximaux sur 10 min (ce qui implique des rafales maximales sur mer supérieures à 150 km/h), mais on ne peut pas complètement écarter l'hypothèse de la présence de vents de la force ouragan sous le mur de l'œil au moment de ce maximum d'intensité. La relation vents-pression, quant à elle, a été biaisée vers des valeurs de pression plus élevées, avec un minimum de pression centrale évalué à 990 hPa (intégrant une pression environnementale élevée). Un bateau stationné aux abords de la côte malgache, à environ 60 km au nord du

centre de JOEL, relève au même moment une pression minimale de 1006 hPa (et un vent maximal moyen sur 10 min de 37 nœuds, deux heures plus tard).

Si l'imagerie micro-ondes confirme l'existence d'un œil bien constitué, elle apporte une information supplémentaire, à savoir que la structure verticale du vortex présente une légère inclinaison vers l'est avec l'altitude, indiquant par là-même la persistance d'une petite contrainte cisailée. Insuffisante pour affecter négativement le météore, elle contribue toutefois à limiter son potentiel de développement (le contenu énergétique océanique restreint demeurant le facteur limitant majeur).

De fait, l'intensité plafonne à partir du courant de nuit. L'œil périclité quelque peu sur l'imagerie micro-onde et disparaît sur l'imagerie infrarouge. Il fera ensuite quelques réapparitions intermittentes, la plus notable ayant lieu en début de matinée du 27, quand JOEL, qui poursuit son contournement lent du Sud de Madagascar, s'apprête à passer au plus près de la côte malgache, ce qu'il fait finalement en début d'après-midi (son centre doublant le Cap Ste-Marie à 45 km au sud).

Deux fauchées consécutives Ascet interceptent la circulation dépressionnaire de JOEL ce 27 mai (une en matinée, l'autre

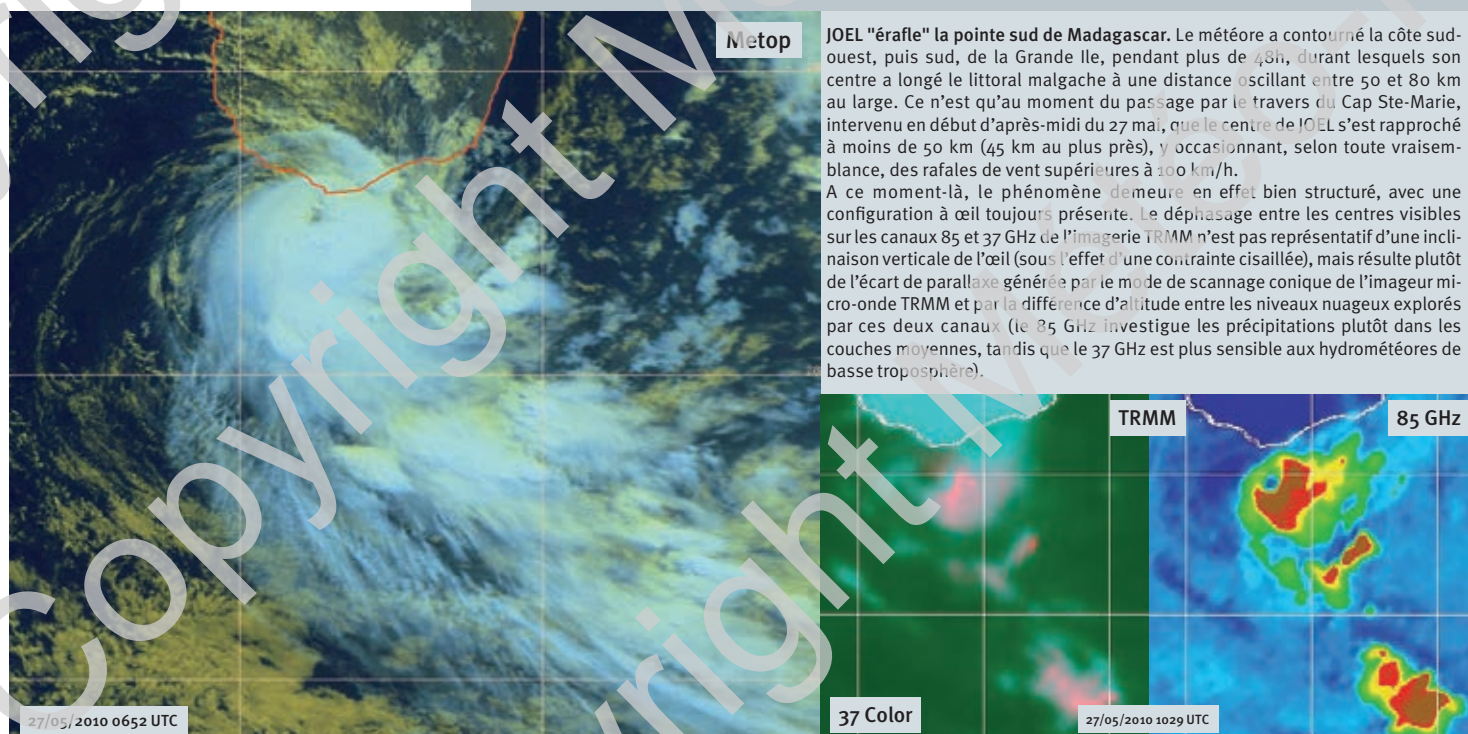
about 60 km to the north of JOEL's centre, recorded at the same time a minimum pressure of 1006 hPa (and a maximum 10-min average wind of 37 knots, two hours later).

If the microwave imagery confirmed the existence of a well-shaped eye, it brought further information, namely that the vertical structure of the vortex was slightly tilted eastward with height, thus indicating the persistence of a marginal sheared constraint. The latter was insufficient to affect the meteor in a negative way, yet it contributed to limiting its development potential (the restricted oceanic heat content remaining the major limiting factor). In fact, the intensity reached a ceiling from the middle of the night. The eye had somewhat deteriorated on the microwave imagery and disappeared on the infrared imagery. Then it reappeared intermittently, notably at the beginning of the morning of May 27, when JOEL, which was jogging around the South of Madagascar, was about to pass at its closest to the Malagasy shoreline, which it eventually did at the beginning of the afternoon (its centre rounding Cape Ste Marie 45 km to the south). Two consecutive Ascet swaths intercepted JOEL's clockwise circulation on May 27 (one in the morning, the other one at the

beginning of the night). In both cases, the maximum winds displayed were 45 knots, confirming the presence of winds reaching at least storm force near the centre (as those winds derived from the Ascet scatterometer radar underestimate the strongest winds in the zone of maximum gradient underneath the eyewall). And it was only in the middle of the night of May 27 to May 28 that the storm force winds conditions were estimated to have come to an end.

The weakening remained limited during May 28, but not for long. Because after spending 48 hours together, JOEL and the upper trough which had accompanied it during all its mature phase, were about to go different ways. In fact it was JOEL which was forced to change its route : the meteor which bumped into a rather powerful subtropical high which was present in low and mid troposphere to the southeast of Madagascar, had to slow down on its way to the east-southeast, then, when getting in contact with the high, it had to shift southward. That change of heading, which took place towards the end of the afternoon of May 28, resulted in separating JOEL and the upper trough, which carried on moving eastward.

It did not take long before the meteor was exposed to the rather fast southwesterly

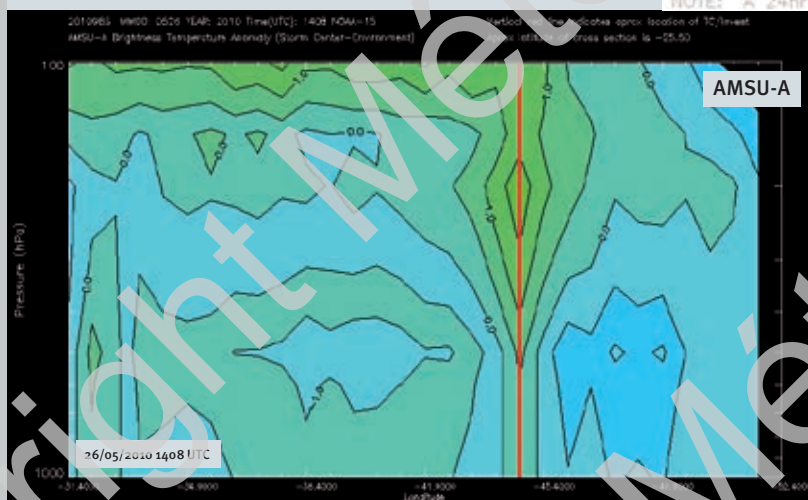
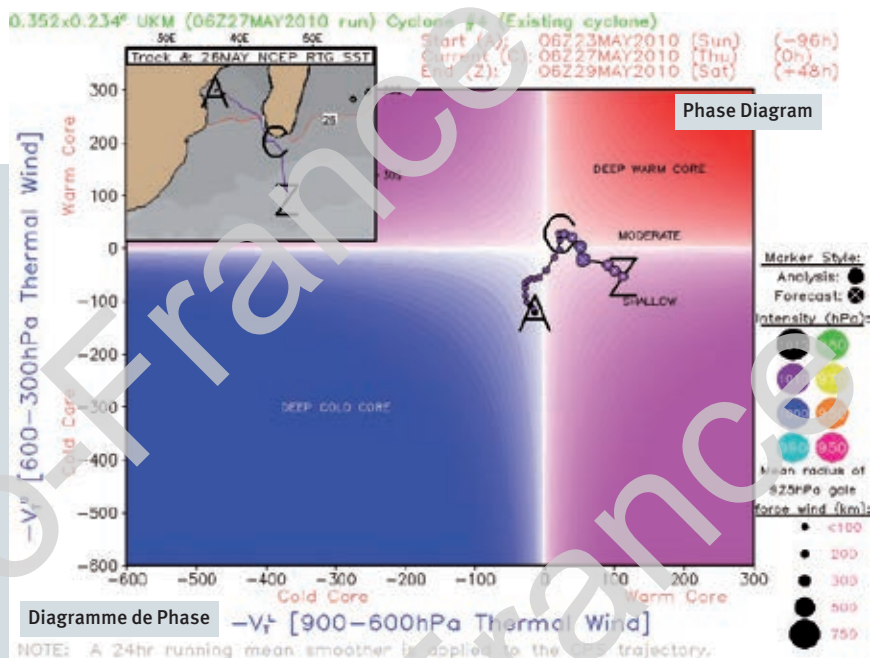


JOEL, when "scratching" the southern tip of Madagascar. The meteor had been moving around the southwestern coast, then the southern coast, of the Great Island, for more than 48h, during which its centre had been skirting the Malagasy shore line at a distance which had been swinging between 50 and 80 km off shore. It was only when it passed abeam Cape Ste Marie, at the beginning of the afternoon of May 27, that JOEL's centre has drawn near the coast less than 50 km away (45 km at the nearest), generating there, in all likelihood, gusts over 100 km/h.

At that time, the phenomenon was indeed still well-structured, with an eye pattern that was still present. The displacement between the centres seen on the 85 and 37 GHz channels was not representative of a putative vertical tilt of the eye (under the effect of a sheared constraint), but rather stemmed from the parallax error induced by the conical scanning mode of the TRMM microwave imager and by the difference of height between the cloud levels sensed by those two channels (the 85 GHz channel investigates the rainfall rather in the mid-levels, while the 37 GHz channel is more sensitive to the hydrometeors of the lower troposphere).

How to classify JOEL? The analysis in real-time, and even afterwards, of an atypical system like JOEL, is not an easy task. La Réunion RSMC maintained it as a "subtropical" system, even in post-analysis, in order to discriminate it from classical tropical systems, although it looked as if, considering a number of elements, it probably temporarily acquired a tropical nature.

On the phase diagram (source: Web site of Florida State University) of the UK Met Office model (May 27 2010 at 06Z run), the section of the trajectory between A and C describes the successive analyses between May 23 06Z and May 27 06Z (the rest of the trajectory down to Z, corresponding to the forecast until May 29). That diagram suggests that the structure of the system has gradually evolved from a cold-core structure during the genesis phase (baroclinic environment of extratropical type) towards a warm-core structure, temporarily deep enough during JOEL's mature phase for one to be able to consider that the tropical transition was completed, before the system returned to a subtropical status at the end of its life-cycle. That temporary tropical transition was corroborated by the data from the AMSU sounder, even though one must be careful, as a large part of the warm anomaly detected in the upper atmosphere might also have been due to the tropopause folding associated with the upper trough which had topped JOEL during its mature phase (the folding being associated with a "descent" of stratospheric air and therefore to comparatively warmer air than the tropospheric environment).



Comment classer JOEL ? L'analyse en temps réel, et même a posteriori, d'un système atypique comme JOEL, n'est pas chose aisée. Le CMRS de La Réunion l'a maintenu en tant que système "subtropical", même en post-analyse, pour le distinguer des systèmes dépressionnaires classiques, bien qu'un certain nombre d'éléments laissent à penser qu'il a acquis temporairement une nature tropicale.

Sur le diagramme de phase (Source : site web du Florida State University) du modèle anglais (Met Office, simulation du 27/05/2010 à 06Z), la portion de trajectoire entre A et C décrit les analyses successives entre le 23 mai 06Z et le 27 mai 06Z (le reste de la trajectoire jusqu'à Z, correspondant à la prévision jusqu'au 29 mai). Ce diagramme suggère que la structure du système a progressivement évolué d'une structure à cœur froid lors de la phase de genèse (environnement baroclinique de type extratropical) vers une structure à cœur chaud, suffisamment profonde temporairement au moment de la phase mature de JOEL pour que l'on puisse considérer que la transition tropicale se soit opérée, avant retour à un statut subtropical en fin de vie. Cette transition tropicale temporaire est corroborée par les données du sondeur AMSU, même s'il faut se méfier, car une bonne partie de l'anomalie chaude détectée en haute troposphère peut aussi être due à la foliation de tropopause associée au talweg d'altitude ayant surmonté JOEL lors de sa phase mature (foliation associée à une "descente" d'air stratosphérique et donc comparativement plus chaud que l'environnement troposphérique).

flow that was flowing at the rear of the trough. It was sheared by the strong winds within the space of a few hours during the first part of the following night. Early in the morning of May 29, there was only a low-level residual vortex left and ex-JOEL rapidly filled and eventually dissipated at the end of the day ahead of a frontal trough.

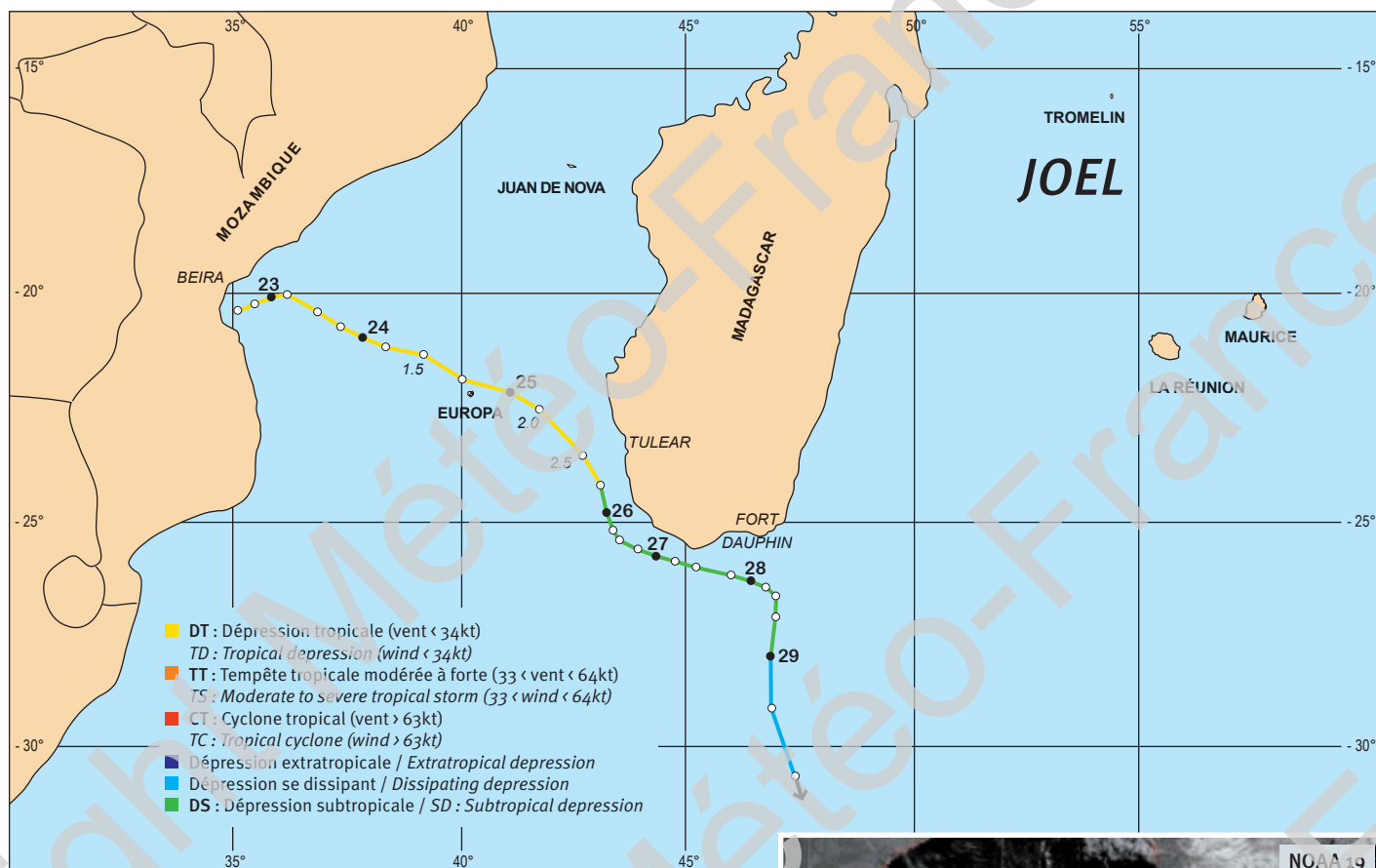
Ranked among the late season systems or tardy depressions – almost off-season – which develop in a hybrid way in the Mozambique Channel or to the south of Madagascar (like LUMA in April 2003), JOEL was not without consequences, since 18 fishermen were reported missing after it transited off the southern Malagasy coast. They had left on pirogues and had to face very rough conditions at sea generated by JOEL. In their first assessment the Malagasy BNGRC (National Department of Risk and Catastrophe Management) reported 42 wounded, 542 disaster victims and 358 homeless (more than 1000 dwellings were destroyed or damaged).

en début de nuit). Dans les deux cas, les vents maximaux affichés sont de 45 nœuds, confirmant la présence de vents atteignant au minimum la force tempête près du centre (car ces vents dérivés du radar diffusiomètre Ascat sous-estiment les vents les plus forts dans la zone de gradient maximal du mur de l'œil). Et ce n'est qu'en milieu de nuit du 27 au 28 que sont estimées cesser des conditions de vent de la force tempête.

L'affaiblissement demeure limité en journée du 28, mais plus pour longtemps. Car après quelque 48h passés ensemble, JOEL et le talweg d'altitude qui l'a accompagné durant toute sa phase mature, sont sur le point de voir leurs chemins se séparer. C'est en fait JOEL qui se voit contraint de changer de route : venant se heurter à une cellule anticyclonique subtropicale assez puissante présente en basse et moyenne troposphère au sud-est de Madagascar, le météore voit sa progression vers l'est-sud-est freinée, puis, au contact de ladite cellule, doit bifurquer en direction du sud. Ce changement de trajectoire, qui intervient en fin d'après-midi du 28 mai, a pour effet de provoquer la séparation entre JOEL et le talweg d'altitude, qui continue lui sa route vers l'est.

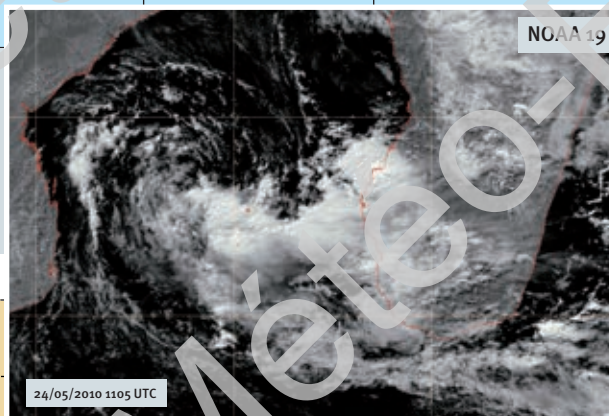
Le météore ne tarde pas à se retrouver exposé au courant de sud-ouest assez rapide qui circule à l'arrière du talweg. Il est cisailé par ces vents d'altitude en l'espace de quelques heures en première partie de nuit suivante. Au petit matin du 29, ne subsiste plus qu'un vortex résiduel de basses couches et l'ex-JOEL se comble rapidement, pour se dissiper en fin de journée à l'avant d'un talweg frontal.

Météore entrant dans la catégorie des systèmes de fin de saison ou dépressions tardives – presque hors-saison – se développant de manière hybride dans le Canal de Mozambique ou au sud de Madagascar (comme LUMA en avril 2003), JOEL n'aura pas été sans conséquences, puisque 18 pêcheurs ont été portés disparus suite à son passage au large des côtes sud malgaches. Partis sur des pirogues, ils se sont trouvés confrontés aux très mauvaises conditions de mer générées par JOEL. Dans son premier bilan établi au 28 mai 2010, le BNGRC (Bureau National de Gestion des Risques et des Catastrophes) malgache faisait également état de 42 blessés, 542 sinistrés et 358 sans abris (plus de 1000 cases ayant été détruites ou endommagées).

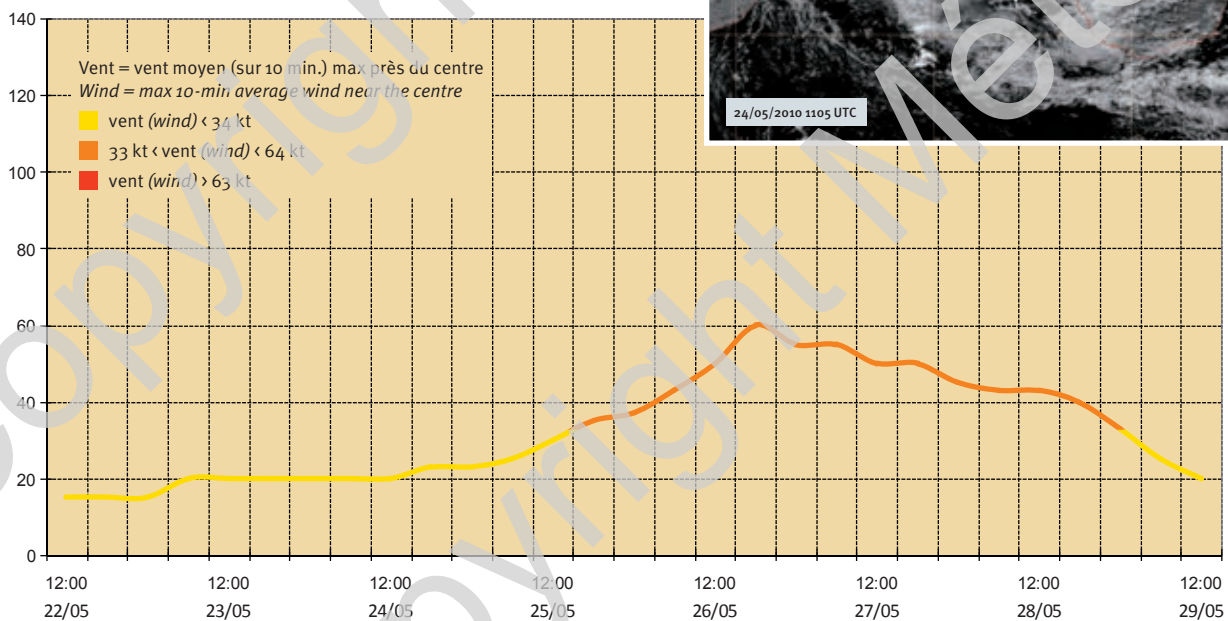


Pré-genèse de JOEL. L'activité convective présente au sud-est du minimum dépressionnaire (estimé à 1009 hPa) qui donnera naissance le surlendemain à JOEL, affecte l'île d'Europa, où l'épisode pluvio-orageux se sera étalé sur une trentaine d'heures, totalisant plus de 137 mm de précipitations cumulées (dont 105 mm en l'espace de 12h).

JOEL's pre-genesis. The convective activity that stood to the southeast of the initial low (estimated at 1009 hPa) which would give birth to JOEL two days later was affecting Europa Island where the heavy rain and thunderstorm episode lasted about 30h, bringing a cumulated amount of rainfall of 137 mm (105 of which fell within the space of 12h).



JOEL du 22/05 au 29/05/2010



EVOLUTION DU VENT MAX EN NŒUDS (A GAUCHE) ET DU NOMBRE CI DE 6 HEURES EN 6 HEURES
6 - HRLY MAX WIND (KT) AND CI TIME-EVOLUTION (LEFT AND RIGHT)



Terminologie

Utilisée pour la classification des systèmes dépressionnaires tropicaux dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien

Terminology used for classifying tropical disturbances in the South-West Indian Ocean

Le terme générique de “perturbation tropicale” demeure communément utilisé pour désigner un quelconque système dépressionnaire tropical évoluant sur la zone de responsabilité du Centre des Cyclones Tropicaux de La Réunion (bassin du Sud-Ouest de l’océan Indien). Mais, en fonction de l’intensité du système dépressionnaire, une terminologie précise s’applique.

• ZONE PERTURBÉE

Zone dépressionnaire d’échelle synoptique sans front, prenant naissance dans les régions tropicales ou subtropicales et présentant une convection renforcée et des vents faibles en surface.

• PERTURBATION TROPICALE

Système dépressionnaire d’échelle synoptique sans front, prenant naissance dans les régions tropicales ou subtropicales et présentant une convection organisée et une circulation dépressionnaire dont la valeur maximale estimative de la vitesse moyenne du vent ne dépasse pas 27 nœuds (soit 50 km/h, force 6 Beaufort).

• DÉPRESSION TROPICALE

Système dépressionnaire tropical dont la valeur maximale de la vitesse moyenne du vent est comprise entre 28 et 33 nœuds (soit 51 à 62 km/h, force 7 Beaufort).

• TEMPÊTE TROPICALE MODÉRÉE

Système dépressionnaire tropical dont la valeur maximale de la vitesse moyenne du vent est comprise entre 34 et 47 nœuds (soit entre 63 et 88 km/h, force 8 ou 9 Beaufort).

• FORTE TEMPÊTE TROPICALE

Dans un tel système, la valeur maximale de la vitesse moyenne du vent est comprise entre 48 et 63 nœuds (soit entre 89 et 117 km/h, force 10 ou 11 Beaufort).

• CYCLONE TROPICAL

Système dépressionnaire tropical dont la valeur maximale de la vitesse moyenne du vent est comprise entre 64 et 89 nœuds (soit entre 118 km/h et 165 km/h, force 12 Beaufort).

• CYCLONE TROPICAL INTENSE

Dans un tel système, la valeur maximale de la vitesse moyenne du vent est comprise entre 90 et 115 nœuds (soit entre 166 km/h et 212 km/h).

• CYCLONE TROPICAL TRÈS INTENSE

Dans un tel système, la valeur maximale de la vitesse moyenne du vent dépasse 115 nœuds (soit 212 km/h).

• DÉPRESSION EXTRATROPICALE

Zone dépressionnaire d’échelle synoptique se trouvant hors de la zone tropicale ou ancienne dépression tropicale ayant perdu ses caractéristiques tropicales (suite à une transition extra-tropicale).

• DÉPRESSION SUBTROPICALE

Zone dépressionnaire d’échelle synoptique ayant, au cours de son existence, des caractéristiques aussi bien de dépression tropicale que de dépression extra-tropicale. Dans le Sud-Ouest de l’océan Indien, on observe régulièrement la genèse de ce type de système hybride sur le Sud du Canal de Mozambique.

N.B. : dans la classification ci-avant, les forces de vent se rapportent, soit aux vents observés (ou estimés) sur au moins la moitié de la circulation près du centre, soit aux vents observés (ou estimés) sur la quasi-totalité de la circulation dépressionnaire au sein du système, et sont définies comme étant des vitesses du vent moyennées sur 10 minutes.

It is worth noting that the name “tropical disturbance” remains commonly used as the generic term designating any tropical system in the South-West Indian Ocean basin (while in other regions the name “tropical cyclone” is generally used instead). But, depending on the intensity of the tropical system, a specific terminology applies.

• ZONE OF DISTURBED WEATHER

Non-frontal synoptic scale low pressure area originating in the tropics or sub-tropics with enhanced convection and light surface winds.

• TROPICAL DISTURBANCE

Non-frontal synoptic scale low pressure area, originating over tropical or sub-tropical waters with organized convection and definite cyclonic surface wind circulation with maximum average wind speed estimated to be not exceeding 27 knots (50 km/h, force 6 in the Beaufort scale).

• TROPICAL DEPRESSION

A tropical disturbance in which the maximum of the average wind speed is estimated to be in the range 28 to 33 knots (51 to 62 km/h, force 7 in the Beaufort scale).

• MODERATE TROPICAL STORM

A tropical disturbance in which the maximum of the average wind speed is estimated to be in the range 34 to 47 knots (63 to 88 km/h, force 8 or 9 in the Beaufort scale).

• SEVERE TROPICAL STORM

A tropical disturbance in which the maximum of the average wind speed is estimated to be in the range 48 to 63 knots (89 to 117 km/h, force 10 or 11 in the Beaufort scale).

• TROPICAL CYCLONE

A tropical disturbance in which the maximum of the average wind speed is estimated to be in the range 64 to 89 knots (118 to 165 km/h, force 12 in the Beaufort scale).

• INTENSE TROPICAL CYCLONE

A tropical disturbance in which the maximum of the average wind speed is estimated to be in the range 90 to 115 knots (166 to 212 km/h).

• VERY INTENSE TROPICAL CYCLONE

A tropical disturbance in which the maximum of the average wind speed is estimated to exceed 115 knots (212 km/h).

• EXTRATROPICAL DEPRESSION

Synoptic scale low pressure area outside of the tropics or former tropical disturbance having lost its tropical characteristics.

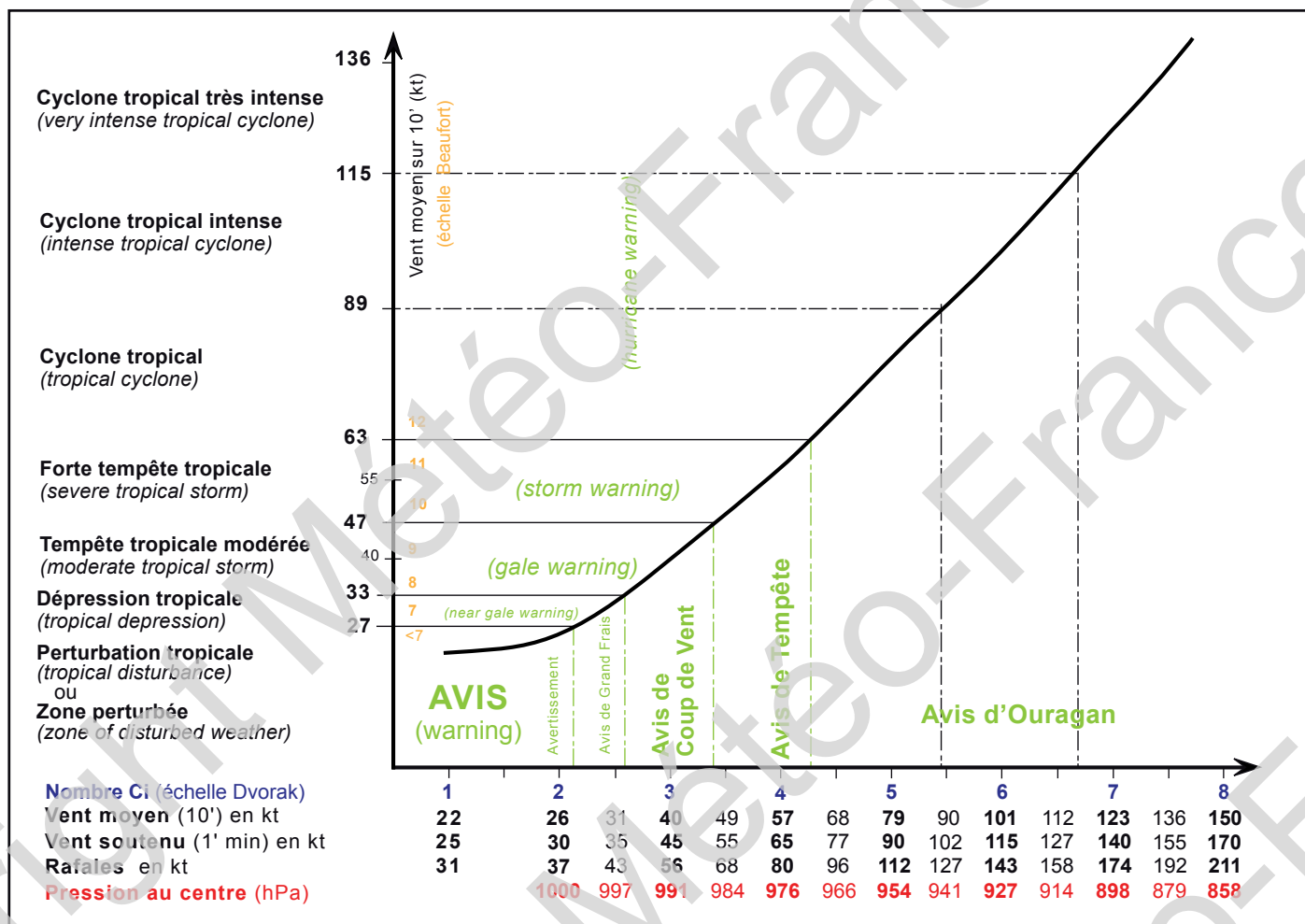
• SUBTROPICAL DEPRESSION

Synoptic scale low pressure area having during its life, characteristics which could belong to both tropical and extra-tropical depressions. In the South-West Indian Ocean, the genesis of such system is occasionally observed over the South of the Mozambique Channel.

N.B. : the winds referred to in the classification above relates either to observed (or estimated) winds at least in half of the circulation near the centre, or to observed (or estimated) winds within the system in nearly all of the depression circulation and are defined as 10-min average winds.

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 classification présentée ci-dessus est celle 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 correspondence 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).

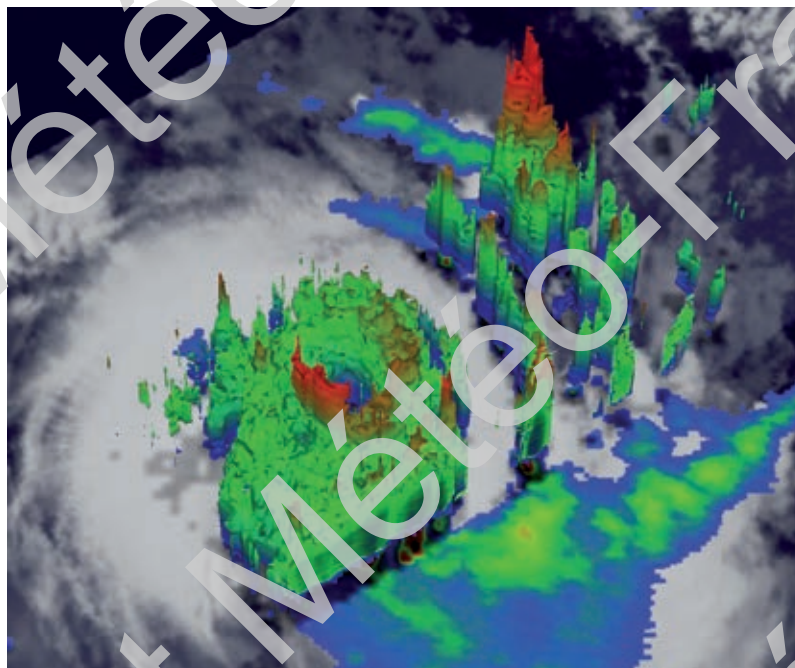
Besides being more realistic, the new conversion factor chosen presents the great advantage to bring more uniformity amongst the different practices of the various Centres and especially so for those of southern hemisphere.

The main consequences of modifying the scale of correspondence 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.

1^{re} DE COUVERTURE (Outside front cover) :

Champ de précipitations 3-D de GELANE vu par le radar précipitations du satellite TRMM (16/02/2010 à 1938 utc). Le satellite TRMM est le premier et seul satellite à ce jour à avoir été équipé d'un radar précipitations embarqué. Lancé en novembre 1997 et initialement programmé pour une mission de 3 ans, ses opérations ont été prolongées à plusieurs reprises. Après une incroyable longévité de plus de 12 années, ce satellite demeure inégalable pour observer les précipitations en zone tropicale, et tout particulièrement celles associées aux systèmes dépressionnaires tropicaux. Le radar précipitations de TRMM est en effet le seul capable de restituer la répartition tri-dimensionnelle des pluies au sein des cyclones, permettant d'accéder à une vision unique de la structure interne des phénomènes, comme ici dans le cas de GELANE.

Alors simplement classé en forte tempête tropicale, le météore présente malgré tout déjà les attributs caractéristiques d'un système mature, avec présence d'un «trou» central dénué de précipitations matérialisant l'œil déjà formé, bien que loin d'être encore apparent sur l'imagerie satellitaire classique (voir image infrarouge page 50). Au nord-est du cœur central, on notera la présence de puissantes bandes pluvieuses externes, dont la partie supérieure des tours convectives les plus hautes figure en rouge.



3-D rain-mapping of tropical cyclone GELANE by the Precipitation Radar aboard the TRMM satellite (16/02/2010 at 1938 utc). The TRMM satellite (Tropical Rainfall Measuring Mission) is the first spaceborne rain radar. Launched in November 1997 and initially planned for a three-year mission its lifetime has been extended several times and it is still operating. After more than 12 years of services and an incredible longevity it goes on providing unprecedented and invaluable observations of tropical rainfall and in particular of the rainfall produced by the cloud systems associated to tropical storms. The Precipitation Radar of TRMM is the sole device able to capture the three dimensional distribution of rain rate within tropical cyclones, enabling to get access to unique insights into the inner structure of the phenomena, as was the case with GELANE.

At the time ranked as a mere severe tropical storm, the meteor however already displayed all the characteristic attributes of a mature system with the presence of a central rain-free «hole» featuring the already shaped eye, although the latter was still far from being sketched out on the classic imagery (see infrared image page 50). To the northeast of the inner core, one can notice the presence of powerful rain-producing outer bands, the upper part of the highest convective towers appearing in red. (Image courtesy Hal Pierce SSAI/NASA GSFC)

Crédits photographiques / *Picture credits*
METEO-FRANCE / EUMETSAT

Mais aussi :

- Naval Research Laboratory's Marine Meteorology Division (courtesy Jeff Hawkins) et NASA TRMM Science Data Information System (TSDIS) : p. 13, 14, 16, 20, 21, 23, 24, 25, 27, 28, 32, 33, 34, 37, 39, 40, 41, 46, 47, 49, 50, 54, 59, 60, 68, 71, 74, 75
- CIMSS : p. 32, 76
- NASA : 5, 25, 45 (Modis), 50, 52, 62 (SSAI/GSFC, courtesy Hal Pierce)
- BoM : p. 3
- Nesdis (courtesy Paul Chang) : p. 16, 17

Glossaire

Glossary

AFP : Agence France Presse. *French Press Agency*.

AMSU : *Advanced Microwave Sounding Unit*. Radiomètre passif travaillant dans des gammes de fréquences particulières (micro-ondes) et embarqué à bord des satellites météorologiques défilant NOAA.

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 Satellite Studies (University of Wisconsin -Madison)*. Centre de recherches en météorologie satellitaire de l'Université du Wisconsin (USA).

CMRS : Centre Météorologique Régional Spécialisé. Il en existe de différentes formes. Le Centre Météo-France de La Réunion 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* (CEP).

EIR : *Enhanced Infrared* ; colors 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).

EUMETSAT : *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*.

FF10 : Vitesse du vent moyennée sur 10 minutes (*10-min average wind*).

Fmax : Vitesse maximale du vent instantané (correspondant à la rafale maximale). *Peak gust of wind*.

FNMO : *Fleet Numerical Meteorological and Oceanography Center (US Navy)*.

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* (OACI).

IR : Infrarouge (*Infrared*). Gamme de fréquences utilisée en imagerie satellitaire et donnant accès à une image thermique des sommets nuageux.

ITCZ : *Intertropical Convergence Zone* (ZCIT).

MAX : Produit radar issu d'une exploration volumique. Les échos pluvieux maximaux sont projetés sur un plan horizontal et 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 Aqua et Terra 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. Egalement : nom de satellites défilant américains de la série TIROS dont les images sont fréquemment utilisées dans cet ouvrage.

OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale (ICAO).

OCHA : *UNO's Office for the Coordination of Humanitarian Affairs*.

OMM : Organisation Météorologique Mondiale (WMO). Organisme spécialisé de l'ONU traitant de la coordination mondiale des activités météorologiques.

ONU : Organisation des Nations Unies. *United Nations Organization (UNO)*.

PDUS : *Primary Data Unit Station*. Station primaire de réception satellite.

Pmer : Pression réduite au niveau de la mer (*Sea level pressure*).

Pstation : Pression 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 windfields 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 Centre* (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.

SSMI : *Special Sensor Microwave Imager*. Radiomètre travaillant dans des gammes de fréquences particulières dites micro-ondes et embarqué à bord des satellites météorologiques défilant militaires américains DMSP.

TC : *Tropical Cyclone*. Cyclone tropical.

TCWC : *Tropical Cyclone Warning Centre*. Centre d'avertissements de cyclones tropicaux.

TD : *Tropical Depression*. Dépression tropicale.

TRMM : *Tropical Rain Measurement Mission*. Satellite de recherche initialement dévolu à l'estimation des précipitations en zone tropicale, mais s'étant révélé un outil précieux dans le suivi des systèmes dépressionnaires tropicaux.

TS : *Tropical Storm*. Tempête tropicale.

TT : *Tropical Storm* (*Tropical storm*).

TUTT : *Tropical Upper Tropospheric Trough*. Talweg tropical de haute troposphère.

UKMO : *United Kingdom Meteorological Office*. Centre de la météorologie britannique.

UTC : *Universal Time Coordinated*. Temps Universel Coordonné.

WMO : *World Meteorological Organization*. Organisation Météorologique Mondiale (OMM).

ZCIT : Zone de Convergence Intertropicale (ITCZ).

NATURE DES PERTURBATIONS / TYPE OF DISTURBANCE	
	DÉPRESSION SUBTROPICALE Subtropical depression
	DÉPRESSION TROPICALE Tropical depression
	TEMPÊTE TROPICALE MODÉRÉE Moderate tropical storm
	FORTE TEMPÊTE TROPICALE Severe tropical storm
	CYCLONE TROPICAL Tropical cyclone
	CYCLONE TROPICAL INTENSE Intense tropical cyclone
	CYCLONE TROPICAL TRÈS INTENSE Very intense tropical cyclone



EDZANI, un cyclone tropical très intense au milieu de l'océan Indien (08/01/2010 à 10 utc). Ce n'est pas tous les jours, ni même tous les ans, qu'il est donné l'occasion d'observer sur le bassin un météore entrant dans la rare catégorie des cyclones très intenses. En fait cela faisait même près de 5 ans que cela n'était pas arrivé. Pour donner une idée de la violence extrême d'un tel phénomène, il suffit d'indiquer que les vents sous le mur de l'œil du cyclone sont alors estimés occasionner des rafales maximales sur mer dépassant les 300 km/h...

EDZANI, a very intense tropical cyclone in the middle of the Indian Ocean (08/01/2010 at 10 utc). It is not every day nor every year that it is given the opportunity to observe in the basin a storm entering the rare category of very intense cyclones. Indeed, it was almost five years since such an event had occurred previously. To give an idea of the extreme mightiness of such a phenomenon, one only needs to mention that the winds blowing underneath the eyewall were then estimated to be associated with peak gusts over sea exceeding the 300 km/h threshold...

Météo-France

Direction Interrégionale de La Réunion

B.P 4 - 97491 Sainte-Clotilde Cedex

www.meteo-france.re

La Direction Interrégionale de La Réunion est certifiée

ISO 9001 : 2000 par Bureau Veritas Certification



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance